

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ร่วมกับมูลโคด้วย
ระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน

นางสาวมยุรี ชัยพลา



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Biogas Production Efficiency from Co-digestion
of Napier Grass with Fresh Cow Manure by Two-stage Anaerobic Digestion

Miss Mayuree Chanpla



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ร่วมกับ มูลโคด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน
โดย	นางสาวมยุรี ชัยพลา
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทฉบับนี้

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิธีรัมย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิ้มปิยากร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ชินพงศ์ วังไฉ)

มยุรี ชัยพลา : ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ร่วมกับมูลโคด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน (Biogas Production Efficiency from Co-digestion of Napier Grass with Fresh Cow Manure by Two-stage Anaerobic Digestion) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 170 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาอายุการเก็บเกี่ยวของหญ้าเนเปียร์ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจะใช้หญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันตั้งแต่ 35 ถึง 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม ผลการทดลองพบว่าหญ้าเนเปียร์ที่มีอายุเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 208 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่เข้าระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าเนเปียร์อายุการเก็บเกี่ยว 35 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำกว่าเท่ากับ 111 และ 83 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่เข้าระบบ ตามลำดับ เนื่องจากหญ้าเนเปียร์อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหมาะสม ($C/N = 19.33$) และมีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูงที่สุด จึงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด ส่วนหญ้าเนเปียร์อายุการเก็บเกี่ยว 55 วัน พบว่ามีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงเกินกว่าค่าเหมาะสมและมีปริมาณลิกนินและเถ้าสูงที่สุด ซึ่งมีผลต่อในระบบหมักก๊าซชีวภาพ ดังนั้นอายุการเก็บเกี่ยวของหญ้าเนเปียร์จึงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งนอกจากจะต้องคำนึงถึงอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมแล้วควรพิจารณาผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ในช่วงอายุเก็บเกี่ยวด้วย และศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบบำบัดไร้ออกซิเจนสองขั้นตอนประกอบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมเป็นถังผลิตกรด และตามด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเป็นถังผลิตก๊าซชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกทำการศึกษาค่าร้อยละของแข็งระเหยได้เข้าระบบเท่ากับ 2 เพื่อผลิตน้ำหมักสำหรับป้อนเข้าสู่แผ่นกั้นไร้ออกซิเจน พบว่าสามารถผลิตกรดไขมันระเหยที่เหมาะสมเท่ากับ 1,540-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก ที่ระยะเวลาการหมัก 11 วัน จากนั้นทำการผลิตน้ำหมักดังกล่าวเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนโดยเดินระบบอย่างต่อเนื่องเพื่อผลิตก๊าซมีเทน ส่วนที่สองศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำหมักกรด โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่องที่ระยะเวลากักพักเซลล์ศาสตร์ 15 วัน และอัตราภาระซีโอดี 0.67 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าให้ผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 ลิตรต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อของแข็งระเหยเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 407 และ 252 ลิตรต่อกรัมของของแข็งระเหยเข้าระบบ และปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 316 และ 196 ลิตรต่อกรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองเท่ากับร้อยละ 85.2 สรุปได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบบำบัดไร้ออกซิเจนสองขั้นตอนประกอบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมเป็นถังผลิตกรด และตามด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเป็นถังผลิตก๊าซชีวภาพ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน และการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5570332721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: BIOGAS PRODUCTION / HARVEST / NAPIER GRASS / TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION

MAYUREE CHANPLA: Biogas Production Efficiency from Co-digestion of Napier Grass with Fresh Cow Manure by Two-stage Anaerobic Digestion. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 170 pp.

Biogas production of Napier grass (Pak Chong 1) with respect to maturity at 35 45 and 55 days co-digestion cow manure. The compositional change in plant composition was observed with Napier grass maturity. The highest biogas production of 208 L/kg VS added was found in Napier grass harvested at 45 days co-digestion cow manure compared to 111 and 83 L/kg VS added for Napier grass age 35 and 55 days co-digestion cow manure respectively, Additionally, Napier grass age 45 days exhibited the digestibility of cellulose and hemicellulose. Whereas digestibility of cellulose and hemicellulose were lowest for the biomass harvested at 35 and 55 days of maturity. The increase in fiber components and decrease in digestibility with advancing harvest date had a negative impact on the specific methane yield and this impact was similar across the Napier grass. At common growth stages, only small differences in herbage digestibility was observed between the grass and this was reflected in similar specific methane yields. Napier grass composition showed variations with respect to maturation, therefore, affected the digestionability of biomass for biogas production. Thus, to maximize the net energy yield must be conducted and include parameters such as feedstock age and preprocessing strategies. Further studies are needed to refine biogas production of Napier grass cultivars harvesting in different age to maximize biomass yields while ensuring cash flow and minimizing harvesting costs. The research was to evaluate the performance of methane production from Napier grass (Pak Chong 1) co-digestion cow manure in two-stage anaerobic digestion in a continuously stirred tank reactor (acidification tank) followed by an anaerobic baffled reactor (methane tank). The experiment was divided into 2 parts. The first part was to examine the optimum percentage of volatile solid added for producing a suitable volatile fatty acid concentration from Napier grass by batch experimental process whereby acid tank liquor was fed into methane tank. The results show that the optimum batch process operating was 2 percentage of VS added. Under this condition the total VFA was obtained on day 11, which was 1,540-2,000 mg/l. Then, such acid tank liquor was fed to ABR. The second part was to investigate the performance of ABR for producing methane from acid tank liquor feed. In this part, the five-compartment ABR was carried out by continuous process at constant HRT for 15 days. The organic of acid tank liquor was varied at 0.67 kg COD/m³.d. The results showed that the average biogas production is equal to 3.80 L/day. Biogas and methane production of 407 and 252 L/g VS added. Biogas and methane production of 316 and 196 L/g COD removal. Under this condition, the soluble COD removal efficiency were obtained at 85.2% . The results of the experimental scale study show that the two-stage anaerobic digestion system : CSTR followed by ABR can produce the soluble COD and TVFA removal efficiency and maximum biogas.

Department: Environmental Engineering

Student's Signature

Field of Study: Environmental Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่มีส่วนให้ความอนุเคราะห์ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และคำแนะนำในทุกด้านตลอดระยะเวลาการวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญยิ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ ฝั่งรัมย์ (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจพร สุวรรณศิลป์ (กรรมการ) รองศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร (กรรมการ) และ ดร. ชินพงศ์ วังใน (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างยิ่ง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และมอบความปรารถนาดีให้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณสุประวีณ์ สร้อยระย้า ศูนย์วิจัยโคนม สวนจิตรลดา ที่อนุเคราะห์ให้บ้านเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และบริษัท เสริมสุข จำกัด มหาชน ที่อนุเคราะห์ให้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว สำหรับกำลังใจและการสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอบใจเพื่อนพ้องทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ และดูแลกันและกันอย่างดีตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	1
สารบัญตาราง.....	1
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พี่ชิวมวล	5
2.1.1 สารชิวมวล.....	5
2.1.2 พลังงานจากชิวมวล	5
2.1.3 องค์ประกอบทั่วไปของสารชิวมวล	6
2.2 หนู่าเนเปียร์.....	10
2.2.1 การเก็บเกี่ยวหนู่าเนเปียร์	11
2.2.2 การเก็บรักษาเนเปียร์.....	12
2.2.3 การผลิตพลังงานจากหนู่าเนเปียร์.....	18
2.2.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากพี่ชิวมวล.....	18
2.2.5 ปัญหา และอุปสรรคของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหนู่าเนเปียร์	21

2.3 มูลโคนม.....	21
2.3.1 พันธุ์โคนม.....	22
2.3.2 ปริมาณมูลโคนม	22
2.3.3 มูลโคนมกับการผลิตก๊าซชีวภาพ	23
2.4 ก๊าซชีวภาพ	25
2.4.1 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)	25
2.4.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง.....	29
2.4.3 ปัจจัยและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	31
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
2.5.1 การผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชสด	34
2.5.2 การผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชหมัก	35
2.5.3 การหมักร่วมของพืชชีวมวลและมูลสัตว์	37
2.5.4 ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวพืชชีวมวล.....	41
2.6 การนำข้อมูลมาใช้ในงานวิจัย	50
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	51
3.1 แผนงานวิจัย	51
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	51
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	52
3.4 ถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.4.1 ถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ ชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธี บีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential)	52
3.4.2 ถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ ชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน....	53

3.5	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	56
3.5.1	การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์สดและหญ้าเนเปียร์หมัก	56
3.5.2	การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลโคนม.....	57
3.6	การดำเนินการวิจัย.....	58
3.6.1	การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential) เพื่อหาอายุหญ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด	58
3.6.2	การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน	60
3.7	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	66
3.7.1	การทดลองขั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank) มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้.....	66
3.7.2	การทดลองขั้นที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank) มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้.....	66
3.8	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล	67
3.8.1	การเก็บตัวอย่างน้ำในการทดลองขั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank).....	67
3.8.2	การเก็บตัวอย่างน้ำในการทดลองที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank)	67
3.8.3	การวิเคราะห์ผล.....	68
บทที่ 4	ผลการทดลอง และการอภิปรายข้อมูล	71
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และหัวเชื้อจุลินทรีย์.....	72
4.1.1	องค์ประกอบหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1.....	72
4.1.2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลโคนมที่ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์.....	74
4.2	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) จากหญ้าเนเปียร์ร่วมกับมูลโคนมที่มีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน.....	75
4.2.1	ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการทดลองที่ 1.....	75

4.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง.....	82
4.2.3 ผลการคัดเลือกชนิด และอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมสำหรับการทดลองที่ 2	85
4.3 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาระยะเวลาเก็บกักเหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนม และหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตช์	86
4.3.1 ผลของระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตช์	86
4.3.2 ผลของระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตช์	91
4.3.3 ผลการคัดเลือกระยะเวลาเก็บกักและวิธีการหมักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรด เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	94
4.4 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	94
4.4.1 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.....	96
4.4.2 ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	98
4.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.....	105
4.4.4 เปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนประเภทต่างๆกับรายงานวิจัยอื่นๆ	107
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	110
5.1 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) จากหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมที่มีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน	110

5.2 ผลการศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบ แบตช์	110
5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับ มูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	111
5.4 ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ และการวิจัยเพิ่มเติม	112
รายการอ้างอิง	113
ภาคผนวก.....	122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	170



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์โลส	7
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลล์โลสประเภทลูโคแมนแนนและไซแลน	8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน.....	9
รูปที่ 2.4 หล้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 จากแปลงทดลองปลูกหล้าเนเปียร์ สวนจิตรลดา.....	10
รูปที่ 2.5 หลุมหมักแบบราง.....	15
รูปที่ 2.6 หลุมหมักแบบกำแพงคอนกรีต	15
รูปที่ 2.7 หลุมหมักแบบสุญญากาศ	16
รูปที่ 2.8 หมักแบบม้วนก้อน	16
รูปที่ 2.9 หมักแบบบรรจุในภาชนะ	16
รูปที่ 2.10 ลักษณะหล้าหมักภายหลังหมักได้ 3–4 สัปดาห์.....	17
รูปที่ 2.11 โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน (Holstein Friesian).....	22
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน	28
รูปที่ 3.1 ขวดเซรัมขนาด 100 มิลลิลิตร.....	53
รูปที่ 3.2 ถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์.....	53
รูปที่ 3.3 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	54
รูปที่ 3.4 แผนภาพอุปกรณ์สำหรับติดตั้งกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการทดลองที่ 2.....	55
รูปที่ 3.5 เครื่องตั้งเวลา	55
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ	56
รูปที่ 3.7 การตัดและบดหล้าเนเปียร์	57
รูปที่ 3.8 มูลโคนม.....	57
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีบีเอ็มพี.....	59

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดลองชั้นที่ 1 ถึงหมักกรด (Acid Tank).....	62
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการทดลองชั้นที่ 1 ถึงหมักกรด (Acid Tank).....	63
รูปที่ 3.12 ผังศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับ มูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง.....	65
รูปที่ 3.13 จุดเก็บตัวอย่างน้ำหมักจากถังหมักกรด	67
รูปที่ 3.14 แผนภาพอุปกรณ์สำหรับติดตั้งกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการทดลองที่ 2	67
รูปที่ 4.1 (ก) ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับ มูลโคนม	75
รูปที่ 4.2 (ก) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับ มูลโคนม	78
รูปที่ 4.3 (ก) การผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนม	80
รูปที่ 4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่อพื้นที่เพาะปลูก	82
รูปที่ 4.5 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงเสถียรภาพของถังหมักกรดของหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับ มูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่เดินระบบแบบแบดซ์ตลอดการทดลอง	90
รูปที่ 4.6 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงเสถียรภาพของถังหมักกรดของหญ้าเนเปียร์ที่เดิมเข้าระบบ ด้วย ถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่เดินระบบแบบแบดซ์ตลอดการทดลอง	93
รูปที่ 4.7 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (ลิตรต่อวัน).....	96
รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่สภาวะคงตัว.....	97
รูปที่ 4.9 พีเอชน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.....	99
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.....	100
รูปที่ 4.11 กรดไขมันระเหยน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.....	101
รูปที่ 4.12 ชนิดกรดไขมันระเหยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.....	102
รูปที่ 4.13 สภาพต่างทั้งหมดน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน....	103
รูปที่ 4.14 สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจาก ระบบ	104

รูปที่ 4.15 ซีไอทีกรองน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	105
รูปที่ 4.16 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	106



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์.....	11
ตารางที่ 2.2 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ	23
ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของวัตถุดิบโดยทั่วไป.....	24
ตารางที่ 2.4 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชสด	44
ตารางที่ 2.5 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชหมัก.....	45
ตารางที่ 2.6 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วม ..	46
ตารางที่ 2.7 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากช่วงเวลาการ ..	48
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองที่ 3.6.1	60
ตารางที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำในระบบการทดลองขั้นที่ 1 ถึงหมักกรด (Acid Tank)	68
ตารางที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำในระบบการทดลองขั้นที่ 2 ถึงหมักก๊าซ (Methane Tank).....	69
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (สด) ที่มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน	72
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของมูลโคที่ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในงานวิจัยนี้.....	74
ตารางที่ 4.3 ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ของการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการ ทดลอง	83
ตารางที่ 4.4 ซีโอดีของการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง.....	85
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคจนถึงปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์.....	94
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยน้ำหมักกรดที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง	95
ตารางที่ 4.7 ระยะเวลาในการเดินระบบที่อัตราการระเหยซีโอดี 0.67 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร- วัน และความถี่ในการเก็บข้อมูลการทดลอง.....	96

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	98
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนกับรายงานวิจัยอื่นๆ	108



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากขึ้น เนื่องมาจากการขยายตัวในด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี จากการศึกษาในประเทศไทยมีความต้องการพลังงานสูงจึงส่งผลให้ต้องมีการพึ่งพาการนำเข้าของพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณของประเทศเป็นอย่างมาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาพลังงานทางเลือกอย่างอื่น เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดไป ซึ่งพลังงานทางเลือกนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากชีวมวล และพลังงานจากพืชพลังงาน เป็นต้น

พลังงานจากพืชพลังงานเป็นพลังงานที่น่าสนใจ และมีความหมายกับประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิอากาศ และภูมิประเทศที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืชพลังงานในปริมาณที่สูง อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัจจุบันรัฐบาลมีการสนับสนุนให้เกษตรกรมีการปลูกพืชพลังงานเพื่อมากขึ้นอย่างกว้างขวางทั่วประเทศ ดังนั้นเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2556 คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพข.) ได้กำหนดเป้าหมายในการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลให้ได้ร้อยละ 25 ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2555 – 2564) ของประเทศไทย และทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานจึงได้ส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์นำมาผลิตไฟฟ้า ก๊าซหุงต้ม และก๊าซชีวภาพสำหรับรถยนต์ และได้สนับสนุนโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน (ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พืชพลังงานที่ชื่อ “หญ้าเนเปียร์” กลายเป็นที่รู้จักมากขึ้น เนื่องมาจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 มีลำต้นสูง แตกกอดี มีใบดกหนา สามารถปลูกง่าย ให้ผลผลิตต่อไร่สูง เจริญเติบโตได้เร็ว มีอายุปลูกหลายปี แต่ในทุกๆรอบปีมีช่วงฤดูแล้ง ทำให้ปริมาณผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ลดในช่วงนั้นลดลงจนถึงขาดแคลน จึงต้องมีการส่งเสริมให้เก็บถนอมหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ในรูปหญ้าหมักเพื่อไว้ใช้ช่วงขาดแคลน โดยในการผลิตหญ้าหมักที่มีคุณภาพดีนั้น (สมศักดิ์ กังเอี่ยม, 2552) อายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่ใช้หมักต้องมีอายุที่เหมาะสม คือ ไม่แก่หรืออ่อนเกินไป ซึ่งอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่เก็บเกี่ยวได้ด้วย โดยทั่วไปการเพิ่มขึ้นของอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ทำให้ผลผลิตน้ำหนัก สารเยื่อใย ลิกนิน และผนังเซลล์ของหญ้าเนเปียร์

ปากช่อง 1 เพิ่มขึ้น โดยที่ผลผลิตน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการสร้างแขนงที่เพิ่มขึ้นรวมถึงการยืดขยายของใบและลำต้น แต่ในทางกลับกันสัดส่วนใบต่อลำต้นเปอร์เซ็นต์โปรตีน ปริมาณแร่ธาตุของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ลดลง ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายได้ ลดลงอย่างรวดเร็วด้วย (สำราญ วิจิตรพันธ์, 2554) ซึ่งส่งผลต่อผลผลิตก๊าซชีวภาพ

จากงานวิจัยของ Uzodinma และคณะ, 2009 หญ้าเนเปียร์สดที่นำมาหมักในระบบไร้ออกซิเจน พบว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเท่ากับ 73.8 ลิตรต่อมวลรวมทั้งหมด จากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าหญ้าเนเปียร์สดมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่ในระดับที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้าเนเปียร์สดที่หมักร่วมกับมูลโค พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเท่ากับ 225.8 ลิตรต่อมวลรวมทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าหญ้าเนเปียร์สดที่หมักร่วมกับมูลโคสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้าเนเปียร์สดเพียงชนิดเดียวถึงสามเท่าด้วยกัน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ตั้งแต่การเตรียมหญ้าเนเปียร์สด หญ้าเนเปียร์หมัก และอายุหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกัน และศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอนเพื่อนำไปพัฒนาระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ตั้งแต่การเตรียมหญ้าเนเปียร์สด หญ้าเนเปียร์หมัก และอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกัน
- 1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

- 1.3.1 หล้าเนเปียร์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นหล้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ที่อายุเก็บเกี่ยว 35 และ 55 วัน ที่ได้มาจากสวนจิตรลดา
- 1.3.2 มูลโคนมที่ใช้ในการทดลอง เป็นของเสียจากฟาร์มโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ ฟริสเซียนหรือพันธุ์ชาวดำ ที่ได้จากสวนจิตรลดา
- 1.3.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของหล้าเนเปียร์ ได้แก่ ความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และคุณสมบัติทางกายภาพของมูลโคนม ได้แก่ ความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
- 1.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการทดลองที่ 1 ของหล้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential) เพื่อเลือกชนิดและอายุการเก็บเกี่ยวหล้าเนเปียร์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงที่สุด
- 1.3.5 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการทดลองที่ 2 ของหล้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน โดยการทดลองขั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank) เตินระบบถังหมักด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการทดลองเดินระบบแบบแบตช์ เพื่อเลือกระยะเวลาเก็บกักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรด การทดลองขั้นที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank) เตินระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ทำหน้าที่เป็นถังผลิตก๊าซชีวภาพ
- 1.3.6 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในการทดลอง ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ ของแข็งแขวนลอย ชนิดและปริมาณกรดไขมันระเหยสภาพต่างทั้งหมด สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซีไอดีทั้งหมด ซีไอดีกรอง ปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ร้อยละความเข้มข้นของก๊าซมีเทน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ข้อมูลเชิงเทคนิคและข้อมูลที่เหมาะสมต่อการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซชีวภาพต่อพื้นที่การเพาะปลูกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์
- 1.4.2 เพื่อนำข้อมูลอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ที่เหมาะสมมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการเดินระบบถังหมักแบบสองขั้นตอนสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ในอนาคตต่อไป



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พืชชีวมวล

2.1.1 สารชีวมวล

สารชีวมวล หมายถึง สารที่ได้จากพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม ไม่ว่าจะมาจากการเพาะปลูกพืชโดยตรง ของเสียจากสัตว์ และจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน ต่อโดยแหล่งที่มานั้นอาจมาจากของเสียจากการเกษตรจากพืช และสัตว์ เช่น ฟางข้าว เปลือกข้าว มูลสัตว์ เป็นต้น และการเพาะปลูกโดยตรง เช่น หญ้าเนเปียร์ หญ้าสวิตช์ ปาล์มน้ำมัน อ้อย เป็นต้น สารชีวมวลที่ได้จากพืชเกิดจากการสังเคราะห์แสง ดังนั้นเมื่อนำสารชีวมวลที่ได้จากพืชมาใช้เป็น พืชพลังงานทำให้ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสู่ชั้นบรรยากาศ (สถาบันวิจัยด้านพลังงานประเทศญี่ปุ่น, 2551)

2.1.2 พลังงานจากชีวมวล

พลังงานจากพืชชีวมวล คือ พลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่างๆ โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ

กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ

1. การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผาจะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชีวมวลที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป

2. การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง เรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับกังหันก๊าซ (Gas Turbine)

3. การหมัก (Fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจนชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

4.1 กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

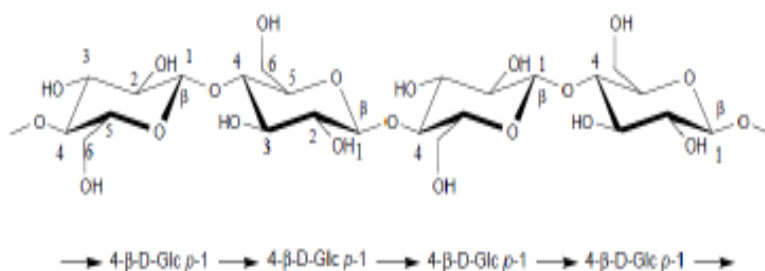
4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่น กระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัวเกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและก๊าซผสมกัน

ข้อดีของพลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด วงจรชีวิตของพืชมีระยะสั้น ต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งใช้เวลาหลายพันล้านปี ก่อมลภาวะน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากพืชปล่อยก๊าซซึ่งเป็นตัวก่อฝนกรด และโอโซน (O₃) น้อยกว่า และไม่เพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากพืชต้องดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้การนำแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ในภายในประเทศมาใช้ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

2.1.3 องค์ประกอบทั่วไปของสารชีวมวล

1) เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบไปด้วยโมโนเมอร์เพียงชนิดเดียวคือ ดีกลูโคส (D-glucose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้ากลูโคซิดิก (β -D-glucopyranose) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น (C₆H₁₂O₆)_n โดยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักที่พบในผนังเซลล์พืช มีหน้าที่ช่วยให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรง โดยปกติทั่วไปเซลลูโลสที่ประกอบอยู่ในพืชจะมีปริมาณประมาณร้อยละ 40 - 50 โดยน้ำหนัก (Hodgson และคณะ, 2010) เซลลูโลสไม่ละลายน้ำและร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้แต่สำหรับกระเพาะของวัว ควาย ม้า และสัตว์เท้ากีบจะมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ เซลลูโลส เมื่อถูกย่อยจะแตกตัวออกให้น้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

(Fras และคณะ, 2005)

เซลลูโลสสามารถแบ่งได้ 3 ชนิดตามลักษณะการละลายในกรดหรือด่าง (สุขใจ ชูจันทร์, 2554) คือ

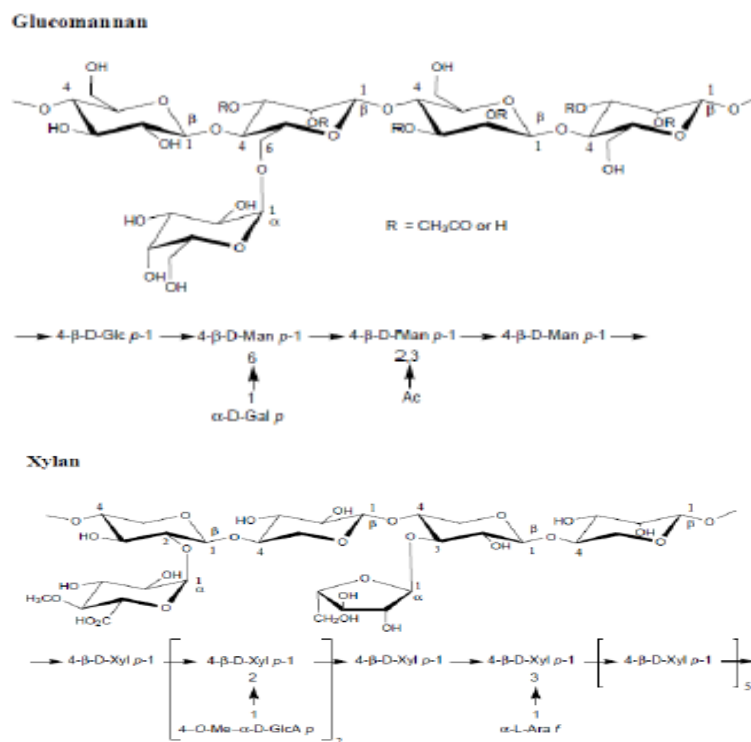
1. แอลฟาเซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่แท้จริงที่ไม่สามารถละลายได้ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

2. เบต้าเซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

3. แกมมาเซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและสารละลายกรดเจือจางแต่สามารถตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์

2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

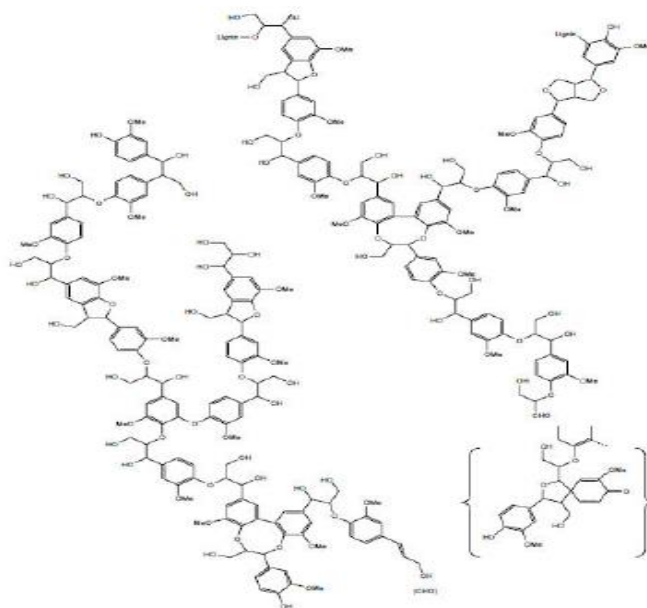
เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบโพลีแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์หลายชนิดประกอบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน ทำหน้าที่เชื่อมประสานกลุ่มเส้นใยเซลลูโลสร่วมกับลิกนินและเพกตินซึ่งประกอบกันเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ทำให้เซลล์พืชมีความแข็งแรงและคงรูป (วิรงรอง กาญจนะ, 2555) โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายโดยสารละลายกรดแล้วให้โมเลกุลของน้ำตาลที่มีขนาดเล็กคือ โมเลกุลเดี่ยวของน้ำตาลกลูโคสแมนโนสไซโลสและอะราบิโนส โดยปกติเฮมิเซลลูโลสที่ประกอบอยู่ในพืชจะมีปริมาณประมาณร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนัก (Hodgson และคณะ, 2010)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสประเภทกลูโคแมนแนนและไซแลน
(Fras และคณะ, 2005)

3) ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินคือสารประกอบโพลีเมอร์เชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยปกติลิกนินที่ประกอบอยู่ในพืชมีปริมาณประมาณร้อยละ 27-32 โดยน้ำหนัก (Fras และคณะ, 2005) พบอยู่ร่วมกับเซลลูโลสเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับลำต้นโดยการแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสทำให้ลำต้นมีความแข็งแรง เนื่องจากลิกนินไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้พืชมีความแข็งแรงทนทาน ในพืชที่ยังอ่อนจะมีลิกนินน้อยและจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อพืชเจริญเติบโตมากขึ้น โครงสร้างลิกนินจึงยากที่จะสลายโดยจุลชีพและสารเคมี



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน

(Fras และคณะ, 2005)

4) แป้ง (Starch)

แป้งมีลักษณะคล้ายเซลลูโลส แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่วยของดีกลูโคส แต่ถูกเชื่อมกันโดยพันธะแอลฟาไกลูโคไซด์ ความต่างของแป้งและเซลลูโลส คือโครงสร้างพันธะเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำแต่บางส่วนของแป้งจะละลายในน้ำร้อนคืออะไมโล สำหรับส่วนที่ไม่ละลายคืออะไมโลเพกซิน โดยแป้งมักถูกพบในเมล็ด ราก และลำต้น

5) โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งกรดอะมิโนหลายตัวจะถูกโพลิเมอร์ไรซ์เข้าด้วยกัน มีคุณสมบัติต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนและอัตราส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโนและลำดับของโพลิเมอร์ไรเซชัน โปรตีนไม่ใช่สารประกอบพื้นฐานของสารชีวมวลและมีสัดส่วนน้อยกว่าสารชนิดอื่นๆ

6) สารอื่นๆ (Others)

สารอื่นๆ ได้แก่ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (Organic and Inorganic) ปริมาณของสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ มีได้หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สารอินทรีย์ที่มีจำนวนมากได้แก่ กลีเซอรอล ซูโครส เป็นต้น สารชีวมวลนั้นประกอบไปด้วยสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ และยังประกอบด้วยสารอนินทรีย์ เช่น ซีลีเนียมในจำนวนน้อย ธาตุโลหะพื้นฐาน เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส ซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก เป็นต้น

2.2 หญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 (*Pennisetum purpureum* cv. Pakchong 1) เป็นหญ้าลูกผสมเนเปียร์ ซึ่งเกิดระหว่างหญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) กับหญ้าไข่มุก (*Pennisetum americanum*) เป็นพืชอาหารสัตว์ที่มีศักยภาพสูงทั้งในแง่การให้ผลผลิต และมีคุณค่าทางอาหารสัตว์ที่สัตว์ต้องการเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคเนื้อ โคนม โคเนื้อ กระบือ แพะ และแกะ เป็นต้น ปัจจุบันกรมปศุสัตว์ได้สนับสนุนส่งเสริมเกษตรกรปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศไทย หญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้มีอายุหลายปี โตเต็มที่สูงประมาณ 4 เมตร มีระบบรากที่แข็งแรง ดูดซึมน้ำและปุ๋ยได้ดี ลักษณะลำต้นและทรงต้นตั้งตรงปลูกขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ (ไกรลาส เขียวทอง, 2554)



รูปที่ 2.4 หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 จากแปลงทดลองปลูกหญ้าเนเปียร์ สวนจิตรลดา (ไกรลาส เขียวทอง, 2554)

ลักษณะเด่นของหญ้าชนิดนี้เติบโตเร็ว ให้ผลผลิตต่อไร่สูง โปรงตื้นสูง แตกกอดี ทนแล้ง ในฤดูหนาวยังเติบโตได้ดีไม่ชะงัก ไม่มีระยะพักตัว ใบและลำต้นอ่อนนุ่ม ขอบใบไม่คมไม่มีขน ระยะ

ออกดอกสั้น ไม่ติดเมล็ด ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี ปรับตัวได้ดีในดินหลายสภาพ ไม่มีโรคและแมลงรบกวน เก็บเกี่ยวง่าย ปลูกครั้งเดียวสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 6-7 ปี พื้นที่ปลูกที่เหมาะสมสามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เจริญเติบโตได้ดีในดินหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินร่วนปนทราย ดินเหนียว หรือดินลูกรัง ชอบดินที่มีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ ทนแล้ง แต่ไม่ทนน้ำท่วมขัง หญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้ต้องการแสงแดดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตพบว่า การปลูกใกล้ร่มเงาหรือที่ร่ม ในสวนผลไม่จะให้ผลผลิตไม่มาก จึงควรปลูกในบริเวณพื้นที่ที่มีแสงแดดส่องถึงอย่างเพียงพอ

2.2.1 การเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์

ช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจากงานวิจัยพบว่าการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ที่ช่วงอายุ 35 วัน มีโปรตีนหายาสสูงถึงร้อยละ 12.8 และส่วนที่สามารถย่อยสลายได้มากกว่าในช่วงอายุอื่นเพราะมีปริมาณเส้นใยดิบน้อยกว่า ช่วงอายุ 45 วัน ได้ผลผลิตน้ำหนักแห้งทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 2,079 กิโลกรัมต่อไร่ และในช่วงอายุนี้อีกยังทำให้ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด (สำราญ วิจิตรพันธ์, 2554) แต่หญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 วัน จะมีปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในปริมาณสูงสุด อีกทั้งในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวมาก ๆ จะมีผลผลิตน้ำหนักแห้ง และปริมาณโปรตีนหายาบลดลงด้วย ซึ่งส่งผลให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพต่ำ (ประพนธ์ บุญเจริญ, 2553)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์
(วรพงษ์ สุริยจันทร์าทอง, 2529)

อายุการเก็บเกี่ยว	วัตถุแห้ง						
	ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)	โปรตีน (%)	ADF (%)	NDF (%)	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โปแตสเซียม (%)
35 วัน	2,079	12.8	41.7	67.0	1.33	0.16	1.61
45 วัน	1,817	11.1	43.2	69.8	1.44	0.12	1.54
55 วัน	1,560	8.5	45.8	71.8	1.07	0.09	1.39
65 วัน	1,308	6.0	46.5	72.5	0.97	0.09	1.31

หมายเหตุ :

Neutral Detergent Fiber (NDF) หรือ Cell wall constituent คือ ส่วนประกอบของผนังเซลล์ซึ่งไม่สามารถละลายในละลาย Detergent ที่เป็นกลางประกอบด้วย พวกเยื่อใยทั้งหมดคือ

เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน คิวติน ซิลิกา เคราติน วัตถุประสงค์ส่วนนี้เป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องเท่านั้น เพราะในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสได้

Acid Detergent Fiber (ADF) ประกอบด้วย

- Cellulose คือ เยื่อใยที่จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตพวกที่ไม่ละลายน้ำ น้ำย่อยของสัตว์ทุกชนิดไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ แต่จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และลำไส้ส่วน Caecum ของม้า และกระต่าย สามารถย่อยเซลลูโลสได้ ดังนั้นสัตว์เคี้ยวเอื้อง ม้า และกระต่ายจึงสามารถใช้ประโยชน์ได้ แต่การย่อยได้ของเซลลูโลสจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณลิกนิน

- Lignin เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงเป็นส่วนประกอบของเปลือก ซังหรือส่วนที่เป็นเยื่อใยของราก ลำต้น และจะถูกสร้างจากส่วนโคนต้นไปสู่อยอด เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ปริมาณลิกนินจะเพิ่มขึ้นด้วย จากการที่ลิกนินเป็นสารที่ไม่มีสัตว์ชนิดใดใช้ประโยชน์ได้เลย ในขณะที่เดียวกับการที่ลิกนินอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้การย่อยได้ของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสลดลงด้วย ดังนั้นปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสมีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ม้า และกระต่าย

- Cutin เป็นสารที่เคลือบผิวด้านนอกของผนังเซลล์ของพืช ส่วนใหญ่จะพบบนผิวของเมล็ด มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง และถ้ามีมากอาจจะลดการย่อยได้ของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

- Acid Insoluble Ash (AIA) คือส่วนของเถ้าที่ไม่ละลายในกรด จัดเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ประกอบด้วย ซิลิกาซึ่งส่วนใหญ่ร่างกายสัตว์ไม่สามารถจะย่อยสลายหรือดูดซึมได้ และยังทำให้การย่อยได้ของอาหารลดลง

การวิเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์พืชด้วยวิธี Detergent method

$$\% \text{Hemicellulose} = \% \text{NDF} - \% \text{ADF}$$

$$\% \text{Cellulose} = \% \text{ADF} - \% \text{ADL}$$

2.2.2 การเก็บรักษาเนเปียร์

หญ้าหมัก หมายถึง พืชอาหารสัตว์ต่างๆที่เก็บรักษาไว้ในสภาพความชื้นสูงในที่ไม่มีอากาศ ซึ่งการเก็บถนอมในลักษณะหมักนี้สามารถอยู่ได้เป็นเวลานาน โดยส่วนประกอบต่างๆ และคุณค่าของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง

1) ประเภทของหญ้าหมัก สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. หญ้าหมักสด คือ หญ้าที่ได้จากการใช้พืชสด มีความชื้นสูงจากการตัดโดยตรงแล้วนำมาหมัก

2. หญ้าหมักแห้ง คือ หญ้าหมักที่ได้จากการใช้พืชสดนำมาผึ่งแดดระยะสั้นเพื่อไล่ความชื้นออกให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 25-55 แล้วจึงนำมาบรรจุหลุมหมักและต้องสับให้สั้นกว่าชนิดแรกเพื่อให้การอัดแน่นเป็นไปได้อย่างดี เนื่องจากความชื้นต่ำการเกิดปฏิกิริยาของจุลินทรีย์จึงค่อนข้างกำจัดส่งผลให้การผลิตกรดแลคติกน้อย ค่าความเป็นกรดต่างจึงต่ำได้

2) ปัจจัยที่ควบคุมคุณภาพของหญ้าหมัก

ในการทำหญ้าหมักเพื่อให้ได้หญ้าหมักที่มีคุณภาพสูงจะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ชนิดของพืชที่เหมาะสม ในการทำหญ้าหมักควรเลือกพืชที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งหรือน้ำตาลสูงๆ เพื่อเป็นอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกเจริญได้รวดเร็ว ลักษณะของพืชที่สามารถนำมาหมักควรมีลำต้นตันเพื่อลดช่องว่างอากาศภายในให้น้อยที่สุด หญ้าที่นิยมนำมาทำการหมัก เช่น หญ้ารูซี หญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าเนเปียร์ เป็นต้น

2. ระยะเวลาในการตัดพืชมาทำหญ้าหมัก หมายถึง อายุของพืชที่เหมาะสมไม่แก่ และไม่อ่อนจนเกินไปโดยตัดในช่วงที่พืชให้ผลผลิตสูง มีคุณค่าทางอาหาร ได้แก่ โปรตีน และแร่ธาตุที่เพียงพอ

3. ความยาวของท่อนพืช เนื่องจากหญ้าหมักต้องอยู่ในสภาพสุญญากาศ ดังนั้นการตัดหรือสับพืชให้เป็นชิ้นจะมีผลต่อการอัดแน่นเพื่อไล่อากาศออก ความยาวของพืชจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย ถ้าเป็นพวกหญ้าก็ขึ้นกับลำต้นว่าอวบน้ำมากน้อยแค่ไหน หญ้าที่มีความชื้นน้อยควรหั่นให้สั้นกว่าหญ้าที่มีความชื้นสูง การที่ต้องตัดพืชเป็นท่อนสั้นๆนั้น เพื่อช่วยในการอัดแน่นในถังหมักทำได้ง่ายและทำได้ดีขึ้น รวมทั้งเพื่อให้ น้ำตาลถูกปล่อยออกมาได้เร็วซึ่งจะช่วยให้เกิดกรดแลคติกเร็วขึ้นเป็นผลดีต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

4. ระดับความชื้นที่เหมาะสมในพืช ปกติแล้วพืชที่จะนำมาหมักจะมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 65-70 ถ้าพืชแห้งเกินไปจะอัดให้แน่นได้ยากทำให้มีอากาศหลงเหลือค้างอยู่มาก เป็นผลทำให้เกิดเชื้อราได้ง่าย พืชหมักที่มีความชื้นต่ำจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดลดลงด้วย ดังนั้นถ้าพืชแห้งมากไปอาจแก้ไขโดยพยายามตัดเป็นท่อนสั้นๆ ในทางตรงกันข้ามถ้าพืชที่นำมาหมักมีความชื้นมากเกินไปโอกาสที่จะทำให้หญ้าหมักมีคุณภาพลดลงก็มากขึ้น อาจทำให้หญ้าหมักมีลักษณะเป็นเมือกหรือเปรี้ยวจัดเกินไป ดังนั้นถ้าหากพืชมีความชื้นมากเกินไปจำเป็นต้องลดความชื้นลงไปบ้างโดยการตัดพืชแล้วผึ่งแดดไว้ในแปลงสัก 2-3 ชั่วโมง จะทำให้น้ำลดลง

5. การกำจัดอากาศออกจากถังหมัก ในการทำหญ้าหมักมีหลักสำคัญอยู่ที่จะต้องทำให้เกิดกรดแลคติกให้เร็วที่สุดและมากที่สุด เพราะเป็นกรดที่รักษาคุณภาพของพืชหมัก เป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญขยายจำนวนขึ้น ต้นพืชสดเมื่อตัดมาใหม่เซลล์ของพืชยังมีชีวิตอยู่

