

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ ที่ผ่านการลดแอมโมเนีย
โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ ที่ผ่านการลดแอมโมเนีย
โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ ที่ผ่านการลดแอมโมเนีย
โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลินจี่

อรไพลิน สมประสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.ณัฐธินิชา สุขเกษม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ ที่ผ่านการลดแอมโมเนีย โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่
ชื่อผู้เขียน	นางสาวอรไพลิน สมประสิทธิ์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร

บทคัดย่อ

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ โดยการเผาในเตาอับอากาศที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เวลา 1 h มีค่าเฉลี่ยร้อยละของผลได้ 29, 27 และ 25 ตามลำดับ การกระตุ้นให้กักกัมมันต์ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมีร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า (100 W และ 200 W) ระยะเวลากระตุ้น (1 และ 2 min) โดยการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ผลการศึกษาพบว่า มีค่าความชื้นน้อยกว่า 5% ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุด คือ 626 mg/g โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ สภาวะกำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 2 min ที่อุณหภูมิ 600 °C ซึ่งการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิการเผา 600 °C ระยะเวลา 1 และ 2 min มีสมบัติผ่านตามมาตรฐานของอุตสาหกรรมไทย มอก. 900 – 2547 และ AWWA B 604 การกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิการเผา 600 °C ระยะเวลาการกระตุ้น 1 และ 2 min ที่ 100 W สามารถนำมาใช้เป็นวิธีผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ได้

การใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ในการดูดซับเพื่อลดแอมโมเนียในการผลิตแก๊สชีวภาพเตรียมจากการเผาเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิการเผา 600 °C โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพโดยใช้น้ำร่วมกับไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 2 min โดยศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ 15 – 25 g/kg ระยะเวลาการดูดซับที่ระยะเวลา 3 – 5 วัน และผลของการเขย่าในขั้นตอนการดูดซับ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ (35 ± 3 °C) เวลา 15 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 25 g โดยเขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับ 5 วัน สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงสุดที่ 36.8 L องค์กรประกอบแก๊สมีเทนคิดเป็นร้อยละ 58 ความสามารถในการกำจัด TS, VS และ COD คิดเป็นร้อยละ 65, 59, และ 68 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 42, 29, 27, 25, และ 46 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ มูลไก่ ถ่านกัมมันต์ เมล็ดลินจี่



Title	EFFICIENCY ENHANCEMENT OF BIOGAS PRODUCTION FROM CHICKEN MANURE BY AMMONIA REDUCTION PRETREATMENT USING LYCHEES SEED ACTIVATED CARBON
Author	Miss Onpailin Somprasit
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Dr. Jutaporn Chanathaworn

ABSTRACT

Activated carbon was prepared by lychees seed carbonaceous as raw material with different activation conditions. The raw material was changed into carbon structure by confined space process at 400, 500 and 600°C, respectively for 1 h. The yield of obtained lychees seed carbon was of 29, 27 and 25%, respectively. The both physical and chemical activation process was required by microwave irradiation at different power (100 and 200 W) and irradiation time (1 and 2 min). The carbon was activated by H₂O and ZnCl₂ combined with microwave irradiation. The results showed that the moisture content of sample was less than 5%. The optimum condition of iodine adsorption was 626 mg/g at 200 W of microwave irradiation by using ZnCl₂ activation for 2 min at the activated temperature of 600°C. The values obtained by microwave irradiation of activation process clearly met the standard value of Thai Industrial No.900 – 2547 and AWWA B604 at the activated temperature of 600°C for 1 and 2 min at 100 W with H₂O and ZnCl₂ activation. Resulting in that the microwave irradiation can be applied in activating the process to produce the activated carbon from lychees seed.

Adsorption of activated carbon from lychee seeds to remove the ammonia from chicken manure for biogas production was studied. Lychee seed activated carbon at 600° C incubation temperature using water combined with microwave at 200 watts for 2 minutes was used as an adsorbent. The effect of activated carbon on

biogas production range of 15 – 25 g/kg, adsorption time 3 – 5 days and shaking time in the adsorption step was studied. The adsorption of chicken manure was carried out in anaerobic condition at the temperature 35 ± 3 °C for 15 days. The results showed that the use of activated carbon 25 g, the adsorption time of 5 days and shaking in the adsorption step showed the highest cumulative biogas production at 36.8 L and methane content of 58 % with the maximum TS, VS and COD removal of 65, 59, and 68 beings higher than the control experiment 42, 29, 27, 25, and 46, respectively.

Keyword : Biogas Chicken manure Activated carbons Lychees seed



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความกรุณาจาก ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในทุกด้านตลอดจน ตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ ไชยชนะ และ อาจารย์ ดร. ญัฐธัญญา สุขเกษม ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการตรวจโครงร่างวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังเป็น อาจารย์ที่ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เขียนในหลาย ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อติศักดิ์ ปัตติยะ ที่กรุณามาเป็นประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนในครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำแนะนำ ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เขียน

ขอกราบขอบพระคุณในการคณาจารย์คุณครูทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน แนะนำและคอยตักเตือนผู้เขียนจนมีวันนี้

ขอกราบขอบพระคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผน พลังงานกระทรวงพลังงาน (สนพ.) ประจำปีการศึกษา 2560 ในการให้ความช่วยเหลือทางด้านทุน สนับสนุนงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และทุนการศึกษารวมถึงทุนในการทำวิจัย ภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศัภษาบัณฑิตทางด้าน พลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2559

ขอกราบขอบพระคุณ บุคคลหลายท่านในครอบครัวสมประสิทธิ์ ครอบครัวโนกฤษ และ ครอบครัวมีบุญ ที่ช่วยผู้เขียนได้มีกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้แล้วเสร็จมาได้ด้วยดี

ขอขอบใจ นายตฤณพัทธ์ มีบุญ นายสัทธมา ใจสิน นางสาวบุญยาพร แสนพรหม นางสาวภา สินี ลาดลา และนายสุรเชษฐ์ ศรีภักดี ที่ให้กำลังใจผู้เขียน ให้คำปรึกษาและเป็นเพื่อนที่ดีเสมอมา ทั้งนี้ยัง ช่วยให้การดำเนินงานวิจัยของผู้เขียนได้มีประสบการณ์ใหม่ ๆ ในการทำแลบและการเก็บข้อมูล ด้วย ความเรียบร้อยเสมอมา

อรไพลิน สมประสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์โครงการ.....	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์.....	6
ความรู้ทั่วไปของถ่านกัมมันต์	6
ประเภทถ่านกัมมันต์.....	8
ขนาดของถ่านกัมมันต์	9
การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์	9
กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	10
การดูดซับ.....	13
ประเภทการดูดซับของถ่านกัมมันต์	14
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	14

วัสดุตั้งต้นที่สามารถนำมาใช้เตรียมและผลิตถ่านกัมมันต์	15
วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์	16
เครื่องอบไมโครเวฟ.....	17
เตาอบไมโครเวฟ.....	17
หลักการพื้นฐานของไมโครเวฟ	20
ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ	20
ลักษณะทั่วไปของชีวมวลที่นำมาทำการศึกษา	21
ความเป็นมาของลิกนินในประเทศไทย	21
ลักษณะพฤกษศาสตร์ของลิกนิน	22
สรรพคุณของลิกนิน.....	25
สารสกัดจากเมล็ดลิกนิน.....	25
แก๊สชีวภาพ	27
สมบัติของแก๊สชีวภาพ	27
การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas).....	28
กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion).....	29
แก๊สชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์	30
มูลไก่อกับการผลิตพลังงาน	31
ผลกระทบที่เกิดจากฟาร์มไก่เนื้อ	32
ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ	33
ศักยภาพการผลิตแก๊สมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP).....	37
เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ	38
การนำแก๊สชีวภาพไปใช้ประโยชน์	41
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
สรุปใจความสาระสำคัญจากการตรวจเอกสาร	54

บทที่ 3 วิธีและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	55
วิธีและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	55
วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	57
ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	58
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการศึกษา.....	68
การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่.....	68
ค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดลิ้นจี่	68
ร้อยละของผลได้ของถ่านของถ่านเมล็ดลิ้นจี่.....	68
ลักษณะทางกายของถ่านเมล็ดลิ้นจี่	69
ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่.....	70
ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่.....	75
ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่.....	83
การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่.....	84
ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุชีวมูลไก่ตั้งต้น	85
ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	86
ผลของระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่.....	87
ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่.....	89
ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในระบบการหมักแก๊สชีวภาพ	94
การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ.....	100
การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	104
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	107
สรุปผลการวิจัย.....	107
5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่	107
5.2 ผลของการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่	108

ข้อเสนอแนะ.....	109
บรรณานุกรม.....	110
ภาคผนวก.....	113
ภาคผนวก ก วิธีการตรวจสอบการวิเคราะห์.....	114
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	126
ประวัติผู้วิจัย.....	146



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ข้อดี – ข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี	12
ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง	12
ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด	12
ตารางที่ 4 องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) ของเมล็ดลิ้นจี่.....	26
ตารางที่ 5 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ.....	27
ตารางที่ 6 ค่าพลังงานจากแก๊สชีวภาพ.....	28
ตารางที่ 7 ข้อดีและข้อเสียของการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	28
ตารางที่ 8 แก๊สชีวภาพ 1 m ³ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น	29
ตารางที่ 9 ปริมาณสิ่งขั้บถ่ายของสัตว์และคนคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัว	31
ตารางที่ 10 ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ	31
ตารางที่ 11 อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบสารอินทรีย์	32
ตารางที่ 12 ผลกระทบของมลพิษที่มีผลต่อตัวไก่.....	33
ตารางที่ 13 การใช้แก๊สชีวภาพทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ	44
ตารางที่ 14 ค่าการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านกัมมันต์เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์อัดเม็ด.....	45
ตารางที่ 15 แสดงค่าไอโอดีนนมเบอร์ และผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบแบบประมาณ	46
ตารางที่ 16 วิเคราะห์พารามิเตอร์ในขั้นตอนการหมักแก๊สชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ.....	67
ตารางที่ 17 ผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้	69
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่.....	74
ตารางที่ 19 การดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ภายใต้ อุณหภูมิการเผา 400, 500 และ 600 °C.....	81
ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์คุณลักษณะของมูลไก่.....	85

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์..... 106



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 จัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์	7
ภาพที่ 2 ถ่านกัมมันต์ประเภทผง (ซ้าย) และถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด (ขวา).....	8
ภาพที่ 3 กลไกกระบวนการดูดซับ	13
ภาพที่ 4 ภาพวาดแสดงโครงสร้างของโมเลกุลน้ำ (H ₂ O).....	17
ภาพที่ 5 ลักษณะการหมุนกลับไป-กลับมาของโมเลกุลน้ำ (H ₂ O).....	18
ภาพที่ 6 ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบภายในของเตาไมโครเวฟ.....	19
ภาพที่ 7 ลินจี.....	22
ภาพที่ 8 ดอกตัวผู้ (ก) และดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมีย (ข)	23
ภาพที่ 9 ผลและเมล็ดลินจีพันธุ์กะโหลกขิง.....	24
ภาพที่ 10 แผนผังบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบกวนต่อเนื่อง.....	38
ภาพที่ 11 ระบบแบบโดมคงที่.....	39
ภาพที่ 12 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่.....	39
ภาพที่ 13 บ่อปิด (Anaerobic Covered Lagoon).....	40
ภาพที่ 14 ระบบการทำงานของบ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบถุ่หมักพลาสติกพีวีซี	41
ภาพที่ 15 การใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในเตาหุงต้มในครัวเรือน	42
ภาพที่ 16 การใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า	43
ภาพที่ 17 ปริมาณสีเริ่มต้นต่อการดูดซับสีย้อมสีเหลือง	45
ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ดูดซับเมทานอล	47
ภาพที่ 19 ภาพ SEM ที่ใช้ในการกระตุ้นคาร์บอนจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและคาร์บอนจาก กะลามะพร้าวหือ Haycarb ภายใต้สภาวะบรรยากาศ CO ₂	48
ภาพที่ 20 ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยในสภาวะต่าง ๆ	49

ภาพที่ 21 การ SEM ของเม็ดถ่านชีวภาพและเม็ดถ่านกัมมันต์.....	50
ภาพที่ 22 รูปแบบของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด	51
ภาพที่ 23 ผังแบบจำลองคลองวานเวียน	52
ภาพที่ 24 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	56
ภาพที่ 25 เมล็ดลิ้นจี่	57
ภาพที่ 26 มูลไก่	57
ภาพที่ 27 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการหาค่าความชื้นเริ่มต้น	58
ภาพที่ 28 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน	59
ภาพที่ 29 การคัดขนาดเม็ดถ่านเมล็ดลิ้นจี่.....	59
ภาพที่ 30 การกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ.....	60
ภาพที่ 31 การกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ.....	61
ภาพที่ 32 การวิเคราะห์ร้อยละของผลได้ (ก) 400, (ข) 500, (ค) 600 °C.....	61
ภาพที่ 33 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณความชื้น	62
ภาพที่ 34 การศึกษาการดูดซับสารละลายไอโอดีน.....	63
ภาพที่ 35 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับ	64
ภาพที่ 36 ขั้นตอนการหมักแก๊สชีวภาพ.....	64
ภาพที่ 37 แบบจำลองการทดลองผลิตแก๊สชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ.....	66
ภาพที่ 38 ลักษณะการวางถังหมักและถังเก็บแก๊สชีวภาพ	67
ภาพที่ 39 ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิการเผา (ก) 400, (ข) 500 และ (ค) 600 °C.....	69
ภาพที่ 40 ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิการเผา (ก) 400, (ข) 500 และ (ค) 600 °C.....	70
ภาพที่ 41 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ	71
ภาพที่ 42 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ .	71
ภาพที่ 43 ผลของเวลาที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ.....	72
ภาพที่ 44 ผลของเวลาที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ	72

ภาพที่ 45 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ	73
ภาพที่ 46 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ	74
ภาพที่ 47 ความชื้นของเมล็ดลีนจีหลังจากผ่านการกระตุ้นให้ก่อกัมมันต์แล้ว	75
ภาพที่ 48 การดูดซับไอโอดีนของเม็ดถ่านจากเมล็ดลีนจีก่อนการกระตุ้น.....	76
ภาพที่ 49 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ.....	77
ภาพที่ 50 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ.....	77
ภาพที่ 51 ผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ	78
ภาพที่ 52 ผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ.....	79
ภาพที่ 53 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ	80
ภาพที่ 54 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ	80
ภาพที่ 55 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลีนจีที่ผ่านการกระตุ้น.....	82
ภาพที่ 56 โครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลีนจีที่กระตุ้นด้วยน้ำ	83
ภาพที่ 57 โครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลีนจีที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	84
ภาพที่ 58 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ	86
ภาพที่ 59 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน	87
ภาพที่ 60 ระยะเวลาของการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ	88
ภาพที่ 61 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน	89
ภาพที่ 62 ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	92
ภาพที่ 63 ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน	94
ภาพที่ 64 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ	95
ภาพที่ 65 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ.....	97
ภาพที่ 66 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของการไม่เขย่าระหว่างการดูดซับ	98

ภาพที่ 67 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของการเขย่าระหว่างการดูดซับ	99
ภาพที่ 68 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อองค์ประกอบแก๊สมีเทน.....	101
ภาพที่ 69 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับต่อองค์ประกอบแก๊สมีเทน.....	102
ภาพที่ 70 สัดส่วนการเกิดแก๊สมีเทน	104



บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

การเลี้ยงไก่เป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทยและผลผลิตจากไก่เป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอาหารหรืออุตสาหกรรมอื่นอีกหลากหลาย ในการเลี้ยงไก่ สิ่งที่เป็นปัญหาและอุปสรรคในการผลิตที่สำคัญ คือ การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากไก่ หรือมูลไก่ โดยฟาร์มไก่ส่วนใหญ่เลี้ยงในกรงทำให้มูลไก่เกิดการกองสะสม (ณฐฐา, 2560) ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา การเพิ่มมูลค่าของมูลไก่ วิธีการหนึ่งคือการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อแปรรูปเป็นพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของแก๊สชีวภาพ โดยทั่วไปแล้วแก๊สชีวภาพ หมายถึง แก๊สที่เกิดขึ้นได้จากการหมัก (Fermentation) ของสารอินทรีย์ โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ทั้งในระดับครัวเรือน และในระดับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น นำมาใช้ในการสันดาปเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในการผลิตไฟฟ้า แต่การนำมูลไก่มาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการหมักนั้น พบว่าปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตขึ้นมีปริมาณของแก๊สสะสมและปริมาณขององค์ประกอบแก๊สมีเทนที่ต่ำ เนื่องจากในมูลไก่มีไนโตรเจนสูง (N) เมื่อนำเอามูลไก่ไปหมักเป็นแก๊สชีวภาพ ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย (NH_4) ซึ่งแอมโมเนียมีผลที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ใช้ในการผลิตแก๊สมีเทน (CH_4) ทำให้ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพลดลง (สิริชัย, 2554) จากการสะสมของแอมโมเนียและทำให้เกิดการยับยั้งแบคทีเรีย ดังที่กล่าวมา จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อลดแอมโมเนียในมูลไก่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ เช่น ทางการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียในฟาร์มสุกรและในฟาร์มไก่ (ศิโรชัย, 2552) ทางการศึกษาการลดแอมโมเนียในมูลไก่ด้วยวิธีการใช้ดูดซับจากการใช้อะลูมิเนียมซิลิเกต การศึกษากระบวนการย่อยสลายร่วมโดยใช้มูลไก่ไซซึ่งมีแอมโมเนียและค่าความเป็นด่างสูงผสมกับน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก (Gelegenis et al., 2007) เป็นต้น วิธีการข้างต้นสามารถลดปริมาณของแอมโมเนียได้ แต่มีขั้นตอนที่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการดำเนินงานสูง เนื่องจากสมบัติพิเศษของถ่านกัมมันต์ในเรื่องของการมีรูพรุนความสามารถในการดูดซับได้ดี ผู้วิจัยจึงสนใจนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในการดูดซับแอมโมเนียของมูลไก่ เพื่อลดความเป็นพิษของระบบก่อนการนำวัตถุดิบไปผลิตแก๊สชีวภาพและเป็นการปรับปรุงกระบวนการการผลิตแก๊สชีวภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal หรือ Activated Carbon) เป็นรูปแบบหนึ่งของธาตุคาร์บอน ที่นำมาผ่านการกระตุ้นให้ถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนกระบวนการผลิต มีสัญลักษณ์เป็น C มี

โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน ในนิวเคลียสอย่างละ 6 มีเลขอะตอมเท่ากับ 6 น้ำหนักของอะตอม เป็น 12.011 (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) ถ่านกัมมันต์มีประโยชน์หลายอย่าง เช่น ฟอกหรือกรอง อากาศในเครื่องปรับอากาศ สกัดสินแร่ เช่น แร่ทองคำ เป็นไส้กรองของหน้ากากนิรภัย เพื่อกรองแก๊ส พิษ และใช้ในอุตสาหกรรมยา การผลิตคาร์บอนให้มีคุณภาพต้องทำการเผาให้ได้เกิน 1,000 °C จะทำให้มีธาตุคาร์บอนเกือบบริสุทธิ์เกิน 57 % ซึ่งกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มีอยู่ 2 วิธีหลัก ๆ ได้แก่ การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) เป็นการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือสารกระตุ้นที่สามารถ แทรกซึมได้ทั่วถึง สารเคมีหรือสารกระตุ้นที่นิยมใช้ทั่วไปในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ในภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะนิยมผลิตถ่านด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมีมากกว่าวิธีการกระตุ้น ทางกายภาพ เนื่องจากใช้ความร้อนและเวลาในการผลิตน้อย (บรรพต, 2556) ส่วนวิธีการกระตุ้นทาง กายภาพ (Physical Activation) เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สหรือไอน้ำอุณหภูมิสูงที่ใช้ในกระตุ้น ทำให้สามารถแทรกซึมเข้าไปในบริเวณรูพรุนของเนื้อเยื่อได้ดีและทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ สลายไป วิธี นี้มีข้อดีที่สามารถนำมาใช้งานได้เลยทันทีโดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง แต่การกระตุ้นด้วยการใช้ แก๊สหรือไอน้ำที่อุณหภูมิสูงเป็นวิธีที่ยุ่งยากและใช้เวลานานในการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ ดังนั้นการ ใช้คลื่นไมโครเวฟจากเตาอบไมโครเวฟ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการลดระยะเวลาและลด ขั้นตอนในการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ เตาอบไมโครเวฟ ใช้หลักการปล่อยคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไป ในอาหารหรือของเหลวจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่น ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล ก่อให้เกิดความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (วิจิต, 2559) เวลาที่ใช้เตาไมโครเวฟจึงสั้น กว่าการใช้เตาแบบธรรมดา ความร้อนจะเพิ่มขึ้นเร็วหรือช้าจะขึ้นกับปริมาณความชื้น รูปร่าง ปริมาตร และมวลของอาหารที่ใส่เข้าไป

ปัจจุบันพื้นที่ทางภาคเหนือมีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะการปลูก ลิ้นจี่ ที่ถือเป็นผลไม้สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ เมื่อทำการเก็บผลผลิตเพื่อส่งออกหรือเข้า โรงงาน ส่วนที่เหลือจากการบริโภคหรือจากการแปรรูปของโรงงานส่วนใหญ่ คือ เปลือกและเมล็ดของ ลิ้นจี่ที่จัดเป็นชีวมวลเหลือทิ้งที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ส่วนใหญ่นิยมกำจัดด้วยการเผา ทิ้ง จึงส่งผลให้เกิดปัญหาหมอกควันต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้กระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชน นอกจากนี้ยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นและเกิดภาวะเรือนกระจก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าวและสนใจนำวัสดุชีวมวลมาเพิ่มมูลค่า ด้วยการ นำมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ ด้วยสมบัติด้านการมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากของถ่านกัมมันต์ทำให้มี ความสามารถในการดูดซับได้ดี ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับ แอมโมเนียในมูลไก่ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ด้วย วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ เปรียบเทียบกับทางเคมีร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ โดยการหาสภาวะในการ

ผลิตที่เหมาะสม เพื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ ก่อนการนำมูลไก่ไปผลิตแก๊สชีวภาพและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์อุตสาหกรรม รวมทั้งการคำนวณต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลีนจี่ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลีนจี่
3. เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลีนจี่

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้เมล็ดลีนจี่จากเขตพื้นที่ทางภาคเหนือเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์
2. ทดสอบสมบัติของเม็ดถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ความชื้นและค่าดูดซับไอโอดีน
3. ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี โดยน้ำและซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ร่วมกับไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 100 และ 200 W เวลาในการกระตุ้น 1 และ 2 min
4. ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายซิงค์คลอไรด์ต่อน้ำหนักเม็ดถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ 3 : 1
5. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลีนจี่ที่ผลิตได้ และเปรียบเทียบกับมาตรฐานการผลิตถ่านกัมมันต์ AWWA B604 (American Water Works Association. Board 604)
6. ศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ ระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ และผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ
7. หมักแก๊สชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการขนาด 5 L ปริมาตรการใช้งานจริง 4 L ในระบบหมักแบบกะ (Batch) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก (35 ± 3 °C) ระยะเวลาการหมัก 15 วัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทางด้านวิชาการ

1. ทราบถึงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่โดยใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมี
2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่
3. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ ที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์
4. ทราบถึงสัดส่วนของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ
5. เป็นต้นแบบการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการนำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพ
6. องค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปเผยแพร่ผลงานทางวิชาการแก่ผู้สนใจ

