

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ก
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
กิตติกรรมประกาศ	3
บทนำ	4
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
การตรวจเอกสาร	8
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	25
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	33
สรุปผลการวิจัย	68
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก	74

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ศักยภาพการผลิตและการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทนจากฟาร์มปศุสัตว์	4
ตารางที่ 2 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ	4
ตารางที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	12
ตารางที่ 4 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 0 °C	13
ตารางที่ 5 วิเคราะห์พารามิเตอร์ของส่วนผสมในถังหมักก๊าซชีวภาพ	32
ตารางที่ 6 ผลการทดลองหมักโดยใช้มูลไก่เป็นส่วนวัตถุดิบตั้งต้น	36
ตารางที่ 7 ผลของมูลไก่และมูลโคต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์	38
ตารางที่ 8 สรุปสาระสำคัญจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัย	41
ตารางที่ 9 การวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของมูลไก่	49
ตารางที่ 10 องค์ประกอบและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลไก่	50
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ค่า BMP ของการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	62

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ	10
ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยการทดแทนพลังงานของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร	12
ภาพที่ 3 การกำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอนด้วยสารเคมี	19
ภาพที่ 4 การกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการ Ammonia stripping	20
ภาพที่ 5 แบบจำลองการกำจัดแอมโมเนียด้วยตัวดูดซับ	21
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ	27
ภาพที่ 7 ชุดการทดลองผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจากมูลไก่	28
ภาพที่ 8 ชุดทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ BMP	30
ภาพที่ 9 ขั้นตอนดำเนินการหมักก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือน	31
ภาพที่ 10 ระบบหมักก๊าซชีวภาพ	31
ภาพที่ 11 ระบบการหมักก๊าซและกระบวนการกำจัดไนโตรเจน	35
ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียใน ไตรเจน	37
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอมโมเนียต่อการผลิตก๊าซ	37
ภาพที่ 14 ระดับแอมโมเนียที่ลดลงของแต่ละกลุ่ม	40
ภาพที่ 15 แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ	52
ภาพที่ 16 แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันตลอดระยะเวลาการหมัก 15 วันที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ	53
ภาพที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบ Total solids ก่อนและหลังการหมัก	54
ภาพที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบ Volatile Solids ก่อนและหลังการหมัก	54
ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบ Chemical Oxygen Demand ก่อนและหลังการหมัก	55
ภาพที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบ Volatile fatty acid ก่อนและหลังการหมัก	56
ภาพที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบ Alkalinity ก่อนและหลังการหมัก	56
ภาพที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบ Total Kjehldahl nitrogen ก่อนและหลังการหมัก	57
ภาพที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบ %การกำจัด TKN ที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ	57
ภาพที่ 24 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ระยะ เวลาการกวนและการตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ ต่างๆ	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบ Total solids ก่อนและหลังการหมักและ % การกำจัด Total solid ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆและเวลาการตกตะกอน 60 และ 90 นาที	59
ภาพที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบ Volatile Solids ก่อนและหลังการหมักและ % การกำจัด Volatile Solids ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆและเวลาการตกตะกอน 60 และ 90 นาที	60
ภาพที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบ Chemical Oxygen Demand ก่อนและหลังการหมักและ %การกำจัด Chemical Oxygen Demand ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆ และเวลาการตกตะกอน 60 นาที และ 90 นาที	61
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงของค่า Total solids และ Volatile Solids ตลอดระยะเวลาการหมัก	63
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงของค่า Volatile fatty acid และ Alkalinity ตลอดระยะเวลาการหมัก	64
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงของค่า Chemical Oxygen Demand ตลอดระยะเวลาการหมัก	65
ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ตลอดระยะเวลาการหมัก	66
ภาพที่ 32 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ตลอดระยะเวลาการหมัก	67

ศึกษาการลดปริมาณไนโตรเจนในมูลไก่ด้วยวิธีทางเคมีเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

Reduction of Nitrogen in Chicken Manure using Chemical to Increase the Potential for Biogas Production

กมลดารา เจริญสุวรรณ ณัฐวุฒิ ดุษฎี กิตติกร สาสุจิตต์ และจุฑาภรณ์ ชนะถาวร

Kamoldara Reansiwan Natthawud Dussadee Kittikorn Sasujit and Jutaporn Chanathaworn

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในมูลไก่ด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โดยทำทดลองการหมักในระดับห้องปฏิบัติการในสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศปริมาตรการหมัก 15 l อุณหภูมิในการหมัก 34 ± 2 °C เวลาการหมัก 15 วัน พบว่า การใช้สารละลาย $MgSO_4$ ที่ความเข้มข้น 100 mg/l เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดคือ 15,320 ml และมีประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD ที่ 37.7%, 29.8% และ 30.4% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับถังควบคุม และทำการศึกษาเวลาการกวนและการตกตะกอนมูลไก่ที่สภาวะต่างๆ ด้วย $MgSO_4$ ที่ความเข้มข้น 100 mg/l พบว่า ที่เวลาการกวน 5 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด อยู่ที่ 44,500 ml และสามารถกำจัด TS, VS และ COD ได้ดีกว่าการทดลองอื่นๆ โดยคิดเป็น 67.9%, 66.6% และ 62.5% ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนในถังหมักขนาด 200 l พบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้ 1,488 l ที่ระยะเวลาการหมัก 34 วัน คิดเป็นก๊าซชีวภาพเฉลี่ยวันละ 44 l โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนสูงสุด 63.47% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 27.10% คิดเป็นศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ $0.083 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ และศักยภาพในการผลิตมีเทน $0.053 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ หรือ 23.77%

คำหลัก: ก๊าซชีวภาพ แมกนีเซียมซัลเฟต มูลไก่

Abstract

This study was conducted to show the effect of nitrogen removal by chemical process to improve biogas production. Three types of magnesium chemical enclosed magnesium sulphate (MgSO_4), magnesium chloride (MgCl_2) and magnesium oxide (MgO) was studied with 100 mg/l, 150 mg/l and 200 mg/l magnesium and the control experiment (without magnesium). During this study, anaerobic digestion was dispensed in batch system 19 l reactor with operating volume 15 l experiment in mesophilic condition (34 ± 2 °C) for 15 days. It absolutely was found that maximum cumulative biogas production was 15,320 mL by exploitation of 100 mg/l MgSO_4 loading with the maximum chemical oxygen demand (COD) removal and total solids (TS) removal of 30.4% and 37.7%, severally, whereas control experiment was 7,150 ml. The factors affecting of the stirring times and precipitation times of magnesium sulphate (MgSO_4) on biogas production efficiency by using the MgSO_4 concentration of 100 mg/l was studied. The ratio of chicken manure to water was 1:3. The duration of the stirring times were 1, 3 and 5 min and the precipitation times were ranged 60 and 90 min. The result showed that the condition for highest cumulative biogas production of 44,500 ml and the highest of TS, VS and COD removal of 67.9%, 66.6% and 62.5%, respectively was found to be the stirring time of 5 min with precipitation times of 90 min. The upscale -capacity fermentation tank (200 L) study was used to conduct potential methane production experiments. It was found that the cumulative biogas production of 44,500 ml at a 34 day fermentation time equivalent to an average of 44 l/day. The composition of methane and carbon dioxide were 63.47% and 27.10%, respectively. Moreover, potential of biogas production was $0.083 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ and potential of methane production was $0.053 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ or 23.77%.

Keywords: Biogas, Magnesium sulfate, Chicken manure

กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษาการลดปริมาณแอมโมเนียในมูลไก่ด้วยวิธีทางเคมีเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2560 ทั้งนี้ทางคณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายสหัชฌา ใจสิน นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน ที่มาเป็นผู้ช่วยวิจัย และบุคลากร ที่ไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้ทั้งหมด จนทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมไปถึงหน่วยงาน ที่ให้ความช่วยเหลือในการนำเสนอผลงานวิจัยเพื่อให้คณะผู้วิจัยได้เผยแพร่ผลงาน ได้แก่ การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ เรื่อง 13th International Conference On Ecomaterials 2017 และ การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology.

คณะผู้วิจัย

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียหรือของเสียโดยวิธีไร้อากาศ หรือที่เรียกว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มาใช้ในการพัฒนาพลังงานจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลาย และสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยเฉพาะการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์ ในประเทศไทยมีศักยภาพ 879.61 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ศักยภาพการผลิตและการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทนจากฟาร์มปศุสัตว์

ประเภทฟาร์ม	ศักยภาพก๊าซชีวภาพและการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทน				
	จำนวนโรงงาน	(ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี)	พลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า (MW)	พลังงานเทียบเท่าความร้อน (ktoe)	พลังงานเทียบเท่าก๊าซชีวภาพอัด (ton)
ฟาร์มไก่	6,281	336.81	40.40	168.41	153,059.34
ฟาร์มโค/กระบือ	5,617	245.50	29.46	122.75	111,592.03
ฟาร์มเป็ด	168	8.40	1.00	4.20	3,822.21
ฟาร์มแพะ/แกะ	48	0.10	0.01	0.05	45.94
ฟาร์มสุกร	2,541	288.78	34.65	144.39	131,264.40
รวม	14,653	879.61	105.52	439.80	399,783.92

ที่มา : http://biogas.dede.go.th/biogas/web_biogas

ของเสียจากฟาร์มไก่ ในแง่ของพลังงานชีวภาพมีศักยภาพที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยทั่วไปแล้ว ก๊าซชีวภาพที่ได้ประกอบด้วย มีเทนร้อยละ 50-70 คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30-40 และที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ

ตารางที่ 2 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดของมูลสัตว์	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม. ต่อจำนวน กก.ของมูลสัตว์)
วัว ควาย	0.023-0.040
หมู	0.040-0.059
ไก่	0.065-0.116

ที่มา: Updated Guidebook on Biogas Development, 1984

แต่มูลไก่มีปริมาณสารอาหารมากโดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียในมูลไก่ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างก๊าซมีเทน เนื่องจากในกระบวนการหมักในสภาวะไม่ใช้อากาศ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน C/N จะต้องมีความเหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากหากค่า C/N สูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน เพื่อให้ได้โปรตีนที่ต้องการ ซึ่งมันจะไม่ทำปฏิกิริยาต่อกับคาร์บอนที่เหลือในวัตถุดิบ ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำ ในทางกลับกันหากค่า C/N ต่ำเกินไป ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมา และสะสมในรูปแอมโมเนีย (NH_3) ทำให้ค่าความเป็นกรดค้างเพิ่มสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดค้างที่สูงกว่า 8.5 จะมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน อัตราการผลิตก๊าซจึงต่ำเช่นกัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการลดแอมโมเนียในมูลไก่ด้วยวิธีการเคมีเพื่อเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการลดแอมโมเนียในมูลไก่ด้วยวิธีทางเคมี
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียจากมูลไก่
3. เพื่อเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ด้านพลังงาน

- สนับสนุนนโยบายรัฐบาลในการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทน
- เพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานและลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ
- เป็นแนวทางการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่

2. ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม

- เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ลดปัญหาการเกิดกลิ่นเหม็นในฟาร์ม และป้องกันอันตรายต่อสุขภาพที่เกิดจากก๊าซแอมโมเนีย

3.ด้านเศรษฐกิจ

- เป็นแนวทางในการพัฒนาและเพิ่มศักยภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถช่วยลดต้นทุนของเกษตรกร
- เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกระจายรายได้สู่เกษตรกรและท้องถิ่น เป็นการพึ่งพาตนเองตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง ทำให้เศรษฐกิจภายในประเทศมีทิศทางดีขึ้น

4. ด้านวิชาการ

- ทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน

การตรวจเอกสาร

ในโครงการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการลดปริมาณแอมโมเนียในมูลไก่ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากก๊าซแอมโมเนียเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งวิธีการลดปริมาณแอมโมเนียมีหลายวิธีการ ได้แก่ ทางกายภาพ เคมี และทางชีวภาพ แต่วิธีทางชีวภาพมีราคาสูง คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีทางเคมี ศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียจากมูลไก่ ได้แก่ ระดับพีเอช ระยะเวลาในการกวน และปริมาณสารเคมีที่ใช้เลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมมาทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหาค่า BMP (Biochemical Methane Potential) และทดสอบการผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักในสภาวะไร้อากาศ โดยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดข้อมูลดังนี้

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

1. ความหมายของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการหมักย่อยของเสียโดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) โดยมีจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis Bacteria) ทำการหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas) ของเสียเหล่านั้น ได้แก่ ของเสียจาก สุกร โค ไก่ หรือ ของเสียจากภาคอุตสาหกรรมเกษตรและขยะ เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำมันปาล์ม และ โรงงานเอทานอล เป็นต้นซึ่งในประเทศไทยนับว่ามีของเสียเหล่านี้อยู่มากปัจจุบันพบว่าการปล่อยทิ้งของเสียดังกล่าวบางส่วนลงสู่แม่น้ำ ถ้าคลองสาธารณะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ก่อนหน้านี้ได้มีการบำบัดโดยใช้วิธีการเติมอากาศซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการบำบัดดังนั้นระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงมีประโยชน์ในการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมลดการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ สาธารณะ ลดกลิ่นเหม็น ได้ปุ๋ยชีวภาพไปใช้ในการเกษตรได้พลังงานทดแทน และยังช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย

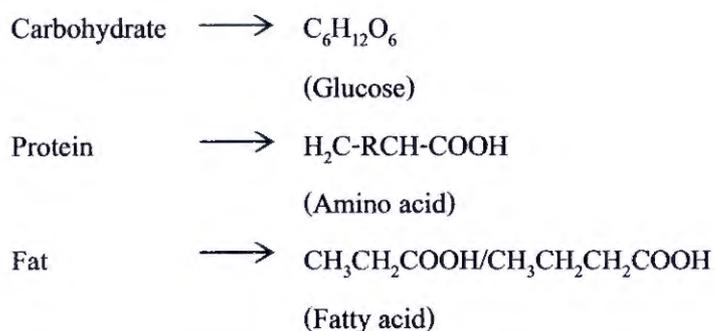
2. กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ มีกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 1 ดังนี้

2.1. กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

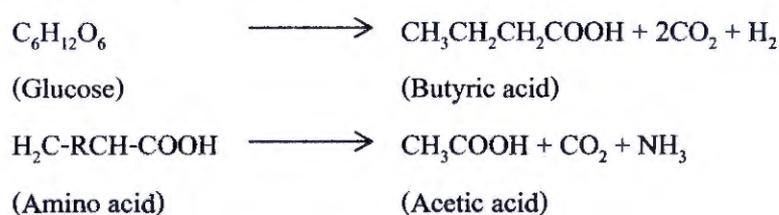
เป็นกระบวนการแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็ก ซึ่งผลจากการย่อยสลายจะได้

สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องของปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรไลซิสจะขึ้นอยู่กับค่า pH ระยะเวลาที่เก็บ อุณหภูมิ รวมถึงองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบ โดยมีแบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก และแบคทีเรียกลุ่มเฟอร์เมนเตทิฟ เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซิส ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไฮโดรไลซิสแสดงดังนี้



2.2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

กระบวนการอะซิโดเจเนซิสเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กหรือโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิส โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดจะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเดี่ยวเป็นแหล่งอาหารผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเดี่ยวของแบคทีเรียจะได้กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม (ชิตชนก, 2011) เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดฟอร์มิก (Formic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) กรดไอโซบิวทีริก (Isobutyric acid) กรดวาเลอริก (Valeric acid) กรดไอโซวาเลอริก (Isovaleric acid) เป็นต้น การย่อยสลายของกระบวนการอะซิโดเจเนซิสแสดงดังนี้



2.3 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis)

เป็นกระบวนการผลิตกรดเช่นเดียวกับอะซิโดเจเนซิส แต่อะซิโดเจเนซิสเป็นกระบวนการที่นำกรดอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเดี่ยวที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม มาเปลี่ยนเป็นอะซิเตทฟอร์มเมท ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน โดยมีแบคทีเรียกลุ่มอะซิโดเจเนติกเป็นตัวย่อยสลาย กระบวนการอะซิโดเจเนซิสเป็นกระบวนการที่สำคัญในการลดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนถูกยับยั้งหรืออาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ โดยการย่อยสลายของกระบวนการอะซิโดเจเนซิสแสดงดังนี้



(Propionic acid)

(Acetic acid)



(Butyric acid)

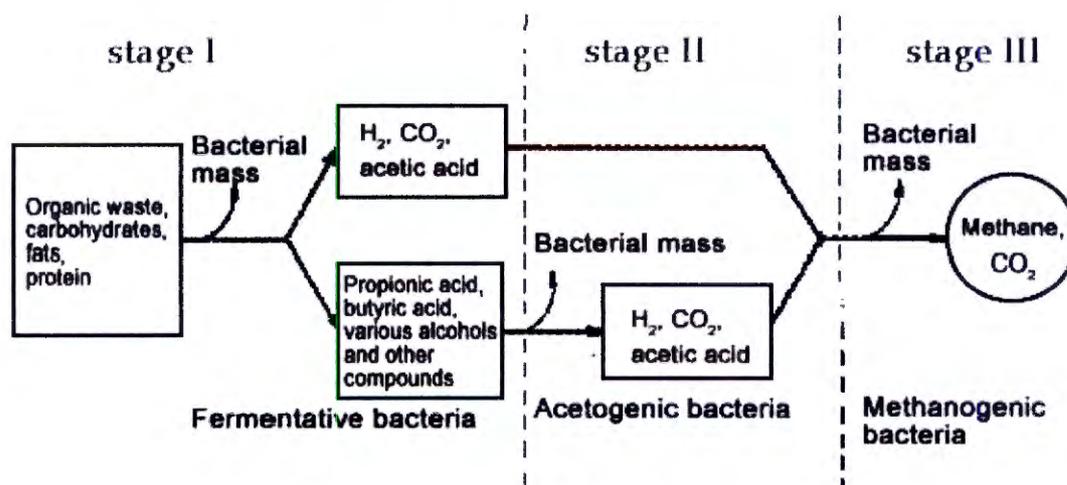
(Acetic acid)

2.4 กระบวนการมีเทนโอเจเนซิส (Methanogenesis)

มีเทนโอเจเนซิสเป็นกระบวนการสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยมีแบคทีเรียที่เรียกว่ากลุ่มที่สร้างมีเทนย่อยสลายกรดอินทรีย์จากกระบวนการอะซิโตเจเนซิส เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ก๊าซไฮโดรเจน ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ เล็กน้อย ซึ่งการย่อยสลายของกระบวนการมีเทนโอเจเนซิสแสดงดังนี้



(Acetic acid)



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ

3. แบคทีเรียในกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ต้องอาศัยแบคทีเรียในการย่อยสลายโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งแบคทีเรียจำแนกดังกลุ่มต่อไปนี้

3.1 Hydrolytic Bacteria

เป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย (ปวันรัตน์, 2557) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เซลลูโลส ลิกนิน และไขมัน ให้กลายเป็น

สารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน การย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์(Extracellular Enzyme) เช่น ไลเปสโปรตีเอส และเซลลูเลส การย่อยสลายขั้นตอนนี้เป็นไปได้ช้าและมีข้อจำกัดในการย่อยสลายของวัตถุดิบบางประเภท เช่น วัตถุดิบที่มีเซลลูโลส หรือที่มีลิกนินเป็นองค์ประกอบ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่า pH กลาง ๆ และสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ในระบบ ซึ่งสามารถทนได้ถึง 4.5

3.2 Acidogenic Bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการย่อยสลายกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ เช่น อะซิเตท และยังเกิดก๊าซบางชนิด เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดโดยส่วนใหญ่แล้วจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะความเป็นกรด สามารถทนต่อความเป็นกรดได้ดี

3.3 Acetogenic Bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้เป็นอะซิเตท (ปวันรัตน์,2557) แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการสภาวะที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ สำหรับการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่าย แต่ที่ภายใต้สภาวะที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจนสูง ทำให้การเกิดอะซิเตทลดลงและสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรพิโอนิกบิวทิริก และเอทานอลมากกว่ามีเทน ทำให้ระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์มากขึ้น เมื่อระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์มากจะส่งผลต่อค่า pH ของระบบ ซึ่งทำให้ค่า pH ของระบบลดลง จึงทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนจะดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในระบบไปใช้ ทำให้ระบบมีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ ซึ่งทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียที่สร้างกรดกลุ่มนี้

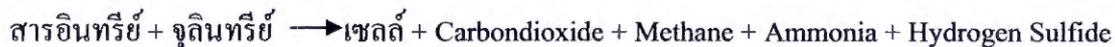
3.4. Methanogenic Bacteria

เป็นแบคทีเรียที่สำคัญในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะสร้างก๊าซมีเทนจากผลที่ได้จากกระบวนการอะซิโคเจนซิสและกระบวนการอะซิโคเจนซิส โดยการเปลี่ยนอะซิเตทให้กลายเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มนี้อ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างมากเช่น ค่า pH อุณหภูมิ และที่สำคัญคืออากาศ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับ pH เป็นกลางหรือช่วง 6.5-7.5

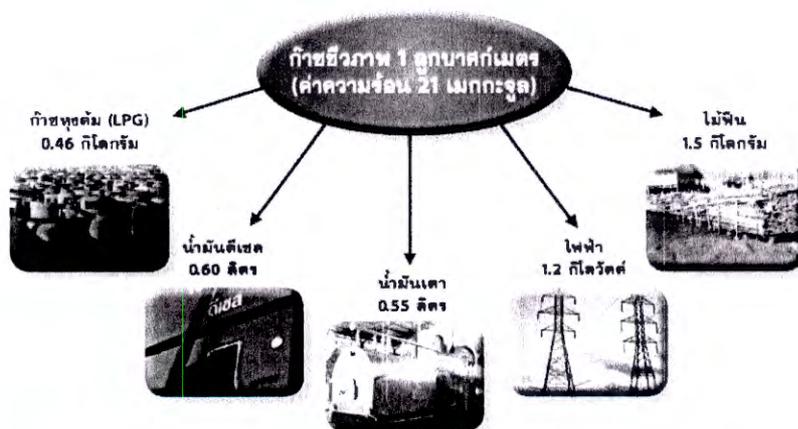
4. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) 50-70% มีคุณสมบัติจุดไฟติดได้ดี สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50% เป็นส่วนประกอบรอง มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่ติดไฟ ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำเป็นต้น โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ประกอบด้วยสัดส่วนของก๊าซมีเทน 60% จะมีค่า

ความร้อนประมาณ 21 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร หรือน้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร หรือน้ำมันเตา 0.55 ลิตร หรือพลังงานไฟฟ้า 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือไม้ฟืน 1.5 กิโลกรัม ดังภาพที่ 2



ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศประมาณครึ่งหนึ่ง (น้ำหนักโมเลกุล 16.04) ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมอากาศเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเล็กน้อย เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ พอเผาไหม้แล้วระเหยไป องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพแสดงได้ดังตารางที่ 3 และ 4



ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยการทดแทนพลังงานของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร
ที่มา :กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตรแห้ง
มีเทน	60-65
คาร์บอนไดออกไซด์	30-38
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	2-5
ซัลไฟด์, ไคซัลไฟด์, เมอร์แคปเทน และอื่นๆ	0-1.0
แอมโมเนีย	0.1-1.0
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนอกไซด์	0-0.2
ก๊าซอื่นๆ	0.01-0.6

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตรแห้ง
อุณหภูมิ, องศาฟาเรนไฮต์	100-120
ความถ่วงจำเพาะ	1.02-1.06
ความชื้น	Saturated
ค่าความร้อนสูง, บีทียู/ลบ.ม.	400-555

ที่มา :กรมควบคุมมลพิษ (2544)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 0 °C

ชนิดของก๊าซ/คุณสมบัติ	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S
ค่าความร้อน (เม็กกะจูล)	35-64	-	10.8	22.68
สัดส่วนคิดไฟ (% ในอากาศ)	5-15	-	4-80	4-45
อุณหภูมิตัดไฟ (°C)	650-750	-	585	-
ความดันเปลี่ยนสถานะ (บาร์)	47	75	13	89
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (°C)	-82.5	31.0	-240	100
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	0.72	1.98	0.09	1.54
ความจุความร้อน (กิโลจูล/ม. ³ /°C)	1.6	1.6	1.3	1.4

ที่มา :สำนักวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553)

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

5.1 อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating temperature)

เมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10°C แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (thermophilic)

- อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ 20°C – 45°C แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37°C – 41°C โดยในช่วงอุณหภูมิต่ำนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก

- เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 50°C – 52°C แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ไปถึง 70°C

แบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิกเสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้

อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิก คือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

5.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH value)

ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่า pH ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะทำให้กระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย เมทาโนเจนนั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรด-ด่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH_4 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร pH จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8

5.3 อัลคาไลน์ตี (Alkalinity)

ค่าอัลคาไลน์ตีหมายถึงความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างถ้าค่าอัลคาไลน์ตีต่ำจะมีแนวโน้มเป็นกรดได้ง่ายค่าอัลคาไลน์ตีที่เหมาะสมต่อระบบหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

5.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Acid)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนแต่ถ้าใช้ไม่ทันจะเกิดการสะสมของกรดส่งผลให้ค่า pH ลดลงทำให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียโดยทั่วไปปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัม/ลิตรแต่อาจทนได้ถึง 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5.5 สารอาหาร (Nutrient)

สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้วยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซีลีเนียม ทังสเตน และนิกเกิล เป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

5.6 สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials)

การสะสมของสารบางชนิด เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออนสารพิษโลหะหนักสารทำความสะอาดต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ ธาตุไอออนในปริมาณน้อย เช่น โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แอมโมเนีย สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ ยกตัวอย่างเช่น แอมโมเนียในปริมาณ 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นผลดีช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก็จะเริ่มส่งผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท เช่น ทองแดง นิกเกิล โครเมียม สังกะสี ตะกั่ว และอื่นๆ ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

5.7 การคลุกเคล้า (Mixing)

การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และสารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

5.8 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8-30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูกเมทาโนเจนนำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหาก C/N ratio ต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวนเมทาโนเจนลดลง นอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น

มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาก็ได้แก่พวกดอกจอก ผักตบ และเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ

5.9 ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading)

ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไปเนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการคือ acidogenesis กรดจะถูกผลิตขึ้นมาจนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก เมทาโนเจนตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็ต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

5.10 ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time)

ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจาก

ระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลงขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลาการกักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า Total solids content (TSC) อุณหภูมิขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไร โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

5.11 ปริมาณของแข็ง (total solid content, TSC)

Solid content ของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับคือ

-High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~ 20%

-Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~ 15%

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ high solid จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบ high solid ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมัก Low solid สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น ซึ่งการที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

6. ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

การเลือกใช้ระบบสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ จะต้องเลือกระบบให้เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายและให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการย่อยสลาย ซึ่งจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยระบบสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทดังนี้

6.1 ระบบแบบแบทช์ (Batch Operation)

ลักษณะของระบบเป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเพียงครั้งเดียว โดยเติมให้เต็มระบบในขณะเริ่ม หลังจากนั้นจะปล่อยให้ระบบดำเนินการตามกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ในระบบจะสังเกตได้ถ้าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น เมื่อไม่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจะทำการถ่ายตะกอนออกจากระบบแล้วเติมสารอินทรีย์เข้าไปใหม่ ระบบแบบแบทช์ เหมาะกับวัตถุดิบปริมาณมาก แต่ประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบไม่คงที่ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

6.2 ระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Operation)

ลักษณะของระบบเป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเป็นช่วง ๆ อย่างสม่ำเสมอ โดยมีการเติมสารอินทรีย์และถ่ายสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วออกจากระบบ ระบบแบบกึ่งต่อเนื่องเหมาะกับการที่ใช้สารอินทรีย์เป็นประจำ ระบบจะมีท่อสำหรับเติมสารอินทรีย์เข้าไปในระบบและมีท่อสำหรับถ่ายสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วออกจากระบบ ในระบบนี้จะมีการเติมสารอินทรีย์ทุกวัน ๆ ละครั้ง ระบบแบบกึ่งต่อเนื่องมีผลดีต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากระบบมีสถานะที่คงตัว ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนมีความอ่อนไหวต่อสภาพที่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพดีขึ้น และปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

6.3 ระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Operation)

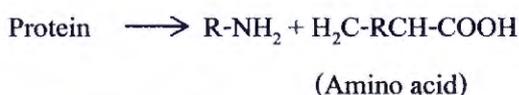
ลักษณะของระบบเป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายในช่วงเวลาหนึ่งและถูกถ่ายออกจากระบบอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ระบบแบบต่อเนื่องจะประสิทธิภาพสูง แต่ในเรื่องของการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบนั้นควบคุมได้ยาก เนื่องจากอัตราการเติมสารอินทรีย์ต้องคงที่สม่ำเสมอ

7. การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นแอมโมเนีย

สารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของโปรตีนจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการไฮโดรไลต์โดยที่แบคทีเรียจะนำไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างเซลล์ ในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์หากมีออกซิเจนเพียงพอจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซแอมโมเนีย ซัลเฟตและน้ำ แต่หากมีออกซิเจนไม่เพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซแอมโมเนีย เอมีน ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และกรดอินทรีย์ ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไนโตรเจนเป็นผลสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายและการเปลี่ยนรูปหลังจากกระบวนการย่อยสลายจนเกิดก๊าซแอมโมเนียหากไม่มีการสัมผัสกับน้ำแอมโมเนียก็จะระเหยออกสู่อากาศ แต่โดยมากเมื่อแอมโมเนียสัมผัสกับน้ำก็จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน และจะเปลี่ยนรูปต่อเป็นไนเตรท กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นแอมโมเนียแบ่งเป็น 2 กระบวนการคือ

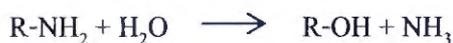
7.1 แอมโมนิเซชัน (ammonization)

เป็นกระบวนการแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่หรือโปรตีน โดยแบคทีเรียทำการย่อยสลายโปรตีนและนำไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างเซลล์ จนผลสุดท้ายของกระบวนการได้เป็นเอมีนและกรดอะมิโน



7.2 แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification)

เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากแอมโมเนียชัน โดยแบคทีเรียทำการการย่อยสลายเอมีนและกรดอะมิโน ให้กลายเป็นแอมโมเนียและแอลกอฮอล์



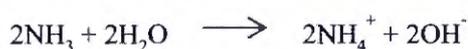
กระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางมากกว่าสภาวะที่เป็นกรด เนื่องจากสภาวะที่เป็นกลางแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และสำหรับระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศจะทำให้เกิดแอมโมเนียตกค้างในระบบ เพราะขาดออกซิเจนสำหรับเข้าไปเปลี่ยนรูปแอมโมเนียเป็นไนเตรท นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย

8. กระบวนการแปรสภาพแอมโมเนีย

กระบวนการแปรสภาพแอมโมเนียแบ่งเป็น 2 กระบวนการดังนี้

8.1 ไนตริฟิเคชัน (nitrification)

เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากแอมโมเนียชัน โดยใช้แอมโมเนียเป็นสารตั้งต้นสำหรับเปลี่ยนรูปให้เป็นแอมโมเนียมไอออน ไนไตรท์ และไนเตรท



8.2 ดีไนตริฟิเคชัน (denitrification)

เป็นกระบวนการที่เกิดการรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนหรือไนตริกออกไซด์โดยผลของไนไตรท์ที่เกิดในขั้นตอนไนตริฟิเคชัน บางส่วนจะแปรรูปเป็นแอมโมเนียก่อนเข้าสู่กระบวนการรีดิวซ์อีกครั้ง และบางส่วนจะเข้าสู่กระบวนการรีดิวซ์และเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนได้โดยตรง



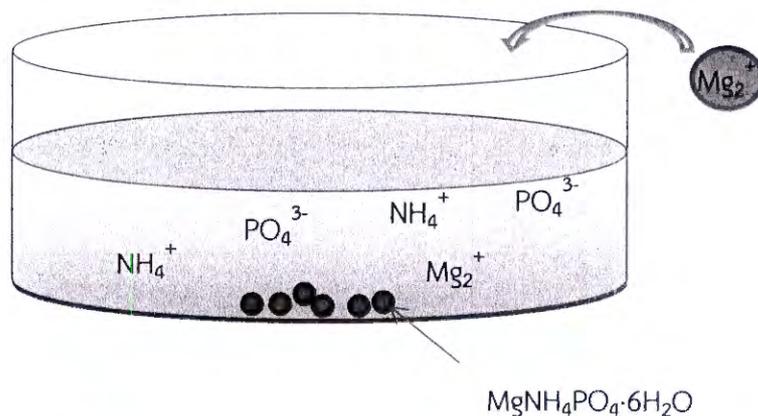
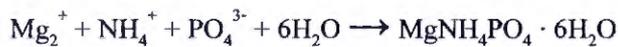
9. วิธีการกำจัดแอมโมเนีย

9.1 การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี

เป็นกระบวนการใช้สารเคมีเติมลงไปลงในน้ำ เพื่อไปทำปฏิกิริยากับสารละลายที่อยู่ในน้ำ เปลี่ยนสารละลายให้อยู่ในรูปของตะกอน การตกตะกอนทางเคมีขึ้นอยู่กับสมดุลทางเคมีของสารละลายนั้น ๆ ที่มีผลต่อการละลายในน้ำ การตกตะกอนทางเคมีมีกระบวนการที่หลากหลาย เช่น การใช้สารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นสารใหม่ ที่เป็นสารประกอบมีสมบัติละลายน้ำได้น้อยลงและทำให้เกิดตะกอน หรือใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของสารละลายในการละลายน้ำไม่ให้สามารถละลายน้ำได้อีกและทำให้เกิดการตกตะกอน หรือเปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลาย ทำให้

ความสามารถในการละลายลดลงและกลายเป็นของแข็ง มีงานวิจัยที่ใช้การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี ในการลดหรือกำจัดแอมโมเนีย เช่น พงศ์ถิตตา (2555) ใช้การตกตะกอนของเกลือแมกนีเซียมในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนออกจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและฉัวนัน (2546) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารส้มในการตกตะกอนทางเคมีสำหรับกำจัดแอมโมเนีย และอานนท์ (2552) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีการตกตะกอนฟล็อกสตรูไวท์โดยใช้สารแมกนีเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และ Yetilmezsoy และ Sapci, (2009) กำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีการตกตะกอนฟล็อกสตรูไวท์โดยเติมแหล่งแมกนีเซียมและฟอสเฟต

ในการตกตะกอนฟล็อกสตรูไวท์ ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) จะต้องมีส่วนประกอบของแมกนีเซียมต่อแอมโมเนียมต่อฟอสเฟต ($Mg^{2+}:NH_4^+:PO_4^{3-}$) เป็นอัตราส่วนเชิงโมลเท่ากับ 1:1:1 โดยทั่วไปแอมโมเนียมและฟอสเฟตจะมีอยู่ในน้ำเสียมักพอสมควร แต่แมกนีเซียมจะมีอยู่น้อยจึงต้องมีการเติมแหล่งแมกนีเซียมลงไปเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนฟล็อกสตรูไวท์ในการตกตะกอนฟล็อกสตรูไวท์แสดงนี้

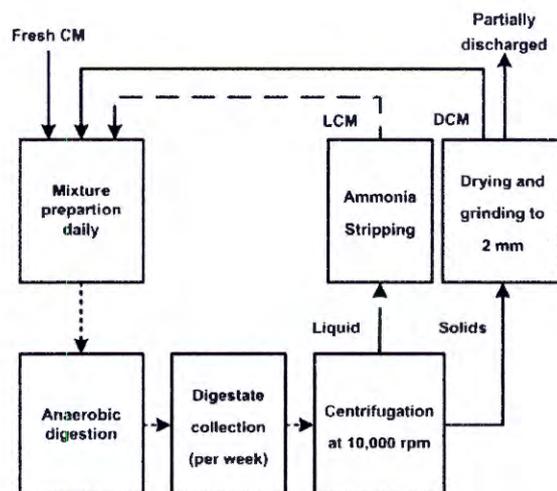


ภาพที่ 3 การกำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอนด้วยสารเคมี

9.2 กระบวนการ Ammonia stripping

เป็นกระบวนการแยกแอมโมเนียออกจากของเหลวหรือก๊าซด้วยกระบวนการทางกายภาพ กระบวนการ Ammonia stripping เหมาะสำหรับการกำจัดแอมโมเนียที่ระดับน้อยกว่า 10 mg/l ประสิทธิภาพของกระบวนการ Ammonia stripping ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง สามารถปรับค่าความเป็นกรดและความร้อนได้ กระบวนการ Ammonia stripping เป็นเทคนิคที่นำไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการลดระดับของแอมโมเนียลง แต่ความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่นยังคงอยู่ในน้ำเสียจะมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่จำนวนมาก ซึ่งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย เมื่อกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสียด้วยกระบวนการ Ammonia stripping แอมโมเนียจะเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทไนโตรเจน โดยมีงานวิจัยของ Abouelenien และคณะ (2010) ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียออกจากก๊าซด้วยกระบวนการ

Ammonia stripping และ Nie และคณะ (2015) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียออกจากของเสียจากการหมักโดยใช้กระบวนการ Ammonia stripping

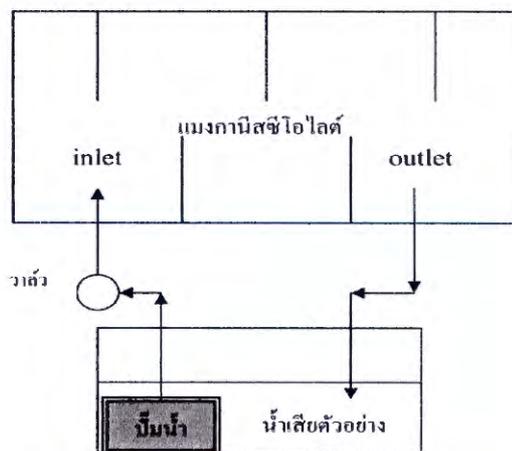


ภาพที่ 4 การกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการ Ammonia stripping

ที่มา: Nie และคณะ (2015)

9.3 การดูดซับ

เป็นกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ซึ่งการดูดซับเป็นความสามารถของตัวดูดซับในการดึงโมเลกุลของสารที่อยู่ในสถานะก๊าซหรือของเหลว ให้มาเกาะผิวของตัวดูดซับ คุณสมบัติของตัวดูดซับคือต้องมีความพรุนหรือมีรูพรุนเพื่อที่เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลาย ขนาด โครงสร้าง และการเรียงตัวต้องมีความสม่ำเสมอ ความสามารถในการละลายของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการที่สารละลายจะทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายของสารละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับ สารละลายจะต้องแยกออกจากตัวทำละลาย เช่น น้ำ ดังนั้นสารละลายที่มีความสามารถในการละลายน้ำน้อย จะถูกดูดซับได้ดี และสารละลายจะต้องมีการเคลื่อนที่เพื่อไปสัมผัสกับตัวดูดซับ ดังเช่นงานวิจัยของ ศิลป์ชัย และคณะ (2552) ศึกษาการใช้แมงกานีสซีโอไลต์ในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจน จากน้ำเสียฟาร์มสุกรและฟาร์มไก่



ภาพที่ 5 แบบจำลองการกำจัดแอมโมเนียด้วยตัวดูดซับ
ที่มา : ศิลป์ชัย และคณะ (2552)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พงส์ศักดิ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียมศึกษาทำโดยปรับระดับพีเอชเท่ากับ 8, 10 และ 12 ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟต 2, 4 และ 8 กรัม และระยะเวลาในการกวน 5, 10 และ 15 นาที สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบสมมติฐานโดยใช้ F-test (Three-way ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างระดับพีเอช ระยะเวลาและปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ระดับพีเอชเท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 8 กรัม ระยะเวลาในการกวน 15 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนร้อยละ 78.81 และ ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 8 กรัม ระยะเวลาในการกวน 15 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส ร้อยละ 58.17 ผลการวิจัยพบว่า เกลือแมกนีเซียมซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยวิธีการ ตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียมได้และเป็นประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงสุกรในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อลดกลิ่นและผลกระทบจากน้ำเสียฟาร์มสุกร

ศิลป์ชัยและคณะ (2552) ทำการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ในแบบจำลองคลองวนเวียนขนาด 34,633 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการไหลแบบต่อเนื่องพบว่า แมงกานีสซีโอไลต์สามารถกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ได้เฉลี่ยร้อยละ 78 ด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ขนาด 1.5 มิลลิเมตรปริมาณที่ใช้ 25,225 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อปริมาณน้ำเสีย 12 ลิตร ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อชั่วโมง และมีระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสอกับซีโอไลต์ 120 นาที โดยพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 8.6

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2554) ทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยการหมักย่อยแบบไร้ออกซิเจนของมูลไก่ไข่ โดยปรับอัตราส่วนการเจือจางมูลไก่ไข่ต่อน้ำ 4 ค่า คือ 1:2, 1:4, 1:8 และ 1:11 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 2 องศา

เซลเซียส เมื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของอาร์พีเอ็มฟาร์มแอนด์ฟีด จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าสามารถผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.310, 0.318, 0.320 และ 0.334 m³/kgVS ที่ป้อน เมื่อคิดเทียบกับ จำนวนไก่ 1 ตัวจะสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 9.21, 9.26, 9.38 และ 10.19 ลิตรต่อตัว ส่วนฟาร์มพิเศษพงษ์ จังหวัดอุดรธานี พบว่าสามารถผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.323, 0.325, 0.349 และ 0.346 m³/kgVS ที่ป้อน 7.85, 7.73, 7.98 และ 7.72 ลิตรต่อตัว ในการทดลองระดับนาร์่องใช้อัตราส่วนการหมักมูลไก่ไข่ต่อน้ำ 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากอาร์พีเอ็มฟาร์มแอนด์ฟีด จำกัด มาทำการศึกษาทดลองเพื่อหาระยะเวลาเก็บ น้ำที่เหมาะสม ด้วยถังปฏิกรณ์ CMU-CD ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัด สารอินทรีย์รูปของแข็งระยะที่ระยะเวลาเก็บ 10, 20, 30 วัน เมื่อระบบเข้าสู่ สภาวะคงที่มีค่าเฉลี่ย 83.90, 90.66 และ 91.05 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของระบบพบว่ามามีค่า 0.603, 0.466 และ 0.627 m³/kgVS ที่ป้อน โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเมื่อดำเนินระบบที่ระยะเวลาเก็บ 10, 20 และ 30 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นิคม และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาการใช้พืชมิสเป็นสารดูดซับแอมโมเนียในไก่เนื้อ พบว่าจากการวัดค่าการแลกเปลี่ยนประจุ (C.E.C) ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ซีโอไลท์ชนิดอะโซไมท์ มีค่าดังกล่าวสูงกว่าพืชมิสอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) และการใช้สารดูดซับมีแนวโน้มทำให้อัตราการตายและปริมาณ แอมโมเนียในคอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้พืชมิสระดับ 4% มีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย ใกล้เคียงกับเมื่อใช้อะโซไมท์ 2 %

ปกรณ์ (2552) ได้ทำการศึกษาการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคนิค การดูดซับด้วยของเหลวในคอลัมน์อัดตัว โดยใช้สารละลายโซดาไฟ สารละลายโมโนเอทานอลเอมีน และ สารละลายปูนขาว พิจารณาดัชนี คือ ความเข้มข้นของสารละลาย 0.1, 0.2 และ 0.3 โมลาร์ อัตราการไหล ของสารละลาย 1, 2 และ 3 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 1, 2 และ 3 ลิตรต่อนาที รวมถึงการ เปลี่ยนวัสดุเพิ่มพื้นที่ผิวบรรจุในคอลัมน์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยใช้ ไบโอบอล ผาขูดน้ำเจาะรู และพรม เช็ดแห้งตัด โดยขนาดของคอลัมน์ที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร สูง 1 เมตร ใส่วัสดุ เพิ่มพื้นที่ผิวสูง 70 เซนติเมตร เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมต่อการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซ ชีวภาพจากการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมมากที่สุดต่อการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งในด้าน ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละสารละลาย คือ สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของสารละลาย 3 ลิตรต่อนาที มี ประสิทธิภาพ 94.4% สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ อัตราการไหลของก๊าซ ชีวภาพ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของสารละลาย 2 ลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพ 91.9% สารละลาย ปูนขาวความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 2 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของ สารละลาย 2 ลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพ 83.05% เมื่อนำภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละสารละลายมา ทดสอบเปลี่ยนวัสดุเพิ่มพื้นที่ผิว ผาขูดเจาะรูให้ประสิทธิภาพในการแยกคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด แต่

ในกานำไปใช้งานจริงควรใช้ไบโอบอล เนื่องจากหาซื้อง่ายและสะดวกในการใช้งาน ในด้านทาง เศรษฐศาสตร์ปูนขาวมีความเหมาะสมที่สุดในด้านราคา ประสิทธิภาพการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ และ ความปลอดภัยของผู้นำไปใช้งาน สำหรับในส่วนของกระบวนการวนสารละลายกลับมาใช้ใหม่โดยมีการเติมเข้าและ ออกของสารละลายโซดาไฟและสารละลายปูนขาวพบว่าประสิทธิภาพในการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะลดลงเมื่อวนสารละลายกลับมาใช้ซ้ำ โดยที่การเติมสารละลายเข้าไปใหม่ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพใน การแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้

มณีนรัตน์ (2551) ได้ศึกษาการกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการ คัดเลือกเชื้อจากกระบวนการแอกติเวตสลัดจ์ที่บำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ และหาภาวะที่เหมาะสมในการ เลี้ยงเชื้อบนตัวกลางของถังกรองชีวภาพ 2 ชนิด คือ ฝาพลาสติกและเซรามิก ผลการทดลองพบว่าปริมาณ ของเชื้อที่โตในอาหารที่มีเฉพาะไรโอซัลเฟตเป็นแหล่งพลังงานจากน้ำเสียของโรงงานเด้าหมูมากกว่าเชื้อจาก น้ำเสียชุมชน โดยเชื้อสามารถเกาะอยู่บนตัวกลางเซรามิกได้ถึง 2.8×10^{11} cfu/L ของตัวกลาง ผลการศึกษา บัจจัยที่มีผลต่อการกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่าค่า Space Velocity (SV) มีผลต่อการกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ค่า SV ต่ำ (10 h^{-1}) การกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดขึ้นได้เกือบ สมบูรณ์ นอกจากนี้พบแนวโน้มของผลบัจจัยที่มีค่อนกันของระหว่างชนิดตัวกลางและอัตราการพ่นน้ำ ทั้งนี้ จุลชีพในถังกรองชีวภาพที่มีประสิทธิภาพการกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูง มีอัตราการทำงาน (2.7×10^{-14} - 8.4×10^{-12} mg H_2S removed/cfu.min) ที่มากกว่าจุลชีพในถังกรองชีวภาพที่มีประสิทธิภาพการกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำ ในการศึกษาพบว่ อัตราการระการกำจัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ $132 \text{ g } H_2S/m^3 \cdot h$ สำหรับ ตัวกลางพลาสติกที่อัตราการระทุก H_2S เข้า $183 \text{ g } H_2S/m^3 \cdot h$ และ $118 \text{ g } H_2S/m^3 \cdot h$ สำหรับตัวกลางเซรามิก ที่อัตราการระทุก H_2S เข้า $124 \text{ g } H_2S/m^3 \cdot h$ ทั้งนี้ในการศึกษาพบการเปลี่ยนรูปของ H_2S เนื่องจาก กระบวนการออกซิเดชันเป็นผลิตภัณฑ์หลัก คือ ซัลเฟตและซัลเฟอร์

สาโรจน์ และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษา การกำจัด H_2S โดยใช้คอลัมน์บรรจุของถ่านกัมมันต์ที่อิม เพร็กเนทด้วย สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ แล้ว ระบบที่ศึกษานี้จะเหมาะสมกับการ ใช้งานในระดับชุมชนเพราะเป็นกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ ง่าย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด H_2S โดยใช้ระบบดังกล่าว ผล การศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของ H_2S ในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1450-1700 ppm และ อัตราการไหลของก๊าซ ชีวภาพเท่ากับ 9 L/min การใช้คอลัมน์บรรจุ ของถ่านกัมมันต์ที่อิมเพเร็กเนทด้วยสารละลาย $KMnO_4$ เข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัด H_2S ดีที่สุด คือ 90% และสามารถลดความเข้มข้นของ H_2S ในก๊าซชีวภาพให้ต่ำกว่า 200 ppm ได้ โดยสามารถใช้ได้นานเวลาถึง 4 ชั่วโมง การศึกษานี้จึงยืนยันว่าการ กำจัด H_2S ด้วยระบบดังกล่าวทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูง

Hong และคณะ (2015) ได้ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียต่อประสิทธิภาพของระบบหมักก๊าซ ชีวภาพจากฟาร์มสุกร ในถังหมัก CSTR ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้เทคนิค Ammonia Stripping ใน

การกำจัดแอมโมเนีย ผลการทดลอง พบว่า ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Organic loading rate) 5.3 gVS/(Ld) สามารถกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนเหลือ 0.77 g/L และ ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.39 L/gVS เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Organic loading rate) ที่ 6.0 gVS/(Ld) สามารถกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนเหลือ 0.86 g/L และ ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.27 L/gVS

Fatma และคณะ (2013) ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลไก่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง จากการทดลองผสม TCM (treated chicken manure) และ RCM (raw chicken manure) อัตราส่วน 1:1 พบว่า สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ถึง 82.7% โดยรักษาระดับแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ให้มีน้อยกว่า 3.6 g N/kg และมี Acetate น้อยกว่า 20 mmol/kg ได้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 324 ml/gVS

Xiaohui และคณะ (2009) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียและการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพจากการหมักย่อยแบบไร้ออกซิเจนของพืช โดยใช้เทคนิค Ammonia Stripping โดยเริ่มต้นมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 27.5 กรัม และเติมอากาศที่อัตราการให้อากาศ 5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สำหรับน้ำเสีย 1 ลิตร สามารถลดปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน ฟอสฟอรัส COD SS และความขุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปริมาณก๊าซชีวภาพ 43 ลูกบาศก์เมตร องค์ประกอบของ $CH_4:CO_2$ ประมาณ 60%:40% หลังจากผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ มีองค์ประกอบของ $CH_4:CO_2$ ประมาณ 74%:26%

Alkaya และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกักที่มีต่อการหมักย่อยร่วมระหว่างมูลโคและพืชเหลือค้ำจากการเกษตรกรรม (ได้แก่ clover พืชพันธุ์เดียวชนิดหนึ่งใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์, หญ้าและฟางข้าวสาลี) โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง และศึกษาการเดินระบบที่อุณหภูมิ 10 ± 1 , 20 ± 1 และ 35 ± 1 องศาเซลเซียส และระยะเวลาเก็บกัก 20 และ 30 วัน โดยกำหนดอัตราสารอินทรีย์เท่ากับ 3 gVS/Ld และสัดส่วนของพืช clover:หญ้า:ฟางข้าวสาลี คือ 30:40:30 โดย TS และมีอัตราส่วนระหว่างพืชเหลือค้ำจากการเกษตรกรรมและมูลโคเท่ากับ 30:70 โดย VS ซึ่งที่อัตราส่วนนี้จะส่งผลให้มีค่าอัตราส่วน C/N มีค่าเหมาะสมและอยู่ในช่วงค่าที่แนะนำ คือมีค่าเท่ากับ 27:1 จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนทั้งที่มีการเดินระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 และ 30 วัน ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 299-324 ml Biogas/gVS_{added} โดยจะมีค่าสูงกว่าระบบที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 87-138 ml Biogas/gVS_{added} และเมื่อเปรียบเทียบที่การเดินระบบที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ระยะเวลาเก็บกักต่างกันพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าระยะเวลาเก็บกักอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าในขณะที่ทำการหยุดการกวนจะเกิด scum ขึ้นบนผิวหน้าของถังหมักเนื่องมาจากคุณสมบัติของพืชเหลือค้ำจากการเกษตรมีค่าความหนาแน่นต่ำ ซึ่งในการเดินระบบจะทำการกวนผสมเฉพาะในช่วงที่ทำการป้อนวัตถุดิบเข้าระบบเท่านั้น ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการหมักย่อยในถังปฏิกรณ์แบบ CSTR