จะหายใจโดยใช้ออกซิเจนที่หลงเหลืออยู่ระหว่างชั้นพีชในถังหมัก และคายคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อนออกมา ถ้ายังมีอากาศอยู่ภายหลังเซลล์พีชตายแล้วพวกเชื้อราและยีสจะเจริญขึ้น ทำให้หมักหมักมีคุณภาพไม่ดี ด้วยเหตุนี้จึงต้องพยายามกำจัดอากาศออกจากถังหมักให้มากที่สุด เพื่อเมื่อเซลล์พีชตาย เชื้อแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งเป็นพวกที่สร้างกรดอินทรีย์ต่างๆ เจริญขยายจำนวนช่วยให้พีชอยู่ในรูปของพีชหมัก

6. สารช่วยหมัก เป็นพวกสารหรือวัตถุดิบที่ใส่เพื่อเพิ่มคุณภาพของหมักหมัก นอกจากนี้ปัจจัยต่างๆที่กล่าวมา การที่จะทำให้เกิดกรดแลคติกเร็วและมากนั้นพีชหรือหญ้าที่จะนำมาทำหมักจะต้องมีระดับน้ำตาลที่พอเพียง ถ้าหากว่าพีชขาดคุณสมบัติก็ควรเติมสารช่วยหมัก เช่น

ก. กากน้ำตาล จะใช้ใส่หญ้าหมักที่ทำจากพีชที่มีระดับน้ำตาลต่ำเพราะน้ำตาลในกากน้ำตาล มีแบคทีเรียสามารถใช้เป็นอาหารและเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติกได้ง่าย นอกจากนี้กากน้ำตาลยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมักด้วย ถ้าหากเป็นพีชหญ้าทั่วไปควรใช้กากน้ำตาลประมาณร้อยละ 3-5 โดยน้ำหนัก แต่ยังขึ้นกับความอ่อนแก่ของพีชคือ พีชอ่อนต้องใช้กากน้ำตาลมาก พีชแก่ใช้การน้ำตาลน้อยลง

ข. เมล็ดธัญพืชบด มันสำปะหลังบด จะใช้ในอัตราร้อยละ 5-10 ของพีชหมักจะช่วยให้การทำงานของแบคทีเรียในการสร้างกรดที่จำเป็นในการรักษาคุณภาพของหญ้าหมักเกิดขึ้นได้อย่างพอเพียง และช่วยลดความชื้นของพีชหมักที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงเกินไป

ค. กรดชนิดต่างๆ เป็นการเติมเพื่อรักษาสภาพของพีชหมักให้มีกรด และให้มีกรหมักที่เหมาะสม โดยการเติมกรดลงไปในพีชหมักตรง กรดที่นิยมใช้ คือกรดฟอร์มิกเนื่องจากมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยมากใช้ในอัตราประมาณ 2.25 ลิตรต่อน้ำหนักสดของพีช 1 ตัน

3) ลักษณะที่ดีของหญ้าหมัก ควรมีลักษณะดังนี้

1. สี หญ้าหมักที่ดีควรมีสีเขียวแกมเหลือง ถ้าปรากฏเป็นสีน้ำตาลไหม้หรือดำ แสดงว่าเกิดความร้อนมากเกินไปในขณะหมัก ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวเป็นสูญเสียธาตุอาหารต่างๆ

2. กลิ่น หญ้าหมักที่ดีควรมีกลิ่นหอมเปรี้ยวอ่อนๆ คล้ายผลไม้ดอง

3. เนื้อหญ้าหมัก ต้องไม่เป็นเมือก ไม่เละ ไม่มีราหรือส่วนบูดเน่า ถ้ามีสีขาวเป็นเส้นกระจายบนหญ้าหมัก แสดงว่า เกิดราทำให้คุณภาพของหญ้าหมักด้อยลง

4. ความชื้น ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 65-70 หากมีความชื้นสูงกว่านี้พีชหมักจะเปรี้ยวมากและเกิดการสูญเสียธาตุอาหารออกมากับของเหลว ถ้าความชื้นน้อยเกินไปทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกลดลงทำให้หญ้าหมักเสียได้ง่าย

5. ความเป็นกรด ควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 3.5-4.2 โดยมีกรดแลคติกอยู่มากกรดอะซิติกเป็นส่วนน้อย และไม่ควรมีกรดบิวทิริก หรือให้มันน้อยที่สุด หญ้าที่ดีไม่ควรเปรี้ยวจัดเกินไป หญ้าหมักที่มีคุณภาพดีควรมีสัดส่วนกรดต่างๆ ดังนี้

กรดแลคติก	1.5–2.5	เปอร์เซ็นต์
กรดอะซิติก	0.5–0.8	เปอร์เซ็นต์
กรดบิวทีริก	< 0.1	เปอร์เซ็นต์

4) วิธีการทำหลุมหมัก มีหลายรูปแบบต่างๆ ดังนี้

1. หลุมหมักแบบราง โดยขุดเป็นรางลึกลงในดิน พื้นเป็นดินหรือเทคอนกรีตให้มีความลาดชันเล็กน้อย เพื่อระบายของเหลวออกได้ง่าย นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากลงทุนไม่มากนัก และมีประสิทธิภาพในการเก็บสูง การสูญเสียของหลุมหมักอาจจะน้อยเพียงร้อยละ 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น



รูปที่ 2.5 หลุมหมักแบบราง
(กรมปศุสัตว์, 2544)

2. หลุมหมักแบบกำแพงคอนกรีต ลักษณะเป็นรางยาวฝาผนังคอนกรีต เป็นหลุมที่ไม่ต้องขุดลงในดิน เหมาะสำหรับบริเวณน้ำใต้ดินสูง ลักษณะเป็นรางยาวฝาผนังคอนกรีต



รูปที่ 2.6 หลุมหมักแบบกำแพงคอนกรีต
(กรมปศุสัตว์, 2544)

3. หลุมหมักแบบปล่อง โดยก่อคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอกอยู่บนดิน มักมีความสูงเป็นสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ปัจจุบันไม่นิยมใช้

4. หลุมหมักแบบท่อ เป็นท่อที่ขุดลงไปใต้ดิน ไม่เหมาะสำหรับบริเวณที่มีน้ำใต้ดินสูง

5. หลุมหมักแบบสุญญากาศ เป็นถุงที่ทำจากพลาสติก ถ้าเป็นถุงขนาดใหญ่ต้องสูบลมออกภายหลังจากบรรจุหญ้าเต็มแล้ว สะดวกในการปฏิบัติ แต่ข้อเสียที่ถุงมักฉีกขาด เนื่องจากคุณภาพไม่ดี นอกจากนี้ยังถูกแมลงและสัตว์กัดทำลาย



รูปที่ 2.7 ถุงหมักแบบสุญญากาศ

6.หมักแบบม้วนก้อน เป็นการทำหญ้าหมัก โดยใช้เครื่องอัดหญ้าเป็นม้วนก้อนและพันด้วยแถบพลาสติกครอบก้อนหญ้า ซึ่งมีความหนาประมาณ 4-6 ชั้น



รูปที่ 2.8 หมักแบบม้วนก้อน

(กรมปศุสัตว์, 2544)

7.หมักแบบบรรจุในภาชนะจากผลพลอยได้ของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการทำหญ้าหมักโดยนำถังพลาสติก ถังน้ำมัน หรือภาชนะใดๆ มาบรรจุหญ้าแล้วอัดให้แน่น ปิดฝาให้สนิทเพื่อให้ อยู่ในสภาพสุญญากาศ



รูปที่ 2.9 หมักแบบบรรจุในภาชนะ

(กรมปศุสัตว์, 2544)

5) ขั้นตอนการทำหญ้าหมัก แบ่งออกได้ ดังนี้

- 1.การตัดหญ้าในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม และควรหั่นหญ้าให้มีขนาด 2-3 เซนติเมตร เพื่อช่วยให้การอัดหญ้าได้แน่น
- 2.การบรรจุลงถุงพลาสติกจำเป็นต้องอัดหญ้าให้แน่น ในกรณีที่มีการเติมสารช่วยหมักเสริม เช่น กากน้ำตาล เมล็ดธัญพืช หรือกรดต่างๆ จะต้องคลุกเคล้ากันให้ทั่วหรือผสมทำเป็นชั้นๆสลับกับหญ้าจนเต็มถุง
- 3.ปิดถุงพลาสติกที่บรรจุให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศซึมเข้าไปในถุงพลาสติก
- 4.การเก็บและเปิดใช้หญ้าหมัก ภายหลังจากการปิดถุงพลาสติกแล้วเก็บทิ้งไว้ 3-4 สัปดาห์ ก็จะทำให้ได้หญ้าหมักที่สมบูรณ์สามารถนำไปใช้ได้



รูปที่ 2.10 ลักษณะหญ้าหมักภายหลังจากได้ 3-4 สัปดาห์

(เกียรติศักดิ์ กล้าเอม, 2544)

6) ข้อดีและข้อด้อยของหญ้าหมัก (เกียรติศักดิ์ กล้าเอม, 2544)

1.ข้อดี

- สามารถทำได้ทุกฤดูกาล
- สามารถใช้ทุกส่วนของหญ้าให้เป็นประโยชน์
- ใช้พื้นที่ในการเก็บรักษาน้อย
- หญ้าหมักมีลักษณะอวบน้ำ

2.ข้อด้อย

- ต้องมีความรู้ความชำนาญในการทำหญ้าหมัก
- เปลืองแรงงานและลงทุนมากกว่าการทำหญ้าแห้ง
- เป็นราเสียหายง่าย เมื่อเปิดถุงแล้ว
- เนื่องจากหญ้าหมักมีฤทธิ์เป็นกรดจึงทำลายภาชนะที่เป็นโลหะได้

2.2.3 การผลิตพลังงานจากหญ้าเนเปียร์

ข้อมูลจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ปี 2555 ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ทำการศึกษาวิจัยสถานะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้า จำนวน 17 ชนิด ได้แก่ หญ้าแพงโกล่า หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หญ้าอะตราดัม หญ้ารูซี่ หญ้าบาน่า หญ้ากินนีสีม่วง หญ้ากรีนแพนิก หญ้าชิตาเรีย หญ้าชิกแนลนอน หญ้ากินนีมอมบาซา หญ้าขน หญ้าชันกาด หญ้าแซมอ้อ (อ้วนน้อย) หญ้าแซมใบเล็ก หญ้าแซมใบใหญ่ หญ้าขจรจบ หญ้าแฝก พบว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 มีผลผลิตต่อไร่มากที่สุด โดยมีผลผลิตเท่ากับ 70-80 ตันน้ำหนัสดต่อไร่ต่อปี มากกว่าหญ้าชนิดอื่นๆ เกือบ 7 เท่า มีโครงสร้างสารอาหารเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถทำให้เกิดก๊าซได้ มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าหญ้าชนิดอื่นๆ โดยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 6,860–7,840 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี

2.2.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชชีวมวล

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชชีวมวล ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

1) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter; AF) มีลักษณะเป็นบ่อหรือถังปิดภายในบรรจุตัวกลาง (Packing media) โดยตัวกลางจะมีพื้นที่จำเพาะสูง เพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตและยึดเกาะบนผิววัสดุ และมีช่องว่างสูงเพื่อป้องกันการอุดตัน ระบบนี้จะมีทิศทางการไหลจากด้านบนลงสู่ก้นถัง (Down flow) หรือไหลจากก้นถังขึ้นด้านบนก็ได้ (Up flow) โดยน้ำจะไหลผ่านชั้นแบคทีเรียคล้ายการกรอง จึงเรียกถังแบบนี้ว่า “ถังกรองไร้ออกซิเจน” ซึ่งการจัดเรียงวัสดุที่แตกต่างกัน ส่งผลถึงการทำงานและเสถียรภาพของระบบในระยะยาวด้วยการทำงานจะเริ่มจากการป้อนน้ำเสียเข้าระบบผ่านท่อกระจายให้ไหลผ่านชั้นแบคทีเรียซึ่งยึดเกาะอยู่บนผิววัสดุตัวกลาง โดยแบคทีเรียใช้สารอินทรีย์ในน้ำเป็นแหล่งอาหาร และเกิดแก๊สชีวภาพไหลขึ้นทางด้านบนของถังกรองไร้ออกซิเจน ซึ่งสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่แขวนลอยและสารละลายที่มีอยู่ในน้ำ โดยการดึงสารอินทรีย์เข้ามาใกล้ผิวแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่บนผิวตัวกลาง ข้อดีของระบบนี้ คือ ควบคุมดูแลง่าย มีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพสูง ข้อเสียของระบบอยู่ที่ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากค่าวัสดุตัวกลางที่ใช้ และในระบบที่มีขนาดใหญ่การติดตั้งตัวกลางอย่างเป็นระบบ จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีฝีมือ ค่าใช้จ่ายจึงสูง นอกจากนี้ระบบที่ใส่วัสดุตัวกลางแบบไม่สม่ำเสมอจะมีปัญหาในเรื่องของการอุดตันและเกิดการไหลลัดวงจรของน้ำได้

2) ระบบแอนแอโรบิคคอนแทค (Anaerobic Contact; AC) ซึ่งอาศัยหลักการนำตะกอนแบคทีเรียที่จมตัวในถังตกตะกอนย้อนกลับมาเติมในถัง หมัก ซึ่งทำให้ถังหมักมีตะกอนแบคทีเรียสูง จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูง ระบบหมักแบบนี้มีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพสูง และค่าก่อสร้างระบบหมักไม่สูงมากนัก แต่ก็มีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ มีความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมดูแลระบบ ทั้งนี้เนื่องจากต้องระวังในการควบคุมปริมาณแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม ต้องมีการกวนผสมในถังหมักตลอดเวลา และตะกอนแบคทีเรียมีคุณสมบัติจมตัวยาก ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นที่ช่วยทำให้ตะกอนแบคทีเรีนี้น้ำจมตัวดี ขึ้น ระบบถังหมัก AC นี้ มักใช้กับน้ำเสียปริมาณสูง ซึ่งทำให้ค่าก่อสร้างระบบต่ำกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมัก AF

3) ระบบถังแบบตะกอนลอย (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) โดยออกแบบให้แบคทีเรียยึดเกาะกันเองจนเป็นเม็ดตะกอน (Granule) โดยเม็ดตะกอนที่ดีควรมีความหนาแน่นสูงและตกตะกอนได้ดี การควบคุมการไหลของน้ำเข้าบ่อที่เหมาะสมจะทำให้เม็ดตะกอนลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ไม่จมลงก้นถังหรือไหลหลุดออกจากระบบ โดยมีทิศทางการไหลจากด้านล่างขึ้นบน โดยแบคทีเรียที่ก้นถังจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง หรือ Sludge bed เป็นตะกอนเม็ด ขนาด 2 - 5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นแบคทีเรียใยยาวเกาะกันมีความหนาแน่นสูง และเนื่องจากทิศทางการไหลของน้ำเป็นแบบล่างขึ้นบนทำให้ส่วน Sludge bed ได้รับสารอาหารสูงกว่าส่วนอื่น ดังนั้นส่วนนี้จะเป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสูง ส่วนชั้นบนหรือ Sludge blanket จะเป็นชั้นตะกอนหนาแน่นต่ำกว่าและมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่า โดยจุลินทรีย์จะลอยฟุ้งกระจายด้วยแรงของน้ำและแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการย่อย สำหรับด้านบนของถังส่วนบนของระบบ UASB จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas solid separator (GSS) ทำหน้าที่แยกแก๊ส และป้องกันไม่ให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำเสีย

4) ระบบถังแบบลีชเบด (Leach Bed Reactor) มีการแลกเปลี่ยนน้ำจากถังหมักถังแรกที่เกิดกระบวนการย่อยสลายแล้วไปยังถังหมักใหม่ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายและเป็นการเติมกล้าเชื้อในถังหมักใหม่ รวมทั้งเป็นการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายบางส่วนจากถังหมักใบแรกเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะเปรี้ยว (Sour condition) ซึ่งอาจยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ซึ่งระบบจะดำเนินไปเช่นนี้จนกระทั่งในถังหมักใหม่เริ่มมีแก๊สมีเทน จึงเกิดการหยุดหมุนเวียนน้ำชะสารอินทรีย์จากถังหมักใบแรก แต่จะหมุนเวียนน้ำชะสารอินทรีย์จากถังหมักใบที่สองไปยังถังหมักต่อไปอีก ซึ่งหลักการดังกล่าวอาจจะเรียกว่า การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่อเนื่อง (Sequential batch anaerobic composting)

5) ระบบแบบราง (Channel Digester) ระบบแบบรางเป็นระบบที่พัฒนามาจากบ่อแบบท่อไหล (Plug flow) มีลักษณะยาวคล้ายราง โดยความยาวจะมากกว่าความกว้างไม่น้อยกว่า 4-5 เท่า จะมีท่อล้นออกอยู่ส่วนหัวและท้ายของระบบ ปลายท่อเติมและท่อล้นจะจมอยู่ในของเหลวภายใน

ระบบ เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สชีวภาพรั่วออกมาได้ ตัวระบบจะถูกฝังอยู่ในดิน ส่วนที่เก็บแก๊สจะทำด้วยพลาสติกหรือแผ่นพีวีซีซึ่งจะอยู่บนดิน ระบบนี้จะมีแรงดันต่ำมาก การที่จะนำแก๊สชีวภาพไปใช้งาน จำเป็นต้องมีเครื่องส่งแก๊สช่วยส่งแก๊สไปยังอุปกรณ์ที่จะใช้งาน ในการเดินระบบจะต้องมีการดึงกากที่ผ่านการย่อยสลายสมบูรณ์ประมาณร้อยละ 1 ของปริมาตรต่อวัน เพื่อป้องกันการสะสมของตะกอนในระบบมากเกินไป จึงทำให้ระบบแบบรางไม่จำเป็นต้องขุดลอก โดยตะกอนที่สูบออกมาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะถูกนำไปตากให้แห้งในลานตากตะกอน อีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปหมუნเวียนกลับสู่บ่อรวบรวมน้ำเสีย เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณแบคทีเรีย และเป็นการผสมเชื้อแบคทีเรียเข้ากับน้ำเสีย ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วยิ่งขึ้น โดยระบบนี้ก่อสร้างง่าย ไม่ต้องมีอุปกรณ์ติดตั้งภายในบ่อ ไม่เกิดการหลุดออกจากระบบของตะกอนจุลินทรีย์ การดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อจำกัดคือ การกวนผสมภายในบ่อขึ้นอยู่กับกำลังของน้ำและแก๊สที่เกิดขึ้นในบ่อเท่านั้น

6) ระบบถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Complete Stirred Tank Reactor, CSTR) เป็นการเรียกตามลักษณะของสสารที่อยู่ภายในถังซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) ถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์นี้ระยะเวลาที่เก็บของแข็ง (Solid retention time) เท่ากับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (Hydraulic retention time) ทำให้ถังปฏิกรณ์จะมีขนาดใหญ่หากของเสียหรือน้ำเสียที่เป็นวัตถุดิบย่อยสลายได้ยาก ใช้เวลานาน ถังกวนสมบูรณ์นี้จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (High concentration) มีสารแขวนลอยสูง หรือแม้กระทั่งมีสารพิษปนอยู่ (Toxic wastewater) ทั้งนี้เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการกวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจางทันที จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น ข้อดีของระบบถังกวนสมบูรณ์ คือรับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี และมีประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูงได้ดี เนื่องจากมีการกวนผสมที่ดี ข้อเสียของระบบถังกวนสมบูรณ์คือ ต้องการพลังงานในการกวนผสม มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียขาออกอยู่ในเกณฑ์สูงและมีจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบในปริมาณที่สูง (ศักรินทร์ หมูเทพ, 2555)

7) ระบบแผ่นกั้นแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor : ABR) เป็นถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบโดยมีการใช้ชุดของแผ่นกั้น (Baffles) เพื่อบังคับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ให้ไหลขึ้น และลงผ่านแผ่นกั้นจากทางที่น้ำเข้า (Inlet) ไปสู่ทางที่น้ำออก (Outlet) โดยจุลชีพที่อยู่ในระบบจะลอยขึ้นและตกตะกอนลง เนื่องจากลักษณะการไหลของน้ำเสีย และการเกิดของก๊าซแต่ละเคลื่อนที่ไปตามความยาวของถังปฏิกรณ์อย่างช้าๆ ดังนั้นน้ำเสียกับจุลชีพจะสามารถสัมผัสกันได้อย่างเต็มที่ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านระบบน้ำเสียที่ออกจากระบบจะมีปริมาณของแข็งทางชีวภาพปนออกมามากในปริมาณน้อย ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน คือออกแบบง่าย อุปกรณ์ในระบบไม่ต้องใช้เครื่องจักรในการกวนผสม ลดการอุดตันและการขยายตัวของตะกอนภายในระบบเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ไม่เกิดปัญหาจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ (wash out) เกิดการกักพิภพชีวมวลโดยไม่ต้องการ

ตัวกลาง ไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยแยกก๊าซ และระบบยังสามารถคงตัวได้ดี ในกรณีที่มีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์อย่างกะทันหัน ข้อเสียของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน คือออกแบบง่ายอุปกรณ์ในระบบไม่ต้องใช้เครื่องจักรในการกวนผสม ลดการอุดตันและการขยายตัวของตะกอนภายในระบบเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ไม่เกิดปัญหาจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ (wash out) เกิดการกักพิคชีวมวลโดยไม่ต้องการตัวกลาง ไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยแยกก๊าซ และระบบยังสามารถคงตัวได้ดี ในกรณีที่มีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์อย่างกะทันหัน ข้อเสียของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน คือไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นและสารแขวนลอยสูง เนื่องจากอาจเกิดการสะสมของตะกอนในแต่ละห้องโดยแขวนลอยบริเวณด้านหน้าของแผ่นกั้นทำให้เกิดขวางการไหลของน้ำเสียและก๊าซ (ธนวรรณ ดิลกการย์, 2553)

2.2.5 ปัญหา และอุปสรรคของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์

1) หญ้าเนเปียร์มีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน (สารอินทรีย์) และมีองค์ประกอบของไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำ จึงส่งผลให้หญ้ามีแนวโน้มจะขาดสภาพต่างในกระบวนการหมักย่อยได้ เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์ ประกอบกับหญ้ามีไนโตรเจนค่อนข้างต่ำมาก จึงส่งผลให้มีมีบัพเฟอร์หรือสภาพความเป็นด่างเพียงพอต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

2) หญ้าเนเปียร์มีปริมาณเส้นใยดิบ ประกอบด้วย ลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในปริมาณสูง ซึ่งเป็นสารย่อยยากในกระบวนการหมักไร้ออกซิเจนจึงส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณน้อยอีกด้วย

2.3 มูลโคนม

ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของเกษตรกรในประเทศไทยมีจำนวนมากขึ้น เนื่องจากการเลี้ยงโคนมทำให้มีรายได้ที่ดีขึ้น ปัญหาที่สำคัญสำหรับการเลี้ยงโคนม คือผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แหล่งน้ำปนผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน จากการศึกษาของ Archer และคณะ, 1992 น้ำเสียจากมูลโคนม (Cattle Slurry) มีค่าความสกปรกถึง 10,000–20,000 มิลลิกรัม และ Schofield และคณะ, 1990 ได้ศึกษาผลกระทบจากฟาร์มโคนมซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำในอ่างเก็บน้ำใกล้แหล่งเลี้ยงโคนมใน Wet Wales พบว่ามีค่าความสกปรกเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับเวลาหลังการล้างคอกโคนม และผลกระทบอีกอย่างหนึ่งคือ ผลกระทบกับสุขภาพของโคนม กรณีนำมูลโคนมไปทิ้งในบริเวณใกล้เคียงจนเป็นแหล่งเพาะพันธุ์พาหะของแมลงนำโรค โดยแมลงที่พบคือ ตัวริ้น จะเกาะอยู่บนตัวโคนมกระป้อมมากที่สุด ถ้ามีตัวริ้นอยู่มากๆอาจทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์ลดลงและผลผลิตต่างๆก็ลดลงไป

ด้วย ดังนั้นในปัจจุบันได้มีการนำมูลโคนมไปทำการหมักเป็นปุ๋ยหมัก หรือนำไปผลิตก๊าซชีวภาพเสียก่อน จากนั้นนำกากที่เหลือไปใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย เช่น ทำเป็นปุ๋ยสำหรับแบบหวานในส่วนผลไม้ และรองก้นหลุมปลูกพืช เป็นต้น

2.3.1 พันธุ์โคนม

โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟริเซียน (Holstein Friesian) หรือเรียกชื่อง่ายๆว่า โคนมพันธุ์ขาวดำ โคนมพันธุ์นี้มีขนาดใหญ่เพศผู้น้ำหนัก 800–1,000 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนัก 500–800 กิโลกรัม ผลิตน้ำนมเฉลี่ย 6,000–7,000 กิโลกรัมต่อระยะการให้นม มีนิสัยค่อนข้างเชื่อง รีดนมง่าย (กรมปศุสัตว์, 2544)



รูปที่ 2.11 โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟริเซียน (Holstein Friesian)
(กรมปศุสัตว์, 2544)

2.3.2 ปริมาณมูลโคนม

มูลโคนมจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะการให้อาหารเข้มข้น อาหารหยาด และอายุของโคนม สำหรับแม่โคนม 1 ตัว น้ำหนักตัว 450–650 กิโลกรัม จะขับถ่ายวันละ 25–30 กิโลกรัม มีความชื้นในมูลโคนมเท่ากับร้อยละ 81.3 ที่เป็นวัตถุแห้งร้อยละ 7.9 มีไนโตรเจนร้อยละ 2 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1.5 โปรแตสเซียมร้อยละ 2.2 หากมีการปล่อยทิ้งมูลโคนมออกจากนอกฟาร์มจะส่งผลให้ปนเปื้อนมลภาวะในแม่น้ำลำคลองได้จำนวนมาก (สุเมษ เมธศาสตร์, 2541)

2.3.3 มวลโคนมกับการผลิตก๊าซชีวภาพ

มวลโคนมเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ตารางที่ 2.2) โดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทนร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30-40 ก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 5-10 ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 1-2 และที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ

(กรมปศุสัตว์, 2544)

ชนิดของ มูลสัตว์	ปริมาณมูลสด (กก./ตัว/วัน)	อัตราส่วน มูลที่เก็บได้	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิต ได้ (10^6 ลบ.ม./ปี)	พลังงาน (เทราจูล/ปี)
1.โคนม	15.00	0.80	55.36	1,163
2.กระบือ	8.00	0.50	96.95	2,036
3.สุกร	2.00	0.80	24.90	523
4.ไก่	0.03	0.80	81.57	1,713

ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างก๊าซมีเทนคือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ที่อยู่ในช่วง 20-30 นั้นเหมาะสมกับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากหากค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) สูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้อย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน เพื่อให้ได้โปรตีนที่ต้องการ ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่เหลือ ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำ ในทางกลับกันหากค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ต่ำเกินไป ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมา และสะสมในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างที่สูงมากกว่า 8.5 จะส่งผลให้ไปยับยั้งจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของวัตถุดิบโดยทั่วไป
(Karki และคณะ, 1994)

วัตถุดิบ	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)
มูลโค กระป๋อง	24
มูลสุกร	18
มูลไก่	10
มูลช้าง	43
ผักตบชวา	25
เปลือกข้าวโพด	60
ฟางข้าว	70
ฟางข้าวสาลี	90

2.3.4 การใช้มูลโคนมเป็นวัสดุหมักร่วม

หลักเกณฑ์พื้นฐานของการเลือกวัตถุดิบในการหมักร่วมเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ คือ วัตถุดิบต้องประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบรอง โดยวัตถุดิบหลักเป็นพวกที่มีเส้นใยในปริมาณที่สูง และวัตถุดิบรองเป็นพวกมูลสัตว์หรือตะกอน การหมักร่วมช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) และช่วยเพิ่มค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ให้สูงขึ้นมากกว่าการหมักด้วยวัตถุดิบเพียงชนิดเดียว โดยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) มีส่วนช่วยยับยั้งการเปลี่ยนไนโตรเจนส่วนเกินไปเป็นแอมโมเนียอันเป็นตัวยับยั้งการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนอยู่ในช่วง 20–30 (จันทิมา ชั่งสิริพร, 2555)

งานวิจัยของ ไพศาล วงศ์กระโซ่, 2553 ศึกษาการหมักร่วมระหว่างไบogas พารา กับ มูลโคที่ ส่วนผสมต่างๆ เพื่อหาส่วนผสมที่ดีที่สุดในการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยหมักในขวดไร้ออกซิเจนขนาด 1 ลิตร เป็นเวลา 12 วัน ทำการป้อนวัสดุหมักแบบกะ (Batch) ทำการหมักระหว่างไบogas พารา กับ มูลโคนม ในอัตราส่วนผสมไบogas พารา 40 กรัมร่วมกับมูลโคร้อยละ 10 30 และ 50 โดยน้ำหนักวัด ปริมาตรแก๊สทุก 2 วันโดยการแทนที่น้ำ (Fluid displacement method) พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างไบogas พารา กับ มูลโคที่ร้อยละ 10 ผลิตแก๊สได้สูงสุดเท่ากับ 1,664.333 มิลลิลิตร รองลงมา คือ ร้อยละ 30 และ 50 ตามลำดับ

2.4 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ ทั้งจากพืช สัตว์หรือแม้แต่ของเสียจากสัตว์ รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายทั้งหมดเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (อิติคาร์ตัน เพ็ชรรอด, 2555) โดยรูปแบบและลักษณะของการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนที่นิยมทั่วไปมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

1) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาหุงในครัวเรือน เชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง

2) การนำก๊าซชีวภาพไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า ได้แก่ ใช้กับชุดเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) โดยผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์ภายในฟาร์ม ส่วนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในเครื่องยนต์นั้น สามารถใช้ได้กับเครื่องสันดาปภายใน (Internal combustion engine) เช่น รถยนต์ที่ใช้กันอยู่ทุกชนิด

3) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration system) จะเป็นการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกัน เป็นระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งรูปแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับความร้อนนี้อาศัยหลักการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากระบบการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้ากลับมาผลิตเป็นพลังงานความร้อน เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้าจะเกิดความร้อนในน้ำหล่อเย็น การนำเอาความร้อนทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย (ฐปน ชื่นบาล, 2556)

2.4.1 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

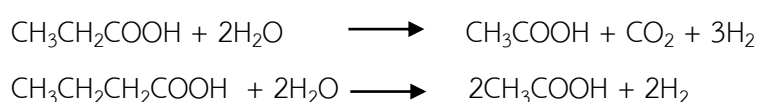
เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน โดยแบคทีเรียในการย่อยสลายมีหลายชนิดมีทั้งแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน และไม่ต้องการออกซิเจนซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ปฏิกริยาของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรีย

ปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่จนมีโมเลกุลเล็กสามารถผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าสู่ภายในเซลล์แบคทีเรียสร้างกรดได้ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นก่อนข้างข้างข้างจึงเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียกลุ่มอะซิโดเจเนติก (Acidogenic) โดยเกิดจากปัจจัยของค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งอยู่ในช่วง 6.0–7.0

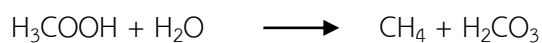
ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) เกิดจากการย่อยสลายของโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย เช่น อะซิติก บิวไทริก โพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสารตั้งต้นและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ตัวอย่าง เช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายกลายเป็นอะซิติกและไฮโดรคาร์บอนภายใต้สภาวะที่ความดันของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นบิวไทริก และโพรไพโอนิก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง น้ำถูกย่อยสลายเป็นอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิธี Embden-Meyerhof ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำ หากไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูงผลผลิตที่ได้ คือ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจเนติก (Acetogenic) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการสร้างกรดอยู่ในช่วง 6.2–6.7

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) เกิดจากการเปลี่ยน กรดไขมันระเหย เช่น อะซิติก บิวไทริก โพรไพโอนิกให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตจีนิคมีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนไรการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสารตั้งต้นเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโตจีนิค (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศสำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ตามลำดับ

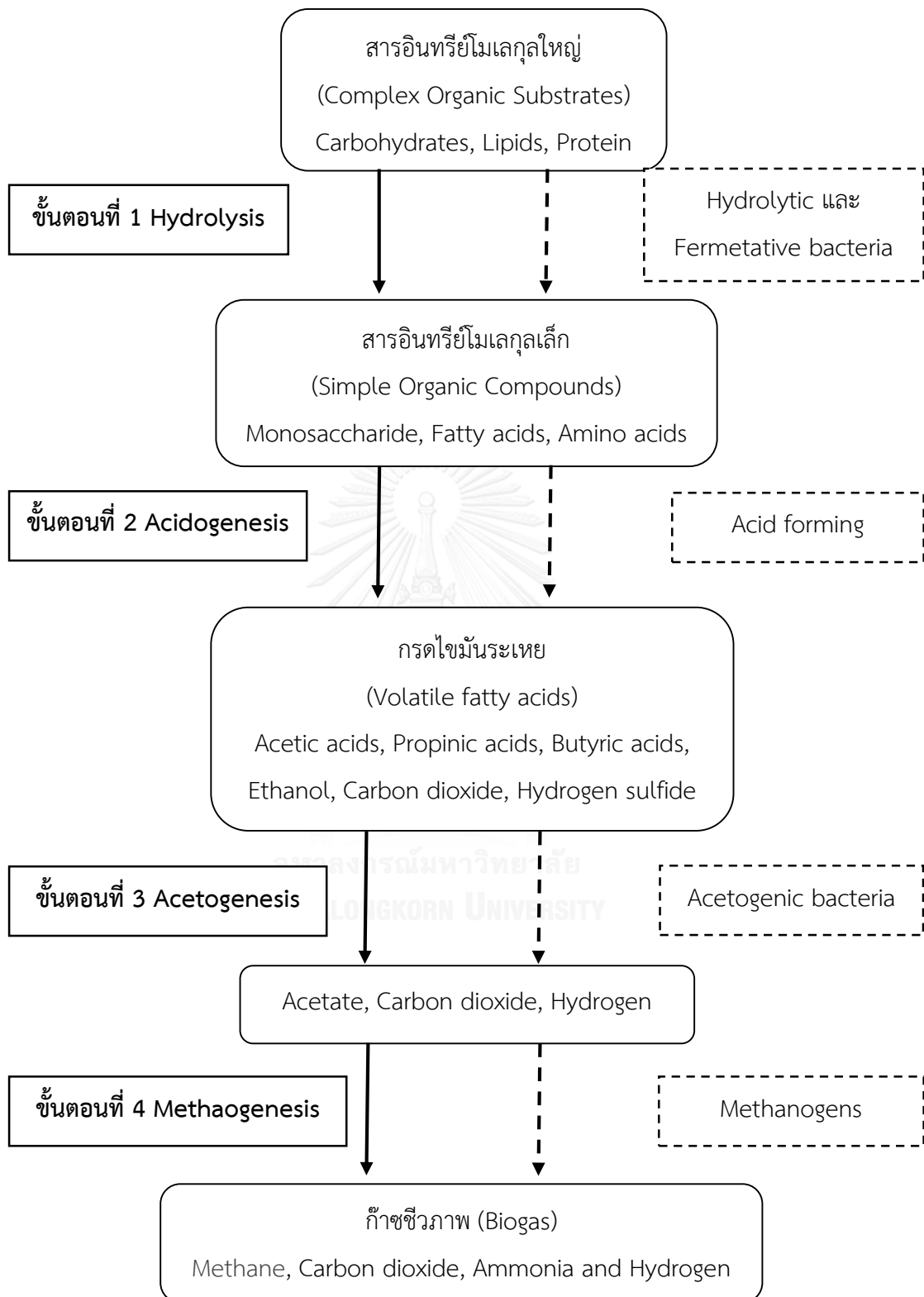


ขั้นตอนที่นี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลสูง ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (Acetogenic) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.7–7.0

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (Methaogenesis) เกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (Methanogens) โดยจุลินทรีย์ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซมีเทนส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน



โดยค่าความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 7.0 ขึ้นไป โดยลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน (อัจฉรา พิเลิศ, 2554) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

2.4.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสามารถจำแนกได้ ดังนี้ (วิรงรอง กาญจนะ, 2555)

1) แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)

ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไร้ออกซิเจน กรดจะผลิตขึ้น โดยแบคทีเรียไร้ออกซิเจนชนิด Obligate Anaerobes มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้ เพราะแบคทีเรียชนิด Obligate Anaerobes มีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียไร้ออกซิเจนชนิด Facultative ที่มีบทบาทในการสสหากรดไขมันระเหยก็คือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบจึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดบิวไทริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซิโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionic bacterium ที่ผลิตกรดไพรไพออนิก (Propionic Acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลคติก

2) แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลที่เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงมีการเปลี่ยน สารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1.แบคทีเรียผลิตอะซิติกอย่างเดียว (Homoacetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอน และผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้อากาศ) ผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ ได้แก่ Acetobacterium woodii และ Clostridium aceticum สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโตโทรฟิก (autotrophic) คือ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน และก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก



อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้โดยการหมักน้ำตาลดังสมการ



แบคทีเรียที่อยู่ในสกุล Clostridium พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมันระเหยทั่วไป (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ

2. แบคทีเรียที่สร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (H₂-Producing Acetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช้กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร และสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญเพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตามแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพังทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกริยาสร้างกรดอะซิติกไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นจะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียสร้างกรด

3) จุลินทรีย์สร้างมีเทน

จุลินทรีย์สร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียไร้ออกซิเจนชนิด Obligate Anaerobes ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในกลุ่มของจุลินทรีย์ชนิดเคโมเฮเทอโรโทรฟดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณ 10 ชนิดเท่านั้น

สารอาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากนี้ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหย เช่น บิวทิริก หรือโพรไพรอนิกซึ่งปกติเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์รีดิวซ์ซัลเฟต จุลินทรีย์สร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้

จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ได้แก่

- เมทานอเจนที่บริโภคเฉพาะอะซิเตท (Obligate Acetoclastic Methanogen) เป็นจุลินทรีย์สร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการดังนี้



- เมทานอเจนที่บริโภคเฉพาะไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen หรือ Hydrogen Utilizer) เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ตามสมการดังนี้



นอกจากก๊าซไฮโดรเจนแล้วจุลินทรีย์ชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียวเพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้

- เมทานोजินที่บริโภคนได้ทั้งไฮโดรเจนและอะซิเตท (Hydrogenotrophic/Acetoclastic Methanogen) เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน แต่ใช้ไฮโดรเจนได้ดีกว่า

2.4.3 ปัจจัยและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

เนื่องจากในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ แบคทีเรียไม่สร้างก๊าซมีเทนและแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้มีสภาพที่เหมาะสมที่จะทำให้แบคทีเรียเหล่านี้อยู่ด้วยกันได้เป็นอย่างดี การควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้แบคทีเรียอยู่ในสภาวะสมดุลกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางด้านการทำงาน (Ward และคณะ, 2008)

1) ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental factor)

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน โดยระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วงด้วยกันที่ทำให้ก๊าซมีเทนขึ้นในระบบได้ดี คือ ช่วง 30–38 องศาเซลเซียส และช่วง 48–57 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเดินระบบในช่วงอุณหภูมิสูง มีข้อเสีย คือ Thermophilic bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับ Mesophilic bacteria จึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวของระบบสูง และการเดินระบบที่อุณหภูมิสูงยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์อีกด้วย

2. ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)

เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.5–7.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ในกรณีถ้ามีการป้อนสารอินทรีย์เข้าไปในปริมาณมากเกินไปส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงถึง 6.5 โดยจะไปยับยั้งกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนวิธีแก้ไขคือ เติมน้ำจืดต่าง เช่น ปูนขาว เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้น แต่ถ้าการละลายกรดมากเกินไปจนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำถึง 6.4 จะทำให้ระบบล้มเหลวได้ต้องทำการเริ่มระบบใหม่

3.ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดต่าง และยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงเสถียรภาพของระบบ โดยถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าความเป็นกรดต่างของระบบให้คงตัวได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่างได้ง่าย ดังนั้นในการควบคุมระบบให้ทำงานเป็นปกติจึงจำเป็นต้องรักษาค่าความเป็นด่างไม่ให้มีค่าต่ำจนเกินไป เพื่อรักษาระดับค่าความเป็นกรดต่างในระบบ

4.กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid : VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบ การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งผลผลิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด โดยปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เพิ่มมากขึ้นในระบบอาจจะเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบได้ ในสภาวะปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยภายในถังปฏิกรณ์ควรควบคุมให้มีสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3-0.4

5.ธาตุอาหาร (Nutrient)

สารอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (Macronutrient) ได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) และสารอาหารรอง (Micronutrient) ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และนิกเกิล (Ni) ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 150:1.1: 0.2 (อาริยา วิริชวรกุล, 2546) โดยใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์พลังงานไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ดังนั้นในการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมจึงต้องใส่สารอาหารให้เพียงพอแก่ความต้องการเพราะของเสียที่เข้าสู่ระบบนั้นมี คุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

6.อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)

เนื่องจากคาร์บอนจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานของจุลินทรีย์ และไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเซลล์ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 20-30 การย่อยสลายจึงอยู่ในสภาวะสมดุล

7.ขนาดอนุภาค

ขนาดของอนุภาคมูลฝอยมีผลต่ออัตราการย่อยสลาย โดยถ้าลดขนาดของอนุภาคลงจาก 25 เซนติเมตร เหลือ 2.5 เซนติเมตร จะทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 4.4 เท่า