ทางด้านสิ่งแวดล้อม

1. ลดปริมาณขยะที่เกิดจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและลดปัญหาหมอกควันที่เกิดจากการเผาทำลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
2. ลดการเน่าเสียของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม่น้ำลำคลอง จากการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม
3. การลดปริมาณแอมโมเนียในมูลไก่สามารถช่วยลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และลดการเกิดกลิ่นเหม็นในสถานประกอบการหรือโรงงาน ทำให้ไม่มีกลิ่นเหม็นรบกวนเพื่อนบ้าน
4. ลดมลภาวะและการระบาดของแมลงที่เป็นพาหะนำโรค
5. ลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจกสูงขึ้นบรรยากาศจากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งเป็นเหตุให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น เช่น แก๊สมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ทางด้านเศรษฐกิจ

1. เป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อนำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์
2. ข้อมูลในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับภาคอุตสาหกรรมได้
3. ใช้แก๊สชีวภาพเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงที่ต้องซื้อมาในราคาสูง เช่น แก๊สหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิง จะคืนทุนได้เร็วกว่ากรณีนำไปใช้ทดแทนพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ที่มีราคาต่ำ
4. สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ในการนำมูลสัตว์มาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ

ทางด้านสังคม

1. ปรับเปลี่ยนแนวคิดและวิถีชีวิตของเกษตรกรในการเผาวัสดุเหลือทิ้งจากลี้้นจี่ ด้วยการส่งเสริมรายได้จากการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้ง พร้อมทั้งส่งเสริมการอนุรักษ์ด้านสิ่งแวดล้อม
2. พัฒนาคุณภาพชีวิตคนในชุมชนให้ดีขึ้นในด้านสุขภาพอนามัยที่ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคทางระบบการเดินหายใจที่เกิดจากมลพิษทางน้ำและอากาศ
3. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างเกษตรกร ชุมชน ภาครัฐ ภาคเอกชน ให้เกิดความเข้มแข็งและช่วยกันพัฒนาทั้งด้านระบบเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น

ทางด้านอื่น ๆ

1. ผลพลอยได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน ทั้งในรูปปุ๋ยแห้งและปุ๋ยน้ำได้
2. เป็นการย่อยสลายอินทรีย์แบบไร้อากาศทำให้ปริมาณเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืช บางชนิดลดลงและมีส่วนทำลายการงอกของเมล็ดพืชอีกด้วย
3. การจ้างงานเป็นการส่งเสริมให้งานทำทั้งในระยะก่อสร้างและระยะการใช้งานของระบบ โดยระยะการใช้งานของระบบจะมีการจ้างงานที่สม่ำเสมอตลอดอายุการใช้งานของระบบ

บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎีในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ ความหมายของถ่านกัมมันต์ การทดสอบของถ่านกัมมันต์ กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ประเภทการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ วัสดุตั้งต้นที่สามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ เครื่องอบไมโครเวฟ ลักษณะทั่วไปของชีวมวลที่นำมาศึกษา การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องตลอดจนการนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ และสรุปใจความสาระสำคัญจากการตรวจเอกสาร ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

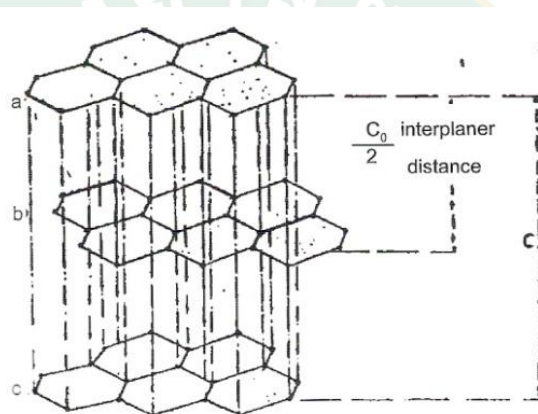
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์

ความรู้ทั่วไปของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous Carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นแบบพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (Activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายในของถ่าน (Internal Surface Area) เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาด้วยวิธีการเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความแตกต่างจากถ่านชนิดอื่น ๆ เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (Microporous Structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (Hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่น ๆ เช่น ซิลิกาเจล (Silica Gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า (กิติโรจน์ และคณะ, 2550)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ทำได้โดยการทำให้รูพรุนหรือโครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุด รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 – 20,000 Angstrom: Å ดังนั้นพื้นที่ผิวของถ่านจึงมีค่าที่สูงและมีความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) สูงเช่นเดียวกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์อาจจะกระทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีน ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ลักษณะของสารดูดซับอุณหภูมิและเวลาในการสัมผัส การ

กระตุ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างของผลึกคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือ การทำให้มีความพรุนไม่ใช่เป็นการกระตุ้นให้ขนาดของรูใหญ่ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ โดยลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามิลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและจะทำให้รูพรุนมีความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน ดังแสดงในภาพที่ 1 (กิตโรจน์ และคณะ, 2550)



ภาพที่ 1 จัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์

การดูดซับเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการสัมผัสผิวโดยตรงระหว่างถ่านกัมมันต์ที่มีผิวสะอาดกับไอหรือสารละลายของสารที่ต้องการดูดซับ โดยที่ไอหรือสารละลายนั้นจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature) ส่วนไอนั้นยังสามารถควบแน่นได้ และปริมาณสารที่ถูกดูดซับนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และขึ้นอยู่กับพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ

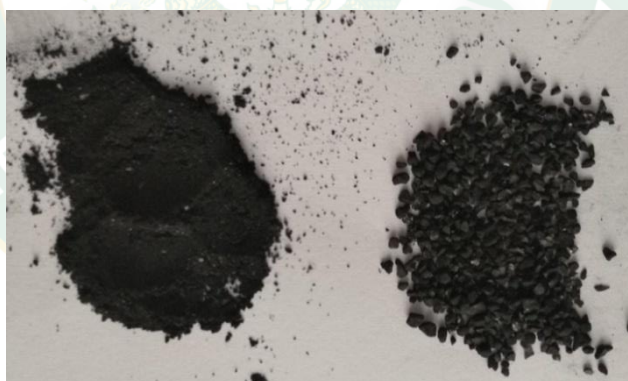
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมักเป็นพวกอินทรีย์สาร ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลา มะพร้าว ชี้ เลื่อย เปลือกผลไม้ ซังข้าวโพด นอกจากนี้ยังมีถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ และวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดูก หรือ เขาสัตว์ เป็นต้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ควรจะมีสมบัติ ดังนี้ มีสมบัติคงที่ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีราคาถูกและหาได้ง่าย มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง (บุญรักษ์, 2559)

ประเภทถ่านกัมมันต์

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้ปัจจุบันผู้ผลิตสามารถผลิตถ่านออกมาได้หลากหลายรูปแบบ ดังนั้นจึงมีวิธีการแบ่งประเภทถ่านกัมมันต์หลายแบบ แต่วิธีที่นิยมใช้คือ การแบ่งตามลักษณะทางกายภาพของถ่าน ดังนี้

ถ่านกัมมันต์ประเภทผง (Powdered Activated Carbon, PAC) ถ่านกัมมันต์ผงเป็นรูปแบบดั้งเดิมของถ่านที่ยังนิยมใช้ในทุกวันนี้ โดยทั่วไปขนาดของผงถ่านจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.15 – 0.25 mm ถ่านในรูปผงมีจุดเด่นตรงตัวถ่านมีสัดส่วนของพื้นที่ผิว (นอก) ต่อปริมาตรมาก ถ่านผงเหมาะกับการใช้งานแบบเติมลงในภาชนะของเหลวโดยตรงมากกว่าการบรรจุในท่อและปล่อยของเหลวไหลผ่านผงถ่าน เนื่องจากวิธีหลังจะสูญเสียผงถ่านได้ง่ายกว่า ถ่านกัมมันต์ประเภทผงจะมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2 ซ้าย (บุญรักษ์, 2559)

ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ด ถ่านกัมมันต์ในรูปเม็ดนิยมใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอของสาร เนื่องจากขนาดเกล็ดใหญ่กว่าผงทำให้แก๊สไหลผ่านได้ง่ายกว่า นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ การปรับอากาศ การผลิตน้ำบริสุทธิ์ ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ดจะมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2 ขวา



ภาพที่ 2 ถ่านกัมมันต์ประเภทผง (ซ้าย) และถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด (ขวา)

ถ่านกัมมันต์อัดแท่ง (Extruded Activated Carbon, EAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) ทำให้ได้ถ่านที่เป็นลักษณะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 – 4.5 mm ถ่านประเภทนี้เหมาะกับการกรองหรือดูดซับแก๊ส เนื่องจากทำให้ความดันแก๊สตก (Pressure Drop) น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ประเภทอื่น นอกจากนี้ถ่านอัดแท่งยังมีความแข็งแรงเชิงกลสูง อีกทั้งทำให้เกิดละอองฝุ่นน้อยด้วย

ถ่านกัมมันต์เคลือบอนุภาค (Impregnated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดพิเศษที่ได้เติมโมเลกุลสารอนินทรีย์ลงไปในโครงสร้างเช่น อนุภาคโลหะเงิน ทำให้ถ่านสามารถฆ่าเชื้อโรคได้นอกเหนือจากสมบัติในการกรองสาร ดังนั้นจึงมีการนำถ่านชนิดนี้มาใช้กับระบบกรองน้ำของเครื่องกรองน้ำ ทั้งนี้แหล่งข้อมูลบางแห่งแย้งว่า การใส่อนุภาคเงินเข้าไปในโครงสร้างถ่านจะทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกรองลดลง และยังมีอีกหลายประเด็นของถ่านชนิดนี้ที่ถูกแย้ง เช่น ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของถ่านเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง

ถ่านกัมมันต์เคลือบโพลิเมอร์ (Polymers Coated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดพิเศษที่ถูกเคลือบด้วยสารโพลิเมอร์บางชนิดที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatible Polymer) โดยใช้เทคนิคพิเศษ ซึ่งชั้นเคลือบโพลิเมอร์มีสมบัติยอมให้สารบางอย่างผ่านไปได้ ถ่านชนิดนี้ถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับสารพิษหรือยาสำหรับกระบวนการฟอกเลือดที่เรียกว่า ฮีโมเพอร์ฟิวชัน (Hemoperfusions)

ขนาดของถ่านกัมมันต์

- ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 nm มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ นิยมใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับแก๊สและไอระเหย
- ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนระหว่าง 2 – 50 nm มักนำไปใช้ดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี
- ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่กว่า 50 nm โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่าง ๆ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคที่ถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กและมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา

การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์

การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์ (อัจฉรา และคณะ, 2555) เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้น ถูกใช้ในการดูดซับและฟอกสีสารต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือแก๊ส ดังนั้นการทดสอบสามารถแบ่งตามสภาพของการทดสอบได้ทั้ง 3 วิธี คือ

- การทดสอบสมบัติทั่วไป (General Properties of Activated Carbon Test)
- การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานกับของเหลว (Liquid Adsorption Test)
- การนำถ่านไปใช้งานกับแก๊ส (Gas Adsorption Test)

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถใช้วัสดุใด ๆ ก็ได้ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่ว่าจะเป็นไม้ ถ่านหิน ชีลื้อย ฯลฯ ซึ่งกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มี 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่

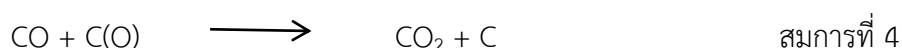
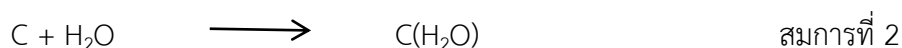
1) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Reactivation) โดยวัตถุดิบนั้นจะถูกเปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นถ่านคาร์บอน โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิ 700 – 800 °C ในสถานะไม่มีออกซิเจน เพื่อไม่ให้วัตถุดิบเกิดการลุกไหม้และเพื่อกำจัดสารอื่น ๆ ออกไปด้วย จากนั้นนำถ่านคาร์บอนที่ได้ ไปกระตุ้นให้กัมมันต์ด้วยความร้อนโดยให้อุณหภูมิประมาณ 900 – 1,100 °C ในสถานะที่มีไอน้ำหรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และบดให้เป็นผงหรือเกล็ดที่มีขนาดตามต้องการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นด้วยกายภาพ คือ เตาเผาแบบหมุน ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ ตัวเครื่อง ประกอบด้วย ท่อบรรจุสาร มอเตอร์หมุน ที่วัดอุณหภูมิและเครื่องควบแน่น แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำผ่านเข้าไปในตัวเครื่องเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง โดยในการผลิตเตาเผา จะใช้ทีมวิศวกร นักเคมี และผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งโครงสร้างของเตาเผาอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ ดังนี้

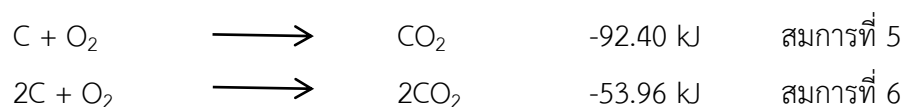
ก. การกระตุ้นด้วยน้ำเป็นการกระตุ้นทางกายภาพอย่างหนึ่ง ทำโดยใช้ไอน้ำอุณหภูมิตั้งแต่ 750 – 950 °C ไอน้ำจึงสามารถทำปฏิกิริยากับผลึกถ่านได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic Reaction) ถ่านที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ มีค่าคาร์บอนประมาณร้อยละ 97 – 98 และยังคงมีรูปร่างที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถตรวจชนิดของวัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์จากกล้องจุลทรรศน์ได้ แสดงดังสมการที่ 1 – 4 (อัจฉรา และคณะ, 2555)



โดยมีกลไก (Mechanism) ดังนี้



ข. การกระตุ้นด้วยอากาศ ปฏิกิริยานี้ใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน การกระตุ้นด้วยอากาศต้องใช้อากาศที่สูงกว่า 800 °C ออกซิเจนจากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับผลึกคาร์บอน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านไม่ให้เกิดการสูญเสียอย่างมากเช่นกัน ดังสมการที่ 5 และ 6



ค. การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกริยานี้เป็นการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยานี้ ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่า วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า โดยใช้อุณหภูมิ 800 – 1000 °C ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ (อัจฉรา และคณะ, 2555) เช่นดังสมการที่ 7



2) การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation) เป็นการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือสารกระตุ้นที่สามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ส่งผลให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้น และเป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนหรือเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิว ก่อนการกระตุ้นทางเคมี ถ่านจะต้องผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500 – 900 °C สารเคมีและสารกระตุ้นที่นิยมใช้ทั่วไปในทางอุตสาหกรรม เช่น ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ในภาคอุตสาหกรรมนิยมผลิตถ่านด้วยวิธีนี้มากกว่าวิธีกระตุ้นทางกายภาพ เนื่องจากใช้ความร้อนและเวลาในการผลิตน้อยกว่า อย่างไรก็ตามบางครั้งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผลิตวิธีนี้อาจมีปัญหาเรื่องสารตกค้างได้ เช่น การพบสังกะสีตกค้างในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (บรรพต, 2556) ข้อดี – ข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดี – ข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี

วิธีการกระตุ้น	ข้อดี	ข้อเสีย
กายภาพ	<ul style="list-style-type: none"> - ได้ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็กทำให้มีการดูดซับได้ดี - ไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่เป็นอันตราย - ต้นทุนในการผลิตต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุ อุปกรณ์ในการผลิตถ่านกัมมันต์หายาก - เครื่องมือในการผลิตถ่านมีความเฉพาะเจาะจง
เคมี	<ul style="list-style-type: none"> - สะดวก และง่ายต่อการผลิต - ใช้เวลาในการผลิตน้อย - ให้ความพรุนสูง 	<ul style="list-style-type: none"> - สารเคมีตกค้างต้องใช้เวลาล้างทำความสะอาดนาน - ต้นทุนในการผลิตสูง

ที่มา: (ปริญทร, 2551)

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการตรวจสอบความสามารถในการดูดซับจะแบ่งความสามารถในการดูดซับตามชนิดของถ่าน คือ ชนิดผง และชนิดเม็ด แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 (กิติโรจน์ และคณะ, 2550)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ g/cm^3	0.20 ถึง 0.75	

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1000	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏ g/cm^3 ไม่น้อยกว่า	0.20		
4	ความแข็ง (Abrasion Resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70		

การดูดซับ

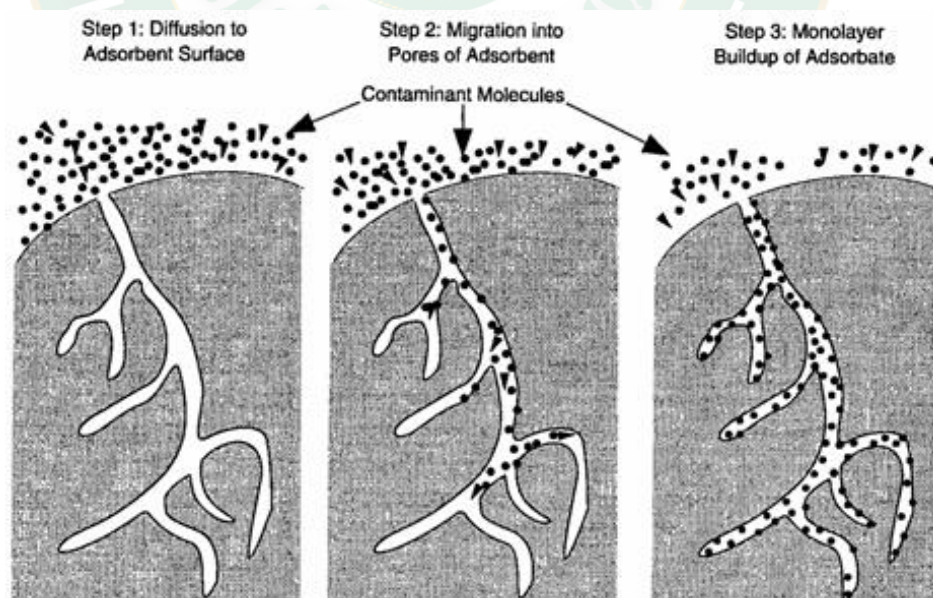
การดูดซับ (Adsorption) หมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ หรือในทางกลับกันเป็นการลดลงของความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ สารซึ่งมีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำ จะถูกดูดซับได้ดีในขณะที่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงกว่าจะไม่ถูกดูดซับ ซึ่งพลังงานอิสระที่ผิวของตัวถูกดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงดึงดูด และพื้นที่ผิวกลไกกระบวนการดูดซับ สารปนเปื้อนเกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายไปเกาะบนผิวรอบนอกของตัวกลางก่อน ตัวกลางที่ดีจะมีลักษณะเป็นรูพรุน ภายในรูจะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา ซึ่งโมเลกุลของสารปนเปื้อนสามารถเคลื่อนที่ลึกลงไปในช่องโพรง ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากขึ้นทำให้ดูดซับได้มากขึ้น

กลไกการดูดซับ (Mechanisms of Adsorption) เนื่องจากการดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) จากแก๊สหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 โมเลกุลสิ่งสกปรก (Adsorbate) เคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของถ่าน

ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของถ่าน

ระยะที่ 3 เกิดจากการดูดซับด้านในหรือระหว่างสิ่งสกปรกของพื้นที่ผิวของถ่านซึ่งอาจจะดูดซับด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้ง 2 อย่างรวมกัน ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กลไกกระบวนการดูดซับ

ที่มา: (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

ประเภทการดูดซับของถ่านกัมมันต์

แบ่งได้ 4 ชนิด ดังนี้

1) การดูดซับกายภาพ เป็นการดูดซับที่มีแรงกระทำอย่างอ่อน ๆ ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะอยู่ที่ผิวของตัวดูดซับโดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Force) ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยกว่า $50 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ การดูดซับทางกายภาพนี้ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับไว้เป็นแบบชั้นเดียวที่ความดันต่ำ และเป็นแบบหลายชั้นที่ความดันสูง หรือตัวถูกดูดซับ อาจเกิดการดูดซับในลักษณะของการดูดซับแบบหลายชั้นซ้อนกันบนผิวของตัวดูดซับซึ่งการดูดซับแบบนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างถาวร จะเกิดการผ่นกลับได้ง่าย การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับทางเคมีหรือถึงสภาวะสมดุลได้เร็วกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานกระตุ้น เหมือนการดูดซับทางเคมี

2) การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมเป็นสารประกอบใหม่ขึ้นโดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับจะมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ยากและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

3) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับตัวดูดซับ หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่ผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

4) เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่อยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยนหรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น (บุญรักษ์, 2559)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

มีหลายปัจจัย ดังนี้

1) ความปั่นป่วน ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการกวนสารละลาย หรือการไหลผ่านคอลัมน์จะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีขนาดและคุณลักษณะทางกายภาพต่างกัน ทำการดูดซับของถ่านกัมมันต์ต้องการความปั่นป่วนในระดับที่ต่างกันออกไป เช่น ถ่านกัมมันต์แบบผง ต้องการความปั่นป่วนสูงจึงจะเกิดการดูดซับดี เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเข้าสู่โพรงช่องว่างของถ่านกัมมันต์

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ขนาดของถ่านกัมมันต์เป็นส่วนผสมผกผันกับอัตราการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Capacity of Iodine Adsorption) กล่าวคือกรณีที่มีพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ส่วนมากเป็นพื้นที่ผิวของช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดภายนอกของถ่านกัมมันต์จะไม่ค่อยมีผลต่อการกำหนดพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ทั้งแบบผงและแบบเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์แบบผงจะมีอัตราการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด

3) ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลของสารจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวถ่านกัมมันต์ สารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนจะละลายน้ำได้ ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำอย่างเหนียวแน่น ทำให้สารนี้เกิดการดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามสารที่ละลายน้ำได้บางชนิดสามารถเกาะติดผิวถ่านกัมมันต์ได้

4) ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์ ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์มีความสำคัญอย่างมากต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ จากการวิจัย พบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารและถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงทำให้สารขนาดเล็กนี้ถูกดูดเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อน จากนั้นสารขนาดใหญ่จึงจะถูกดูดเข้าสู่รูพรุนตามลำดับ

5) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลาย เนื่องจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการดูดซับสารออกจากสารละลาย ดังนั้นค่าความเป็นกรดต่างของสารตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรด จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะเกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี ทำให้ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนน้อยลง

6) อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับอย่างมากถ้าอยู่ในสถานะของเหลว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย จะทำให้อัตราการดูดซับสูงขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับลดลง

วัสดุตั้งต้นที่สามารถนำมาใช้เตรียมและผลิตถ่านกัมมันต์

วัสดุตั้งต้นที่สามารถนำมาใช้เตรียมและผลิตถ่านกัมมันต์ได้ต้องเป็นของแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ชีวมวล (Biomass) เซลลูโลส (Cellulose) พีต (Peat) ลิกไนต์ (Lignite) ถ่านหิน (Coal) นอกจากนี้ยังมีวัสดุทางเลือกอีกกลุ่มที่สามารถนำมาใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ได้และมีการ