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ BMP
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง 1 เครื่อง
3. เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซ 1 เครื่อง
4. เครื่องวัดพีเอช ความเป็นกรดต่าง 1 เครื่อง
5. ตู้อบลมร้อน 1 เครื่อง
6. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ

สารเคมี

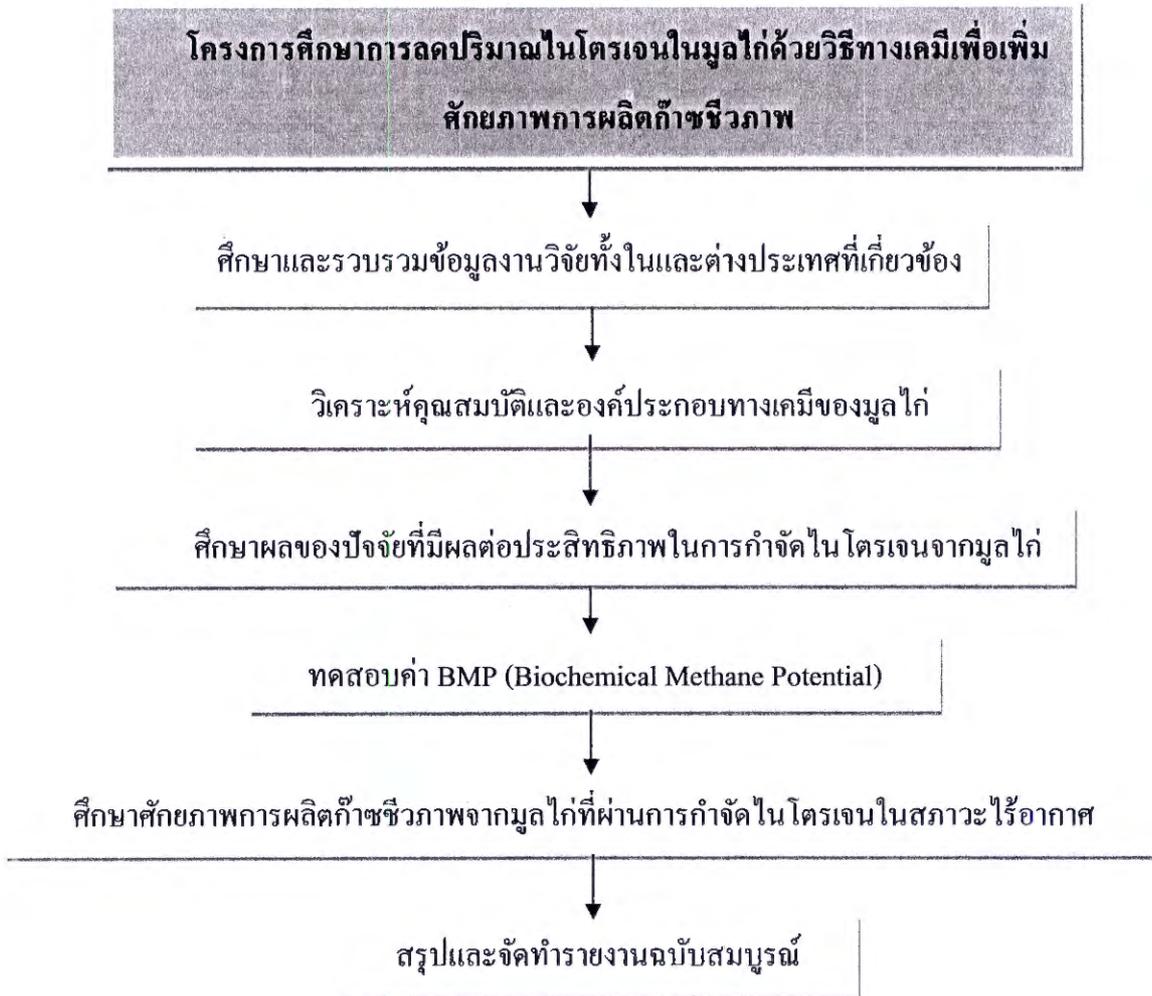
1. แมกนีเซียมคลอไรด์
2. แมกนีเซียมซัลเฟต
3. แมกนีเซียมออกไซด์

วัตถุดิบ

วัตถุดิบมูลไก่ได้รับความอนุเคราะห์จากฟาร์มไก่ในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

วิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานของโครงการโดยภาพรวมแบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากแหล่งทุติยภูมิทั้งในและต่างประเทศ

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่ในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพรวมทั้งประเมินองค์ประกอบของก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซชีวภาพจากองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในทางทฤษฎี โดยทำการวิเคราะห์ดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของมูลไก่ในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ได้แก่

➤ วิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis)

ซึ่งอ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตาม Standard Methods (APHA, 1992) ได้แก่

Total Solid (mg/kg)

Volatile Solid (mg/kg)

ความชื้น (Moisture content, MC)

➤ วิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)

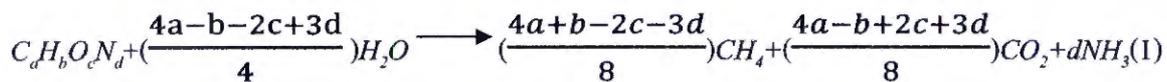
C (%) โดยวิธีการทดสอบ/เครื่องมือ EN15104

H (%) โดยวิธีการทดสอบ/เครื่องมือ EN15104

O (%) โดยวิธีการทดสอบ/เครื่องมือ CHNS/O Analysis

N (%) โดยวิธีการทดสอบ/เครื่องมือ EN15104

2. ประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากองค์ประกอบทางเคมีทางทฤษฎีของมูลไก่ และ สัดส่วนการผลิตก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 1 (Sialve และคณะ, 2009)



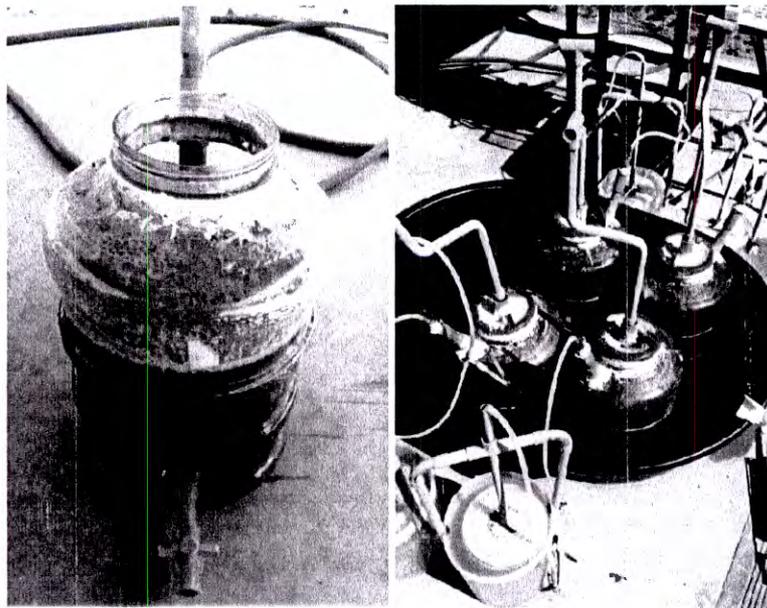
ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจากมูลไก่

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจน ทำการทดลองใน ถังหมักขนาด 19 ลิตร ปริมาณการใช้งานจริง 15 ลิตร โดยเตรียมมูลไก่และน้ำในอัตราส่วน 1:3 และทดสอบ การลดไนโตรเจนโดยใช้สารเคมีที่ความเข้มข้น 100-200 mg/l ดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 34±2 °C ระยะเวลา ในการดำเนินงาน 15 วันหรือจนกว่าก๊าซชีวภาพคงที่ จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในระบบหมัก และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเพื่อนำผลที่เหมาะสมมาทดลองในขั้นตอนต่อไป โดยทำการทดสอบ ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ศึกษาความเข้มข้นของสารเคมีที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนจากมูลไก่ในช่วงความเข้มข้น 100-200 mg/l ในการทดลองจะใช้ถังหมักขนาด 19 ลิตร ปริมาณการใช้งานจริง 15 ลิตร ผสมมูลไก่ และน้ำในอัตราส่วน 1:3 และทดสอบการลดแอมโมเนียโดยใช้สารเคมีที่ความเข้มข้น แสดงดังภาพที่ 7 ดังนี้

- แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) ที่ความเข้มข้น 100 mg/l
- แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) ที่ความเข้มข้น 150 mg/l
- แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) ที่ความเข้มข้น 200 mg/l
- แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl₂) ที่ความเข้มข้น 100 mg/l
- แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่ความเข้มข้น 100 mg/l

ดำเนินการหมักแบบแบทช์ภายใต้อุณหภูมิ 34 ± 2 °C ระยะเวลา 15 วัน ติดตั้งถังสำหรับกักเก็บก๊าซเชื่อมต่อกับถังหมักก๊าซชีวภาพ อ่านค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซ นำตัวอย่างวิเคราะห์ค่า pH, TS, VS, COD, ALK, VFA ก่อนและหลังการหมักก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 7 ชุดการทดลองผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจากมูลไก่

2. ศึกษาระยะเวลาการกวน และการตกตะกอน ที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนจากมูลไก่ โดยศึกษาที่เวลาการกวน 1-5 นาที ก่อนจะตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ตกตะกอน ศึกษาเวลาสำหรับตกตะกอน โดยวางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 60-90 นาที ในการทดลองจะใช้ถังหมักขนาด 19 ลิตร ปริมาณการใช้งานจริง 15 ลิตร ผสมมูลไก่และน้ำในอัตราส่วน 1:3 โดยใช้ $MgSO_4$ ที่ 100 mg/l ละลายในน้ำสำหรับทดสอบการตกตะกอน เพื่อลดไนโตรเจน ดำเนินการหมักแบบแบทช์ภายใต้อุณหภูมิ 34 ± 2 °C ระยะเวลา 15 วัน ติดตั้งถังสำหรับกักเก็บก๊าซเชื่อมต่อกับถังหมักก๊าซชีวภาพ อ่านค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซ นำตัวอย่างวิเคราะห์ค่า pH, TS, VS, COD, ALK, VFA ก่อนและหลังการหมักก๊าซชีวภาพ

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบค่า BMP (Biochemical Methane Potential)

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดมาหาค่า BMP (Biochemical Methane Potential) เพื่อศึกษาศักยภาพของระบบรวมทั้งประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยนำมูลไก่ ที่ผ่านการลดไนโตรเจนในสภาวะที่เหมาะสมมาทดสอบการผลิตก๊าซชีวภาพในชุดทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 8

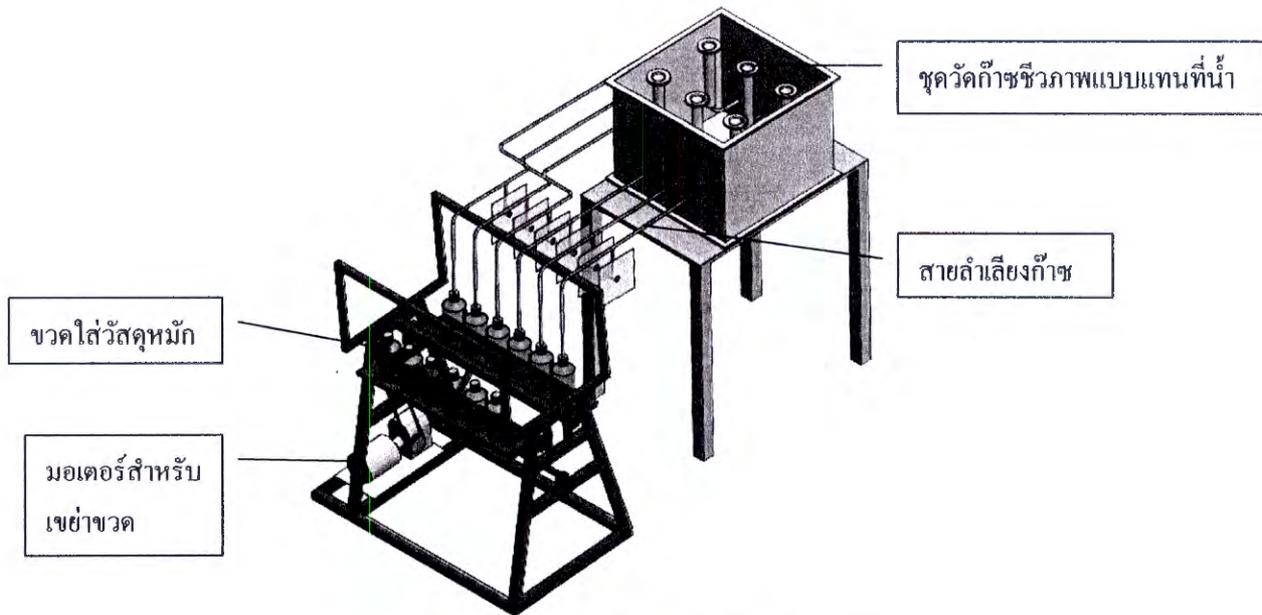
การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธี BMP โดยการประยุกต์วิธีมาตรฐาน VDI 4630 ทำการทดลองโดยกำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 0.5 (โดยน้ำหนักของแข็งระเหย) ปริมาณการหมักเท่ากับ 400 มิลลิลิตร หลังจากทำการใส่ตัวอย่างวัตถุดิบและเชื้อจุลินทรีย์ ทำการไล่ก๊าซออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 เป็นเวลา 3 นาที ปิดฝาให้แน่น และนำไปไว้ในที่ห้องอุณหภูมิที่ $34 \pm 2^{\circ}\text{C}$ วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวันโดยวัดจากการแทนที่น้ำ ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 30 วัน นำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นวิเคราะห์หาสัดส่วนของก๊าซมีเทน

การทดสอบค่า BMP เป็นการวิเคราะห์หาศักยภาพในการผลิตมีเทนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อให้ทราบถึงสารอินทรีย์ชนิดนั้น ๆ มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมากน้อยเพียงใด ผลที่ได้จะแสดงในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด (CH_4/gCOD หรือ $\text{CH}_4/\text{gVS}_{\text{added}}$) ซึ่งทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันและจำนวนวันที่มีการผลิตก๊าซ แต่โดยทั่วไปสารอินทรีย์จะไม่เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนทั้งหมด จึงต้องมีการวิเคราะห์การเปลี่ยน COD เป็นมีเทนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (กลิ่นประทุม, 2555) การคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในทางทฤษฎี สารอินทรีย์ 1 kgCOD จะเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน 350 l ที่สภาวะมาตรฐาน (ความดัน 1 atm อุณหภูมิ 0°C) การหาค่าศักยภาพในการผลิตมีเทนแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{BMP} \frac{\text{CH}_4 (\text{ml})}{\text{TS}_{\text{removed}} (\text{mg})} = \frac{\text{Biogas (l)} \times \text{CH}_4 (\%)}{\text{TS}_{\text{added}} - \text{TS}_{\text{removed}} (\text{mg/l})}$$

$$\text{BMP} \frac{\text{CH}_4 (\text{ml})}{\text{COD}_{\text{removed}} (\text{mg})} = \frac{\text{Biogas (l)} \times \text{CH}_4 (\%)}{\text{COD}_{\text{added}} - \text{COD}_{\text{removed}} (\text{mg/l})}$$

$$\text{BMP} (\%) = \frac{\text{CH}_4 \text{ product}}{\text{CH}_4 \text{ theory}} \times 100$$

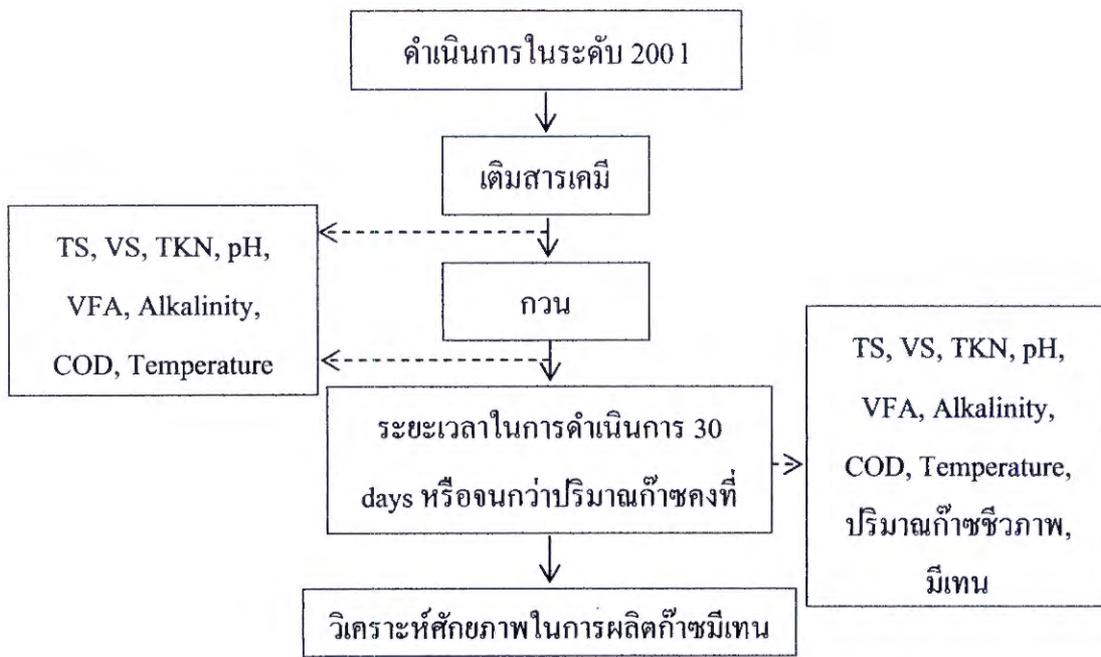


ภาพที่ 8 ชุดทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ BMP

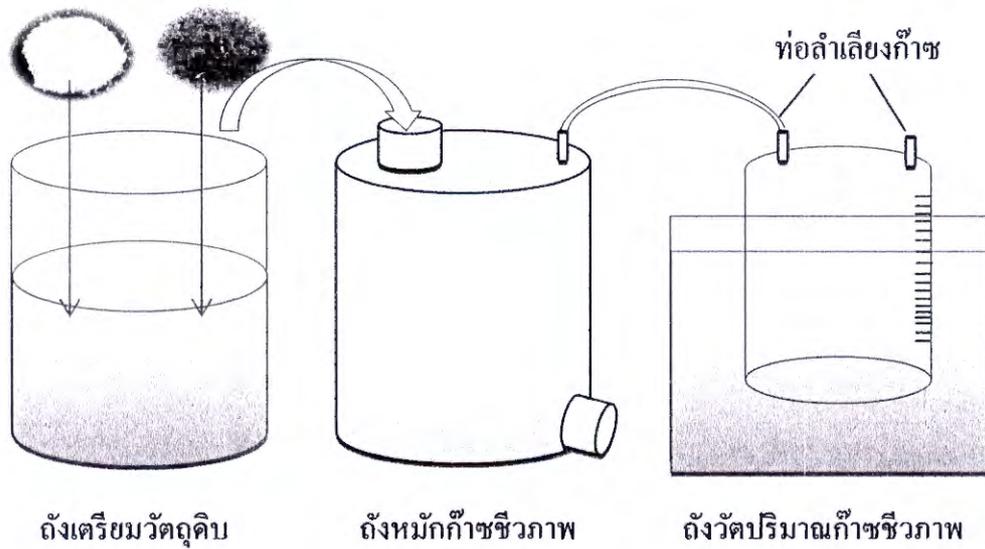
ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ที่ผ่านการกำจัดไนโตรเจนในสภาวะไร้อากาศ

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาประสิทธิภาพและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ที่ผ่านการกำจัดไนโตรเจน โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมีโดยทำการทดสอบการใช้งานจริงของระบบหมักในสภาพไร้อากาศ ในถังหมักแบบกะ ขยายขนาดจากระดับห้องปฏิบัติการ เป็นระบบระดับครัวเรือนขนาด 200 l ทำการวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนแสดงดังภาพที่ 9 และ 10 ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบหมักในสภาพไร้อากาศ ได้แก่

- พีเอช(pH)
- การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)
- ปริมาณของแข็งระเหยได้ (VS)
- การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)
- การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
- องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 9 ขั้นตอนดำเนินการหมักก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 10 ระบบหมักก๊าซชีวภาพ

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน และจัดทำรายงานผลการวิจัย

เมื่อเสร็จสิ้นโครงการจะสรุปผลการศึกษา และประเมินผลตามวัตถุประสงค์ของโครงการ พร้อมทั้งจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ในลักษณะของรายงานวิจัยที่มีเนื้อหารูปแบบตามมาตรฐานสากล โดยอย่างน้อยต้องครอบคลุมสาระหลักของการศึกษาทั้งหมด

การวิเคราะห์พารามิเตอร์

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆแสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งอ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตาม Standard Methods (APHA, 1992)

ตารางที่ 5 วิเคราะห์พารามิเตอร์ของส่วนผสมในถังหมักก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
TS	Gravimetric method
VS	Gravimetric method
TKN	Kjeldahl method
pH	pH meter
VFA	Titration method
Alkalinity	Electrometric method
COD	Closed Reflux
Temperature	Thermometer
ปริมาณก๊าซ	แทนที่น้ำ
มีเทน	Gas check

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การดำเนินงานโครงการศึกษาการลดปริมาณไนโตรเจนในมูลไก่ด้วยวิธีทางเคมีเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพคณะผู้วิจัยได้ดำเนินงานในส่วนของการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง และการวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่โดยแบ่งผลการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่

ส่วนที่ 2 ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของทางเคมีของมูลไก่

ส่วนที่ 3 การประเมินศักยภาพเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่

ส่วนที่ 4 ศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจากมูลไก่

ส่วนที่ 5 การทดสอบค่า BMP (Biochemical Methane Potential)

ส่วนที่ 6 ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ที่ผ่านการกำจัดไนโตรเจนในสภาวะไร้

อากาศ ในถังหมัก 200 l

ในแต่ละส่วนมีรายละเอียดผลการดำเนินงาน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกจากแหล่งทุติยภูมิเพื่อใช้ประกอบการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

เอกณัฐ (2541) ศึกษาหาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเดิมอากาศโดยการตกตะกอนทางเคมี ทดลองหาอัตราการกวน เวลาในการกวน และเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสม โดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน พบว่าค่าที่เหมาะสมคือ กวนเร็ว 100 rpm นาน 3 min กวนช้า 40 rpm นาน 20 min ระยะเวลาทิ้งให้ตกตะกอน 1 h ใช้สารสร้างตะกอนคือ อลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เพอร์ริคคลอไรด์ และแคลเซียมออกไซด์ (ปูนขาว) พบว่าสารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดดังนี้ กำจัดความขุ่นได้ 99.67% กำจัด TKN ได้ 24.07% กำจัดอินทรีย์ไนโตรเจนได้ 86.12% กำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนได้ 0% กำจัดฟอสฟอรัสได้ 96.29% ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 250 mg/l ค่า pH ก่อนการตกตะกอนเท่ากับ 8.5 ปริมาตรตะกอน 61.5 ml/น้ำหนักระตะกอนแห้ง 270.42 mg/l

เกื้อกุล (2552) ศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ โดยน้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลังแปรรูปมีค่า COD ประมาณ 4,400 mg/l และมีปริมาณคลอไรด์สูงคือ

7,250 mg/l ใช้ถังแบบกวนผสมขนาด 10 l โดยกำหนดอัตราการป้อนสารอินทรีย์ของระบบให้มีค่า 0.40, 0.59, 0.80 และ 1.0 kgCOD/m³·day ความจุการไหลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่ 0.82, 1.22, 1.64 และ 2.05 l/day ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 4.4, 5.5, 7.4 และ 11 days พบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.40, 0.59, 0.80 และ 1.0 kgCOD/m³·day สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.54, 0.55, 0.47 และ 0.52 m³/kgCOD_{removed} (ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง) มีอัตราส่วนก๊าซมีเทนร้อยละ 70, 62, 41 และ 34 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในระบบร้อยละ 89, 73, 66 และ 62

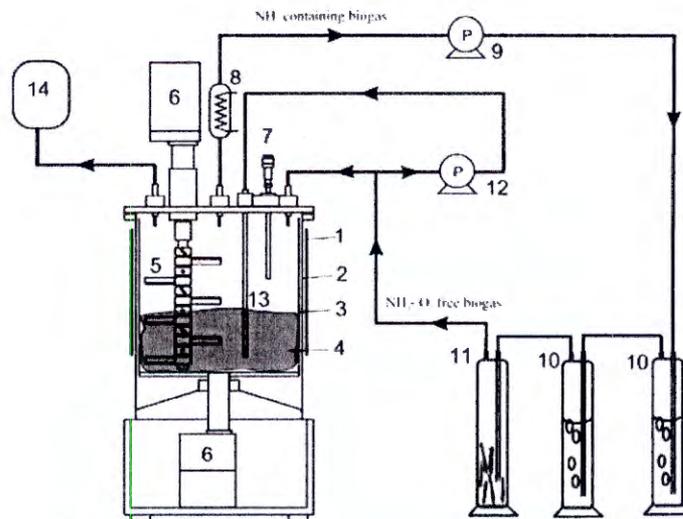
ศิลป์ชัย (2552) ทำการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในโครเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยเมมกานีสซัลไฟโอไลต์ในแบบจำลองคลองวนเวียนขนาด 34,633 m³ ด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง พบว่าเมมกานีสซัลไฟโอไลต์สามารถกำจัดแอมโมเนียในโครเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ได้เฉลี่ยร้อยละ 78 ด้วยเมมกานีสซัลไฟโอไลต์ขนาด 1.5 mm. ปริมาณที่ใช้ 25,225 cm³ ต่อปริมาณน้ำเสีย 12 l ที่อัตราการไหล 20 l/h และมีระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับซัลไฟโอไลต์ 120 min โดย pH น้ำเสียเท่ากับ 8.6

