การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ หมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายไร้อากาศสถานะของแข็ง

Biogas Production from Chicken Manure Co-digested with Napier Grass and Food Waste by Solid State Anaerobic

วัฒนณรงค์ มากพันธ์[1*] และ สมพงศ์ โอทอง[2]

Wattananarong Markphan[1*] and Sompong O-Thong[2]

[1]*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*

[2]*สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ*

[1]*Program in Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si ThammaratRajabhat University*

[2]*Program in Biology, Faculty of Science, Thaksin University*

Received : 29 January 2019

Revised : 2 April 2019

Accepted : 3 May 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายไร้อากาศสถานะของแข็ง ศึกษาผลของอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ เท่ากับ 1:1 2:1 3:1 และ 4:1 บนพื้นฐานของของแข็งระเหยได้ ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ เท่ากับ 1:1 ของหญ้าเนเปียร์ให้ผลได้มีเทนและผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 140 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมา คือ มูลไก่และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 138 และ 36 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ เท่ากับ 1:1 มูลไก่ให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด เท่ากับ 71 ลูกบาศก์เมตรมีเทนต่อตันของชีวมวล รองลงมาคือหญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 51 และ 14 ลูกบาศก์เมตรมีเทนต่อตันของชีวมวล การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนโดยการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยแปรผันปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16 20 และ 25 พบว่า มูลไก่มีของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 ให้ผลได้มีเทนสูงสุด เท่ากับ 138 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมา คือ ของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 20 และ 25 ให้ผลได้มีเทน เท่ากับ 133 และ 104 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ประสิทธิภาพการย่อยสลายที่ร้อยละ 16 20 และ 25 เท่ากับร้อยละ 42.29 35.53 และ 29.30 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, การย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ, การหมัก

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

Abstract

The objective of this research were to determine the biogas production from chicken manure co-digested with Napier grass and food waste by solid state anaerobic. Feedstock was mixed with inoculum at F/I ratio of 1:1 2:1 3:1 and 4:1 based on the volatile solid (VS). Results shown that among the 4 F/I ratios tested, the F/I ratio of 1:1 gave the highest methane yield and methane production. The highest methane yields (140 L CH_4/kgVS) from Napier grass followed by chicken manure and food waste. Methane yield from chicken manure and food was 138 and 36 LCH_4/kgVS, respectively at F:I ratio of 1:1. The highest methane production of 71 m^3CH_4/ton was obtained from chicken manure followed by napier grass (51 m^3CH_4/ton) and food waste (14 m^3CH_4/ton). The methane production potential from chicken manure by difference TS concentration at 16% 20% and 25%. Chicken manure gave maximum methane yield from TS concentration of 16% followed by 20% and 25% trial with methane yield of 138 133 and 104 L CH_4/kgVS. The degradation efficiency at 16, 20 and 25 % was 42.29 35.53 and 29.30 % respectively

Keywords : biogas, anaerobic digestion, fermentation

บทนำ

ไก่เป็นสัตว์เลี้ยงที่อยู่คู่คนไทยมาเป็นเวลานาน โดยมีการเลี้ยงทั้งในระดับพื้นบ้าน และอุตสาหกรรม ซึ่งไก่สามารถบริโภคได้ทั้งเนื้อและไข่ เนื้อไก่เป็นเนื้อสัตว์ที่ให้คุณค่าทางอาหารที่สำคัญ มีคุณค่าทางโปรตีนสูงและมีไขมันต่ำกว่าเนื้อสัตว์ประเภทอื่น รวมทั้งยังเป็นเนื้อสัตว์ที่สามารถบริโภคกันได้ทุกชาติ เพราะไม่ขัดต่อหลักศาสนา ไก่ที่นิยมเลี้ยงในฟาร์มส่วนใหญ่ได้แก่ ไก่พื้นเมือง ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ไก่เนื้อพันธุ์ และไก่ไข่พันธุ์ ซึ่งไก่ที่ได้รับความนิยมเลี้ยงกันมากที่สุด คือ ไก่เนื้อ (Ministry of Commerce, 2016) แต่ในทางกลับกันอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ สิ่งที่เป็นปัญหาและอุปสรรคในการเลี้ยงที่สำคัญ คือ การจัดการของเสียที่เกิดจากไก่ หรือมูลไก่ โดยฟาร์มไก่ส่วนใหญ่จะเลี้ยงไก่ไว้ในกรงและทำเป็นชั้นๆ ลดหลั่นกันไป เมื่อไก่กินอาหารเข้าไปและถ่ายออกมา มูลไก่ก็จะตกไปกองอยู่บริเวณตอนล่างของกรงสะสมกัน หากไม่มีการโกยไปทิ้งหรือปล่อยสะสมทิ้งไว้เกิน 4 วัน จะทำให้ก๊าซแอมโมเนียในมูลไก่ไข่ระเหยออกมาและส่งผลกระทบต่อไก่ไข่ที่เลี้ยงไว้ ทำให้ปริมาณไข่ที่ได้ต่อวันลดลงถึงร้อยละ 50 แต่หากจะใช้คนงานโกยออกมาทุกวันก็จะเสียแรงงานและเวลาไปอย่างมาก หากจะให้เป็นอาหารของปลาก็จะประสบปัญหาปริมาณมูลไก่ไข่ที่มีมากเกินความสามารถกำจัดของปลาที่เลี้ยงไว้ และยังส่งผลให้น้ำในบ่อปลาเน่าเสียได้ง่ายอีกด้วย สำหรับการขายมูลไก่ไข่เพื่อนำไปทำเป็นปุ๋ยจะต้องนำไปตากให้แห้งเสียก่อน ซึ่งทำให้ประสบปัญหาในช่วงหน้าฝนเพราะไม่สามารถตากให้แห้งได้และยังก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบกับชุมชนในเรื่องของกลิ่นในช่วงระหว่างการหมักหรือตากแห้งได้ซึ่งฟาร์มส่วนใหญ่จะแก้ปัญหาโดยการฉีดน้ำยาชีวภาพเพื่อลดกลิ่นที่เกิดขึ้นแต่ก็ยังไม่สามารถกำจัดกลิ่นได้ถาวรประกอบกับต้องทำสม่ำเสมอ จึงทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในเรื่องน้ำยาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อคิดต้นทุนแล้วอาจไม่คุ้มกับราคาปุ๋ยหมักที่ขายได้และในระหว่างการตากแห้งมูลไก่ไข่จะส่งผลกระทบกับชุมชนในเรื่องของเชื้อโรคและพาหะนำเชื้อเนื่องจากในกระบวนการตากแห้งจะมีแมลงวันมาวางไข่ทิ้งไว้และดึงดูดแมลงวันจากที่อื่นๆ มาทำให้ชุมชนมีการเพิ่มจำนวนของแมลงวันมากขึ้น ทำให้รบกวนต่อวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนชุมชน (Yaembaen, 2012)

การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งมีความเหมาะสมกับสารตั้งต้นประเภทชีวมวล มีการใช้ชีวมวลหลายชนิด เช่น เมเปิล ต้นสน เยื่อกระดาษ ซังข้าวโพด ซังข้าวสาลี เศษหญ้า และมูลสัตว์ จากการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งให้ผลผลิตมีเทนสูงกว่าการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของเหลวประมาณ 2-7 เท่า วัสดุหลังการผลิตก๊าซชีวภาพยังนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้ กระบวนการหมักมีความต้องการพลังงานน้อยเนื่องจากไม่ต้องใช้การกวน และยังลดค่าใช้จ่ายในการจัดการน้ำเสียหลังกระบวนการหมัก (Yan *et al*., 2015) ถ้ามูลไก่นำมาใช้เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะสามารถเก็บเกี่ยวก๊าซชีวภาพนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน และยังช่วยลดของเสียจากฟาร์มไก่ได้อีกด้วย แต่ต้องอาศัยการพัฒนากระบวนการย่อยสลายในสภาวะที่เหมาะสม เช่น ผลของแอมโมเนียม อัตราส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณของแข็งทั้งหมด อัตราส่วนสารตั้งต้นต่อจุลินทรีย์ และรูปแบบการผสม จะช่วยให้เกิดความสมดุลของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งมีข้อจำกัดในขั้นตอนไฮโดรไลซิส อัตราส่วนสารตั้งต้นต่อจุลินทรีย์ และอัตราส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็ง อัตราส่วนสารตั้งต้นต่อจุลินทรีย์ (Feedstock : Inoculum) ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งอยู่ในช่วง 2 : 1 ถึง 4 : 1 ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของชีวมวลและกล้าเชื้อที่ใช้ อัตราส่วนสารตั้งต้นต่อจุลินทรีย์ที่สูงเกินไปมักก่อให้เกิดการสะสมกรดอินทรีย์และยับยั้งการผลิตมีเทน (Liew *et al*., 2012) อัตราส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งอยู่ในช่วง 20 : 1 ถึง 30 : 1 อัตราส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและการสะสมของกรดอินทรีย์ และยับยั้งการผลิตมีเทน (Estevez *et al*., 2012) การศึกษาปัจจัยการดำเนินระบบและสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งให้ผลที่แตกต่างขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบและชนิดของกล้าเชื้อที่ใช้การย่อยสลายร่วมไร้อากาศเป็นการย่อยสลายของการผสมสารตั้งต้นสองชนิดหรือมากกว่าคือจุดประสงค์ของการย่อยสลายร่วมไร้อากาศโดยทั่วไปการเพิ่มสมดุลสารอาหาร เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และเจือจางสารยับยั้งรวมถึงสารพิษ ทำให้ผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การหมักวัตถุดิบสองชนิดหรือมากกว่าต้องระมัดระวังในการเลือกวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักร่วมเพื่อประสิทธิภาพของกระบวนการการย่อยสลายไร้อากาศ (Zhu *et al*., 2014) จากการศึกษาของ Li, *et al*. (2013) พบว่า การผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมซังข้าวโพดกับมูลไก่โดยการย่อยสลายในสถานะของแข็งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าการผสมสารตั้งต้น 2 ชนิดที่อัตราส่วน 1 : 1 บนพื้นฐานของแข็งระเหยได้ปริมาตรของผลผลิตมีเทนสูงสุด 14.2 ลิตรมีเทนต่อลิตรถังปฏิกรณ์ เนื่องจากในการย่อยสลายมูลไก่เพียงอย่างเดียว และการย่อยสลายร่วมที่มีอัตราส่วน CS : CM = 1 : 3 มีความเข้มข้นของ NH_3-N และแอมโมเนียอิสระสูง ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน และนำไปสู่การสะสมกรดไขมันระเหยได้และการผลิตมีเทนลดลง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ โดยหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร ศึกษาองค์ประกอบ ผลของอัตราส่วนของมูลไก่ต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็ง คัดเลือกสารหมักร่วมและอัตราส่วนที่เหมาะสมมาศึกษารูปแบบการผสมในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็ง และศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ด้วยกระบวนการหมักร่วมหญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสถานะของแข็งในระบบกึ่งต่อเนื่อง

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่1 ศึกษาองค์ประกอบของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร

ศึกษาองค์ประกอบของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยการนำตัวอย่างมาอบแห้ง หลังจากนั้นทำการบดละเอียดตัวอย่างที่เป็นของแข็งให้มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างแต่ละชนิดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร

องค์ประกอบ	**วิธีการ**	**อ้างอิง**[1]
ความเป็นกรด-ด่าง	Electrometric Method	APHA. (2012)
ของแข็งทั้งหมด	Total Solids (TS) Dried at 103-105 ºC	APHA. (2012)
ของแข็งระเหยทั้งหมด	Volatile Solid (VS) Ignited at 550ºC	APHA. (2012)
ไขมัน	Direct Extraction Methods	APHA. (2012)
โปรตีน	Kjeldahl Method	APHA. (2012)
คาร์โบไฮเดรต	Anthrone Method	Morris. (1948)
กรดไขมันระเหยง่าย	GC-FID	Wang,FingasandSergy (1995)
เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน	Klason Method	Lin and Dence. (1992)

หมายเหตุ : [1]ปีคศ. ที่ปรากฏในตาราง คือปีของการประกาศมาตรฐานของอเมริกา

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมกล้าเชื้อผลิตมีเทน

นำกล้ากล้าเชื้อจุลินทรีย์ผสมสำหรับการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิห้อง มาเติมน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับกล้าเชื้อ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 จากนั้นทำการปรับค่าพีเอช เริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 7-7.5 โดยการเติมขี้เถ้าและ $NaHCO_3$ ที่ความเข้มข้น 25 และ 10 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และให้ได้ค่าความเป็นด่าง 5 กรัมต่อกิโลกรัมแคลเซียมคาร์บอเนต จากนั้นนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วย Gas Counter และวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatography (O-Thong *et al*., 2012) เมื่อกล้าเชื้อมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพคงที่และมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ไม่ต่ำกว่า 50 กรัมต่อลิตร จึงนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตมีเทนจากมูลไก่ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลของอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศ สถานะของแข็ง

การศึกษาผลของอัตราส่วน F:I ต่อประสิทธิภาพการผลิตมีเทนในสถานะของแข็งของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศในสภาวะของแข็ง ทำการทดลองโดยดัดแปลงจากงานวิจัยของ Cui และคณะ (Cui *et al*., 2011) ทำการทดลองในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรการทำงาน 300 กรัม โดยใช้มูลไก่ต่อกล้าเชื้อในอัตราส่วน 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 (ตารางที่ 2) โดยการคิดคำนวณจากของแข็งระเหยได้ของกล้าเชื้อและของวัตถุดิบ ทำการควบคุมปริมาณของแข็งเริ่มต้นให้เท่ากับร้อยละ 16 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ที่ 7 ใช้ก๊าซไนโตรเจนพ่นลงในขวดน้ำเกลือเป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดด้วยฝาจุกซิลิโคน และฝาจุกอะลูมิเนียมโดยใช้ Hand Crimper ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 45-70 วัน โดยใช้หัวเชื้อที่ไม่มีการเติมวัตถุดิบเป็นตัวควบคุมทางลบ และใช้หัวเชื้อที่มีการเติม Avicel เป็นตัวควบคุมทางบวก วัดปริมาตรการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่น้ำ และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (O-Thong *et al*., 2012) ทุกวัน เก็บตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองสำหรับวิเคราะห์ค่า pH Alkalinity VFAและ VFA/ Alkalinity