ศึกษาวิจัย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Agricultural Residues) เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Saygili et al., 2015) เช่น เปลือกแอปริคอต (Apricot Shell) ซังข้าวโพด (Corn cob) เปลือกมะพร้าว (Coconut Husk) (Tan et al., 2008) เปลือกขนุน (Jackfruit Peel) (Prahas et al., 2008) ไม้มะกอก (Olive Tree Wood) เมล็ดมะกอก (Olive Stones) (Yakout and Sharaf El-Deen, 2016) เครือกล้วย (Banana Empty Fruit Bunch) เปลือกปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Shell) (Yagmur et al., 2013) ไม้เนื้อแข็ง (Hard Wood) ลำต้นอินทผลัม (Date Stems) (Hadoun et al., 2013) ก้านดาวเรือง (Marigold Straw) (Qin et al., 2014) แกลบข้าว (Rice Husk) และกากกาแฟ (Coffee Husk) (Saygili et al., 2015) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ ควรจะมีสมบัติดังต่อไปนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีราคาถูกและหาได้ง่าย มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง และมีสมบัติคงที่

วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

แต่เดิมนั้นเราทราบกันเพียงว่า ถ่านมีสมบัติในการดูดสีในของเหลว (คริสต์ศตวรรษที่ 15) ต่อมาในปี พ.ศ. 2334 มีนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งชื่อ Osteryko พบว่า ถ่านจากกระดูก สามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านซึ่งมาจากไม้ ต่อมาจึงนิยมนำถ่านจากกระดูกมาพอกน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมาก และได้มีการค้นคว้าพัฒนาาจนกระทั่ง ในปี พ.ศ. 2365 มีผู้พบว่าสารที่ได้จากการเผาเลือดกับด่างซี้เถ้า (Potash) มีความสามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านกระดูกถึง 20 – 50 เท่า

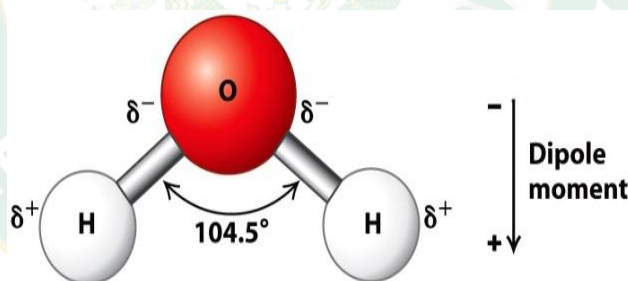
ในปี พ.ศ. 2443 Osteryko นักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ ได้คิดวิธีหนึ่ง คือ ใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา จึงนับได้ว่า Osteryko เป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นอย่างจริงจัง ทำให้มีการผลิตถ่านกัมมันต์ในชื่อต่าง ๆ กันอีกมากมาย เช่น Epomit Norit Caeboraffin Filtchar ฯลฯ และได้มีการปรับปรุงมาเรื่อย ๆ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นนิยมใช้ในการดูดสีพอกสีในโรงงานผลิตน้ำตาลซึ่งพบว่าใช้ได้ดีกว่าถ่านกระดูก

ในระหว่างสงครามโลก ครั้งที่ 1 ได้มีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ทำหน้าที่ปกป้องกันพิษ จากจุดนี้เองทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในสมบัติ การทำแก๊สให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งการทดลองต่าง ๆ นี้ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการพอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะใช้ผลิตหน้ากากป้องกันพิษ เพราะมีลักษณะพอง เบา และต้องใช้ในปริมาณมาก ทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อใช้ในการดูดแก๊สโดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่นี้ผลิตจากกะลามะพร้าว มีสมบัติในการดูดแก๊สได้ดี ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะพอง เบานั้นได้จากไม้ ซี้เถ้า ถ่านหินชนิดร่วน (Peat) ถ่านหินลิกไนต์และกากที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษด้วยไฮเซลลูโลส เป็นต้น เหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ (สมชาย และคณะ, 2554)

เครื่องอบไมโครเวฟ

เตาอบไมโครเวฟ

เตาอบไมโครเวฟให้ความร้อนกับอาหารโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยปกติจะใช้ ช่วงความถี่ 2.45 GHz (ความยาวคลื่น 12.24 cm) ผ่านเข้าไปในอาหาร โมเลกุลของน้ำ ไขมัน และน้ำตาล ที่อยู่ในอาหารจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้น ในกระบวนการที่เรียกว่า การเกิดความร้อนในสารไดอิเล็กตริก (Dielectric Heating) เนื่องจากโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวก และประจุลบที่ขั้วตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นสนามไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตามสนามไฟฟ้าของคลื่น และคลื่นนี้เป็นสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปมา ทำให้เกิดความร้อนขึ้น การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้จะมีประสิทธิภาพการเกิดความร้อนสูงสุด ในการให้ความร้อนแก่น้ำ และประสิทธิภาพต่ำ เมื่อให้ความร้อนแก่ ไขมัน น้ำตาล และน้ำแข็ง การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้ มักจะมีการให้คำอธิบายที่ผิดว่าเกิดจากการสั่นพ้องของโมเลกุลน้ำ (การสั่นพ้องของโมเลกุลน้ำ ซึ่งเกิดได้ที่ความถี่ที่สูงมาก ในช่วงหลายสิบล GHz เท่านั้น) ดังแสดงในภาพที่ 4



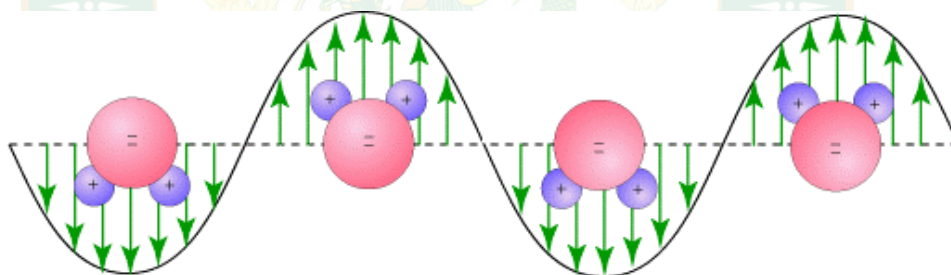
ภาพที่ 4 ภาพวาดแสดงโครงสร้างของโมเลกุลน้ำ (H_2O)

ที่มา: (วิจิต, 2559)

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของโมเลกุลน้ำ (H_2O) ที่การกระจายของประจุไฟฟ้าบวก (อนุภาคโปรตอน) และลบ (อนุภาคอิเล็กตรอน) มีลักษณะว่าประจุไฟฟ้าบวกลัทธิอยู่เยื้องมาทางฝั่งอะตอมไฮโดรเจน และประจุไฟฟาลัทธิอยู่เยื้องไปทางฝั่งอะตอมออกซิเจน ซึ่ง Electric Dipole Moment ของโมเลกุลน้ำ มีค่า 6.1×10^{-30} cm โดยมีทิศชี้จากประจุลบไปทางประจุบวก

การดูดกลืนพลังงานของน้ำหรือไขมันจากคลื่นไมโครเวฟแล้วร้อนขึ้นเป็นกระบวนการที่เรียกว่า การทำให้ร้อนแบบไดอิเล็กตริก (Dielectric Heating) ซึ่งมีหลักการดังนี้ ประติโมเลกุลของ

อาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำและไขมัน และวัสดุอื่น ๆ จะดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟแล้วแปรสภาพเป็นความร้อนในอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลของน้ำมีความเป็นขั้วไฟฟ้า (Electric Dipole) กล่าวคือ โมเลกุลมีขั้วบวกทางด้านหนึ่งและเป็นขั้วลบที่อีกด้านหนึ่ง ทำให้โมเลกุลน้ำมีค่า Electric Dipole Moment ที่เฉพาะเจาะจงค่าหนึ่ง (ภาพที่ 5) ซึ่งเมื่อโมเลกุลเหล่านี้ที่เดิม Electric Dipole Moment ชี้กันสะเปะสะปะ แล้วพยายามวางตัวขนานกับสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ (ที่ก็กลับทิศไป – มาตลอดเวลา) จึงเกิดการหมุนและการชนกับโมเลกุลอื่น ๆ ที่หมุนอันเนื่องมาจากเหตุเดียวกัน การชนกันทำให้เสียพลังงานกลายเป็นความร้อนที่สะสมอยู่ในอาหาร เนื่องจากความถี่ของน้ำอยู่ที่ค่าสูงกว่า 1,000 GHz การเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้ มีประสิทธิภาพสูงในกรณีที่เป็นน้ำมากกว่ากรณีที่เป็นน้ำแข็ง การทำให้ร้อนแบบไดอิเล็กตริกนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย กล่าวคือ ที่ 0 °C ความร้อนจะเกิดสูงสุดที่ความถี่ 10 GHz แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้ก็จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูงกว่านั้นด้วย มีผู้พบว่าความร้อนที่เกิดกับอาหารที่ประกอบด้วยน้ำตาลและ Triglyceride (ไขมัน และ น้ำมัน) มีค่าน้อยกว่าน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากค่า Electric Dipole Moment มีค่าน้อยกว่านั่นเอง อย่างไรก็ตามสารอาหารประเภทนี้มีค่าความจุความร้อนสูงกว่าจึงยังคงรักษาระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าได้เมื่อถูกคลื่นในเตาอบไมโครเวฟ



ภาพที่ 5 ลักษณะการหมุนกลับไป-กลับมาของโมเลกุลน้ำ (H_2O)

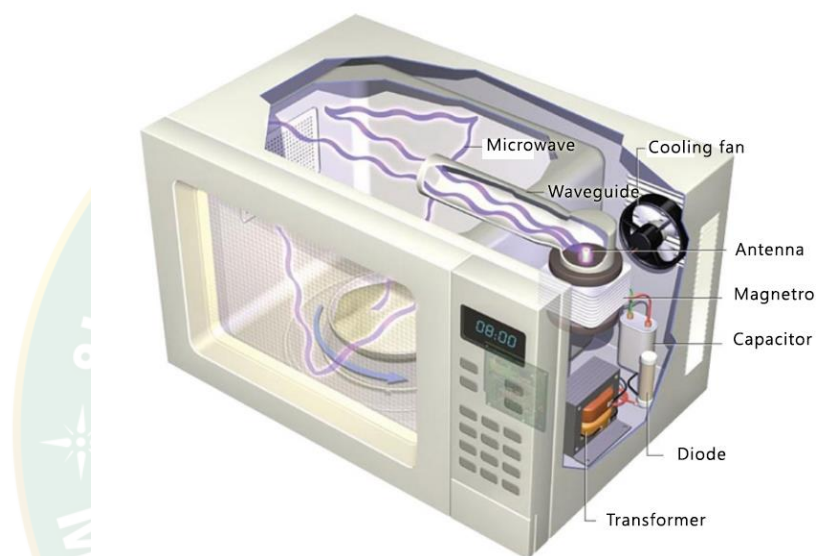
ที่มา: (วิชิต, 2559)

ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นลักษณะการหมุนกลับไป – กลับมาของโมเลกุลน้ำด้วยพยายามหันให้ทิศของ Electric Dipole Moment ชี้ตามทิศทางของสนามไฟฟ้า (ลูกศรสีเขียว) ในคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งก็กลับทิศไป – มา นับเป็นพันล้านครั้งใน 1 s

ช่องสำหรับอบอาหารนั้นจะถูกล้อมไว้ด้วย ลูกกรงฟาราเดย์ เพื่อกักไม่ให้คลื่นหลุดลอดออกมาสู่ภายนอก ประตูดังกล่าวจะเป็นกระจก มีชั้นที่เป็นลูกกรงทำด้วยสารตัวนำไฟฟ้าสำหรับกันคลื่น เนื่องจากขั้วลูกกรงนี้มีขนาดความกว้างของช่องเล็กกว่า ความยาวคลื่น คือ 12 cm คลื่นไมโครเวฟจึงไม่สามารถลอดผ่านออกมาได้ ในขณะที่ แสงสว่างผ่านลอดออกมาได้เนื่องจาก แสงมี

ความยาวคลื่นที่สั้นกว่ามาก ผู้ประกอบอาหารมืออาชีพจะไม่นิยมใช้เตาอบไมโครเวฟในการทำอาหาร โปรดดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ การทำอาหารด้วยเตาอบไมโครเวฟ (Microwaving)

เตาอบไมโครเวฟนั้นสามารถกวนการติดต่อสื่อสารของโครงข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายได้ เนื่องจาก เตาอบไมโครเวฟนั้นผลิตคลื่นไมโครเวฟในย่านความถี่ 2,450 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกับที่ใช้ในโครงข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย ดังนั้นเตาอบไมโครเวฟจึงอาจรบกวนสัญญาณของเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายได้



ภาพที่ 6 ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบภายในของเตาไมโครเวฟ

ที่มา: (วิจิต, 2559)

ภาพที่ 6 แสดงให้เห็นอุปกรณ์สำคัญของเตาอบไมโครเวฟ โดยเฉพาะหลอดแมกนีตรอน (Magnetron) และท่อนำคลื่น (Waveguide) ผนังทั้ง 5 ด้านของห้องใส่อาหารทำด้วยแผ่นโลหะผิวเรียบที่ไม่บางจนเกินไปและเชื่อมต่อกันสนิท ส่วนที่บานประตูเปิด - ปิด ถึงแม้ทำด้วยกระจกเพื่อให้มองเห็นภายในได้ แต่ก็เคลือบด้านในด้วยสารที่เป็นตัวนำไฟฟ้าในลักษณะคล้ายตาข่าย (Mesh) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นหลายเท่า คลื่นไมโครเวฟจึงมองเห็นตาข่ายนี้เป็นเสมือนแผ่นตัวนำทึบ ในกรณีของแสงที่ตาเห็น (Visible Light) จะมีความยาวคลื่นระหว่าง $3.8 \times 10^{-4} - 7.5 \times 10^{-4}$ mm ซึ่งเล็กกว่าขนาดของช่องสี่เหลี่ยม จึงทะลุผ่านออกมาได้ ทำให้เราสามารถเห็นของภายในได้ ดังนั้นเมื่อปิดประตูสนิทแล้ว ผนังตัวนำไฟฟ้าทั้ง 6 ด้านจะทำหน้าที่เป็นกรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) ที่จะกักคลื่นไมโครเวฟให้อยู่แต่ภายในห้องใส่อาหาร ไม่สามารถเล็ดลอดออกมาภายนอกได้ (วิจิต, 2559)

หลักการพื้นฐานของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุแต่มีความถี่ที่สั้นกว่า หัวใจสำคัญหลัก ๆ ของเตาไมโครเวฟ คือ หลอดแมกนีตรอน (Magnetron) ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เพราะคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นความถี่สูงไม่ใช่รังสีจึงไม่กระจายและไม่สะสมในร่างกายมนุษย์ หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟนั้นจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นจะสร้างคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่อาหารจากทุกทิศทางโดยรอบของผนังเตาด้านในแล้วแผ่กระจายไปสู่อาหาร เมื่อคลื่นความถี่สูงไปกระทบอาหารจะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้จะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว (วิจิต, 2559) จากคุณสมบัติเด่นของคลื่นไมโครเวฟที่ทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว จึงเป็นการรักษาคุณค่าของ อาหารไว้อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นการหุง ต้ม อบ นึ่ง ปิ้ง ย่าง ทอด และคุณสมบัติพิเศษที่ได้รับมากกว่า การประกอบอาหารด้วยวิธีดั้งเดิมหลายประการ อาทิความสะอาดรวดเร็ว ประหยัด ปลอดภัย และไร้เขม่าควันไฟ

ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ

- การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้จะสะท้อนกลับหมด ดังนั้นอาหารที่ใส่ในภาชนะที่เป็นโลหะก็จะไม่สุก

- การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถที่จะทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระจก ไม้ เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะที่ใช้ได้ดีในเตาอบไมโครเวฟ

- การดูดซึม (Absorption) ปกติอาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหารซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็วและอีกนัยหนึ่งเมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซึมคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันทีไม่สะสมในอาหาร (กิติโรจน์ และคณะ, 2550)

การประกอบอาหารด้วยเตาไมโครเวฟนี้ จะมีความแตกต่างจากการประกอบอาหาร ด้วยเตาอบธรรมดา คือ เตาอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตา อบแก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน คือ การนำ การพาและการแผ่รังสี แต่เตาไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟที่มีค่าความถี่สูง ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองจะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าประกอบอาหารด้วยระบบอื่น ๆ โดยไม่เสียพลังงานความร้อน

การเลือกใช้ระดับความร้อนในการประกอบอาหาร เต้าไมโครเวฟได้วิวัฒนาการให้ความสะดวกสบายในการเลือกใช้ระดับของกำลังคลื่นไมโครเวฟในการประกอบอาหารแต่ละประเภทอย่างเหมาะสม เริ่มตั้งแต่การทำละลายอาหารแช่แข็ง อุณหภูมิ ต้ม ตุ่น อบ ย่าง ทอด และอีกมากมาย ระดับความร้อนของเต้าไมโครเวฟที่ผลิตขึ้นใช้งานสวนมากจะมี 5 ระดับของการทำงาน คือ High, Medium High, Medium Low, Low ระดับความร้อน กำลังคลื่นไมโครเวฟ (%) High (Full Power) หมายถึง กำลังแรงสุด ถ้าใช้ระบบนี้ในการปรุงอาหารก็จะช่วยให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว โดยทั่ว ๆ ไป ใช้ในการปรุงอาหารประเภท ปลา เบคอน ผักต่าง ๆ อุณหภูมิให้ร้อน เครื่องดื่มร้อน ละลายเนยและเนื้อ (ประเภทไม่เหนียว)

- Medium High ระบบนี้เหมาะสำหรับอบอาหาร ปิ้งอาหารและอาหารที่สุกแล้ว โดยทั่วไปจะใช้ระบบนี้กับประเภท อาหารดังนี้ อุณหภูมิที่ต้องการให้ร้อน อุณหภูมิขมปัง ไก่ย่างหมูย่าง และปรุงอาหารประเภทที่มีส่วนผสมของ เนยแข็ง

- Medium ระบบนี้เหมาะสำหรับการทำอาหารประเภท ซุป สเต็ก ข้าว อบหมูสับ อาหารที่แช่แข็ง ทำแสมเบอร์เกอร์ละลายน้ำแข็งและต้มไข่

- Medium Low ระบบนี้ใช้ ละลายอาหารที่แช่แข็ง เคี้ยวหรืออุ่นอาหารบางประเภทเท่านั้น อาหารสดส่วนใหญ่จะ ต้องเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น เมื่อต้องการจะใช้ต้องเสียเวลาในการรอคอยให้น้ำแข็งละลายหรือคลายความเย็น แต่ระบบนี้ช่วยให้ประหยัดเวลาในการละลายอาหารแช่แข็ง โดยอาหารยังคงสภาพสดไว้เช่นเดิมและไม่เสียคุณค่าทางอาหาร

- Low (Warm) ระบบนี้ใช้ สำหรับอุ่นอาหารที่ไม่ต้องการให้อาหารร้อนจัดเกินไป จะทำให้รสชาติและสีสันทของ อาหารสดกว่าการอุ่นอาหารจากเต้าทั่วๆไป เพราะสามารถปรับระดับความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดของ อาหารได้ตามที่ต้องการ

ลักษณะทั่วไปของชีวมวลที่นำมาทำการศึกษา

ความเป็นมาของลิ้นจี่ในประเทศไทย

ลิ้นจี่ เป็นชื่อของผลไม้ประเภทผลเดี่ยวซึ่งมีลักษณะเปลือกสีแดงชนิดหนึ่งที่อยู่ในวงศ์ SAPINDACEAE (วงศ์เดียวกับเงาะและลำไย) ลิ้นจี่เป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีนทางตอนใต้ ในแถบมณฑลกวางตุ้ง และฟูคเจี้ยน ซึ่งมีการปลูกมานานมากกว่า 3,500 ปีที่แล้ว แล้วค่อยแพร่เข้าสู่ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนประวัติลิ้นจี่ในประเทศไทย พบมีการบันทึกหรือเขียนเกี่ยวกับลิ้นจี่ไว้โดย ปาลเลกซ์ ที่เขียนไว้ในปี พ.ศ. 2397 ตรงกับสมัยรัชกาลที่ 4 ซึ่งแสดงว่ามีการแพร่เข้ามาสู่ประเทศไทยตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2397 แล้ว โดยสันนิษฐานว่า น่าจะแพร่เข้ามาตั้งแต่ที่มีชาวจีนเข้ามาติดต่อค้าขายกับคนไทย ซึ่งอาจอยู่ในช่วงก่อนสมัยอยุธยาหรือในช่วงสมัยอยุธยาแล้ว โดยช่วงแรก ๆ

จะมีพื้นที่ปลูกในแถบพระนครศรีอยุธยาและจังหวัดใกล้เคียง ลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อยให้ผลผลิตคุ้มค่ากับการลงทุนจึงถือว่าเป็นผลไม้ทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่สามารถนำผลผลิตที่ได้มาจำหน่ายในรูปของผลไม้สดและผลไม้แปรรูป ปัจจุบันนี้ลิ้นจี่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีความหลากหลายขึ้นเรื่อย ๆ จากสายพันธุ์ดั้งเดิมที่มีอยู่แล้ว เปลือกผลของลิ้นจี่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (อุดมลักษณ์ และคณะ, 2553)



ภาพที่ 7 ลิ้นจี่

ที่มา: (Dech, 2560)

ลักษณะพฤกษศาสตร์ของลิ้นจี่

สามารถแบ่งลักษณะพฤกษศาสตร์ของลิ้นจี่ได้ ดังนี้

ลำต้น ต้นพาะเมล็ดสูงตรง และมีรากแก้ว ต้นกิ่งตอนมีทรงพุ่มแผ่กว้างและมีรากฝอยต้นสูง 9 – 15 m ทรงพุ่มกว้าง 5 – 10 m เปลือกลำต้นสีน้ำตาลหรือเทาปนน้ำตาล แตกเป็นสะเก็ด และร่องขรุขระ กิ่งกลมและเนื้อไม้มักเปราะหักง่าย

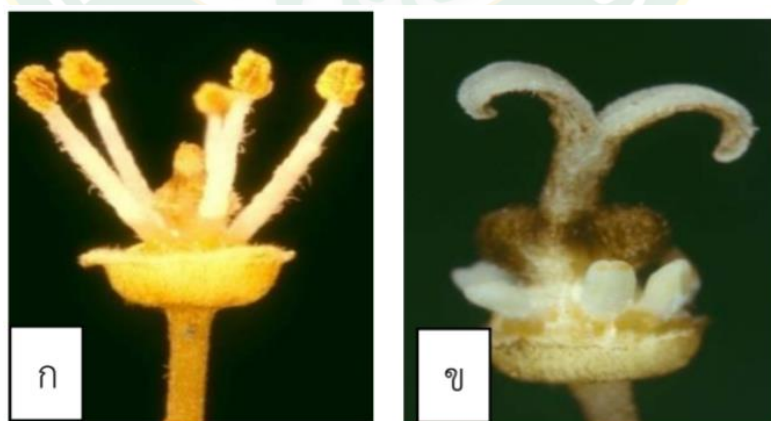
ใบ ใบอ่อนสีเขียวอ่อน เขียวและชมพูปนแดง ใบแก่สีเขียวและเขียวเข้ม ใบเป็นใบรวมเรียงตัวแบบสลับแบบตรงข้ามหรือเอียงกัน มีใบย่อย 2 – 10 ใบ รูปร่างใบมีตั้งแต่เรียวยาวไปจนถึงรูปหอก ขอบใบเรียบฐานใบรูปกลม ผิวใบด้านบนเป็นมัน ส่วนผิวใบด้านล่างสีเขียวอ่อน เนื้อใบหนาและเหนียวคล้ายหนัง