8. สารพิษ (Toxic substance)

สารที่มีพิษต่อแบคทีเรียในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนมีอยู่หลายชนิด ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและความปริมาณของสารนั้นๆ หากมีการสะสมของสารบางชนิดภายในถังปฏิกรณ์ในปริมาณที่มากเกินไปอาจจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ อาจจะมีผลต่อการยับยั้ง (Inhibition) การเจริญเติบโตจนถึงอาจทำให้แบคทีเรียในระบบตายได้ นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอีกด้วย

2) ปัจจัยทางด้านการทำงาน (Operational factor)

1. อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate : OLR)

สัดส่วนของน้ำหนักรับสารอินทรีย์ในหน่วยซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ต่อวัน (กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) แสดงให้เห็นว่าอัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (Feeding rate) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้มีความสมดุล โดยทั่วไปการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดให้สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกันระหว่างแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เพื่อให้ระบบบำบัดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. เวลาพักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อัตราเร็วของการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาพักพักสารอินทรีย์จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นก็ลดลงจนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบ (wash out) ในอัตราที่เร็วกว่าจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้สามารถแก้ไขการที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบได้โดยการเพิ่มเวลาพักพักชลศาสตร์ ให้นานขึ้น นอกจากนี้เวลาพักพักชลศาสตร์จะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบอีกด้วย

3. การกวน (Mixing)

การกวนเป็นการทำให้ของเหลวและส่วนผสมที่อยู่ในระบบมีการผสมและกระจายตัวอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ช่วยให้ของเสียที่เข้ามาใหม่เข้าไปแทนที่ของเสียที่ถูกย่อยสลายแล้วทำให้ระบบมีการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การกวนยังช่วยป้องกันมิให้มีการแยกชั้นของของเสีย ซึ่งการแยกชั้นของของเสียจะสร้างปัญหาให้กับระบบ โดยตะกอนลอยด้านบนสุด (Scum) จะทำให้ประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซมีเทนและเปลี่ยนรูป สารอินทรีย์ในระบบลดลง ในทางปฏิบัติสามารถลดปัญหาการเกิดชั้นตะกอนลอยได้โดยการเพิ่มการกวนให้แก่ระบบ ถ้าหากระบบมีสภาพความเข้มข้นของแข็งต่ำ (ความเข้มข้นสารแขวนลอยน้อยกว่า 500 มก./ล.) และมีสารที่มีเส้นใย

อยู่ไม่มากสามารถใช้การหมุนเวียนของเหลวหรือก๊าซที่เกิดขึ้นในถังเพื่อกวนผสมน้ำเสียได้ แต่หากระบบมีแนวโน้มการสะสมตัวของตะกอนลอย ค่อนข้างสูง หรือสารแขวนลอยในน้ำเสียมีมาก จำเป็นต้องใช้การกวนโดยใช้เครื่องมือทางกล เช่น ใบกวน เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชสด

Hjorth และคณะ, 2011 ศึกษาการปรับสภาพเบื้องต้นในการเพิ่มผลผลิตด้วยการใช้เครื่องอัดรีด (Extrusion) โดยทำการทดลองกับชีวมวลทางการเกษตร 5 ชนิด คือ มูลสุกรส่วนของแข็ง มูลสุกรส่วนของแข็งและของเหลว ฟางข้าว หญ้า และฟางปูพื้นคอกสัตว์ทั้งหมด 13 ตัวอย่าง ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ขนาดของชีวมวลที่มีผลต่อศักยภาพการผลิตมีเทน และพลังงานที่ใช้ในการปรับสภาพ การใช้เครื่องรีดในกระบวนการปรับสภาพสามารถเพิ่มสารชีวมวลได้ที่ระดับอุณหภูมิ 5–35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขนาดใหญ่ (มากกว่า 1 มิลลิลิตร) มีผลต่อการอัดรีดมากที่สุด และการอัดรีดสามารถช่วยให้เกิดการสลายตัวอย่างช้าๆของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์บางชนิด ทำให้ผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ประมาณร้อยละ 18–70 หลังจากหมักไป 28 วัน และร้อยละ 9–28 หลังจากหมักไป 90 วัน ส่วนพลังงานที่ใช้ในการใช้เครื่องอัดรีดเพื่อปรับสภาพ โดยที่พลังงานที่ใช้อัดรีดหญ้าเท่ากับ ฟางข้าว มูลสุกรส่วนของเหลวซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้ใช้พลังงานน้อยกว่ามูลสุกรส่วนของแข็ง และฟางปูพื้นคอกสัตว์

Nizami และคณะ, 2012 ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้า Perennial ryegrass โดยใช้ระบบหมักแบบสองขั้นตอน ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์สองถังคือ ถังหมักกรดและถังหมักก๊าซ ซึ่งปริมาตรถังปฏิกรณ์แต่ละถังมีขนาด 312 ลิตร ทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนอัตราภาระของแข็งระเหย 3 ค่า ได้แก่ 1.5 2.0 และ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราภาระบรรทุกของแข็งที่เหมาะสมที่สุดคือ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยต่อลูกบาศก์เมตร ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.451 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ที่เติมเข้าไป มีองค์ประกอบก๊าซมีเทนร้อยละ 52 อัตราการกำจัดของแข็งระเหยได้ร้อยละ 90 และเวลากักพักเซลล์สาหร่าย 50 วัน นอกจากนี้หากมีการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกของแข็งระเหยได้มากขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มข้นแอมโมเนียภายในระบบเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ร้อยละการเกิดก๊าซมีเทนลดลงด้วย

ณัฐกาญจน์ ชราพก, 2554 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้าชนิดต่างๆ ด้วยวิธีปีเอ็มพี หญ้าที่ใช้ในการทดลองทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ หญ้ารูซี่ หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าอะตราดัม หญ้าพลีแคทูลัม หญ้าไรต์ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าแพงโกล่า โดยทำการทดลองด้วยวิธีปีเอ็มพีในขวดซีรัมสี่ขาขนาด 120 มิลลิลิตร การทดลองรวมระยะเวลา 63 วัน พบว่าหญ้ากินนีสีม่วงมีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดมีค่า 0.170 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ และมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนระหว่างร้อยละ 35.78–63.54 และศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้าแต่ละชนิด ดังนี้ หญ้าไรต์ หญ้าแพงโกล่า หญ้าพลีแคทูลัม หญ้าอะตราดัม หญ้ารูซี่ และหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนที่ 0.144 0.140 0.131 0.127 0.115 และ 0.110 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ

สถาบันวิจัยและพัฒนานครพิงค์, 2555 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ซึ่งคัดเลือกจากผลผลิตต่อไร่เป็นปัจจัยหลัก สำหรับอายุเก็บเกี่ยว พบว่าหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่อายุเก็บเกี่ยว 45 วัน มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) มากกว่าที่อายุเก็บเกี่ยว 30 วัน แต่หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่อายุเก็บเกี่ยว 60 วัน จะมีปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในปริมาณที่สูงที่สุด ซึ่งอาจจะส่งผลให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพต่ำ ดังนั้นจึงทำการหมักย่อยในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยถึงปฏิกรณ์แบบกวนผสมหมุนในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งทำการทดลองกับหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่อายุเก็บเกี่ยว 45 วัน ที่สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 และสัดส่วนของแข็งทั้งหมดร้อยละ 4 โดยทำการศึกษาที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 1.3 1.6 และ 2.0 กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่อหาค่าอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดลอง พบว่าค่าอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 มีค่าเท่ากับ 1.26 กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.234 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้

2.5.2 การผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชหมัก

Koch และคณะ, 2009 ศึกษากระบวนการหมักของหญ้าหมักชนิดเดียวด้วยถังปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้ง (Loop reactor) ในถังปฏิกรณ์ปริมาตร 50 ลิตรที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.50 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.26 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย ซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนร้อยละ 52 ที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตร

ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งระเหยได้และซีโอดีร้อยละ 60 และ 75 ตามลำดับ โดยในการเดินระบบด้วยถังปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้งต้องควบคุมปริมาณของแข็งร้อยละ 12 เพื่อความเสถียรของระบบ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนด้วยถังปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับพืชพลังงาน

Nizami และคณะ, 2011 ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้าหมักโดยระบบหมักแบบสองขั้นตอน ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์แบบสตีชเบต และถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี โดยกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนขั้นตอนแรกด้วยถังปฏิกรณ์แบบสตีชเบตแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองเดิมสามารถผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.305 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ในช่วงระยะเวลาที่เก็บ 42 วัน จะทำการหยุดหมุนเวียนน้ำชะจากถังหมักทุกๆ 7 วัน ซึ่งการทดลองนี้ ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนและการกำจัดซีโอดีจะลดลงในช่วงระยะเวลา 2 วันหลังของการผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนการทดลองเดิม โดยการทดลองใหม่สามารถผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.310 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ในช่วงระยะเวลาที่เก็บ 30 วัน จะทำการหยุดหมุนเวียนน้ำชะจากถังหมักทุกๆ 5 วัน และนำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์แบบสตีชเบตใหม่ไปยังกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนขั้นตอนที่สองด้วยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี พบว่า สามารถผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.341 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 11.8 และลดระยะเวลาที่เก็บได้ถึงร้อยละ 40

Xie และคณะ, 2011 ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าแห้งหมักที่ปรับสภาพเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับความร้อน โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 2.5 5 และ 7.5 ตามลำดับ ร่วมกับการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ 20 60 100 และ 150 องศาเซลเซียส ผลการศึกษา พบว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งหมด 4 ค่า สามารถเพิ่มค่าซีโอดีละลายได้มากขึ้นร้อยละ 45 และสามารถกำจัดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของหญ้าแห้งได้ร้อยละ 21.2 36.1 และ 65.6 ผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับสภาพเบื้องต้นของหญ้าแห้งหมักได้เท่ากับ 0.359 0.401 0.449 และ 0.452 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ที่เติมเข้าไป ดังนั้นการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับความร้อนสามารถเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้นร้อยละ 10.0–38.9 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการปรับสภาพเบื้องต้น

Orozco และคณะ, 2013 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายของหญ้าหมักโดยระบบหมักแบบสองขั้นตอน โดยการย่อยสลายของหญ้าหมักมีอัตราการระบรทุก

สารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 6.5 5 2.5 และ 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาพักเก็บ เท่ากับ 10 6 4 และ 2 วัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองนี้พารามิเตอร์ ที่วิเคราะห์ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งระเหย ซีโอดีกรอง เป็นต้น ผลการทดลอง พบว่าอัตรา ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในระยะเวลาพักเก็บเท่ากับ 4 วัน สามารถผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดเท่ากับ 0.368 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ดังนั้นสรุปได้ ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับการผลิตก๊าซมีเทน ที่อุณหภูมิห้อง

2.5.3 การหมักร่วมของพืชชีวมวลและมูลสัตว์

Lehtomäki และคณะ, 2008 ศึกษาการหมักแบบไร้ออกซิเจนโดยหมักมูลวัวร่วมกับ หญ้าหมัก ต้นบีท และฟางข้าวไ้ด ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องใน ถึงปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของการหมักร่วมกับ พืชพลังงาน (หญ้าหมัก) และของเสียที่เหลือจากการเกษตร (ต้นบีท แลฟางข้าวไ้ด) ที่ผสมมูลวัว โดย ก่อนทำการทดลองทำการหั่นพืชดังกล่าวด้วยเครื่องหั่นให้มีขนาด 3 เซนติเมตร ขนาดของถังปฏิกรณ์ 5 ลิตร และปริมาตรของของเหลว 4 ลิตร ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมของแข็งระเหย ได้ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่า หญ้าหมัก ต้นบีท และฟางข้าวไ้ด มีอัตราการผลิตมีเทน 0.268 0.299 และ 0.213 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ ผลของการหมักร่วมกับของ มูลวัวกับพืชพลังงานและของเสียที่เหลือจากการเกษตรให้อัตราการผลิตมีเทนที่ดีกว่าการหมักด้วย มูลวัวเพียงอย่างเดียว (อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของมูลวัวเพียงชนิดเดียวมีค่า 0.204 ลูกบาศก์เมตรต่อ กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ของมูลวัว)

Ofoefule และคณะ, 2009 ศึกษาการเปรียบเทียบผลการผลิตก๊าซชีวภาพของผักตบชวา ด้วยวิธีการบำบัดเบื้องต้นที่แตกต่างกัน โดยวิธีการบำบัดเบื้องต้นแบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้ ผักตบชวา ตากแห้งและหั่นให้มีขนาด 2 นิ้ว ผักตบชวาทากแห้งและเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผักตบชวาทาก แห้งผสมกับมูลวัว และผักตบชวาสดทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม การทดลองถูกควบคุมให้อยู่ภายใต้การ ย่อยสลายแบบไร้อากาศ เป็นเวลา 32 วัน ที่อุณหภูมิ 25–36 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังนี้ ปริมาณก๊าซชีวภาพของผักตบชวาทากแห้งผสมกับมูลวัวมีค่าสูงสุดคือ 356.30 ลิตรต่อมวลรวมของ สารละลายปริมาณก๊าซชีวภาพของผักตบชวาทากแห้งและหั่นให้มีขนาด 2 นิ้ว มีค่า 292.41 ลิตรต่อ มวลรวมของสารละลาย และปริมาณก๊าซชีวภาพผักตบชวาทากแห้งและเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าสูงสุดคือ 285.21 ลิตรต่อมวลรวมของสารละลาย และปริมาณก๊าซชีวภาพผักตบชวาสดมีค่าเท่ากับ

271.20 ลิตรต่อมวลรวมของสารละลาย ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวโดยรวมนับว่าวิธีการบำบัดเบื้องต้นด้วยสารเคมีไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผักตบชวาสด (ตัวควบคุม) นอกจากนี้ยังพบว่าผักตบชวาเป็นสารชีวมวลที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีและสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดยการอบแห้งและหมักร่วมกับมูลวัว

Seppälä และคณะ, 2009 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้า 4 ชนิดด้วยวิธีบีเอ็มพี ดังนี้หญ้าคอดฟุต (*Dactylic glomerata* L.) หญ้าเฟสคิว (*Festuca arundinaceae* schred.) หญ้ารีตคานารี (*Phalaris arundinaceae* L.) และหญ้าทิมโมที (*Phleum pretense* L.) ทำการทดลองในขวดปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส ผสมกับมูลวัว (Inouluums) ประมาณ 250–300 มิลลิลิตรในอัตราส่วนของแข็งระเหยของหญ้าต่อของแข็งระเหยมูลวัวเท่ากับ 1 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 750 มิลลิลิตรด้วยน้ำประปา และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 4 กรัมต่อลิตร เพื่อทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ระยะเวลาในการเก็บก๊าซมีเทน 75–95 วัน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้า 4 ชนิด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.253–0.394 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย ที่อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยของหญ้าคอดฟุต (*Dactylic glomerata* L.) หญ้าเฟสคิว (*Festuca arundinaceae* schred.) และหญ้าทิมโมที (*Phleum pretense* L.) มีค่าการผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่สูง 0.342 0.336 และ 0.335 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ แต่สำหรับหญ้ารีตคานารี (*Phalaris arundinaceae* L.) มีค่าการผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด 0.296 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Uzodinma และคณะ, 2009 ศึกษาปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้างิณนี่ (*Panicum maximum*) ที่ผสมกับมูลสัตว์ชนิดต่างๆ ซึ่งเดินระบบด้วยถังปฏิกรณ์แบบแบตช์ถังปฏิกรณ์มีปริมาตร 50 ลิตร ทำการเดินระบบเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 26.0–32.8 องศาเซลเซียสโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลองดังนี้ หญ้าผสมมูลวัว หญ้าผสมมูลสัตว์ปีก หญ้าผสมมูลสุกร หญ้าผสมมูลกระต่าย และหญ้าอย่างเดียว พบว่าผลผลิตก๊าซชีวภาพ 225.80 152.00 169.70 232.00 และ 73.80 ลิตรต่อมวลรวมทั้งหมด ตามลำดับ และจุดวาบไฟของแต่ละการทดลองเกิดขึ้นในเวลาที่แตกต่างกันคือ หญ้าผสมมูลกระต่ายจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพติดไฟได้ในวันที่ 6 หญ้าผสมมูลสัตว์ปีกและหญ้าผสมมูลวัวสามารถผลิตจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหญ้าผสมมูลกระต่ายและหญ้าผสมมูลวัวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพติดไฟได้ในวันที่ 7 หญ้าผสมมูลสุกรสามารถผลิตก๊าซชีวภาพติดไฟได้ในวันที่ 10 และสำหรับหญ้าอย่างเดียวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพติดไฟได้หลังจากวันที่ 21 จากผลทดลองแสดงให้เห็นว่า หญ้าผสมมูลกระต่าย และหญ้าผสมมูลวัวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเพียงอย่างเดียวถึงสามเท่าด้วยกัน

ซึ่งจุดวบไฟของแต่ละผลการทดลองสามารถบ่งบอกถึงการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้าที่ผสมมูลสัตว์จะมีความเข้มข้นของปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่า และการเกิดก๊าซมีเทนได้รวดเร็วกว่าการทดลองที่ใช้หญ้าเพียงอย่างเดียว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากหญ้ามืองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่มีลิกโนเซลลูโลสจึงทำให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดในปริมาณน้อย และเกิดขึ้นได้ช้าดังนั้นจึงต้องอาศัยการหมักร่วมกับมูลสัตว์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน

Ahn และคณะ, 2010 ศึกษาอิทธิพลของมูลสัตว์ (มูลวัว มูลสุกร และมูลสัตว์ปีก) ต่อการย่อยสลายในระบบไร้ออกซิเจนหมักร่วมกับหญ้าสวิตช์กราซ (Switch Grass) โดยศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหาร และลักษณะน้ำชะสารอินทรีย์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้ มูลวัวหมักร่วมกับหญ้าสวิตช์กราซ มูลสุกรหมักร่วมกับหญ้าสวิตช์กราซ และมูลสัตว์ปีกหมักร่วมกับหญ้าสวิตช์กราซ ผลการทดลองพบว่าการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ร้อยละ 9.3 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทน 0.028 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ การทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ร้อยละ 52.9 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทน 0.0337 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ และการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ร้อยละ 20.2 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทน 0.002 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็ง ตามลำดับ แม้ว่ามูลวัวหมักร่วมกับหญ้าสวิตช์กราซและมูลสัตว์ปีกหมักร่วมกับหญ้าสวิตช์กราซจะมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ต่ำแต่สามารถมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงได้ถ้ามีการออกแบบถึงปฏิกรณ์ที่เหมาะสม มีการควบคุมปริมาณการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย และค่าความเป็นกรดต่างที่ลดต่ำลง เป็นต้น เนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหยและค่าความเป็นกรดต่างเป็นปัจจัยสำคัญของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนในระบบ

Chen และคณะ, 2010 ศึกษากระบวนการการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้ระบบหมักหญ้าคอดกราส (*S. alterniflora*) เพียงอย่างเดียวที่อัตราส่วนของแข็งระเหยเริ่มต้นร้อยละ 4 ร้อยละ 6 และร้อยละ 8 นอกจากนี้ยังศึกษาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้ระบบหมักหญ้าคอดกราสร่วมกับมูลวัว (Co-digestion) ในอัตราส่วนของแข็งระเหยง่ายตั้งแต่ร้อยละ 12.5–87.5 ดำเนินการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่มีความจุ 1 ลิตร ภายใต้อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส ผลการทดลองของระบบหมักหญ้าคอดกราสเพียงอย่างเดียว พบว่าที่อัตราส่วนของแข็งระเหยได้เริ่มต้นร้อยละ 6 จะให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดคิดเป็น 0.19 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ถึงร้อยละ 63.29 ส่วนการศึกษการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้ระบบหมักหญ้าคอดกราสร่วมกับมูลวัวเลือกอัตราส่วนของแข็งระเหยได้เริ่มต้นที่ร้อยละ 7 ผลการทดลอง พบว่าระบบสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซมีเทนได้สูงขึ้นร้อยละ 7.09–44.26

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักหญ้าคอดกราสเพียงชนิดเดียว และอัตราส่วนหญ้าคอดกราสต่อมูลวัวที่เหมาะสม คือ 75:25 ของแข็งระเหยได้ โดยมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทน 0.177 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซอยู่ถึงร้อยละ 64.33

Xie และคณะ, 2011 ศึกษาผลของอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้าหมักร่วมกับมูลสุกร ด้วยถึงปฏิกรณ์แบบกึ่งกะ การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของหญ้าหมักร่วมกับมูลสุกรแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง โดยใช้อัตราส่วนของแข็งระเหยง่ายของหญ้าหมักกับมูลสุกรเท่ากับ 0:1 3:1 1:1 และ 3:1 ตามลำดับ ซึ่งเดินระบบที่ระยะเวลา 29.5 28.1 24.6 และ 21.3 วัน อัตราส่วนของแข็งระเหยได้หญ้าหมักกับมูลสุกร 1:0 ระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเกิดสภาวะล้มเหลว ผลการทดลอง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดคืออัตราส่วนของแข็งระเหยหญ้าหมักกับมูลสุกร 1:3 และ 1:1 เท่ากับ 0.304 และ 0.302 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ โดยอัตราส่วนของหญ้าหมักที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนลดลง ดังนั้นจึงควรเลือกอัตราส่วนของแข็งระเหยได้หญ้าหมักกับมูลสุกร 1:1 เนื่องจากอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูง และระยะเวลาการเดินระบบรวดเร็วด้วย

จรัสศรี รุ่งวิชานิวัฒน์, 2546 ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดของแข็งได้จากเศษผักผลไม้ผสมมูลโค โดยการใช้ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทปริมาณของแข็ง กำหนดให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งระเหยได้ของเศษผักและผลไม้ต่อปริมาณของแข็งระเหยได้ของมูลโคเท่ากับ 100:0 80:20 60:40 และ 40:60 เพื่อป้อนเข้าสู่ถังย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนขนาด 12.5 ลิตร จำนวน 4 ถัง โดยระยะเวลาพักเก็บ 31.25 วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 36.84–73.12 และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยได้ อยู่ระหว่างร้อยละ 48.83–80.63 โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 0.12–0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ที่เข้าสู่ระบบต่อวัน และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพในการทดลองนี้ประกอบด้วยก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 48.64–53.26 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 29.84–41.28 โดยปริมาณของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 0.07–0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ที่เข้าสู่ระบบต่อวัน ดังนั้นสรุปผลศึกษาได้ว่าถังย่อยสลายที่ป้อนด้วยวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนเศษผักและผลไม้ต่อมูลโค 80:20 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดเท่ากับ 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของของแข็งระเหยได้ของวัตถุดิบที่เข้าสู่ระบบต่อวัน และสามารถให้ปริมาตรก๊าซมีเทนสูงสุด 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของของแข็งระเหยได้ที่เข้าสู่ระบบต่อวัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยได้เท่ากับร้อยละ 60.61 และร้อยละ 66.77 ตามลำดับ

จักรพันธ์ หมั่นจี้, 2553 ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยการย่อยสลายร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งระเหยได้ของน้ำเสียฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารเท่ากับ 70:30 และ 40:60 ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว โดยใช้เวลากักที่ 2 10 20 และ 30 วัน ผลการทดลองช่วงแรกโดยใช้หญ้าเนเปียร์เป็นวัสดุหมักย่อยร่วมพบว่าค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านระบบอยู่ในช่วง 7.01-7.38 แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยในระบบ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่สภาวะคงที่ที่ระยะเวลาเก็บ 2 และ 10 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้อยกว่าที่เวลากักเก็บ 20 และ 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญโดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บ 2 10 20 และ 30 วัน เท่ากับร้อยละ 66 77 87 และ 88 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะทางสถิติพบว่าที่เวลากักน้ำ 10 และ 30 วัน มีปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ต่อกรัมของแข็งระเหยได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าที่ได้ที่เวลากักเก็บทั้งสองมีค่ามากกว่าที่ได้จากการทดลองที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 2 และ 20 วันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบระยะเวลาเก็บน้ำ 10 วัน เป็นระยะที่เหมาะสมในการใช้งาน และให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.629 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เศษอาหารเป็นวัสดุหมักร่วมพบว่าการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

2.5.4 ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวพืชชีวมวล

พงศ์ทิพย์ พิษมงคล, 2547 ศึกษาผลของอายุการตัดที่อายุ 35 42 49 และ 56 วัน ที่มีต่อผลผลิตและส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าขน หญ้าเนเปียร์ และหญ้าอูบลพาสพาล์มภายใต้สภาพการจัดการแบบเข้มข้น ทำการทดลองที่สถานปฏิบัติการสัตวศาสตร์นาทวี โดยกำหนดให้ปัจจัยแรกคือพันธุ์หญ้า ได้แก่ หญ้าขน หญ้าเนเปียร์ และหญ้าอูบลพาสพาล์ม ปัจจัยที่สองคืออายุการตัดที่อายุ 35 42 49 และ 56 วัน ตามลำดับ จากการศึกษา พบว่าหญ้าเนเปียร์ให้ผลผลิตน้ำแห้ง 11,875 กิโลกรัมต่อไร่สูงกว่าหญ้าอูบลพาสพาล์ม 10,006 กิโลกรัมต่อไร่ และหญ้าขน 8,375 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ การตัดหญ้าขนที่อายุ 35 วันให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกับ 42 วัน มีค่าเท่ากับ 9,236 และ 8,548 กิโลกรัมต่อไร่ และลดลงเมื่ออายุการตัดเพิ่มขึ้น โดยที่ 49 และ 56 วัน มีค่าเท่ากับ 7,808 และ 7,910 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ หญ้าเนเปียร์ที่อายุการตัด 35 วัน ผลผลิตน้ำหนักแห้งมีค่าต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 10,619 กิโลกรัมต่อไร่ และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อายุ 56 วัน มีค่าเท่ากับ 14,005 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับหญ้าอูบลพาสพาล์มอายุการตัดที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำแห้ง โดยที่อายุการตัด 35 42 49 และ

56 วัน ให้ผลผลิตน้ำแห้งเท่ากับ 10,227 9,778 10,375 และ 9,643 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาทางเคมี พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมของหญ้าขมมีค่าใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์มีค่าร้อยละ 7.37 และ 7.19 แต่มีค่าสูงกว่าหญ้าอูบลพาสพาลัมมีค่าร้อยละ 6.83 เปอร์เซ็นต์ผนังเซลล์ของหญ้าขมมีค่าใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์มีค่าร้อยละ 70.84 และ 69.88 แต่มีค่าสูงหญ้าอูบลพาสพาลัมมีค่าร้อยละ 67.04 เปอร์เซ็นต์ลิกโนเซลลูโลสของหญ้าขมมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 41.19 รองลงมาคือหญ้าอูบลพาสพาลัมมีค่าร้อยละ 39.23 และหญ้าเนเปียร์มีค่าร้อยละ 36.83 เปอร์เซ็นต์ลิกนินของหญ้าขมมีค่าสูงที่สุดมีค่าร้อยละ 5.51 รองลงมาคือหญ้าอูบลพาสพาลัมมีค่าร้อยละ 3.63 และหญ้าเนเปียร์มีค่าร้อยละ 3.39 ตามลำดับ สำหรับอายุการตัดที่เพิ่มขึ้นนั้น มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมของหญ้าขม หญ้าเนเปียร์ และหญ้าอูบลพาสพาลัมลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินเพิ่มขึ้น ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งของหญ้าเนเปียร์มีค่าสูงที่สุดร้อยละ 58.86 รองลงมาคือหญ้าอูบลพาสพาลัมมีค่าร้อยละ 52.67 และหญ้าขมมีค่าร้อยละ 49.46 ตามลำดับ และการย่อยได้ของวัตถุแห้งของหญ้าขม หญ้าเนเปียร์ และหญ้าอูบลพาสพาลัมมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการตัดเพิ่มขึ้น

ธนมณ บุรณภวังค์, 2550 ศึกษาผลผลิต คุณภาพ และประเมินคุณค่าทางโภชนาการของหญ้า รุชี่ตัดที่อายุต่างๆกัน ใช้แปลงหญ้ารุชี่เก่าอายุ 2 ปี พื้นที่ 2.4 ไร่ โดยแบ่งแปลงเป็น 3 กลุ่ม คือ ตัดหญ้าที่อายุ 30 45 และ 60 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของกลุ่ม 1 2 และ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 262.70 477.88 และ 635.74 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าตัดเมื่ออายุมากขึ้นจะมีโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่มีเยื่อใยเพิ่มขึ้น เมื่อปรับผลผลิตที่ตัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 120 วันเท่ากันโดยอาศัยสมการถดถอยเชิงเส้นพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงสุดในกลุ่มที่ 2 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ 3 ($p < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 127.06 120.92 และ 81.56 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อประเมินคุณค่าทางโภชนาการโดยวิธีวัดปริมาณแก๊ส พบว่าอายุหญ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้หญ้ามีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุลดลง (61.46 55.68 และ 54.33 %OMD ตามลำดับ) ตลอดจนมีพลังงาน ME และ NEL ลดลง (2.26 2.05 2.00 และ 1.35 1.20 1.17 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ)

ประพนธ์ บุญเจริญ, 2553 ศึกษาอิทธิพลของช่วงเวลาการตัดที่มีผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของหญ้าพลิแคทูลัม ซึ่งทำการทดลองจำนวน 6 วิธีการดังนี้ (T1)การตัดหญ้าทุกๆ 25 วัน (T2)การตัดหญ้าทุกๆ 35 วัน (T3)การตัดหญ้าทุกๆ 45 วัน (T4)การตัดหญ้าทุกๆ 55 วัน (T5)การตัดหญ้าทุกๆ 65 วัน และ (T6)การตัดหญ้าทุกๆ 75 วัน ทั้งในสภาพแปลงหญ้าพลิแคทูลัมปลูกใหม่และ

แปลงหญ้าหญ้าพลิแคทูลัมเก่าที่ใช้ประโยชน์ผ่านมาแล้ว ผลการทดลอง พบว่าการตัดหญ้าทุกๆ 35 วัน(T2) ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งทั้งหมดสูงสุด คือ 2,079 และ 2,622 กิโลกรัมต่อไร่ ในสภาพแปลงหญ้าพลิแคทูลัมปลูกใหม่และแปลงหญ้าพลิแคทูลัมที่ใช้ประโยชน์ผ่านมาแล้ว ตามลำดับ ส่วนการตัดหญ้าทุกๆ 75 วัน มีผลทำให้ NDF (Neutral detergent fiber) และ ADF (Acid detergent fiber) มีค่าสูงสุดคือร้อยละ 73.15 และ 46.63 ขณะที่การตัดหญ้าทุกๆ 25 วัน ทำให้เปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF ต่ำสุด แต่ทำให้มีปริมาณโปรตีนหยาบสูงสุดที่ระดับร้อยละ 12.92 ดังนั้นการตัดหญ้าที่มีช่วงความถี่มาก ทำให้ปริมาณธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด และทำให้ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน

สำราญ วิจิตรพันธ์, 2554 ศึกษาอิทธิพลของอายุการตัดที่มีผลต่อผลผลิต และคุณค่าทางโภชนาของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ภายใต้การให้น้ำชลประทานในช่วงที่ฝนไม่ตก และในฤดูแล้ง ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่นบนชุดดินโคราช ประกอบด้วยอายุการตัด 4 ระยะ ได้แก่ 25 35 45 และ 55 วัน ผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มอายุการตัดหญ้าเนเปียร์ยักษ์ทำให้ผลผลิตน้ำแห้งรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) เท่ากับ 5,230.8 9,252.0 10,778.2 และ 12,042.0 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี เมื่อตัดที่อายุ 25 35 45 และ 55 วัน ตามลำดับ แต่โปรตีนหยาบ และการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ส่วนเยื่อใย ADF (Acid Detergent Fiber) และ NDF (Neutral Detergent Fiber) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมร่วมกัน ควรตัดหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ช่วงอายุ 35-45 วัน โดยได้รับผลผลิตน้ำหนักแห้งรวม 9,252.0-10,778.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และมีระดับของโปรตีนหยาบเยื่อใย ADF เยื่อใย NDF และการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้งเท่ากับร้อยละ 11.1-12.8 , 41.7-43.2, 67.0-69.8 และ 72.9-75.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชสด

วัตถุดิบ ชีวมวล	การปรับสภาพ	รายละเอียด	ผลผลิตที่ได้		เอกสาร อ้างอิง
			ก๊าซ ชีวภาพ	ก๊าซ มีเทน	
หญ้า	ปรับสภาพด้วย การอัดรีดที่กำลัง มอเตอร์ 55 กิโลวัตต์ อัตราส่วน ความยาวต่อเส้น ผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 1.3	หมักด้วยถังปฏิกรณ์ แบบแบตช์ โดยใช้ชีว มวลต่อตะกอนจุลชีพ เท่ากับ 2.5 : 1 ปริมาตรรวม 450 กรัม หมักในขวดขนาด 1 ลิตร	-	0.050 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	Hjorth และคณะ , 2011
หญ้า Perennial ryegrass	-	หมักด้วยถังปฏิกรณ์กวน สมบูรณ์ขนาด 312 ลิตร ที่อัตราการบรทุก ของแข็งระเหยได้ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหย ได้ต่อลูกบาศก์เมตร	0.451 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	ร้อยละ 52	Niwami และคณะ , 2012
หญ้า เนเปียร์	-	หมักด้วยวิธีบีเอ็มพี ใน ขวดซีรัมสี่ขาขนาด 120 มิลลิลิตร	-	0.110 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	ณัฐ กาญจน์ และคณะ , 2554
หญ้า เนเปียร์ ปากช่อง 1	-	หมักด้วยถังปฏิกรณ์กวน สมบูรณ์ อายุเก็บเกี่ยว 45 วัน ค่าอัตราการ บรทุกสารอินทรีย์ 1.26 กิโลกรัมของแข็ง ระเหยได้ต่อลูกบาศก์ เมตรต่อวัน	-	0.234 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	สถาบัน วิจัยและ พัฒนา นครพิงค์, 2555

ตารางที่ 2.5 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชหมัก

วัตถุประสงค์ ชีวมวล	การปรับสภาพ	รายละเอียด	ผลผลิตที่ได้		เอกสาร อ้างอิง
			ก๊าซ ชีวภาพ	ก๊าซ มีเทน	
หญ้า	หญ้าหมัก	หมักด้วยถังปฏิกรณ์ วงเวียนแนวดิ่ง (Loop reactor) ขนาด 50 ลิตร ที่อัตราการระบายทุก สารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัม ของแข็งระเหยได้ต่อ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	0.5 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	ร้อยละ 52	Koch และคณะ , 2009
หญ้า	หญ้าหมัก	หมักแบบสองขั้นตอน ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ แบบสี่เชเบต และ ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี	-	0.341 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	Nizami และคณะ , 2011
หญ้า แห้ง	หญ้าหมักแห้งปรับ สภาพด้วยความ ร้อน 100 องศา เซลเซียส + สารละลาย โซเดียมไฮดรอก ไซด์ร้อยละ 5	หมักด้วยวิธีบีเอ็มพี ในขวดเซรัมขนาด 1 ลิตร	-	0.449 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	Xie และคณะ , 2011
หญ้า	หญ้าหมัก	หมักด้วยวิธีบีเอ็มพี ใน ขวดเซรัมขนาด 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 55 องศา เซลเซียส	-	0.368 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	Orozco และคณะ , 2013

ตารางที่ 2.6 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของพืชชีวมวลและมูลสัตว์

วัตถุประสงค์ชีวมวล	การปรับสภาพ	รายละเอียด	ผลผลิตที่ได้		เอกสารอ้างอิง
			ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซมีเทน	
หญ้า	หมักร่วมกับมูลวัว	หมักด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ขนาด 5 ลิตร ที่อัตราการระบายทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน	-	0.268 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหย ได้	Lehtomaki และคณะ, 2007
ผักตบ ขา แห้ง	หมักร่วมกับมูลวัว	หมักโดยการควบคุมให้อยู่ภายใต้การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นเวลา 32 วัน ที่อุณหภูมิ 25–36 องศาเซลเซียส	0.356 ลบ./ มวลรวม ของสาร ละลาย	-	Ofoefule และคณะ, 2009
หญ้า คอดฟุต	หมักร่วมกับมูลวัว ในอัตราส่วนของแข็งระเหยได้ของหญ้าต่อของแข็งระเหยได้มูลวัวเท่ากับ 1	หมักในขวดปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเก็บก๊าซมีเทน 75–95 วัน	-	0.342 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหย ได้	Seppala และคณะ, 2009
หญ้า กินนี่	หมักร่วมกับมูลวัว	หมักด้วยถังปฏิกรณ์แบบแบตช์ ถังปฏิกรณ์มีปริมาตร 50 ลิตร ทำการเดินระบบเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 26.0–32.8 องศาเซลเซียส	0.225 ลบ.ม./ มวลรวม ทั้งหมด	-	Uzodinna และคณะ, 2009

ตารางที่ 2.6 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของพืชชีวมวลและมูลสัตว์ (ต่อ)

วัตถุประสงค์ชีวมวล	การปรับสภาพ	รายละเอียด	ผลผลิตที่ได้		เอกสารอ้างอิง
			ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซมีเทน	
หญ้า สวิตช์ กราซ	หมักร่วมกับมูลวัว	หมักด้วยถังปฏิกรณ์ มีความจุ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยกำหนดปริมาณของแข็งรวมในระบบร้อยละ 15	-	0.028 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	Ahn และ คณะ, 2010
หญ้า คอด กราซ	หมักร่วมกับมูลวัว ที่อัตราส่วนหญ้า ต่อมูลวัวเท่ากับ 75 : 25	หมักด้วยระบบแบตช์ ขนาด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของแข็ง ระเหยได้เริ่มต้นที่ ร้อยละ 7	-	0.177 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	Chen และ คณะ, 2010
เศษผัก และ ผลไม้	หมักร่วมกับมูลวัว ที่อัตราส่วนปริมาณ ของแข็งระเหยได้ ของมูลโคเท่ากับ 100:0 80:20 60:40 และ 40:60	ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขนาด 12.5 ลิตร จำนวน 4 ถัง โดยมีระยะเวลาเก็บกัก 31.25 วัน	0.30 ลบ.ม./กก. ของแข็ง ระเหยได้	0.15 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	จรัสศรี และ คณะ, 2546
หญ้า เนเปียร์	หมักร่วมกับน้ำเสีย ฟาร์มสุกอัตรส่วน น้ำเสียฟาร์มสุกร ต่อหญ้าเนเปียร์ เท่ากับ 70 : 30	หมักโดยใช้ระบบ เอเอสปีอาร์ ระยะเวลา กักพักเซลล์ศาสตร์ที่ เหมาะสมในการใช้ งานเท่ากับ 10 วัน	-	0.629 ลบ.ม./ กก. ของแข็ง ระเหยได้	จักรพันธ์ และ คณะ, 2553

ตารางที่ 2.7 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวพืชชีวมวล

วัตถุประสงค์ชีวมวล	อายุเก็บเกี่ยว	รายละเอียด	ผลผลิตที่ได้	เอกสารอ้างอิง
หญ้าเนเปียร์	ตัดหญ้าเนเปียร์ที่อายุ 35 42 49 และ 56 วัน	อิทธิพลที่มีผลต่อผลผลิตและส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ที่อายุ 35 42 49 และ 56 วัน	- หญ้าเนเปียร์ที่อายุการตัด 35 วัน ผลผลิตน้ำหนักรวมมีค่าต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 10,619 กิโลกรัมต่อไร่ และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อายุ 56 วัน มีค่าเท่ากับ 14,005 กิโลกรัมต่อไร่	พงศ์พิทยและคณะ, 2547
หญ้ารูซี่	ตัดหญ้าที่อายุ 30 45 และ 60 วัน	ผลผลิต คุณภาพ และประเมิณคุณค่าทางโภชนาการของหญ้ารูซี่ตัดที่อายุต่างกันใช้แปลงหญ้ารูซี่เก่าอายุ 2 ปี พื้นที่ 2.4 ไร่ โดยแบ่งแปลงเป็น 3 กลุ่ม คือตัดหญ้าที่อายุ 30 45 และ 60 วัน	- ผลผลิตน้ำหนักรวมเฉลี่ยมีค่า 262.70 477.88 และ 635.74 กิโลกรัมต่อไร่ - หญ้ามีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุได้ร้อยละ 61.46 55.68 และ 54.33 พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 2.26 2.05 และ 2.00 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักรวม	ธนมณและคณะ, 2550
หญ้าพริแคทูลัม	ตัดหญ้าที่อายุ 25 35 45 55 65 และ 75 วัน	อิทธิพลของช่วงเวลาการตัดที่มีผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของหญ้าพริแคทูลัมในสภาพแปลงหญ้าพริแคทูลัมปลูกใหม่และแปลงหญ้าพริแคทูลัมเก่าที่ใช้ประโยชน์ผ่านมาแล้ว	- การตัดหญ้าทุกๆ 35 วัน ให้ผลผลิตน้ำหนักรวมทั้งหมดสูงสุด คือ 2,079 และ 2,622 กิโลกรัมต่อไร่ - การตัดหญ้าที่มีช่วงความถี่มาก ทำให้ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน	ประพนธ์และคณะ, 2553

ตารางที่ 2.7 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซชีวภาพจากช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวพืชชีวมวล (ต่อ)