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนโดยการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

การศึกษาปริมาณของแข็งเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตมีเทนในสถานะของแข็งของมูลไก่ ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศในสภาวะของแข็งทำการทดลองในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรการทำงาน 300 กรัม โดยการแปรผันปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่ร้อยละ 16, 20 และ 25 โดยใช้มูลไก่ต่อกล้าเชื้อในอัตราส่วน 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 (ตารางที่ 2) โดยการคิดคำนวณจากของแข็งระเหยได้ของกล้าเชื้อและของวัตถุดิบปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ที่ 7 ใช้ก๊าซไนโตรเจนพ่นลงในขวดน้ำเกลือเป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดด้วยฝาจุกซิลิโคน และฝาจุกอะลูมิเนียมโดยใช้ Hand Crimper ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 45-70 วัน โดยใช้หัวเชื้อที่ไม่มีการเติมวัตถุดิบเป็นตัวควบคุมทางลบ และใช้หัวเชื้อที่มีการเติม Avicel เป็นตัวควบคุมทางบวก วัดปริมาตรการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่น้ำและวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ทุกวันเก็บตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองสำหรับวิเคราะห์ค่า pH Alkalinity VFA และ VFA/Alkalinity

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์

TS %	F : I	**มูลไก่** (%VS)	**กล้าเชื้อ** (%VS)	**รวม** (%VS)	**รวม** (%TS)
16	1:1	5.5	5.5	11	16.36
	2:1	7.6	3.8	11.4	16.90
	3:1	8.4	2.8	11.2	16.58
	4:1	8.8	2.2	11	16.27
TS %	F : I	**มูลไก่** (%VS)	**กล้าเชื้อ** (%VS)	**รวม**(%VS)	**รวม** (%TS)
20	1:1	6.50	6.50	13.00	20.05
	2:1	8.80	4.40	13.20	20.63
	3:1	9.90	3.30	13.20	20.76
	4:1	10.40	2.60	13.00	20.53
TS %	F : I	**มูลไก่** (%VS)	**กล้าเชื้อ** (%VS)	**รวม**(%VS)	**รวม** (%TS)
25	1:1	8.9	8.9	17.8	25.26
	2:1	12	6	18	25.17
	3:1	13.8	4.6	18.4	25.54
	4:1	14.8	3.7	18.5	25.56

ขั้นตอนที่ 5 การศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร ในการหมักร่วม

การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างมูลไก่กับสารหมักร่วม ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ และเศษอาหารที่เหมาะสมในการย่อยร่วมแบบไร้อากาศสถานะของแข็งต่อประสิทธิภาพการผลิตมีเทน ทำการทดลองโดยดัดแปลงจาก Xu และ Li (Xu and Li., 2012 : 221) โดยแปรผันอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อจากการคิดคำนวณจากของแข็งระเหยได้ของกล้าเชื้อและของวัตถุดิบ ทำการควบคุมปริมาณของแข็งเริ่มต้นให้เท่ากับร้อยละ 16 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ที่ 7 ใช้ก๊าซไนโตรเจนพ่นลงในขวดน้ำเกลือเป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดด้วยฝาจุกซิลิโคน และฝาจุกอะลูมิเนียมโดยใช้ Hand Crimper ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 45-70 วัน โดยใช้หัวเชื้อที่ไม่มีการเติมวัตถุดิบเป็นตัวควบคุมทางลบ (Negative Control) และใช้หัวเชื้อที่มีการเติม Avicel เป็นตัวควบคุมทางบวก (Positive Control) วัดปริมาตรการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่น้ำและวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (O-Thong, Boe and Angelidaki. 2012 : 649) ทุกวัน เพื่อศึกษาแนวโน้มและประสิทธิภาพของการหมักร่วมของเสียแต่ละชนิดในการนำมาผลิตมีเทนในระบบต่อเนื่อง และเก็บตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองสำหรับวิเคราะห์ค่า pH Alkalinity VFA และ VFA/ Alkalinity

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของมูลไก่กับสารหมักร่วมต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์

ชุดการทดลอง	สัดส่วนชีวมวล (%)		ชีวมวล (%VS)		กล้าเชื้อ (%VS)	รวม (%VS)
	มูลไก่	หญ้าเนเปียร์	มูลไก่ (%VS)	หญ้าเนเปียร์ (%VS)		
1	90	10	4.95	0.55	5.50	11.00
2	80	20	4.40	1.10	5.50	11.00
3	70	30	3.85	1.65	5.50	11.00
4	60	40	3.30	2.20	5.50	11.00
5	50	50	2.75	2.75	5.50	11.00
ชุดการทดลอง	สัดส่วนชีวมวล (%)		ชีวมวล (%VS)		กล้าเชื้อ (%VS)	รวม (%VS)
	มูลไก่	เศษอาหาร	มูลไก่ (%VS)	เศษอาหาร (%VS)		
1	90	10	4.95	0.55	5.50	11.00
2	80	20	4.40	1.10	5.50	11.00
3	70	30	3.85	1.65	5.50	11.00
4	60	40	3.30	2.20	5.50	11.00
5	50	50	2.75	2.75	5.50	11.00

ขั้นตอนที่ 6 **วิเคราะห์ทางสถิติ**

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยในแต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้วิธี T-Test (Independent Sample T-Test) กำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร

วัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด มีองค์ประกอบดังตารางที่ 3 ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นของแข็งระเหยได้ อยู่ในช่วงร้อยละ 14-57 ของน้ำหนักเปียก และมีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 25-84 โดยมูลไก่และหญ้าเนเปียร์มีปริมาณกรดไขมันระเหยได้สูงสุด อยู่ที่ 0.40 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ เศษอาหารมีค่าเท่ากับ 0.2 กรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนของมูลไก่มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.32 รองลงมาคือ เศษอาหารและหญ้าเนเปียร์มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.99 และ 1.05 ตามลำดับ ค่าพีเอช สูงสุดในกล้าเชื้อจุลินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 8.0 รองลงมาคือ มูลไก่ มีค่าเท่ากับ 7.8 เศษอาหารและหญ้าเนเปียร์มีค่าพีเอชต่ำเท่ากับ 5.30 และ 4.80 ตามลำดับ กล้าเชื้อจุลินทรีย์มีความชื้นสูงสุดคือ 95.23 รองลงคือ เศษอาหารและหญ้าเนเปียร์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกันอยู่ที่ 84.81 และ 83.52 โดยมูลไก่มีความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 15.60 แต่มูลไก่เป็นวัตถุดิบที่มีเถ้าสูงสุด เท่ากับ 26.90 รองลงมาคือ กล้าเชื้อจุลินทรีย์ หญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 4.20, 2.77 และ 0.95 ตามลำดับ มีปริมาณค่าความเป็นด่าง สูงสุดในกล้าเชื้อจุลินทรีย์อยู่ที่ร้อยละ 4.48 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ มูลไก่ เศษอาหาร มีอยู่ร้อยละ 0.18, 0.15 กรัมต่อกิโลกรัมและหญ้าเนเปียร์มีค่าความเป็นด่างต่ำอยู่ที่ร้อยละ 0.09 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไขมัน สูงสุดในหญ้าเนเปียร์อยู่ที่ 5.87 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ มูลไก่ กล้าเชื้อจุลินทรีย์ และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 3.59, 1.62 และ 1.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีปริมาณโปรตีนสูงสุดในมูลไก่ เท่ากับ 11.85 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ หญ้าเนเปียร์ กล้าเชื้อจุลินทรีย์ และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 10.10, 7.21 และ 1.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า หญ้าเนเปียร์มีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลส มีค่าเท่ากับร้อยละ 44.45 มีปริมาณเฮมิเซลลูโลส มีค่าเท่ากับร้อยละ 44.58 และปริมาณลิกนินเท่ากับร้อยละ 20.76 และหญ้าเนเปียร์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงสุดอยู่ที่ 46.71 รองลง คือ เศษอาหาร และมูลไก่ มีค่าเท่ากับ 17.13 และ 10.83

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์ เศษอาหารและกล้าเชื้อผลิตมีเทน

พารามิเตอร์	**ค่าการวิเคราะห์**			
	มูลไก่ [1]	**หญ้าเนเปียร์** [1]	**เศษอาหาร**[1]	**กล้าเชื้อผลิตมีเทน**
ของแข็งทั้งหมด (%w/w)	84.50	27.23	25.18	9.00
ของแข็งระเหยง่าย (%w/w)	57.60	14.51	14.22	4.80
VS/TS (%)	68.17	84.21	93.68	53.33
กรดไขมันระเหยง่าย (g kg^{-1})	0.40	0.40	0.2	ND[2]
pH	7.80	4.80	5.30	8.00
ความชื้น(%w/w)	15.60	83.52	84.81	95.23
เถ้า	26.90	2.77	0.95	4.20
ไขมัน (mg/L)	3.59	1.57	5.87	1.62
โปรตีน (mg/L)	26.85	6.10	17.87	7.21
ความเป็นด่าง (g$CaCO_3$$kg^{-1}$)	0.18	0.09	0.15	4.48
เซลลูโลส (%)	ND	44.45	ND	ND
เฮมิเซลูโลส(%)	ND	32.02	ND	ND

ตารางที่ 4 (ต่อ) องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์ เศษอาหารและกล้าเชื้อผลิตมีเทน

พารามิเตอร์	ค่าการวิเคราะห์			
	มูลไก่ [1]	หญ้าเนเปียร์ [1]	เศษอาหาร[1]	กล้าเชื้อผลิตมีเทน
ลิกนิน(%)	ND	20.76	ND	ND
คาร์บอน (%)	46.82	49.10	51.23	ND
ไฮโดรเจน (%)	6.07	6.00	7.02	ND
ออกซิเจน (%)	42.79	43.04	37.76	ND
ไนโตรเจน (%)	4.32	1.05	2.99	ND
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	10.83	46.71	17.13	ND

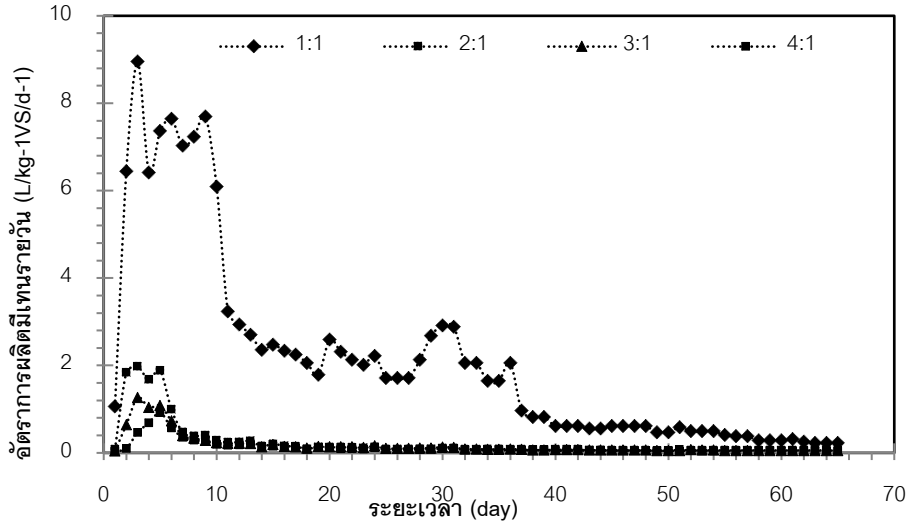
[1] องค์ประกอบของวัตถุดิบคำนวณจากน้ำหนักเปียก

[2]ND = Not Determined.

2. ศึกษาผลของอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็ง

2.1 ผลของอัตราส่วนของมูลไก่ต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็ง

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากมูลไก่โดยการแปรผันอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อโดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศในสภาวะของแข็ง ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ในระหว่างกระบวนการหมักวันที่ 1-9 ผลได้มีเทนรายวันจากการหมักมูลไก่ที่อัตราส่วน 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 ตามลำดับ และหลังจากวันที่ 20-30 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนรายวันเริ่มลดลง ในขณะเดียวกันหลังจากวันที่ 31 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนเริ่มมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกครั้ง จากชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1 :1 โดยมีผลได้มีเทนรายวัน เท่ากับ 8.95ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ต่อวัน รองลงมาเป็นอัตราส่วน 2 : 1 3 : 1 และ 4 : 1 ให้ผลได้มีเทนรายวัน เท่ากับ 1.97 1.27 และ 0.92 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อวันตามลำดับ



ภาพที่ 1 *อัตราการผลิตมีเทนรายวันจากอัตราส่วนของมูลไก่ต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ สภาวะไร้อากาศสถานะของแข็งที่อัตราส่วนต่างๆ*

2.2 ผลของอัตราส่วนของหญ้าเนเปียร์ต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็ง

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากหญ้าเนเปียร์โดยการแปรผันอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศในสภาวะของแข็ง ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ในระหว่างกระบวนการหมักวันที่ 1-5 ผลได้มีเทนรายวันจากการหมักหญ้าเนเปียร์ที่อัตราส่วน 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 ตามลำดับ และหลังจากวันที่ 5-8 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนรายวันเริ่มลดลง ในขณะเดียวกันหลังจากวันที่ 8 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนเริ่มมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 17 จากชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1 :1 โดยมีผลได้มีเทนรายวัน เท่ากับ 6.57 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อวัน รองลงมาเป็นอัตราส่วน 2 : 1 3 : 1 และ 4 : 1 ให้ผลได้มีเทนรายวัน เท่ากับ 0.53 0.01 และ 0.007 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อวัน ตามลำดับ