อานนท์ (2552) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการไฮโดรไลซิสมูลไก่ที่อุณหภูมิ 30, 80, 120 และ 150 °C นำมูลไก่ไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียและค่า TKN โดยพบว่าอัตราเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการไฮโดรไลซิสมูลสูงขึ้นตาม และที่อุณหภูมิ 150°C มีอัตราส่วนแอมโมเนียในโครเจนต่อค่า TKN เพิ่มขึ้นจาก 0.254 เป็น 0.404 เทียบกับที่อุณหภูมิ 30 °C มีอัตราส่วนแอมโมเนียในโครเจนต่อค่า TKN เพิ่มขึ้นจาก 0.254 เป็น 0.257 และทำการศึกษากำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอนฟอสเฟตด้วยวิธีใช้สาร MgCl₂·6H₂O และ KH₂PO₄ โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมล Mg²⁺:NH₄⁺:N:PO₄³⁻P ที่ต่างกันคือ 0.7:1:1, 1:1:1 และ 4:1:1 เพื่อศึกษากำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอนฟอสเฟตด้วยวิธีใช้สาร โดยพบว่าเมื่ออัตราส่วนเชิงโมลสูงขึ้น ทำให้อัตราการตกตะกอนฟอสเฟตสูงขึ้นตาม และยังพบว่าตะกอนจะเกิดขึ้นมากในช่วง 60 min แรก และสามารถกำจัดในโครเจนให้อยู่ในรูปฟอสเฟตอินทรีย์เท่ากับ 2.11 g ในโครเจน/kg แห่งมูลไก่ โดยมีค่า TKN ในมูลไก่ลดลงจาก 12.1 g ในโครเจน/kg แห่งมูลไก่ เหลือ 9.95 g ในโครเจน/kg แห่งมูลไก่

ศักรินทร์ (2555) ศึกษาศักยภาพผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เนื้อด้วยระบบถังกวนผสม ส่วนแรกเป็นการทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยศึกษาอัตราส่วนผสมมูลไก่ต่อน้ำ จากการทดลองพบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:5 เทียบเท่า TS เท่ากับ 152,098 และ 112,670 mg/l (TS ประมาณ 15% และ 11%) สามารถผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.173 และ 0.176 m³/kgVS_{added} เทียบเท่า 101.36 และ 103.48 l/kg ของมูลไก่ ส่วนที่สองศึกษาทดลองระดับห้องปฏิบัติการ ทำการเลือกปริมาณ TS 11% เพื่อเริ่มต้นเดินระบบ โดยตั้งปฏิกรณ์กวนผสมขนาด 24 l โดยการเติมเชื้อตั้งต้น 30% ของปริมาตรตั้งปฏิกรณ์ ทำการเดินระบบแบบ CSTR ส่วนที่สามทำการทดลองเพิ่มเติม โดยตั้งที่ 1 ใช้ปริมาณ TS 5.5% มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 40 days เดินระบบแบบ ASBR (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วถ่ายน้ำส่วนใสทิ้ง) ตั้งที่ 2 ใช้ปริมาณ TS 11% ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 80 days เดินระบบแบบ ASBR เพื่อเปรียบเทียบปริมาณ TS กับตั้งที่ 1

ส่วนถังที่ 3 ใช้ปริมาณ TS 5.5% มีระยะเวลาพักเก็บน้ำ 40 days เติลระบบแบบ CSTR เพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบการเดินระบบ เริ่มต้นระบบทำการเติมเชื้อตั้งต้น 70% ของปริมาตรถังปฏิกรณ์อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นของถังที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0.140, 0.058 และ 0.112 $\text{m}^3/\text{kgVS}_{\text{added}}$ จากผลการทดลองพบว่า รูปแบบการเดินระบบแบบ ASBR มีความเหมาะสมกว่าแบบ CSTR เนื่องจากการสามารถรักษาเชื้อตะกอนเอาไว้ได้ดีกว่า และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าโดยคิดที่ปริมาณ TS เท่ากัน

Abouelenien และคณะ (2010) ศึกษาการปรับปรุงการหมักก๊าซมีเทนโดยการกำจัดแอมโมเนีย เพื่อเลี่ยงการสะสมแอมโมเนียที่มีผลยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน แอมโมเนียจะถูกกำจัดออกโดยการนำก๊าซชีวภาพไปรีไซเคิลผ่านกรดซัลฟูริกเพื่อกำจัดแอมโมเนีย ดำเนินการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศโดยใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบในระยะเวลา 4 days ที่อุณหภูมิ 55 °C และค่า pH เริ่มต้นที่ 8-9 ซึ่งผลที่ได้ 80% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในมูลไก่จะเปลี่ยนแปลงเป็นแอมโมเนีย และสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 82% ใช้ระบบถังหมักแบบแบทช์เชื่อมกับกระบวนการ Ammonia stripping แสดงดังภาพที่ 11 ได้ดำเนินการในระบบแบบแบทช์ pH เริ่มต้นอยู่ที่ 8 อุณหภูมิ 55 °C สามารถผลิตมีเทนได้ 195 ml/gVS และ 157 ml/gVS จากมูลไก่หมักและมูลไก่หมักผสมกับมูลไก่สดในอัตราส่วน 1:1 ตามลำดับ ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่อยู่ในถังหมักน้อยกว่า 2 g ไนโตรเจน/ $\text{kg}_{\text{wet sludge}}$



ภาพที่ 11 ระบบการหมักก๊าซและกระบวนการกำจัดแอมโมเนีย

ที่มา : Abouelenienและคณะ (2010)

Abouelenien และคณะ (2013) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลไก่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง จากการทดลองผสมมูลไก่หมัก (treated chicken manure, TCM) และมูลไก่สด (raw chicken manure, RCM) ที่อัตราส่วน 1:1 พบว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 23.5-55 l/kg ของมูลไก่ร้อยละมีเทนที่ผลิตได้ประมาณ 70-85 สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ถึง 82.7% โดยรักษาระดับแอมโมเนียในถัง

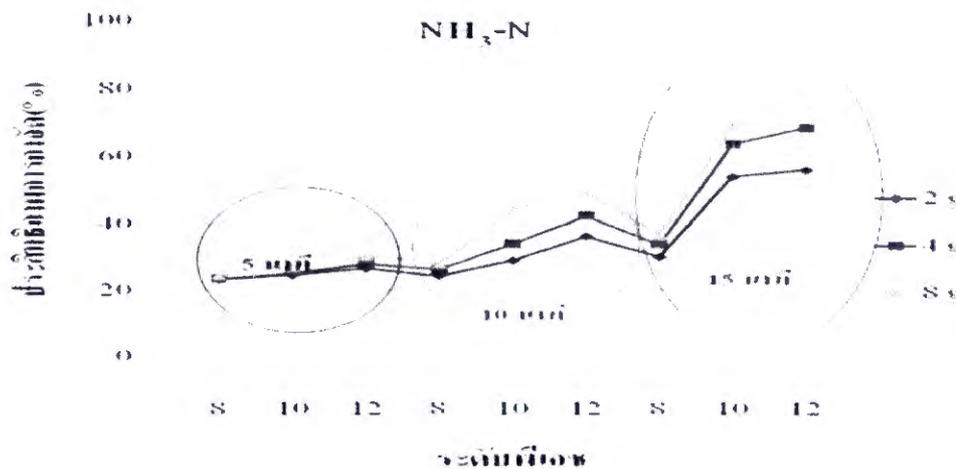
ปฏิกรณ์ให้มีน้อยกว่า 3.6 g ไนโตรเจน/kg และมีอะซิเตทน้อยกว่า 20 mmol/kg ผลิตภัณฑ์มีเทนสูงสุด 324 ml/gVS แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองหมักโดยใช้มูลไก่เป็นส่วนวัตถุดิบตั้งต้น

วัตถุดิบ	TCM 100%	RCM:TCM 50:50%	RCM100%
ช่วงการผลิตก๊าซชีวภาพ (l/kg มูลไก่)	14.6-28.2	7-22.8	23.5-55
การผลิตมีเทน (%)	67-80	55-74	70-85
การกำจัดแอมโมเนีย (%)	79	77	82.7
ความเข้มข้นแอมโมเนีย (g ไนโตรเจน/kg)	<2	<2	<3.6
ความเข้มข้นอะซิเตท (mmol/kg)	<22	<36	<20
ช่วงค่า pH	8.1-8.7	8.5-8.9	8.4-8.8

ที่มา: Abouelenien และคณะ (2013)

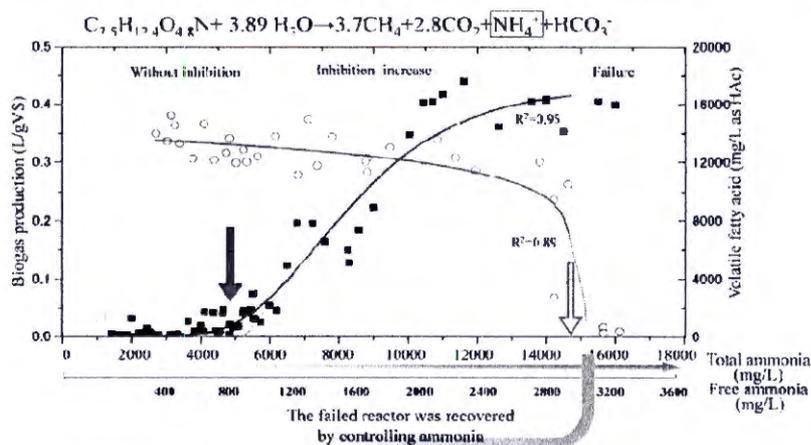
พงศ์รัตดา (2555) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียม ศึกษาทำโดยปรับระดับค่า pH เท่ากับ 8, 10 และ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 2, 4 และ 8 g และระยะเวลาในการกวน 5, 10 และ 15 min ผลการวิจัยพบว่า ที่ระดับ pH เท่ากับ 12 ใช้ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 8 g ระยะเวลาในการกวน 15 min มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนร้อยละ 78.81 แสดงดังภาพที่ 11 ที่ระดับค่า pH เท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 8 g ระยะเวลาในการกวน 15 min มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 58.17 และผลการวิจัยพบว่า เกลือแมกนีเซียมซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียมได้และเป็นประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงสุกรในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อลดกลิ่นและผลกระทบจากน้ำเสียฟาร์มสุกร



ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน
ที่มา : พงศ์ลัดดา (2555)

Niu และคณะ (2013) ทำการศึกษาการหมักก๊าซมีเทนช่วงอุณหภูมิปานกลางใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบ โดยใช้ถังหมักแบบ CSTR ขนาด 12 l ระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งหมด 400 days ประเมินผลของกระบวนการและการยับยั้งที่เกิดขึ้นในช่วงความเข้มข้น TAN 2,000 mg/l ถึง 16,000 mg/L การผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ 0.35-0.4 l/gVS_{added} และการเปลี่ยนแปลง COD เท่ากับ 68% ซึ่งเป็นผลที่ได้ช่วงความเข้มข้น TAN ต่ำกว่า 5,000 mg/l มีการเกิดการยับยั้งของแอมโมเนียเนื่องจากการเติม NH₄HCO₃ ก๊าซชีวภาพและการเปลี่ยนแปลง COD ลดลงเป็น 0.3 l/gVS_{added} และ 20% ที่ TAN เท่ากับ 10,000 mg/l และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเลยที่ TAN เท่ากับ 16,000 mg/l หลังจากเกิดการยับยั้งได้ทำการเจือจางและชะล้างระบบโดยลดปริมาณ TAN และ FA ให้เหลือ 4,000 mg/l และ 300 mg/l ตามลำดับ และเริ่มการผลิตก๊าซชีวภาพใหม่อีกครั้ง โดยการผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้เท่ากับ 0.5 l/gVS_{added}

Methane fermentation of chicken manure produce much NH₄⁺ which caused inhibition:



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอมโมเนียต่อการผลิตก๊าซ

ที่มา : Niu และคณะ (2013)

ปวันรัตน์ (2557) ศึกษาผลของการเติมมูลไก่และมูลโคต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหมู้อเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยตั้งปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ระดับห้องปฏิบัติการขนาด 20 ลิตรระบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ $1.5 \text{ kgVS/m}^3\cdot\text{day}$ ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด 4% ทำการทดลองที่อุณหภูมิ $35\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยใช้ปริมาณมูลไก่ 0 และ 0.41 kg และมูลโค 0 และ 1.45 kg ต่อหมู้อเนเปียร์ 1 kg ตามลำดับ พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุดที่ได้ $0.255 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$ เกิดจากการหมักย่อยโดยใช้หมู้อเนเปียร์ปากช่อง 1 เป็นวัตถุดิบชนิดเดียว ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนจำเพาะที่ได้จากการหมักย่อยร่วมระหว่างหมู้อเนเปียร์และมูลสัตว์ทั้งสองชนิด หมู้อเนเปียร์กับมูลไก่ และหมู้อเนเปียร์กับมูลโคมีค่าเท่ากับ 0.190 , 0.168 และ $0.139 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลของมูลไก่และมูลโคต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหมู้อเนเปียร์

สารอินทรีย์	ถังปฏิกรณ์	เวลากักเก็บ (day)	C/N	OLR ($\text{kgVS/m}^3\cdot\text{day}$)	ปริมาณก๊าซมีเทน จำเพาะ ($\text{m}^3\text{NH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$)
หมู้อเนเปียร์ (VS=4%)	CSTR 20 l	27	48.01	1.5	$0.255\pm(0.021)$
หมู้อเนเปียร์ +มูลโค+มูล (VS=4%)	CSTR 20 l	27	29.94	1.5	$0.249\pm(0.005)$ $0.186\pm(0.007)$
หมู้อเนเปียร์					
หมู้อเนเปียร์ +มูลไก่ (VS=4%)	CSTR 20 l	27	20.2	1.5	$0.174\pm(0.011)$
มูลโค (VS=4%)	CSTR 20 l	27	21.82	1.5	$0.071\pm(0.006)$
มูลไก่ (VS=4%)	CSTR 20 l	27	9.27	1.5	$0.085\pm(0.007)$

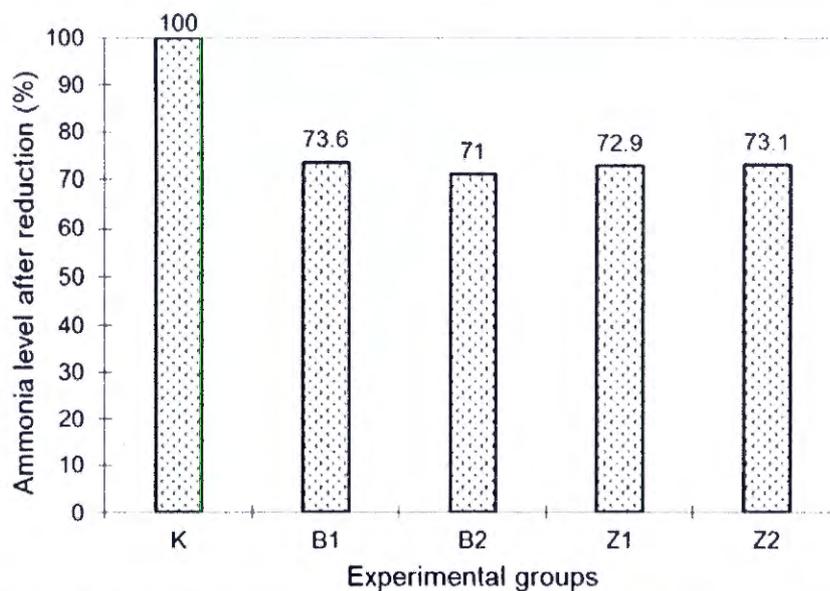
ที่มา: ปวันรัตน์ (2557)

Wang และคณะ (2014) ศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่มีต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลโค มูลไก่ และฟางข้าว ในการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ศักยภาพการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น แต่ในระหว่างการหมักจากอุณหภูมิ 30-40 °C ถึง 50-60 °C อัตราการผลิตมีเทนจะลดลงเนื่องจากการสะสมของแอมโมเนียในโตรเจน แอมโมเนียอิสระและเกิดการยับยั้งของแอมโมเนียขึ้น การยับยั้งของแอมโมเนียพบที่อัตราส่วน คาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15 อุณหภูมิ 35 °C และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 20 อุณหภูมิ 55 °C อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อแอมโมเนียและศักยภาพสูงสุดของการเกิดมีเทน ดังอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 25 และ 30 อุณหภูมิ 35 °C และ 55 °C ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดการยับยั้งของแอมโมเนีย ผลจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการย่อยสลาย

Nie และคณะ (2015) ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นแอมโมเนียต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของการหมักโดยใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นชนิดเดียว ได้ทำการทดลองโดยใช้ถังหมักกวนแบบต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 40 °C ใช้เทคนิค stripping ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากของเหลว และรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ทั้งหมด เพื่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังหมัก อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.3 gVS/l-day ได้ค่าเฉลี่ย FAN 0.77 g/l และปริมาณก๊าซจำเพาะที่ได้ 0.39 l/gVS เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เป็น 6.0 gVS/l-day ทำให้ได้ค่าเฉลี่ย FAN 0.86 g/l และปริมาณก๊าซจำเพาะ 0.27 l/gVS

Weerayuttil และคณะ (2016) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ ในการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยระบบการหมักแบบแบทช์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของมูลไก่เท่ากับ 8.22 และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของหญ้าเนเปียร์เท่ากับ 39.35 ทำการทดลองที่อัตราส่วนของมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ 1:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:1 ระยะเวลา 48 days ควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ 2% พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 ให้ปริมาณมีเทน 64.4% ในการใช้วัตถุดิบตั้งต้นชนิดเดียว เช่น มูลไก่หรือหญ้าเนเปียร์ จะส่งต่อการผลิตมีเทนได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของมูลไก่ไม่เหมาะสมสำหรับการหมัก เพราะในมูลไก่มีปริมาณไนโตรเจนสูงอาจทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน หรือหญ้าเนเปียร์ส่งผลต่อเสถียรภาพของการหมัก เนื่องจากเกิดการสะสมของ VFA ในระบบในขั้นตอนไฮโดรไลซิซจากการย่อยเซลลูโลสของหญ้าเนเปียร์

Wlazlo และคณะ (2016) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อะลูมิเนียมซิลิเกตเป็นตัวดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ โดยใช้โซเดียมเบนโทไนด์ (B) และซีโอไลต์ (Z) ระดับแอมโมเนียลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่เบนโทไนด์ 2% และซีโอไลต์ 1% ค่าเฉลี่ยการลดลงทั้งหมดของการทดลองอยู่ในช่วง 26.41-29.04% ซึ่งการใช้อะลูมิเนียมซิลิเกตสามารถช่วยลดปัญหาจากการปล่อยแอมโมเนียจากฟาร์มไก่ได้



ภาพที่ 14 ระดับแอมโมเนียที่ลดลงของแต่ละกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (K), 1% โซเดียมเบนโทไนด์ (B1), 2% โซเดียมเบนโทไนด์ (B2), 1% ซีโอไลต์ (Z1) และ 2% ซีโอไลต์ (Z2)
ที่มา : Wlazlo และคณะ (2016)

ตารางที่ 8 สรุปสาระสำคัญจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัย

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	หัวข้อที่ทำการศึกษา	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
เอกณัฐ (2541)	การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเดิมอากาศโดยการตกตะกอนทางเคมี	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณน้ำเสีย 1 l - ปรับอัตราความเร็ว 70, 90, 100, 120 และ 140 rpm ปรับอัตราความช้า 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 rpm - ปรับระยะเวลาความเร็ว 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 min ปรับระยะเวลาความช้า 5, 10, 15, 20, 30 และ 40 min - ทิ้งให้ตกตะกอน 10-120 min - ปริมาณสารส้ม 30-550 mg/l - ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ 40-230 mg/l - ปริมาณปูนขาว 200-1,500 mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> - ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับทิ้งให้ตกตะกอน 60 min - อัตราความเร็วและระยะเวลาความเร็วที่เหมาะสม 100 rpm 3 min อัตราความช้าและระยะเวลาความช้าที่เหมาะสม 40 rpm 20 min - ปริมาณและค่า pH ที่เหมาะสมของสารส้ม เฟอร์ริกคลอไรด์ และปูนขาว เท่ากับ 250 mg/l pH 8.5, 160 mg/l pH 8.5 และ 600 mg/l pH 2.5-3.5 ตามลำดับ - ประสิทธิภาพการกำจัด TKN ของสารส้ม เฟอร์ริกคลอไรด์ และปูนขาว เท่ากับ 24.07%, 23.46% และ 24.9%
เกื้อกุล (2552)	การผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้น้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลังแปรรูป	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ถังแบบกวนสมบูรณ์ขนาด 10 l - ปรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ 0.40, 0.59, 0.80 และ 1.0 kgCOD/m³·day - ปรับอัตราการไหล 0.82, 1.22, 1.64 และ 2.05 l/day 	<ul style="list-style-type: none"> - OLR 0.40, 0.59, 0.80 และ 1.0 kgCOD/m³·day ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.54, 0.55, 0.47 และ 0.52 m³/kgCOD_{removed} ตามลำดับ - อัตราส่วนก๊าซมีเทนที่ได้ 70%, 62%, 41% และ 34% ตามลำดับ

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	หัวข้อที่ทำการศึกษา	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
		- HRT 4.4, 5.5, 7.4 และ 11 days	- ประสิทธิภาพการกำจัด COD 89%, 73%, 66% และ 62% ตามลำดับ
<p>ศิลป์ชัย และคณะ (2552)</p>	<p>การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยเมฆานีสซีโอไลต์ในแบบจำลองคลองวนเวียน</p>	<ul style="list-style-type: none"> - สร้างแบบจำลองขนาด 33.663 l - ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง - น้ำเสียมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในช่วง 20-25 mg/l และค่า pH อยู่ในช่วง 7-9 - ใช้เมฆานีสซีโอไลต์ขนาด 1.5-5.0 mm และกำหนดขนาด 1.5 mm - ปรับอัตราการไหลของน้ำเสียที่ 20, 40, 60 และ 80 l/h - ระยะเวลาการสัมผัสของน้ำเสียกับเมฆานีสซีโอไลต์ 30, 60 และ 120 min - ปริมาณเมฆานีสซีโอไลต์บรรจุเต็มพื้นที่ที่มีระดับความสูง 0.25, 0.5 และ 0.75 ของแบบจำลอง 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เมฆานีสซีโอไลต์กำหนดขนาด 1.5 mm ปริมาณ 25.224 l ต่อปริมาณน้ำเสีย 12 l - อัตราการไหล 20 l/h - ค่า pH ของน้ำเสีย 8.6 - ระยะเวลาในการสัมผัสน้ำเสียกับเมฆานีสซีโอไลต์ 120 min - สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 78%
<p>อานนท์ (2552)</p>	<p>การกำจัดแอมโมเนียในกระบวนการไฮโดรไลซิสทางความร้อนของมูลไก่โดยวิธีตกผลึกสตรูไวท์</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้น้ำมูลไก่ที่ผ่านการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 1 h - เติมน้ำ MgCl₂·6H₂O และ KH₂PO₄ โดย 	<p>เติม MgCl₂·6H₂O และ KH₂PO₄ โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมล Mg²⁺:NH₄⁺:N:PO₄³⁻P ที่อัตราส่วน 4:1:1 มีอัตราการตกตะกอนผลึกและปริมาณตะกอนผลึก</p>

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	หัวข้อที่ทำการศึกษา	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
		<p>ปรับอัตราส่วนเชิงโมล $Mg_2^+ : NH_4^+ - N : PO_4^{3-}$ P0.66:1:1, 0.65:1:1, 1:1:1, 1.2:1:1, 3.4:1:1 และ 4:1:1</p> <p>- ปรับค่า pH ให้เป็น 8.5 ด้วย NaOH 1 N</p>	<p>มากที่สุด สามารถลดค่า TKN ในมูลไก่จาก 12.1 g ในโตรเจน/kg แห่งมูลไก่ เหลือ 9.95 g ในโตรเจน/kg แห่งมูลไก่หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนให้อยู่ในรูปฟอสฟอรัสได้ 17%</p>
ศักรินทร์ (2555)	ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เนื้อด้วยระบบถังกวนสมบูรณ์	<p>- อัตราส่วนมูลไก่ต่อน้ำ 1:3 และ 1:5</p> <p>- ร้อยละของแข็งในระบบ 16.5 และ 11</p> <p>- ระยะเวลาถังเก็บ 10, 20, 30, 40 และ 80 days หรือเท่ากับอัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.4, 2.7, 1.8 และ 1.35 kgVS/m³·day</p> <p>- เติมน้ำแบบ ASBR และ CSTR</p> <p>- ควบคุมอุณหภูมิ 35±2 °C</p>	<p>- การวิเคราะห์ BMP ที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:5 ปริมาณ TS 15% และ 11% สามารถผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.173 และ 0.176 m³CH₄/kgVS_{added}</p>
Abouelenien และคณะ (2010)	การปรับปรุงการหมักก๊าซมีเทนของมูลไก่ โดยการทำอัดแอมโมเนียจากการรีไซเคิลก๊าซชีวภาพ	<p>- ปริมาณที่ใช้ในการหมัก 5 l</p> <p>- ความเร็วในการกวน 10 rpm</p> <p>- HRT 10 days</p> <p>- อัตราส่วนมูลไก่หมักต่อมูลไก่สด 1:1</p> <p>- ดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 55 °C ค่า pH เริ่มต้น 8.5-9</p> <p>- Flask ขนาด 500 ml สำหรับกำจัด</p>	<p>- ผลที่อัตราส่วนมูลไก่หมักต่อมูลไก่สด 1:1 ได้มีเทน 157 ml/gVS</p> <p>- ผลจากการใช้มูลไก่หมักเพียงชนิดเดียวได้มีเทน 195 ml/gVS</p> <p>- สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 82%</p> <p>- ควบคุมความเข้มข้นแอมโมเนียในระบบต่ำกว่า 2 g ไนโตรเจน/kg ของมูลไก่</p>