วัตถุดิบชีวมวล	อายุเก็บเกี่ยว	รายละเอียด	ผลผลิตที่ได้	เอกสารอ้างอิง
หญ้าเนเปียร์ยักษ์	ตัดหญ้าที่อายุ 25 35 45 และ 55 วัน	อิทธิพลของอายุการตัดที่มีผลต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ภายใต้การให้น้ำชลประทานในช่วงที่ฝนไม่ตก และในฤดูแล้ง ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ขอนแก่น บนชุดดินโคราช	ควรตัดหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ช่วงอายุ 35-45 วัน โดยได้รับผลผลิตน้ำหนักแห้งรวม 9,252.0-10,778.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และมีระดับของโปรตีนหยาบ เยื่อใย ADF เยื่อใย NDF และการย่อยได้ของวัตถุแห้งเท่ากับร้อยละ 11.1-12.8 , 41.7-43.2, 67.0-69.8 และ 72.9-75.9	สำราญและคณะ, 2554

2.6 การนำข้อมูลมาใช้ในงานวิจัย

ในการทดลองนำหญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน มาทำการหมักด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน โดยในงานวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าอายุในการตัดของหญ้าเป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดก๊าซมีเทน โดยปกติจะเก็บเกี่ยวหญ้าในช่วงที่หญ่ายังโตไม่เต็มที่จะสามารถย่อยสลายได้มากกว่าในช่วงอื่นและมีเส้นใยดินน้อยกว่าในช่วงอื่น และปริมาณก๊าซมีเทนต่อหนึ่งหน่วยวัตถุดิบจะลดลงเมื่อใช้วัตถุดิบที่มีอายุมากขึ้น เพราะในหญ้าที่มีการเติบโตมานานก็ยังมีปริมาณเส้นใยดินมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง เส้นใยดินจะประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) รวมกันเป็นส่วนที่เรียก lignocellulosic ซึ่งเป็นสารย่อยยากในกระบวนการหมัก ไร้ออกซิเจน อีกทั้งในวัตถุดิบที่มีอายุในการปลูกลานจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันลดลง ซึ่งทั้งสองอย่างนี้เป็นสารตั้งต้นที่จำเป็นในการผลิตก๊าซมีเทน

เปรียบเทียบหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) มีการงานวิจัยของ Heiermann และคณะ, 2004 พบว่าในส่วนของพืชที่ผ่านการหมักจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงกว่าพืชแบบสดเพราะสามารถเกิดการย่อยได้รวดเร็วกว่าเนื่องจากสารชีวเคมีที่ซับซ้อนสามารถถูกย่อยได้บางส่วนในขั้นตอนของกระบวนการหมักขั้นต้นแล้ว

การหมักร่วมกับมูลวัว เพราะงานวิจัยของ Uzodinma และคณะ, 2009 และ Ofoefule และคณะ, 2009 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหญ้าผสมมูลวัวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากเป็นสามเท่าของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเพียงอย่างเดียว ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากหญ้ามี่ปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และผนังเซลล์ที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูงจึงทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้ช้า และมีปริมาณก๊าซชีวภาพต่ำ ดังนั้นจึงต้องอาศัยการหมักร่วมกับมูลวัวเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ส่วนการทดลองเลือกใช้ถังหมักแบบสองขั้นตอนนั้น เนื่องจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอนสามารถบำบัดน้ำเสียได้ประสิทธิภาพ โดยการการแยกจุลินทรีย์ทั้งสองออกจากกัน และจัดให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่ม เพื่อให้จุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มนั้นสามารถที่จะทำงานได้อย่างเต็มที่ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบทำให้ระบบสามารถทำงานได้ดีมากขึ้น

สรุปงานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน โดยใช้ถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์เป็นถังหมักกรดตามด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเป็นถังผลิตก๊าซชีวภาพ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนในการทดลองดังนี้

- 1) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และมูลโคนม
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential)
- 3) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องบดละเอียด (Grinder)
2. เครื่องวัดพีเอช (pH-meter)
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
4. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (GC)
5. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
6. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (Hot air oven) ที่ 103 ถึง 105 องศาเซลเซียส
7. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (Hot air oven) ที่ 150 องศาเซลเซียส
8. เตาเผาควบคุมอุณหภูมิ (Hot air oven) ที่ 550 ± 50 องศาเซลเซียส
9. เตาแผ่น (Hot plate)
10. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
11. กระจกกรอง (GF/C)
12. เครื่องปั่นกวน (Magnetic stirrer)
13. เครื่องปั่นเหวี่ยงสาร (Centifuse)
14. เครื่องเขย่าสาร (Shaker)

15. ครุชีเบิล
16. ชุดบีเอ็มพี
17. เครื่องแก้วต่างๆ

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
5. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
6. 1, 10 - ฟีนานโทรลีนโมโนไฮเดรต ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
7. เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
8. เมอคิวริกซัลเฟต (HgSO_4)
9. ซิลเวอร์ซัลเฟต (AgSO_4)

3.4 ถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 ถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential)

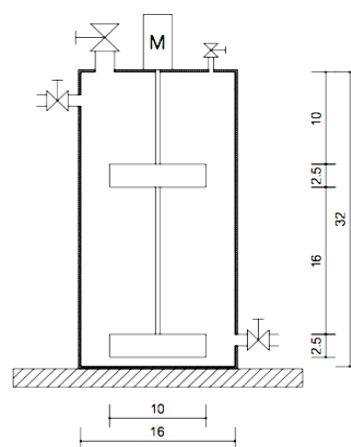
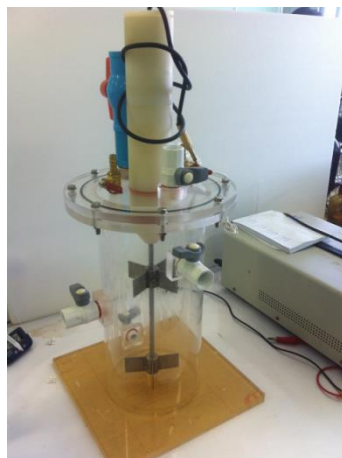
1. ขวดซีรัมสีชาขนาด 100 มิลลิลิตร ทำหน้าที่เป็นถังหมักพร้อมฝาและจุกยาง ดังรูปที่ 3.1
- 3.1 ได้ทำการทดลองให้ห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส ด้วยการหมักแบบไม่ใช้อากาศและเป็นการหมักแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว



รูปที่ 3.1 ขวดเซรัมขนาด 100 มิลลิลิตร

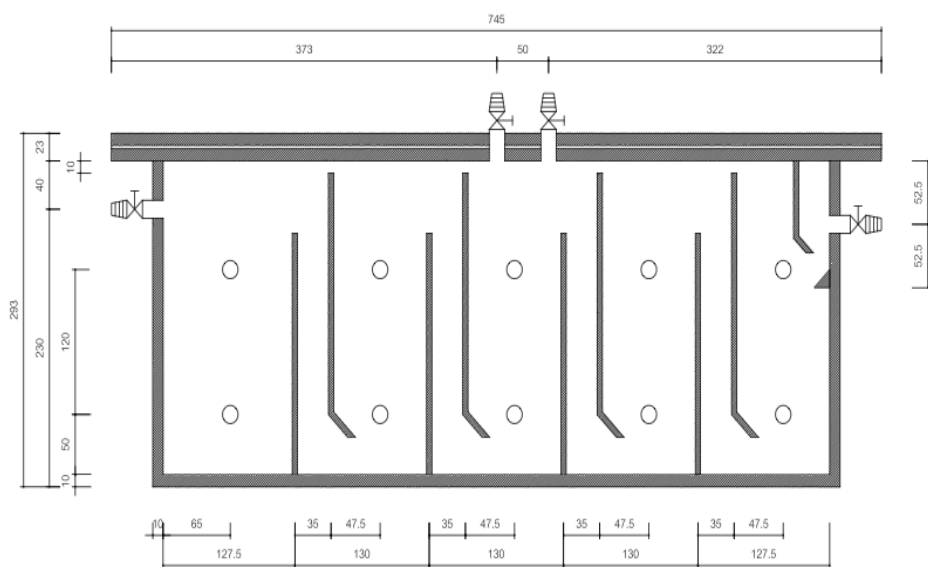
3.4.2 ถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองชั้นตอน

1.ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Continuously Stirred Tank Reactor; CSTR) เป็นถังทรงกระบอกที่ทำด้วยอะคริลิกใส มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร สูง 32 เซนติเมตร มีปริมาตร 6 ลิตร ยึดฝาปิดกับตัวถังด้วยน็อต ภายในถังมีใบพัดกวนเพื่อให้หญ้าเนเปียร์ และมูลโคมมีการผสมกันอย่างทั่วถึง ด้านบนของถังจะมีมอเตอร์ควบคุมความเร็วของใบพัดให้ทำงานสม่ำเสมอด้วยความเร็วการกวน 50 รอบต่อนาที (Rachman และคณะ, 2011) มีท่อนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักเพื่อวัดปริมาณก๊าซที่เกิดด้วยอุปกรณ์เก็บก๊าซ (Counter gas) และมีช่องสำหรับป้อนหญ้าเนเปียร์เข้าระบบหมัก ส่วนด้านข้างของถังมีช่องติดตั้งวาล์วปิดเปิดเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ และมีติดตั้งตัวอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 3.2

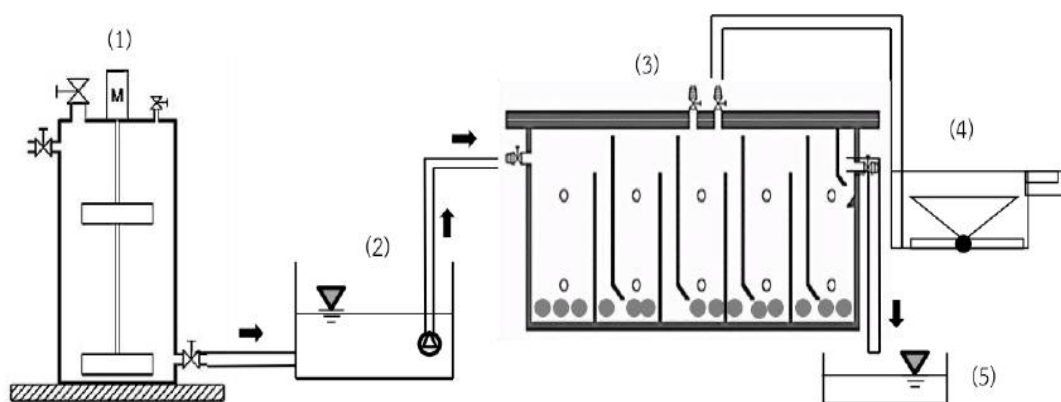


รูปที่ 3.2 ถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์

2. ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor; ABR) ตัวถังทำด้วยอะคริลิกใสจำนวน 5 ห้อง มีปริมาตร 20 ลิตร ประกอบด้วย ถังพักน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ก่อนเข้าระบบ ป้อนสายรัดเพื่อนำน้ำหมักเข้าสู่ระบบ ถังพักน้ำออกจากระบบ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะผ่านท่อนำก๊าซที่ติดอยู่กับเครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Gas counter) ภายในติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ในการตรวจนับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการออกแบบสัดส่วนของความกว้างที่เหมาะสมเพื่อเก็บกักตะกอนจุลชีวะภายในระบบได้ดีขึ้น ส่วนปลายของแผ่นกั้นแต่ละห้องมีการบากทำมุม 45 องศา เพื่อช่วยให้เกิดการสัมผัสกันได้ดีทั่วถึงมากขึ้น ดังรูปที่ 3.3



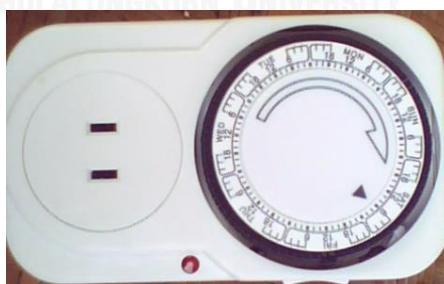
รูปที่ 3.3 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน



รูปที่ 3.4 แผนภาพอุปกรณ์สำหรับติดตั้งกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการทดลองที่ 2
 (1) ถังผลิตกรดไขมันระเหย (2) ถังพักน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ (3) ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน
 (4) เครื่องตรวจนับปริมาณก๊าซชีวภาพ (5) ถังพักน้ำเสียออก

3. มอเตอร์ (Motor) ที่ใช้กวนเพื่อให้ของเหลวภายในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซมีการกวนผสมกัน มีความเร็วรอบประมาณ 50 รอบต่อนาที และขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสสลับขนาดไฟ 220 โวลต์

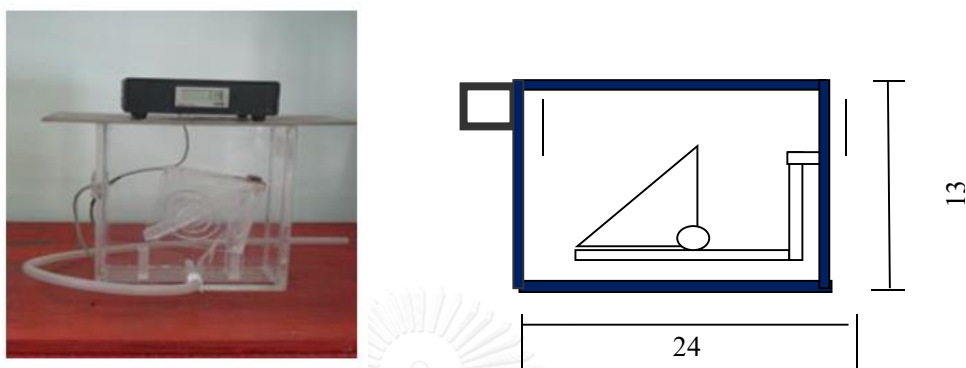
4. เครื่องตั้งเวลา (Time) ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องตั้งเวลา

5. เครื่องวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ (Gas counter) ทำจากอะคริลิกใสมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้หลักการของการแทนที่น้ำที่ใช้สารละลายกรดซัลฟริกแทนน้ำ (ปิฏยานี แสงศรี, 2557) ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะผ่านไปตามท่ออย่างจากวาล์วด้านบนถังหมักผ่านหลอดแก้วรูปตัวยูแล้วต่อกับ

เครื่องวัดปริมาณก๊าซชีวภาพภายในเครื่องวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีกล่องอะครีลิกที่พลิกไปมาได้ เมื่อก๊าซชีวภาพบรรจุเต็มช่องว่างของกล่องอะครีลิกแล้วกล่องอะครีลิกก็จะพลิกกลับไปอีกด้านหนึ่ง จากนั้นเคาเตอร์จะนับจำนวนครั้งการพลิกของกล่องอะครีลิกทำให้ทราบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยที่การพลิกของกล่องอะครีลิก 1 รอบจะได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพเท่ากับ 60 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.5.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์สดและหญ้าเนเปียร์หมัก

หญ้าเนเปียร์ที่ใช้เป็นหญ้าสดอายุ 35 45 และ 55 วัน ทำการเตรียมหญ้าเนเปียร์สดมาบดให้มีขนาด 0.5-0.7 เซนติเมตร (Pakarinen และคณะ, 2011) เพื่อง่ายต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ และนำหญ้าเนเปียร์สดส่วนหนึ่งที่ทำการบดเรียบร้อยแล้วนำไปทำหญ้าเนเปียร์หมัก โดยบรรจุหญ้าเนเปียร์ลงในภาชนะให้แน่น เมื่อบรรจุหญ้าเนเปียร์เต็มภาชนะบรรจุ และอัดหญ้าเนเปียร์แน่นแล้วต้องปิดภาชนะที่บรรจุให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศซึมเข้า โดยใช้เวลาในการหมักอย่างน้อย 4 สัปดาห์ (Wilawan และคณะ, 2014) จากนั้นนำหญ้าเนเปียร์สดและหญ้าเนเปียร์หมักไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาก่อนใช้งาน นำตัวอย่างหญ้าเนเปียร์สดและหญ้าเนเปียร์หมักมาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ เถ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน



รูปที่ 3.7 การตัดและบดหญาเนเปียร์

3.5.2 การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลโคนม

มูลโคนมที่ใช้ในงานวิจัยเป็นมูลโคนมสดที่ได้จากฟาร์มโคนมสวนจิตรลดา จากนั้นนำมูลโคนมไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาก่อนใช้งาน นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน



รูปที่ 3.8 มูลโคนม

3.6 การดำเนินการวิจัย

3.6.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential) เพื่อหาอายุหญ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด

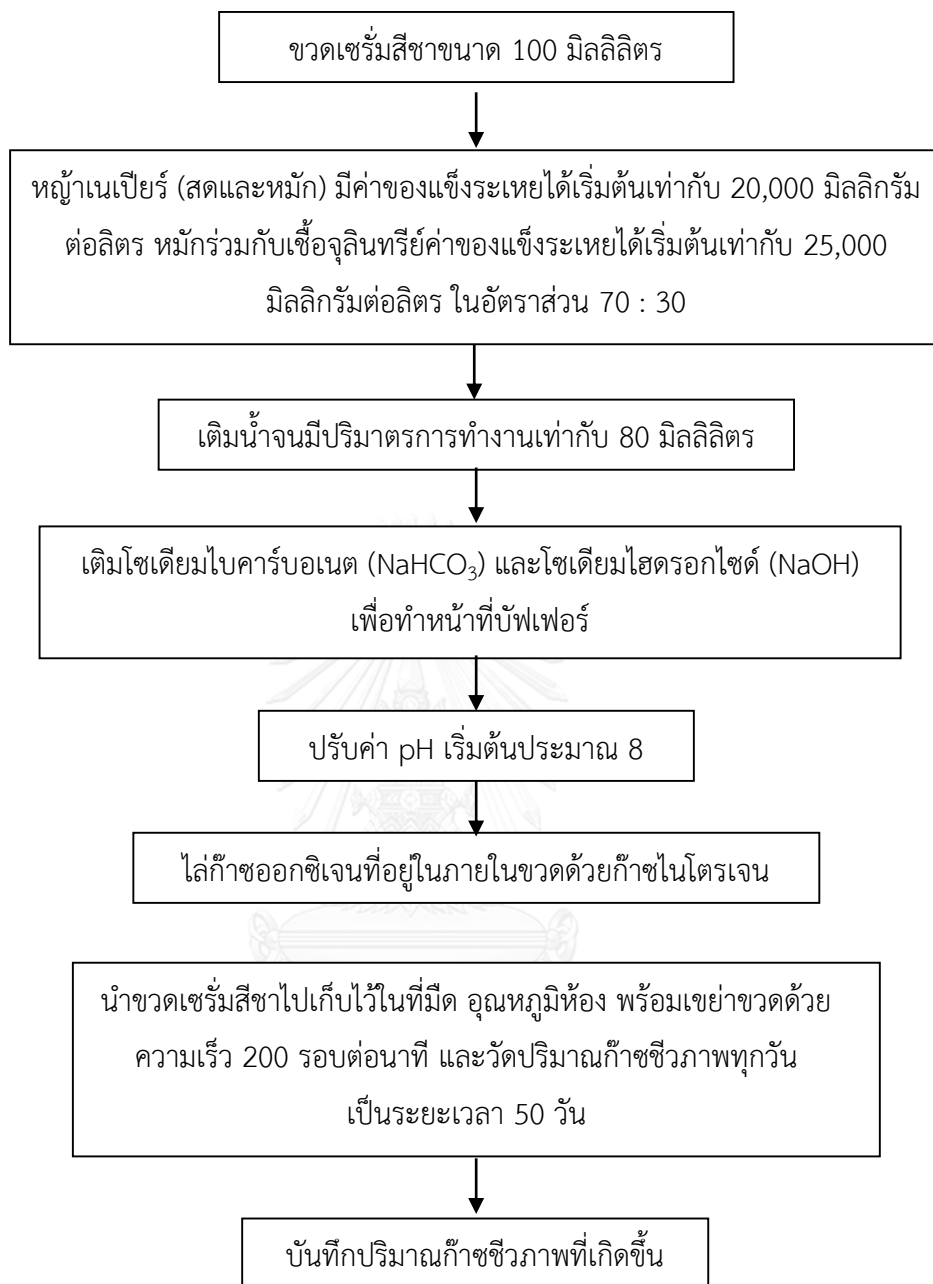
การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมีจุดประสงค์เพื่อทราบว่าอายุหญ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดที่นำทดสอบการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน และทราบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ใส่เข้าระบบ โดยทั้งหมด 18 ชุด แบ่งเป็น 2 ชุด การทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 หญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

ชุดการทดลองที่ 2 หญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

โดยศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกลุ่มการทดลองทั้ง 2 กลุ่มการทดลองด้วยวิธี Seppälä และคณะ, 2009 ในขวดเซรัมส์ซิชาขนาด 100 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ โดยการใช้หลอดเก็บก๊าซ (Gas syringe) วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

- 1) ใส่หญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) ที่บดเรียบร้อยแล้วขนาด 0.5–0.7 เซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 70 : 30 ในขวดเซรัมส์ซิชา มีปริมาตรการทำงานเท่ากับ 80 มิลลิลิตร โดยกำหนดปริมาณสารตั้งต้นในระบบมีค่าของแข็งระเหยได้เริ่มต้นเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และกำหนดหัวเชื้อจุลินทรีย์ในระบบมีค่าของแข็งระเหยได้เริ่มต้นเท่ากับ 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (อภิวัฒน์ เจนจัดการ, 2556) เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อทำหน้าที่บัฟเฟอร์ปรับค่า pH เริ่มต้นประมาณ 8
- 2) ใส่ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในภายในขวดด้วยก๊าซไนโตรเจน
- 3) นำขวดเซรัมส์ซิชาไปเก็บไว้ในที่มืด (Schofield และคณะ, 1990) อุณหภูมิห้อง พร้อมเขย่าขวดด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทุกวัน เป็นระยะเวลา 50 วัน
- 4) บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารของแต่ละชุดการทดลอง



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีบีเอ็มพี

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำศึกษาในการทดลองที่ 3.6.1

ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ทำการควบคุม	
ปริมาณหญ้าต่อมูลโคนม	อัตราส่วน 70 : 30	
ปริมาตรรวม	80 มิลลิลิตร	
ของแข็งระเหยได้ที่เข้าระบบ(หญ้า และมูลโคนม)	20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	50 วัน	
อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้อง	
ตัวแปรตาม	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ของแข็งทั้งหมด	Standard Method#2540B (Dried 103 ถึง 105° C)	ก่อนและหลังการทดลอง
ของแข็งระเหยได้	Standard Method#2540B (Dried 500 ถึง 600° C)	ก่อนและหลังการทดลอง
ซีไอดี	Standard Method#5220C (Closed Reflux)	ก่อนและหลังการทดลอง
ก๊าซชีวภาพ	Gas syringe	ทุกวัน
ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน	Gas Chromatography	1 ครั้ง* (ที่สภาวะคงตัว)

หมายเหตุ การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

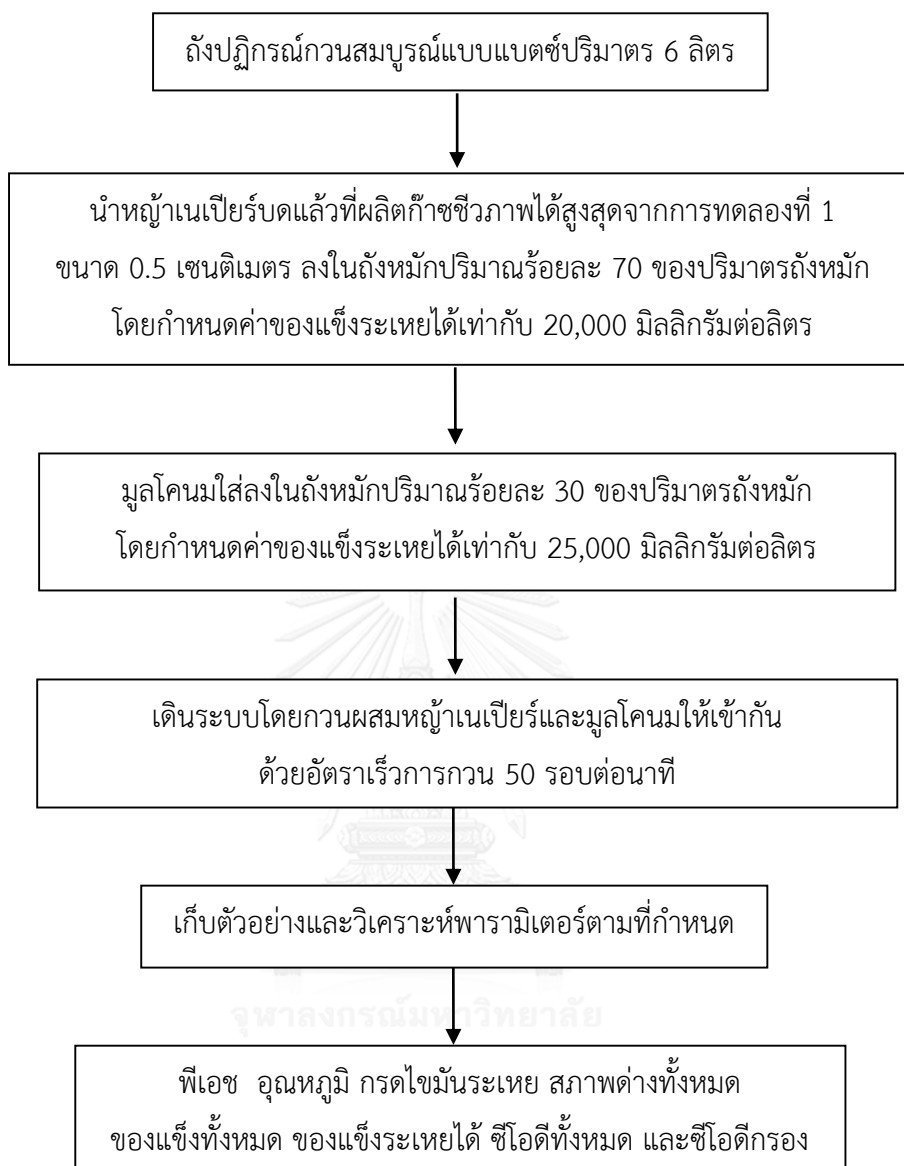
*ทำการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) Model HP-5890 Series II Flame Ionization Detector (FID) DB-1701 column (Lehtomaki และคณะ, 2008)

3.6.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน

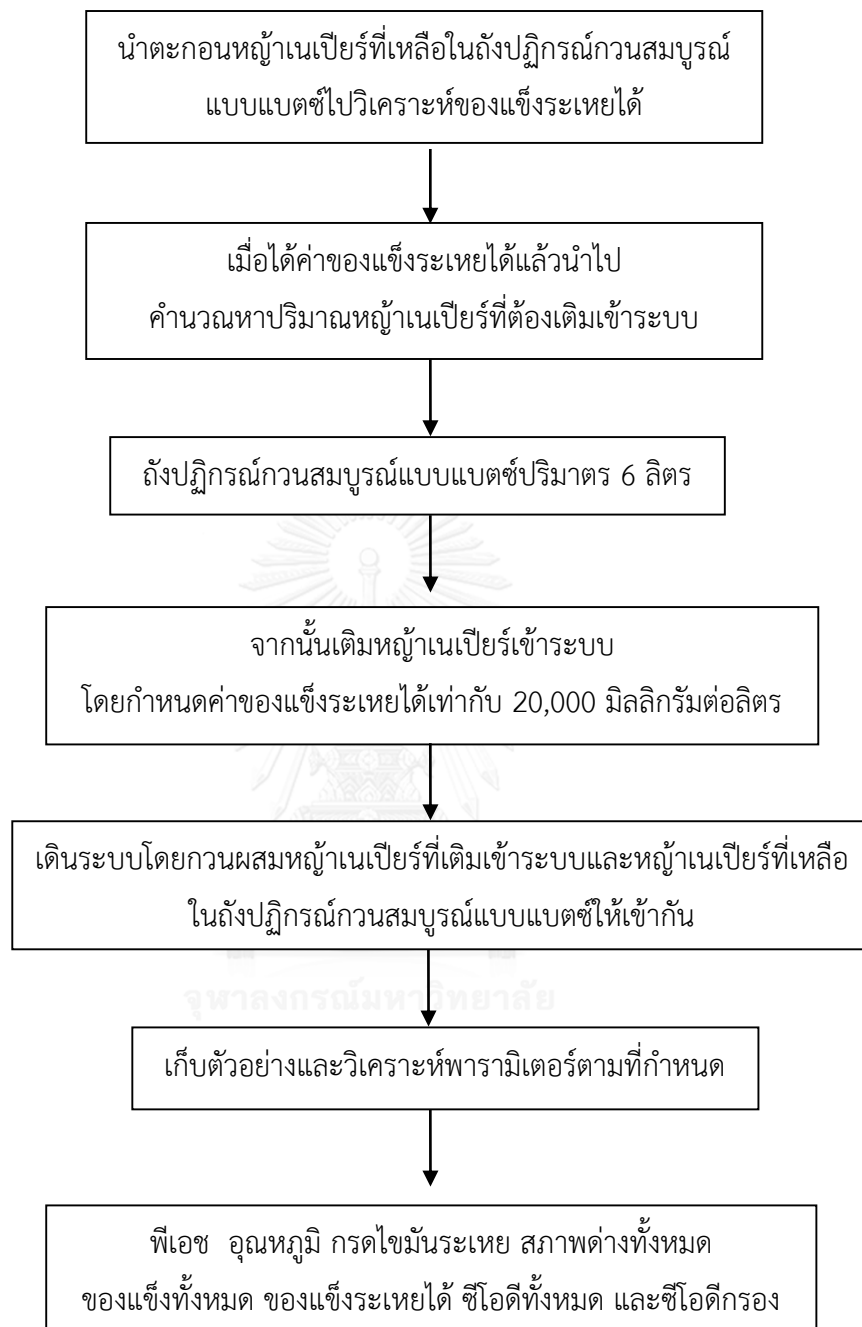
การทดลองขั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank)

จะทำการทดลองโดยเดินระบบถังหมักด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ระดับห้องปฏิบัติการที่มีการทดลองเดินระบบแบบแบตช์ เพื่อหาระยะเวลาเก็บกักและวิธีการหมักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรด เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองขั้นที่ 2 มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำการผลิตน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนม จากอายุหญ้าเนเปียร์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดจากการทดลองที่ 1 โดยเดินระบบถึงปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์ทำหน้าที่เป็นถังหมักกรด โดยนำอายุหญ้าเนเปียร์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดจากการทดลองที่ 1 บดแล้วขนาด 0.5-0.7 เซนติเมตร ลงในถังหมัก ปริมาณร้อยละ 70 ของปริมาตรถังหมักโดยกำหนดค่าของแข็งระเหยได้เท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (อภิวัฒน์ เจนจัดการ, 2556) จากนั้นใส่มูลโคนมสดจากฟาร์มโคนมสวนจิตรลดา ใส่ลงในถังหมักปริมาณร้อยละ 30 ของปริมาตรถังหมัก โดยกำหนดค่าของแข็งระเหยได้เท่ากับ 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นผสมมูลโคนมกับหญ้าเนเปียร์ให้เข้ากัน และเก็บตัวอย่างส่วนผสมในถังหมัก เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ ซีไอดีทั้งหมด และซีไอดีกรอง ขั้นตอนการทดลอง ดังรูปที่ 3.10 เมื่อเดินระบบจนได้ผลผลิตน้ำหมักกรดไขมันระเหยสูงสุดแล้วนำน้ำหมักกรดที่ได้ไปเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
- 2) จากนั้นนำตะกอนหญ้าเนเปียร์ที่เหลือในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์ไปวิเคราะห์ของแข็งระเหยได้ เมื่อได้ค่าของแข็งระเหยได้แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณหญ้าเนเปียร์ที่ต้องเติมเข้าระบบ จากนั้นเติมหญ้าเนเปียร์เข้าระบบ กวนผสมหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบและหญ้าเนเปียร์ที่เหลือในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์ให้เข้ากัน เก็บตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ และซีไอดีกรอง ขั้นตอนการทดลอง ดังรูปที่ 3.10
- 3) เลือกระยะเวลาเก็บกักและวิธีการหมักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรด เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่องการทดลองขั้นที่ 2 ต่อไป



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดลองชั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank) ยูเอ็นเปียร์หมักร่วมกับมูลโคมนด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบแบตช์

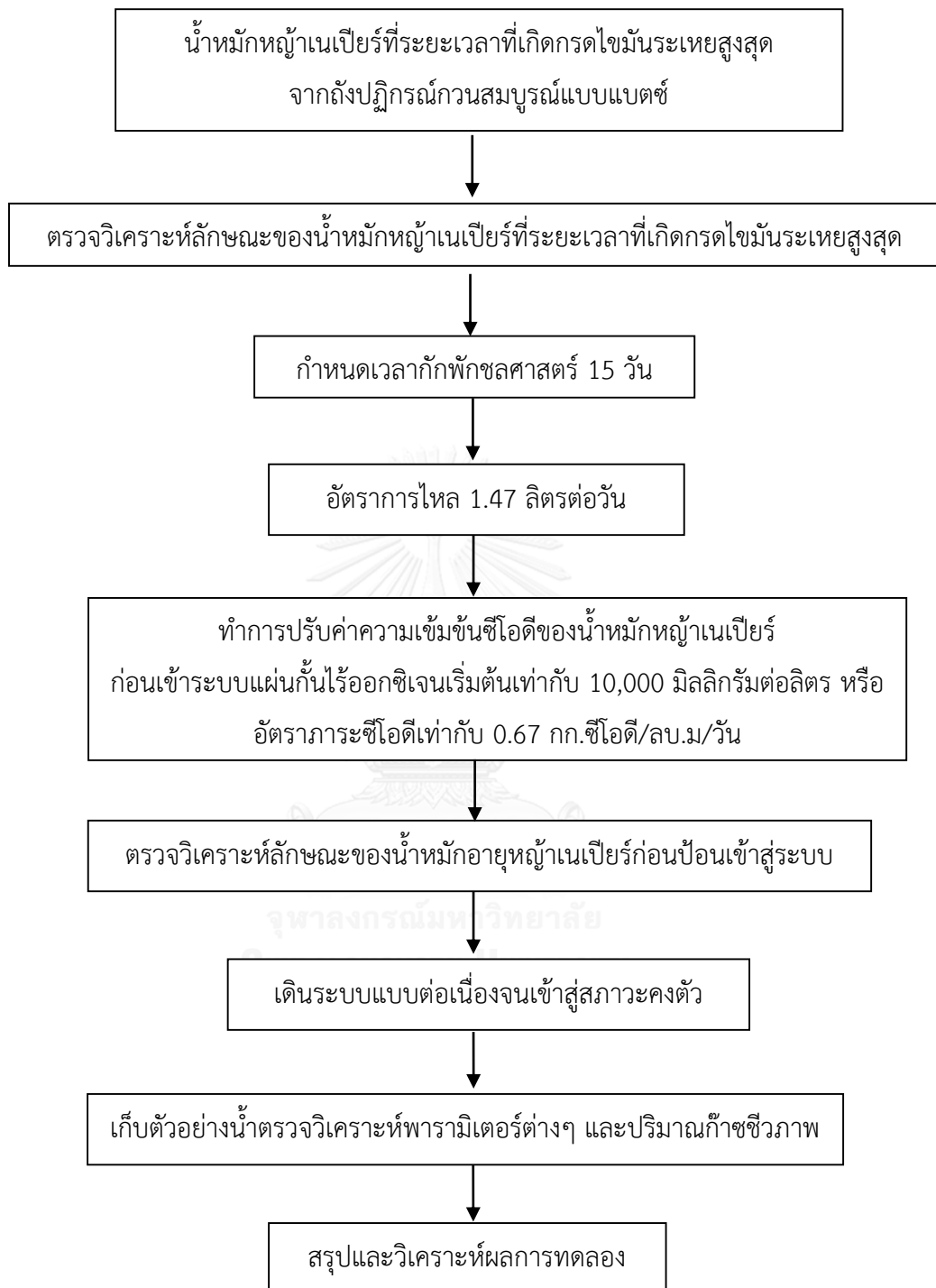


รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการทดลองขั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank) เติมหญ้าเนเปียร์เข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบแบตช์

การทดลองขั้นที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank)

- 1) จะทำการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง ทำหน้าที่เป็นถังผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการป้อนหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบี บริษัท เสริมสุข จำกัด เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน จากนั้นปรับสภาพหัวเชื้อโดยใช้น้ำหมักเห็ดจางเพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำหมัก
- 2) จากนั้นทำการป้อนน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ที่ระยะเวลาที่เกิดกรดไขมันระเหยสูงสุดได้จากถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบแบดซ์ทำหน้าที่เป็นถังหมักกรดที่เก็บน้ำหมักหญ้าเนเปียร์เอาไว้ โดยกำหนดเวลากักพักจุลินทรีย์ 15 วัน (Jagadabhi และคณะ, 2008) อัตราการไหล 1.47 ลิตรต่อวัน จากนั้นนำมาทำการคำนวณความเข้มข้นซีโอดีน้ำหมักหญ้าเนเปียร์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ อัตราการระเหยซีโอดีเท่ากับ 0.67 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (อภิวัฒน์ เจนจัดการ, 2556) ทำการปรับสภาพน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ก่อนเข้าระบบ โดยการปรับความเป็นกรด-ด่าง น้ำหมักหญ้าเนเปียร์ให้อยู่ในช่วง 5.5-7.2 เพื่อรักษาสภาพความเป็นกรดต่างของระบบ ในระหว่างที่ทำการเดินระบบทำการเก็บตัวอย่างน้ำขาเข้า และขาออกของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยจะทำการเก็บตัวอย่างปริมาณ 50 มิลลิลิตร สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์พีเอช อุณหภูมิ กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีกรองของแข็งแขวนลอย และปริมาณก๊าซชีวภาพ
- 3) โดยการป้อนน้ำหมักหญ้าเนเปียร์อย่างต่อเนื่องจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว คือมีค่าความเข้มข้นซีโอดีขาออกจากระบบแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำขาเข้า ขาออก และตัวอย่างตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยจะทำการเก็บตัวอย่างปริมาณ 50 มิลลิลิตร สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ พีเอช อุณหภูมิ กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีกรอง ของแข็งแขวนลอย ปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ร้อยละความเข้มข้นของก๊าซมีเทน

ขั้นตอนการทดลอง ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ฝั่ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหุ้ยเนเปียร์ที่หมักร่วมกับ
มูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบแผ่นกั้นไรร้อยออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง

3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.7.1 การทดลองขั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank) มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ตัวแปรตาม

- ผลผลิตกรดไขมันระเหยได้ที่อัตราการระบรทุกของแข็งระเหยได้เท่ากับ 0.57 กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ในการผลิตน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ด้วยถังหมักกรด พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ซีโอดีกรอง สภาพต่างทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ ปริมาณกรดไขมันระเหย และชนิดกรดไขมันระเหย

2) ตัวแปรควบคุม

- อัตราการระบรทุกของแข็งระเหยได้เท่ากับ 0.57 กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

- พีเอชในระบบอยู่ในช่วง 5.5-7.2

- เตินระบบที่อุณหภูมิห้อง

3.7.2 การทดลองขั้นที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank) มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ตัวแปรตาม

- ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ซีโอดีกรอง ปริมาณของแข็งแขวนลอย สภาพต่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย ชนิดกรดไขมันระเหย ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และร้อยละการเกิดก๊าซมีเทน

2) ตัวแปรควบคุม

- อัตราการซีโอดีเท่ากับ 0.67 กิโลกรัมซีโอดีลูกบาศก์เมตร-วัน

- เวลาพักพักชลศาสตร์ 15 วัน

- อัตราการน้ำเสียเข้าระบบ 1.47 ลิตรต่อวัน

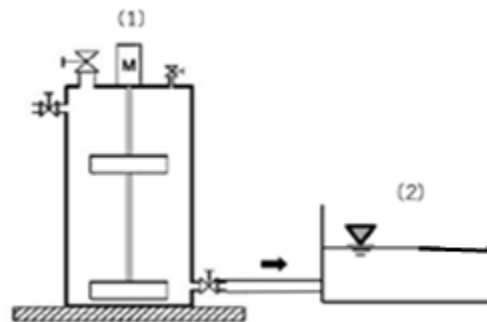
- พีเอชน้ำหมักหญ้าเนเปียร์เข้าระบบเริ่มต้น 6.8-7.2

- เตินระบบที่อุณหภูมิห้อง

3.8 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

3.8.1 การเก็บตัวอย่างน้ำในการทดลองชั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank)

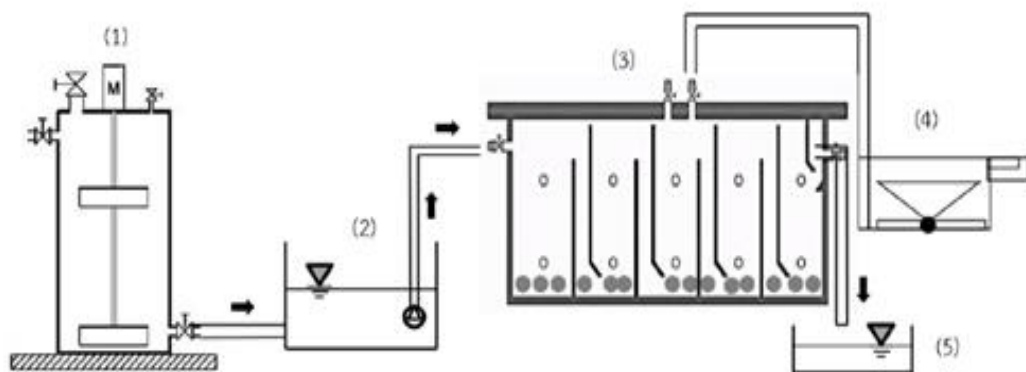
การวิจัยนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำหมักจากจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อการตรวจวิเคราะห์ จำแนกตามพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดไว้ ดังภาพที่ 3.13