2.3 ผลของอัตราส่วนของเศษอาหารต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็ง

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากเศษอาหารโดยการแปรผันอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ พบว่า ในระหว่างกระบวนการหมักวันที่ 1-2 ผลได้มีเทนรายวันจากการหมัก เศษอาหารที่อัตราส่วน 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 ตามลำดับ และหลังจากวันที่ 3 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนรายวันเริ่มลดลงและไม่มีการเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากการหมักเศษอาหารจะเกิดการย่อยอย่างรวดเร็ว ทำให้พีเอชลดลง ส่งผลให้การผลิตก๊าซลดลงมากในทุกอัตราส่วน ระบบเกิดการล้มเหลวเพราะในระบบมีปริมาณสารอินทรีย์ในระบบสูงเกินไปเมื่อเกิดการย่อยทำให้เกิดการสะสมของกรดในปริมาณที่สูง โดยชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1 :1 โดยมีผลได้มีเทนรายวัน เท่ากับ 13.14 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อวัน รองลงมาเป็น อัตราส่วน 2 : 1 3 : 1 และ 4 : 1 ให้ผลได้มีเทนรายวัน เท่ากับ 4.06 2.12 และ 1.14 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ต่อวัน ตามลำดับ

3. ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนโดยการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยการแปรผันปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16, 20 และ 25 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 พบว่า มูลไก่มีผลได้มีเทนสูงสุดในชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 138.70 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมาคือ ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 2:1 3:1 และ 4:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 15.05, 11.13 และ 7.87 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ ชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่ร้อยละ 20 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 133.41 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย รองลงมาคือ ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 2:1 3:1 และ 4:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 12.86, 11.46 และ 7.40 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ และชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่ร้อยละ 25 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 104.69 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมาคือ ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 2:1 3:1 และ 4:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 11.94, 8.45 และ 1.25 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลผลิตมีเทน ชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1 : 1 มีผลผลิตมีเทนสูงสุด 62.47 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่ รองลงมาอัตราส่วน 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 มีผลผลิตมีเทน เท่ากับ 7.77, 5.75 และ 4.06 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่ ตามลำดับ ชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่ร้อยละ 20 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลผลิตมีเทนสูงสุด 58.84 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่

รองลงมาอัตราส่วน 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 มีผลผลิตมีเทนเท่ากับ 7.06, 5.52 และ 3.82 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่ ตามลำดับ และชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่ร้อยละ 25 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลผลิตมีเทนสูงสุด 54.02 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่ รองลงมาอัตราส่วน 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 มีผลผลิตมีเทนเท่ากับ 6.16, 4.36 และ 0.64 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของแข็งเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 16 ถึงร้อยละ 25 มีผลทำให้ผลได้มีเทนจากมูลไก่ลดลงอย่างไรก็ตามจากผลการทดลองเมื่อมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ผลได้มีเทนและผลผลิตมีเทนลดลง

4. ศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารในการหมักร่วม

4.1 ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ในการหมักร่วม

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากมูลไก่และหญ้าเนเปียร์โดยการแปรผันอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดมีปริมาณมีแก๊สชีวภาพสะสมสูงถึง 5,832 มิลลิลิตร รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณมีแก๊สชีวภาพสะสม 5,779 5,755 5,746 และ 5,709 มิลลิลิตร ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 4 มีปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดอยู่ที่ 312 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 1, 3, 2 และ 1 มีปริมาณผลได้ 293, 293, 284 และ 278 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทน โดยชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุดอยู่ที่ 145 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 5 มีปริมาณผลผลิตมีเทน 138, 135, 134 และ 118 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบ โดยจากการทดลองผลได้มีเทนและผลผลิตมีเทนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกอัตราส่วน ($p<0.05$) จากการทดลองพบว่าร้อยละความเข้มข้นของมีเทนอยู่ในช่วง 47-65 จากการทดลองได้ศึกษาการเสริมกันของการผลิตมีเทน พบว่า การหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ที่อัตราส่วน 1:1 มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีเทน เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ โดยอัตราส่วน 1:1 สามารถเพิ่มปริมาณผลได้มีเทน เท่ากับ 33 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ มีการย่อยสลายสูงถึงร้อยละ 48.4 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม เท่ากับ 10.07 และการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ปัจจัยที่มีผลอีกหนึ่งปัจจัย คือ แอมโมเนียมที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งพบว่า ปริมาณแอมโมเนียมหลังมีปริมาณใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.85-1.70 กรัมต่อลิตร โดยชุดการทดลองที่มีปริมาณน้อยที่สุด คือ ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนมูลไก่ 60 : หญ้าเนเปียร์ 40 และมีค่าพีเอชสุดท้ายอยู่ที่ 8.54

4.2 ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่กับเศษอาหารในการหมักร่วม

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากมูลไก่และเศษอาหารโดยการแปรผันอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงถึง 5,814 มิลลิลิตร รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม 5,138 4,113 2,109 และ 2,101 มิลลิลิตร ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดอยู่ที่ 218 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีปริมาณผลได้ 171 102 45 และ 44 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทน สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุดอยู่ที่ 108 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีปริมาณผลผลิตมีเทน 82.83 47.73 20.32 และ 19.42 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบ ซึ่งให้ผลได้มีเทนและผลผลิตมีเทนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกอัตราส่วน ($p<0.05$) จากการทดลองพบว่าปริมาณความเข้มข้นของมีเทนอยู่ในช่วง 40-61

จากการทดลองได้ศึกษาการเสริมกันของการผลิต พบว่า การหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับเศษอาหารที่อัตราส่วน 1:1 มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีเทน เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ โดยอัตราส่วน 1:1 สามารถเพิ่มปริมาณผลได้มีเทน เท่ากับ 43 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ มีการย่อยสลายสูงถึงร้อยละ 35.2 และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม เท่ากับ 9.17 และการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ปัจจัยที่มีผลอีกหนึ่งปัจจัย คือ แอมโมเนียม ที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งพบว่า ปริมาณแอมโมเนียมหลังมีปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.13-1.76 กรัมต่อลิตร โดยชุดการทดลองที่มีปริมาณน้อยที่สุด คือ ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนมูลไก่ 90 : เศษอาหาร 10 และมีค่าพีเอชสุดท้ายอยู่ที่ 8.47