ช่อดอก ต้นพะเพาะเมล็ดเริ่มออกดอกหลังปลูกได้ 7 – 8 ปี แต่กิ่งตอนมักออกดอกหลังปลูกแล้ว 3 – 4 ปี ออกดอกปลายเดือนมกราคมหรือต้นเดือนกุมภาพันธ์ ช่อดอกมักพัฒนาจากปลายยอดใบซึ่งแก่เต็มที่ ช่อดอกเกิดจากปลายยอดที่เจริญเติบโตเต็มที่ แต่บางครั้งก็อาจเกิดจากตาข้างของกิ่งก็ได้ ช่อดอกมีการจัดเรียงดอกโดยก้านช่อดอกหลักแตกก้านช่อดอกแขนงออกไป แล้วแต่ละก้านช่อดอกแขนงก็แตกแขนงย่อยต่ออีกครั้ง ถ้าผ่านอุณหภูมิต่ำเพียงพอจะทำให้ช่อดอกพัฒนาสมบูรณ์ไม่มีใบอ่อนหรือมีน้อยมาก ช่อดอกจะใช้เวลาพัฒนา 6 – 12 สัปดาห์ จนดอกบานเต็มที่

ดอก ดอกสีครีม ขนาด 6 – 8 mm มีกลีบดอก 5 กลีบบางเรียวเล็ก สีขาวหม่น เรียงตัวเยื้องกัน มีกลีบรองดอก 5 กลีบ สีเขียวปนน้ำตาล และแข็ง ฐานกลีบรองดอกมีต่อมน้ำหวาน ดอกแบ่งได้ 3 ชนิด คือ

- ดอกตัวผู้ จะมีเกสรตัวผู้ 6 – 8 อัน เรียงเป็นชั้นตัวเดียวอยู่บนจานรองดอก ก้านเกสรตัวผู้มีขน สีขาวขุ่น ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร อับเกสรตัวผู้มีสีเหลืองอ่อน มี 2 หยัก และปริแตกตามยาวปลดปล่อยละอองเกสรตัวผู้ในช่วงบ่าย ละอองเกสรตัวผู้มีสีเหลืองอ่อน รูปยาวรี แล้วเปลี่ยนเป็นสามเหลี่ยมหรือกลมรีเมื่อได้รับความชื้น ละอองเกสรตัวผู้มี 3 ขั้ว แต่ท่อละอองเกสรตัวผู้มีงอกจากขั้วเดียวเท่านั้น (ดังแสดงในภาพที่ 8ก)

- ดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมีย รังไข่มีขนปกคลุม มี 2 พูแต่เพียงพูเดียวที่พัฒนาเป็นผล อีกพูหนึ่งแห้งฝ่อ และติดที่ขั้วผล ปลายยอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2 แฉก มีน้ำหวานและพร้อมรับละอองเกสรช่วงเช้าตรู่ เกสรตัวผู้ที่มีก้านเกสรสั้นรวม 6 – 8 อัน ล้อมรอบรังไข่ แต่อับเกสรตัวผู้เป็นหมัน (ดังแสดงในภาพที่ 8ข)



ภาพที่ 8 ดอกตัวผู้ (ก) และดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมีย (ข)

ที่มา: (นิพนธ์, 2558)

- ดอกกะเทย จะทำหน้าที่ดอกตัวผู้ที่มีลักษณะคล้ายคลึงดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมียมาก แต่อับเกสรตัวผู้ไม่เป็นหมัน มีละอองเรณูที่มีชีวิตเหมือนดอกตัวผู้ แต่ไม่ค่อยพบในธรรมชาติ ข้อดอกมักมีจำนวนดอกตัวผู้มากกว่าดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมีย แต่สัดส่วนของดอกทั้งสองชนิดนี้ผันแปรตามพันธุ์และสภาพแวดล้อมในช่วงที่ข้อดอกพัฒนานอกจากนี้ดอกตัวผู้ และดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมียในข้อดอกเดียวกันมักบานไม่พร้อมกัน และไม่แน่นอนส่วนใหญ่ดอกตัวผู้เริ่มบานก่อนแล้วตามด้วยดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมีย และช่วงการบานเหลื่อมกันปัจจัยที่ควบคุมรูปแบบการบานของดอกทั้งสองชนิดนี้ยังไม่สามารถระบุได้แน่นอน

ผล เป็นผลเดี่ยวที่พัฒนาจากรังไข่ของดอกกะเทยทำหน้าที่ดอกตัวเมียซึ่งมีรังไข่สองพู แต่รังไข่เพียงพูเดียวที่พัฒนาเป็นผลสมบูรณ์ รังไข่อีกพูแห้งฝ่อและติดอยู่ที่ขั้วผล น้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงแรกแล้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต่อมา แล้วคงที่หรือไม่เปลี่ยนแปลงจนเกือบถึงผล จากเริ่มติดผลจนเกือบถึงผลใช้เวลา 4 – 6 เดือนขึ้นกับพันธุ์ และสภาพแวดล้อม ผลมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันตามพันธุ์ เช่น ค่อนข้างกลมหรือกลมแป้น เปลือกผลเจริญมาจากผนังรังไข่ และพัฒนาไปพร้อม ๆ กับเมล็ด หลังติดผลแล้ว 7 – 8 วัน ต่อมาเมล็ดหยุดพัฒนาแต่เปลือกผลยังพัฒนาต่อจนเกือบถึงผลได้ เปลือกผลสีชมพูอมแดง แดงหรือสีแดงคล้ำเปลือกผลอาจเป็นตุ่ม หนามแหลมหรือค่อนข้างเรียบ เปลือกหนาแตกต่างตามพันธุ์ เนื้อพัฒนาจากเนื้อเยื่อรอบก้านเมล็ดลงมาโอบจนรอบเมล็ด เนื้อสีขาวขุ่น ความหนาเนื้อ และการฉ่ำน้ำแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 9 รสหวานอมเปรี้ยว บางพันธุ์มีรสฝาดหรือกลิ่นหอมเล็กน้อย

เมล็ด เมล็ดสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแก่ รูปร่าง ขนาด และน้ำหนักแตกต่างตามพันธุ์ บางพันธุ์มีเมล็ดโต เช่น จักรพรรดิและนครพนม 1 แต่บางพันธุ์ก็มีเมล็ดลีบเช่น กิมเจ็ง หรือ Salatheil ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลและเมล็ดลิ้นจี่พันธุ์กะโหลกชิง

ที่มา: (นิพนธ์, 2558)

สรรพคุณของลันจี

ลันจีเป็นผลไม้ที่มีรสหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอมหวานชวนกิน คนไทยกินผลสดและนำลันจีมาทำเป็นน้ำผลไม้ ต้มแก้กระหายน้ำ รสชาติหอมหวานชื่นฉ่ำใจ ลันจีเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามินและน้ำตาล มีน้ำมันหอมระเหยและมีกรดอินทรีย์บางชนิด วิตามินบี 11 ในลันจีช่วยป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2 ช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโตป้องกันไขมันอุดตันหลอดเลือดแคลเซียมและฟอสฟอรัสเสริมสร้างกระดูกให้แข็งแรง มีคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส ฟรักโทสและซูโคส จึงสามารถให้พลังงานกับร่างกายช่วยให้รู้สึกสดชื่นได้อย่างรวดเร็วลันจียังเป็นผลไม้ที่มีโพแทสเซียม ซึ่งมีผลต่อการรักษาสมดุลของเหลวในร่างกาย คาเซทิน ซึ่งเป็นสารโพลีฟีนอลในลันจี มีส่วนช่วยลดการเกาะของไขมันในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงในการเกิดเส้นเลือดในสมองแตก ป้องกันการเกิดโรคหัวใจและโรคมะเร็ง อีกทั้งยังมีไนอะซิน ช่วยเปลี่ยนน้ำตาลและไขมันให้เป็นพลังงานช่วยระบบย่อยอาหาร ลันจีมีวิตามินซีสูงมาก ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ช่วยบำรุงหลอดเลือด กระดูก และฟัน เนื้อในผล กินเป็นยาบำรุง แก้อาการไอเรื้อรัง แก้อาการคัดจมูกรักษาอาการท้องเดิน ลดกรดในกระเพาะอาหารและบรรเทาอาการไม่ปกติของระบบทางเดินอาหาร (อุดมลักษณ์ และคณะ, 2553)

เมล็ดลันจีเป็นวัสดุเหลือใช้จากการบริโภคและอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง ลันจี 1 ผลมีเมล็ดคิดเป็นสัดส่วน 40 % ของทั้งหมด ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากของเสียเหล่านี้เมื่อเก็บไว้นานจะเกิดการหมักทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้อยู่อาศัย และเมื่อต้องการกำจัดทิ้งก็จะต้องมีการขนย้ายไปทิ้งหรือเผาทำลาย ซึ่งจะเกิด ค่าใช้จ่ายตามมา ซึ่งการวิจัยนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรที่เหลือทิ้งและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง และเป็นการลดการนำเข้ามาจากต่างประเทศ

สารสกัดจากเมล็ดลันจี

เมล็ดลันจี มีส่วนประกอบหลัก คือ Saponin, Tannin, Leucocyanidin (เป็น Flavonoid ชนิดหนึ่ง) และ Anthocyanin เป็นต้น

สารสกัดที่พบใน เมล็ดลันจี นี้ มีคุณสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์ Collagenase, Elastase และ Hyaluronidase ที่สามารถทำลาย Collagen, Elastin และ Hyaluronic Acid ได้ ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีอยู่ในร่างกายตามปกติ ปกติมีไว้เพื่อรักษาสมดุลของการสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเหล่านี้ แต่หากในกรณีที่การสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของเรามีประสิทธิภาพลดลง เอนไซม์เหล่านี้จะเป็นหนึ่งในตัวการทำให้อายุของเราเหี่ยวเฉา รวมถึงการขาดความชุ่มชื้น ดังนั้นการยับยั้งเอนไซม์เหล่านี้จึงส่งผลให้สามารถช่วยรักษาความเต่งตึง ความชุ่มชื้นให้ผิวหนัง และป้องกันการเกิดรอยเหี่ยวย่นได้

สารสกัดจากเมล็ดลันจียังแสดงคุณสมบัติอื่น ๆ ในการปรับสภาพของผิวได้อีกด้วยโดยสามารถเพิ่มปริมาณการสร้างสารที่เป็นไข (Sebum) จากต่อมไขมัน ซึ่งช่วยปกป้องและทำให้ผิวหนัง

และขนเนียนเรียบ สารที่เป็นไขมันมีค่า pH (ค่าความเป็นกรด - ด่าง) เป็นกรดอ่อน ๆ และเป็นส่วนหนึ่งของสภาพความเป็นกรดอ่อน ๆ ของผิว ที่ทำหน้าที่เป็นเกราะคุ้มกันผิวตามธรรมชาติในการปกป้องผิว การเพิ่ม ปริมาณสารนี้ยังสัมพันธ์กับการทำให้ค่า pH ของผิวอยู่ในช่วง 5.0 - 5.5 ซึ่งเป็นช่วง pH ที่เหมาะสมของผิวหนัง เนื่องจากหาก pH ต่ำกว่านี้ ผิวหนังจะเกิดการระคายเคืองเนื่องจากสภาวะความเป็นกรด และหาก pH สูงกว่านี้ เชื้อจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่ผิวหนังสามารถเจริญเติบโตได้

สารสกัดจาก เมล็ดลิ้นจี่ นั้นยังสามารถกำจัดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นอีกสาเหตุของการเกิดริ้วรอยและมะเร็งผิวหนังได้ เนื่องจากสารที่เป็นองค์ประกอบอย่าง Anthocyanin ซึ่งเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติอยู่แล้ว อนุมูลอิสระในบริเวณผิวหนัง สามารถทำให้เซลล์ผิวหนังเสื่อมและถูกทำลายได้ หรือสามารถชักนำให้เซลล์ผิวหนังเหล่านั้นก่อตัว กลายเป็นเซลล์มะเร็งได้ การทำหน้าที่ของสารสกัดจากเมล็ดลิ้นจี่ในการกำจัด อนุมูลอิสระ โดยแสดงคุณสมบัติเดียวกับเอนไซม์ SOD (Superoxide Dismutase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย โครงสร้างของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วยสารประกอบ 2 หรือ 3 ชนิด ได้แก่ แอนโทไซยานิน หรืออะไกลโคน (Aglycone) มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย คาร์บอนเชื่อมต่อกันในรูป (C-6-C-3-C-6) เชื่อมต่อกัน ซึ่งแอนโทไซยานินที่พบมากในปัจจุบันจะมีอยู่ 6 ชนิด คือ เพลาโกนิน ไดไฮดรอกซีแอนโทไซยานิน เดลฟิโนนิน พีโอนิน ดิน เพทุนิน และมอลวิดิน (Rishi K S et al., 2012)

ลิ้นจี่ 1 ผล สามารถให้เมล็ดลิ้นจี่ประมาณ 60 % ของผลทั้งหมด ซึ่งเมล็ดของมันมีความแข็งแรงทนทาน แสดงถึงการมีอยู่ของคาร์บอนสูง ดังแสดงในตารางที่ 4 ทางผู้วิจัยจึงสนใจนำเมล็ดลิ้นจี่มาทดสอบหาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและสามารถนำถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่มาประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันต่อไป

ตารางที่ 4 องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) ของเมล็ดลิ้นจี่

วิเคราะห์	ผล (%)
ความชื้น (Moisture Content)	9.721 ± 0.11
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen Content)	0.980 ± 0.52
โปรตีน (Crude Protein)	6.126 ± 0.77
ไขมัน (Crude Fat)	0.891 ± 0.09
ไฟเบอร์ (Crude Fiber)	4.327 ± 0.87
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total Carbohydrate Content)	81.098 ± 0.26
คาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon Content)	76.771 ± 0.26

ที่มา: (Rishi K S et al., 2012)

แก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ (Biogas) คือ แก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Process) โดยจุลินทรีย์ที่เป็นจำพวกแบคทีเรียจะมีแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ 50 – 70 % ซึ่งแก๊สมีเทนนั้นมีคุณสมบัติ คือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ติดไฟได้ และเบากว่าอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30 – 50 %, แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือแก๊สไข่เน่า (H_2S), แก๊สไนโตรเจน (N_2) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สอื่น ๆ แก๊สมีเทนเป็นแก๊สที่มีมากที่สุดมีคุณสมบัติไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและติดไฟได้ เบากว่าอากาศ แต่ที่มีกลิ่นเหม็นนั้นเกิดจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเมื่อจุดไฟแล้วกลิ่นเหม็นจะหมดไป (จิราพร, 2560) ดังแสดงในตารางที่ 5 แก๊สชีวภาพเหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องของน้ำเสีย และปัญหาโลกร้อนจากภาวะเรือนกระจก และมีผลพลอยได้จากตะกอนปุ๋ยหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานแปงมัน โรงงานมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานผลไม้กระป๋อง รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมักซึ่งหมายความว่าวัตถุดิบต่างชนิดกันจะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ ปริมาณที่ต่างกัน และนอกจากนี้ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมระยะเวลาในการหมักหรือการกักเก็บของเหลว (Hydraulic Retention Time, HRT) และปัจจัยอื่นๆ

ตารางที่ 5 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

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

สมบัติของแก๊สชีวภาพ

การนำแก๊สชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ค่าพลังงานที่ได้จากแก๊สชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วน (%) ของแก๊สมีเทนที่มีอยู่ในเนื้อแก๊สชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 6 (พลกฤษณ์, 2557)

ตารางที่ 6 ค่าพลังงานจากแก๊สชีวภาพ

คุณสมบัติแก๊สชีวภาพ	ปริมาณ
ค่าความร้อน (Heating Value)	21.5 MJ/m ³ (อ้างอิงที่ CH ₄ 60%)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทางทฤษฎี (A/F)	6.19 m ³ -air/m ³ -gas
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 °C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH ₄	600 °C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6 kJ/m ³ °C
ความหนาแน่น	kg/m ³

การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas)

การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas) เป็นวิธีหนึ่งในการผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวลโดยผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ของเชื้อแบคทีเรียสารอินทรีย์ที่เข้ามาจากส่วนประกอบของขยะมูลฝอย การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ เป็นแบบแห้ง (Dry Digestion) และเป็นแบบเปียก (Wet Digestion) เชื้อจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มที่ต้องการและไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการเติบโต เชื้อบางกลุ่มสามารถปรับเปลี่ยนเมแทบอลิซึมไปมาได้ขึ้นอยู่กับสภาวะว่ามีหรือไม่มีออกซิเจน กระบวนการที่ใช้ ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้เร็ว เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในขณะที่กระบวนการไร้ออกซิเจนจะช้ากว่า 50 เท่า เมื่อเทียบกับกระบวนการใช้ออกซิเจน แต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน (นฤมล, 2556) ข้อดีและข้อเสียของการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อดีและข้อเสียของการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ	1. เชื้อจุลินทรีย์เติบโตช้า
2. มีการเกิดตะกอนส่วนเกินน้อยมาก	2. การเริ่มต้นระบบใช้เวลานาน
3. ต้องการสารอาหารต่ำเฉพาะ N และ P	3. เสถียรภาพของระบบต่ำ
4. สามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้นาน	4. กลิ่นและแมลงรบกวน
5. ได้แก๊สชีวภาพมาเป็นพลังงาน เพื่อใช้ในเครื่องจักรหรือผลิตกระแสไฟฟ้า	5. สามารถย่อยได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 °C เท่านั้น
6. ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียอินทรีย์	

สำหรับแก๊สชีวภาพที่ 0 °C ความดัน 1 bar มีองค์ประกอบของแก๊สต่าง ๆ ดังนี้ แก๊สมีเทน (CH₄) 65 – 70 % แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 30 – 40 % และแก๊สอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H₂) ออกซิเจน (O₂) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ไนโตรเจน (N₂) และไอน้ำ 1 % และค่าความร้อนประมาณ 4.5 MJ/m³ และความหนาแน่น 1.15 kg/m³ จากคุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ สามารถนำแก๊สชีวภาพ ปริมาตร 1 m³ มาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ (นฤมล, 2556) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แก๊สชีวภาพ 1 m³ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

เชื้อเพลิง	ค่าความร้อนเทียบเท่า
แก๊สหุงต้ม (LPG)	0.46 kg
น้ำมันเบนซิน	0.67 L
น้ำมันดีเซล	0.60 L
น้ำมันเตา	0.55 L
ไม้ฟืน	1.50 kg

สำหรับการประมาณการปริมาณของแก๊สชีวภาพที่สามารถผลิตได้ ปริมาณสารอินทรีย์ต่อ ปริมาตรของน้ำเสีย หรือของสารอินทรีย์ที่ใช้ตัวชี้วัดที่ใช้คือ เชนจ์เคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) การทดสอบ COD นี้จะเป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยที่ สมบูรณ์ระหว่างสารเคมีกับตัวอย่างน้ำเสีย ฉะนั้น COD จะบอกถึงสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่สามารถ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ (นฤมล, 2556)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

แก๊สชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย เช่น จุลินทรีย์ กลุ่มสร้างมีเทนหรือแบคทีเรียเมทาโนเจน (Methane-Producing Bacteria) และจุลินทรีย์กลุ่มสร้าง กรด (Acid Producing Bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ ในกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศ เป็นการที่จุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลงจากสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโครงสร้างที่ ซับซ้อนลงเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้น ๆ ไป

กระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศ แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

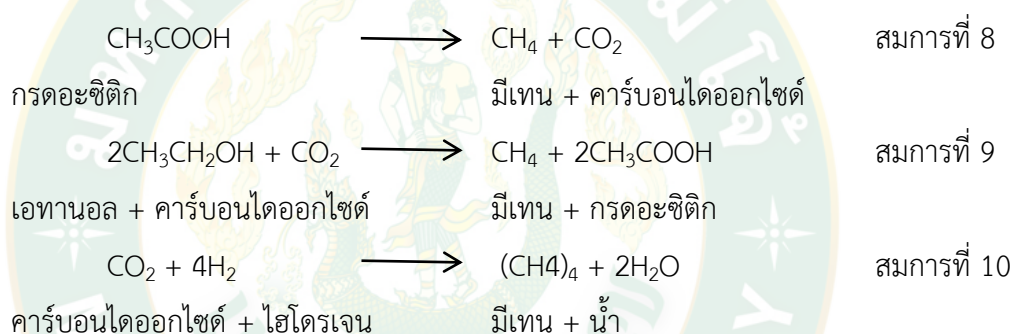
1) ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) เป็นสารอินทรีย์ประเภทเศษพืชผัก และเนื้อสัตว์ โดยมี องค์ประกอบสำคัญคือ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์เอกซ์ตรา เซลลูลาร์ (Extra Cellular Enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างของโมเลกุลอันซับซ้อนให้แตกลงเป็น

โมเลกุลเชิงเดี่ยว (Monomer) เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

2) แอซิทิฟิเคชัน หรือแอซิโดเจเนซิส (Acidification/ Acidogenesis) การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (Monomer) หรือเป็นกรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) กรดคาร์บอนคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3) อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) เป็นการเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน

4) เมทาไนเซชัน, เมทาโนเจเนซิส (Methanization, Methanogenesis) กรดอะซิติกและอื่น ๆ จากขั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนบางส่วนจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยเมทาโนเจน (Methanogen) ดังสมการที่ 8 – 10



แก๊สชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

แก๊สชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ คือ แก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ ถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพไม่มีอากาศทำให้เกิดแก๊สขึ้น ซึ่งแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สที่ผสมกันระหว่างแก๊สชนิดต่าง ๆ ซึ่งแก๊สชีวภาพจะประกอบด้วย แก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60 – 70 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30 – 40 ส่วนที่เหลือจะเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และแก๊สไนโตรเจน (N_2) ซึ่งแก๊สมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยแก๊สมีเทนเป็นหลักซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุสามารถให้แก๊สชีวภาพ แต่จะเกิดแก๊สน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลาย เช่น พืชสดจะเกิดแก๊สยากกว่ามูลสัตว์ เนื่องจากมูลสัตว์มีการย่อยสลายมาบ้างแล้วจากสัตว์ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น ดังนั้น การนำพืชสดมาใช้กระบวนการหมักให้ได้แก๊สชีวภาพจะต้องทำการสับให้มีขนาดเล็กและหมักทิ้งไว้ก่อน สำหรับวัสดุที่นำมาหมัก นอกจากนี้นี้ยังสามารถนำของเสียหรือน้ำเสียจากกระบวนการต่าง ๆ มาใช้หมักได้อีกด้วย

มูลไก่อกับการผลิตพลังงาน

มูลไก่ มีศักยภาพที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้มูลไก่ จะประกอบด้วยแก๊สมีเทน (CH_4) 50 – 70 % คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30 – 40 % และที่เหลือเป็นแก๊สอื่น ๆ ปริมาณของสิ่งขับถ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของการเลี้ยงสัตว์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาด ชนิดของสัตว์ และประเภทของสัตว์ที่เลี้ยง ว่าเป็นโค สุกร หรือไก่ แสดงดังตารางที่ 9 และขึ้นอยู่กับขนาดของฟาร์มที่เลี้ยง

ตารางที่ 9 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์และคนคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัว

ชนิดสัตว์	สิ่งขับถ่ายตามน้ำหนักตัว		ปริมาณในสิ่งขับถ่ายสด		น้ำหนักตัว (kg)
	มูล (%)	ฉี่ (%)	TS (%)	VS (%)	
โค	5	4 – 5	16	13	135 – 800
กระบือ	5	4 – 5	14	12	340 – 420
สุกร	2	3	16	12	30 – 75
แพะ – แกะ	3	1 – 1.5	30	20	30 – 100
ไก่/ สัตว์ปีก	4.5	–	25	15	1.5 – 2
คน	1	2	20	15	50 – 80