รูปที่ 3.13 จุดเก็บตัวอย่างน้ำหมักจากถังหมักกรด

3.8.2 การเก็บตัวอย่างน้ำในการทดลองที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank)

การวิจัยนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำหมักจากจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อการตรวจวิเคราะห์ จำแนกตามพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนภาพอุปกรณ์สำหรับติดตั้งกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการทดลองที่ 2
 (1) ถังผลิตกรดไขมันระเหย (2) ถังพักน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ (3) ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน
 (4) เครื่องตรวจนับปริมาณก๊าซชีวภาพ (5) ถังพักน้ำเสียออก

- เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ โดยใช้เก็บตัวอย่างก๊าซต่อกับจุดเก็บตัวอย่างก๊าซ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซอื่น ๆ ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (GC)

- เก็บตัวอย่างที่เกิดจากการหมักจากจุดเก็บตัวอย่างด้านข้างของถังปฏิกริยา

3.8.3 การวิเคราะห์ผล

นำตัวอย่างที่เกิดจากการหมักมาวิเคราะห์ผล โดยวิธีวิเคราะห์และความถี่ของการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำในระบบการทดลองชั้นที่ 1 ถังหมักกรด (Acid Tank)

พารามิเตอร์	ความถี่การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	ทุกวัน	pH meter
อุณหภูมิ	ทุกวัน	Thermometer
กรดไขมันระเหย (มก./ล. อะซิติก)	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5560
ชนิดกรดไขมันระเหย (มก./ล.)	1 ครั้ง* ¹ (วันที่ระบบผลิตกรดได้สูงสุด)	Gas Chromatography
สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล.)	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #2320
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #2540B
ของแข็งระเหยได้ (มก./ล.)	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #2540B
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5220c
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5220c

ตารางที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำในระบบการทดลองชั้นที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank)

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ			ความถี่ การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
	ขาเข้า	แต่ละห้อง	ขาออก		
ช่วงเริ่มต้นระบบจนเข้าสู่สภาวะสมดุล					
พีเอช	√		√	ทุกวัน	pH meter
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	√		√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5220c
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	√		√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5220c
กรดไขมันระเหย (มก./ล. อะซิติก)	√		√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5560
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.)	√		√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #2320
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	√		√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #2540B
ปริมาณก๊าซ ชีวภาพ				ทุกวัน	Gas counter
หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล					
พีเอช	√	√	√	ทุกวัน	pH meter
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	√	√	√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5220c
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	√	√	√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5220c
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	√	√	√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #2540B
กรดไขมันระเหย (มก./ล. อะซิติก)	√	√	√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #5560
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	√	√	√	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Standard method #2320

ตารางที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำในระบบการทดลองขั้นที่ 2 ถังหมักก๊าซ (Methane Tank) (ต่อ)

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ			ความถี่ การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
	ขาเข้า	แต่ละห้อง	ขาออก		
ชนิดกรดไขมัน ระเหย (มก./ล.)	√	√	√	1 ครั้ง* (ที่สภาวะสมดุล)	Gas Chromatography
ปริมาณก๊าซ ชีวภาพ				ทุกวัน	Gas counter
ร้อยละการเกิด มีเทน				1 ครั้ง* (ที่สภาวะสมดุล)	Gas Chromatography

หมายเหตุ การวิเคราะห์ห้องประกอบก๊าซชีวภาพ

* ทำการวิเคราะห์ห้องประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) Model HP-5890 Series II Flame Ionization Detector (FID) DB-1701 column (Lehtomaki และคณะ, 2008)

* ¹ ทำการวิเคราะห์ชนิดกรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) Model HP-6890 Flame Ionization Detector (FID) Capillary innowax column

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน ทั้งแบบสดและหญ้าเนเปียร์ที่เก็บรักษาในสภาวะไร้ออกซิเจน (หมัก) โดยวิเคราะห์ความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ เถ้า ไนโตรเจน อินทรีย์คาร์บอน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และศึกษาองค์ประกอบมูลโคนมทางกายภาพ โดยวิเคราะห์ความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ เถ้า ไนโตรเจน อินทรีย์คาร์บอน
2. ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) ที่อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential) เพื่อหาชนิดและอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดในสภาวะไร้ออกซิเจน
3. ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตกรดไขมันระเหยโดยเดินระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์ระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาระยะเวลาเก็บกักและวิธีการหมักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรด เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
4. ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และหัวเชื้อจุลินทรีย์

4.1.1 องค์ประกอบหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

หญ้าเนเปียร์ที่ใช้เป็นหญ้า (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน มาจากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ทำการเตรียมหญ้าเนเปียร์ (สด) มาบดให้มีขนาด 0.5–0.7 เซนติเมตร (Pakarinen และคณะ, 2011) เพื่อง่ายต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ และนำหญ้าเนเปียร์ (สด) ส่วนหนึ่งทำการบดเรียบร้อยแล้วนำไปทำหญ้าเนเปียร์หมัก โดยบรรจุหญ้าเนเปียร์ลงในภาชนะให้แน่น เมื่อบรรจุหญ้าเนเปียร์เต็มภาชนะบรรจุ และอัดหญ้าเนเปียร์แน่นแล้วต้องปิดภาชนะที่บรรจุให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศซึมเข้า โดยใช้เวลาในการหมักอย่างน้อย 4 สัปดาห์ (Wilawan และคณะ, 2014) จากนั้นนำหญ้าเนเปียร์ (สด) และหญ้าเนเปียร์ (หมัก) ไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาก่อนใช้งาน นำตัวอย่างหญ้าเนเปียร์ (สด) และหญ้าเนเปียร์ (หมัก) มาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบ ได้แก่ ความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ ใย ไนโตรเจน อินทรีย์คาร์บอน ด้วยวิธี Standard Method#2540B เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ด้วยวิธี Van Soest และคณะ, 1991 ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (สด) ที่มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

องค์ประกอบ	หญ้าเนเปียร์สด		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ความชื้น (%)	81.57±0.19	80.81±0.33	79.83±0.01
ของแข็งทั้งหมด (% TS)	18.43±0.19	19.19±0.33	20.17±0.01
ของแข็งระเหยได้ (% TS)	16.43±0.20	17.00±0.23	17.71±0.04
ใย (%)	2.00±0.00	2.18±0.10	2.46±0.05
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	16.36±0.25	19.33±1.23	27.91±0.40
เซลลูโลส (%)	26.71±0.37	27.40±1.96	19.55±0.07
เฮมิเซลลูโลส (%)	37.92±0.01	39.07±0.77	36.51±0.39
ลิกนิน (%)	3.84±0.15	3.94±0.34	6.09±1.00

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (หมัก) ที่มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

องค์ประกอบ	หญ้าเนเปียร์หมัก		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ความชื้น (%)	78.54±1.88	79.97±1.34	76.93±0.14
ของแข็งทั้งหมด (% TS)	21.46±1.88	23.03±1.34	23.07±0.14
ของแข็งระเหยได้ (% TS)	18.93±1.71	17.40±1.19	20.02±0.12
เถ้า (%)	2.52±0.17	2.63±0.15	3.05±0.02
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	13.55±0.04	26.80±0.36	17.60±1.62
เซลลูโลส (%)	23.19±0.75	25.32±0.34	22.80±2.29
เฮมิเซลลูโลส (%)	40.74±1.36	40.40±1.24	43.52±1.90
ลิกนิน (%)	2.51±1.10	3.28±0.54	4.79±3.78

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์ (สด) พบว่าหญ้าเนเปียร์ (สด) ที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกันจะมีองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 11 โดยหญ้าเนเปียร์ (สด) ที่มีอายุมากขึ้นจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยได้เพิ่มขึ้นด้วย โดยหญ้าเนเปียร์อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 18.43±0.19 19.19±0.33 และ 20.17±0.01 และมีปริมาณของแข็งระเหยได้เท่ากับร้อยละ 16.43±0.20 17.00±0.23 และ 17.71±0.04 ตามลำดับ ซึ่งของแข็งระเหยได้บ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์และอาจจะสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ด้วย เมื่อพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของหญ้าเนเปียร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน พบว่าหญ้าเนเปียร์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะมีปริมาณไนโตรเจนสะสมในพืชลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของหญ้าที่อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน มีค่าเท่ากับ 16.36±0.25 19.33±1.23 และ 27.91±0.40 ตามลำดับ ส่วนองค์ประกอบเซลลูโลสสูงเท่ากับร้อยละ 26.71±0.37 27.40±1.96 และ 19.55±0.07 ตามลำดับ โดยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสนั้นเป็นส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าเนเปียร์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะมีอัตราส่วนลิกนินสูงขึ้นด้วย

ส่วนผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์ (หมัก) พบว่าหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน จะมีความชื้นลดลงเล็กน้อย โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยได้เพิ่มสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ (สด) เล็กน้อย ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 21.46±1.88 23.03±1.34 และ 23.07±0.14 ตามลำดับ และมีปริมาณของแข็งระเหยได้เท่ากับ

ร้อยละ 18.93 ± 1.71 17.40 ± 1.19 และ 20.02 ± 0.12 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของหญ้าเนเปียร์หมัก พบว่าหญ้าเนเปียร์ (หมัก) มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ (สด) โดยหญ้าเนเปียร์ (หมัก) ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 13.55 ± 0.04 26.80 ± 0.36 และ 17.60 ± 1.62 ตามลำดับ พบว่าหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันมีปริมาณไนโตรเจนสะสมในพืชลดลงอย่างเห็นได้ชัด

นอกจากนี้ปริมาณลิกนินที่เป็นองค์ประกอบในหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพก็พบว่า มีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออายุหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งเห็นได้ว่าหญ้าเนเปียร์ (หมัก) ทุกช่วงอายุจะมีอัตราส่วนลิกนินต่ำกว่าหญ้าเนเปียร์ (สด) ดังนั้นหญ้าเนเปียร์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันคาดว่าจะมีองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อการผลิตก๊าซชีวภาพแตกต่างกันด้วย

4.1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลโคมนที่ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์

มูลโคมนที่ใช้ในงานวิจัยเป็นมูลโคนมสดที่ได้จากฟาร์มโคนมสวนจิตรลดาโดยวิเคราะห์องค์ประกอบ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ ปริมาณเถ้า ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน โดยใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 เนื่องจากหญ้าเนเปียร์มีปริมาณเซลลูโลสสูง โดยทั่วไปเซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำและย่อยสลายได้ในร่างกายมนุษย์ แต่สำหรับโคมนที่จัดอยู่จำพวกสัตว์เท้ากีบซึ่งในกระเพาะของโคมนมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ (Koch และคณะ, 2009) เซลลูโลสเมื่อถูกย่อยสลายจะแตกตัวออกให้น้ำตาลกลูโคสจำนวนมากซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้มูลโคมนเป็นแหล่งหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของมูลโคมนที่ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในงานวิจัยนี้

องค์ประกอบ	มูลโคมน
ความชื้น (%)	81.10 ± 0.38
ของแข็งทั้งหมด (% TS)	18.90 ± 0.38
ของแข็งระเหยได้ (% TS)	16.08 ± 0.32
เถ้า (%)	2.83 ± 0.06
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	18.51 ± 0.18

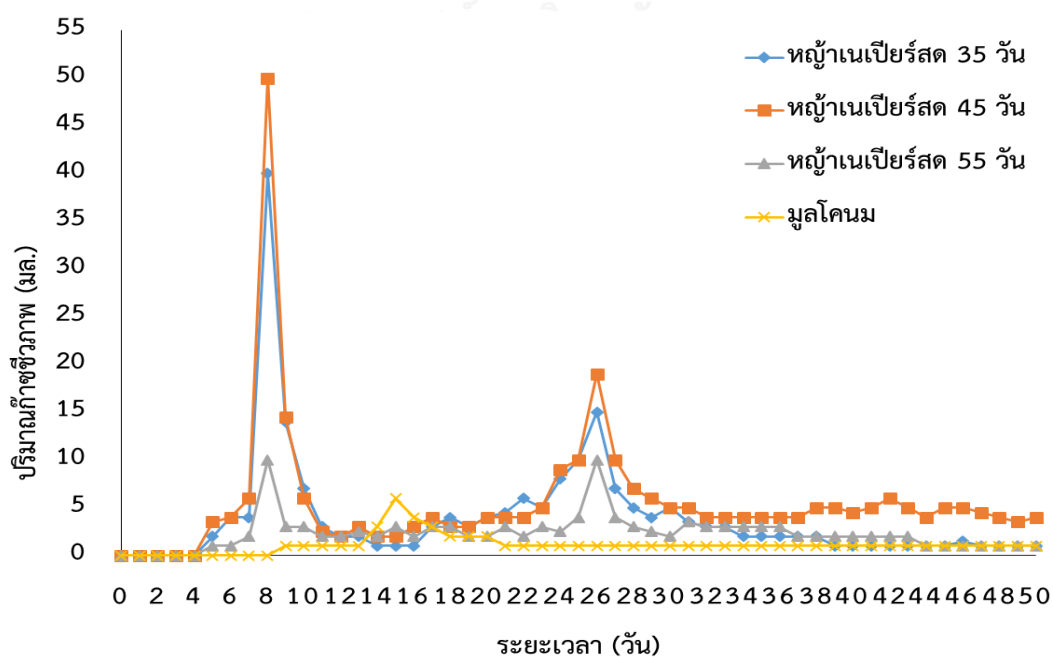
ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคนมพบว่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 18.90 ± 0.38 และมีปริมาณของแข็งระเหยได้ร้อยละ 16.08 ± 0.32 มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 18.51 ± 0.18 ซึ่งองค์ประกอบมีลักษณะใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ที่ใช้ในการทดลองเนื่องจากอาหารหลักของโคนมคือหญ้าเนเปียร์ที่ใช้ในการทดลองดังกล่าว

4.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) จากหญ้าเนเปียร์ร่วมกับมูลโคนมที่มีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

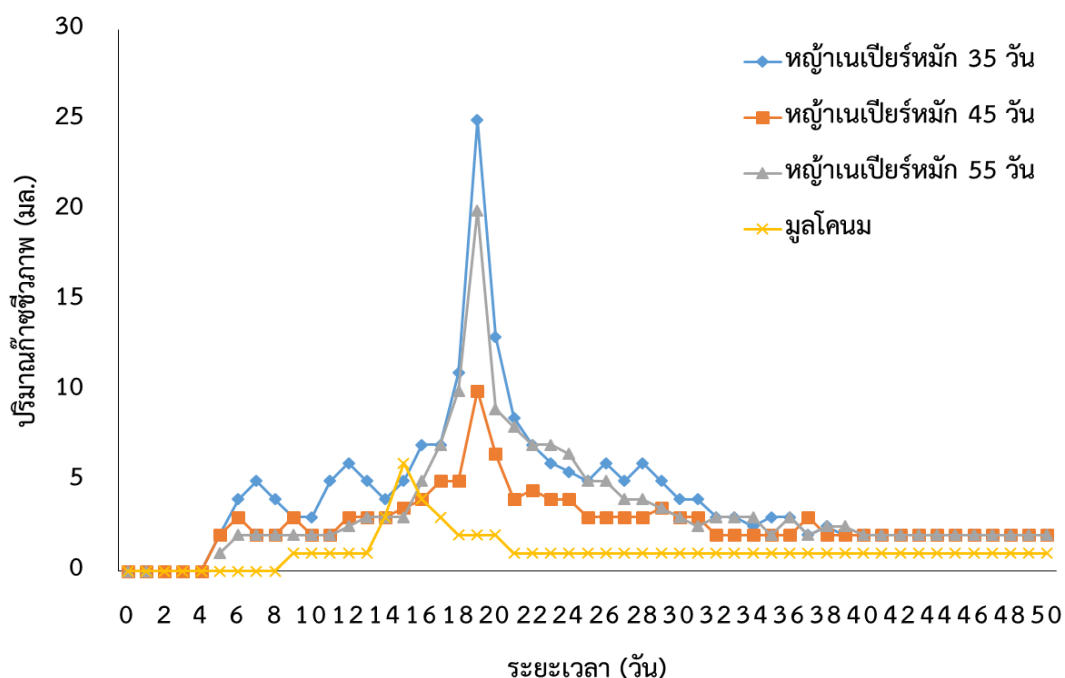
4.2.1 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการทดลองที่ 1

- 1) ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) หมักร่วมกับมูลโคนม

ก๊าซชีวภาพรายวันสามารถอธิบายได้จากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในระบบเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการทางชีววิทยาของการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่มีจุลินทรีย์มาเกี่ยวข้องโดยสารอินทรีย์บางส่วนใช้เพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และสารอินทรีย์บางส่วนใช้เพื่อสร้างก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพรายวันสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 (ก) ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนม



รูปที่ 4.1 (ข) ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโคนม

การทดลองเริ่มต้นระบบโดยใช้หญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน และใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นมูลโคนมลงในขวดซีพีซี จากกราฟแสดงว่าหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) ถูกย่อยสลายหมดตั้งแต่ 30 วันแรกของการทดลอง โดยก๊าซชีวภาพรายวันของการทดลองทั้ง 6 ชุดการทดลองมีค่าต่ำสุดเป็นก๊าซชีวภาพรายวันเฉลี่ย 30 วัน จากสรุปผลการทดลอง ดังนี้

1. ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนม

ผลการศึกษา พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพรายวันของชุดการทดลอง อายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์สด 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม รูปแบบการย่อยสลายจะเป็น 2 ระยะ โดยในช่วงแรกการทดลองก๊าซชีวภาพรายวันของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีค่าสูงที่สุดในวันที่ 8 ซึ่งหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนมอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันจะให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพต่างกัน อาจจะเป็นเนื่องจากองค์ประกอบสารอินทรีย์ย่อยสลายง่าย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น แต่มีแนวโน้มในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นแนวทางเดียวกันคือชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนมที่ทุกอายุการเก็บเกี่ยวจะผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดในวันที่ 8 ของการหมัก โดยชุดการ

ทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยมีผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 50 มิลลิลิตรต่อวัน รองลงมาคือชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วัน และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม โดยมีผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 40 มิลลิลิตรต่อวัน และ 10 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ สำหรับวันที่ 26 ของการทดลองก๊าซชีวภาพรายวันมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากจะค่อยๆเริ่มย่อยสลายองค์ประกอบสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างจะยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีค่าเท่ากับ 17 มิลลิลิตรต่อวัน ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีค่าเท่ากับ 15 มิลลิลิตรต่อวัน และชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิลิตรต่อวัน จากนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง และคงที่หลังวันที่ 30 จนถึงวันที่สิ้นการทดลองปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของ 6 ชุดการทดลองมีปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันต่ำ ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบถูกใช้ไปจนเกือบหมด และระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าคงที่และมีค่าต่ำ

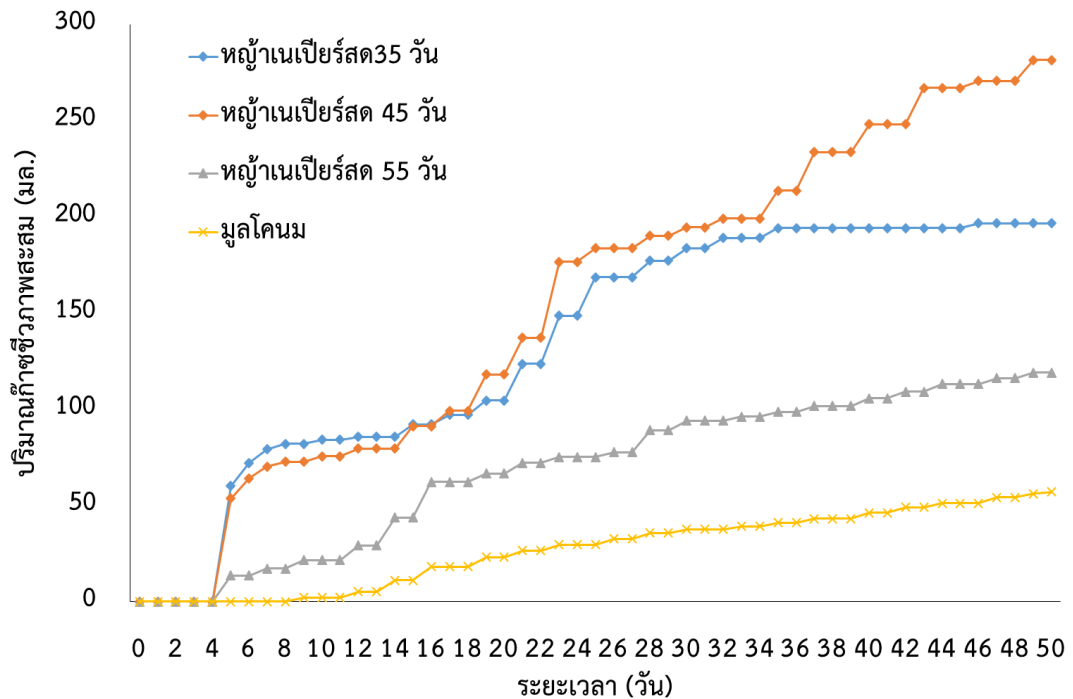
2. ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโคนม

ผลผลิตก๊าซชีวภาพวันที่ 19 ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโคนมเกิดได้ช้ากว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนม อาจเกิดจากการนำหญ้าเนเปียร์สดเก็บในภาชนะปิดสนิทเป็นเวลา 30 วัน องค์ประกอบสารอินทรีย์ย่อยสลายง่าย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ถูกย่อยสลายไปก่อนที่จะนำมาผ่านกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนมาก่อนที่จะนำมาเข้ากระบวนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ ทำให้ในช่วงระยะเวลาแรกไม่มีผลผลิตก๊าซชีวภาพ แต่จะพบผลผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงระยะหลังเนื่องจากจะค่อยๆเริ่มย่อยสลายองค์ประกอบสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างจะยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น

2) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) หมักร่วมกับมูลโคนม

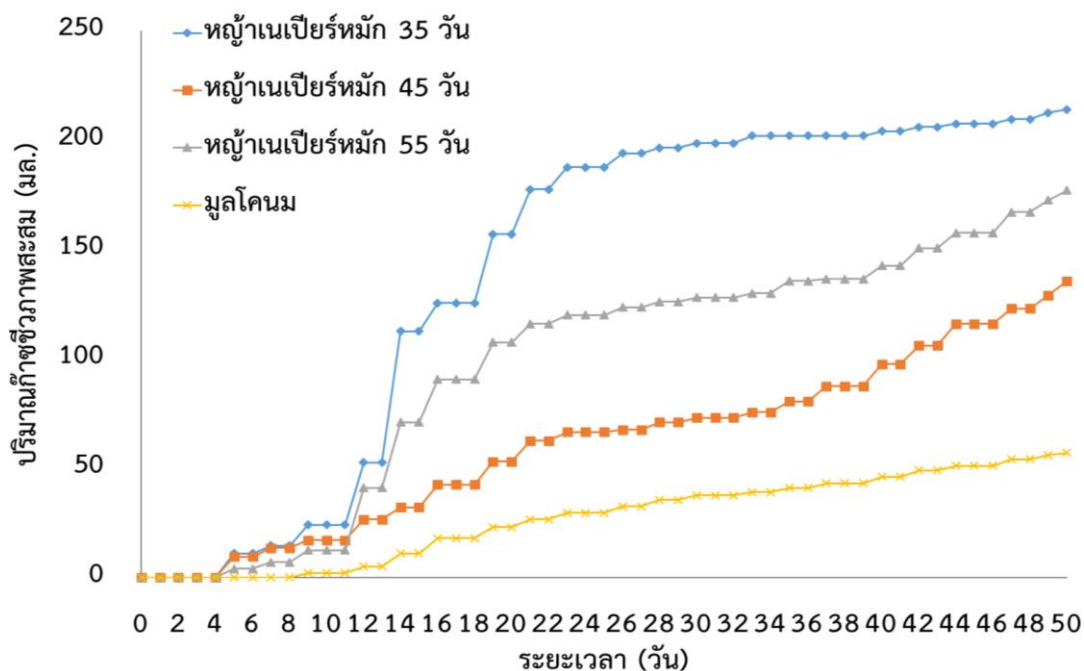
จากการทดลองเดินระบบด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential) เป็นระยะเวลา 50 วัน ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) มีอายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 197 282 และ 119 มิลลิลิตร ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้สูงกว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก)



รูปที่ 4.2 (ก) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนม

ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) มีอายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 214 136 และ 177 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนมสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้สูงกว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 55 และ 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม แสดงดังรูปที่ 4.2 (ข)



รูปที่ 4.2 (ข) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของชุดการทดลองหมักเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโคนม

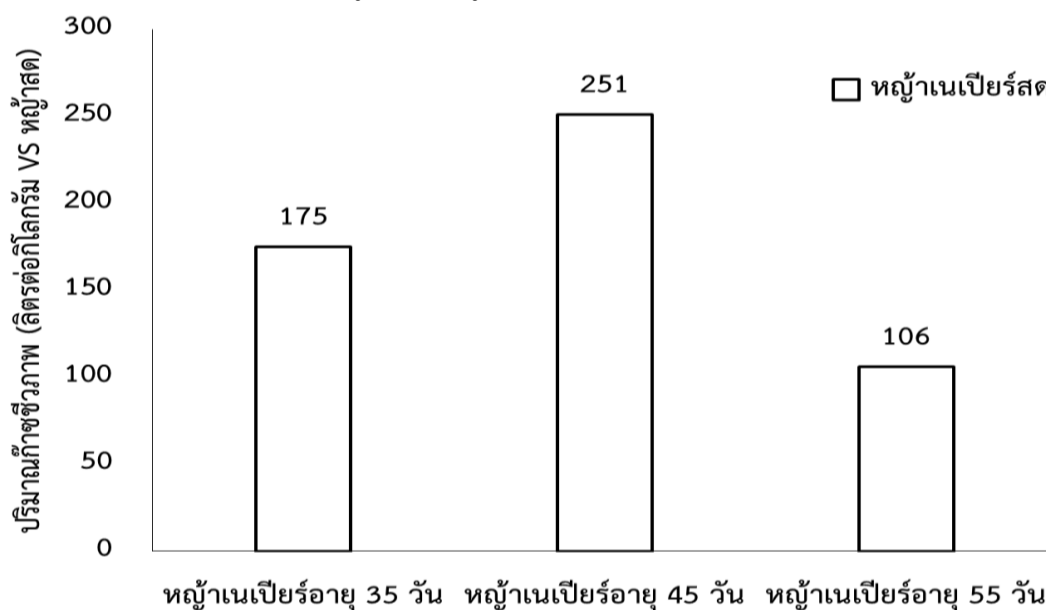
เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม จากปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของหมักเนเปียร์ (สด) มีอายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของหมักเนเปียร์ (หมัก) มีอายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของหมักเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม สามารถผลิตปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงที่สุด

3) การเปรียบเทียบศักยภาพภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

1. ชุดการทดลองหมักเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนม

ชุดการทดลองหมักเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม เมื่อนำมาผลิตก๊าซชีวภาพที่ 50 วัน พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 175 251 และ 106 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้หญ้าสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าหมักเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าชุดการทดลองหมักเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสหมักเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน เนื่องจากหมักเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน มีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าหมักเนเปียร์สดอายุการเก็บเกี่ยว 35 และ 55 วัน การย่อย

เซลลูโลสเกิดจากการที่โมเลกุลของไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งเอนไซม์จะเข้าทำการย่อยเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ จากนั้นจะถูกจุลินทรีย์ดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (Massé และคณะ, 2010) จึงเกิดการย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลปริมาณมาก ส่งผลให้หญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงที่สุด ดังรูปที่ 4.3 (ก)

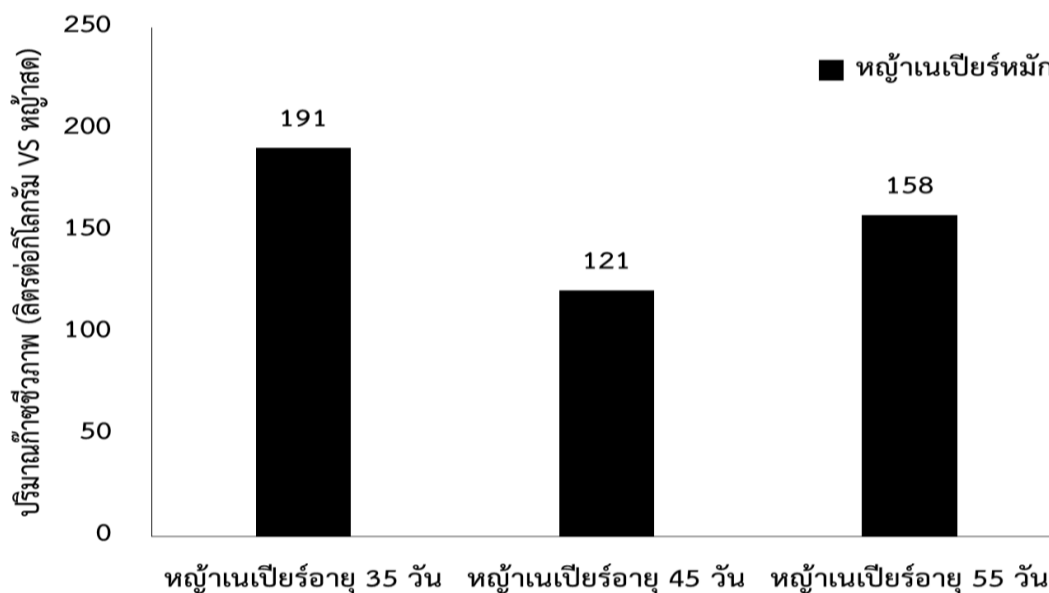


รูปที่ 4.3 (ก) การผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโค

2. ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโค

ผลของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 191 121 และ 158 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้หญ้าสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดต่างจากชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโค เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วัน มีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 98.58 และมีลิกนินต่ำสุดเนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยอาศัยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ภายใต้กระบวนการหมักไร้ออกซิเจนเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายและได้น้ำตาลเพนโตส และน้ำตาลเฮกโซส ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้จะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆภายในกระบวนการหมักไร้ออกซิเจนจนได้ก๊าซชีวภาพเป็นสารผลิตภัณฑ์ และจากงานวิจัยของ Song และคณะ, 2014 พบว่าสัดส่วนของเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นจากการปรับสภาพซังข้าวโพดจะสามารถเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่ง

จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าปริมาณเซลล์โลสภายในองค์ประกอบของพืชนั้นเป็นสารตั้งต้นให้กับจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักไร้ออกซิเจน



รูปที่ 4.3 (ข) การผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโคนม

4) การคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่อพื้นที่เพาะปลูก

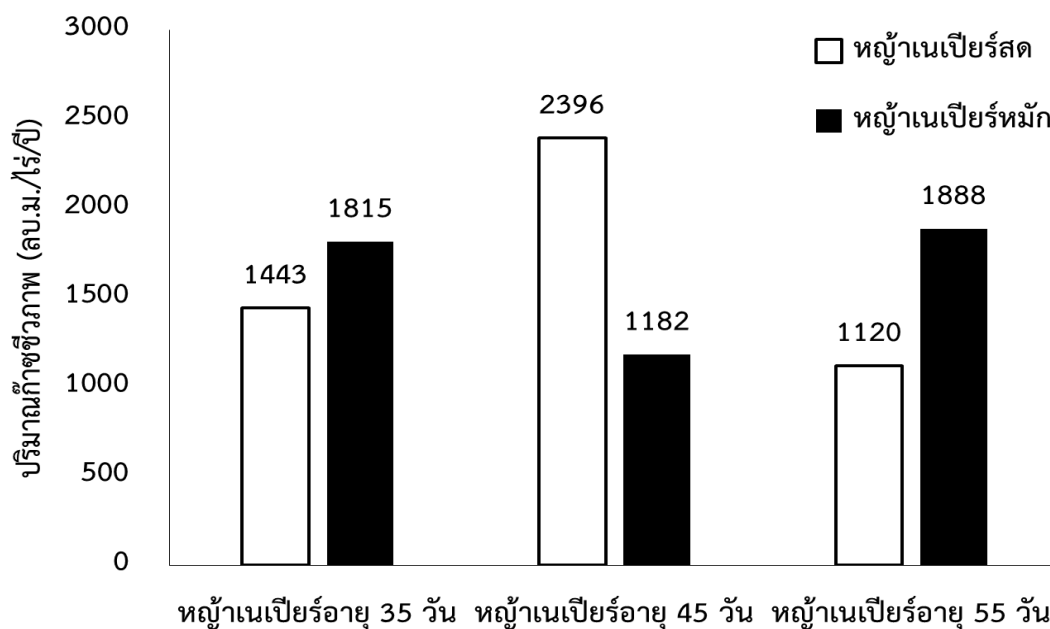
1. ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนม

การปลูกหญ้าเนเปียร์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกันโดยเก็บเกี่ยวทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน ทำให้ในแต่ละปีจะสามารถให้ผลผลิตหญ้าเนเปียร์เฉลี่ยต่างกันเท่ากับ 50,200 56,165 และ 59,702 กิโลกรัม/ไร่/ปี (ประพนธ์ บุญเจริญ, 2553) โดยคิดเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) หมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับ 1,443 2,396 และ 1,120 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ตามลำดับ

2. ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโคนม

การปลูกหญ้าเนเปียร์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกันโดยเก็บเกี่ยวทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน ทำให้ในแต่ละปีจะสามารถให้ผลผลิตหญ้าเนเปียร์เฉลี่ยต่างกันเท่ากับ 50,200 56,165 และ 59,702 กิโลกรัม/ไร่/ปี (ประพนธ์ บุญเจริญ, 2553) คิดเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพ

ชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) หมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับ 1,815 1,182 และ 1,888 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่อพื้นที่เพาะปลูก

จากรูปที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บเกี่ยวของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) ต่างกันโดยเก็บเกี่ยวทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วัน พบว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงสุดเท่ากับ 2,875 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี และชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงสุด 1,974 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ดังนั้นควรเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน และหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วัน เนื่องจากให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพต่อพื้นที่เพาะปลูก (ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี) ที่ดีที่สุด

4.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของการการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

1) ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้

การทดลองศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential) การทดลองทั้งหมด 50 วัน โดยชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์

(สดและหมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม โดยการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงไป แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ของการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

พารามิเตอร์	หญ้าเนเปียร์สด			หญ้าเนเปียร์หมัก		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเข้าระบบ (มก./ล.)	21,670	25,020	27,670	25,303	22,680	20,594
ค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยออกจาก ระบบ (มก./ล.)	4,855	4,929	10,115	6,480	7,908	6,874
การกำจัดของแข็งทั้งหมด (%)	78	80	63	66	45	62
ค่าของแข็งระเหยได้เฉลี่ยเข้าระบบ (มก./ล.)	15,145	18,195	21,295	19,848	18,125	16,188
ค่าของแข็งระเหยได้เฉลี่ยออกจาก ระบบ (มก./ล.)	3,260	2,715	8,395	4,123	9,080	5,438
การกำจัดของแข็งระเหยได้ (%)	78	85	61	79	50	66

ชุดการทดลองของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม พบว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีค่าของแข็งทั้งหมดเข้าระบบเท่ากับ 21,670 25,020 และ 27,670 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 4,855 4,929 และ 10,115 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดของแข็งทั้งหมดของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับร้อยละ 78 80 และ 63 ตามลำดับ และค่าของแข็งระเหยได้เข้าระบบเท่ากับ 15,145 18,195 และ 21,295 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าของแข็งระเหยได้มีค่าเท่ากับ 3,260 2,715 และ 8,395 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดของแข็งระเหยได้ของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับร้อยละ 78 85 และ 61 ตามลำดับ โดยชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมสูงกว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการ

เก็บเกี่ยว 35 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน มีอัตราส่วน C/N เหมาะสมกับการหมักแบบไร้ออกซิเจนคือเท่ากับ 19.33

ส่วนชุดการทดลองของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม พบว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 25,303 22,680 และ 20,594 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 6,480 7,908 และ 6,874 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดของแข็งทั้งหมดของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับร้อยละ 66 45 และ 62 ตามลำดับ และค่าของแข็งระเหยได้เข้าระบบเท่ากับ 19,848 18,125 และ 16,188 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าของแข็งระเหยได้มีค่าเท่ากับ 4,123 9,080 และ 5,438 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดของแข็งระเหยได้ของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับร้อยละ 79 50 และ 66 ตามลำดับ โดยชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้สูงสุด

เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมกับชุดการทดลองของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้แปรผันตรงกัน ทั้งในชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้สูงสุดแปรผันตรงตามประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงที่สุดด้วย เนื่องจากค่าของแข็งระเหยได้ที่หายไปถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ

2) ซีโอดี

เมื่อเริ่มต้นการทดลองค่าซีโอดีของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 6,160 8,960 และ 10,080 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าซีโอดีมีค่าเท่ากับ 2,880 3,200 และ 5,120 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับร้อยละ 53 64 และ 49 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยซีโอดีลดลงเนื่องจากการเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และเกิดการหมักกรดอินทรีย์ระเหยจึง

มีการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยไปเป็นก๊าซชีวภาพในขั้นตอนการสร้างก๊าซชีวภาพ ดังนั้นชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงสุดจึงทำให้เกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดด้วย

ตารางที่ 4.4 ซีไอดีของการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

พารามิเตอร์	หญ้าเนเปียร์สด			หญ้าเนเปียร์หมัก		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ค่าซีไอดีเฉลี่ยเข้าระบบ (มก./ล.)	6,160	8,960	10,080	8,800	11,200	10,400
ค่าซีไอดีเฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	2,880	3,200	5,120	2,960	4,800	3,840
การกำจัดซีไอดี (%)	53	64	49	66	57	63

ส่วนเริ่มต้นการทดลองค่าซีไอดีของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมมีค่าซีไอดีเริ่มต้นเท่ากับ 8,800 11,200 และ 10,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าซีไอดีมีค่าเท่ากับ 2,960 4,800 และ 3,840 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดซีไอดีของชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมเท่ากับร้อยละ 66 57 และ 63 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ผลการคัดเลือกชนิด และอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมสำหรับการทดลองที่ 2

การคัดเลือกชนิดและอายุการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมเพื่อนำมาเป็นสารชีวมวลที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนโดยเดินระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มี การเดินระบบแบบแบตช์ โดยศึกษาประสิทธิภาพระยะเวลาเก็บกักที่เกิดการผลิตกรดไขมันระเหยที่สูงสุดโดยเดินระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มี การเดินระบบแบบแบตช์ จากการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สดและหมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 45 และ 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนมด้วยวิธีบีเอ็มพี พบว่าชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนมผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีที่สุด ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งทั้งหมดได้ร้อยละ 80 กำจัดสารอินทรีย์ในรูปของแข็งระเหยได้ร้อยละ

85 และกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอไซด์ร้อยละ 64 โดยศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ 251 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้แห้งที่สุด หรือคิดเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2,396 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี

4.3 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนม และหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตช์

ผลการศึกษาระยะเวลาเก็บกักและวิธีการหมักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรดในครั้งนี้ จะทำการทดลองในถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตช์มีปริมาตรการทำงานเท่ากับ 5 ลิตร โดยกำหนดปริมาณหญ้าเนเปียร์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในระบบมีค่าของแข็งระเหยได้เริ่มต้นเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และกำหนดมูลโคนมที่ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในระบบมีค่าของแข็งระเหยได้เริ่มต้นเท่ากับ 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาระยะเวลาเก็บกักและวิธีการหมักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรด เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป การทดลองนี้จะศึกษาโดยทดลองแบบแบตช์ โดยมีระยะเวลาเดินระบบทั้งหมด 18 วัน รายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลของระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตช์

1.พีเอช

เมื่อพิจารณาค่าพีเอชในถังหมักกรด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5.60–6.27 ตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.5 ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบเพื่อรักษาสมดุลพีเอชไม่ให้มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากงานวิจัยของ Kim และคณะ, 2003 พบว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.2–6.2 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนการหมักกรดเพื่อผลิตกรดไขมันระเหย

2.อุณหภูมิ

จากการศึกษาอุณหภูมิภายในระบบตลอดระยะเวลา 18 วัน มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29.7-31.2 องศาเซลเซียส จากงานวิจัยของ Gunaseelan และคณะ, 2004 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม

ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบหมักไร้ออกซิเจนในช่วงของเมโซฟิลิกมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่สุด ดังนั้นค่าของอุณหภูมิตลอดระยะเวลาเดินระบบนั้นเป็นช่วงของเมโซฟิลิกจึงเหมาะสมต่อการกระบวนการผลิตกรดไขมันระเหย ดังรูปที่ 4.5