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร

มูลไก่เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ และมีสารหมักร่วม 2 ชนิด คือ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยมูลไก่มีองค์ประกอบหลักเป็นของแข็งระเหยได้อยู่ในช่วงร้อยละ 57 ของน้ำหนักเปียก และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 84 ของน้ำหนักเปียกค่าพีเอช เท่ากับ 6.80 มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 4.32 มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 46.82 ทำให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเท่ากับ 10.83 สอดคล้องกับการรายงานของ Sun และคณะ (Sun *et al*., 2016) ซึ่งได้ศึกษาองค์ประกอบของ มูลไก่โดยพบว่ามูลไก่มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 4.83 มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 43.00 ทำให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเท่ากับ 8.90จะเห็นได้ว่ามูลไก่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม จึงมีการศึกษาสารหมักร่วมที่จะช่วยปรับสมดุลภายในระบบ จากการรายงานของ Li *et al*. (2013) พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 15-30 และค่าพีเอช สูงสุดในกล้าเชื้อจุลินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 8.0 รองลงมาคือ มูลไก่ มีค่าเท่ากับ 7.8 เศษอาหารและหญ้าเนเปียร์มีค่าพีเอชต่ำเท่ากับ 5.30 และ 4.80 ตามลำดับ กล้าเชื้อจุลินทรีย์มีความชื้นสูงสุดคือ 95.23 รองลงคือ เศษอาหารและหญ้าเนเปียร์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกันอยู่ที่ 84.81 และ 83.52 โดยมูลไก่มีความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 15.60 แต่มูลไก่เป็นวัตถุดิบที่มีเถ้าสูงสุด เท่ากับ 26.90 รองลงมาคือ กล้าเชื้อจุลินทรีย์ หญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 4.20, 2.77 และ 0.95 ตามลำดับ มีปริมาณค่าความเป็นด่าง สูงสุดในกล้าเชื้อจุลินทรีย์อยู่ที่ร้อยละ 4.48 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ มูลไก่ เศษอาหาร มีอยู่ร้อยละ 0.18, 0.15 กรัมต่อกิโลกรัมและหญ้าเนเปียร์มีค่าความเป็นด่างต่ำอยู่ที่ร้อยละ 0.09 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไขมัน สูงสุดในหญ้าเนเปียร์อยู่ที่ 5.87 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ มูลไก่ กล้าเชื้อจุลินทรีย์ และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 3.59, 1.62 และ 1.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีปริมาณโปรตีนสูงสุดในมูลไก่ เท่ากับ 11.85 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ หญ้าเนเปียร์ กล้าเชื้อจุลินทรีย์ และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 10.10, 7.21 และ 1.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. ศึกษาผลของอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็ง

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตมีเทนของมูลไก่ หญ้าเนเปียร์และเศษอาหารผ่านกระบวนการย่อยสลายไร้อากาศสถานะของแข็งที่อัตราส่วน 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 ตามลำดับ พบว่าจากการทดลอง อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อที่ 1:1 มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทน เมื่อเทียบกับอัตราส่วน 2:1, 3 : 1 และ 4 : 1 โดยให้ผลได้มีเทนใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ เท่ากับ 138.70 และ140.61 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ เนื่องจากที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อเท่ากับ 1:1 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหมาะสมที่สุดพบว่า เมื่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยอัตราส่วน C/N เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการควบคุมระบบบำบัดทางชีวภาพ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าวัตถุดิบที่มีปริมาณของไนโตรเจนต่ำ มีผลให้ปริมาณของอัตราส่วน C/N สูง โดยมีลักษณะดังนี้ คือ วัตถุดิบมีปริมาณของพีเอชต่ำ ความเป็นบัฟเฟอร์ที่ไม่ดี และมีการสะสมของกรดไขมันระเหยได้ระหว่างกระบวนการย่อยสลายสูง (Borja *et al*., 1996) แต่ให้ผลได้มีเทนสูงเมื่อเทียบกับเศษอาหาร 36.47 ลิตรต่อกิโลกรัมกรัมของแข็งระเหยได้ เนื่องจากเศษอาหารเป็นวัตถุดิบที่ย่อยสลายง่าย จึงส่งผลให้เกิดกรดไขมันระเหยได้ในระบบสูงดังที่กล่าวมาข้างต้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li และคณะ (Li *et al*., 2013) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมซังข้าวโพดกับมูลไก่ภายใต้สภาวะของเหลว สถานะกึ่งแข็ง และสถานะของแข็ง พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากซังข้าวโพดร่วมกับมูลไก่ที่สถานะของแข็ง อัตราส่วนที่ให้ผลมีเทนสูงสุด คือ อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 ซึ่งให้ผลได้มีเทน เท่ากับ 218.8 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ เมื่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตมีเทนลดลง เนื่องจากเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยได้ทำให้ระบบการหมักเกิดการล้มเหลวในกรณีที่อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อสูงจนเกินไปจะมีผลทำให้เกิดการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณสูงมาก ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Overload

3. ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนโดยการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

การทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็ง โดยการแปรผันปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16, 20 และ 25 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็ง เนื่องจากระบบที่รองรับสารอินทรีย์ในปริมาณมากมักเกิดปัญหาเกี่ยวกับความสมดุลของสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนและข้อจำกัดในกระบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งการผลิตก๊าซชีวภาพจำต้องอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด และกลุ่มผลิตมีเทนในการทำงานร่วมกัน (Yan *et al*., 2015) ในการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพไร้อากาศสถานะของแข็งจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่เหมาะสมกับวัตถุดิบ โดยจากการศึกษา พบว่า มูลไก่มีผลได้มีเทนสูงสุดในชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 138.70 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมาคือที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 2:1 3:1 และ 4:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 15.05, 11.13 และ 7.87 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลผลิตมีเทน ชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1 : 1 มีผลผลิตมีเทนสูงสุด 81.58 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่ รองลงมาอัตราส่วน 2 : 1,3 : 1 และ 4 : 1 มีผลผลิตมีเทนเท่ากับ 7.77, 5.75 และ 4.06 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมมูลไก่ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่ร้อยละ 20 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 133.41 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย และชุดการทดลองที่มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่ร้อยละ 25 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 มีผลได้มีเทนเท่ากับ 104.69 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของแข็งเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 16 ถึงร้อยละ 25 มีผลทำให้ผลได้มีเทนจากมูลไก่ลดลงอย่างไรก็ตามจากผลการทดลองเมื่อมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ผลได้มีเทนและผลผลิตมีเทนลดลง

4. ศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารในการหมักร่วม

การศึกษาส่วนผสมในการย่อยร่วมแบบไร้อากาศสถานะของแข็งต่อประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากวัตถุดิบหมักประกอบด้วย มูลไก่ และหญ้าเนเปียร์จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนระหว่างมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารโดยการแปรผันอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ คือ มูลไก่ 90, 80, 70, 60 และ 50 ต่อ หญ้าเนเปียร์10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ และมูลไก่ 90, 80, 70, 60 และ 50 ต่อ หญ้าเศษอาหาร 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ พบว่า การผลิตมีเทนระหว่างมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์ในระหว่างกระบวนการหมักวันที่ 1-3 ผลได้มีเทนรายวันเกิดขึ้นจากการหมักมูลไก่ร่วมกับหญ้าเนเปียร์และหลังจากวันที่ 3 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนรายวันเริ่มลดลง ในขณะเดียวกันหลังจากวันที่ 6 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนเริ่มมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกครั้งชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดมีปริมาณมีแก๊สชีวภาพสะสมสูงถึง 5,832 มิลลิลิตร รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณมีแก๊สชีวภาพสะสม 5,779 5,755 5,746 และ 5,709 มิลลิลิตร ตามลำดับและชุดการทดลองที่ 4 มีปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดอยู่ที่ 312 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 1, 3, 2 และ 1 มีปริมาณผลได้ 293, 293, 284 และ 278 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทน โดยชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุดอยู่ที่ 145 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 5 มีปริมาณผลผลิตมีเทน 138, 135, 134 และ 118 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบซึ่งสอดคล้องกับ วีระยุทธศิลป์ และคณะ (Weerayutsil *et al*., 2016) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ด้วยกระบวนการย่อยสลายไร้อากาศแบบหนึ่งขั้นตอน พบว่า อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C / N) ของมูลไก่เท่ากับ 8.22 และหญ้าเนเปียร์เท่ากับ 39.35 ทำการทดลอง 5 อัตราส่วน คือ อัตราส่วนมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์ 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, และ 0:1 โดยอัตราส่วนมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์ที่ 1:1 ให้ผลได้มีเทนสูงสุด ซึ่งมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูง 64.4% และยังคงมีเสถียรภาพในการย่อยสลายแบบไร้อากาศมากกว่าการย่อยสลายแบบไร้อากาศของมูลไก่หรือหญ้าเนเปียร์ เนื่องจากสัดส่วนของมูลไก่ หรือมูลไก่ไม่เหมาะสำหรับการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เพราะมีไนโตรเจนมากเกินไปสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน และการย่อยสลายหญ้าเนเปียร์แบบไร้อากาศมีเสถียรภาพต่ำเนื่องจากมีการสะสม VFA ในระบบสูงจากการย่อยสลายเซลลูโลสในหญ้า

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากมูลไก่และเศษอาหารโดยการแปรผันอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ พบว่า ในระหว่างกระบวนการหมักวันที่ 1-3 ผลได้มีเทนรายวันเกิดขึ้นจากการหมักมูลไก่ร่วมกับเศษอาหารและหลังจากวันที่ 3 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนรายวันเริ่มลดลง ในขณะเดียวกันหลังจากวันที่ 6 ของกระบวนการหมักผลได้มีเทนเริ่มมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยให้ผลจากชุดการทดลองที่ 5 โดยมีผลได้มีเทนรายวัน เท่ากับ 14.63 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงถึง 5,814 มิลลิลิตร รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม 5,138 4,113 2,109 และ 2,101 มิลลิลิตร ตามลำดับชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดอยู่ที่ 218 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณผลได้ 171, 102, 45 และ 44 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทนสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุดอยู่ที่ 108 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณผลผลิตมีเทน 82.83, 47.73, 20.32 และ 19.42 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Liu และคณะ (Liu *et al*., 2016) ศึกษาการปรับปรุงการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนที่มีสารอินทรีย์ต่ำด้วยการย่อยสลายไร้อากาศปริมาณของแข็งสูงกับเศษอาหาร พบว่า การย่อยสลายแบบไร้อากาศของตะกอนเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการผลิต

มีเทนน้อยและไม่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพเหล่านั้นได้ แต่เมื่อเติมเศษอาหารเข้าไปในระบบ ส่งผลให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นถึง 50% และยังพบว่าเศษอาหารเป็นสารหมักร่วมที่ส่งเสริมต่อการผลิตมีเทน โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศโดยการหมักร่วมวัตถุดิบหลายชนิด สามารถเพื่อผลผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการหมักวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว เช่น การเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ช่วยในการผสมวัตถุดิบกับกล้าเชื้อให้เข้ากัน ทำให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับสารตั้งต้นได้สูงขึ้น (O-Thong *et al*., 2012) อีกทั้งจะช่วยปรับปรุงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ในระบบให้มีความสมดุล ทำให้ผลผลิตมีเทน (Methane Yield) สูงขึ้น เนื่องจากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของกระบวนเพราะว่าเป็นตัวกำหนดสุขภาพของจุลินทรีย์ภายในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว หากมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ อัตราการเกิดเซลล์จุลินทรีย์จะลดลง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้น้อยลง แต่ถ้าหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนมากเกินความจำเป็น จุลินทรีย์จะย่อยสลายไนโตรเจนส่วนเกินก่อให้เกิดแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของระบบได้ โดยพบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพการเกิดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ง่าย เนื่องจากในมูลไก่มีไนโตรเจนค่อนข้างสูง จึงง่ายต่อการสะสมในระบบ จากการศึกษาผลของแอมโมเนียหลังการหมักร่วมมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร พบว่ามีแอมโมเนียหลังหมักอยู่ที่ 0.85-1.70 กรัมต่อลิตร และ1.13-1.76 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Wu และคณะ (Wu *et al*., 2016) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายไร้อากาศจากมูลไก่ พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่สูง มีผลในการยับยั้งขั้นตอนเมทาโนเจเนซิสในการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนในปริมาณที่สูง โดยแอมโมเนียมเป็นรูปแบบหนึ่งของแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ โดยจัดให้เป็นสาเหตุหลักของการยับยั้งเนื่องจากเป็นสารอิสระซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งโมเลกุลของแอมโมเนียที่ไม่ชอบน้ำอาจแพร่กระจายไปเรื่อย ๆเซลล์ที่ก่อให้เกิดความไม่สมดุลของโปรตอนและ / หรือการขาดโพแทสเซียมในจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้งสี่ชนิดคือ Methanogensเป็นจุลินทรีย์ที่มีอดทนน้อยและมีแนวโน้มที่จะหยุดการเจริญเติบโตเนื่องจากการยับยั้งแอมโมเนียเมื่อความเข้มข้นแอมโมเนียมากสูง (เช่น NH_4^+>3,000 มก. / ลิตร)

จากการศึกษาการเสริมกันของการผลิตมีเทน พบว่า การหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีเทนโดยให้ผลได้มีเทนเพิ่มขึ้น 33 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ และการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับเศษอาหารสามารถเพิ่มปริมาณมีเทนได้ 43 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ เมื่อเทียบกับการหมักมูลไก่เพียงอย่างเดียว