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	หัวข้อที่ทำการศึกษา	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
		แอมโมเนียความเร็วในการเขย่า 35 rpm ใช้กรดซัลฟูริก 2 N	
Abouelenienและคณะ (2013)	การกำจัดแอมโมเนียและการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลไก่ภายใต้อุณหภูมิสูง	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำหนักของกากตะกอน 3.2 kg - น้ำหนักของมูลไก่สดเริ่มต้น 80 g - เติมน้ำตั้งต้นเมื่ออะซิเตทต่ำกว่า 3 mmol/kg - ลดแอมโมเนียโดยการรีไซเคิลก๊าซ - อุณหภูมิ 55 °C - ระยะเวลาในการดำเนินการ 60 days - ความเร็วในการกวน 10 rpm - ใช้กรดซัลฟูริกคักจับแอมโมเนีย 	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนมูลไก่หมักต่อมูลไก่สด 1:1 - ก๊าซชีวภาพที่ได้ 23.5-55 l/kg ของมูลไก่ - มีเทนที่ได้ 70-85% - การกำจัดแอมโมเนีย 82.7%
พงศ์ศักดิ์ดา (2555)	การกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียม	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสีย 1 l - ปรับ pH ของน้ำ 8, 10 และ 12 - เติมน้ำเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 2, 4 และ 8 g - ระยะเวลาการกวน 5, 10 และ 15 min ที่ความเร็ว 100 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> - ผลที่ดีที่สุดในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจน - ใช้ระยะเวลาในการกวน 15 min - pH 12 - เติมน้ำเกลือแมกนีเซียม 8g - มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจน 78.81%
Niuและคณะ(2013)	การหมักก๊าซมีเทนของมูลไก่ในช่วงอุณหภูมิปานกลางกรณีศึกษาในช่วงความ	- ปริมาณในการทดลอง 12 l รูปแบบของการทดลองเป็นแบบ CSTR	- ที่ TAN ต่ำกว่า 5,000 mg/l สามารถการผลิตก๊าซได้ 0.35-0.4 l/gVS _{added} ค่า COD เปลี่ยนแปลงไป

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	หัวข้อที่ทำการศึกษา	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	เข้มข้นแอมโมเนีย เสถียรภาพ การยับยั้งและการนำกลับมาใช้ใหม่	<ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิในการดำเนินการ 35 ± 1 °C - ความเร็วในการกวน 200-300 rpm - ระยะเวลาในการกักเก็บ 30 days - ป้อนวัตถุดิบตั้งต้น 12 ครั้ง/days โดยปริมาณ 1% ของปริมาณในการทดลอง - ศึกษาในช่วงของ TAN ที่ 2,000-16,000 mg/l 	<p>จากเดิม 68%</p> <ul style="list-style-type: none"> - ที่ TAN 10,000 mg/l สามารถการผลิตก๊าซได้ $0.3 \text{ l/gVS}_{\text{added}}$ ค่า COD เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม 20% <p>หลังจากทำการเจือจางและชะล้างระบบ</p> <ul style="list-style-type: none"> - ค่า TAN ลดลงเหลือ 4,000 mg/l - ค่า FA ลดลงเหลือ 300 mg/l - สามารถผลิตก๊าซชีวภาพใหม่ได้ $0.5 \text{ l/gVS}_{\text{added}}$
ปวันรัตน์ (2557)	ผลของการเติมมูลไก่และมูลโคต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหีวนาเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยตั้งปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์	<ul style="list-style-type: none"> - ตั้งปฏิกรณ์ ASBR 4 ถัง ขนาด 20 l - ความเร็วในการกวน 100 rpm ระยะเวลา 25 min/h - C/N ratio 20 และ 30 - ใช้มูลไก่ 0 และ 0.41 kg, มูลโค 0 และ 1.45 kg ต่อหีวนาเนเปียร์หมัก 1 kg - อุณหภูมิในการดำเนินการ 35 ± 2 °C - ควบคุม TS ในระบบ 4% - HRT 27 days 	<ul style="list-style-type: none"> - ผลจากการใช้หีวนาเนเปียร์ชนิดเดียวได้ก๊าซมีเทนจำเพาะ $0.255 \text{ m}^3\text{NH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$ - ผลจากการหมักร่วมวัตถุดิบทั้งหมดได้ก๊าซมีเทนจำเพาะ $0.190 \text{ m}^3\text{NH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$ - ผลจากการหมักหีวนาเนเปียร์กับมูลไก่ได้ก๊าซมีเทนจำเพาะ $0.168 \text{ m}^3\text{NH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$ - ผลจากการหมักหีวนาเนเปียร์กับมูลโคได้ก๊าซมีเทนจำเพาะ $0.139 \text{ m}^3\text{NH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$
Wang และคณะ (2014)	ผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อประสิทธิภาพ	<ul style="list-style-type: none"> - C/N ratio 15, 20, 25 30 และ 35 - อุณหภูมิในการดำเนินการ 20, 30, 40, 50 	<ul style="list-style-type: none"> - C/N ratio 15 และ 20 ที่อุณหภูมิ 35 °C และ 55 °C มีค่า TAN 2,610 mg/l และ 461 mg/l ตามลำดับ

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	หัวข้อที่ทำการศึกษา	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	ของการย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้อากาศ ของมูลโคนม มูลไก่ และฟางข้าว กรณีศึกษาการยับยั้งแอมโมเนีย	และ 60 °C - ปริมาณในการทดลอง 11 - ปริมาณในการทดลอง 600 ml - ปริมาณเชื้อตั้งต้น 200 ml - ปริมาณสารตั้งต้นผสม 15 gVS/l - ระยะเวลาที่เก็บ 15 days	- C/N ratio 25 และ 30 ที่อุณหภูมิ 30 °C และ 55 °C มีค่า TAN 985 mg/l และ 430-1,426 mg/l มี ศักยภาพผลิตมีเทน 265.7 ml/gVS และ 309.9 ml/gVS
Nie และคณะ (2015)	การหมักโดยใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น เพียงชนิดเดียว กรณีศึกษาการยับยั้ง แอมโมเนียและหมักโดยการหมุนเวียน	- ปริมาณในการทดลอง 10l ถังหมักเป็น แบบ CSTR ดำเนินการแบบกึ่งต่อเนื่อง - อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 40 °C - ความเร็วในการกวน 100 rpm - อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.3-6.7 gVS/l-day - อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ Ammonia stripping 75-85 °C	- อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.3 gVS/l-day ได้ค่าเฉลี่ย FAN 0.77 g/l และก๊าซจำเพาะ 0.39 l/gVS - อัตราป้อนสารอินทรีย์ 6.0 gVS/l-day ได้ค่าเฉลี่ย FAN 0.86 g/l และก๊าซจำเพาะ 0.27 l/gVS - กระบวนการ Ammonia stripping ที่อุณหภูมิ 80 °C สามารถลดอัตราการสะสม TAN ได้ 72%
Weerayuttil และ คณะ (2016)	อัตราส่วนระหว่างมูลไก่กับหญ้าเนเปียร์ที่ เหมาะสมในการหมักร่วมแบบไม่ใช้อากาศ ชั้นตอนเดียว	- ปริมาณในการทดลอง 5 l - อัตราส่วนมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์ 1:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:1 - ความคุม TS ในระบบ 2% - เวลาในการกักเก็บ 48 days - ความคุมอัตราส่วนเชื้อตั้งต้นต่อวัตถุดิบตั้ง	- อัตราส่วน VFA/Alk ของมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์ 1:0, 3:1, 1:1 และ 1:3 อยู่ในช่วง 0.1-0.3 และ อัตราส่วน VFA/Alk ของมูลไก่ต่อหญ้าเนเปียร์ 0:1 เท่ากับ 0.67 - ก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วนที่ 1:0 เท่ากับ 2,000 ml อัตราส่วนที่ 0:1 เท่ากับ 1,800 ml อัตราส่วนที่ 3:1,

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	หัวข้อที่ทำการศึกษา	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
		ตัน 30:70 - ความเร็วในการกวน 30 rpm เป็น ระยะเวลา 15 min ทุก ๆ 3 h	1:1 และ 1:3 เท่ากับ 3,600, 4,000 และ 3,900 ml ตามลำดับ - ร้อยละมีเทนที่อัตราส่วน 1:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:1 เท่ากับ 48.6, 56.4, 64.4, 58 และ 36 ตามลำดับ
Wlazlo และคณะ (2016)	การกำจัดแอมโมเนียของมูลไก่ด้วยอะลูมิเนียมซิลิเกต	- น้ำหนักของมูลไก่ 100 g - บ่มที่อุณหภูมิ 25 °C - ระยะเวลาในการบ่ม 14 days - ใช้โซเดียมเบนโทไนท์ 1% และ 2% และ ซีโอไลท์ 1% และ 2% สำหรับการกำจัด แอมโมเนีย	- โซเดียมเบนโทไนท์ 1% ลดลงของระดับ แอมโมเนีย 73.6% - โซเดียมเบนโทไนท์ 2% ลดลงของระดับ แอมโมเนีย 71% - ซีโอไลท์ 1% ลดลงของระดับแอมโมเนีย 72.9% - ซีโอไลท์ 2% ลดลงของระดับแอมโมเนีย 73.1%

จากการตรวจเอกสารพบว่ามูลไก่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากมีปริมาณของสารอินทรีย์คั่งคั่งที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียในระบบการหมัก ซึ่งการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าการใช้มูลสัตว์ชนิดอื่น ๆ (ปวันรัตน์, 2557; Wang และคณะ, 2014) และการนำมูลไก่มาเพิ่มมูลค่าเพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ นอกจากได้พลังงานเพื่อใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือนแล้ว ยังสามารถช่วยลดมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

แต่การหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ ยังมีปัญหาเกี่ยวข้องการยับยั้งของการผลิตก๊าซมีเทน เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนในระบบสูง มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแอมโมเนียในระบบ และส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย เพราะเหตุนี้จึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดแอมโมเนียหลากหลายวิธี เช่น การตกตะกอนของแมกนีเซียมซัลเฟตในการลดแอมโมเนียในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (พงศัตถดา, 2555), ใช้ระบบหมุนเวียนผ่านแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดแอมโมเนียจากฟาร์มสุกรและฟาร์มไก่ (ศิริปชัย และคณะ, 2552), ใช้กระบวนการ ammonia stripping ในการกำจัดแอมโมเนีย (Abouelenien และคณะ, 2010) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีสามารถลดแอมโมเนียได้ดี แต่บางวิธีในการกำจัดแอมโมเนียยังมีค่าใช้จ่ายสูง หรือมีระบบที่ซับซ้อน เช่น กระบวนการ ammonia stripping ต้องใช้พลังงานด้านความร้อนเข้ามาช่วยในกระบวนการ (Nie และคณะ, 2015; Wlazlo และคณะ, 2016) และบางวิธียังมีสถานะที่ไม่เหมาะสมในการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น การใช้ระบบหมุนเวียนผ่านแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเป็นระบบที่เปิดให้อากาศไหลเข้าออกได้ และใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำให้ไหลเวียน (ศิริปชัย และคณะ 2552) หรือการตกตะกอนของสารเคมีที่ต้องดำเนินการที่ pH สูง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการหมักก๊าซชีวภาพ (ศิริปชัย และคณะ 2552; อานนท์, 2552) แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหมักก๊าซได้ ดังนั้นจึงสนใจที่นำวิธีการตกตะกอนทางเคมีมาลดแอมโมเนียในมูลไก่ เพราะเป็นวิธีที่ง่าย เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน สามารถดำเนินการได้ในอุณหภูมิต่ำ และเป็นวิธีการใหม่สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ได้

ส่วนที่ 2 ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของทางเคมีของมูลไก่

ผลการศึกษาคูสมบัติและองค์ประกอบของมูลไก่ในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 9 จากผลการวิเคราะห์ พบว่ามูลไก่มีค่า TS และ VS เท่ากับ 24.9 % และ 19.4 % ตามลำดับ โดยปกติในการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพของเสียอินทรีย์ จะใช้ค่า TS และ VS สำหรับออกแบบ เมื่อค่า TS และ VS มีค่าสูงก็จะส่งผลให้กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนประกอบของของแข็งที่สามารถย่อยสลายได้ในชีวมวลสามารถพิจารณาได้จากค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าปริมาณของแข็งระเหยได้ ชีวมวลที่มีค่า VS มาก จะมีส่วนประกอบที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้อยู่มาก แต่หากมีค่า TS และ VS มากเกินไปก็จะส่งผลให้มีความชื้นในระดับที่น้อย ความชื้น (Moisture content) ก็มีผลต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพเช่นกัน เนื่องจากถ้าระบบมีความชื้นน้อยเกินไป จะมีผลต่อการกระจายของเชื้อและ

สารอาหาร (Jewell และคณะ 1980) ทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพน้อยลง โดยที่ VS/TS ที่เหมาะสมของกระบวนการหมักในสภาพไร้อากาศอยู่ในช่วง 0.6-0.7 จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาคูณสมบัติและองค์ประกอบ พบว่า มูลไก่ มีค่า VS/TS เท่ากับ 0.78 ซึ่งอยู่ในค่าที่เหมาะสม ดังนั้น มูลไก่เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศเพื่อถูกใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในระบบ และเปลี่ยนสารอาหารเป็นก๊าซชีวภาพ

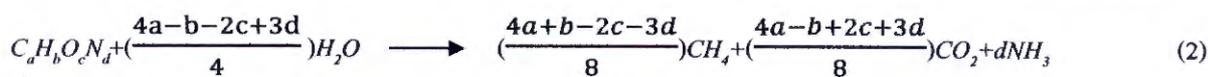
แต่มูลไก่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำจากการทดลองมีค่า 10.1 ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ของสารอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8-30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 (พลกฤษณ์, 2557) ดังนั้นในการย่อยสลายเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบจำเป็นที่จะต้องกำจัดไนโตรเจนเนื่องจากไนโตรเจนที่อยู่ในมูลไก่เมื่อทำการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งส่งผลต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนและอาจทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในโตรเจนขึ้นในระบบ แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวนเมทาโนเจนลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของมูลไก่

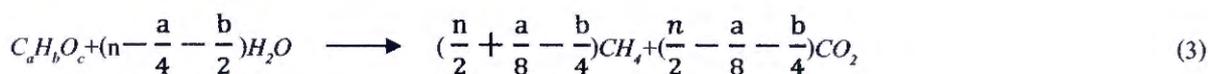
รายการ	ผลการวิเคราะห์
Total Solid (TS) (%)	24.9
Volatile Solid (VS) (%)	19.4
VS/TS	0.78
Carbon (%)	36.2
Nitrogen (%)	3.6
Hydrogen (%)	4.7
Oxygen (%)	32.4
C/N	10.1

ส่วนที่ 3 การประเมินศักยภาพเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่

ในทางทฤษฎีสามารถประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลได้จากองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ตามสมการที่ 2 และ 3 ซึ่งในกระบวนการสร้างมีเทนของจุลินทรีย์ (Methanogenic Bacteria) จะเปลี่ยน Acetate ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ (Sialve และคณะ, 2009; Pavlostathis และ Giraldo-Gomez, 1991) จากสมการสามารถคำนวณหาปริมาณของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบว่าก๊าซชีวภาพของมูลไก่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงที่ร้อยละ 45.61 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร้อยละ 46.54 และก๊าซแอมโมเนียที่ร้อยละ 7.85 โดยคิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพได้ 948.14 ลิตรต่อกิโลกรัม ซึ่งหมายความว่าสารอินทรีย์ในมูลไก่ สามารถย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ได้สูงร้อยละ 45.61 ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ward และคณะ (2008) กล่าวว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากสารอินทรีย์ของชีวมวลมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 48-65 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 36-41 อย่างไรก็ตามการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่ได้จากสมการทางทฤษฎี ดังนั้นคณะผู้วิจัยจะมีการทดลองศึกษาจากห้องปฏิบัติการเพื่อหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เพื่อใช้เป็นแนวทางและองค์ความรู้ต่อไป



ที่มา : Sialve และคณะ, (2009)



ที่มา : Giraldo-Gomez, (1991)

ตารางที่ 10 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลไก่

ธาตุ	ผลการวิเคราะห์					ปริมาณก๊าซชีวภาพ ⁴ (L/kg)
	ร้อยละ ¹	โมล ²	CH ₄ ³	CO ₂ ³	NH ₃ ³	
C	36.2	3.02	45.61 (%)	46.54 (%)	7.85 (%)	948.14
H	4.7	4.70				
O	32.4	2.03				
N	3.6	0.26				

หมายเหตุ : ¹ข้อมูลธาตุองค์ประกอบของมูลไก่

²โมล = น้ำหนักกรัม/มวลโมเลกุล

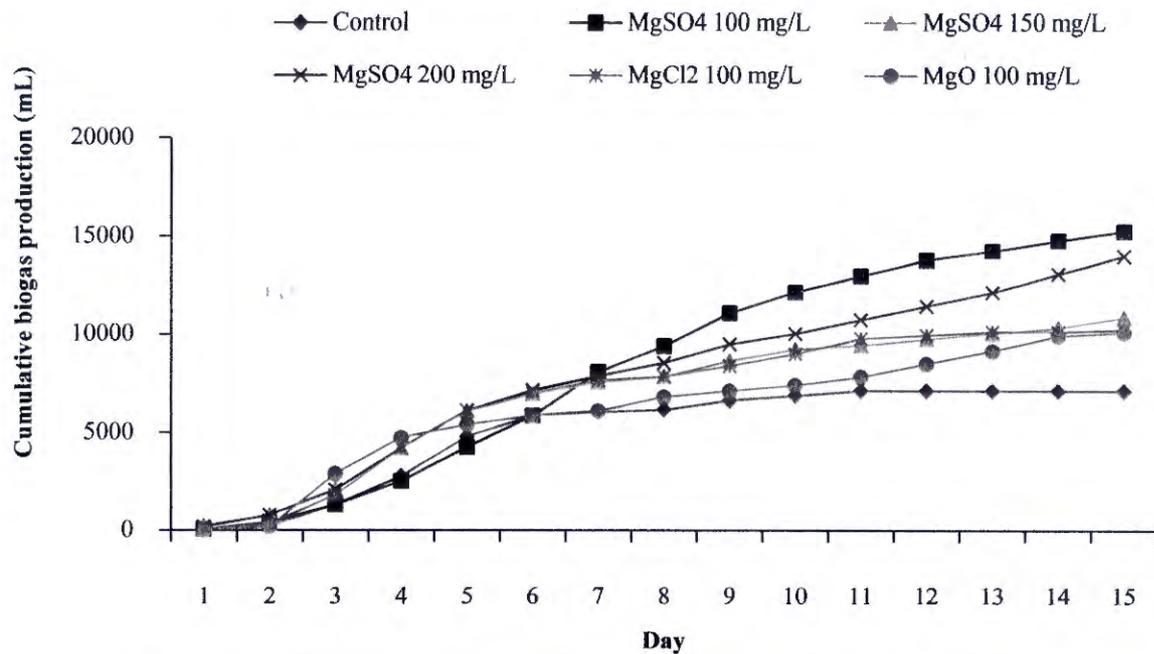
³ปริมาณ CH_4 , CO_2 และ NH_3 คำนวณจากสมการที่ 2

⁴ก๊าซชีวภาพมีมีเทนร้อยละ 60

ส่วนที่ 4 ศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจากมูลไก่

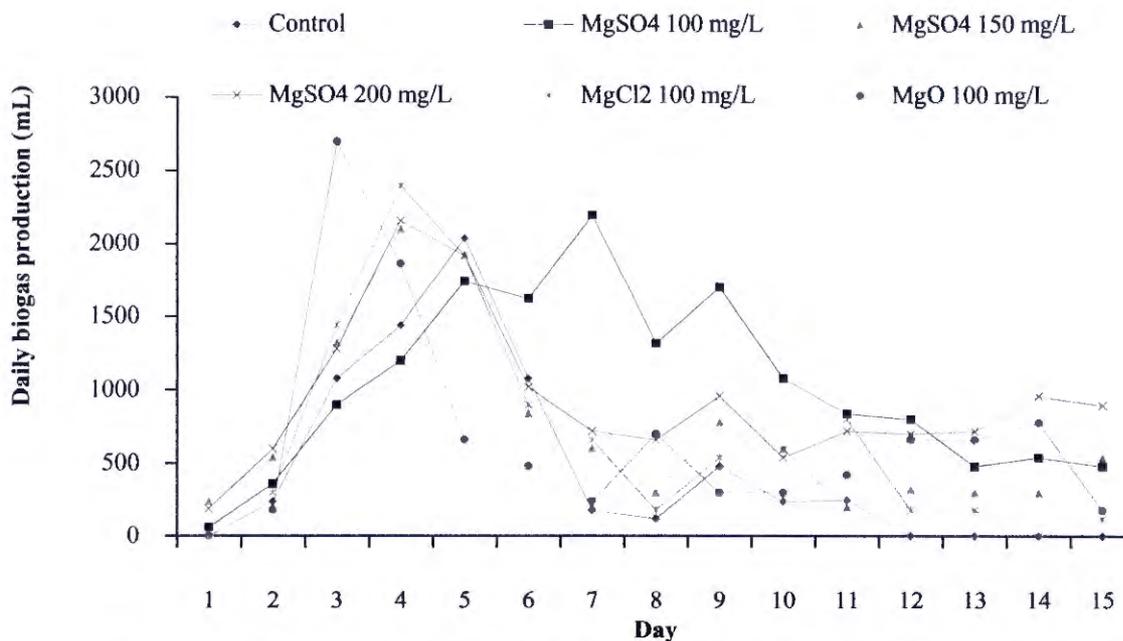
4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารเคมีที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารเคมีที่เหมาะสมในการลดไนโตรเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ในช่วงความเข้มข้น 100-200 mg/l พบว่า มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดเท่ากับ 15,320 ml เมื่อใช้ความเข้มข้นของ MgSO_4 ที่ความเข้มข้น 100 mg/l มีองค์ประกอบของมีเทนเท่ากับ 68 % และปริมาณ 0.69 ลิตร CH_4 /วัน ในการผลิตก๊าซมีเทนที่ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ในขณะที่การผลิตก๊าซชีวภาพสะสมของถังควบคุมต่ำกว่าการทดลองอื่นๆ โดยมีก๊าซชีวภาพสะสมที่ 7,150 ml ที่ระยะเวลาการหมัก 15 วัน มีการสะสมของก๊าซชีวภาพในถังควบคุมเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 10 และหลังจากนั้นการสะสมของก๊าซชีวภาพ เริ่มคงที่สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 10,900 ml และ 14,050 ml ที่ระดับความเข้มข้นของ MgSO_4 150 mg/l และ 200 mg/l ในระยะเวลาการหมัก 15 วัน ตามลำดับ เมื่อใช้ MgCl_2 และ MgO ที่ความเข้มข้น 100 mg/l มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 10,280 ml และ 10,120 ml ที่ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ตามลำดับและมีการสะสมของก๊าซชีวภาพคงที่ที่ระยะเวลาการหมัก 12 และ 14 วัน เมื่อใช้ MgCl_2 และ MgO ที่ความเข้มข้น 100 mg/l ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของถังควบคุมกับทุกการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของ MgSO_4 ที่ความเข้มข้น 100 mg/L มีก๊าซชีวภาพสะสมเพิ่มขึ้น 53.3% รองลงมาคือ MgSO_4 ที่ความเข้มข้น 200 mg/l และ 150 mg/l มีก๊าซชีวภาพสะสมเพิ่มขึ้น 49.1% และ 34.4% ตามลำดับ และการใช้ MgCl_2 และ MgO ที่ความเข้มข้น 100 mg/l มีก๊าซชีวภาพสะสมเพิ่มขึ้น 30.4% และ 29.3% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการใช้ MgSO_4 , MgCl_2 และ MgO ที่ความเข้มข้นเดียวกัน คือ 100 mg/l พบว่า MgSO_4 มีก๊าซชีวภาพสะสมเพิ่มขึ้น 32.9% และ 31.9% จากการใช้ MgCl_2 และ MgO ตามลำดับ ดังแสดงผลการทดลองในภาพที่ 15



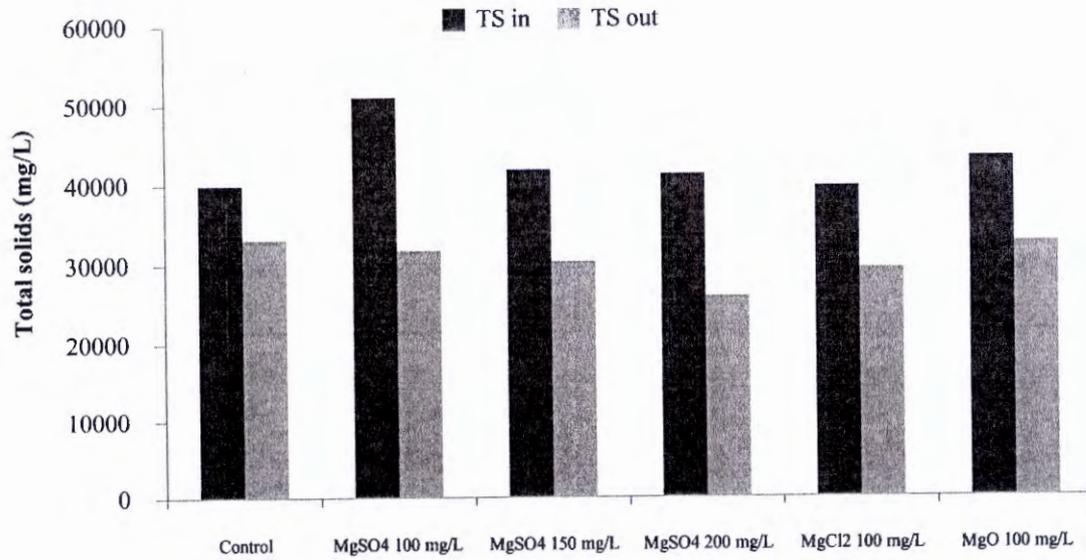
ภาพที่ 15 แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