3. กรดไขมันระเหย

3.1 ปริมาณกรดไขมันระเหย

จากผลการศึกษาปริมาณกรดไขมันระเหยพบว่าในวันที่ 11 สามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้อยู่ในช่วง 1,540-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก แสดงดังรูปที่ 4.5 ทั้งนี้กรดไขมันระเหยมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกรดไขมันระเหยเป็นสารอาหารหรือสาร ตั้งต้นให้กับจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนเพื่อนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นภายในถังหมักกรดกับงานวิจัยของ Alkaya และคณะ, 2010 พบว่าผลผลิตกรดไขมันระเหยปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1,000–2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และการเดินระบบในการทดลองครั้งนี้ค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.60–6.27 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มผลผลิตกรดไขมันระเหยในถังหมักกรด และการที่ค่าพีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าวจะสามารถเกิดผลผลิตกรดอะซิติกได้สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรดโพรไพโอนิกและกรดบิวไทริก นอกจากนี้ช่วงค่าพีเอชดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาการหมักในกระบวนการผลิตกรดไขมันระเหยให้ลดลงได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามสภาวะช่วงค่าพีเอชดังกล่าวนั้นอาจส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ทำให้ภายในถังหมักกรดจึงเกิดก๊าซชีวภาพขึ้น

3.2 ชนิดกรดไขมันระเหย

จากผลการทดลองชนิดกรดไขมันระเหย พบว่ามีสัดส่วนของกรดอะซิติกในปริมาณสูงสุด รองลงมาคือกรดโพรไพโอนิก และกรดบิวไทริก ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาชนิดกรดไขมันระเหยหลักของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซชีวภาพภายในระบบ คือ กรดอะซิติกพบว่าปริมาณเท่ากับ 980 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim และคณะ, 2003 พบว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.2–6.2 นั้นจะเกิดปริมาณกรดอะซิติกสูงสุด และเกิดปริมาณโพรไพโอนิกต่ำ โดยจะเป็นผลดีกับจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนภายในระบบ ดังรูปที่ 4.5 โดยปริมาณกรดไขมันระเหยแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นภายในระบบจะขึ้นกับชนิดน้ำตาลที่ถูกย่อยสลายออกมาจากหญ้าเนเปียร์ โดยน้ำตาลชนิด

ต่างๆ ภายในหม้อเนเปียร์จะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเปลี่ยนรูปเป็นกรดไขมันระเหยโดยผ่านกระบวนการทางชีวเคมีระดับเซลล์ของจุลินทรีย์ (Torabian และคณะ, 2011)

4. สภาพต่างทั้งหมด

ผลการศึกษาสภาพต่างทั้งหมดภายในระบบอยู่ในช่วง 1,540-4,800 มิลลิกรัมต่อลิตรของหินปูน แสดงดังรูปที่ 4.5 พิจารณาสภาพต่างทั้งหมดภายในระบบ พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สภาพต่างทั้งหมดภายในระบบเพิ่มตามไปด้วย

5. สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

ผลการศึกษา พบว่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.36-0.48 ในการทดลองนี้มีการปรับสภาพของระบบให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยจะรักษาสภาพไม่ให้ค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดสูงกว่า 0.8 ถ้าหากมีค่าสูงกว่า 0.8 ระบบอาจจะล้มเหลวได้ เนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยที่สูงเกินไป ทำให้บัพเฟอร์ที่มีอยู่ในระบบไม่เพียงพอจึงจำเป็นต้องเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้าไปในระบบเพื่อรักษาสภาพของระบบ ดังรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการทดลองมีค่าสัดส่วนไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดต่ำกว่า 0.8 ดังนั้นระบบจึงมีสภาวะเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดซึ่งสามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้สูง

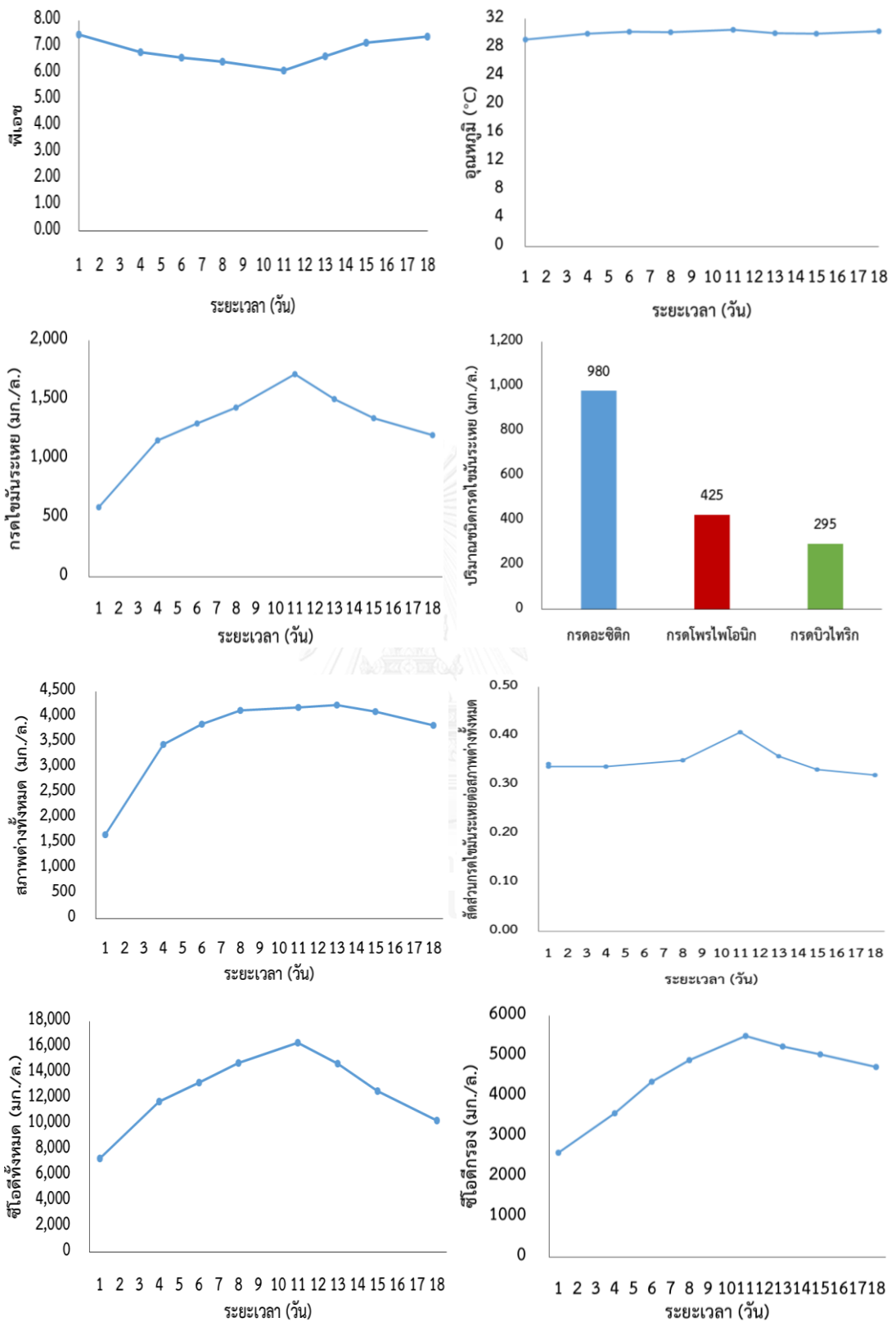
6. ซีโอดีทั้งหมด

ผลการศึกษา พบว่าปริมาณความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดภายในถังปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 11 วันแรกของการเดินระบบ จากนั้นหลังวันที่ 13 ของการเดินระบบปริมาณความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดจะค่อยลดลง โดยปริมาณซีโอดีทั้งหมดของหม้อเนเปียร์หมักรวมมูลโคนมมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 15,309-16,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.5 เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดในระบบดังกล่าวเกิดจากสารอินทรีย์ละลายน้ำภายในองค์ประกอบของหม้อเนเปียร์ โดยองค์ประกอบของสารอินทรีย์ภายในหม้อเนเปียร์นั้นหลายชนิด เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพกติน แป้ง น้ำตาลชนิดต่างๆ และอื่นๆ (Chanakya และคณะ, 2012) จากกระบวนการหมักไร้ออกซิเจนสารอินทรีย์ต่างๆ เหล่านี้จะผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มี

ขนาดเล็กกลงโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ การย่อยสลายนั้นสารที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายก่อน

7. ซีโอดีกรอง

ในการทำทดลองพบว่าปริมาณความเข้มข้นซีโอดีกรองภายในถังปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 11 วันแรกของการเดินระบบ จากนั้นหลังวันที่ 13 ของการเดินระบบปริมาณความเข้มข้นซีโอดีกรองจะค่อยลดลง โดยปริมาณซีโอดีกรองที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 4,160-6,720 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาปริมาณความเข้มข้นซีโอดีกรองในระบบดังกล่าวเกิดจากสารอินทรีย์ละลายน้ำภายในองค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์ โดยองค์ประกอบของสารอินทรีย์ภายในหญ้าเนเปียร์นั้นหลายชนิด เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพกติน แป้ง น้ำตาลชนิดต่างๆ และอื่นๆ (Chanakya และคณะ, 2012) จากกระบวนการหมักไร้ออกซิเจนสารอินทรีย์ต่างๆ เหล่านี้จะผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กกลงโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ การย่อยสลายนั้นสารที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายก่อน เช่น แป้งและน้ำตาล ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม Hydrolytic และ Fermenting bacteria ปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยภายนอกเซลล์ เอนไซม์เหล่านี้จะย่อยสลายแป้งและน้ำตาลชนิดต่างๆ ให้กลายเป็นน้ำตาล 6 และ 5 อะตอม จากนั้นจะอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีในการเปลี่ยนน้ำตาล 6 อะตอมให้กลายเป็นไพรูเวท และเปลี่ยนไพรูเวทให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก และกรดแลคติก โดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม Acidogens จากนั้นกรดไขมันระเหยชนิดต่างๆ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน จากกระบวนการดังกล่าว เป็นปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กกลงทำให้เกิดสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กขึ้นภายในระบบมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นซีโอดีกรองภายในระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 11 วัน



รูปที่ 4.5 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงเสถียรภาพของถังหมักกรตของหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนม ด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่เดินระบบแบบแบตช์ตลอดการทดลอง

4.3.2 ผลของระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์

1.พีเอช

ค่าพีเอชของการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์ตลอดการทดลอง พบว่าค่าพีเอชของอยู่ในช่วง 6.45-6.74 ดังรูปที่ 4.6 แต่ในถังหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบมีค่าพีเอชสูงจึงส่งผลทำให้การผลิตกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นไม่ดี เนื่องจากงานวิจัยของ Rao และคณะ, 2000 พบว่าในถังหมักมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยจึงทำให้พีเอชลดลง

2.อุณหภูมิ

อุณหภูมิของการทดลองจะขึ้นอยู่กับสภาพบรรยากาศภายนอก โดยอุณหภูมิของการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์ มีค่าอยู่ในช่วง 30.7-30.8 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้กิจกรรมระดับเซลล์แบคทีเรีย เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์แบคทีเรียช้าตามไปด้วย ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้เกิดก๊าซชีวภาพภายในระบบได้ดีคือช่วงอุณหภูมิ 30-38 องศาเซลเซียส (Madigan และคณะ, 1997)

3.กรดไขมันระเหย

ปริมาณกรดไขมันระเหยของการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์ พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยอยู่ในช่วง 400-550 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมีค่าต่ำ เนื่องจากมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้น้อยในถังหมักจึงทำให้ปริมาณของกรดไขมันระเหยน้อยตามไปด้วย

4.สภาพต่างทั้งหมด

ปริมาณสภาพต่างทั้งหมดของการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการเดินระบบแบบแบตซ์ พบว่าปริมาณสภาพต่างทั้งหมดอยู่ในช่วง

900-1,300 มิลลิกรัมต่อลิตรของหินปูน ดังรูปที่ 4.6 มีค่าน้อย เนื่องจากปริมาณสภาพต่างทั้งหมดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นซีโอดีที่ย่อยสลายได้ ดังนั้น เมื่อซีโอดีย่อยสลายได้น้อยจึงทำให้ปริมาณสภาพต่างทั้งหมดน้อยลงด้วย

5. สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

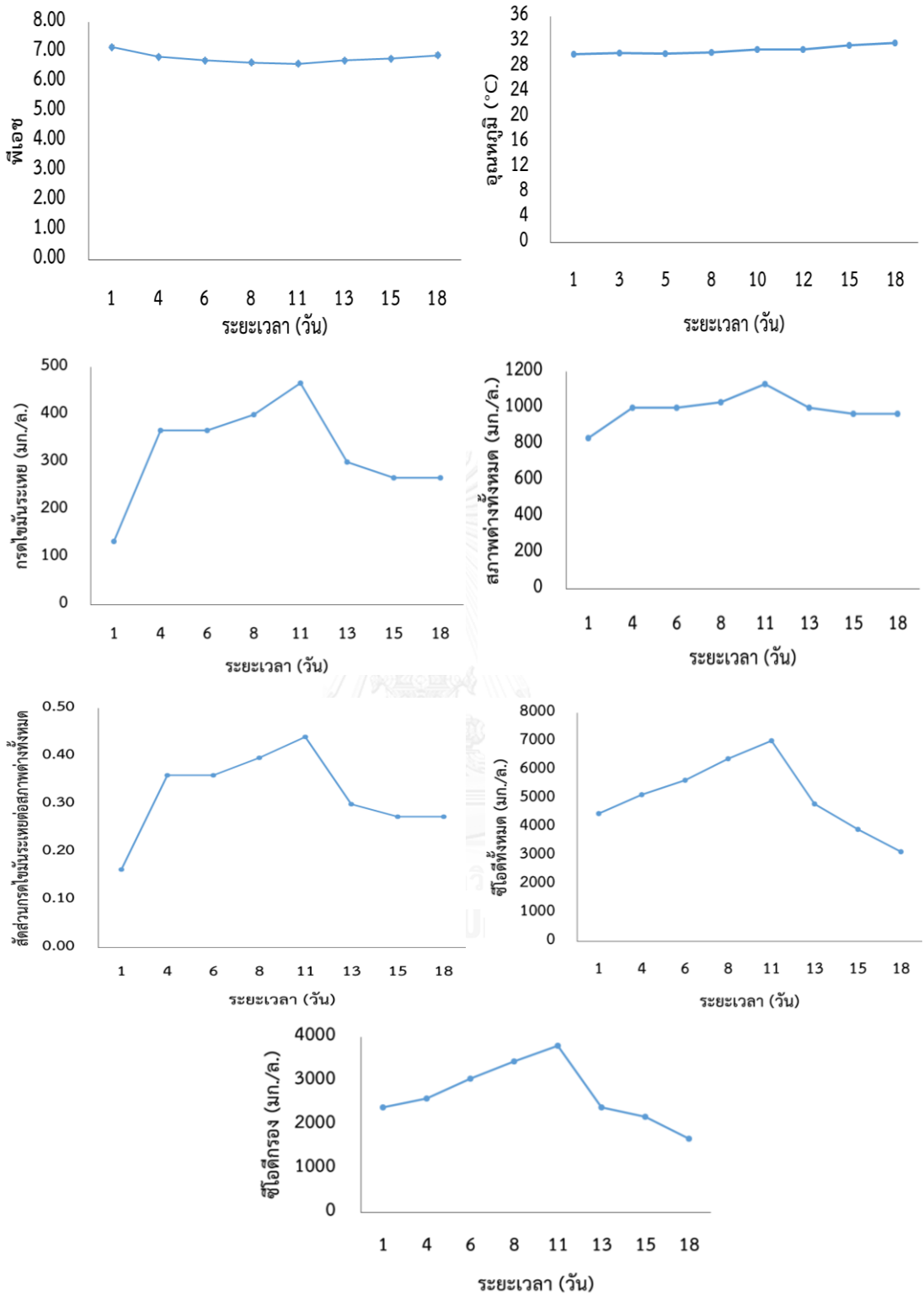
สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงเสถียรภาพของระบบ ถ้าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 0.3-0.4 แสดงว่าระบบไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดสภาวะระบบล้มเหลวได้ (Borja และคณะ, 2001) แต่สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์มีค่าอยู่ในช่วง 0.42-0.46 ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งบอกได้ว่าระบบในถังหมักกรดมีความเสี่ยงที่จะเกิดสภาวะระบบล้มเหลวได้

6. ซีโอดีทั้งหมด

ปริมาณซีโอดีทั้งหมดของการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์ตลอดการทดลอง พบว่าในถังหมักกรดมีปริมาณซีโอดีทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 5,888-8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมีปริมาณซีโอดีทั้งหมดต่ำโดยไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรรวรรณ วัฒนยมนาพร, 2553 พบว่าในถังหมักกรดส่วนใหญ่เป็นการย่อยสลายสารอาหารให้เป็นโมเลกุลใหญ่และสร้างกรดอินทรีย์ระเหยซึ่งปริมาณซีโอดีทั้งหมดจะมีค่าสูง

7. ซีโอดีกรอง

ในการทำทดลองพบว่าปริมาณความเข้มข้นซีโอดีกรองภายในถังปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 11 วันแรกของการเดินระบบ จากนั้นหลังปริมาณความเข้มข้นซีโอดีกรองจะค่อยลดลงเนื่องจากปริมาณซีโอดีกรอง มีองค์ประกอบคือ กรดไขมันระเหย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวไทริก จึงเกิดการย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว โดยปริมาณซีโอดีกรองที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 3,600-3,957 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงเสถียรภาพของถังหมักกรดของหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบด้วย
 ถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่เดินระบบแบบแบตช์ตลอดการทดลอง

4.3.3 ผลการคัดเลือกระยะเวลาเก็บกักและวิธีการหมักที่ผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงสุดในการผลิตน้ำหมักกรด เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การทดลองเมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถสรุปได้ว่าที่ห้วยเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนม มีความเหมาะสมที่สุดในการผลิตกรดไขมันระเหย โดยพารามิเตอร์น้ำหมักกรดห้วยเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนม ที่ระยะเวลาเก็บกัก 11 วัน จากถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์ มีค่าดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยน้ำหมักกรดห้วยเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์

พารามิเตอร์	น้ำหมักกรดออกจากถัง CSTR แบบแบตช์
พีเอช	5.60-6.27
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.7-31.2
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	1,540-2,000
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	3,860-4,800
สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด	0.36-0.48
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	15,309-16,800
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	4,160-6,720

4.4 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดห้วยเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองเดินระบบแบบต่อเนื่องโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองส่วนที่ 1 มาใช้ออกแบบระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของห้วยเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์ ซึ่งการผลิตกรดไขมันระเหยด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์โดยใช้ระยะเวลาการหมัก 11 วัน แล้วนำน้ำหมักมาเจือจางแล้วป้อนเข้าสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพที่เป็นระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่เดินระบบแบบต่อเนื่อง โดยค่าเฉลี่ยน้ำหมักกรดเจือจางที่ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยน้ำหมักกรดที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยถังหมักแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	น้ำหมักกรดที่ป้อนเข้าระบบ ABR
พีเอช	7.04-7.27
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.3-32.5
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	800-850
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. ทินปูน)	1,300-1,399
สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด	0.58-0.65
ซีไอดีทั้งหมด (มก./ล.)	10,080-10,956
ซีไอดีกรอง (มก./ล.)	5,000-5,792

ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่แสดงต่อไปนี้จะกล่าวถึงประสิทธิภาพของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

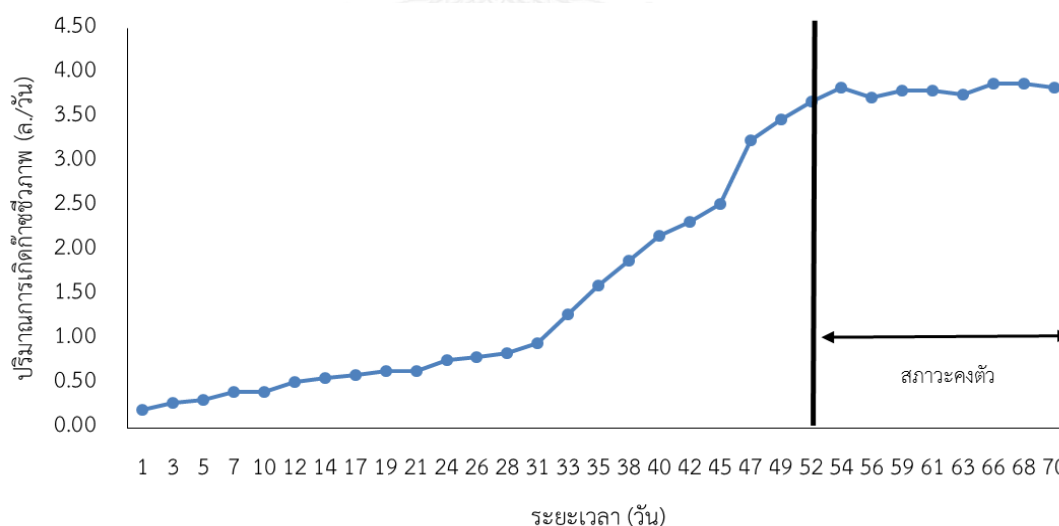
การทดลองนี้จะทำการทดลองเดินระบบโดยป้อนน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์จากถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์ระยะเวลาเก็บ 11 วันในอัตราภาระซีไอดี 0.67 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน โดยใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนขนาด 29 ลิตรจำนวน 1 ถัง ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 15 วัน (Jagadabhi และคณะ, 2008) จะเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) ทำโดยเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จากบริษัท เสริมสุข จำกัด จำนวนร้อยละ 30 ของปริมาตรทั้งหมด ใส่ลงในถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ทำการป้อนน้ำหมักหญ้าเนเปียร์เพื่อให้จุลินทรีย์ภายในระบบคุ้นชินกับน้ำหมักหญ้าเนเปียร์เป็นระยะเวลา 56 วัน จากนั้นระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจึงเริ่มดำเนินการทดลองระยะเวลาในการเดินระบบในอัตราภาระซีไอดี 0.67 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน และความถี่ในการเก็บข้อมูลการทดลอง ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ระยะเวลาในการเดินระบบที่อัตราการระเหย 0.67 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน และความถี่ในการเก็บข้อมูลการทดลอง

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา ทำการ ทดลอง	วันที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว	วันที่ทำการเก็บ ข้อมูล (ผลการทดลอง ที่สภาวะคงตัว)
การเดินระบบ 0.67 กก. ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน	วันที่ 1-70 (รวม 70 วัน)	วันที่ 52 ของการเดินระบบ (ใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 52 วัน)	วันที่ 52 จนถึง 70 (จำนวน 9 ตัวอย่าง)

4.4.1 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

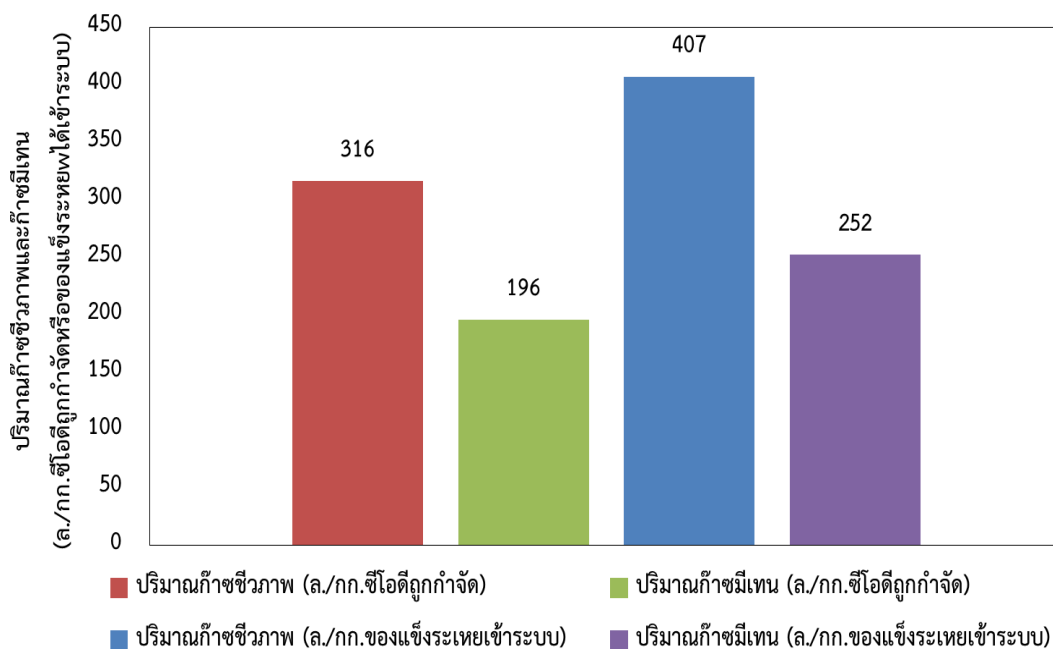
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนโดยภาพรวมตลอดการทดลองจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.7 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (ลิตรต่อวัน)

จากการทดลองเมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่า การทดลองด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 3.80 ลิตรต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 316 และ 196 ลิตร

ต่อกรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด มีแนวโน้มของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อของแข็งระเหยเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 407 และ 252 ลิตรต่อกรัมของของแข็งระเหยได้เข้าระบบ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่สภาวะคงตัว

ถ้าเปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถนำเอาสารอินทรีย์ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีผลที่ได้ทำให้จุลินทรีย์สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้สูงตามไปด้วยส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่การวัดอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเพียงการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ไปทำให้ไม่ทราบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ไปเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงต้องเปรียบเทียบปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ Biogas 5000 บริษัท Geotech พบว่าองค์ประกอบของก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 61.9 คาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 35.1 และอื่นร้อยละ 0.8 ดังตารางที่ 4.8

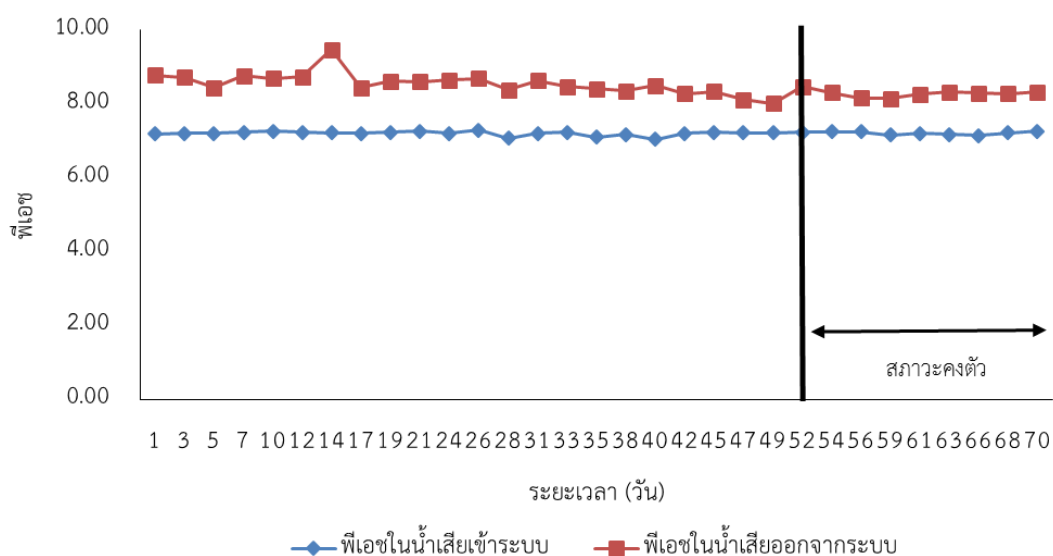
ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

การทดลอง (ซ้ำ)	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ		
	มีเทน (ร้อยละ)	คาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)	อื่นๆ
1	61.9	35.1	0.8
2	61.9	35.1	0.8
เฉลี่ย	61.9	35.1	0.8

4.4.2 ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1) พีเอช

ค่าพีเอชเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ถึงสภาพภายในของกระบวนไร้ออกซิเจนได้ จึงนับเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไร้ออกซิเจน โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงต้องควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียแบบไร้ออกซิเจน โดยให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.0-7.5 ซึ่งที่ค่าพีเอชดังกล่าวเหมาะสมแก่การทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน เนื่องจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์มีค่าพีเอชประมาณ 6.27 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเดินระบบจึงต้องทำการปรับค่าพีเอช โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำหมักก่อนเข้าระบบให้มีค่าประมาณ 7.0-7.5 ในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าพีเอชน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 7.04-7.27 และน้ำเสียออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 8.55 ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าในช่วงของการทดลองค่าพีเอชน้ำเสียออกจากระบบของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนยังแปรปรวนอยู่บ้างเล็กน้อย หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่ และยังพบว่าค่าพีเอชตลอดการทดลองเป็นค่าที่เหมาะสมกับการเดินระบบแบบไร้ออกซิเจน โดยค่าพีเอชน้ำเสียเข้าและน้ำเสียออกจากระบบแสดงดังรูปที่ 4.9



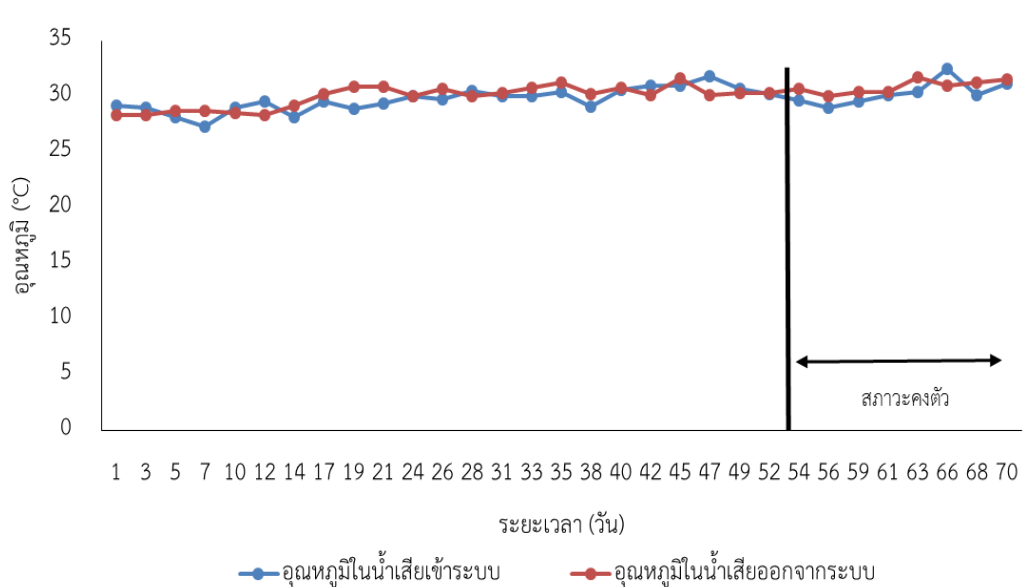
รูปที่ 4.9 พีเอชน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

สำหรับในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (หลังจากวันที่ 51 เป็นต้นไป) ดังรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชน้ำเสียเข้าและน้ำเสียออกจากระบบอยู่ในช่วง 7.20-8.29 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน และเมื่อพิจารณาค่าพีเอชในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ณ สภาวะคงตัว พบว่าพีเอชในห้องที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.24 7.40 7.74 และ 7.93 ตามลำดับ โดยค่าพีเอชในห้องที่ 1 จะมีค่าต่ำกว่าในห้องอื่นๆ เนื่องจากเป็นห้องแรกที่ต้องรับอัตราการระเหยอินทรีย์ที่มากกว่าจึงทำให้ค่าพีเอชลดลงและจะค่อยๆ มากขึ้นและมากที่สุดในห้องที่ 4

2) อุณหภูมิ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพ คือ อุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิภายในระบบพบว่า อุณหภูมิในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 29.7 และน้ำเสียออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 29.9 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมเล็กน้อย เนื่องจากตลอดระยะเวลาการเดินระบบเป็นช่วงฤดูหนาว โดยถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้กิจกรรมระดับเซลล์แบคทีเรีย เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์แบคทีเรียสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้เกิดก๊าซชีวภาพภายในระบบได้ดีคือช่วงอุณหภูมิ 30-38 องศาเซลเซียส (Madigan และคณะ, 1997)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของอุณหภูมิในแต่ละห้องของระบบแผ่นกันรั้ออกซิเจน สภาวะคงตัว ดังรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 30-32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้เกิดก๊าซชีวภาพภายในระบบได้ดี



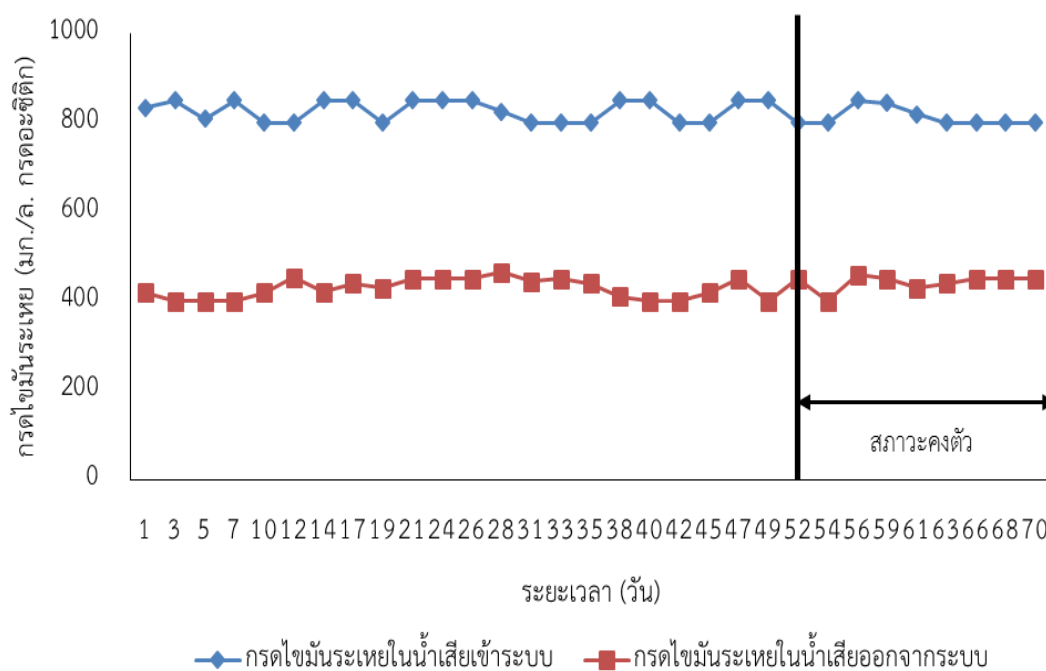
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิน้ำเสียในระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกันรั้ออกซิเจน

3) กรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยเป็นตัวแปรที่บอกถึงประสิทธิภาพของระบบได้ โดยปริมาณของกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามค่าซีโอดีละลายของระบบ ถ้าซีโอดีละลายสูงก็จะทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยสูงตามไปด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ส่วนที่เป็นสารละลายเพื่อนำไปใช้สร้างกรดและเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนต่อไป ซึ่งถ้ามีการสร้างกรดไขมันระเหยที่มากเกินไปจะส่งผลให้ค่าพีเอชนั้นลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนทำให้ก๊าซมีเทนที่เกิดในระบบมีน้อย

ผลการศึกษากรดไขมันระเหยน้ำเข้า และน้ำออกจากระบบตลอดการทดลองจะเห็นว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ย 804 มก./ล. กรดอะซิติก ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันระเหยสูง เนื่องจากน้ำหมักที่ป้อนเข้าไปในระบบประกอบด้วยปริมาณซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีกรอง โดยซีโอดีทั้งหมดที่ป้อนเข้าไปในระบบประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน โปรตีน ฯลฯ ในขณะที่ซีโอดีกรองประกอบด้วยกรดไขมันระเหย แอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน ดังนั้นเมื่อป้อนน้ำหมักเข้าสู่ระบบส่วนของซีโอดีกรองจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนไปก่อน แต่ในขณะที่ส่วนซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำเข้าระบบมีปริมาณ

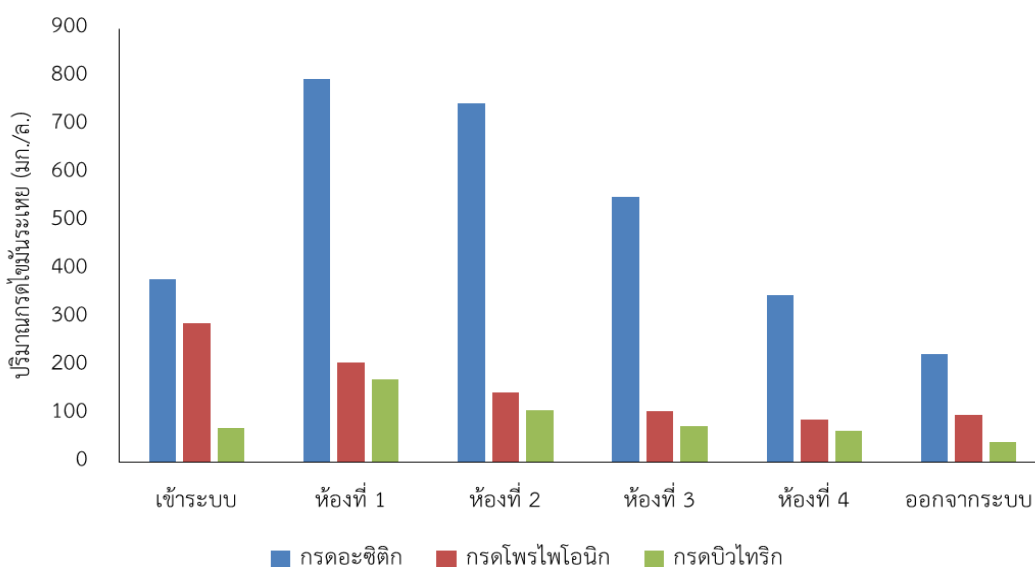
กรดไขมันระเหยสูงและน้ำขาออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 450 มก./ล กรดอะซิติก มีปริมาณกรดไขมันระเหยยังสูงอยู่อาจจะเนื่องมาจากระยะเวลาการเก็บกักของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสั้นเกินไป ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กรดไขมันระเหยน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของกรดไขมันระเหยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ณ สภาวะคงตัว พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยห้องที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 946 866 752 และ 563 มก./ล กรดอะซิติก ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยจะมีค่ามากที่สุดในห้องที่ 1 โดยมีค่าสูงชันกว่าน้ำหมักกรดที่ป้อนเข้าระบบและมีค่าลดลงตามลำดับจนถึงห้องที่ 4 อาจเป็นเพราะว่าห้องที่ 1 เป็นห้องแรกที่รับความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงที่สุดรวมทั้งน้ำที่ป้อนเข้าระบบมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ได้แก่ เซลลูโลสจึงเกิดการสะสมตัว และเกิดการย่อยสลายของเซลลูโลสเป็นของกรดไขมันระเหยในระบบจึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยในห้องที่ 1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบด้วยเช่นกัน และมีการนำกรดไขมันระเหยไปใช้ในขณะนี้น้ำหมักไหลจากห้องที่ 1 ไปยังห้องที่ 4 ค่ากรดไขมันระเหยจึงลดลงตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนเริ่มย่อยสลายกรดไขมันระเหยให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ และห้องถัดไปค่ากรดไขมันระเหยมีปริมาณลดลงตามระยะทางของระบบ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่ากรดไขมันระเหยออกจากระบบพบว่าปริมาณลดลงมาก

การศึกษาชนิดกรดไขมันระเหยในระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนทำให้สามารถทราบถึงประสิทธิภาพของระบบ และผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ดีขึ้น โดยศึกษาชนิดกรดไขมันระเหย 3 ชนิดคือ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอริก และกรดบิวไทรริก ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน พบว่ามีองค์ประกอบของชนิดกรดไขมันระเหยแตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 4.12



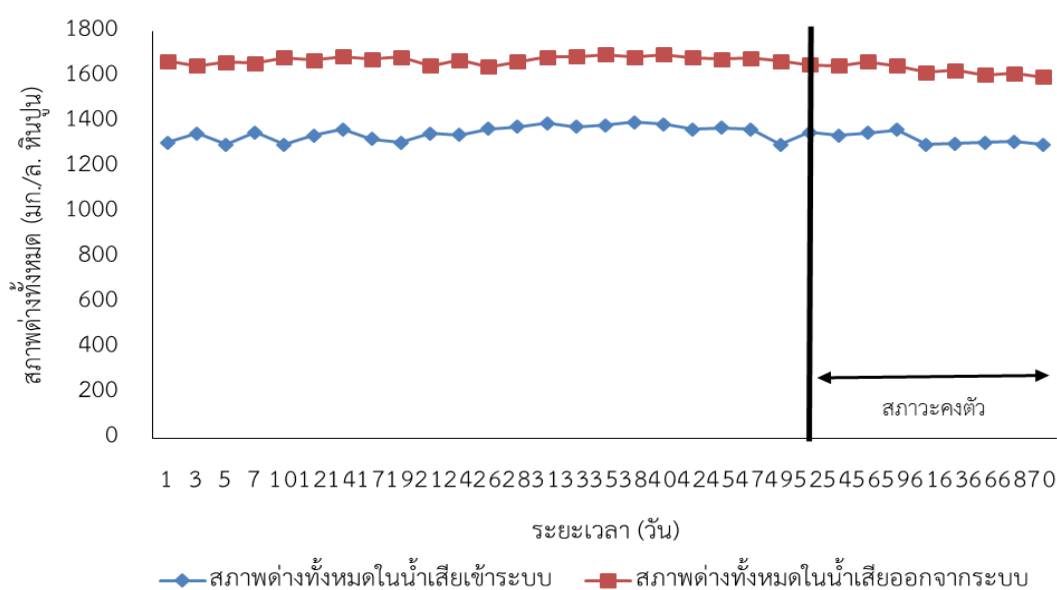
รูปที่ 4.12 ชนิดกรดไขมันระเหยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