สรุปผลการวิจัย

อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตมีเทนสภาวะไร้อากาศสถานะของแข็งจากมูลไก่ หญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร ให้ผลได้มีเทนสูงสุดที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าเท่ากับ 138.70, 140.61 และ 36.47 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนโดยการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยแปรผันปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16, 20 และ 25 พบว่า ปริมาณของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 16 ที่อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อ 1:1 ให้ผลได้มีเทนสูงสุด เท่ากับ 138.70 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ การศึกษาผลของการหมักร่วมและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่ หญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร พบว่า การหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ มีปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดอยู่ที่ 312 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ที่อัตราส่วนมูลไก่ 60 ต่อหญ้าเนเปียร์ 40 และการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับเศษอาหาร มีปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดอยู่ที่ 218 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ที่อัตราส่วนมูลไก่ 90 ต่อเศษอาหาร 10 การศึกษารูปแบบการผสมระหว่างซับสเตรทและกล้าเชื้อก่อนการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสถานะของแข็งระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร พบว่า การการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสถานะของแข็งระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ ลักษณะการผสมที่เหมาะสมกับวัตถุดิบ คือ การผสมแบบสมบูรณ์ ให้ผลได้มีเทนสูงถึง 339.56 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ และการการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสถานะของแข็งระหว่างมูลไก่กับเศษอาหารลักษณะการผสมที่เหมาะสมกับวัตถุดิบ คือ การผสมบางส่วนสองชั้น ซึ่งให้ผลได้มีเทน เท่ากับ 131.05 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ และทำการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ด้วยกระบวนการหมักร่วมหญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสถานะของแข็งในระบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่า ช่วง (B) วันที่ 36-70 สามารถให้ผลได้มีเทนสูงสุดทั้งการการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร มีค่าเท่ากับ 319 และ 223 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสถานะของแข็งระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ และเศษอาหาร พบแบคทีเรียกลุ่มเด่น คือ *Nitrosococcus sp., Aminobacterium sp., Clostridium sp., Serpentinicella sp. Tepidanaerobacter sp. Cellulophaga sp.*, และ *Acetobacteroides sp*. และพบประชากรอาร์เคียกลุ่มเด่นคือ *Methanoregula sp., Methanocaldococcus sp.,Methanosaeta sp. Methanolinea sp.,Methanosphaera sp*. และ *Methanosarcina sp*.

ผลวิจัยสรุปได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ หญ้าเนเปียร์ และเศษอาหารด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสถานะของแข็งมีอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกล้าเชื้อที่เหมาะสมเท่ากับ 1:1 ในขณะเดียวกันปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 16 ผลของการหมักร่วมและอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ คือ อัตราส่วนมูลไก่ 90 ต่อหญ้าเนเปียร์ 10 การหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับเศษอาหาร คือ อัตราส่วนมูลไก่ 90 ต่อเศษอาหาร 10 การผสมแบบสมบูรณ์ เป็นลักษณะการผสมที่เหมาะสมกับการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ และการผสมบางส่วนสองชั้น เป็นลักษณะการผสมที่เหมาะสมกับการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับเศษอาหาร การผลิตก๊าซชีวภาพในช่วง (B) วันที่ 36-70 ให้ผลได้มีเทนสูงสุดจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ด้วยกระบวนการหมักร่วมหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสถานะของแข็งในระบบกึ่งต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้การดูแลมาโดยตลอด จนวิจัยดำเนินการเสร็จสิ้น

เอกสารอ้างอิง

Borja, R., Scnchez, E. and Weiland, P. (1996). Influence of Ammonia Concentration on Thermophilic Anaerobic Digestion of Cattle Manure in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors. *Process Biochem*, *31*(5), 477–483.

Cui, Z., Shi, J. and Li, Y. (2011). Solid-State Anaerobic Digestion of Spent Wheat Straw from Horse Stall. *Bioresource Technology*, *102*, 9432-9437.

Estevez, M.M., Linjordet, R. and Morken, J. (2012). Effects of Steam Explosion and Co - digestion in the Methane Production from Salix by Mesophilic Batch Assays. *Bioresource Technology, 104*, 749-756.

Li, Y., Zhang, R., Chen, C., Liu, G., He, Y. and Liu, X. (2013). Biogas Production from Co-digestion of Corn Stover and Chicken Manure Under Anaerobic Wet, Hemi-solid, and Solid state. *Bioresource Technology*, (149) 406–412.

Liew, L.N., Shi, J. and Li, Y. (2012). Methane Production from Solid-stage Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass. *Biomass and Bioenergy, 46*, 125-132.

Liu, C., Li, H., Zhang, Y. and Liu, C. (2016). Improve Biogas Production from Low-organic-Content Sludge Through High-solid Anaerobic Co - digestion with Food Waste. *Bioresource Technology*, *219*, 252-260.

Ministry of Commerce. (2016). *Broilers*. Bangkok: Department of Internal Trade of Thailand, Ministry of Commerce. (in Thai)

O-Thong, S., Boe, K. and Angelidaki, I. (2012). Thermophilic Anaerobic Co-digestion of Oil Palm Empty Fruit Bunches with Palm Oil Mill Effluent for Efficient Biogas Production. *Applied Energy*, *93*, 648-654.

Sun, C., Cao, W., Banks, C. J., Heaven, S. and Lui, R. (2016). Biogas Production from Undiluted Chicken Manure and Maize Silage: A study of Ammonia Inhibition in High Solids Anaerobic Digestion. *Bioresource Technology*, *218*, 1215-1223.

Weerayutsil, P., Khoyun, U. and Khuanmar, K. (2016). Optimum Ratio of Chicken Manure and Napier Grass in Single Stage Anaerobic Co-digestion. *Energy Procedia*, *100*, 22-25.

Wu, S., Ni, P., Li, J., Sun, H., Wang, Y., Luo, H., Dach, J and Dong, D. (2016). Integrated Approach to Sustain Biogas Production in Anaerobic Digestion of Chicken Manure Under Recycled Utilization of Liquid Digestate : Dynamics of Ammonium Accumulation and Mitigation Control. *Bioresource Technology, 205*, 75–81.

Xu, F. and Li, Y. (2012). Solid-state Co-digestion of Expired Dog Food and Corn Stover for Methane Production. *Bioresource Technology*, *118*, 219–226.

Xu, F., Li, Y. and Wang ZW. (2015). Mathematical Modeling of Solid-state Anaerobic Digestion. *Progress in Energy and Combustion Science*, *51*, 49–66.

Yaembaen, S. (2012). *Biogas Production from Layer Chicken Manure with Chiang Mai University Chanel Digester*. Chiang Mai: Master of Degree Chiang Mai University.

Yan, Z., Song, Z., Li, D., Yuan, Y., Liu, X. and Zheng, T. (2015). The Effects of Initial Substrate Concentration, C/N Ratio, and Temperature on Solid-state Anaerobic Digestion from Composting Rice Straw. *Bioresource Technology*, *177*, 266-273.

Yen, H.W. and Chiu, C.H. (2007).The Influences of Aerobic-dark and Anaerobic-light Cultivation on CoQ (10) Production by RhodobacterSphaeroides in the Submerged Fermenter. *Enzyme and Microbial Technology*, *41*(5), 600-604.

Yenigun, O., Demirel, B. (2013). Ammonia Inhibition in Anaerobic Digestion: a Review Process. *Biochem*, *48*, 901-911.

Zhu, J., Zheng, Y., Xu, F. and Li, Y. (2014). Solid-state Anaerobic Co-digestion of Hay and Soybean Processing Waste for Biogas Production. *Bioresource Technology*, *154*, 240-247.

Zhu, J.Y., Yang, L.C., and Li, Y.B. (2015). Comparison of Premixing Methods for Solid-state Anaerobic Digestion of Corn Stover. *Bioresource Technology*, *175*, 430–435.