ภาพที่ 16 แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันตลอดระยะเวลาการหมัก 15 วัน พบว่า ในช่วง 1-5 วันแรกเกือบทุกการทดลองมีแนวโน้มปริมาณก๊าซชีวภาพสูงขึ้น และหลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงและคงที่ โดย การทดลองที่ความเข้มข้น $MgSO_4$ 100 mg/l มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดในวันที่ 7 คือ 2,200 ml การทดลองที่ความเข้มข้น $MgSO_4$ 150 mg/l, 200 mg/l และ $MgCl_2$ 100 mg/l มีปริมาณก๊าซชีวภาพ สูงสุดในวันที่ 4 คือ 2,100 ml 2,160 ml และ 2,400 ml ตามลำดับ สำหรับ การทดลองที่ความเข้มข้น MgO 100 mg/l มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดในวันที่ 3 คือ 2,700 ml ในขณะที่ถ่วงควบคุมมีปริมาณการผลิตก๊าซ ชีวภาพต่ำกว่าการทดลองอื่นๆ โดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดในวันที่ 5 คือ 2,040 ml และไม่มี การเกิดก๊าซ ชีวภาพเกิดขึ้นหลังจากวันที่ 12 ของระยะเวลาการหมัก



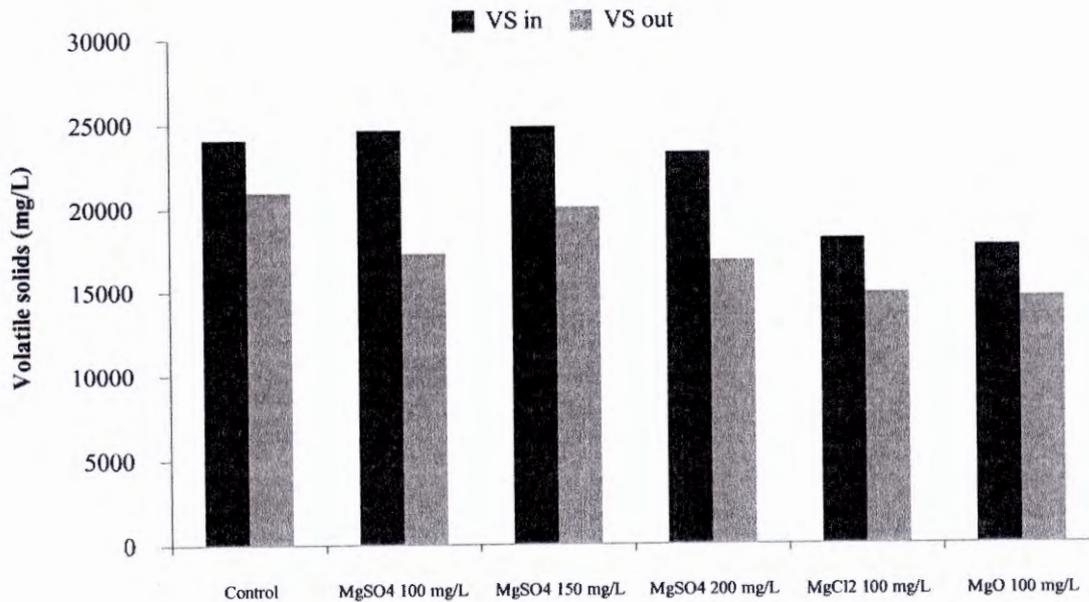
ภาพที่ 16 แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันตลอดระยะเวลาการหมัก 15 วัน ที่ความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีต่างๆ

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง TS VS และ COD ก่อนและหลังการหมักของแต่ละการทดลองแสดงในภาพที่ 17-19 พบว่า การทดลองที่ความเข้มข้น $MgSO_4$ 100 mg/l มี TS ลดลงจาก 51,080 mg/l เป็น 31,843 mg/l และ VS ลดลงจาก 24,653 mg/l เป็น 17,300 mg/l และ COD ลดลงจาก 31,893 mg/l เป็น 22,187 mg/l โดยมี ประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD ที่ 37.7%, 29.8% และ 30.4% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD ที่สูงกว่าการทดลองที่ใช้ความเข้มข้น $MgSO_4$ 150 mg/l, 200 mg/l รวมทั้งการทดลองที่ใช้ $MgCl_2$ และ MgO ที่ความเข้มข้นเดียวกัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด TS เท่ากับ 27.3%, 37.3%, 25.7% และ 24.5% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัด VS เท่ากับ 19.2%, 27.8%, 18.2% และ 17.4% ตามลำดับและ ประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 22.2%, 29.4 %, 20.0% และ 20.0% ตามลำดับซึ่งการใช้สารเคมีที่ความเข้มข้นต่างๆ ทุกการทดลองให้ประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD มีค่าสูงกว่าถึงควบคุม (17%, 12.8% และ 15.8% ตามลำดับ) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดไนโตรเจนโดยใช้สารเคมีที่ความเข้มข้นที่ทดสอบไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่



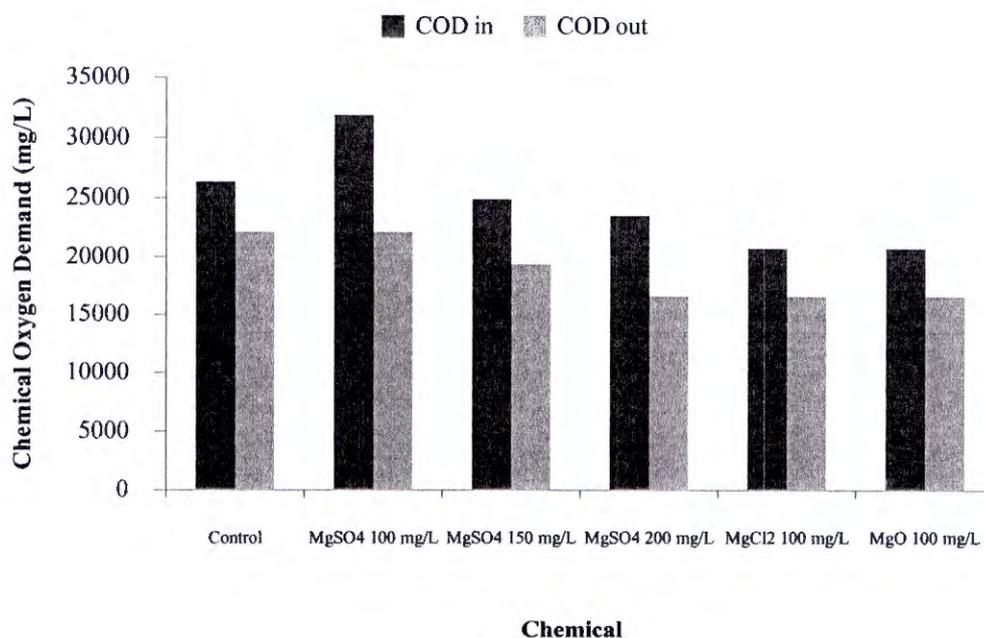
Chemical

ภาพที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบ TS ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ



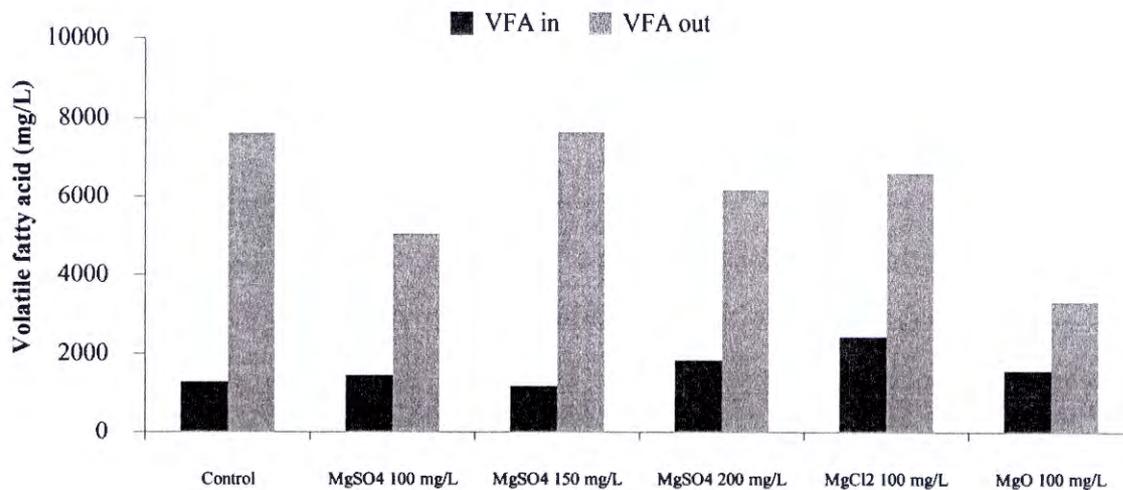
Chemical

ภาพที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบ VS ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ



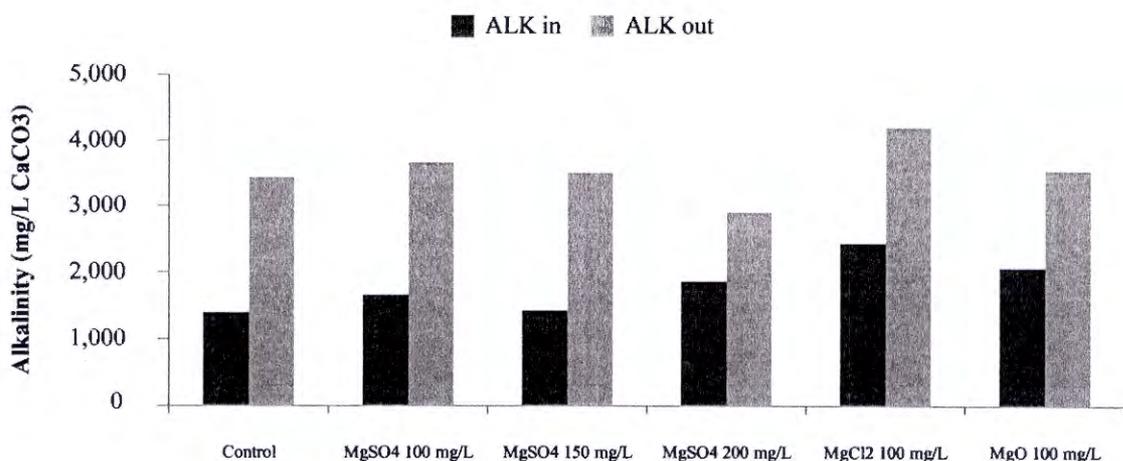
ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบ COD ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

ภาพที่ 20 และ 21 แสดงการเปลี่ยนแปลง ALK และ VFA ก่อนและหลังการหมักของแต่ละการทดลอง พบว่าหลังจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการหมักพบว่า การทดลองที่ความเข้มข้น MgSO₄ 100 mg/l มี ALK และ VFA เพิ่มขึ้นหลังจากสิ้นสุดการทดลองที่ 3,667 mg/l CaCO₃ และ 5,052 mg/L ซึ่งมีค่า VFA น้อยกว่าถึงควบคุม (7,636 mg/l) และอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดย ALK ที่เหมาะสมของกระบวนการหมักควรอยู่ในช่วง 1,000-5,000 mg/l ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) (Gray, 2004) ส่วน VFA ไม่ควรเกิน 3,000 mg/l (McCarty, 2001) แต่อาจทนได้ถึง 5,000 mg/l (สุเมธ, 2529) สำหรับการทดลองที่ความเข้มข้น MgSO₄ 150 mg/l, 200 mg/l มี ALK เพิ่มขึ้นหลังจากสิ้นสุดการทดลองที่ 3,500 และ 2,900 mg/l CaCO₃ ตามลำดับ และ VFA มีค่า 7,662 และ 6,195 mg/l ตามลำดับ และการทดลองโดยใช้ MgCl₂ และ MgO ที่ความเข้มข้น 100 mg/l มี ALK เพิ่มขึ้นหลังจากสิ้นสุดการทดลองที่ 4,200 และ 3,533 mg/l CaCO₃ ตามลำดับ และ VFA มีค่า 6,623 และ 3,338 mg/l ตามลำดับ



Chemical

ภาพที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบ VFA ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

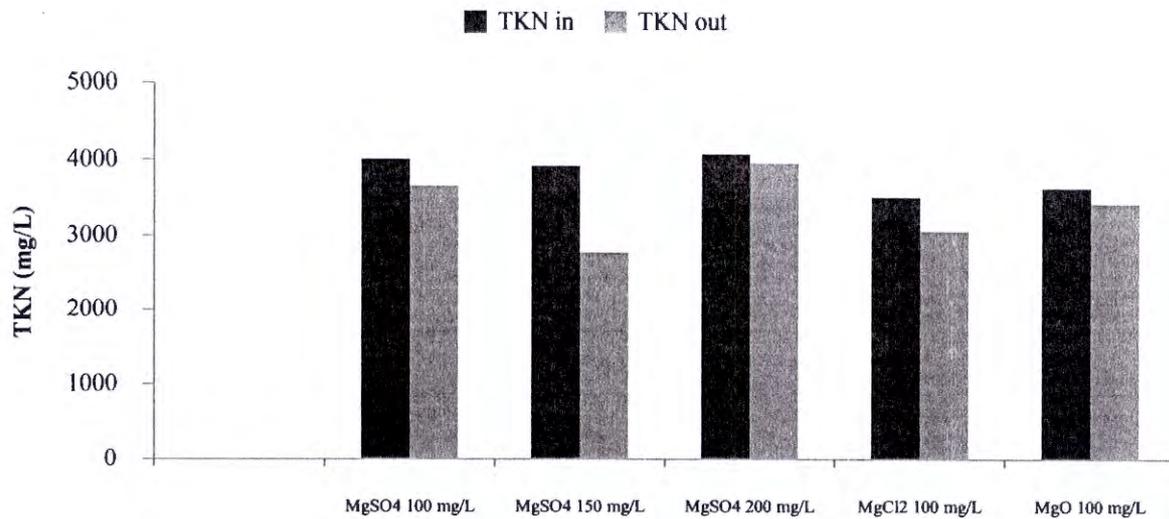


Chemical

ภาพที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบ ALK ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

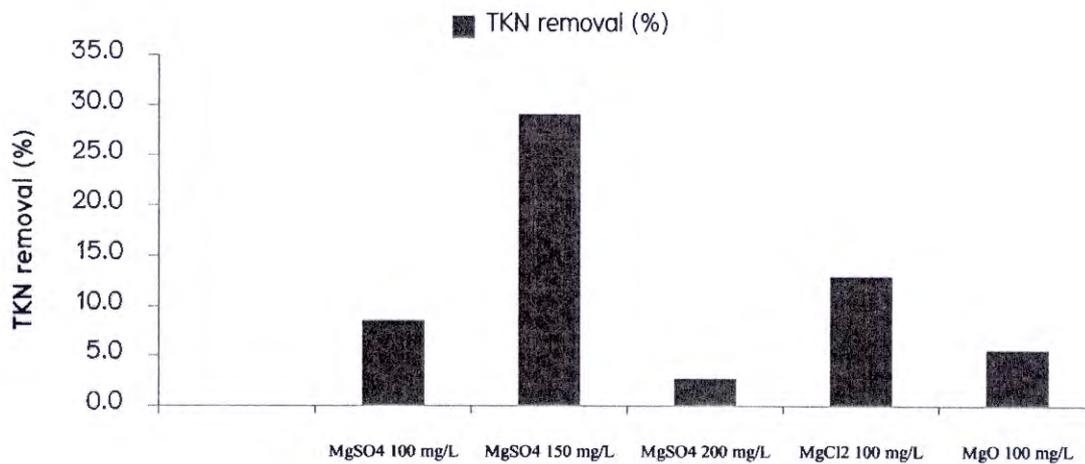
ภาพที่ 22 แสดงการเปลี่ยนแปลง TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) ก่อนและหลังการหมักของแต่ละการทดลองพบว่า หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ทุกการทดลองจะมีค่าTKN ลดลงเล็กน้อย โดยการทดลองที่ความเข้มข้น MgSO₄ ที่ 100, 150, 200 mg/l มีค่า TKN ลดลงจาก 4,011 3,923 และ 4,076 mg/l เหลือ 3,666 2,778 และ 3,965 mg/l ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด TKN ที่ 8.6, 29.2, 2.7 % ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 23 และการทดลองโดยใช้ MgCl₂ และ MgO ที่ความเข้มข้น 100 mg/l มีค่า TKN

ลดลงจาก 3,521 และ 3,641 mg/l เหลือ 3,064 และ 3,438 mg/l ตามลำดับคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด TKN ที่ 13.0 และ 5.6% ตามลำดับ



Chemical

ภาพที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบ TKN ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ



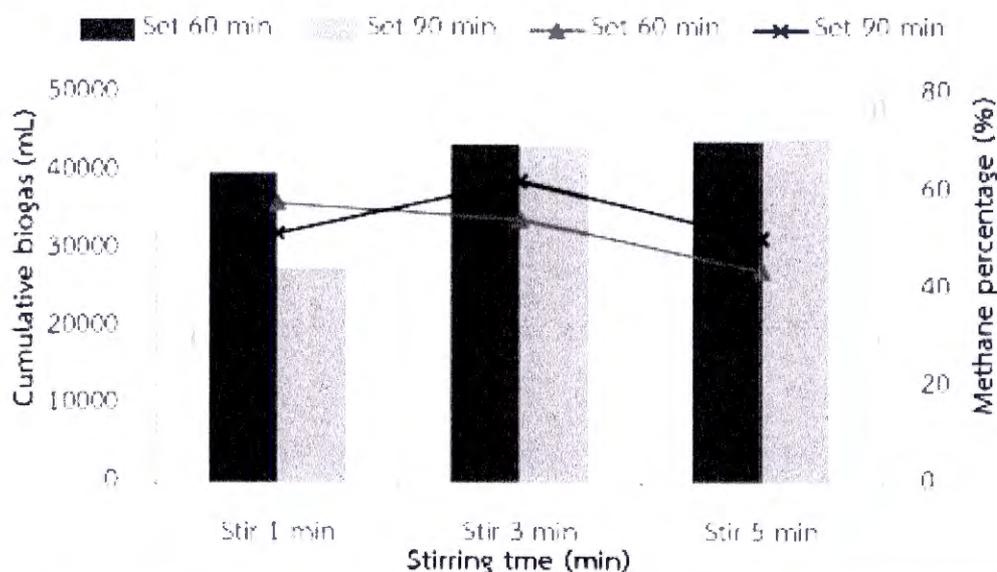
Chemical

ภาพที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบ %การกำจัด TKN ที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาการกวนและการตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ ต่อปริมาณก๊าซสะสมและสัดส่วนของก๊าซมีเทน

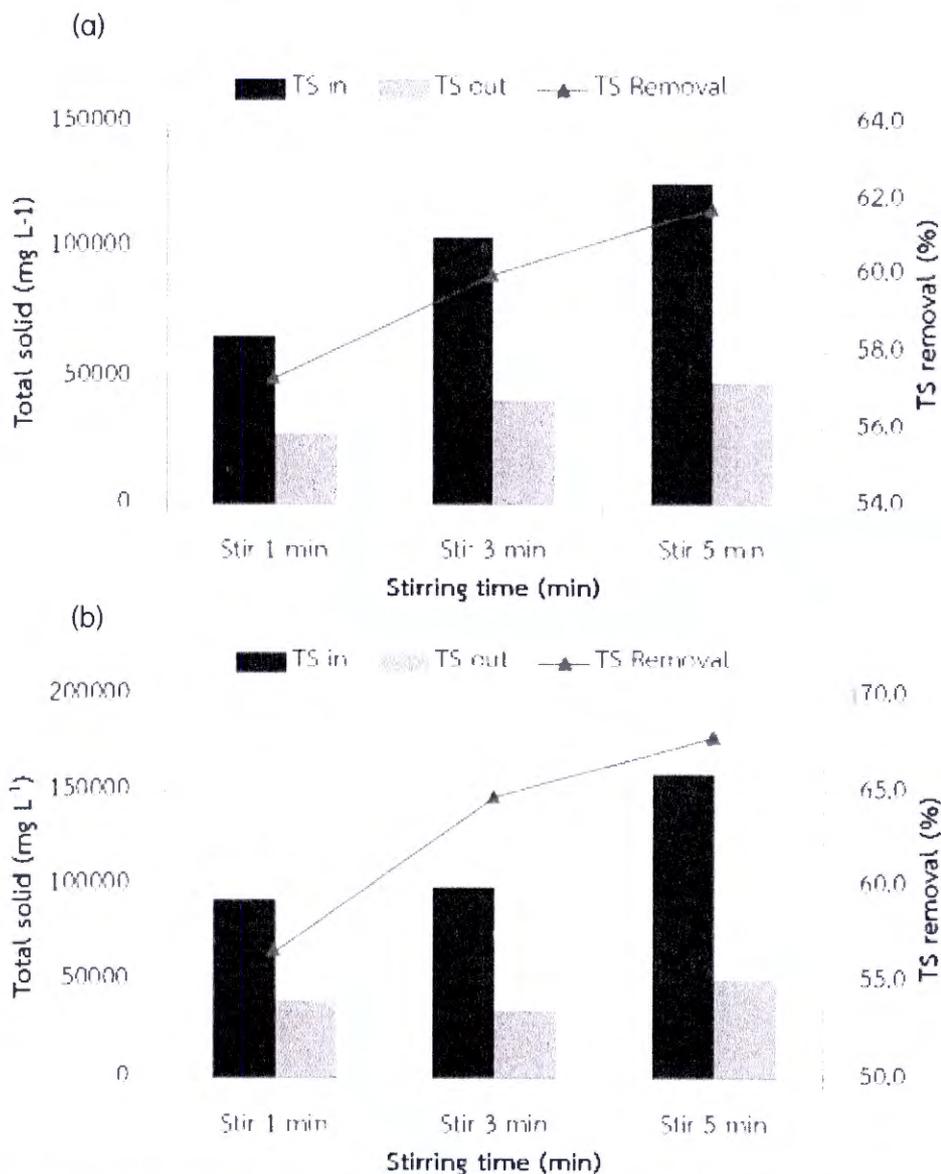
จากการทดลองลดไนโตรเจนในมูลไก่ด้วย $MgSO_4$ ความเข้มข้น 100 mg/L โดยศึกษาเวลาการกวนและการตกตะกอนก่อนนำมูลไก่มาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการหมักในระดับห้องปฏิบัติการในสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศปริมาตรการหมัก 15 ลิตรอุณหภูมิในการหมัก 34 ± 2 °C ระยะเวลาการหมัก 20 วัน จากภาพที่ 24 แสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซสะสมของการทดลองโดยได้ทดลองที่เวลาการกวนและเวลาตกตะกอน $MgSO_4$ ที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณก๊าซสะสมสูงสุดพบที่เวลาการกวน 5 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที มีปริมาณก๊าซสะสมคือ 44,500 ml รองลงมาคือ 43,300 ml และ 27,900 ml ที่เวลาการกวน 3 นาที และ 1 นาที ตามลำดับจากการทดลองที่เวลาตกตะกอน 60 นาที ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 40,000, 43,800 และ 44,000 ml ที่เวลาการตกตะกอน 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซสะสมกับชุดควบคุมที่ไม่มีกรดไนโตรเจนด้วย $MgSO_4$ พบว่าการผ่านกระบวนการลดไนโตรเจนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้ซึ่งชุดควบคุมให้ปริมาณก๊าซสะสม 7,150 ml (Jaisin และคณะ 2017)

อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซชีวภาพ พบว่าที่เวลาการกวน 3 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที ให้สัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุด 62.3% ซึ่งให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดคิดเป็น 26,976 ml รองลงมาคือที่เวลาการกวน 5 นาที และ 1 นาที ให้สัดส่วนของก๊าซมีเทน 50.6% และ 51.8% ตามลำดับ ซึ่งให้ปริมาณก๊าซมีเทนคิดเป็น 22,517 ml และ 14,452 ml ตามลำดับ เนื่องจากระยะเวลาในการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาของสาร $MgSO_4$ ในมูลไก่ ขณะที่การทดลองเวลาตกตะกอน 60 นาที ให้สัดส่วนของก๊าซมีเทน 57.7%, 54.5% และ 43.9% ที่เวลาการกวน 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ ซึ่งให้ปริมาณก๊าซมีเทนคิดเป็น 23,080, 23,871 และ 19,316 ml ตามลำดับ