เมื่อนำมูลไก่มาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยการเผาจะได้ค่าความร้อน 1 ใน 3 ของถ่านหินในแก๊สเทอร์ไบน์ 18,000 – 20,000 kJ/kg หรือเปลี่ยนเป็นแก๊สมีเทนโดยการย่อยสลายของสารจุลินทรีย์ เนื่องจากมูลไก่มีศักยภาพที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของมูลสัตว์	ปริมาตรแก๊สชีวภาพ (m^3) ต่อ kg มูลสัตว์
วัว ควาย	0.023 – 0.040
หมู	0.040 – 0.059
ไก่	0.065 – 0.116

ปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่ง ที่มีผลต่อการสร้างแก๊สมีเทน คือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน C/N ซึ่งอัตราส่วน C/N ในช่วง 20 – 30 ถูกพิจารณาว่าเหมาะสมต่อเงื่อนไขการหมักในสภาวะไม่ใช้อากาศ ทั้งนี้เนื่องจากหากค่า C/N มีค่าสูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน เพื่อให้ได้โปรตีนที่ต้องการ ซึ่งมันจะไม่ทำปฏิกิริยาต่อกับคาร์บอนที่เหลือในวัตถุดิบ ส่งผลให้อัตราการผลิตแก๊สต่ำ ในทางกลับกันหากค่า C/N มีค่าต่ำเกินไป ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมา และสะสมในรูปของแอมโมเนีย (NH₃) ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดต่างที่สูงกว่า 8.5 จะมีผลเป็น พิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน อัตราการผลิตแก๊สจึงต่ำเช่นกัน ของเสียจากสัตว์ประเภทอื่น เช่น ไข่ วัช ควาย แพะ สุกร พืชต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว อ้อย ผักตบชวา และขี้เลื่อย จะมีปริมาณคาร์บอนอยู่สูง อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบโดยทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 11 วัตถุดิบที่มี C/N สูงจะสามารถนำมา หมักย่อยร่วมกับวัตถุดิบที่มี C/N ต่ำ เพื่อให้ได้อัตราส่วนเฉลี่ยที่เหมาะสม

ตารางที่ 11 อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบสารอินทรีย์

วัตถุดิบ	อัตราส่วน C/N
มูลเป็ด	8
มูลคน	8
มูลไก่	10
มูลแพะ	12
มูลสุกร	18
มูลแกะ	19
มูลวัว มูลควาย	24
มูลช้าง	43

ผลกระทบที่เกิดจากฟาร์มไก่เนื้อ

สิ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต คือ ของเสีย (Waste) เป็นผลมาจากการไม่สามารถเปลี่ยนปัจจัยในการผลิตให้เป็นผลผลิตที่ต้องการได้ทั้งหมด โดยมลพิษที่ได้จากของเสียที่สำคัญในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ คือ กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยกลิ่นจากสัตว์ตาย กลิ่นจากตัวของสัตว์ที่เลี้ยง กลิ่นจากมูลสัตว์ และกลิ่นจากบ่อบำบัดหรือบ่อกักเก็บมูลสัตว์ สำหรับทั้งของเสียที่เกิดจากฟาร์มไก่เนื้อที่สำคัญ ได้แก่ มูลสัตว์ น้ำเสีย ซากสัตว์ แก๊ส และขยะ เนื่องจากของเสียเหล่านี้มีหลายชนิดทั้งในรูปของแข็ง ของเหลวและแก๊สที่สัตว์ขับถ่ายออกมา และที่เกิดจากการหมักเน่าของเสียที่มีการกำจัดที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งการมีความรู้และเข้าใจถึงชนิดของของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตสัตว์

จะช่วยให้ฟาร์มมีการจัดการในการกำจัดของเสียได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม อย่างไรก็ตามของเสียที่เกิดจากฟาร์มสัตว์ปีกนั้นจะอุดมไปด้วยสารอินทรีย์ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าชีวมวล (ธวัชชัย, 2552)

ทั้งนี้ข้อเสียที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อในเรื่องการส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งกลิ่นนั้นเกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากของเสียภายในฟาร์ม เช่น วัสดุรองพื้น เศษอาหาร และมูลสัตว์ เป็นต้น โดยเฉพาะในช่วงหน้าร้อนไก่จะกินน้ำมาก ส่งผลถึงภาวะของเสียภายในฟาร์มมากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยแก๊สจากของเสียนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสุขภาพของสัตว์แล้ว มลพิษที่เกิดจากของเสียยัง (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554) ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารมีประสิทธิภาพต่ำและส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของไก่ลดลง ทำให้สัตว์เจ็บป่วยและส่งผลให้อัตราการตายของไก่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลกระทบของมลพิษที่มีผลต่อตัวไก่

แก๊ส	ผลกระทบ
แอมโมเนีย	> 10 ppm มีผลต่อปอด > 20 ppm มีผลต่อระบบหายใจ > 50 ppm อัตราการเจริญเติบโตลดลง
คาร์บอนไดออกไซด์	> 0.35 % เกิดภาวะมีน้ำในโพรงเยื่อหุ้มช่องท้อง เป็นอันตรายถึงชีวิต 100 ppm เป็นอันตรายของชีวิต
ความชื้น	> 29 °C และความชื้น 70 % มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต

*ppm (Part Per Million) คือ หน่วยส่วนในล้านส่วน (mg/L)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

การผลิตแก๊สและย่อยสลายสารอินทรีย์มีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating Temperature) เมทาโนเจนไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดต่ำกว่า 10 °C แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็น 2 ระดับของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เมโซฟิลิกทำงานได้ดี คือประมาณ 20 – 45 °C แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37 – 41 °C โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก เทอร์โมฟิลิกทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 50 – 52 °C

แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 °C แต่แบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วยทำให้ระบบหมักแก๊สชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิกเสถียร

2) ความเป็นกรด - ด่าง (pH Value) ค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 7.0 - 7.2 ค่าพีเอชในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่าพีเอชลดลง หากพีเอชลดลงต่ำกว่า 5 ระบบจะหยุด กระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัย หนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดต่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหากพีเอชต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH_4 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียรพีเอชจะอยู่ระหว่าง 6.8 - 8

3) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) คือ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตแก๊สชีวภาพ คือตั้งแต่ 8 - 30 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพ คือ ประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงมาก ไนโตรเจนจะถูก Methanogen นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้แก๊สน้อย แต่ถ้าหากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก ๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าพีเอชซึ่งถ้าหากค่าพีเอชสูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวน Methanogen ลดลงนอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8 - 30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณแก๊สที่ได้เป็นแก๊สอื่น ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น

4) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ปริมาณที่เติมนั้นมากเกินไปก็จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไป (เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการ คือ Acidogenesis กรดจะถูกผลิตขึ้นมา) จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก Methanogen ตายหมด ซึ่งถ้าหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็ต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยแก๊สที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

5) การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอนน้ำและสารอินทรีย์ เป็นส่วนสำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับ สารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดแก๊สเร็วขึ้นและมากขึ้น ทั้งนี้ยังช่วยป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

6) สารอาหาร (Nutrient) คือ สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีสารอาหารพวกไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส

โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่ จำเป็นในปริมาณน้อยมาก ๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิปดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียมทังสเตน และนิเกิล เป็นต้น

7) สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials) เช่น ไฮโดรเจน หรือ แอมโมเนียรวมไปถึงธาตุไอออน, สารพิษ, โลหะหนัก,กรดไขมันระเหยได้, สารทำความสะอาดต่าง ๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่าง ๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโต และการผลิตแก๊สของ แบคทีเรียได้ธาตุไอออนในปริมาณที่น้อย (โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, แอมโมเนีย) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียได้เช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะ ส่งผลเป็นพิษได้ เช่นแอมโมเนียในปริมาณ 50 – 200 mg/L จะเป็นผลดี ช่วยในการเจริญเติบโตของ แบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าสูงกว่า 1,500 mg/L ก็จะเริ่มส่งผลเสีย ในทาง เดียวกัน โลหะหนักบางประเภท (ทองแดง, นิเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่น ๆ) ในปริมาณที่ น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

8) ปริมาณของแข็ง (Total solid content, TSC) ของสารอินทรีย์ในการผลิตแก๊สชีวภาพแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

High-Solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~ 20%

Low-Solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~ 15%

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ High Solid จะต้องใช้พลังงานมากกว่าใน การสูบน้ำตะกอน (Slurry) แต่เนื่องจากในระบบ High Solid ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักมีค่าที่สูง กว่า พื้นที่ที่ใช้จึงน้อยกว่า แต่ในทางกลับกันถังหมัก Low Solid ซึ่งสามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้ พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไป สูงขึ้น ที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของแบคทีเรีย และสารอินทรีย์ดี ขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่ว ถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตแก๊สเร็วขึ้น

9) ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention Time) คือ ระยะเวลาที่ ใช้ในการเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอต่อ แบคทีเรียที่ใช้สำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งแบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไป จะส่งผลให้ จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่าพีเอชในถังหมัก ลดลง ขึ้นขณะเดียวกัน หากมีการระยะเวลาการกักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่ แบคทีเรีย ย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วน ใหญ่จะประมาณ 14 – 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ ค่า TSC อุณหภูมิขนาด และประเภทของ Digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิต ได้นานเท่าไรโดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก หมายถึง

ระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียย่อยอาหารไม่หมดหมายความว่า แบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

10) อัลคาลินิตี (Alkalinity) คือ ค่าความเป็นด่างในระบบการผลิตแก๊สชีวภาพที่อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต บ่งบอกถึงความสามารถของน้ำหรือของเหลวในการรับโปรตอน ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ค่าความเป็นด่างนี้จะบ่งบอกถึงบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity) ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุมค่าความเป็นกรด ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนค่าพีเอชในระบบ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อระบบที่มีค่าพีเอชสูง ระบบที่มีความเป็นด่างสูงจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาค่า pH ของระบบให้เกิดความคงตัวให้อยู่ได้นาน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชได้โดยง่าย โดยทั่วไประบบควรมีสภาพด่างทั้งหมดประมาณ 1,000 – 1,500 mg/L ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (พลกฤษณ์, 2557)

11) การเติมอาหารและสารอินทรีย์ (Feed) การเติมสารอาหารหรือสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 วิธี ได้แก่

- การเติมครั้งเดียว (Batch Operation) เป็นการป้อนสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ถังหมักเพียงครั้งเดียว จากนั้นจะปล่อยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในระบบและจะไม่มีการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มเข้าไปอีก สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายจนหมดโดยสังเกตจากปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น จึงจะถ่ายตะกอนออกจากระบบและเติมสารอินทรีย์เข้าไปใหม่ ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนกและการทำงานของระบบจะไม่คงที่ เนื่องจากมีปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ

- การเติมกึ่งต่อเนื่อง (Semi - Continuous Operation) เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักในลักษณะเป็นช่วง ๆ อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งมีการเติมสารอินทรีย์และมีการถ่ายสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกจากระบบ โดยการเติมอาจเติมวันเว้นวัน ทุกวัน หรืออาจจะเว้นวันสองวันก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของถังหมักหรือปริมาณวัตถุดิบที่มีอยู่ เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง ระบบนี้จะมีท่อสำหรับป้อนสารอินทรีย์และขับสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วออกจากระบบ การเติมลักษณะนี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างกะทันหันส่งผลให้มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบการเติมครั้งเดียว ปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีความสม่ำเสมอ

- การเติมแบบต่อเนื่อง (Continuous Operation) เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์และขับสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วออกจากระบบอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงที่สุด แต่การเติมสารอินทรีย์ และขับสารอินทรีย์ออกจากระบบนั้นทำได้ยากในระบบขนาดเล็กทั่วไป จึงนิยมใช้ในระบบใหญ่ ๆ ที่ต้องการปริมาณแก๊สชีวภาพสูง ๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมหรือฟาร์มปศุสัตว์

ศักยภาพการผลิตแก๊สมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP)

ศักยภาพการผลิตมีเทน คือ กระบวนการเติมวัตถุดิบพร้อมกับเชื้อจุลินทรีย์เพียงครั้งเดียว ภายใต้กระบวนการไร้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณการเกิดแก๊สต่อวันต่อปริมาณวัตถุดิบที่เติมและจำนวนวันทั้งหมดที่มีการเกิดแก๊ส จำนวนวันที่วัตถุดิบจะหมักย่อยได้หมด โดยแสดงในรูปของปริมาณแก๊สมีเทนเกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมชีโอดีหรือกรัมของแข็งระเหย ของเสียที่ป้อนเข้าไปค่า BMP ที่ได้จะแสดงถึงศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุดของของเสีย ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงปริมาณมีเทนสูงสุดที่สามารถผลิตได้ และประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบหมักแก๊สชีวภาพจากวัตถุดิบในแต่ละชนิด

โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาศักยภาพการผลิตแก๊สมีเทน มีรายละเอียดดังนี้
ปริมาณของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลาย แสดงดังสมการที่ 11

$$VS_{\text{removed}} \text{ (mg/L)} = VS_{\text{(in)}} \text{ (mg/L)} - VS_{\text{(out)}} \text{ (mg/L)} \quad \text{สมการที่ 11}$$

$$\text{ของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด} = \text{ของแข็งระเหย}_{\text{(in)}} - \text{ของแข็งระเหย}_{\text{(out)}}$$

ปริมาณชีโอดี (COD) ที่ถูกย่อยสลาย แสดงดังสมการที่ 12

$$COD_{\text{removed}} \text{ (mg/L)} = COD_{\text{(in)}} \text{ (mg/L)} - COD_{\text{(out)}} \text{ (mg/L)} \quad \text{สมการที่ 12}$$

$$\text{ชีโอดีที่ถูกกำจัด} = \text{ชีโอดี}_{\text{(in)}} - \text{ชีโอดี}_{\text{(out)}}$$

ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี (COD) แสดงดังสมการที่ 13

$$COD_{\text{removed}} \% = [(COD_{\text{(in)}} \text{ (mg/L)} - COD_{\text{(out)}} \text{ (mg/L)}) / COD_{\text{(in)}} \text{ (mg/L)}] \times 100 \quad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ $COD_{\text{(in)}}$ และ $COD_{\text{(out)}}$ เป็นค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายของ COD ที่เกิดขึ้นของการหมักแบบไร้ออกซิเจน

อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของจุลินทรีย์ (Specific Methane Yield) แสดงดังสมการที่ 14

$$\text{Specific Methane Yield} = \text{Methane Yield (L)} / COD_{\text{removed}} \text{ (kg)} \quad \text{สมการที่ 14}$$

อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของจุลินทรีย์ = ปริมาณแก๊สมีเทน (L)/น้ำหนักของชีโอดีที่ถูกย่อยสลาย (kg)

ศักยภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้แก๊สมีเทน (%BMP) แสดงดังสมการที่ 15

$$\%BMP = (\text{Specific Methane Yield} / \text{*Methane Yield}) \times 100 \quad \text{สมการที่ 15}$$

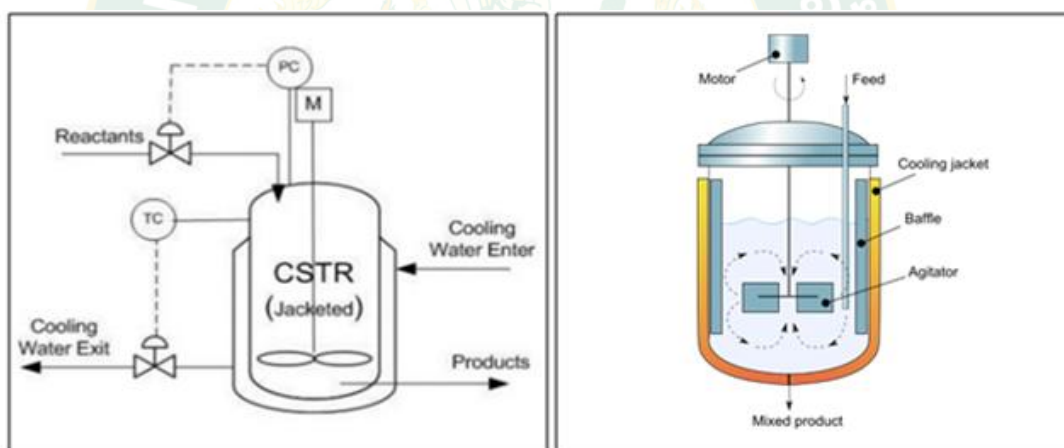
$\%BMP = (\text{อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของจุลินทรีย์} / \text{ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี}) \times 100$

*จากทฤษฎี COD 1 kg เปลี่ยนเป็นแก๊สมีเทน 350 L

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ

เทคโนโลยีผลิตแก๊สชีวภาพในประเทศไทยที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

1) ระบบบ่อหมักแบบกวนต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor, CSTR) ระบบถังกวนแบบต่อเนื่อง จัดอยู่ในกลุ่มบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วที่เรียกตามลักษณะภายในถังที่มีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด ถังหมักแบบนี้ถือเป็นถังแบบอุดมคติ (Ideal Reactor) แบบหนึ่ง ถังกวนต่อเนื่องนี้ถูกพัฒนาจากระบบ Conventional Anaerobic Digester ที่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการกวนผสมไม่ดีมีระยะเวลาย่อยสลายนาน จึงได้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันของสารอาหารในระบบ โดยมีการติดตั้งใบกวน เช่น แบบ Paddle สกรู (Screw) หรือ Gas Diffuser ซึ่งการกวนผสมจุลินทรีย์และสารอาหารในถัง จะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ดีขึ้น ระบบนี้เหมาะกับวัตถุดิบที่มีความเข้มข้นสูง มีสารแขวนลอยสูง หรือแม้กระทั่งมีสารพิษปนอยู่ เนื่องจากระบบนี้มีการกวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจาง จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น ดังแสดงในภาพที่ 10

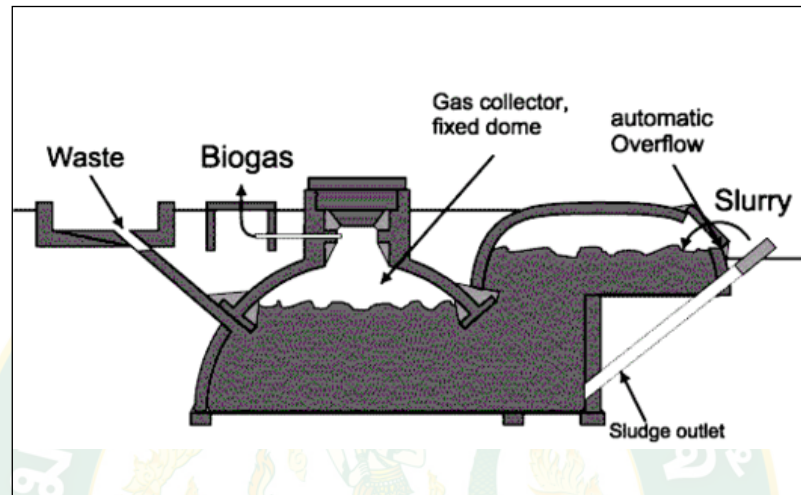


ภาพที่ 10 แผนผังบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบกวนต่อเนื่อง

ที่มา: (จิราพร, 2560)

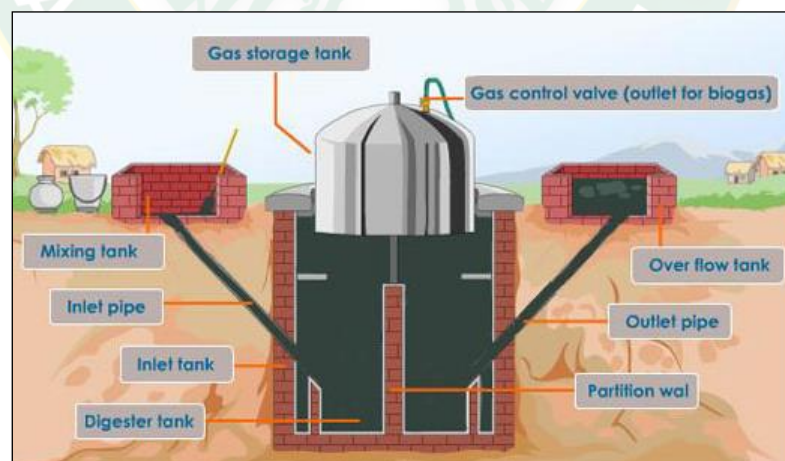
2) ระบบแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ระบบนี้จะมีลักษณะเป็นทรงกลมฝังอยู่ในดิน ส่วนที่เก็บแก๊สจะมีลักษณะเป็นโดม ข้อดีของระบบนี้คือ ประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์มเนื่องจากถังฝังอยู่ในใต้ดิน จึงทำให้สามารถระบายน้ำมูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมักได้ง่าย และอุณหภูมิในบ่อหมักค่อนข้างคงที่ ทำให้การหมักเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ระบบหมักแก๊สชีวภาพชนิดนี้มีส่วนประกอบสำคัญคือ บ่อเติมมูลสัตว์ ทำหน้าที่ในการผสมมูลสัตว์กับน้ำก่อนเติมในบ่อหมัก บ่อหมักทำหน้าที่รับมูลสัตว์และน้ำจากบ่อเติมมาหมักทำให้เกิดแก๊สชีวภาพ บ่อนี้จะต้องแข็งแรงและไม่รั่วซึม ดังแสดงในภาพที่

11 และ 12 เนื่องจากส่วนโดมของบ่อนี้จะเป็นที่เก็บแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นก่อนจะนำไปใช้งาน บ่อล้นมีหน้าที่รับมูลสัตว์ที่ล้นออกจากบ่อหมัก และเมื่อปริมาณแก๊สชีวภาพในบ่อหมักมีปริมาณลดลง มูลสัตว์ในบ่อล้นจะไหลกลับสู่บ่อหมัก เพื่อให้แก๊สชีวภาพในบ่อหมักไหลออกไปได้ บ่อรับกากจากบ่อล้น เป็นที่รองรับตะกอนจากบ่อล้น ซึ่งตะกอนที่ไหลออกมาสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการเกษตรได้



ภาพที่ 11 ระบบแบบโดมคงที่

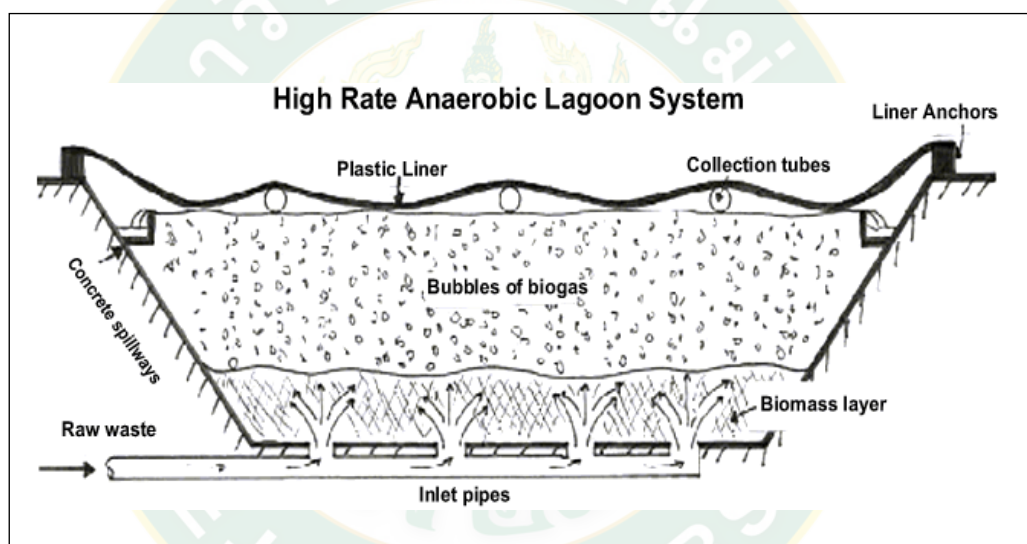
ที่มา: (จิราพร, 2560)