จากภาพจะเห็นได้ว่ามีปริมาณกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบหลักเมื่อเทียบกับกรดโพรไพโอริกและกรดบิวไทรริก อย่างไรก็ตามสารอาหารหลักที่จุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนสามารถนำไปใช้ได้คือ อะซิเตต องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่ม Aceticlastic methanogens ซึ่งสามารถเปลี่ยนอะซิเตตให้กลายเป็นก๊าซมีเทน และซึ่งภายในระบบมีปริมาณกรดอะซิติกสูงส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่ม Aceticlastic methanogens สามารถใช้สารอาหารได้มากขึ้นส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้นเช่นกัน ส่วนปริมาณกรดโพรไพโอริก และกรดบิวไทรริกมีปริมาณลดลงในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้ชนิดกรดที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมได้จึงต้องอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม Obligate hydrogen producing acetogenics เพื่อย่อยสลายกรดโพรไพโอริกและกรดบิวไทรริกให้กลายเป็นกรดอะซิติก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดโพรไพโอริกและกรดบิวไทรริกให้กลายเป็นกรดอะซิติกนั้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน (Partial pressure of H_2 ; ppH_2) ภายในระบบซึ่งในกรณีที่ระบบอยู่ภายใต้สภาวะ ppH_2 น้อยกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ จะทำให้กรดโพรไพโอริกสามารถเปลี่ยนให้กลายเป็นกรดอะซิติกได้ดี แต่ถ้ระบบอยู่ใต้สภาวะ ppH_2 น้อยกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ จะทำให้กรดบิวไทรริกสามารถเปลี่ยนกลายเป็นกรดอะซิติกได้ดี (กวี ศิริชาติวาปี,

2549) ทั้งนี้ค่า ppH_2 ภายในระบบจะถูกควบคุมโดยจุลินทรีย์กลุ่ม Hydrogen-oxidizing methanogens หรือ Sulphate-reducing bacteria

4) สภาพต่างทั้งหมด

สภาพต่างทั้งหมดบอกถึงความสามารถในการรักษาค่าพีเอชให้เหมาะสมกับจุลชีพกลุ่มเมทาโนเจน โดยผลการทดลองสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้า และน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตลอดการทดลองโดยภาพรวมพบว่าเมื่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,445 มก./ล. หินปูน และน้ำขาออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,664 มก./ล. หินปูน โดยค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องด้วยได้ทำการปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นการเพิ่มสภาพต่างให้น้ำหมักด้วย ดังรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าและออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 1,300-1,700 มก./ล. หินปูน ซึ่งถือว่าอยู่ในที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบคือ มีค่าอยู่ในช่วง 1,000-2,000 มก./ล. หินปูน



รูปที่ 4.13 สภาพต่างทั้งหมดน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

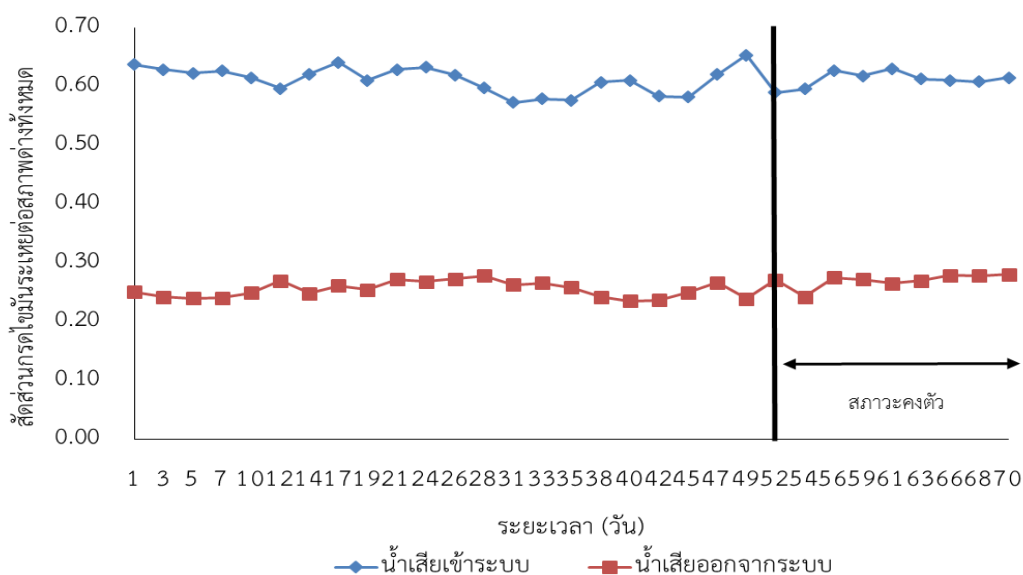
เมื่อพิจารณาค่าสภาพต่างทั้งหมดของภายในแต่ละห้อง พบว่าสภาพต่างทั้งหมดห้องที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,368 1,444 1,496 และ 1,585 มก./ล. หินปูน ตามลำดับ สังเกตว่าแนวโน้มสภาพต่างทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคือสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเสียออกจากระบบมีค่าสูงมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ เนื่องจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(CO₂) ในระบบซึ่ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดจะเปลี่ยนเป็น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และ กรดคาร์บอนิก (H₂CO₃) ทำให้ค่าสภาพต่างทั้งหมดเพิ่มขึ้น

5) สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

ผลจากการศึกษาสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียออกจากระบบตลอดการทดลองพบว่าค่าส่วนสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียออกจากระบบมีค่าต่ำกว่า 0.4 ดังรูปที่ 4.14 บ่งชี้ว่าค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดสามารถบอกถึงสภาพการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนได้ โดยทั่วไปแล้วค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดควรน้อยกว่า 0.4 จึงจะถือได้ว่าระบบมีปริมาณบัพเฟอร์เพียงพอต่อการทำงานของระบบ แต่ถ้าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่ามากขึ้นแสดงว่าการทำงานของระบบเสียสมดุล ซึ่งถ้าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าเสถียรภาพของระบบลดลงอย่างรวดเร็วและอาจจะส่งผลให้ระบบล้มเหลวได้

สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะคงตัว พบว่าในห้องที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.69 0.60 0.50 และ 0.36 ตามลำดับ มีค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมากกว่า 0.4 แต่ยังมีค่าไม่เกิน 0.8 นั้นหมายถึงระบบยังมีปริมาณบัพเฟอร์เพียงพอในการควบคุมไม่ให้ค่าพีเอชลดลง อย่างรวดเร็วจนระบบล้มเหลวได้

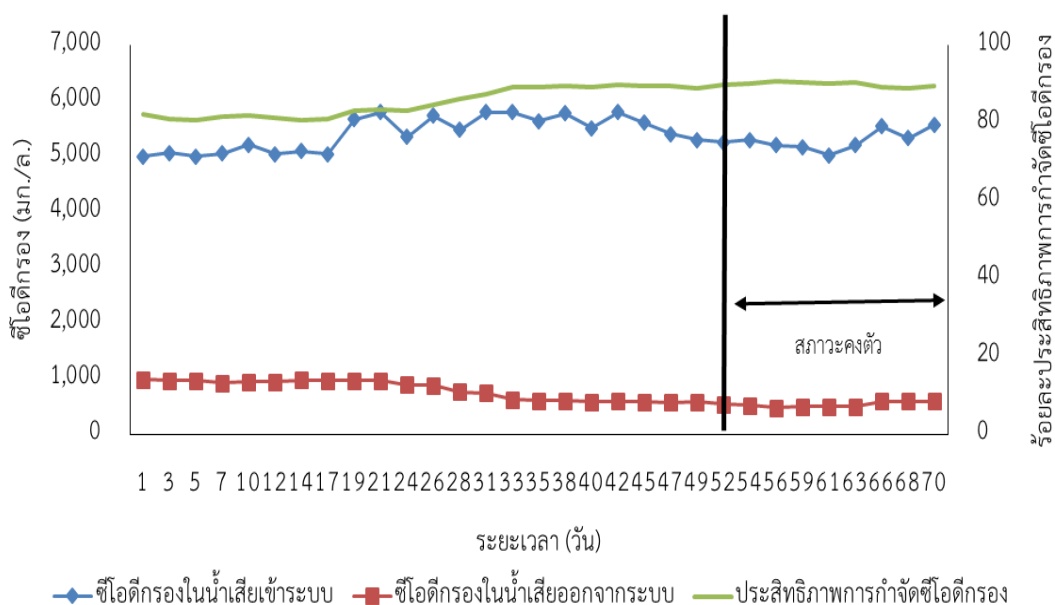


รูปที่ 4.14 สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ แผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

4.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1) ซีไอติกรอง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอติกรองตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาการทดลองพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีน้ำเสียเข้าระบบมีค่าซีไอติกรองเฉลี่ยเท่ากับ 5,415 มก./ล. ส่วนน้ำเสียออกจากระบบมีค่าซีไอติกรองเฉลี่ยเท่ากับ 798 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอติกรองเท่ากับร้อยละ 85.2 ดังรูปที่ 4.15



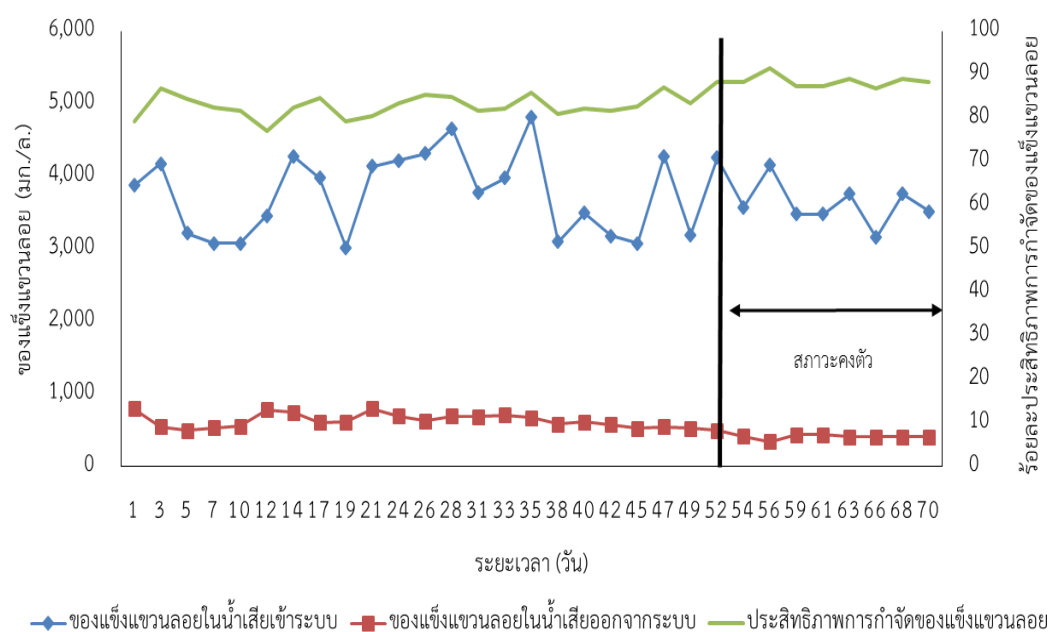
รูปที่ 4.15 ซีไอติกรองน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอติกรองของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวประสิทธิภาพการกำจัดซีไอติกรองในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอติกรองห้องที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 22.1 44.0 43.8 และ 41.5 ตามลำดับ ปริมาณซีไอติกรองที่ป้อนเข้าสู่ระบบประกอบด้วย น้ำตาล กรดไขมันระเหย กรดอะมิโน และอื่นๆ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอติกรองในแต่ละห้องพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอติกรองภายในห้องที่ 1 มีค่าต่ำกว่าในห้องที่ 2 3 และ 4 ของระบบ ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะน้ำหมักที่ป้อนเข้าสู่ระบบยังคงมีเศษหญ้าเนเปียร์แฉวนลอยขนาดเล็กๆ ดังนั้นภายในห้องที่ 1 ของระบบยังคงเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยส่งให้

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองภายในห้องที่ 1 มีค่าต่ำ และจุลินทรีย์กลุ่ม Acidogen และ Acetogens ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยแล้วจึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนนำกรดอะซิติกไปใช้เพื่อสร้างก๊าซมีเทนส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองภายในห้องที่ 2 และ 3 เพิ่มมากขึ้น (Zhu และคณะ, 2008)

2) ของแข็งแขวนลอย

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาการทดลองพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีน้ำหมักเข้าระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 3,747 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 638 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 82.8 ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ซึ่งการที่ระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้นั้นหมายถึงการสะสมของตะกอนในถังปฏิกริยาแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน และช่วยให้สามารถนำไปประเมินระยะเวลาในการดูตะกอนที่ออกจากระบบได้

ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัวในแต่ละห้องพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดห้องที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,200 5,000 4,152 และ 2,092 มก./ล. ตามลำดับ พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดภายในระบบนี้มีค่าสูงสุดที่ห้องที่ 1 ของระบบมลสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน ย่อยสลายได้ยาก หรือสารที่ย่อยสลายไม่ทันในห้องที่ 1 มีแนวโน้มลดลงตามระยะทางของระบบ และยังมีค่าอยู่ในช่วงค่าการออกแบบระบบของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถรับของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเข้าระบบได้ในช่วง 3,000-20,000 มก./ล. (เกรียงศักดิ์ อุทมนสินโรจน์, 2543) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ดีอยู่

4.4.4 เปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนประเภทต่างๆกับรายงานวิจัยอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนประเภทต่างๆ จะเห็นได้ว่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.27-630 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ โดยผลผลิตก๊าซมีเทนแตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของการหมักร่วมกับมูลสัตว์ รูปแบบการเดินระบบ ระยะเวลาการเดินระบบ และปัจจัยอื่นๆ ดังตารางที่ 4.16

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ อภิวัฒน์ เจนจัดการ, 2556 ที่ผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์ด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ต่อกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน พบว่าเกิดก๊าซมีเทน 280 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ จะเห็นได้ว่ามีผลผลิตก๊าซมีเทนแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยการผลผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ต่อกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยจะเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 252 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ ซึ่งจากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าผลผลิตที่ต่ำกว่างานวิจัยของ อภิวัฒน์ และคณะ, 2556 อาจจะเป็นเนื่องจากมูลโคนมที่นำมาใช้มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีก เช่นเดียวกับการทำงานของ Wilawan และคณะ, 2014 ที่ผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลไก่ พบว่าการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าวัสดุหมักร่วมบางประเภทไม่ได้เพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเสมอไป

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนกับรายงานวิจัยอื่นๆ

ชนิดสารชีวมวล	รูปแบบการเดินระบบ	การหมัก	ผลผลิตก๊าซมีเทน	งานวิจัย
หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1	ถังปฏิกรณ์ ASBR	หมักร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรในสัดส่วนน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อหญ้าเนเปียร์ (70:30) ระยะเวลาเดินระบบ 60 วัน	630 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ	จักรพันธ์ หมื่นจี, 2553
หญ้าเนเปียร์	ถังปฏิกรณ์ CSTR	หมักร่วมมูลสุกรร้อยละ 20 ระยะเวลาเดินระบบ 20 วัน	183.21 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ถูกกำจัด	วิรงรอง กาญจนะ, 2555
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1	ถังปฏิกรณ์ CSTR	หมักร่วมกับมูลไก่ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ 1.1 กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน	0.27 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ	Wilawan และคณะ, 2014
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1	แบบไร้อากาศสองขั้นตอน	หมักร่วมกับมูลไก่ ระยะเวลาเก็บกัก 28 วัน	66.13 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ	สุพล บ่อคุ้ม, 2557
หญ้าเนเปียร์	แบบ Single-stage semi-continuous operation	หมักร่วมกับมูลโค โดยคิดเป็นสัดส่วนหญ้าเนเปียร์ : มูลโค : น้ำ เท่ากับ 10 : 10 : 80 ระยะเวลาเก็บกัก 40 วัน	371 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ถูกกำจัด	พิญาณี แสงศรี, 2557

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจน รายงานวิจัยอื่นๆ (ต่อ)

ชนิดสารชีวมวล	รูปแบบการเดินระบบ	การหมัก	ผลผลิตก๊าซมีเทน	งานวิจัย
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และเศษอาหาร	ถังปฏิกรณ์ CSTR	หมักร่วมกับมูลโค สัตว์ส่วนหญ้าเนเปียร์:เศษอาหาร:มูลโคเท่ากับ 1 : 1 : 1 ระยะเวลาเก็บกัก 45 วัน	70 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ	Saitawee และคณะ, 2014
หญ้าเนเปียร์	แบบสองขั้นตอน	อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.97 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาเก็บกักในถังหมักกรดและถังสร้างมีเทน 20 และ 25 วัน	272 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ถูกกำจัด	ยวดี แสงศิลป์, 2557
หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1	ถังปฏิกรณ์ CSTR ต่อกับ ABR	ถังปฏิกรณ์ CSTR ค่าร้อยละของแข็งระเหยได้เข้าระบบ 2 และ ABR อัตราการชีโอดี 0.67 กก. ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	280 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ	อภิวัฒน์ เจนจัดการ, 2556
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1	ถังปฏิกรณ์ CSTR ต่อกับ ABR	หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์ CSTR ที่ค่าร้อยละของแข็งระเหยได้เข้าระบบ 2 ต่อกับ ABR อัตราการชีโอดี 0.67 กก. ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	411.37 ลิตร/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้เข้าระบบ	งานวิจัยนี้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) จากหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมที่มีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

1) หญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 35 45 และ 55 วันหมักกับมูลโคนม มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพมาก โดยหญ้าเนเปียร์สดอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้สูงสุดเท่ากับ 251 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ หรือคิดเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2,396 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี

2) หญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 35 45 และ 55 วันหมักกับมูลโคนม สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ใกล้เคียงกันเท่ากับ 191 121 และ 158 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ หรือคิดเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,815 1,182 และ 1,888 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี ซึ่งต่ำกว่าหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

5.2 ผลการศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์

1) ระยะเวลากักเก็บกักที่เหมาะสมในการผลิตน้ำหมักกรดจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่มีการเดินระบบแบบแบตช์เท่ากับ 11 วัน มีปริมาณกรดไขมันระเหยสูงที่สุดอยู่ในช่วง 1,540-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก

5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1) ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันที่สภาวะคงตัวของการทดลองปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 ลิตรต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 316 และ 196 ลิตรต่อกรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อของแข็งระเหยเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 407 และ 252 ลิตรต่อกรัมของของแข็งระเหยได้เข้าระบบ

2) ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชน้ำเสียเข้าและน้ำเสียออกจากระบบนั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.20 และ 8.55 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เป็นกลางซึ่งเหมาะสมต่อการทำงานของประสิทธิภาพการย่อยสลายกรดไขมันระเหยของแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่สภาวะคงตัว พบว่ามีกรดไขมันระเหยจะสะสมภายในห้องที่ 1 ของระบบในปริมาณมาก เนื่องจากน้ำหมักกรดที่ป้อนเข้าไปในระบบยังคงเซลล์ulosolอยู่น้ำหมักกรด ซึ่งจะย่อยสลายให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยทำให้ห้องที่ 1 ของระบบ และในห้องที่ 2 กรดไขมันระเหยมีปริมาณลดลงตามระยะทางของระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนเริ่มย่อยสลายกรดไขมันระเหยให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียออกจากระบบตลอดการทดลองพบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.4 บ่งชี้ว่าระบบมีสมรรถภาพผลิตก๊าซชีวภาพดี

3) ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในน้ำหมักกรดหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลโคนมด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 82.8 และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีกรองเท่ากับร้อยละ 85.2 โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีกรองมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

5.4 ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ และการวิจัยเพิ่มเติม

1) ควรมีการศึกษาอัตราต่อการเวียนน้ำทิ้งจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนกลับมาผสมหรือเจือจางหญ้าเนเปียร์ก่อนป้อนเข้าระบบ เนื่องจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบยังมีค่าสูง

2) ควรศึกษาการพัฒนาระบบเพื่อนำไปใช้งานจริงในชุมชนที่มีการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ว่ามีความคุ้มค่าในการผลิตก๊าซชีวภาพมากน้อยเพียงใด



รายการอ้างอิง

- Ahn, H. K., Smith, M., Kondrad, S. and White, J. (2010). "Evaluation of biogas production potential by dry anaerobic digestion of switchgrass–animal manure mixtures." Applied biochemistry and biotechnology 160(4): 965-975.
- Alkaya, E., Erguder, T. H. and Demirer, G. N. (2010). "Effect of operational parameters on anaerobic co-digestion of dairy cattle manure and agricultural residues: A case study for the Kahramanmaraş region in Turkey." Engineering in Life Sciences 10(6): 552-559.
- Archer, J. and Nicholson, R. (1992). "Liquid wastes from farm animal enterprises." Farm animals and the environment. CABI, Wallingford: 325-343.
- Borja, R., González, E., Raposo, F., Millán, F. and Martí, A. (2001). "Performance evaluation of a mesophilic anaerobic fluidized-bed reactor treating wastewater derived from the production of proteins from extracted sunflower flour." Bioresource Technology 76(1): 45-52.
- Chanakya, H. and Malayil, S. (2012). "Anaerobic digestion for bioenergy from agro-residues and other solid wastes—an overview of science, technology and sustainability." Journal of the Indian Institute of Science 92(1): 111-144.
- Chen, G., Zheng, Z., Yang, S., Fang, C., Zou, X. and Zhang, J. (2010). "Improving conversion of *Spartina alterniflora* into biogas by co-digestion with cow feces." Fuel Processing Technology 91(11): 1416-1421.
- Fras, L., Johansson, L.-S., Stenius, P., Laine, J., Stana-Kleinschek, K. and Ribitsch, V. (2005). "Analysis of the oxidation of cellulose fibres by titration and XPS."

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 260(1): 101-108.

Gunaseelan, V. N. (2004). "Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks." Biomass and Bioenergy 26(4): 389-399.

Heiermann, M. and Plöchl, M. (2004). Crops—a big potential for biogas production. Proc. World Renewable Energy Congress.

Hjorth, M., Gränitz, K., Adamsen, A. P. and Møller, H. B. (2011). "Extrusion as a pretreatment to increase biogas production." Bioresource Technology 102(8): 4989-4994.

Hodgson, E. M., Lister, S. J., Bridgwater, A. V., Clifton-Brown, J. and Donnison, I. S. (2010). "Genotypic and environmentally derived variation in the cell wall composition of Miscanthus in relation to its use as a biomass feedstock." Biomass and Bioenergy 34(5): 652-660.

Jagadabhi, P., Lehtomäki, A. and Rintala, J. (2008). "CO-DIGESTION OF GRASS SILAGE AND COW MANURE IN A CSTR BY RE-CIRCULATION OF ALKALI TREATED SOLIDS OF THE DIGESTATE." Environmental technology 29(10): 1085-1093.

Karki, A., Gautam, K. and Karki, A. (1994). "Biogas Installation from Elephant Dung at Machan Wildlife Resort, Chitwan, Nepal." Biogas Newsletter, Issue(45): 4.

Kim, J., Park, C., Kim, T.-H., Lee, M., Kim, S., Kim, S.-W. and Lee, J. (2003). "Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge." Journal of bioscience and bioengineering 95(3): 271-275.

- Koch, K., Wichern, M., Lübken, M. and Horn, H. (2009). "Mono fermentation of grass silage by means of loop reactors." Bioresource Technology 100(23): 5934-5940.
- Lehtomäki, A., Huttunen, S., Lehtinen, T. and Rintala, J. (2008). "Anaerobic digestion of grass silage in batch leach bed processes for methane production." Bioresource Technology 99(8): 3267-3278.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Parker, J. and Brock, T. D. (1997). Biology of microorganisms, prentice hall Upper Saddle River, NJ.
- Massé, D., Gilbert, Y., Savoie, P., Bélanger, G., Parent, G. and Babineau, D. (2010). "Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada." Bioresource Technology 101(24): 9536-9541.
- Nizami, A.-S. and Murphy, J. D. (2011). "Optimizing the operation of a two-phase anaerobic digestion system digesting grass silage." Environmental science & technology 45(17): 7561-7569.
- Nizami, A., Orozco, A., Groom, E., Dieterich, B. and Murphy, J. (2012). "How much gas can we get from grass?" Applied Energy 92: 783-790.
- Ofoefule, A., Uzodinma, E. and Onukwuli, O. (2009). "Comparative study of the effect of different pretreatment methods on biogas yield from water Hyacinth (Eichhornia crassipes)." International Journal of Physical Sciences 4(8): 535-539.
- Orozco, A., Nizami, A., Murphy, J. and Groom, E. (2013). "Optimizing the thermophilic hydrolysis of grass silage in a two-phase anaerobic digestion system." Bioresource Technology 143: 117-125.

- Pakarinen, O., Kaparaju, P. and Rintala, J. (2011). "The effect of organic loading rate and retention time on hydrogen production from a methanogenic CSTR." Bioresource Technology 102(19): 8952-8957.
- Rachman, M., Liasari, Y., Nasef, M., Saidi, H., Salam, Z. and Ahmad, A. (2011). "In-Situ Continuous Production of Hydrogen Gas from Molasses Using Mutated *Enterobacter aerogenes* ADH43 for Fuel Cell Application." Iranica Journal of Energy and Environment 2(4): 291-296.
- Rao, M., Singh, S., Singh, A. and Sodha, M. (2000). "Bioenergy conversion studies of the organic fraction of MSW: assessment of ultimate bioenergy production potential of municipal garbage." Applied Energy 66(1): 75-87.
- Saitawee, L., Teekasap, S. and Cheamsawat, N. (2014). "Biogas production from anaerobic co-digestion of cow dung and organic wastes (Napier Pak Chong i and food waste) in Thailand: Temperature effect on biogas product." American Journal of Environmental Sciences 10(2): 129.
- Schofield, K., Seager, J. and Merriman, R. (1990). "The impact of intensive dairy farming activities on river quality: the Eastern Cleddau catchment study." Water and Environment Journal 4(2): 176-186.
- Seppälä, M., Paavola, T., Lehtomäki, A. and Rintala, J. (2009). "Biogas production from boreal herbaceous grasses—Specific methane yield and methane yield per hectare." Bioresource Technology 100(12): 2952-2958.
- Torabian, A., Abtahi, S., Amin, M. and Momeni, S. (2011). "Treatment of low-strength industrial wastewater using anaerobic baffled reactor."

- Uzodinma, E. and Ofoefule, A. (2009). "Biogas production from blends of field grass (*Panicum maximum*) with some animal wastes." International Journal of the Physical Sciences 4(2): 91-95.
- Van Soest, P. v., Robertson, J. and Lewis, B. (1991). "Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition." Journal of dairy science 74(10): 3583-3597.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J. and Jones, D. L. (2008). "Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources." Bioresource Technology 99(17): 7928-7940.
- Wilawan, W., Pholchan, P. and Aggarangsi, P. (2014). "Biogas production from co-digestion of *Pennisetum purpurem* cv. Pakchong 1 grass and layer chicken manure using completely stirred tank." Energy Procedia 52: 216-222.
- Xie, S., Frost, J., Lawlor, P., Wu, G. and Zhan, X. (2011a). "Effects of thermo-chemical pre-treatment of grass silage on methane production by anaerobic digestion." Bioresource Technology 102(19): 8748-8755.
- Xie, S., Lawlor, P., Frost, J., Hu, Z. and Zhan, X. (2011b). "Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage." Bioresource Technology 102(10): 5728-5733.
- Zhu, G.-F., Li, J.-Z., Wu, P., Jin, H.-Z. and Wang, Z. (2008). "The performance and phase separated characteristics of an anaerobic baffled reactor treating soybean protein processing wastewater." Bioresource Technology 99(17): 8027-8033.

เกียรติศักดิ์ กล้าเอม (2544). หญ้าหมัก. กลุ่มงานวิจัยพืชอาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์., พิมพ์ครั้งที่ 1.

ไกรลาส เขียวทอง (2554). คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ นครราชสีมา.

ไพศาล วงศ์กระโซ่ (2553). การผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ไบogasพาราร่วมกับมูลโคและมูลสุกร. กรุงเทพมหานคร.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.. สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

กรมปศุสัตว์ (2544). สมุดพันธุ์โคนม. กลุ่มวิจัยและประเมินพันธุกรรมสัตว์ สำนักเทคโนโลยีชีวภาพ การผลิตปศุสัตว์.

กวี ศิริชาติวาปี. 2549. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังชีวภาพแบบไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนในพื้นที่ชายฝั่งเกาะช้าง. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จรัสศรี รุ่งวิชานิววัฒน์. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักและผลไม้ผสมกับมูลโคโดยใช้ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศประเภทปริมาณของแข็งต่ำ. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล

จักรพันธ์ หมั่นจี. 2553. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยการย่อยสลายร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารโดยถังปฏิกรณ์เอเอสปีอาร์. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จันทิมา ชั่งสิริพร. 2555. การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลสุกรและของเสียจากการเกษตร. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- ฐปน ชื่นบาล. 2556. การออกแบบและพัฒนาถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- ณัฐกาญจน์ ชราพก. 2554. การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าในระบบหมักไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชนมณ บุรณวงศ์. 2550. อายุการตัดที่เหมาะสมและการเพิ่มคุณภาพหญ้าที่สดเพื่อเลี้ยงโครีดนม. สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ชนวรรณ ดิลกการย์. 2553. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธิดารัตน์ เพ็ชรรอด. 2555. การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของมูลสุกรร่วมกับกากมันสำปะหลังและกลีเซอรินดิบ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ประพนธ์ บุญเจริญ. 2553. อิทธิพลของช่วงเวลาการตัดที่มีผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาของหญ้าพลิแคทูลัม. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- พงศ์ทิพย์ พิษมงคล. 2547. ผลของอายุการตัดที่มีต่อผลผลิตและส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าขนหญ้าเนเปียร์ และหญ้าอุบลพาสพาลัม ภายใต้สภาพการจัดการแบบเข้มข้น. สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ(สัตวศาสตร์). มหาวิทยาลัยสงขล
- พิญานี แสงศรี. 2557. การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์โดยการหมักร่วมกับมูลโค. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ยุวดี แสงศิลป์. 2557. การผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์โดยการหมักแบบสองขั้นตอน. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วรพงษ์ สุริยจันทร์าททอง. 2529. ความหมายและความสำคัญของเยื่อใยในอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วிரงรอง กาญจนะ. 2555. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์โดยการหมัก
ร่วมหรือการปรับสภาพเบื้องต้น. . ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศักรินทร์ ทุมเทพ. 2555. ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เนื้อด้วยระบบถังกวนสมบูรณ์.
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถาบันวิจัยและพัฒนานครพิงค์. 2555. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้า
ชนิดต่างๆ ในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถาบันวิจัยด้านพลังงานประเทศญี่ปุ่น (2551). คู่มือสารชีวมวลเอเชีย: แนวทางสำหรับการผลิตและ
การใช้สารชีวมวล. กรุงเทพมหานคร.

สมศักดิ์ กังเอี่ยม. 2552. อิทธิพลของสารเสริมที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพการหมัก
หญ้าเนเปียร์. สาขาวิชาศาสตร์ศึกษา. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สำราญ วิจิตรพันธ์. 2554. อิทธิพลของอายุการตัดที่มีผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของหญ้าเนเปียร์
ภายใต้การให้น้ำชลประทาน. . ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาลัยขอนแก่น

สุเมษ เมธศาสตร์. 2541. การศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการมูลโคนมในฟาร์มขนาดเล็ก :
กรณีการศึกษาฟาร์มโคนมขนาดเล็ก สหกรณ์โคนมกำแพงแสน. สาขาเทคโนโลยีการบริหาร
สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหิดล

สุชใจ ชูจันทร์ (2554). การผลิตกรดอินทรีย์จากวัสดุเหลือใช้มูลชีวภาพ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.

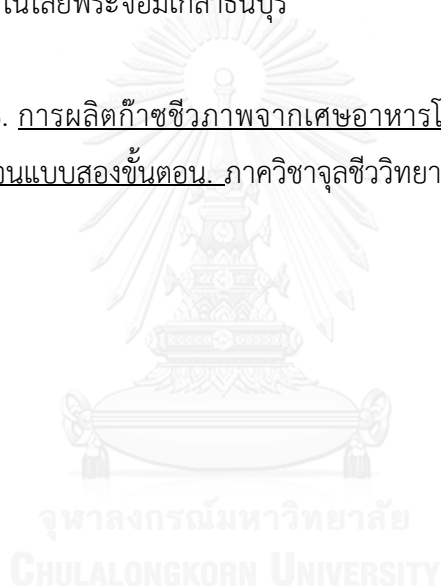
สุพล บ่อคุ้ม. 2557. อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนต่อการผลิต
ก๊าซชีวภาพ จากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1. ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะ
สาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อภิวัฒน์ เจนจัดการ. 2556. การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรรรรณ วัฒนยมนาพร. 2553. การหมักร่วมของขยะเศษอาหารกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนโดยใช้ถังหมักไร้อากาศแบบสองขั้นตอนสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัจฉรา พิเลิศ. 2554. การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสามูลช้างร่วมกับฟางข้าว. . สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อารียา วิรัชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. ภาควิชาจุลชีววิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์





ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

สารละลายสำหรับวิเคราะห์ห้องค์ประกอบมวลชีวภาพ (Van Soest และคณะ, 1991)

สารละลาย Neutral detergent fiber (NDF)

- ชั่งโซเดียมลัทธิวซัลเฟต 60 กรัม และไตรเอทิลีนไกลคอล 20 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 2 ลิตร เขย่าให้เข้า
- ละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮดรัส 9.12 กรัม และอีดีทีเอ 37.22 กรัม ด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน แล้วเทใส่ขวดปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 2 ลิตร

สารละลาย Acid detergent fiber (ADF)

- เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล โดยการตวงกรดซัลฟูริกเข้มข้น (98 เปอร์เซ็นต์โดยมวล) ปริมาตร 27.2 มิลลิลิตร โดยค่อยๆ เติมกรดลงในน้ำกลั่น ปริมาตรประมาณ 900 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรสุทธิให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
- ชั่งเซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ปริมาณ 20 กรัม ละลายในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล

สารละลาย Acid Detergent Lignin (ADL)

- ตวงซัลฟูริกเข้มข้น 670 มิลลิลิตร ค่อยๆเทอย่างช้าๆ ลงในบีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร ให้มีน้ำกลั่นอยู่ 100 มิลลิลิตร พร้อมกับใช้แท่งแก้วคนให้สารละลายเข้ากันเป็นระยะ ในขณะที่เตรียมสารละลายนี้ต้องให้บีกเกอร์อยู่ในอ่างน้ำเย็นตลอดเวลา รอจนสารละลายเย็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
- เมื่อสารละลายเย็นลง เติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร คนสารละลายให้เข้ากันอีกครั้ง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์

หาปริมาณองค์ประกอบมวลชีวภาพ (Van Soest และคณะ, 1991)

วิธีวิเคราะห์หา Neutral Detergent Fiber (NDF)

- นำครุชชีเบล ขนาด 50 มิลลิลิตร ที่แห้งและเย็นจากโถดูดความชื้น โดยผ่านการอบมาแล้วเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่า
- ชั่งตัวอย่างหญ้าที่แห้งมา 1 กรัม มาใส่ขวดย่อยขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย NDF ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปย่อยเป็นเวลา 60 นาที
- หลังจากย่อยเสร็จให้ล้างตัวอย่างในครุชชีเบลที่ชั่งน้ำหนักแล้วและต่อกับเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดอยู่ในครุชชีเบลหรือจนกว่าจะหมดฟอง
- จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตนประมาณ 3-5 ครั้ง หรือจนกระทั่งน้ำล้างตัวอย่างไม่มีสี
- นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่าง ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือทั้งคืน
- นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่างออกจากตู้อบแห้งเอาใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่าร้อยละ NDF
- นำครุชชีเบลเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักหาถ้ำ

วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละ NDF} = \frac{[(W1 - W2 \times 100) - \text{ร้อยละ Acid insoluble ash}]}{W3}$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนักตัวอย่าง

W2 คือ น้ำหนักครุชชีเบล

W3 คือ น้ำหนักตัวอย่าง

ร้อยละ Acid insoluble ash คือร้อยละถ้ำที่ได้จากขั้นตอนการเผาในการวิเคราะห์หาถ้ำ

การวิเคราะห์หา Acid detergent fiber (ADF)

- นำครุชชีเบล ขนาด 50 มิลลิลิตร ที่แห้งและเย็นจากโถดูดความชื้น โดยผ่านการอบมาแล้วเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่า
- ชั่งตัวอย่างหญ้าที่แห้งมา 1 กรัม มาใส่ขวดย่อยขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย ADF ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปย่อยเป็นเวลา 60 นาที
- หลังจากย่อยเสร็จให้ล้างตัวอย่างในครุชชีเบลที่ชั่งน้ำหนักแล้ว
- จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตนประมาณ 3-5 ครั้ง หรือจนกระทั่งน้ำล้างตัวอย่างไม่มีสี
- นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่าง ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือแห้งสนิท
- นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่างออกจากตู้อบแห้งเอาใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่าร้อยละ NDF
- นำครุชชีเบลเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักหาแล้ว

วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละ ADF} = \frac{[(W1 - W2) \times 100] - \text{ร้อยละ Acid insoluble ash}}{W3}$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนักตัวอย่าง

W2 คือ น้ำหนักครุชชีเบล

W3 คือ น้ำหนักตัวอย่าง

ร้อยละ Acid insoluble ash คือร้อยละเถ้าที่ได้จากขั้นตอนการเผาในการวิเคราะห์หาลิกนิน

วิธีคำนวณปริมาณเฮมิเซลลูโลส

$$\text{ร้อยละเฮมิเซลลูโลส} = \text{ร้อยละ NDF} - \text{ร้อยละ ADF}$$

วิเคราะห์หา Acid Detergent Lignin (ADL)

- นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่างจากการวิเคราะห์หา ADF แล้วมาเติมสารละลาย ADL ประมาณ 30 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวางลงในภาตสแตนเลส ใช้แท่งแก้วคนให้ทั่วเพื่อให้ตัวอย่างแยกจากกันไม่จับกันเป็นก้อน ควบคุมอุณหภูมิของครุชชีเบลในภาตสแตนเลสที่ 20 องศาเซลเซียส
- เติมสารละลาย ADL เมื่อสารละลายในครุชชีเบลแห้ง คนเป็นระยะๆ ใช้เวลาย่อยนาน 3 ชั่วโมง
- ล้างสารละลายกรตออกจากตัวอย่างที่อยู่ในครุชชีเบลที่ต่อกับเครื่องดูดสุญญากาศล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรต หรือประมาณ 1,400 มิลลิลิตร
- นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่าง ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน เอาออกใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนัก

วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละเซลลูโลส} = \frac{[(W1 - W4) \times 100]}{W3}$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำตัวอย่างจากการวิเคราะห์ ADF

W3 คือ น้ำหนักตัวอย่าง

W4 คือ น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนักตัวอย่างจากที่อบ

วิเคราะห์หาลิกนิน

- นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่างซึ่งวิเคราะห์หาเซลลูโลสไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
- เอาออกใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนัก

วิธีคำนวณ

$$\text{ร้อยละลิกนิน} = \frac{W4 - W5 \times 100}{W3}$$

เมื่อ W4 = น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนักตัวอย่างหลังที่อบ

W5 = น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนักตัวอย่างหลังการ

W3 = น้ำหนักตัวอย่าง

ภาคผนวก ค
ผลวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ ค.1 องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (สด) ที่มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

องค์ประกอบ	หญ้าเนเปียร์สด		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ความชื้น (%)	81.57±0.19	80.81±0.33	79.83±0.01
ของแข็งทั้งหมด (% TS)	18.43±0.19	19.19±0.33	20.17±0.01
ของแข็งระเหยได้ (% TS)	16.43±0.20	17.00±0.23	17.71±0.04
เถ้า (%)	2.00±0.00	2.18±0.10	2.46±0.05
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	16.36±0.25	19.33±1.23	27.91±0.40
เซลลูโลส (%)	26.71±0.37	27.40±1.96	19.55±0.07
เฮมิเซลลูโลส (%)	37.92±0.01	39.07±0.77	36.51±0.39
ลิกนิน (%)	3.84±0.15	3.94±0.34	6.09±1.00

ตารางที่ ค.2 องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (หมัก) ที่มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

องค์ประกอบ	หญ้าเนเปียร์หมัก		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ความชื้น (%)	78.54±1.88	79.97±1.34	76.93±0.14
ของแข็งทั้งหมด (% TS)	21.46±1.88	23.03±1.34	23.07±0.14
ของแข็งระเหยได้ (% TS)	18.93±1.71	17.40±1.19	20.02±0.12
เถ้า (%)	2.52±0.17	2.63±0.15	3.05±0.02
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	13.55±0.04	26.80±0.36	17.60±1.62
เซลลูโลส (%)	23.19±0.75	25.32±0.34	22.80±2.29
เฮมิเซลลูโลส (%)	40.74±1.36	40.40±1.24	43.52±1.90
ลิกนิน (%)	2.51±1.10	3.28±0.54	4.79±3.78