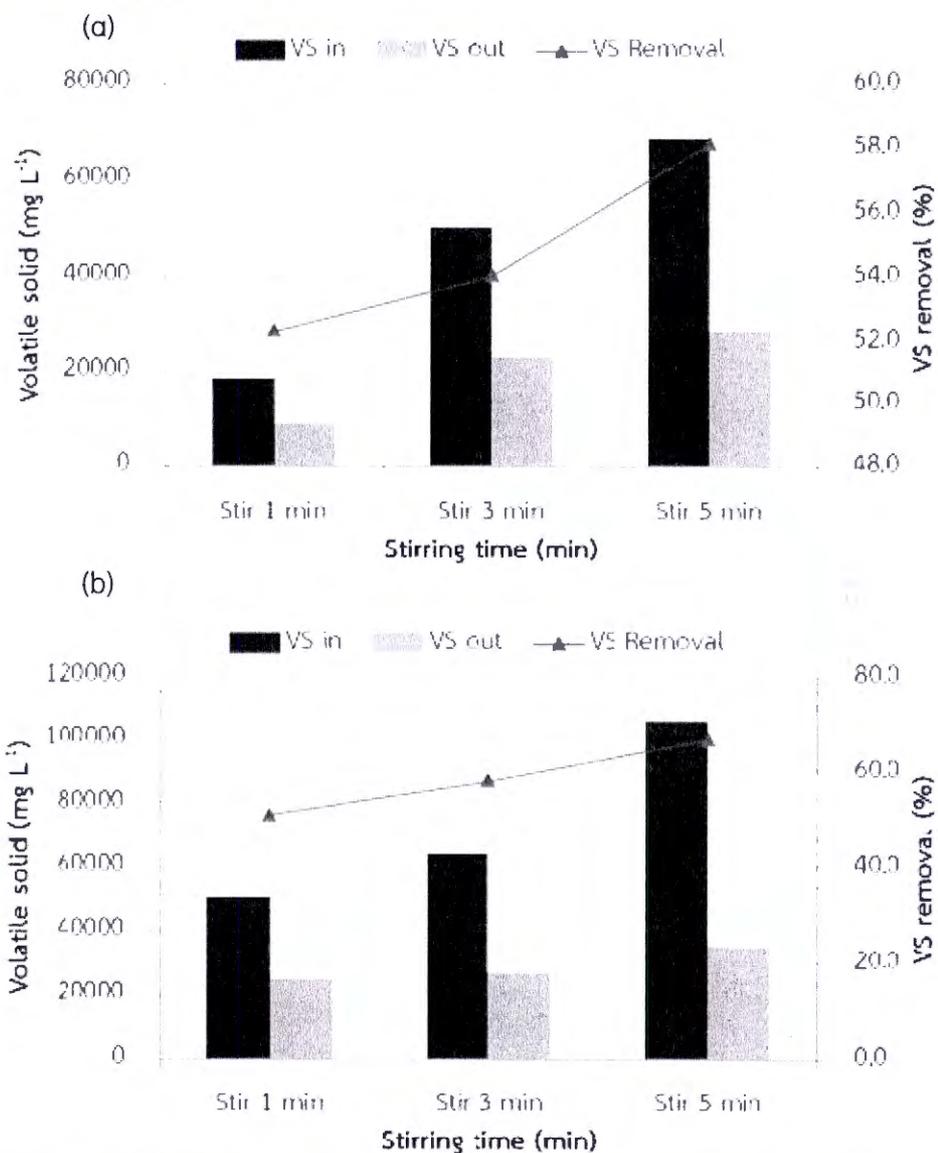
ภาพที่ 24 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและสัดส่วนของก๊าซมีเทน ที่ระยะเวลาการกวนและการตกตะกอนต่างๆ ด้วย $MgSO_4$

ปริมาณ TS ก่อนและหลังการหมักที่เวลาการตกตะกอน 60 นาที ดังภาพที่ 25 (a) และเวลาการตกตะกอน 90 นาที ดังภาพที่ 24 (b) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุดที่เวลาการกวน 5 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที โดยปริมาณ TS เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 159,407 mg/L หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 20 วันลดลงเหลือ 51,240 mg/L คิดเป็น 67.9% ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด TS ต่ำสุดพบที่เวลาการกวน 1 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที ซึ่งมีปริมาณ TS เริ่มต้นในระบบเท่ากับ 93,000 mg/L หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 20 วันลดลงเหลือ 40,380 mg/L คิดเป็น 56.6% สาเหตุที่ปริมาณ TS ในระบบลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบหมักจะย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตด้วยการทดลองการหมักมูลสุกรมีประสิทธิภาพการกำจัด TS ในระบบสูงถึง 84.4% (จิตชนก, 2011)



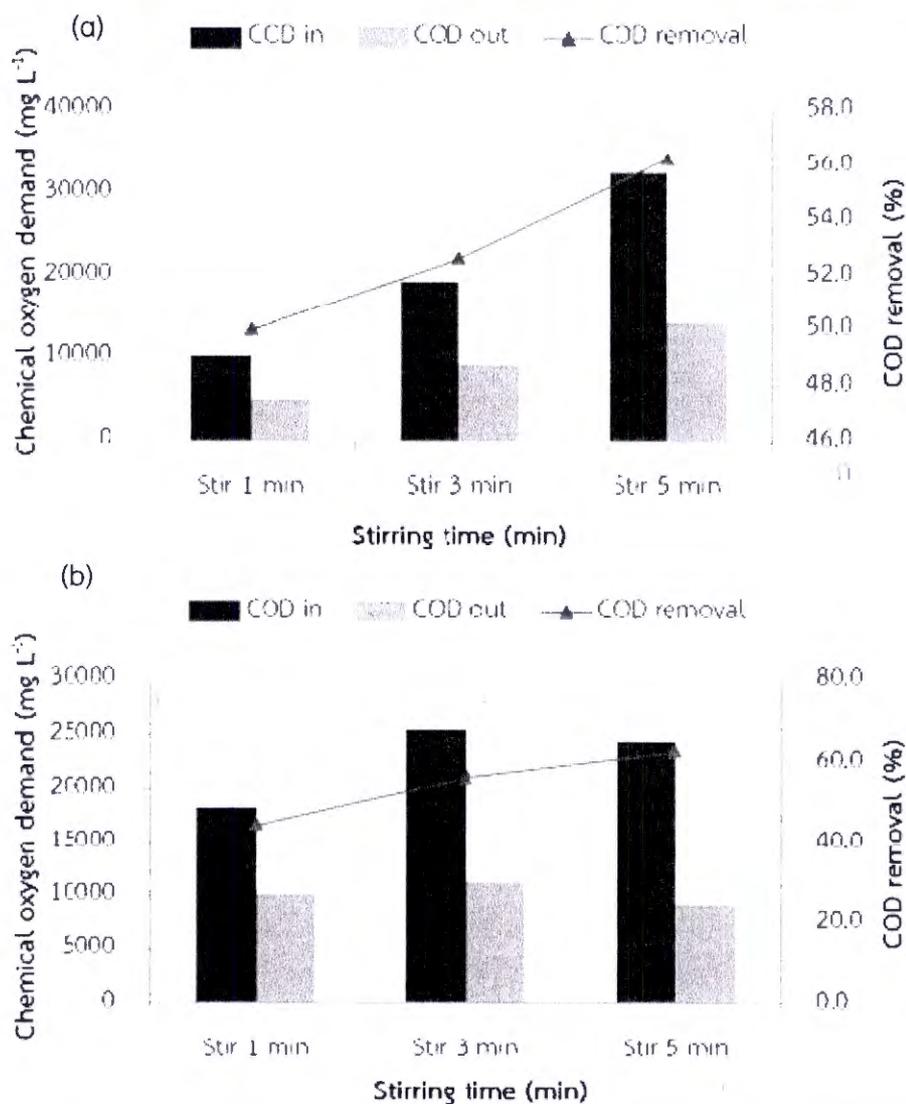
ภาพที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบ TS ก่อนและหลังการหมักและ %การกำจัดTS ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆ และเวลาการตกตะกอน 60 นาที (a) และเวลาการตกตะกอน 90 นาที (b)

ปริมาณ VS ก่อนและหลังการหมักที่เวลาการตกตะกอน 60 นาที ดังภาพที่ 25 (a) และเวลาการตกตะกอน 90 นาที ดังภาพที่ 26 (a) พบว่าการประสิทธิภาพกำจัด VS สูงที่สุดที่เวลาการกวน 5 min เวลาตกตะกอน 90 min โดยปริมาณ VS เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 105,667 mg/L หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 20 วัน ลดลงเหลือ 35,340 mg/L คิดเป็น 66.6% ในขณะที่การกำจัด VS ต่ำสุด พบที่เวลาการกวน 1 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาทีซึ่งมีปริมาณ VS เริ่มต้นในระบบเท่ากับ 50,833 mg/L หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 20 วัน ลดลงเหลือ 25,017 mg/L คิดเป็น 50.8% โดยทั่วไป VS เป็นของแข็งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งในระบบหมักก๊าซชีวภาพจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพด้วยการทดลองของรุ่งทิwaและคณะ (2015) ได้ทำการทดลองการหมักร่วมของมูลสุกรและหญ้าเนเปียร์ ซึ่งพบว่าปริมาณ VS ในระบบถูกใช้ไป 80% (รุ่งทิwaและคณะ, 2015)



ภาพที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบ VS ก่อนและหลังการหมักและ %การกำจัด VS ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆ และเวลาการตกตะกอน 60 นาที (a) และเวลาการตกตะกอน 90 นาที (b)

ปริมาณ COD ก่อนและหลังการหมักที่เวลาการตกตะกอน 60 นาที ดังภาพที่ 27 (a) และเวลาการตกตะกอน 90 นาที ดังภาพที่ 26 (b) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงที่สุดที่เวลาการกวน 5 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที โดยปริมาณ COD เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 24,381 mg/L หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 20 วัน ลดลงเหลือ 9,143 mg/L คิดเป็น 62.5% ในขณะที่การกำจัด COD ต่ำสุดพบที่เวลาการกวน 1 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที ซึ่งมีปริมาณ COD เริ่มต้นในระบบเท่ากับ 18,286 mg/L หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 20 วัน ลดลงเหลือ 10,159 mg/L คิดเป็น 44.4% การลดลงของปริมาณ COD เกิดเนื่องจากสารอินทรีย์ในระบบถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายไปแต่ยังคงเหลือสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้อยู่ในระบบ ซึ่งการทดลองหมักร่วมระหว่างผักตบชวา กับมูลสุกรของ นิลวรรณ และอัจฉรา (2013) ซึ่งมีปริมาณ COD ลดลงเมื่อทำการหมักก๊าซชีวภาพ โดยสามารถกำจัด COD สูงถึง 90% (นิลวรรณ และอัจฉรา, 2013)



ภาพที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบ COD ก่อนและหลังการหมักและ %การกำจัด COD ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆและเวลาการตกตะกอน 60 นาที (a) และเวลาการตกตะกอน 90 นาที (b)

ส่วนที่ 5 ทดสอบค่า BMP (Biochemical Methane Potential)

จากผลการศึกษาระยะเวลาการกวนและการตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ ความเข้มข้น 100 mg/L ก่อนนำมูลไก่มาผลิตก๊าซชีวภาพ ที่อัตราส่วนมูลไก่ต่อน้ำ 1:3 โดยทำการหมักในระดับห้องปฏิบัติการในสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศปริมาตรการหมัก 15 ลิตร อุณหภูมิในการหมัก 34 ± 2 °C ระยะเวลาการหมัก 20 ผลการทดลองสามารถคำนวณหาค่า BMP หรือศักยภาพของระบบรวมทั้งประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ พบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในช่วง $0.024-0.079$ $m^3/kgCOD_{remove}$ และการผลิตมีเทนในช่วง $0.011-0.045$ $m^3/kgCOD_{remove}$ ที่การตกตะกอน 60 นาที และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพในช่วง $0.029-0.034$ $m^3/kgCOD_{remove}$ และการผลิตมีเทนในช่วง $0.015-0.019$ $m^3/kgCOD_{remove}$ ที่การตกตะกอน 90 นาที โดยคิดเป็น % BMP สูงสุดที่ 22.50 % ดังแสดงในตารางที่ 11

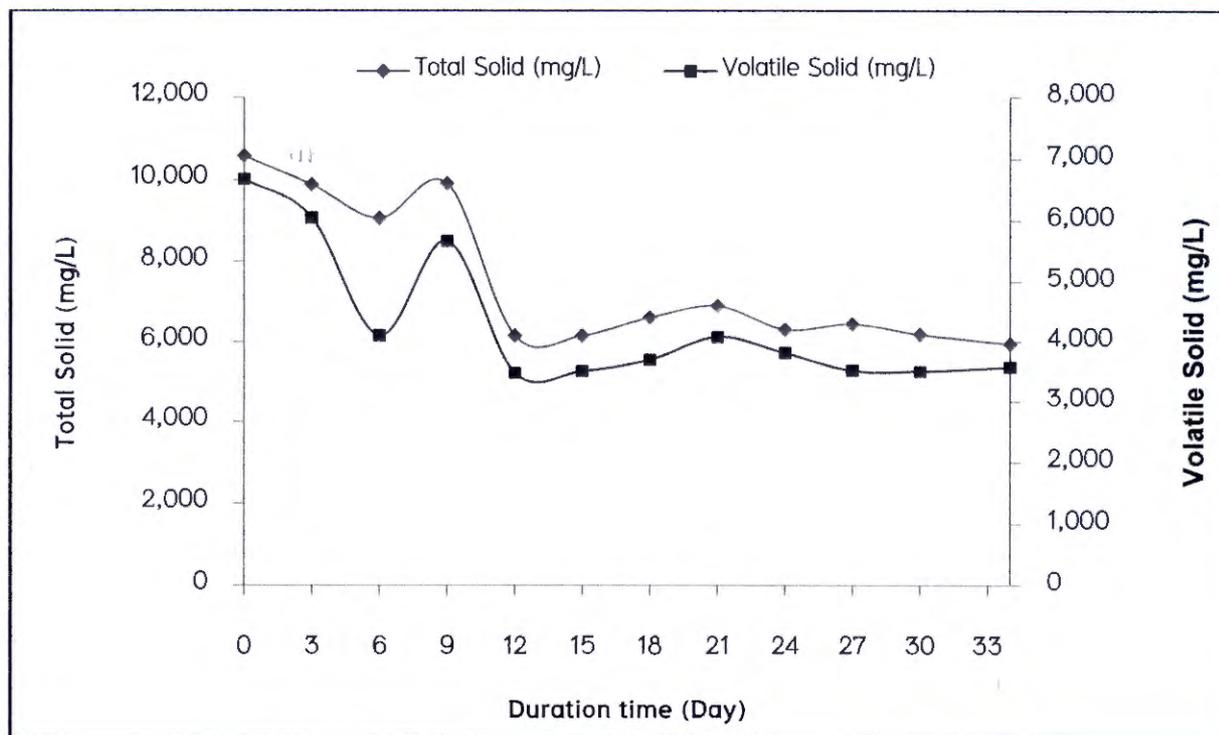
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ค่า BMP ของการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลอง	ตกตะกอน 60 นาที			ตกตะกอน 90 นาที		
	กวน 1 นาที	กวน 3 นาที	กวน 5 นาที	กวน 1 นาที	กวน 3 นาที	กวน 5 นาที
Biogas (ml)	40,000	43,800	44,000	27,900	43,300	44,500
%CH ₄	57.7	54.5	43.9	51.8	62.3	50.6
CH ₄ (L)	23,080	23,871	19,316	14,452	26,976	22,517
COD _{remove}	5,079	10,159	18,286	8,127	14,222	15,238
Biogas yield ($m^3/kgCOD$)	0.079	0.043	0.024	0.034	0.030	0.029
CH ₄ yield ($m^3/kgCOD$)	0.045	0.023	0.011	0.018	0.019	0.015
BMP (%)	22.50	12.32	6.87	9.81	8.70	8.34

ส่วนที่ 6 ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ที่ผ่านการกำจัดไนโตรเจนในสภาวะไร้อากาศ ในถังหมัก 200 ลิตร

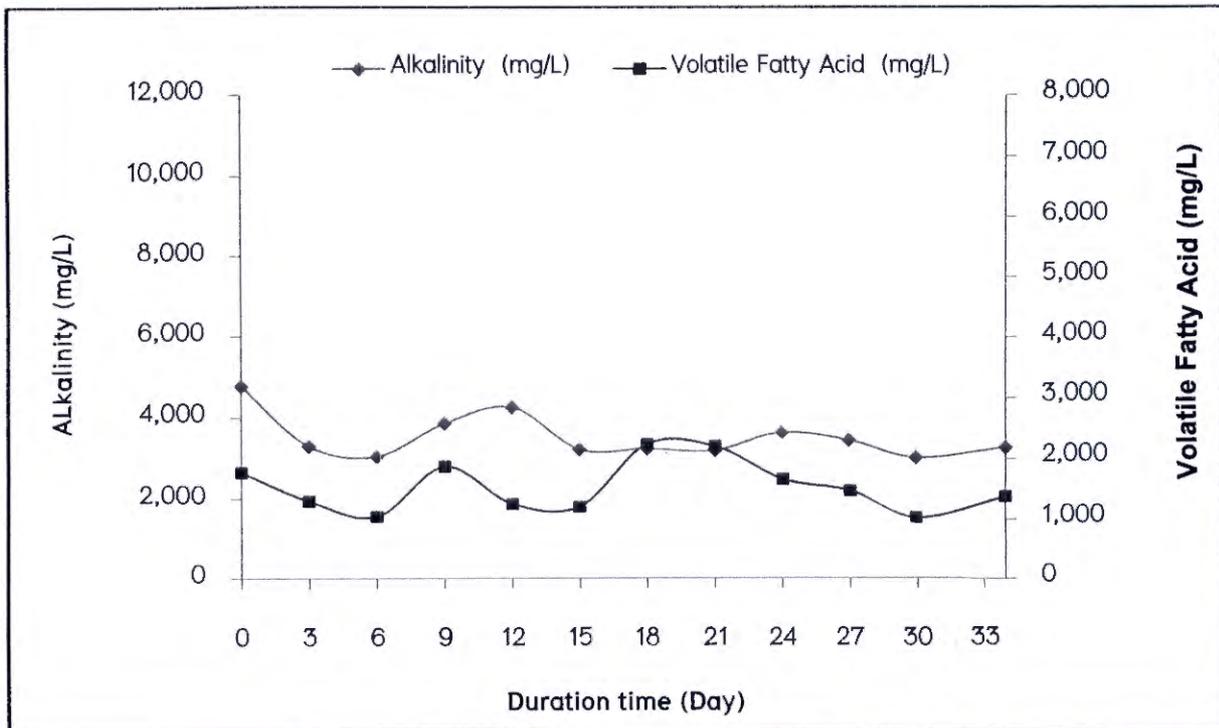
จากข้อมูลการศึกษาเวลาการกวนและการตกตะกอนมูลไก่ด้วย $MgSO_4$ ที่ความเข้มข้น 100 mg/l คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ที่เวลาการกวน 5 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที มาศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งให้ผลผลิตก๊าซสะสมสูงสุดและ ให้ประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD ได้ดีกว่าการทดลองอื่นๆ โดยการทดลองจะทำในถังหมัก 200 ลิตร ที่อัตราส่วนมูลไก่ต่อน้ำ 1:3 อุณหภูมิในการหมัก 34 ± 2 °C ระยะเวลาการหมัก 34 วัน

การเปลี่ยนแปลงค่า TS และ VS ตลอดระยะเวลาการหมัก ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ พบว่าช่วงระยะเวลาดังกล่าว จะมีค่าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 28 เนื่องจากเกิดการสลายตัวของสารตั้งต้น ซึ่งสารคาร์บอนอินทรีย์เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนสารอาหารไปเป็นก๊าซชีวภาพ ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ค่า TS และ VS ที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งในถังผลิตก๊าซชีวภาพควรมีค่า VS/TS ประมาณ 0.6-0.7 (สุพินดา, 2544) ซึ่งจากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.69 ส่วนใหญ่ให้ค่า VS/TS ที่เหมาะสมสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ และให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้มีค่า 86.59 %



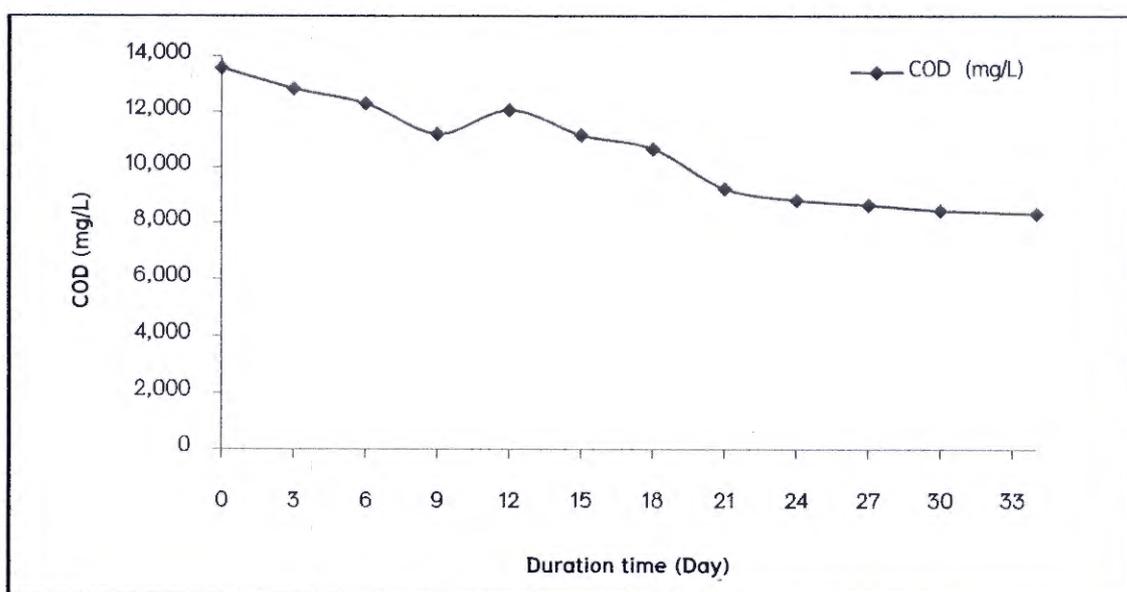
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงของค่า TS และ VS ตลอดระยะเวลาการหมัก

จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการหมักผ่านไปค่า VFA จะมีต่ำและค่อนข้างคงที่ โดยตลอดช่วงการทดลองมีค่า VFA ประมาณ 1,033 -2,221 mg/l แสดงในภาพที่ 29 อย่างไรก็ตามในช่วงการทดลองมีปริมาณค่า VFA ในถังผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยไม่ควรเกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร (McCarty, 2001) ซึ่ง VFA เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมดุลของการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดไขมันระเหยกับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (Chen และคณะ, 2008) ในส่วนของค่า ALK ตลอดระยะเวลาของการหมักอยู่ในช่วง 3,033-4,770 mg.CaCO₃/l ดังแสดงในภาพที่ 28 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม 1,000-5,000 mg/l ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) (Gray, 2004) ทั้งนี้ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชสามารถยืนยันได้จากอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อความเป็นกรดค้าง (VFA/Alkalinity) ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัด จากการทดลองมีค่าในช่วง 0.29-0.69 ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าที่เหมาะสม คือ 0.1-2.5 (Khanal, 2008)



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงของค่า VFA และ ALK ตลอดระยะเวลาการหมัก

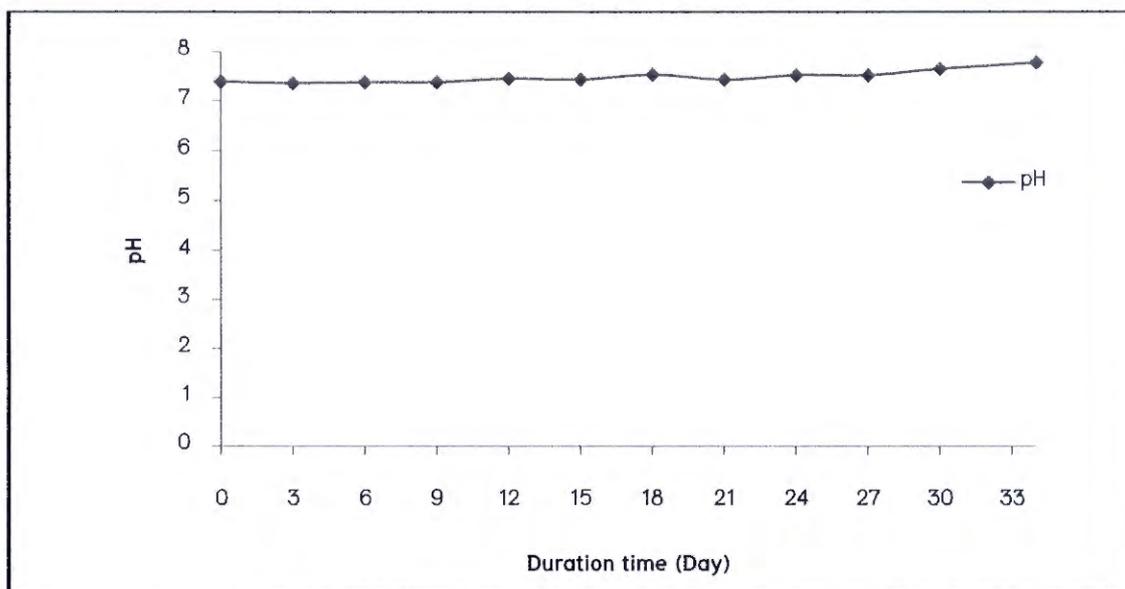
สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า COD มีทิศทางเดียวกับค่าการเปลี่ยนแปลงของ TS และ VS คือเมื่อระยะเวลาผ่านไปค่า COD จะปรับตัวลดลง จากนั้นจะเข้าสู่สภาพสมดุลของสภาวะที่มีจุลินทรีย์ปรับตัวให้เข้ากับลักษณะของอาหารได้แล้ว การเปลี่ยนแปลงค่า COD จึงไม่มากเท่ากับระยะแรก ระยะนี้ระบบอยู่ในขั้นตอนการสร้างกรด ทำให้การย่อยสลายเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไปเป็นกรดอินทรีย์ และมีแนวโน้มลดลงจนถึงที่สุดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 30 จากการทดลองทำให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่า 63.10 % ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในถังหมัก ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่ในรูปของอนุภาคของแข็งและสารละลายซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ในระบบได้โดยตรง



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงของค่า COD ตลอดระยะเวลาการหมัก