ภาพที่ 12 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่

ที่มา: (จิราพร, 2560)

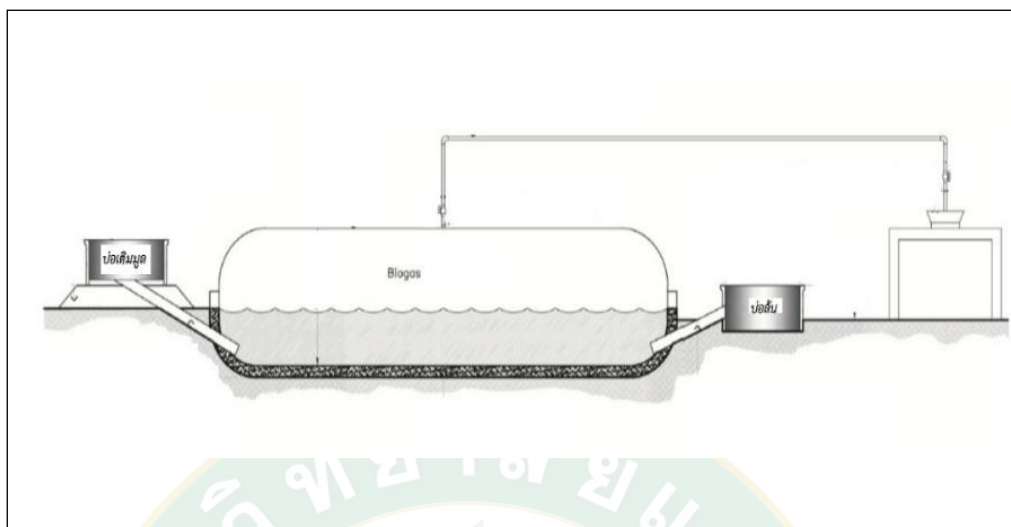
3) บ่อปิด (Anaerobic Covered Lagoon) บ่อหมักแบบปิดมีลักษณะเป็นสระหรือบึงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีการคลุมด้วยแผ่นพลาสติกหรือแผ่นพีวีซี เพื่อให้เกิดสภาวะไร้อากาศและเป็นตัวเก็บรวบรวมแก๊สชีวภาพ อาจคลุมทั้งบ่อหรือคลุมเฉพาะในส่วนที่มีการสร้างมีเทน การทำงานของระบบนี้ คือ การปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของบ่อและผสมเข้ากับตะกอนแบคทีเรียที่ช่วยตกตะกอนอยู่บริเวณก้นบ่อ จากนั้นให้ไหลไปตามแนวยาวของบ่อ โดยระบบรวบรวมน้ำออกนั้นจะอยู่ด้านบนของบ่ออีกฝั่งหนึ่ง น้ำเสียที่ผ่านระบบนี้จะไม่สามารถปล่อยเข้าสู่ธรรมชาติได้โดยตรง ซึ่งระบบมีความจำเป็นต้องมีการบำบัดก่อน และระบบนี้เป็นระบบที่ก่อสร้างง่ายและสะดวกในการเดินระบบ เนื่องจากไม่มีการให้ความร้อน ไม่มีการกวน ปัจจุบันนิยมใช้ในโรงงานแปรงมันสำปะหลังและฟาร์มปศุสัตว์ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 บ่อปิด (Anaerobic Covered Lagoon)

ที่มา: (จิราพร, 2560)

4) บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบพลาสติกพีวีซี เป็นการสร้างถูงหมักโดยใช้พลาสติกต่อเข้ากับท่อพีวีซี เป็นระบบที่สร้างได้ง่าย เหมาะสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ใหญ่ที่มีขนาด 10 – 20 ตัว หรือสัตว์ปีกขนาด 150 – 200 ตัว มีปริมาตรโดยรวมประมาณ 8 m³ แยกเป็นส่วนของเหลว 5 m³ เป็นแหล่งเก็บแก๊ส 3 m³ ส่วนประกอบของระบบหมักโดยทั่วไปมี 3 ส่วนคือ บ่อเติมมูลสุกร บ่อหมักซึ่งก็คือถูงพลาสติก และบ่อล้นใช้เป็นทางระบายกากมูลสัตว์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 14 โดยถูงพลาสติกจะอยู่ในพื้นดินที่มีความลึกประมาณ 1 ใน 3 ของความสูงถูงหมัก ทางหัวท้ายของหลุมวางถูงหมักจะขุดไว้เป็นช่องสำหรับวางท่อพีวีซี เพื่อเป็นทางเข้าออกของมูลสัตว์



ภาพที่ 14 ระบบการทำงานของบ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบถุ้งหมักพลาสติกพีวีซี

ที่มา: (จิราพร, 2560)

การนำแก๊สชีวภาพไปใช้ประโยชน์

การผลิตแก๊สชีวภาพใช้เป็นแหล่งพลังงานก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการอนุรักษ์พลังงาน การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การเกษตร และมีผลตอบแทนด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ในส่วนของ การบำบัดโดยไม่ใช้อากาศนั้นจะมีผลผลิตพลอยได้เป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งพลอยได้นี้ มีองค์ประกอบหลักคือแก๊สมีเทนในปริมาณต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสีย แก๊สมีเทนนี้สามารถติดไฟได้ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ด้วยเหตุนี้ถ้าสามารถปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำแก๊สชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในโรงงาน ก็จะสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์ เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้มีประโยชน์และลดปัญหามลภาวะได้อีกด้วย การผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ต้องพิจารณาว่าน้ำเสียนั้นมีคุณสมบัติและปริมาณเหมาะสมที่จะผลิตแก๊สชีวภาพหรือไม่ และต้องพิจารณาด้วยว่าแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้นั้นสามารถนำไปใช้ทดแทนพลังงานในกระบวนการผลิตได้มากน้อยเพียงไร โดยวิธีการนำแก๊สชีวภาพไปใช้มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

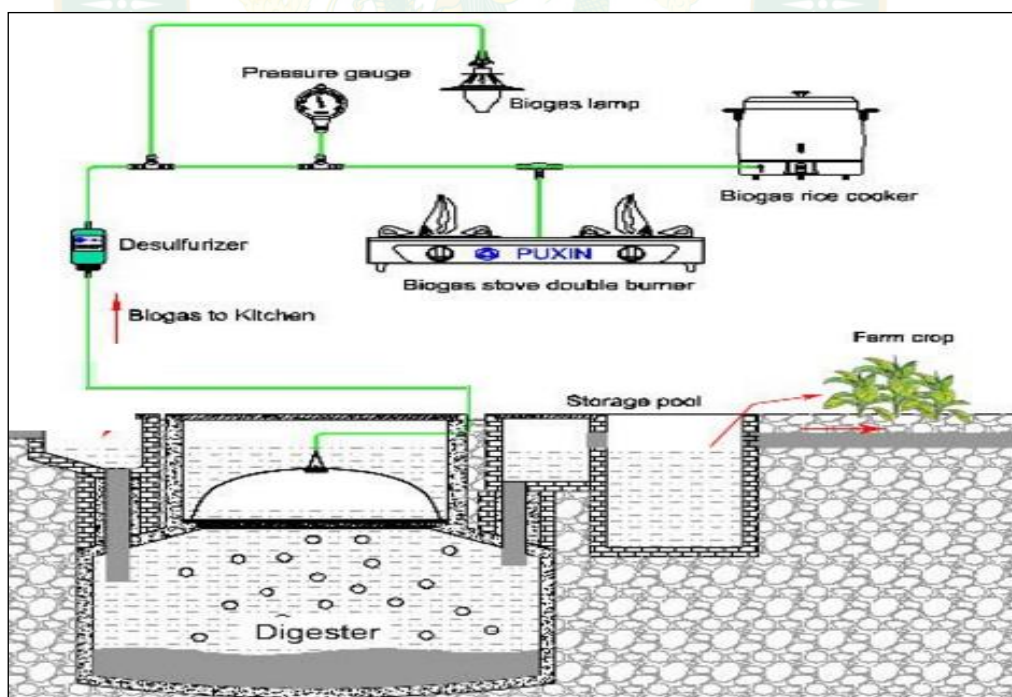
- การใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ แรงดันจากระบบจะดันแก๊สชีวภาพไปเข้าหัวเผา (Burner) ซึ่งต้องออกแบบพิเศษสำหรับใช้แก๊สชีวภาพหรือใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น แก๊สชีวภาพ 1 m³ สามารถใช้น้ำมันเตาได้ประมาณ 0.6 L และไม่จำเป็นต้องกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียทั่ว ๆ ไปมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณต่ำ การนำแก๊สชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อ

ไอน้ำเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไปเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำและโรงงานโดยทั่วไปต้องการไอน้ำสำหรับการผลิต

- การเผาให้ความร้อนในกระบวนการผลิต ในกระบวนการผลิตหลายอย่างอาจมีความต้องการเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการต้มน้ำร้อน ทำให้น้ำมันร้อน เตเผา เป็นต้น สามารถนำแก๊สชีวภาพมาใช้ได้โดยตรงและไม่ต้องแยกหรือกำจัดสารใด ๆ ในแก๊สชีวภาพก่อนใช้ วิธีการนี้มีความเหมาะสมมาก เนื่องจากง่ายและเสียค่าใช้จ่ายต่ำในการปรับปรุงระบบจ่ายแก๊ส

- การผลิตกระแสไฟฟ้า วิธีการนี้ต้องมีการกำจัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในแก๊สชีวภาพ เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าถูกกัดกร่อนได้ โดยทั่วไปเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพรวมประมาณของแก๊สชีวภาพ $1.6 - 1.9 \text{ kW/m}^3$ วิธีนี้จะให้ผลตอบแทนที่แทนต่ำกว่าการนำไปใช้กับหม้อไอน้ำ และราคาเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีราคาสูง แต่กรณีที่โรงงานมีความต้องการไอน้ำต่ำหรือผลิตแก๊สชีวภาพได้มากเกินความต้องการ สามารถนำแก๊สชีวภาพมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้

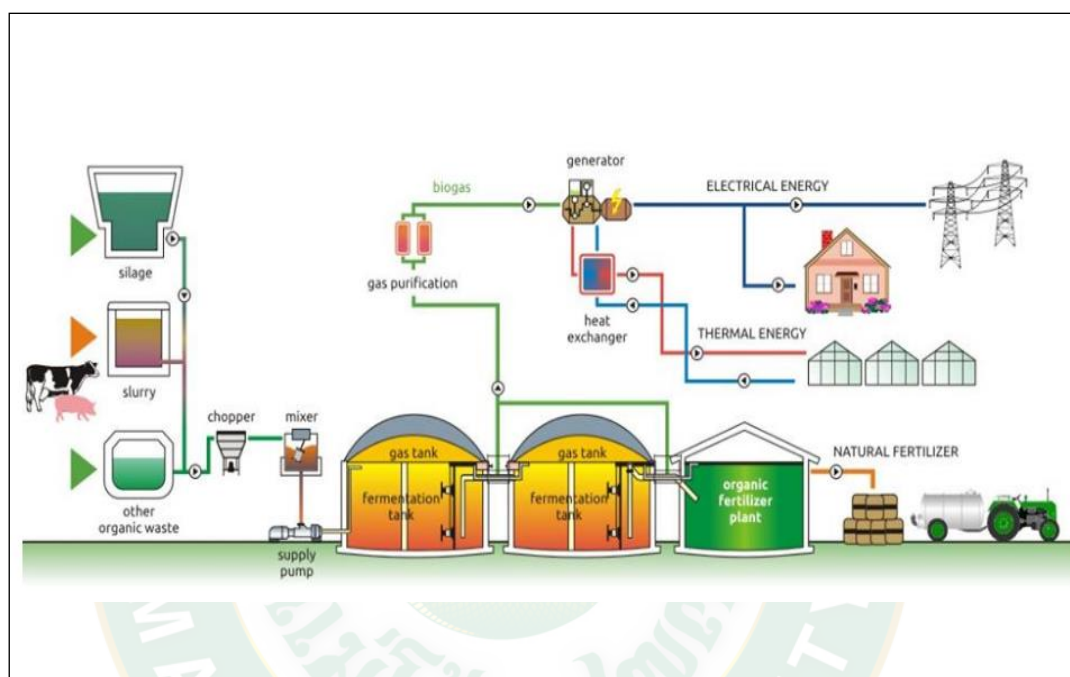
- การใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ แก๊สชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้หุงต้มในโรงอาหารของโรงงานและบ้านพัก เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้ถ้าหากอยู่ไม่ห่างไกลจากระบบผลิตแก๊สชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในเตาหุงต้มในครัวเรือน

ที่มา: (จิราพร, 2560)

- การใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้า เช่น ใช้กับชุดเครื่องยนต์สันดาป ภายในต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) หรือกับชุดมอเตอร์โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ หรือสามารถนำไปขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำโดยตรง ใช้กับรถยนต์ที่เครื่องยนต์สามารถรองรับการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ที่มา: (จิราพร, 2560)

- การใช้แก๊สชีวภาพในการผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System) เป็นการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้าและความร้อนร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเชิงความร้อน ของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับความร้อนอาศัยหลักการนำความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นจากระบบการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้ากลับมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องสำหรับผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้า จะเกิดความร้อนในน้ำหล่อเย็นและส่วนของไอเสียเครื่องยนต์ นำเอาความร้อนทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการใช้พลังงานจากแก๊สชีวภาพดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น โดยการนำความร้อนทิ้งดังกล่าวมาใช้ในการอบแห้งหรือระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

- การใช้เทคโนโลยีในการจัดการน้ำเสียภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ หรือภายในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหามลพิษทางน้ำ ปัญหากลิ่นเหม็น และลดการปล่อยทิ้งแก๊สมีเทนสู่บรรยากาศ เป็นการช่วยลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นต้นเหตุของภาวะโลกร้อน

แก๊สชีวภาพ 1 m³ (CH₄ 60%) สามารถทดแทนพลังงานได้หลายประเภท ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การใช้แก๊สชีวภาพทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ

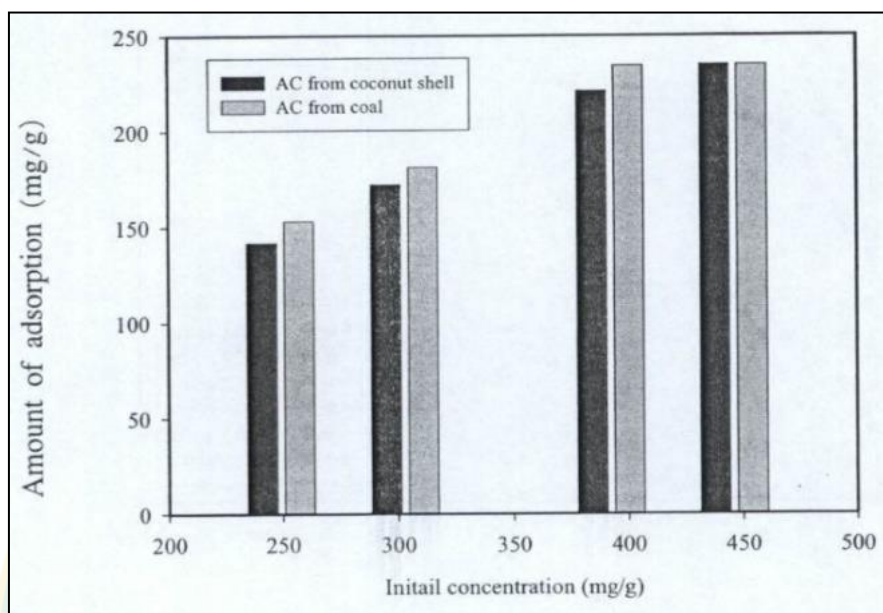
เชื้อเพลิง	ปริมาณ	หน่วย
แก๊สหุงต้ม (LPG)	0.46	kg
น้ำมันเบนซิน	0.60	L
น้ำมันเตา	0.55	L
พลังงานไฟฟ้า	1.20	kWh

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผู้วิจัยมาแล้วก่อนหน้านี้ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุทางการเกษตร ซึ่งรวมไปถึงการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ นั้นได้ชี้ให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์นั้นมีความนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นทั้งในด้านการเกษตรกรรมและด้านอุตสาหกรรม สามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

(กิติโรจน์ และคณะ, 2550) ศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับและได้พบว่า ความสามารถในการดูดซับดีที่สารละลายสีมีค่าเป็นกรดอ่อน ขนาดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดที่อยู่ในช่วง 125 – 150 nm ซึ่งมีค่าเหมาะสมกับการดูดซับสีย้อม การดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าวได้เท่ากับ 222.22 mg/g และ 158.73 mg/g ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมสีเหลืองใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวนั้นเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทยและมีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดที่ทำจากถ่านหินซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่ต้องเลือกสภาวะที่เหมาะสม เพื่อการพัฒนาให้ไปใช้ใน

การบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมประเภท สิ่งทอในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ต่อไป
 ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ปริมาณสีเริ่มต้นต่อการดูดซับสีย้อมสีเหลือง

(บรรพต, 2556) ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมียด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยนำเปลือกแมคคาเดเมียมาเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 500 °C โดยใช้ระยะเวลา 1 h จากนั้นนำถ่านจากการเผาเปลือกแมคคาเดเมียมาบดและร่อนให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 um และ 0.8 – 5 mm และกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ความดัน 20 psi ระยะเวลาในการกระตุ้น 10 min พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าผ่านมาตรฐาน ซึ่งค่าดูดซับไอโอดีนของถ่านแบบผงอยู่ที่ 746.73 mg/g ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านกัมมันต์เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

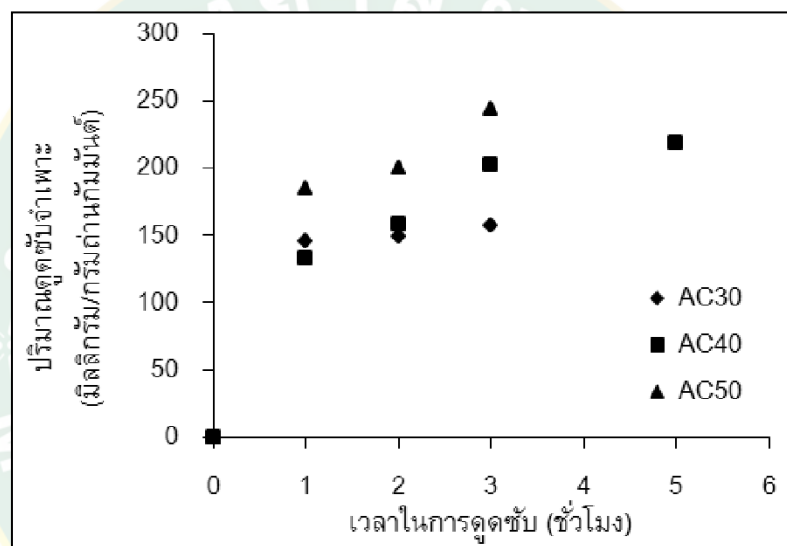
ชนิดถ่าน	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)		ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง
	กระตุ้นด้วยไอน้ำ	ถ่านอัดเม็ด	
เม็ด	684.40 ± 0.88	666.63 ± 1.76)2.67(
ผง	746.73 ± 2.33	693.54 ± 2.33)7.67(

(สุภาพร และคณะ, 2557) ศึกษาการเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด โดยนำเปลือกมังคุดไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไซเซชันและนำไปกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนโดยการกลั่นไพล์ย้อนกลับ หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นต่อปริมาณวัตถุดิบ เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น รวมทั้งตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีด้วยการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน โดยการหาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR จากการทดลอง พบว่า อัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นต่อปริมาณของวัตถุดิบที่เหมาะสม คือ 1:1 (ถ่าน : ซิงค์คลอไรด์) ใช้เวลาให้ความร้อน 3 h ค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่า 820 mg/g ความชื้น 1.07 % ปริมาณเถ้า 5.68 % ปริมาณสารระเหย 47.75 % ปริมาณคาร์บอนคงตัว 46.57 % จากสเปกตรัม IR พบว่า แถบการสั่นของ หมู่ -OH, C-H, C=O ของถ่านเปลือกมังคุดมีค่าเข้มกว่าสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า แสดงว่าในถ่านเปลือกมังคุดยังมีองค์ประกอบอินทรีย์เหลืออยู่หลายชนิด ส่วนในของถ่านกัมมันต์การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ทำให้หมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ สลายไป ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

ชนิดถ่าน	สภาวะกระตุ้น	ไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)	ร้อนละลาย ความชื้น	องค์ประกอบร้อยละโดยน้ำหนัก		
				เถ้า	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว
ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า		1125.15	0.50	2.00		
เปลือกมังคุด		127.56	1.82	3.83	96.41	1.76
ถ่านเปลือกมังคุด		213.20	1.83	5.99	90.95	3.06
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด	reflux (1:1) 1 h	703.76	1.79	6.23	56.66	37.11
	reflux(1:1) 2 h	798.52	2.17	8.13	54.99	36.87
	reflux(1:1) 3 h	820.00	1.07	5.68	47.75	46.57
	reflux(1:1) 4 h	818.46	2.28	7.31	51.67	41.02
	reflux(1:1) 6 h	858.34	2.11	6.96	57.92	35.11
	reflux(1:1) 8 h	886.82	1.45	4.68	58.91	36.41