ตารางที่ ค.3 องค์ประกอบของมูลโคมนที่ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในงานวิจัยนี้

องค์ประกอบ	มูลโคนม
ความชื้น (%)	81.10±0.38
ของแข็งทั้งหมด (% TS)	18.90±0.38
ของแข็งระเหยได้ (% TS)	16.08±0.32
เถ้า (%)	2.83±0.06
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	18.51±0.18

ตารางที่ ค-4 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพชุดการทดลองมูลโคนม

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS มูลโคนม)
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	1	2	3
10	1	2	3
11	1	2	3
12	1	5	8
13	1	5	8
14	3	11	18
15	6	11	18
16	4	18	30

ตารางที่ ค-4 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS มูลโคนม)
17	3	18	30
18	2	18	30
19	2	23	38
20	2	23	38
21	1	26.5	44
22	1	26.5	44
23	1	29.5	49
24	1	29.5	49
25	1	29.5	49
26	1	32.5	54
27	1	32.5	54
28	1	35.5	59
29	1	35.5	59
30	1	37.5	63
31	1	37.5	63
32	1	37.5	63
33	1	39	65
34	1	39	65
35	1	41	69
36	1	41	69
37	1	43	72
38	1	43	72
39	1	43	72
40	1	46	77
41	1	46	77
42	1	49	82

ตารางที่ ค-4 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS มูลโคนม)
43	1	49	82
44	1	51	85
45	1	51	85
46	1	51	85
47	1	54	90
48	1	54	90
49	1	56	94
50	1	57	95

ตารางที่ ค-5 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	2	60	54	603
6	4	72	64	723
7	4	79	70	794
8	40	82	73	824
9	14	82	73	824
10	7	84	75	844
11	3	84	75	844
12	2	86	76	859
13	2	86	76	859
14	1	86	76	859
15	1	92	82	924
16	1	92	82	924
17	3	97	87	975
18	4	97	87	975
19	3	105	93	1,050
20	4	105	93	1,050
21	4.5	124	110	1,241
22	6	124	110	1,241
23	5	149	133	1,492
24	8	149	133	1,492
25	10	169	150	1,693
26	15	169	150	1,693
27	7	169	150	1,693
28	5	177	158	1,778

ตารางที่ ค-5 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
29	4	177	158	1,778
30	5	184	164	1,844
31	3.5	184	164	1,844
32	3	189	169	1,899
33	3	189	169	1,899
34	2	189	169	1,899
35	2	194	173	1,949
36	2	194	173	1,949
37	2	194	173	1,949
38	2	194	173	1,949
39	1	194	173	1,949
40	1	194	173	1,949
41	1	194	173	1,949
42	1	194	173	1,949
43	1	194	173	1,949
44	1	194	173	1,949
45	1	194	173	1,949
46	1.5	197	175	1,974
47	1	197	175	1,974
48	1	197	175	1,974
49	1	197	175	1,974
50	1	197	175	1,974

ตารางที่ ค-6 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	3.5	54	48	546
6	4	64	57	654
7	6	70	62	715
8	50	73	65	740
9	14.5	73	65	740
10	6	76	67	771
11	2.5	76	67	771
12	2	80	71	812
13	3	80	71	812
14	2	80	71	812
15	2	91	81	929
16	3	91	81	929
17	4	99	88	1,011
18	3	99	88	1,011
19	3	118	105	1,205
20	4	118	105	1,205
21	4	137	122	1,399
22	4	137	122	1,399
23	5	177	157	1,803
24	9	177	157	1,803
25	10	184	163	1,874
26	19	184	163	1,874
27	10	184	163	1,874
28	7	190	169	1,940

ตารางที่ ค-6 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
29	6	190	169	1,940
30	5	195	173	1,986
31	5	195	173	1,986
32	4	199	177	2,032
33	4	199	177	2,032
34	4	199	177	2,032
35	4	214	190	2,180
36	4	214	190	2,180
37	4	234	208	2,385
38	5	234	208	2,385
39	5	234	208	2,385
40	4.5	248	221	2,533
41	5	248	221	2,533
42	6	248	221	2,533
43	5	267	238	2,727
44	4	267	238	2,727
45	5	267	238	2,727
46	5	271	241	2,762
47	4.5	271	241	2,762
48	4	271	241	2,762
49	3.5	282	251	2,875
50	4	282	251	2,875

ตารางที่ ค-7 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	1	14	12	115
6	1	14	12	115
7	2	17	15	145
8	10	17	15	145
9	3	22	19	184
10	3	22	19	184
11	2	22	19	184
12	2	29	26	248
13	2.5	29	26	248
14	2	44	39	372
15	3	44	39	372
16	2	62	55	530
17	3	62	55	530
18	3	62	55	530
19	2	67	59	568
20	2	67	59	568
21	3	72	64	615
22	2	72	64	615
23	3	75	67	641
24	2.5	75	67	641
25	4	75	67	641
26	10	78	69	662
27	4	78	69	662
28	3	89	79	761

ตารางที่ ค-7 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (สด) อายุการเก็บเกี่ยว 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
29	2.5	89	79	761
30	2	94	84	804
31	3.5	94	84	804
32	3	94	84	804
33	3	96	86	821
34	3	96	86	821
35	3	99	88	842
36	3	99	88	842
37	2	102	90	868
38	2	102	90	868
39	2	102	90	868
40	2	106	94	902
41	2	106	94	902
42	2	109	97	932
43	2	109	97	932
44	1	113	101	966
45	1	113	101	966
46	1	113	101	966
47	1	116	103	992
48	1	116	103	992
49	1	119	106	1,017
50	1	119	106	1,017

ตารางที่ ค-8 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	2	11	10	94
6	4	11	10	94
7	5	15	13	123
8	4	15	13	123
9	3	24	21	204
10	3	24	21	204
11	5	24	21	204
12	6	53	47	447
13	5	53	47	447
14	4	113	100	958
15	5	113	100	958
16	7	126	112	1,068
17	7	126	112	1,068
18	11	126	112	1,068
19	25	157	140	1,337
20	13	157	140	1,337
21	8.5	178	159	1,511
22	7	178	159	1,511
23	6	188	167	1,596
24	5.5	188	167	1,596
25	5	188	167	1,596
26	6	194	173	1,652
27	5	194	173	1,652
28	6	197	176	1,673

ตารางที่ ค-8 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 35 วันหมักร่วมกับมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
29	5	197	176	1,673
30	4	199	177	1,690
31	4	199	177	1,690
32	3	199	177	1,690
33	3	202	180	1,720
34	2.5	202	180	1,720
35	3	202	180	1,720
36	3	202	180	1,720
37	2	202	180	1,720
38	2.5	202	180	1,720
39	2	202	180	1,720
40	2	204	182	1,737
41	2	204	182	1,737
42	2	206	184	1,754
43	2	206	184	1,754
44	2	208	185	1,766
45	2	208	185	1,766
46	2	208	185	1,766
47	2	210	187	1,783
48	2	210	187	1,783
49	2	213	190	1,809
50	2	214	191	1,822

ตารางที่ ค-9 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	2	10	9	90
6	3	10	9	90
7	2	14	12	128
8	2	14	12	128
9	3	17	15	161
10	2	17	15	161
11	2	17	15	161
12	3	27	24	252
13	3	27	24	252
14	3	32	29	304
15	3.5	32	29	304
16	4	43	38	403
17	5	43	38	403
18	5	43	38	403
19	10	53	47	503
20	6.5	53	47	503
21	4	63	56	593
22	4.5	63	56	593
23	4	67	60	631
24	4	67	60	631
25	3	67	60	631
26	3	68	60	641
27	3	68	60	641
28	3	71	64	674

ตารางที่ ค-9 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิด
ก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหมักร่วมกับมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ รายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
29	3.5	71	64	674
30	3	73	65	693
31	3	73	65	693
32	2	73	65	693
33	2	76	68	717
34	2	76	68	717
35	2	81	72	764
36	2	81	72	764
37	3	88	78	831
38	2	88	78	831
39	2	88	78	831
40	2	98	87	925
41	2	98	87	925
42	2	106	95	1,006
43	2	106	95	1,006
44	2	116	104	1,101
45	2	116	104	1,101
46	2	116	104	1,101
47	2	123	110	1,168
48	2	123	110	1,168
49	2	129	116	1,224
50	2	136	121	1,286

ตารางที่ ค-10 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	1	4	4	38
6	2	4	4	38
7	2	7	6	66
8	2	7	6	66
9	2	13	11	117
10	2	13	11	117
11	2	13	11	117
12	2.5	41	37	385
13	3	41	37	385
14	3	71	64	667
15	3	71	64	667
16	5	91	81	850
17	7	91	81	850
18	10	91	81	850
19	20	108	96	1,010
20	9	108	96	1,010
21	8	116	104	1,090
22	7	116	104	1,090
23	7	120	107	1,127
24	6.5	120	107	1,127
25	5	120	107	1,127
26	5	124	111	1,160
27	4	124	111	1,160
28	4	126	113	1,184

ตารางที่ ค-10 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพชุดการทดลองหญ้าเนเปียร์ (หมัก) อายุการเก็บเกี่ยว 55 วันหมักร่วมกับมูลโคนม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. VS หญ้าสด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ไร่/ปี)
29	3.5	126	113	1,184
30	3	128	115	1,203
31	2.5	128	115	1,203
32	3	128	115	1,203
33	3	130	116	1,221
34	3	130	116	1,221
35	2	136	121	1,273
36	3	136	121	1,273
37	2	137	122	1,282
38	2.5	137	122	1,282
39	2.5	137	122	1,282
40	2	143	128	1,339
41	2	143	128	1,339
42	2	151	135	1,414
43	2	151	135	1,414
44	2	158	141	1,480
45	2	158	141	1,480
46	2	158	141	1,480
47	2	167	150	1,569
48	2	167	150	1,569
49	2	173	154	1,621
50	2	177	158	1,663

ตารางที่ ค-11 ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ของการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

พารามิเตอร์	หญ้าเนเปียร์สด			หญ้าเนเปียร์หมัก		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเข้าระบบ (มก./ล.)	21,670	25,020	27,670	25,303	22,680	20,594
ค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	4,855	4,929	10,115	6,480	7,908	6,874
การกำจัดของแข็งทั้งหมด (%)	78	80	63	66	45	62
ค่าของแข็งระเหยได้เฉลี่ยเข้าระบบ (มก./ล.)	15,145	18,195	21,295	19,848	18,125	16,188
ค่าของแข็งระเหยได้เฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	3,260	2,715	8,395	4,123	9,080	5,438
การกำจัดของแข็งระเหยได้ (%)	78	85	61	79	50	66

ตารางที่ ค-12 ซีโอดีของการทดลองที่ 1 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

พารามิเตอร์	หญ้าเนเปียร์สด			หญ้าเนเปียร์หมัก		
	35 วัน	45 วัน	55 วัน	35 วัน	45 วัน	55 วัน
ค่าซีโอดีเฉลี่ยเข้าระบบ (มก./ล.)	6,160	8,960	10,080	8,800	11,200	10,400
ค่าซีโอดีเฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	2,880	3,200	5,120	2,960	4,800	3,840
การกำจัดซีโอดี (%)	53	64	49	66	57	63

ตารางที่ ค-13 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ พีไอเอช

วันที่	พีไอเอช							
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6	ซ้ำ 7	ซ้ำ 8
1	7.50	7.56	7.47	7.61	7.40	7.23	7.52	7.48
4	6.62	6.98	6.95	6.98	6.86	6.67	6.93	6.77
6	6.38	6.72	6.60	6.70	6.63	6.55	6.65	6.64
8	6.48	6.59	6.50	6.58	6.57	6.38	6.40	6.24
11	6.84	6.48	6.02	6.33	6.27	6.16	6.32	6.34
13	7.13	6.70	6.32	6.79	6.63	6.57	6.81	6.66
15	7.31	6.80	7.02	7.17	7.36	7.30	7.25	7.18
18	7.49	7.21	7.31	7.46	7.57	7.40	7.38	7.40

ตารางที่ ค-13 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ พีไอเอช (ต่อ)

วันที่	พีไอเอช							
	ซ้ำ 9	ซ้ำ 10	ซ้ำ 11	ซ้ำ 12	ซ้ำ 13	ซ้ำ 14	ซ้ำ 15	เฉลี่ย
1	7.59	7.33	7.50	7.56	7.47	7.59	7.33	7.45
4	6.70	6.75	6.62	6.98	6.95	6.70	6.75	6.79
6	6.56	6.55	6.38	6.72	6.60	6.56	6.55	6.60
8	6.41	6.41	6.48	6.59	6.50	6.41	6.41	6.43
11	6.27	6.20	6.84	6.48	6.02	6.27	6.20	6.27
13	6.61	6.71	7.13	6.70	6.32	6.61	6.71	6.66
15	7.23	7.24	7.31	6.80	7.02	7.23	7.24	7.15
18	7.45	7.55	7.49	7.21	7.31	7.45	7.55	7.40

ตารางที่ ค-14 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ อุณหภูมิ

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	ชั่วโมง 1	ชั่วโมง 2	ชั่วโมง 3	ชั่วโมง 4	ชั่วโมง 5	ชั่วโมง 6	ชั่วโมง 7	ชั่วโมง 8
1	28.5	27.8	27.6	27.7	28.8	29.3	30.0	30.2
4	30.4	27.5	28.5	28.2	30.1	30.3	30.3	30.2
6	29.8	29.5	29.3	29.4	29.5	30.3	30.2	30.1
8	29.4	28.9	29.6	29.5	29.4	30.8	30.7	30.2
11	30.4	30.0	30.0	30.0	29.9	30.7	30.7	30.8
13	30.1	29.3	29.4	29.4	30.3	30.5	30.7	30.8
15	30.4	29.4	29.2	29.0	30.3	31.5	31.4	31.4
18	31.3	29.8	29.7	29.5	31.2	31.0	31.0	31.2

ตารางที่ ค-14 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ อุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	ชั่วโมง 9	ชั่วโมง 10	ชั่วโมง 11	ชั่วโมง 12	ชั่วโมง 13	ชั่วโมง 14	ชั่วโมง 15	เฉลี่ย
1	29.9	29.8	29.5	30.2	29.3	29.4	28.8	29.12
4	30.1	31.0	31.1	30.1	30.5	30.4	30.4	29.94
6	30.1	31.3	31.3	31.1	31.1	31.0	29.0	30.20
8	30.0	30.5	31.0	30.9	30.7	30.7	29.6	30.13
11	30.8	30.8	31.2	31.2	30.4	29.7	30.1	30.45
13	30.8	29.8	29.9	30.0	29.6	29.6	29.7	29.99
15	31.5	30.1	28.7	28.5	28.7	28.7	29.8	29.91
18	32.0	30.5	29.0	29.0	28.8	29.5	30.0	30.23

ตารางที่ ค-15 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหย

วันที่	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6	ซ้ำ 7	ซ้ำ 8
1	450	400	500	680	450	530	700	620
4	1,050	1,198	1,100	1,180	1,020	1,265	1,030	1,100
6	1,200	1,400	1,220	1,200	1,040	1,580	1,335	1,127
8	1,350	1,500	1,280	1,210	1,100	1,730	1,500	1,500
11	1,800	1,840	1,540	1,660	1,540	1,800	1,800	1,450
13	1,500	1,640	1,400	1,600	1,325	1,650	1,350	1,350
15	1,350	1,600	1,360	1,560	1,160	1,500	1,200	1,240
18	1,050	1,400	1,300	1,520	1,100	1,395	1,110	1,200

ตารางที่ ค-15 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหย (ต่อ)

วันที่	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 9	ซ้ำ 10	ซ้ำ 11	ซ้ำ 12	ซ้ำ 13	ซ้ำ 14	ซ้ำ 15	เฉลี่ย
1	550	600	630	450	450	1,050	750	587
4	1,270	1,100	1,040	1,050	1,250	1,300	1,350	1,154
6	1,500	1,300	1,270	1,250	1,300	1,350	1,400	1,298
8	1,700	1,350	1,350	1,400	1,425	1,550	1,550	1,433
11	1,809	1,590	1,600	1,880	2,000	1,650	1,750	1,714
13	1,950	1,500	1,300	1,650	1,650	1,350	1,350	1,504
15	1,700	1,320	1,100	1,500	1,325	1,100	1,097	1,341
18	1,450	1,080	1,080	1,109	1,100	1,089	1,000	1,199

ตารางที่ ค-16 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ ชนิดกรดไขมันระเหย

ชนิดกรดไขมันระเหย	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
กรดอะซิติก	980
กรดโพรไพโอนิก	425
กรดบิวไทริก	295

ตารางที่ ค-17 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ สภาพต่างทั้งหมด

วันที่	สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6	ซ้ำ 7	ซ้ำ 8
1	1,800	1,400	1,720	1,940	1,200	1,700	1,700	2,000
4	3,500	3,740	3,700	3,920	3,000	3,300	3,000	3,100
6	3,700	3,960	3,940	3,820	3,000	4,000	4,200	3,500
8	3,900	4,840	3,980	3,820	4,000	4,000	4,000	4,000
11	4,000	4,080	3,860	4,000	4,100	4,200	4,200	4,300
13	4,100	3,800	3,820	4,140	4,300	4,100	4,100	4,210
15	4,150	3,660	3,380	3,700	4,400	4,500	4,100	4,000
18	4,100	3,120	3,160	3,240	3,500	3,950	4,000	3,850

ตารางที่ ค-17 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ สภาพต่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 9	ซ้ำ 10	ซ้ำ 11	ซ้ำ 12	ซ้ำ 13	ซ้ำ 14	ซ้ำ 15	เฉลี่ย
1	1,550	2,000	1,500	1,525	1,360	1,600	1,940	1,662
4	2,700	3,900	3,425	3,725	3,160	3,700	3,920	3,453
6	3,500	4,180	4,000	4,100	4,020	3,840	4,020	3,852
8	3,700	4,310	4,250	4,500	4,104	4,000	4,382	4,119
11	4,000	4,380	4,580	4,800	4,200	4,000	4,100	4,187
13	4,220	4,400	4,300	4,751	4,540	4,500	4,140	4,228
15	4,100	4,320	4,100	4,420	4,325	4,300	4,000	4,097
18	3,950	4,080	3,980	4,109	4,100	4,200	3,990	3,822

ตารางที่ ค-18 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

วันที่	กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด							
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6	ซ้ำ 7	ซ้ำ 8
1	0.25	0.29	0.47	0.35	0.38	0.31	0.41	0.31
4	0.30	0.32	0.30	0.30	0.34	0.38	0.34	0.35
6	0.32	0.35	0.31	0.31	0.35	0.40	0.32	0.32
8	0.35	0.31	0.32	0.32	0.28	0.43	0.38	0.38
11	0.45	0.45	0.40	0.42	0.38	0.43	0.43	0.34
13	0.37	0.43	0.37	0.39	0.31	0.40	0.33	0.32
15	0.33	0.44	0.40	0.42	0.26	0.33	0.29	0.31
18	0.26	0.45	0.41	0.47	0.31	0.35	0.28	0.31

ตารางที่ ค-18 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ สัตส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	สัตส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด							
	ซ้ำ 9	ซ้ำ 10	ซ้ำ 11	ซ้ำ 12	ซ้ำ 13	ซ้ำ 14	ซ้ำ 15	เฉลี่ย
1	0.35	0.30	0.42	0.30	0.33	0.28	0.39	0.34
4	0.47	0.28	0.30	0.28	0.40	0.34	0.34	0.34
6	0.43	0.31	0.32	0.30	0.32	0.34	0.35	0.34
8	0.46	0.31	0.32	0.31	0.35	0.39	0.35	0.35
11	0.45	0.36	0.35	0.39	0.48	0.37	0.43	0.41
13	0.46	0.34	0.30	0.35	0.36	0.31	0.33	0.36
15	0.41	0.31	0.27	0.34	0.31	0.26	0.27	0.33
18	0.37	0.26	0.27	0.27	0.27	0.26	0.25	0.32

ตารางที่ ค-19 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ ซีไออดีทั้งหมด

วันที่	ซีไออดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6	ซ้ำ 7	ซ้ำ 8
1	5,280	8,880	6,400	5,475	7,080	8,546	6,880	9,560
4	11,200	11,040	10,680	12,031	12,822	13,002	11,160	13,020
6	12,200	13,360	13,840	13,068	12,450	13,966	12,040	14,320
8	14,080	14,680	15,060	14,978	14,450	14,678	15,320	15,800
11	16,800	16,160	16,207	16,003	15,940	16,800	15,800	16,900
13	16,000	15,234	15,007	14,950	15,000	15,055	14,000	14,500
15	12,000	13,547	12,116	13,200	12,980	13,500	12,800	13,294
18	10,864	11,390	10,003	10,680	9,977	10,395	10,789	10,200

ตารางที่ ค-19 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดีทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 9	ซ้ำ 10	ซ้ำ 11	ซ้ำ 12	ซ้ำ 13	ซ้ำ 14	ซ้ำ 15	เฉลี่ย
1	7,240	7,560	6,880	7,400	8,880	5,880	7,440	7,292
4	11,060	11,360	11,840	11,840	11,440	10,360	12,920	11,718
6	12,320	13,760	12,280	13,880	14,600	12,360	13,840	13,219
8	14,800	15,200	14,000	14,650	15,091	14,008	14,553	14,757
11	16,080	16,760	16,440	16,650	16,539	16,660	15,309	16,337
13	15,020	14,280	15,120	14,091	14,429	14,560	13,208	14,697
15	11,900	13,020	11,016	12,497	12,376	12,560	11,208	12,534
18	9,905	10,080	8,080	10,909	11,100	9,208	10,500	10,272

ตารางที่ ค-20 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดีกรอง

วันที่	ซีโอดีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6	ซ้ำ 7	ซ้ำ 8
1	2,880	2,880	2,400	2,475	2,080	2,546	2,880	2,560
4	3,200	3,040	3,680	3,931	2,822	3,302	4,160	4,320
6	3,550	3,360	3,840	4,368	3,450	4,266	4,240	4,320
8	5,380	3,680	3,360	5,785	3,450	4,678	5,320	4,800
11	6,720	4,160	5,177	5,513	5,540	4,800	5,800	5,800
13	5,780	4,234	5,077	5,520	5,325	4,650	5,000	5,500
15	5,280	4,547	5,006	5,020	5,160	4,500	5,100	5,094
18	4,528	4,390	5,003	5,080	4,700	4,395	5,089	5,000

ตารางที่ ค-20 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลโคนมของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ ซีไอทีกรอง (ต่อ)

วันที่	ซีไอทีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	ซ้ำ 9	ซ้ำ 10	ซ้ำ 11	ซ้ำ 12	ซ้ำ 13	ซ้ำ 14	ซ้ำ 15	เฉลี่ย
1	2,240	2,560	2,880	2,400	2,880	2,880	2,440	2,599
4	3,360	3,360	3,840	3,840	3,440	3,360	3,920	3,572
6	4,320	5,760	5,280	4,880	4,600	4,360	4,840	4,362
8	4,800	5,200	5,500	5,650	5,091	5,208	5,533	4,896
11	5,680	5,760	5,640	5,650	5,391	5,560	5,309	5,500
13	5,720	5,280	5,120	5,091	5,429	5,560	5,208	5,233
15	5,100	4,320	5,316	4,974	5,376	5,560	5,208	5,037
18	4,450	4,850	5,080	4,909	4,610	4,208	4,600	4,726

ตารางที่ ค-21 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ พีเอช

วันที่	พีเอช			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
1	7.24	7.14	7.09	7.16
4	6.87	6.89	6.75	6.84
6	6.65	6.79	6.70	6.71
8	6.50	6.77	6.65	6.64
11	6.45	6.74	6.60	6.60
13	6.64	6.77	6.73	6.71
15	6.69	6.80	6.82	6.77
18	6.80	6.87	7.00	6.89

ตารางที่ ค-22 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ อุณหภูมิ

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
	ชั่วโมง 1	ชั่วโมง 2	ชั่วโมง 3	เฉลี่ย
1	30.0	30.2	29.9	30.0
4	30.3	30.2	30.1	30.2
6	30.2	30.1	30.1	30.1
8	30.7	30.2	30.0	30.3
11	30.7	30.8	30.8	30.8
13	30.7	30.8	30.8	30.8
15	31.4	31.4	31.5	31.4
18	31.6	32.0	31.7	31.8

ตารางที่ ค-23 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหย

วันที่	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ชั่วโมง 1	ชั่วโมง 2	ชั่วโมง 3	เฉลี่ย
1	100	150	150	133
4	200	450	450	367
6	200	450	450	367
8	300	450	450	400
11	400	450	550	467
13	300	300	300	300
15	200	300	300	267
18	200	300	300	267

ตารางที่ ค-24 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ สภาพต่างทั้งหมด

วันที่	สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
1	800	700	1,000	833
4	900	1,000	1,100	1,000
6	900	1,000	1,100	1,000
8	900	1,100	1,100	1,033
11	900	1,200	1,300	1,133
13	900	1,100	1,000	1,000
15	800	1,100	1,000	967
18	800	1,100	1,000	967

ตารางที่ ค-25 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

วันที่	กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
1	0.13	0.21	0.15	0.16
4	0.22	0.45	0.41	0.36
6	0.22	0.45	0.41	0.36
8	0.33	0.45	0.41	0.40
11	0.44	0.46	0.42	0.44
13	0.33	0.27	0.30	0.30
15	0.25	0.27	0.30	0.27
18	0.25	0.27	0.3	0.27

ตารางที่ ค-26 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ ซีไอตีทั้งหมด

วันที่	ซีไอตีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
1	4,600	4,800	4,000	4,467
4	5,600	4,850	4,945	5,132
6	5,888	5,016	6,034	5,646
8	6,400	5,600	7,200	6,400
11	7,200	5,888	8,000	7,029
13	3,680	5,152	5,611	4,814
15	2,944	4,416	4,416	3,925
18	2,506	3,957	2,944	3,136

ตารางที่ ค-27 ผลการศึกษาสภาวะหญ้าเนเปียร์ที่เติมเข้าระบบของถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ทดลองเดินระบบแบบแบตช์ แสดงพารามิเตอร์ ซีไอตีกรอง

วันที่	ซีไอตีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	เฉลี่ย
1	2,880	2,880	1,440	2,400
4	2,900	2,960	1,920	2,593
6	3,041	3,021	3,091	3,051
8	3,440	3,360	3,533	3,444
11	3,600	3,957	3,840	3,799
13	2,429	2,560	2,208	2,399
15	1,766	2,560	2,208	2,178
18	1,103	2,034	1,900	1,679

ตารางที่ ค-28 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้อยกซิเจนที่อัตราการระเหยซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

วันที่	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อวัน)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. ของแข็งระเหยได้เข้าระบบ)
1	0.20	14	21
3	0.28	19	30
5	0.32	23	34
7	0.40	30	43
10	0.40	28	43
12	0.52	37	56
14	0.56	39	60
17	0.60	44	64
19	0.64	44	69
21	0.64	46	69
24	0.76	54	81
26	0.80	57	86
28	0.84	62	90
31	0.96	68	103
33	1.28	91	137
35	1.60	114	171
38	1.88	130	201
40	2.16	151	231
42	2.32	160	249
45	2.52	183	270
47	3.24	240	347
49	3.48	264	373
52	3.68	290	394
54	3.84	305	411

ตารางที่ ค-28 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้ออกซิเจนที่อัตราการระเหยซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

วันที่	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อวัน)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. ของแข็งระเหยได้เข้าระบบ)
56	3.72	302	399
59	3.80	314	407
61	3.80	312	407
63	3.76	318	403
66	3.88	335	416
68	3.88	330	416
70	3.84	341	411

ตารางที่ ค-29 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อุณหภูมิ และพีเอช

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		พีเอช	
	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	29.2	28.3	7.19	8.79
3	29.0	28.3	7.21	8.73
5	28.1	28.7	7.20	8.44
7	27.3	28.7	7.24	8.77
10	29.0	28.5	7.26	8.70
12	29.5	28.3	7.24	8.74
14	28.1	29.2	7.22	9.47
17	29.5	30.2	7.21	8.44
19	28.9	30.9	7.23	8.62
21	29.4	30.9	7.26	8.60
24	30.0	30.0	7.20	8.65
26	29.7	30.7	7.29	8.70
28	30.5	30.0	7.07	8.39
31	30.0	30.3	7.20	8.64
33	30.0	30.8	7.23	8.47
35	30.4	31.2	7.10	8.42
38	29.1	30.2	7.17	8.36
40	30.6	30.8	7.04	8.50
42	31.0	30.1	7.21	8.28
45	31.0	31.6	7.23	8.34
47	31.8	30.1	7.22	8.12
49	30.7	30.3	7.22	8.02
52	30.2	30.3	7.23	8.48
54	29.6	30.7	7.25	8.31

ตารางที่ ค-29 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีไอดี 0.67 กก. ซีไอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อุณหภูมิ และพีเอช (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		พีเอช	
	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
56	29.0	30.0	7.25	8.17
59	29.5	30.4	7.16	8.15
61	30.1	30.4	7.21	8.26
63	30.4	31.7	7.17	8.33
66	32.5	31.0	7.15	8.30
68	30.1	31.2	7.22	8.28
70	31.1	31.5	7.27	8.32
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	29.7	29.9	7.20	8.55
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.07	1.03	0.06	0.28

ตารางที่ ค-30 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และสัดส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพต่างทั้งหมด

วันที่	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		สัดส่วน VFA/Alk	
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ
1	835	420	1,309	1,670	0.64	0.25
3	850	400	1,350	1,650	0.63	0.24
5	810	400	1,300	1,665	0.62	0.24
7	850	400	1,355	1,660	0.63	0.24
10	800	420	1,300	1,685	0.62	0.25
12	800	453	1,340	1,675	0.60	0.27
14	850	421	1,367	1,690	0.62	0.25
17	850	440	1,325	1,680	0.64	0.26
19	800	430	1,310	1,687	0.61	0.25
21	850	450	1,350	1,650	0.63	0.27
24	850	450	1,343	1,674	0.63	0.27
26	850	450	1,370	1,645	0.62	0.27
28	825	465	1,380	1,668	0.60	0.28
31	800	445	1,395	1,688	0.57	0.26
33	800	450	1,380	1,690	0.58	0.27
35	800	440	1,386	1,700	0.58	0.26
38	850	410	1,399	1,689	0.61	0.24
40	850	400	1,391	1,699	0.61	0.24
42	800	400	1,369	1,685	0.58	0.24
45	800	420	1,374	1,680	0.58	0.25
47	850	450	1,368	1,683	0.62	0.27
49	850	400	1,300	1,670	0.65	0.24
52	800	450	1,355	1,655	0.59	0.27

ตารางที่ ค-30 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้อยกซิเจนที่อัตรากระซิโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และสัดส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพต่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		สัดส่วน VFA/Alk	
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ
54	800	400	1,341	1,650	0.60	0.24
56	850	460	1,353	1,667	0.63	0.28
59	845	450	1,365	1,650	0.62	0.27
61	820	430	1,300	1,620	0.63	0.27
63	800	440	1,305	1,630	0.61	0.27
66	800	450	1,310	1,610	0.61	0.28
68	800	450	1,314	1,615	0.61	0.28
70	800	450	1,300	1,600	0.62	0.28
ค่าเฉลี่ยของ ข้อมูล	828	428	1353	1677	0.61	0.26
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	23.77	21.70	32.82	26.72	0.02	0.01

ตารางที่ ค-31 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้อยกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีกรอง

วันที่	ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ซีโอดีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	เข้าระบบ	ออกระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
1	10,090	662	93.4	5,000	980	82.4
3	10,747	720	93.3	5,064	962	81.0
5	10,162	883	91.3	5,002	962	80.8
7	10,035	890	91.1	5,052	921	81.8
10	10,648	879	91.7	5,208	943	81.9
12	10,477	888	91.5	5,040	943	81.3
14	10,560	887	91.6	5,092	976	80.8
17	10,160	880	91.3	5,040	960	81.0
19	10,880	891	91.8	5,664	960	83.1
21	10,400	869	91.6	5,792	960	83.4
24	10,400	878	91.6	5,352	894	83.3
26	10,520	899	91.5	5,728	883	84.6
28	10,080	859	91.5	5,480	757	86.2
31	10,517	883	91.6	5,792	736	87.3
33	10,486	877	91.6	5,792	619	89.3
35	10,456	940	91.0	5,640	600	89.4
38	10,819	980	90.9	5,776	598	89.6
40	10,709	995	90.7	5,512	586	89.4
42	10,893	1,040	90.5	5,800	587	89.9
45	10,819	1,440	86.7	5,600	583	89.6
47	10,856	1,680	84.5	5,400	572	89.4
49	10,893	1,920	82.4	5,300	582	89.0
52	10,819	2,174	79.9	5,250	540	89.7

ตารางที่ ค-31 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกันรั่วออกซิเจนที่อัตราาระซีไอดี 0.67 กก. ซีไอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีไอดีทั้งหมด และซีไอดีกรอง (ต่อ)

วันที่	ซีไอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ซีไอดีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	เข้าระบบ	ออกระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
54	10,856	2,300	78.8	5,300	520	90.2
56	10,870	2,486	77.1	5,200	480	90.8
59	10,819	2,575	76.2	5,168	500	90.3
61	10,956	2,664	75.7	5,024	495	90.1
63	10,793	2,753	74.5	5,200	499	90.4
66	10,800	2,930	72.9	5,544	595	89.3
68	10,996	3,000	72.7	5,324	592	88.9
70	10,909	3,250	70.2	5,568	589	89.4
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	10,528	993	90.6	5,415	798	85.2
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	285	299	2.65	309	172	3.67

ตารางที่ ค-32 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้อยออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

วันที่	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	เข้าระบบ	ออกระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
1	3,880	800	79.4
3	4,180	550	86.8
5	3,220	500	84.5
7	3,080	540	82.5
10	3,080	560	81.8
12	3,460	790	77.2
14	4,280	750	82.5
17	3,980	610	84.7
19	3,020	620	79.5
21	4,140	800	80.7
24	4,220	700	83.4
26	4,320	630	85.4
28	4,660	700	85.0
31	3,780	690	81.7
33	3,980	710	82.2
35	4,820	680	85.9
38	3,100	590	81.0
40	3,500	620	82.3
42	3,180	580	81.8
45	3,080	530	82.8
47	4,280	550	87.1
49	3,200	530	83.4
52	4,260	500	88.3
54	3,580	420	88.3

ตารางที่ ค-32 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้อยกซิเจนที่อัตราภาวะซีไอดี 0.67 กก. ซีไอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	เข้าระบบ	ออกระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
56	4,160	350	91.6
59	3,480	440	87.4
61	3,480	480	86.2
63	3,760	410	89.1
66	6,160	410	93.3
68	5,760	410	92.9
70	4,520	420	90.7
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	3,747	638	82.8
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	573	94	2.49

ตารางที่ ค-33 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราการระเหยได้ 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่สภาวะคงตัว

วันที่	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อวัน)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ปริมาณก๊าซมีเทน (ล./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./กก. ของแข็งระเหยได้เข้าระบบ)	ปริมาณก๊าซมีเทน (ล./กก. ของแข็งระเหยได้เข้าระบบ)
52	3.68	290	179	394	244
54	3.84	305	189	411	255
56	3.72	302	187	399	247
59	3.80	314	194	407	252
61	3.80	312	193	407	252
63	3.76	318	197	403	249
66	3.88	335	208	416	257
68	3.88	330	204	416	257
70	3.84	341	211	411	255
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	3.80	316	196	407	252
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.07	16.75	10.37	7.42	4.59

ตารางที่ ค-34 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ พีเอช ที่สภาวะคงตัว

วันที่	พีเอช					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
52	7.23	7.22	7.35	7.74	7.91	8.48
54	7.25	7.23	7.40	7.75	7.93	8.31
56	7.25	7.25	7.42	7.73	7.95	8.17
59	7.16	7.27	7.45	7.74	7.96	8.15
61	7.21	7.23	7.25	7.33	7.20	8.26
63	7.17	7.23	7.45	7.42	7.22	8.33
66	7.15	7.26	7.49	7.26	7.22	8.30
68	7.22	7.18	7.49	7.27	7.21	8.28
70	7.17	7.32	7.31	7.26	7.23	8.32
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	7.20	7.24	7.40	7.74	7.93	8.29
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.04	0.04	0.08	0.02	0.02	0.10

ตารางที่ ค-35 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อุณหภูมิ ที่สภาวะคงตัว

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
52	30.2	30.5	30.5	31.5	31.2	30.3
54	29.6	30.9	30.9	31.1	31.5	30.7
56	29.0	31.0	30.6	32.0	31.9	30.0
59	29.5	30.8	31.0	31.5	32.0	30.4
61	30.1	30.7	30.7	31.0	31.0	30.4
63	30.4	29.5	30.3	30.3	30.7	31.7
66	32.5	32.3	32.4	32.3	32.4	31.0
68	30.1	31.1	31.5	31.6	31.7	31.2
70	31.1	30.8	31.0	31.1	31.3	31.5
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	30.28	30.84	30.99	31.38	31.52	30.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.02	0.72	0.63	0.59	0.53	0.58

ตารางที่ ค-36 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นรั้วออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ กรดไขมันระเหย ที่สภาวะคงตัว

วันที่	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
52	800	955	889	765	550	450
54	800	949	849	742	576	400
56	850	960	856	773	555	460
59	845	950	874	788	580	450
61	820	950	898	715	567	430
63	800	905	815	755	589	440
66	800	935	885	790	540	450
68	800	965	854	734	523	450
70	800	944	878	705	590	450
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	813	946	866	752	563	442
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	21	18	26	30	23	18

ตารางที่ ค-37 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นรั้วออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ชนิดกรดไขมันระเหย ที่สภาวะคงตัว (วันที่ 52 ของการเดินระบบ)

ชนิดกรดไขมัน ระเหย	ปริมาณกรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
กรดอะซิติก	398	523	490	395	299	198
กรดโพรไพโอนิก	229	217	200	195	145	135
กรดบิวไทรก	183	200	170	160	116	107

ตารางที่ ค-38 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพต่างทั้งหมด ที่สภาวะคงตัว

วันที่	สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
52	1,355	1,385	1,445	1,520	1,554	1,655
54	1,341	1,340	1,431	1,477	1,537	1,650
56	1,353	1,389	1,423	1,476	1,637	1,667
59	1,365	1,365	1,460	1,509	1,544	1,650
61	1,300	1,399	1,459	1,545	1,564	1,620
63	1,305	1,375	1,443	1,467	1,640	1,630
66	1,310	1,352	1,412	1,451	1,567	1,610
68	1,314	1,367	1,455	1,538	1,651	1,615
70	1,300	1,342	1,470	1,477	1,573	1,600
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	1,327	1,368	1,444	1,496	1,585	1,633
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	26	21	19	33	45	23

ตารางที่ ค-39 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด ที่สภาวะคงตัว

วันที่	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
52	0.59	0.69	0.62	0.50	0.35	0.27
54	0.60	0.71	0.59	0.50	0.37	0.24
56	0.63	0.69	0.60	0.52	0.34	0.28
59	0.62	0.70	0.60	0.52	0.38	0.27
61	0.63	0.68	0.62	0.46	0.36	0.27
63	0.61	0.66	0.56	0.51	0.36	0.27
66	0.61	0.69	0.63	0.54	0.34	0.28
68	0.61	0.71	0.59	0.48	0.32	0.28
70	0.62	0.70	0.60	0.48	0.38	0.28
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	0.61	0.69	0.60	0.50	0.36	0.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01

ตารางที่ ค-40 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นรั้วออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดีกรอง ที่สภาวะคงตัว

วันที่	ซีโอดีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
52	5,120	3,734	2,820	1,600	956	489
54	5,419	3,709	2,932	1,619	945	490
56	5,359	3,826	2,955	1,638	939	494
59	5,209	3,789	2,999	1,651	907	520
61	5,024	3,745	2,990	1,691	916	595
63	5,200	3,766	2,895	1,689	950	499
66	5,544	3,700	2,985	1,608	908	595
68	5,324	3,815	2,899	1,665	900	592
70	5,568	3,825	2,945	1,626	890	589
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	5307	3768	2936	1643	923	540
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	186	49	57	33	24	51
ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		22.1	44.0	43.8	41.5	

ตารางที่ ค-41 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นรั้วออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.67 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ที่สภาวะคงตัว

วันที่	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	เข้าระบบ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2	ห้องที่ 3	ห้องที่ 4	ออกจากระบบ
52	4,260	6,634	5,789	5,345	3,098	500
54	3,580	6,587	5,709	5,218	2,978	420
56	4,160	6,517	5,655	5,107	2,703	350
59	3,480	6,408	5,500	5,099	2,398	440
61	3,480	6,400	5,400	5,000	2,000	440
63	3,760	5,900	5,450	3,250	1,700	410
66	3,160	5,850	4,150	3,200	1,400	410
68	3,760	5,600	3,850	2,750	1,200	410
70	3,520	5,900	3,500	2,400	1,350	410
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล	3,684	6,200	5,000	4,152	2,092	421
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	347	385	899	1217	729	39.51

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวมยุรี ชัญพลา เกิดเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรียานุสรณ์ จังหวัดจันทบุรี ในปีการศึกษา 2550 สำเร็จ การศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี การศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์

มยุรี ชัญพลา, อรทัย ขวาลภาฤทธิ์. การศึกษาอายุการเก็บเกี่ยวของหญ้าเนเปียร์ที่มีผล ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ (Study of harvest Napier grass on biogas production). เอกสาร ประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14. 27-29 พฤษภาคม 2558 ณ โรงแรม โลตัส ปางสวนแก้ว เชียงใหม่