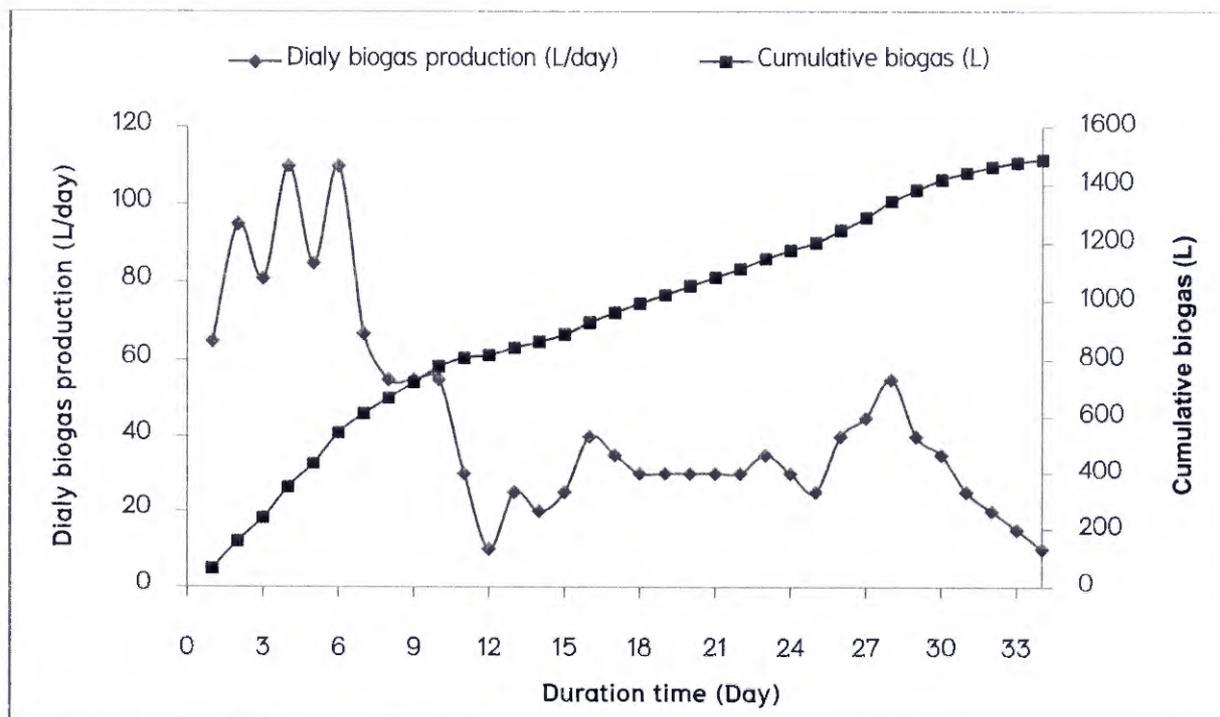
ค่า pH เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพราะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของระบบตลอดช่วงการทดลอง พบว่าค่า pH ในระยะแรกจะลดลง แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลของกระบวนการสร้างกรด โดยค่า pH ช่วงกระบวนการสร้างกรดจะต้องไม่ต่ำกว่า 4.5 เนื่องจากจะส่งผลให้การผลิตก๊าซมีเทนมีปริมาณน้อยลง โดยจุลินทรีย์เมทาโนเจนไม่สามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดสูงหรือค่า pH ต่ำ (สุพินดา, 2544) หลังจากวันที่ 9 ของการทดลอง ค่า pH มีการปรับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากกรดอินทรีย์มีความเข้มข้นลดลงเพราะถูกย่อยสลาย และได้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย จะมากขึ้นตามการย่อยสลายใน ไตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้น โดยค่า pH ของระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 7.36-

7.78 ดังแสดงในภาพที่ 31 ซึ่งอยู่ในช่วงค่า pH ที่ยอมรับได้สำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการสร้างกรดอยู่ในช่วง 5.5-8.5 และสำหรับจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนอยู่ในช่วง 6.7-7.4 (Derbal และคณะ, 2012)



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ตลอดระยะเวลาการหมัก

ผลการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการทดลองในถังหมัก 200 ลิตร ภายหลังจากการทดสอบ 20 วัน พบว่า แนวโน้มของการเกิดก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ที่ผ่านการปรับสภาพด้วย $MgSO_4$ ที่ความเข้มข้น 100 mg/l ในช่วง 10 วันแรกมีค่าการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันในระดับที่สูงกว่า 50 l/day หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง จนเหลือเฉลี่ยประมาณ 30-40 l/day โดยมีก๊าซชีวภาพสะสม 1,488 L ที่ระยะเวลาการหมัก 34 วัน โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนสูงสุด 63.47% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 27.10% คิดเป็นศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ $0.162 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ และศักยภาพในการผลิตมีเทน $0.103 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ หรือ 29.32% ดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ตลอดระยะเวลาการหมัก

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของมูลไก่ในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ พบว่ามูลไก่มีค่า Total Solid (TS) และ Volatile Solid (VS) เท่ากับ 24.9 % และ 19.4 % ตามลำดับ โดยค่า VS/TS เท่ากับ 78.1 ซึ่งอยู่ในค่าที่เหมาะสม แต่มูลไก่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำจากการทดลองมีค่า 10.1 ดังนั้น ในการย่อยสลายเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบจำเป็นที่จะต้องกำจัดไนโตรเจน เพื่อให้ค่า C/N เพิ่มขึ้น

จากการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากองค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่พบว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลไก่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงที่ร้อยละ 45.61 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร้อยละ 46.54 และก๊าซแอมโมเนียที่ร้อยละ 7.85 โดยคิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพได้ 948.14 l/kg ซึ่งหมายความว่าสารอินทรีย์ในมูลไก่ สามารถย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ในอัตราที่สูงร้อยละ 45.61

จากการศึกษาการกำจัดไนโตรเจน โดยใช้สารเคมี ได้แก่ แมกนีเซียมแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ก่อนนำมูลไก่มาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการหมักในระดับห้องปฏิบัติการในสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศปริมาตรการหมัก 15 ลิตร อุณหภูมิในการหมัก 34 ± 2 °C เวลาการหมัก 15 วัน พบว่า การใช้สารละลาย $MgSO_4$ ที่ความเข้มข้น 100 mg/l เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดคือ 15,320 ml และมีประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD ที่ 37.7%, 29.8% และ 30.4% ตามลำดับซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับถังควบคุม จากการทดลองสรุปได้ว่าการเติมแมกนีเซียมสามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม โดยไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่

จากการศึกษาเวลาการกวนและการตกตะกอนของมูลไก่ด้วย $MgSO_4$ ที่ความเข้มข้น 100 mg/l โดยได้ทดลองที่เวลาการกวนและเวลาตกตะกอนของ $MgSO_4$ ที่แตกต่างกันจากการทดลอง พบว่า ที่เวลาการกวน 5 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด อยู่ที่ 44,500 mL ซึ่งมีปริมาณก๊าซสะสมสูงกว่าการทดลองอื่นๆ แต่มีสัดส่วนของก๊าซชีวภาพน้อยกว่าการทดลองที่เวลาการกวน 3 นาที เวลาตกตะกอน 90 นาที ซึ่งมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุด 62.3% ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดคิดเป็น 26,976 ml และจากการวิเคราะห์ TS, VS และ COD ในระบบพบว่าที่เวลาการกวน 5 นาที ในเวลาตกตะกอน 90 นาที สามารถกำจัด TS, VS และ COD ได้ดีกว่าการทดลองอื่นๆ โดยคิดเป็น 67.9%, 66.6% และ 62.5% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ศักยภาพของระบบรวมทั้งประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ พบว่า สามารถผลิตก๊าซมีเทนในช่วง 0.011-0.045 $m^3/kgCOD_{remove}$ โดยคิดเป็น % BMP (Biochemical Methane Potential) สูงสุดที่ 22.50 %

จากการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ในสภาวะไร้อากาศในถังหมักขนาด 200 l โดยสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสม 1,488 l ที่ระยะเวลาการหมัก 34 วัน คิดเป็นก๊าซชีวภาพเฉลี่ยวันละ 44 l โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนสูงสุด 63.47% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 27.10% คิด

เป็นศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ $0.083 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ และศักยภาพในการผลิตมีเทน $0.053 \text{ m}^3/\text{kgCOD}_{\text{remove}}$ หรือ 23.77% จากการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการลดไนโตรเจนโดยใช้สารเคมีที่ความเข้มข้นที่ทดสอบไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน งาน กระทรวงพลังงาน. 2552.แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 (PDP 2010), สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานศักยภาพการผลิตและการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทนจากฟาร์มปศุสัตว์[ระบบออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://biogas.dede.go.th/biogas/web_biogas (19 พฤษภาคม 2558)
3. กรมควบคุมมลพิษ. 2544. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ[ระบบออนไลน์]. สืบค้นจาก : www.pcd.go.th (5 กันยายน 2556)
4. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. 2555. การศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน.
5. กลิ่นประทุม ปัญญาปิง, วรวิฑูร์ กันอิน, สรานุรักษ์ แสนพรหม และ เอกราชคำบุญโญ. 2555. ศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทนของเศษก้านและใบไม้หลายชนิด. *Journal of Community Development Research*. 5 (1).
6. เกื้อกูล บุญชัย. 2009. การผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้น้ำเสียของโรงงานแปรงไม้ล้างแปรงรูป. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
7. จิตชนก คงแดง. 2554.การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราโดยการหมักร่วมกับมูลสุกรสำหรับใช้ในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
8. ณวัฒน์ ศรีภูม่น. 2546.การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการโฟมแฟรคชั่นเนชั่น. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
9. ปวันรัตน์ บุญอ่อน. 2557. ผลของการเติมมูลไก่และมูลโคต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยตั้งปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
10. ปกรณ์ ถนอมพงษ์ชาติ. 2552.การแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพโดยการดูดซับด้วยของเหลวในคอลัมน์อัดตัว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 1-60.
11. พงศ์ลัดดา เผ่าศิริ วีระศักดิ์ สืบเสาะ และชาญชัยณรงค์ ทรงศาศรี 2555. การกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียม, วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีที่ 6 ฉบับที่ 1, หน้า 129-137

12. พลกฤษณ์คุ้มเกล้า, 2557. การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
13. นิคม ชนะหาญ สุชน ตั้งทวีวัฒน์ และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2549. การใช้พืชมิมิเป็นสารดูดซับแอมโมเนียในไก่เนื้อ, ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
14. นิลวรรณ ไชยหนูและอัจฉราจันทร์ผง. 2556. การศึกษาศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพเชียงใหม่.
15. มณีรัตน์ วงษ์อุดม, 2551. การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพโดยถังกรองชีวภาพที่เพาะเชื้อจากกระบวนการแอกติเวเตดสลัดจ์, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-105.
16. รุ่งทิวาสีมาปาน, ศรีกาญจนาลัยเรือง, ศิริภรณ์ชื่นบาลและฐปนชื่นบาล. 2558. ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมของมูลสุกรและหญ้าเนเปียร์หมัก. การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 53 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
17. ศิลป์ชัย มณีชัย. 2552. การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยแมงกานีสซีโอไซด์ในแบบจำลองคลองวนเวียน, วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
18. ศักรินทร์ หมูเทพ. 2555. ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เนื้อด้วยระบบถังกวนสมบูรณ์. สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
19. สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2553. โครงการการผลิตก๊าซชีวภาพจากผลิตผลทางการเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
20. สาโรจน์ ฉิมปาน, จิตรา แซ่จ้ง, พัชรี จันทร์ไชยแก้ว และจรัญ บุญกาญจน์. 2553. ระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับชุมชน, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
21. สุเมธ ชวเดช. 2529. การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ. เอกสารวิชาการของห้องปฏิบัติการ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2529, หน้า 1-31
22. สุพินดา ชูระเจน. 2544. การเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักเศษผักและผลไม้ไร้อากาศแบบแห้งที่มีการหมวนเวียนน้ำชะขยะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
23. อานนท์ ดวงพาลี. 2552. การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในกระบวนการไฮโดรไลซิสทางความร้อนของมูลไก่โดยวิธีตกผลึกสตูว์ไวท์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

24. เอกฉัญ ขวนขวยทรัพย์. 2541.การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากบ่อ
เติมอากาศโดยการตกตะกอนทางเคมี. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
25. Abouelenien, F., W. Fujiwara, Y. Namba, M. Kosseva, N. Nishio, and Y. Nakashimada, 2010.
Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas
recycle. **Bioresource Technology**. 101(16): p. 6368-6373.
26. Abouelenien, F., N. Elsaidy, and Y. Nakashimada, 2013. Simultaneous Ammonia removal and
Methane Production from Chicken Manure under Dry Thermophilic Condition. **Journal of
American Science**. 9 (10) : 90-94.
27. Alkaya, E., T.H. Erguder, and G.N. Demirer, 2010. Effect of operation parameter on anaerobic co-
digestion of dairy cattle manure and agricultural residues: a case study for the Kahramanmaras
region in Turkey. **Engineering Life Science**. 10, 552-559.
28. Chen, Y., J. J. Cheng and K. S. Creame. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review,
Bioresource Technology. 99: 4044-4064.
29. Fatma, A., N. Elsaidy, and Y. Nakashimada. 2013. Simultaneous Ammonia removal and Methane
Production from Chicken Manure under Dry Thermophilic Condition, **Journal of American
Science**, 9 (10) : 90-94.
30. Gray, N. F. 2004. **Biology of Wastewater Treatment**, 2nd ed. Imperial College Press.,
146, 262-270, 735-757.
31. Hong, N., H. F. Jacobi, K. Strach, C. Xu, Hongjun Z. and J. L. betrau. 2015. Mono-fermentation of
chicken manure : Ammonia inhibition and recirculation of the digestate. **Bioresource Technology**,
178 : 238-246.
32. Jewell, W. J., O. S. Dell, K. J. Fanfoni, T. D. Hayes, A. P. Leuschner and D. F. Sherman. 1980.
**Anaerobic fermentation of agricultural residue : potential for improvement and
implementation**. 2 : 340-387. *In* Research report. Ithaca : Cornell University.
33. Jaisin, S., Chanathaworn, J., Nirunsin, R., Sukasem, N., Intanoo, P. and Reansuwan, K. 2017. **The
effect of magnesium on ammonia reduction in enhancing chicken manure biogas production**.
In International conference on ecomaterials (ICEM13). November 19-23, 2017 KMUTT
Knowledge Exchange for Innovation Center (KX), Khlongsan, Bangkok, Thailand.
34. Khanal, S. 2008. **Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and
applications**. Wiley-Blackwell.

35. McCarty, P.L. 2001. The development of anaerobic treatment and its future. **Water Science and Technology**. 44 : 149-156.
36. Nie, H., F. Jacobi, K. Strach, C. Xu, H. Zhou, and J. Liebetrau. 2015. Mono-fermentation of chicken manure: ammonia inhibition and recirculation of the digestate. **Bioresource Technology**. 178: p. 238-246.
37. Niu, Q., W. Qiao, H. Qiang, T. Hojo, and Y. Y. Li, 2013. Mesophilic methane fermentation of chicken manure at a wide range of ammonia concentration: stability, inhibition and recovery. **Bioresource Technology**. 137: p. 358-67.
38. Pavlostathis, S. G. and E. Giraldo-Gomez. 1991. Kinetics of anaerobic treatment: A critical review. **Critical Reviews in Environmental Control**. 21(5-6) : 411-490.
39. Sialve, B., N. Bernet, and O. Bernard, 2009. Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. **Biotechnology Advance**. 27: p.409-416.
40. Wang, X., X. Lu, F. Li, and G. Yang, 2014. Effects of temperature and carbon-nitrogen (C/N) ratio on the performance of anaerobic co-digestion of dairy manure, chicken manure and rice straw: focusing on ammonia inhibition. **PLoS One** 9 (5): p. e97265.
41. Ward, A. J., P. J. Hobbs, P. J. Holliman and D. L. Jones. 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**. 99 : 7928–7940.
42. Weerayuttil, P., U. Khoyun, and K. Khuanmar, 2016. Optimum Ratio of Chicken Manure and Napier Grass in Single Stage Anaerobic Co-digestion. **Energy Procedia**. 100: p. 22-25.
43. Wlazlo, L., B. N. Debek, J. Kapica, , M. Kwiecien, and H. Pawlak, 2016. Removal of ammonia from poultry manure by alumino silicates. **Journal of Environmental Management**. 183 (3): p. 722-725.
44. Xiaohui, L., N. Sugiura, C. Feng, and T. Maekawa., 2007. Pretreatment of anaerobic digestion effluent with ammonia stripping and biogas purification. **Journal of Hazardous Materials**, 145 : 391–397.
45. Yetilmezsoy, K., and Z. SapciZengin, 2009. Recovery of ammonium nitrogen from the effluent of UASB treating poultry manure wastewater by MAP precipitation as a slow release fertilizer. **Journal Hazardous Materials**. 166 (1): p. 260-269.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1 แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันตลอดระยะเวลาการหมัก 15 วัน ที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

day	Daily Biogas Production					
	Control	MgSO ₄ 100 mg/l	MgSO ₄ 150 mg/l	MgSO ₄ 200 mg/l	MgCl ₂ 100 mg/l	MgO 100 mg/l
1	0	60	240	190	60	0
2	240	360	540	600	300	180
3	1080	900	1320	1280	1440	2700
4	1440	1200	2100	2160	2400	1860
5	2040	1740	1920	1920	1920	660
6	1080	1620	840	1020	900	480
7	180	2200	600	720	660	240
8	120	1320	300	660	180	700
9	480	1700	780	960	540	300
10	240	1080	600	540	600	300
11	250	840	200	720	800	420
12	0	800	320	700	180	660
13	0	480	300	720	180	660
14	0	540	300	960	0	780
15	0	480	540	900	120	180

ภาคผนวก 2 แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

day	Cumulative Biogas Production					
	Control	MgSO ₄ 100 mg/l	MgSO ₄ 150 mg/l	MgSO ₄ 200 mg/l	MgCl ₂ 100 mg/l	MgO 100 mg/l
1	0	60	240	190	60	0
2	240	420	780	790	360	180
3	1320	1320	2100	2070	1800	2880
4	2760	2520	4200	4230	4200	4740
5	4800	4260	6120	6150	6120	5400
6	5880	5880	6960	7170	7020	5880
7	6060	8080	7560	7890	7680	6120
8	6180	9400	7860	8550	7860	6820
9	6660	11100	8640	9510	8400	7120
10	6900	12180	9240	10050	9000	7420
11	7150	13020	9440	10770	9800	7840
12	7150	13820	9760	11470	9980	8500
13	7150	14300	10060	12190	10160	9160
14	7150	14840	10360	13150	10160	9940
15	7150	15320	10900	14050	10280	10120

ภาคผนวก 3 แสดงการเปรียบเทียบ TS ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

Simple	TS		% TS removal
	in	out	
Control	39980	33183	17.0
MgSO ₄ 100 mg/l	51080	31843	37.7
MgSO ₄ 150 mg/l	41930	30477	27.3
MgSO ₄ 200 mg/l	41387	25970	37.3
MgCl ₂ 100 mg/l	39830	29577	25.7
MgO 100 mg/l	43440	32790	24.5

ภาคผนวก 4 แสดงการเปรียบเทียบ VS ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

Simple	VS		% VS removal
	in	out	
Control	24100	21027	12.8
MgSO ₄ 100 mg/l	24653	17300	29.8
MgSO ₄ 150 mg/l	24840	20067	19.2
MgSO ₄ 200 mg/l	23303	16830	27.8
MgCl ₂ 100 mg/l	18147	14850	18.2
MgO 100 mg/l	17700	14613	17.4

ภาคผนวก 5 แสดงการเปรียบเทียบ COD ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

Simple	COD		%COD removal
	in	out	
Control	26347	22187	15.8
MgSO ₄ 100 mg/l	31893	22187	30.4
MgSO ₄ 150 mg/l	24960	19413	22.2
MgSO ₄ 200 mg/l	23573	16640	29.4
MgCl ₂ 100 mg/l	20800	16640	20.0
MgO 100 mg/l	20800	16640	20.0

ภาคผนวก 6 แสดงการเปรียบเทียบ ALK ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

Simple	ALK	
	in	out
Control	1,400	3,433
MgSO ₄ 100 mg/l	1,667	3,667
MgSO ₄ 150 mg/l	1,433	3,500
MgSO ₄ 200 mg/l	1,867	2,900
MgCl ₂ 100 mg/l	2,433	4,200
MgO 100 mg/l	2,067	3,533

ภาคผนวก 7 แสดงการเปรียบเทียบ VFA ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

Simple	VFA	
	in	out
Control	1,299	7,636
MgSO ₄ 100 mg/l	1,468	5,052
MgSO ₄ 150 mg/l	1,195	7,662
MgSO ₄ 200 mg/l	1,844	6,195
MgCl ₂ 100 mg/l	2,442	6,623
MgO 100 mg/l	1,597	3,338

ภาคผนวก 8 แสดงการเปรียบเทียบ TKN ก่อนและหลังการหมักที่ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

Simple	TKN		%TKN removal
	in	out	
MgSO ₄ 100 mg/l	4011	3666	8.6
MgSO ₄ 150 mg/l	3923	2778	29.2
MgSO ₄ 200 mg/l	4076	3965	2.7
MgCl ₂ 100 mg/l	3521	3064	13.0
MgO 100 mg/l	3641	3438	5.6

ภาคผนวก 9 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ที่ระยะเวลาการกวนและการตกตะกอนต่างๆ
ด้วย $MgSO_4$

day	Set 60 min			Set 90 min		
	Stir 1 min	Stir 3 min	Stir 5 min	Stir 1 min	Stir 3 min	Stir 5 min
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	1200	1500	1800	100	1700	500
5	1300	1500	2200	500	3100	1500
6	1800	1300	2700	500	3500	1800
7	1000	3600	2700	450	3100	2200
8	2700	3400	2800	450	4000	2400
9	2200	4000	3100	2000	3200	2600
10	1900	4000	3500	2000	2000	3000
11	2500	3500	3000	2400	2000	3400
12	2700	2500	3500	2500	4000	3500
13	3500	2500	4000	3400	3400	5000
14	3700	2600	4500	2600	3000	5000
15	3800	3600	4000	2200	4200	5000
16	2900	2600	1600	2700	2500	2500
17	2600	2600	1300	1900	2200	2300
18	2500	2400	1200	1700	600	1800
19	2500	1800	1000	1250	800	1000
20	1200	400	1100	1250	0	1000

ภาคผนวก 10 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ที่ระยะเวลาการกวนและการตกตะกอนต่างๆ ด้วย $MgSO_4$

day	Set 60 min			Set 90 min		
	Stir 1 min	Stir 3 min	Stir 5 min	Stir 1 min	Stir 3 min	Stir 5 min
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	1200	1500	1800	100	1700	500
5	2500	3000	4000	600	4800	2000
6	4300	4300	6700	1100	8300	3800
7	5300	7900	9400	1550	11400	6000
8	8000	11300	12200	2000	15400	8400
9	10200	15300	15300	4000	18600	11000
10	12100	19300	18800	6000	20600	14000
11	14600	22800	21800	8400	22600	17400
12	17300	25300	25300	10900	26600	20900
13	20800	27800	29300	14300	30000	25900
14	24500	30400	33800	16900	33000	30900
15	28300	34000	37800	19100	37200	35900
16	31200	36600	39400	21800	39700	38400
17	33800	39200	40700	23700	41900	40700
18	36300	41600	41900	25400	42500	42500
19	38800	43400	42900	26650	43300	43500
20	40000	43800	44000	27900	43300	44500

ภาคผนวก 11 แสดงการเปรียบเทียบ COD TS และ VS ก่อนและหลังการหมัก ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆ และเวลาการตกตะกอน 60 และ 90 นาที

เวลากวน: เวลา ตกตะกอน (min)	Parameter							
	COD (mg/l)		TS (mg/l)		VS (mg/l)		VFA/ALK	
	in	out	in	out	in	out	in	out
1/60	10159	5080	66250	28257	18417	8790	0.99	0.13
3/60	19302	9143	104593	41847	50133	23067	0.76	0.16
5/60	32508	14222	126283	48327	68457	28670	0.89	1.08
1/90	18286	10159	93000	40380	50833	25017	1.14	0.22
3/90	25397	11175	99760	35187	63827	26837	0.51	0.72
5/90	24381	9143	159407	51240	105667	35340	1.03	0.56

ภาคผนวก 12 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD TS และ VS ที่ระยะเวลาการกวนต่างๆ และเวลาการตกตะกอน 60 และ 90 นาที

เวลากวน:เวลาตกตะกอน (min)	COD _{removal}	TS _{removal}	VS _{removal}
1/60	50	57.3	52.3
3/60	52.6	60	54
5/60	56.3	61.7	58.1
1/90	44.4	56.6	50.8
3/90	56	64.7	58
5/90	62.5	67.9	66.6

ภาคผนวก 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า TS และ VS ของการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่
ในถังหมัก 200 ลิตร

วันที่	Parameter		
	Total Solid (mg/l)	Volatile Solid (mg/l)	VS/TS
0	10,580	6,680	0.63
3	9,885	6,053	0.61
6	9,065	4,098	0.45
9	9,908	5,670	0.57
12	6,148	3,478	0.57
15	6,150	3,510	0.57
18	6,600	3,700	0.56
21	6,900	4,080	0.59
24	6,300	3,810	0.60
27	6,440	3,517	0.55
30	6,178	3,505	0.57
34	5,943	3,588	0.55

ภาคผนวก 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า ALK และ VFA ของการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูล
ไก่ในถังหมัก 200 ลิตร

Day	Parameter		
	Alkalinity (mg/l)	Volatile Fatty Acid (mg/l)	VFA/ALK
0	4,770	1,770	0.37
3	3,295	1,295	0.39
6	3,039	1,039	0.34
9	3,857	1,857	0.48
12	4,247	1,247	0.29
15	3,201	1,201	0.38
18	3,221	2,221	0.69
21	3,182	2,182	0.69
24	3,646	1,646	0.45
27	3,461	1,461	0.42
30	3,033	1,033	0.34
34	3,283	1,379	0.42

ภาคผนวก 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า COD และ PH ของการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่
ในถังหมัก 200 ลิตร

Day	Parameter	
	COD (mg/l)	pH
0	13,593	7.39
3	12,852	7.36
6	12,310	7.38
9	11,212	7.38
12	12,064	7.45
15	11,169	7.43
18	10,666	7.53
21	9,239	7.43
24	8,821	7.52
27	8,653	7.52
30	8,456	7.65
34	8,334	7.78

ภาคผนวก 16 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ของการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ในถังหมัก 200 ลิตร

Day	Biogas (L/day)	Cumulative biogas (L)
1	65	65
2	95	160
3	81	241
4	110	351
5	85	436
6	110	546
7	67	613
8	55	668
9	55	723
10	55	778
11	30	808
12	10	818
13	25	843
14	20	863
15	25	888
16	40	928
17	35	963
18	30	993
19	30	1023
20	30	1053
21	30	1083
22	30	1113
23	35	1148
24	30	1178
25	25	1203
26	40	1243
27	45	1288

Day	Biogas (L/day)	Cumulative biogas (L)
28	55	1343
29	40	1383
30	35	1418
31	25	1443
32	20	1463
33	15	1478
34	10	1488

ภาคผนวก 18 แสดงภาพการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ในถังหมัก 200 ลิตร