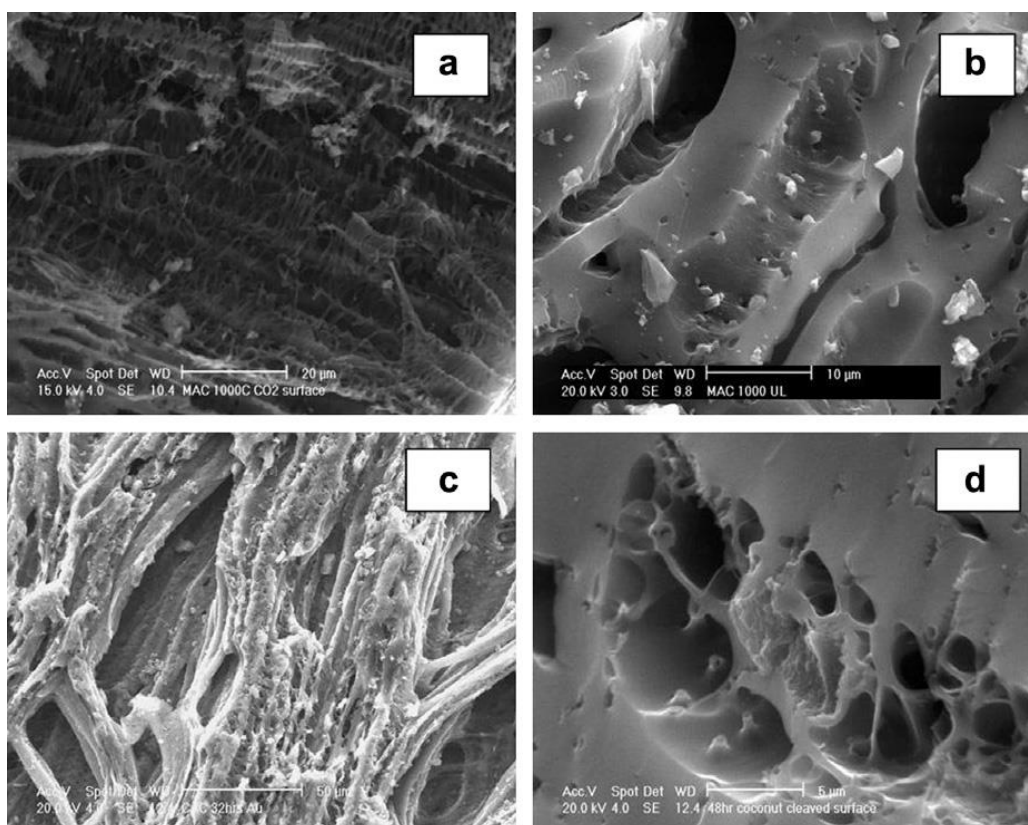
(พรรณธิดา, 2554) ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย พบว่า การใช้สารละลายจากกรดฟอสฟอริกสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย ช่วยส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวและรูพรุนมากขึ้นและเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบถ่านกัมมันต์หลังขั้นตอนการล้าง ซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ที่จะช่วยในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลและความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยการใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ถ่านกัมมันต์เกิดรูพรุนหรือโพรงมากขึ้น ทำให้ปริมาณดูดซับเมทานอลจำเพาะของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ดูดซับเมทานอล

(Poinern et al., 2011) ศึกษาเกี่ยวกับการนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียมาศึกษาศักยภาพและประมวผลผลความเป็นไปได้ เพื่อจะนำวัสดุจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ โดยวิธีกระตุ้นการทำงานของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียด้วยการให้ความร้อนกับเปลือกถั่วแมคคาเดเมียภายใต้บรรยากาศที่เป็นแก๊สไนโตรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การศึกษานี้พบว่า การดูดซับของของถ่านกัมมันต์เป็นการนำของเข้าไปในรูพรุนของคาร์บอนในถ่านกัมมันต์ เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับของไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จึงสามารถตรวจสอบคุณสมบัติการดูดซับสารของคาร์บอนจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียได้ชัดเจน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกแมคคาเดเมียมีความแข็งแรงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หลังจากที่ทำการศึกษาทดลองแล้วเสร็จ ก็จะนำเอาผลผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ยี่ห้อ

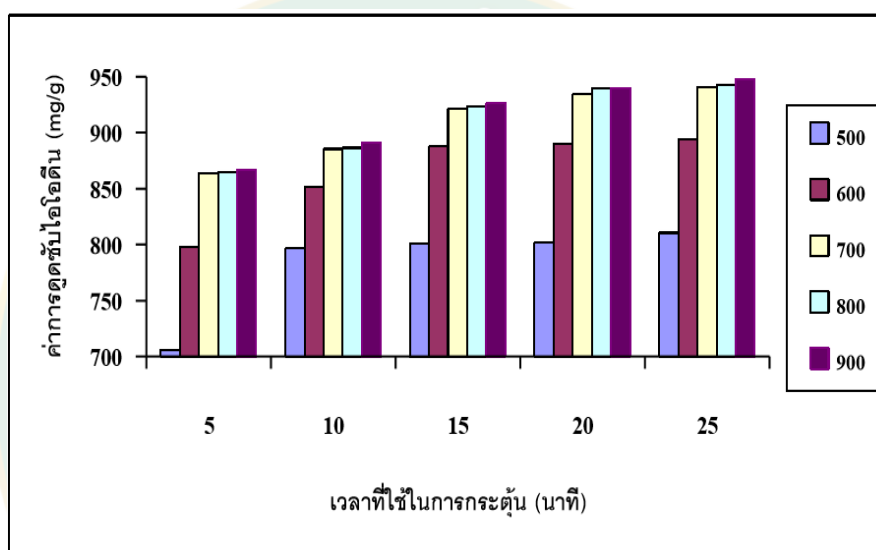
Haycarb ผลปรากฏว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการดูดซับทอง และมีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ภาพ SEM ที่ใช้ในการกระตุ้นคาร์บอนจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและคาร์บอนจากกะลามะพร้าวที่ห่อ Haycarb ภายใต้สภาวะบรรยากาศ CO₂

(อรโพลิน, 2557) ศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกแมคคาเดเมีย โดยทำการเผาในเตาอับอากาศที่อุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 90 W และ 360 W ระยะเวลาที่ใช้กระตุ้น 1 – 5 min ผลการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AWWA B 604 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกแมคคาเดเมียมีค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิต 31.88 ± 0.66 มีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 3 – 5 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกแมคคาเดเมียที่ผ่านการกระตุ้นมีการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลากระตุ้นเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ นี้มีค่าอยู่ในช่วง 667.91 – 700.60 mg/g และ 657.46 – 739.32 mg/g ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟมีค่าผ่านตามมาตรฐาน AWWA B604 ที่กำหนด

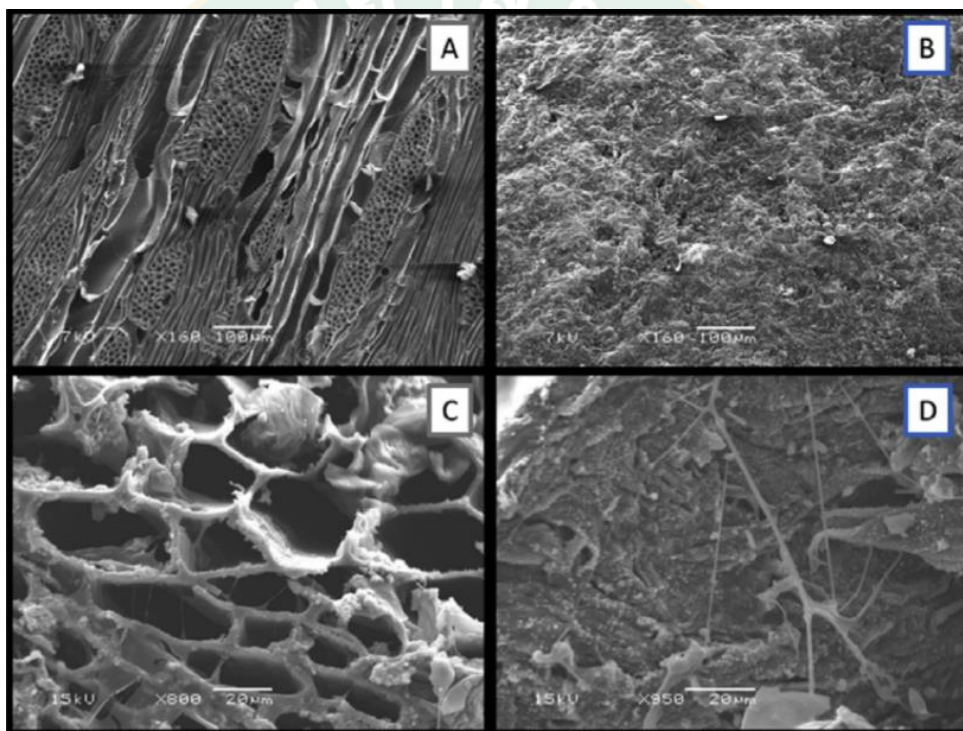
(หฤทัย, 2554) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกลำไยโดยวิธีการกระตุ้นด้วยวิธีกายภาพ โดยเริ่มจากนำมาเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 °C โดยทุกอุณหภูมิใช้เวลา 1 h นำถ่านจากการเผาเปลือกลำไยมากระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 min ที่ความดัน 20 psi การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกลำไยที่อุณหภูมิการเผา 500 °C ระยะเวลากระตุ้น 5 min กระตุ้นด้วยไอน้ำจึงมีสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยในสถานะต่าง ๆ

(Serafin et al., 2017) ศึกษาการเตรียมและการตรวจสอบของถ่านชีวภาพที่ได้มาจากการมีการดูดซับ CO_2 สูง ภายใต้โครงสร้างระดับไมโครพอร์ วิเคราะห์และพื้นผิวลักษณะถูกดำเนินการโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 K ไอโซเทอมการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ 273 K ที่ 1 bar ซึ่งมีค่า 0.30 – 0.86 nm ซึ่งมีประสิทธิภาพสำหรับการดูดซับ CO_2 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 298 K ในระยะ Micropores จะมีประสิทธิภาพสำหรับการดูดซับ CO_2 ลดลงที่ 1 bar ซึ่งมีค่าในช่วง 0.30 – 0.33 nm สำหรับสภาพทั่วไปในช่วงความดันบางส่วนของ CO_2 จะมีค่าเพียง 0.15 bar และในระยะไมโครพอร์ช่วง 0.30 – 0.57 nm ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพสำหรับการดูดซับ CO_2 คาร์บอนที่เตรียมจากเปลือกทับทิมแสดงให้เห็นว่ามีการดูดซับ ปริมาณของ CO_2 สูงสุด โดยข้อมูลนี้เลือกจากข้อมูลไอโซเทอมการทดลองของถ่านที่ผลิตจากเปลือกทับทิมถูกภายใต้ CO_2/N_2 วิเคราะห์โดยใช้ Langmuir, Freundlich และ Sips

(Huggins et al., 2016) ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบเม็ดถ่านกัมมันต์และเม็ดถ่านชีวภาพ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย เม็ดถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากไม้เมื่อนำมาเทียบกับเม็ดถ่านชีวภาพ สำหรับการบำบัดน้ำเสียสารอาหารของจริงทั้งในชุดและคอลัมน์การศึกษา การศึกษาการดูดซับกะ แสดงให้เห็นว่า เม็ดถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากไม้ มีความจุในการดูดซับมากขึ้นที่ความเข้มข้นสูง สามารถดูดซับสารเคมีต่าง ๆ ดังนี้ COD_T ($1,200 \text{ mg L}^{-1}$) PO_4 (18 mg L^{-1}) และ NH_4 (50 mg L^{-1}) เมื่อเทียบกับเม็ดถ่านชีวภาพ พบว่า มีความจุในการดูดซับที่ต่ำกว่าสำหรับทุกความเข้มข้น ที่ (COD_D) และความเข้มข้นที่ต่ำกว่าของ PO_4 (5 mg L^{-1}) และ NH_4 (10 mg L^{-1}) ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การ SEM ของเม็ดถ่านชีวภาพและเม็ดถ่านกัมมันต์

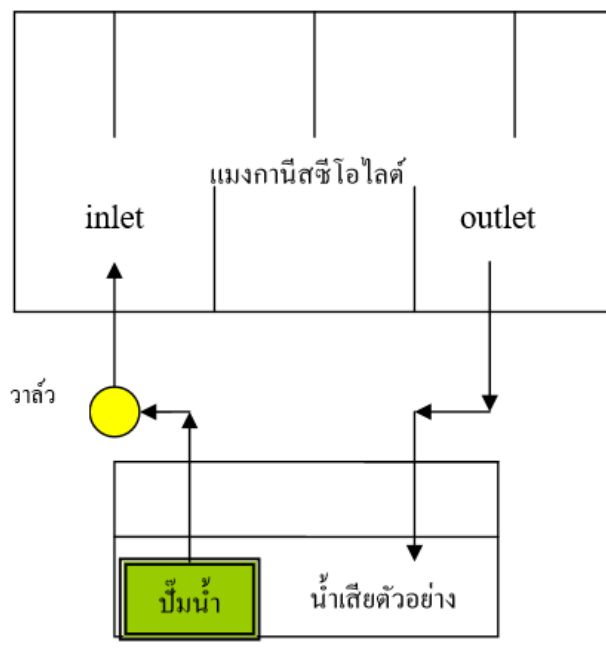
(Tan et al., 2017) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยนำมาใช้งานในหลายด้าน โดยการไฟโวลซิเสี่ยจากชีวมวล ด้วยการกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมีเป็นวิธีการหลักที่ใช้ในกระบวนการการผลิตถ่านกัมมันต์ และคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์นั้นเหมาะสำหรับการใช้งานหลายอย่างรวมทั้งการรักษามลพิษทางน้ำโดยการจับ CO_2 เมื่อเทียบกับถ่านชีวภาพแล้ว พบว่า ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าถ่านชีวภาพ

(Ji et al., 2017) ศึกษาเกี่ยวกับการลดการปล่อยแก๊สไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์เบนซินโดยการดูดซับจากถ่านกัมมันต์ วัตถุประสงค์ทั่วไปของงานนี้ คือ การตรวจสอบลักษณะการดูดซับของถ่านกัมมันต์สำหรับการลดการปล่อยแก๊สไฮโดรคาร์บอน จากเครื่องยนต์เบนซิน ภายใต้การใช้เงื่อนไขเริ่มต้น การดูดซับการปล่อยแก๊สไฮโดรคาร์บอน ภายใน 80 s โดยมีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่แตกต่างกัน 25, 35, 45 และ 55 °C ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า ผลการทดลองการใช้ อัตราการดูดซับของแก๊สไฮโดรคาร์บอน (HC) มีค่า 68.6 %, 66.1 % และ 53.5 % ตามอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ใช้ คือที่ 25 °C ผลการศึกษา พบว่า กระบวนการดูดซับสามารถแบ่งออกเป็นสามระยะขึ้นอยู่กับลักษณะการดูดซับแต่ละระยะ เช่น การดูดซับอย่างรวดเร็ว การดูดซับระหว่างเฉพาะที่และการดูดซับอย่างช้าตามลำดับ ตัวอย่างประเภทถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 รูปแบบของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด

(ศิลป์ชัย, 2552) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน จากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ โดยใช้แมงกานีสซีโอไลต์ ในแบบจำลองคลองวนเวียน ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งแบบจำลองคลองวนเวียนขนาด $34,633 \text{ cm}^3$ โดยทดลองแบบน้ำไหลต่อเนื่องมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราการไหลน้ำเสีย ระยะเวลาการสัมผัสของแมงกานีสซีโอไลต์กับน้ำเสีย ขนาดและปริมาณของแมงกานีสซีโอไลต์ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าแมงกานีสซีโอไลต์สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ในแบบจำลองคลองวนเวียนได้เฉลี่ยร้อยละ 78 ด้วยแมงกานีสซีโอไลต์ขนาด 1.5 mm ปริมาณ $25,225 \text{ cm}^3$ ต่อปริมาณน้ำเสีย 12 L ที่อัตราการไหล 20 L/h และมีระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับซีโอไลต์ 120 min โดยค่า PH น้ำเสียเท่ากับ 8.6 ที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ผังแบบจำลองคลองวนเวียน

(Pongludda et al., 2012) ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมงกานีสเยิม ศึกษาค่าพีเอช ระยะเวลาปริมาณเกลือแมงกานีสเยิมซัลเฟตที่มีผลต่อการลดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียฟาร์มสุกร การศึกษาทำโดยปรับระดับพีเอช เท่ากับ 8, 10 และ 12 ปริมาณแมงกานีสเยิมซัลเฟต 2, 4 และ 8 g และระยะเวลาในการกวน 5, 10 และ 15 min พบว่า จากการปรับระดับพีเอชกับปริมาณแมงกานีสเยิมซัลเฟต ระยะเวลาในการกวนมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างระดับพีเอช นอกจากนี้ระยะเวลาและปริมาณเกลือแมงกานีสเยิมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($pH < 0.5$) โดยที่ระดับพีเอชเท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมงกานีสเยิมซัลเฟต 8 g ระยะเวลาในการกวน 15 min มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน ร้อยละ 78.81 และที่ระดับพีเอชเท่ากับ 12 โดยใช้ปริมาณเกลือแมงกานีสเยิมซัลเฟต 8 g ระยะเวลาในการกวน 15 min มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส ร้อยละ 58.17 จึงสรุปได้ว่าเกลือแมงกานีสเยิมซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมงกานีสเยิมได้และเป็นประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงสุกรในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อลดกลิ่นและผลกระทบจากน้ำเสียฟาร์มสุกร

(Gelegenis et al., 2007) ศึกษากระบวนการย่อยสลายร่วมโดยใช้มูลไก่ไข่ซึ่งมีแอมโมเนียและค่าความเป็นด่างสูง ผสมกับน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ซึ่งมีแอมโมเนียและค่าความเป็นด่างต่ำ การทดลองมีสองช่วง คือ ช่วง Lab Scale และ Pilot Scale โดยช่วงแรกเป็นการหาอัตราส่วนของมูลไก่ไข่ต่อปริมาณน้ำเสียที่ดีที่สุด โดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 65 : 35 %V/V ผลจากการทดลองช่วงที่สองโดยใช้อัตราส่วนมูลไก่ไข่ต่อปริมาณน้ำเสียที่ 60 : 40 % V/V ใช้ถัง ปฏิกริยาขนาด 100 L ที่อุณหภูมิ 35 °C เวลาเก็บกักน้ำ 18 วัน ใช้อัตราบรรจุทุก สารอินทรีย์ 4.85 kg/m³ ได้ อัตราการแก๊สชีวภาพ 1.53 L/(LR^d) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เฉพาะมูลไก่ไข่ที่อัตราสารอินทรีย์ 5 kg/ m³ อัตราแก๊สชีวภาพ 1.4 L/(LR^d) และอัตราการเกิด CH₄ 0.34 m³CH₄ /kg_{COD}

(ภัทราและศิริระประภา, 2554) ศึกษาปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพจากการใช้มูลไก่ โดยทำการทดลองแบบ Pilot Scale ในถังขนาด 10 L แบ่งการทดลองเป็น 6 ชุด โดยทำการศึกษาใช้อัตราส่วนมูลไก่ต่อน้ำ 1:3 จำนวน 3 ชุด (ชุดที่ 1, 3 และ 5) และอัตราส่วนมูลไก่ต่อน้ำกากส่าและต่อน้ำเปล่า 1:1:10 อีก 3 ชุด (ชุดที่ 2,4 และ 6) ใช้เวลาในการหมัก 30, 90 และ 180 วัน จากการทดลอง พบว่าในระบบมีประสิทธิภาพกำจัด TS มีค่าเท่ากับร้อยละ 27.02, 9.97, 40.05, 25.22, 43.83 และ 47.89 ตามลำดับ ประสิทธิภาพกำจัด COD พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 16.85, 14.22, 29.35, 58.66, 53.80 และ 77.88 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 34.17, 4.44, 50.11, 37.30, 69.50 และ 71.11 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 0.7, 0.8, 1.6, 1.6, 2.1 และ 2.1 L ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีระยะเวลาในการหมักนานขึ้น ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งนี้ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 30 วัน เกิดแก๊สได้ดีกว่าที่ระยะเวลา 90 และ 180 วัน จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการทดลองคือช่วง 30 วัน

(ศักรินทร์, 2555) ศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่เนื้อด้วยระบบถังกวนแบบสมบูรณ์ โดยได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองหาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพโดยศึกษาอัตราส่วนของมูลไก่ต่อน้ำที่ 1:3 และ 1:5 (เทียบเท่า TS ประมาณร้อยละ 15 และ 11) ซึ่งพบว่า สามารถผลิตแก๊สมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.173 และ 0.176 m³ CH₄/kg VS_{added} เทียบเท่า 101.36 และ 103.48 L/kg ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเลือกใช้ปริมาณ TS 11% เติมน้ำในระบบโดยถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) ขนาด 24 L เวลาเก็บกักน้ำที่ 10, 20, 30 และ 40 วัน มีการเติมเชื้อตั้งต้นร้อยละ 30 ของปริมาตรถัง จากการทดลองพบว่า ไม่สามารถสรุปได้ว่าช่วงเวลาที่เก็บไหนดีที่สุด เนื่องจากระบบไม่สามารถรักษาสถานะคงที่ได้ สาเหตุมาจากมีปริมาณ VFA สะสมในระบบสูง ประกอบกับการเพิ่มอัตราสารอินทรีย์เร็วเกินไป และในส่วนที่ 3 เป็นการศึกษา

เพิ่มเติมโดยเดินระบบแบบ ASBR (ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วถ่ายน้ำส่วนที่ใสทิ้ง) โดยถังที่ 1 นั้นจะใช้ ปริมาณ TS 5.5% เวลาพักเก็บ 40 วัน ถังที่ 2 ใช้ปริมาณ TS 11% เวลาพักเก็บ 80 วัน และถังที่ 3 ใช้ปริมาณ TS 5.5% เวลาพักเก็บ 40 วัน โดยเดินระบบแบบ CSTR เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเดินระบบ จากการทดลองพบว่า อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นของแต่ละถังเท่ากับ 0.140, 0.058 และ $0.112 \text{ m}^3/\text{kg VS}_{\text{added}}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบแบบ ASBR มีความเหมาะสมกว่าแบบ CSTR

สรุปใจความสาระสำคัญจากการตรวจเอกสาร

จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง เห็นได้ว่าเมล็ดลีนจีเป็นชีวมวลที่มีองค์ประกอบของ คาร์บอนสูง (Rishi et al., 2012) สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ ถ่านกัมมันต์ที่นำมาดูดซับได้ดีควรมีความสามารถในการดูดซับไอโอดีน 600 mg/g ขึ้นไป และเห็นว่าได้มีการ นำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้งาน เช่น การดูดซับสารเคมี ดูดซับกลิ่น และสีย้อม (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) ในเอกสารที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เน้นใช้วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากการใช้หม้อความดันไอน้ำในการก่อกัมมันต์ (บรรพต, 2556) โดยทำการเผาถ่านที่อุณหภูมิ $500 - 900 \text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือกระตุ้นด้วยไอน้ำ ยิ่งยวดที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 min ที่ความดัน 20 psi (ฤทธิ์, 2554) และนำไปกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนโดยการกลั่นไพลย้อนกลับ (สุภาพร และคณะ, 2557) ซึ่งมีขั้นตอนยุ่งยากและเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการผลิตถ่านกัมมันต์ ส่วนการกำจัดแอมโมเนีย นั้นต้องใช้ขั้นตอนในการปรับค่าพีเอช และต้องใช้สารเคมีในการกำจัดแอมโมเนียก่อน (พงศลัดดา และคณะ, 2012) แม้ว่าจะเป็นวิธีการที่สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ ยังเป็นวิธีการที่มีขั้นตอนยุ่งยากและมีความเสี่ยงต่อการมีสารเคมีตกค้างในระบบ (ศิลาชัย, 2552)

งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ในสภาวะปกติ โดยทำการเผาเมล็ดลีนจีที่อุณหภูมิ 400, 500 และ $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมีด้วยน้ำและสารเคมีซิงค์คลอไรด์ร่วมกับ คลื่นไมโครเวฟในการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ 90 และ 360 W (อรไพลิน, 2557) และประยุกต์ใช้ ถ่านกัมมันต์ ด้วยการนำไปดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจาก มูลไก่ จากการศึกษาค้นคว้าในขั้นตอนการหมักแก๊สชีวภาพจะใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วงเมโซฟิลิก ทำงานได้ดี คือ ประมาณ $20 - 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ $35 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลาการหมักที่เหมาะสม 15 - 45 วัน หรือจนกว่าแก๊สจะหมด (จิราพร, 2560)

บทที่ 3

วิธีและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ใหญ่ ๆ ส่วนที่หนึ่งศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ ส่วนที่สองทำการศึกษานำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ ช่วยในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ

วิธีและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ ด้วยวิธีกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมีร่วมกับไมโครเวฟ การกระตุ้นทางกายภาพเป็นการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ ส่วนการกระตุ้นทางเคมีเป็นการกระตุ้นด้วย ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ร่วมกับไมโครเวฟ โดยก่อนการทำการกระตุ้นถ่านให้เกิดการก่อกัมมันต์ ทำการศึกษาการเผาเมล็ดลิ้นจี่ในเตาเผาอับอากาศที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ $400 - 600\text{ }^{\circ}C$ ระยะเวลาในการเผาประมาณ 1 h ทำการวิเคราะห์ผลได้ (%yield) บดถ่านเมล็ดลิ้นจี่ให้มีขนาด $0.50 - 1.5\text{ mm}$ จากนั้นนำเม็ดถ่านที่ได้ไปทำการกระตุ้นให้ก่อกัมมันต์ตามขั้นตอนการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมีร่วมกับไมโครเวฟ และทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ เช่น การดูดซับไอโอดีน ค่าความชื้น วิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Specific Surface Area) โดยวิธีการหาพื้นที่ผิวจำเพาะ BET (Brunauer Emmett and Teller) และถ่ายภาพพื้นที่ผิวภายนอก SEM (Scanning Electron Microscope)

นำเม็ดถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุดของทั้งสองวิธีการ ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่และเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้น ทำการศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับ และผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ ทำการผลิตแก๊สชีวภาพในกระบวนการหมักแบบกะ (Batch) ในห้องทดลองขนาด 5 L ปริมาตรการใช้งานจริง 4 L อัตราส่วนของมูลไก่และน้ำที่ใช้สำหรับการทดลอง คือ $1 : 3\text{ kg/L}$ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ $35 \pm 3\text{ }^{\circ}C$ ระยะเวลาในการหมักแก๊สชีวภาพ 15 วัน เพื่อศึกษาปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมัก โดยขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

เมล็ดลิ้นจี่ ลักษณะเปลือกหุ้มเมล็ด สีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลผิวเข้ม มีความมันวาว รูปร่างเรียวยาว มีขนาด 1 – 2 cm และกว้าง 0.6 – 1.0 cm ในลิ้นจี่ 1 kg จะได้เมล็ดลิ้นจี่น้ำหนัก 100 – 300 g น้ำหนักของเมล็ดจะขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของลิ้นจี่ ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 เมล็ดลิ้นจี่

มูลไก่ ที่ใช้สำหรับเป็นหัวเชื้อในงานวิจัย ได้รับความอนุเคราะห์จากฟาร์มไก่ ในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งไก่เป็นการเลี้ยงแบบระบบปิด ลักษณะเบื้องต้นของมูลไก่ส่วนใหญ่จะมีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ มีความอ่อนนุ่ม มีสีน้ำตาลเข้ม ค่อนข้างเปียก มีกลิ่นฉุนมาก อาจมีเศษดินและเศษของชนไก่ติดมากับมูลไก่ด้วย มูลไก่ที่ใช้จะทำการแยกชนไก่และเศษอื่น ๆ ออกจากมูลไก่ก่อน ดังแสดงในภาพที่ 26

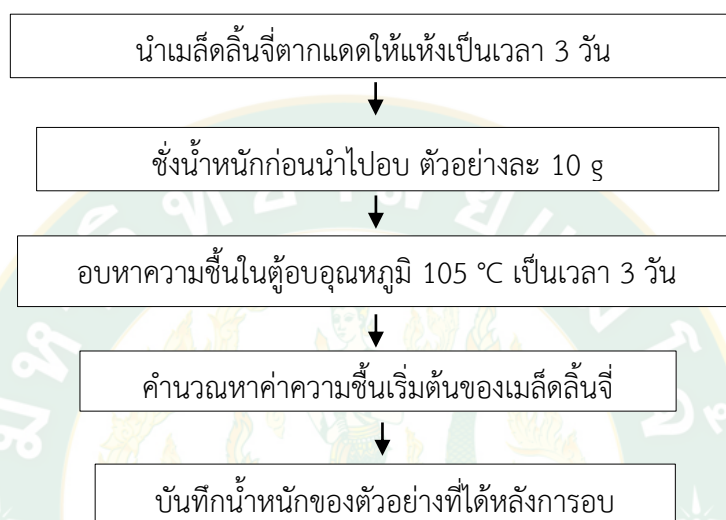


ภาพที่ 26 มูลไก่

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. การผลิตถ่าน

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ นำเมล็ดลิ้นจี่มาตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปอบหาความชื้นในตู้อบอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 วัน เพื่อวิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดลิ้นจี่ โดยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการหาค่าความชื้นเริ่มต้น

ขั้นตอนศึกษาช่วงอุณหภูมิการเผาเมล็ดลิ้นจี่ โดยทำการเผาเมล็ดลิ้นจี่ในเตาเผา (Chamber Furnace Model CWF11/5/301) ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ชั่งน้ำหนักเมล็ดลิ้นจี่ 100 g
- เผาเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิที่ทำการศึกษา 400, 500 และ 600 °C เวลา 1 h
- เมื่อครบเวลา 1 h ทำการปิดเตาเผาและรอให้ถ่านเย็นตัวลงภายในเตาเผา

จากนั้นชั่งน้ำหนักหลังการเผา

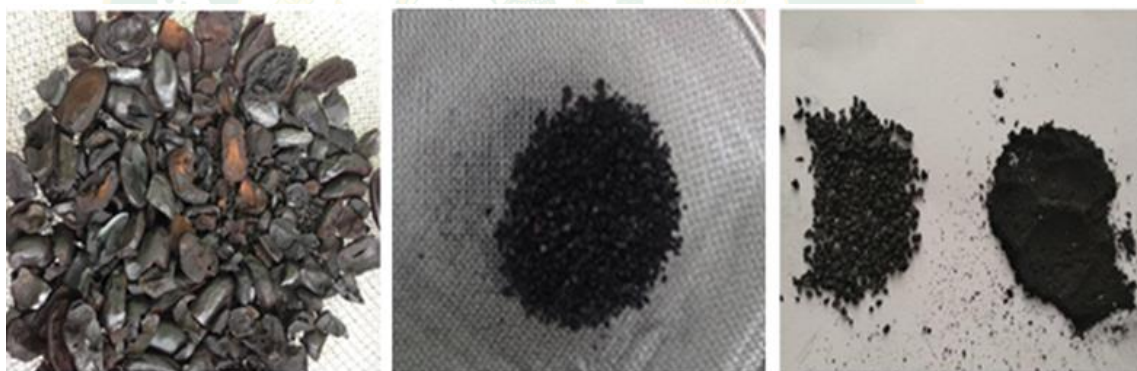
- คำนวณร้อยละของผลผลิตที่ได้

ขั้นตอนการทดลองดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน

ขั้นตอนการคัดขนาด ทำการบดถ่านเมล็ดลิ้นจี่ด้วยครกหรือ mortar และทำการร่อนด้วยตะแกรง เพื่อคัดขนาดเม็ดถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ให้มีขนาด 0.5 – 1.5 mm ดังแสดงในภาพที่ 29



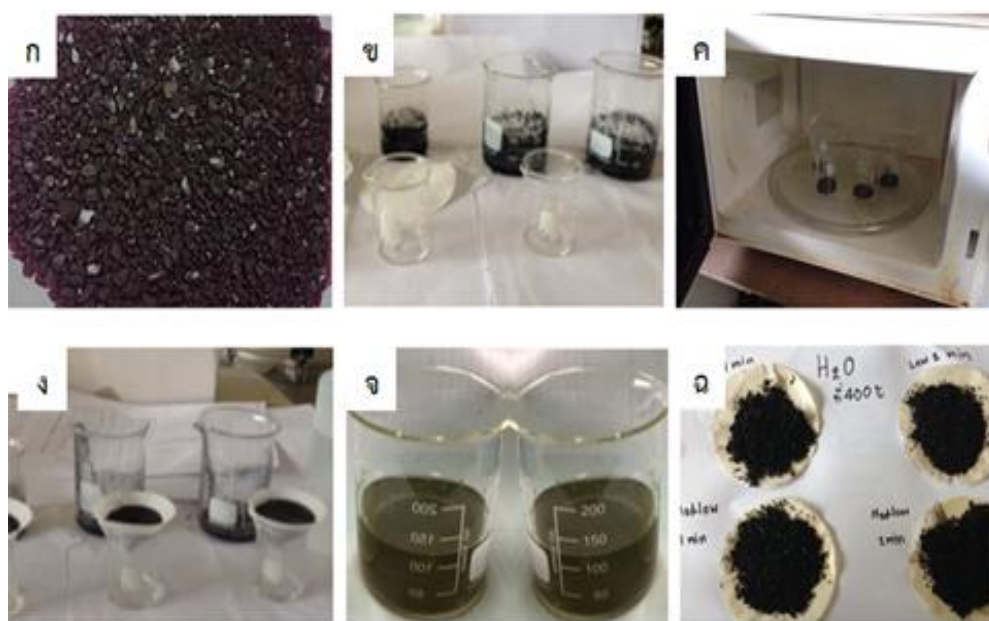
ภาพที่ 29 การคัดขนาดเม็ดถ่านเมล็ดลิ้นจี่

2. ขั้นตอนการกระตุ้นกายทางภาพและทางเคมีร่วมกับไมโครเวฟ

การกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ

เตาอบไมโครเวฟ รุ่น SHARP R248 มีความจุ 23 L ซึ่งปรับความร้อนได้ 5 ระดับ ปุ่มสัญญาณไฟแสดงการตั้งเวลาแบบ LIGHT-UP D ตั้งเวลาในการปรุงอาหารได้นาน 30 min กำลังไฟทั้งหมด 800 W สามารถกำหนดกำลังไฟฟ้าได้ 100, 200, 400, 600 และ 800 W วัสดุเหล็กเคลือบสี กว้าง 46 cm สีขาว น้ำหนัก 12 kg สูง 27.5 cm ลึก 38 cm

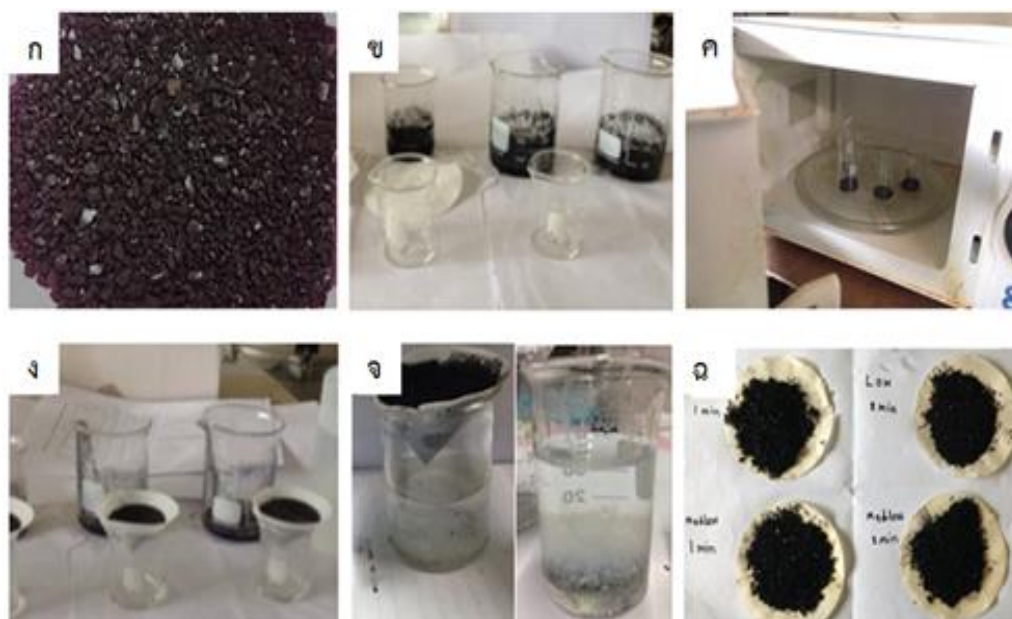
นำเม็ดถ่านเม็กลี้นจี่ที่ผ่านการบดเพื่อคัดขนาดแล้วมาแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 – 3 min นำเข้าไมโครเวฟ ระยะเวลาในการศึกษาที่ 1 และ 2 min ที่กำลังไฟฟ้าที่ศึกษา 100 และ 200 W อัตราส่วนของน้ำต่อถ่านที่ใช้ในการทดลอง คือ 3 : 1 mL/g นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นใส่วางทิ้งไว้ 24 h และนำเม็ดถ่านเข้าอบอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 วัน ทำการบันทึกผลค่าความชื้นอีกครั้ง (บรรพต, 2556) ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ

ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

นำเม็ดถ่านเม็กลี้นจี่ที่ผ่านการบดคัดขนาดแล้วมาแช่ในสารละลายของซิงค์คลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 ดังในภาคผนวก ก คนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 – 3 min จากนั้นนำเข้าไมโครเวฟที่เวลาในช่วงการศึกษา 1 และ 2 min ที่กำลังไฟฟ้า 100 และ 200 W อัตราส่วนของปริมาตรซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านที่ใช้ในการทดลอง คือ 3 : 1 mL/g เมื่อครบเวลาที่กำหนดจึงนำเม็ดถ่านกัมมันต์จากเม็กลี้นจี่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 3 – 4 ครั้ง นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นใส่ถาดวางทิ้งไว้ 24 h และนำเม็ดถ่านเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 วัน ทำการบันทึกผลค่าความชื้นอีกครั้ง (บรรพต, 2556) ดังแสดงในภาพที่ 31

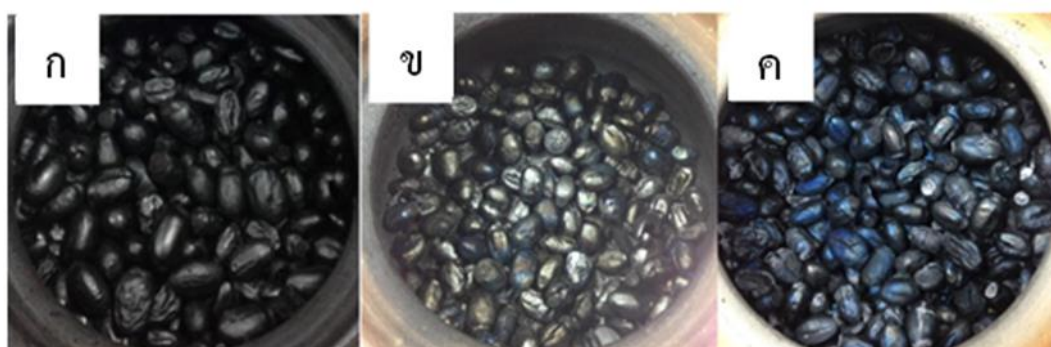


ภาพที่ 31 การกระตุ้นถ่านให้ก่อกำมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

3. การวิเคราะห์สมบัติถ่านกำมันต์

การวิเคราะห์ร้อยละของผลผลิตที่ได้ ตามมาตรฐาน ASTM D 1087

ร้อยละของผลได้ คือ ปริมาณผลผลิตที่ได้ภายหลังจากการเผาให้เป็นถ่าน เทียบกับวัตถุดิบก่อนเผาถ่าน โดยการนำเมล็ดลิ้นจี่มาเผาในเตาเผาควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เป็นเวลา 1 h จากนั้นชั่งน้ำหนักก่อนเผาและหลังเผา ชั่งน้ำหนักที่ได้มาการคำนวณเพื่อหาค่าร้อยละผลได้ ดังแสดงในภาพที่ 32 โดยคำนวณได้จากสมการ 16



ภาพที่ 32 การวิเคราะห์ร้อยละของผลได้ (ก) 400, (ข) 500, (ค) 600 °C

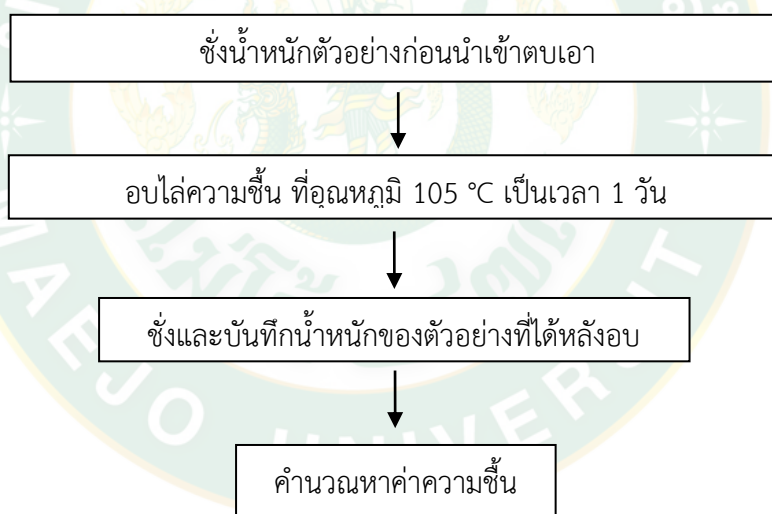
$$Y = B/A * 100$$

สมการที่ 16

เมื่อ $Y =$ ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (%)
 $A =$ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (g)
 $B =$ น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (g)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน AWWA B604

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น คือ ค่าความชื้นของถ่านที่ผ่านการกระตุ้นให้ก่อกัมมันต์ โดยนำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้ววางในภาตทิ้งไว้ 24 h และทำการบันทึกผล จากนั้นนำอบอีกครั้ง ที่อุณหภูมิการอบไล่ความชื้น 105 °C เป็นเวลา 3 วัน (บรรพต, 2556) ทำการบันทึกผลค่าความชื้นมาตรฐานแห่งอีกครั้ง ค่าความชื้นจะต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 8 ตามมาตรฐาน AWWA B604 ดังแสดงในภาพที่ 33 และสมการที่ 17



ภาพที่ 33 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณความชื้น

$$X = [(W - D)/D] * 100$$

สมการที่ 17

เมื่อ $X =$ ความชื้น (%)
 $W =$ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)
 $D =$ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (g)

4. การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน AWWA B604

การดูดซับสารละลายไอโอดีนด้วยวิธีการไทเทรต โดยใช้สารละลายไอโอดีน 0.1 ± 0.001 N (normal, N) ตามมาตรฐาน AWWA B 604 ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นนั้น จะต้องผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ ต้องมีค่าการดูดซับสารละลายไอโอดีน ไม่น้อยกว่าเกิน 600 mg/g หากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ มีความสามารถในการดูดซับสารละลายไอโอดีนสูง ถ่านกัมมันต์ชนิดนั้นก็จะมี ความบริสุทธิ์มากขึ้นตามไปด้วย (หฤทัย, 2554) ดังแสดงในภาพที่ 34

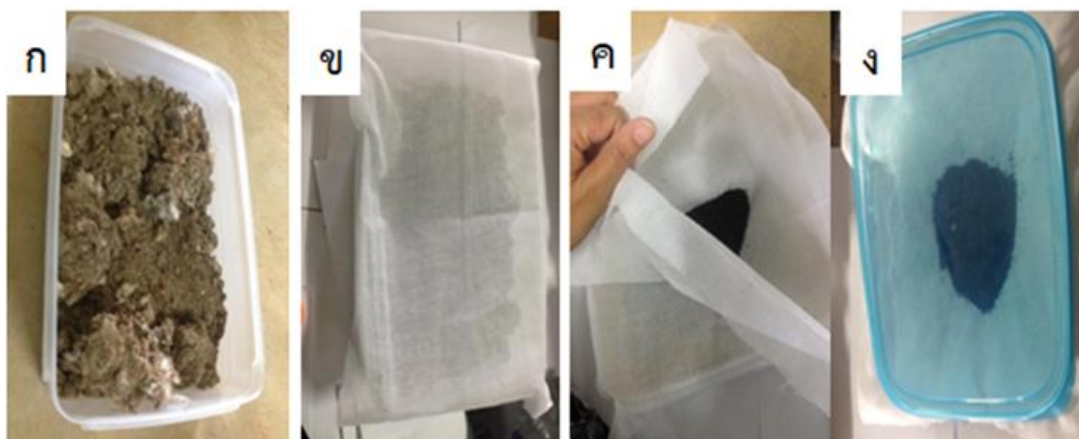


ภาพที่ 34 การศึกษาค่าการดูดซับสารละลายไอโอดีน

5. การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนีย โดยทำการคัดเลือกถ่านกัมมันต์ ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุดมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนีย โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

- 1) ใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบในการหมักแก๊สชีวภาพ
- 2) ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ ใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 15, 20 และ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg ในถัง 5 L
- 3) นำผ้าขาวบางชั้นที่ 1 วางเหนือมูลไก่ จากนั้นนำผ้าขาวบางชั้นที่ 2 วางทับอีกครั้ง วางถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ ในปริมาณที่ศึกษาบนของผ้าขาวบางชั้นที่ 2 ในระบบปิดในถังขนาด 3 L เป็นเวลา 3, 4 และ 5 วัน โดยศึกษาผลของปริมาณ ระยะเวลา และผลของการเขย่าที่ ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับในระหว่างขั้นตอนการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ ดังแสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับ

4) นำมูลไก่ที่ผ่านการใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับแอมโมเนีย ในการศึกษาทั้งหมดที่เวลาการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน ปริมาณมาณ 15, 20 และ 25 g และผลของการเขย่าระหว่างการดูดซับ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการเติมน้ำในถังหมัก 5 L สัดส่วนระหว่างน้ำต่อมูลไก่ 3 : 1 L/kg ทำการคลุกเค้าให้น้ำและมูลไก่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ปิดฝาถังด้วยกาวซิลิโคน ทำการหมักเป็นเวลา 15 วัน ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ขั้นตอนการหมักแก๊สชีวภาพ

5) ทำการบันทึกผลิตแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน เพื่อทำการเปรียบเทียบผลผลิตแก๊สชีวภาพที่ได้หลังจากการหมัก ในขั้นตอนนี้จะทำการหมักแก๊สชีวภาพของมูลไก่ที่ผ่านการใช้ถ่านกัม

มันต์ในการดูดซับ ทำการศึกษาในชุดทดลองขนาดห้องปฏิบัติการ ขนาด 5 L เป็นการหมักแบบกะที่มีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว (Batch) จำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 19 ชุดการทดลอง ซึ่งทั้งหมดจะประกอบด้วย ตัวอย่างมูลไก่ที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดปริมาณ 15, 20 และ ๑ ระยะเวลาในการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน ทั้งวิธีการเขย่าและไม่เขย่าระหว่างการดูดซับ และชุดควบคุมโดยการนำวัตถุดิบที่ไม่ผ่านขั้นตอนการดูดซับมาหมักแก๊สชีวภาพ ทดลองซ้ำ 3 การทดลอง ภายใต้สภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก (Mesophilic) 35 ± 3 °C ระยะเวลาหมัก 15 วัน หรือจนกว่าปริมาณแก๊สเหลือน้อยและเริ่มคงที่ ซึ่งก่อนและหลังการทดลองทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสีย ได้แก่ พีเอช (pH), ซีไอดี (Chemical Oxygen Demand, COD), ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS), ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solid, VS), ความเป็นด่าง (Alkalinity, Alk) และการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ระหว่างการหมักแก๊สชีวภาพ ทำการวัดปริมาณแก๊สชีวภาพทุกวัน และวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สมีเทน (CH₄) ทุก 3 วัน

การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการดำเนินการระบบแบบกะที่มีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว (Batch) ในถังหมักขนาด 5 L ปริมาตรที่ใช้งานจริง 4 L ดำเนินการหมักภายใต้อุณหภูมิ (Mesophilic) 35 ± 3 °C ดำเนินการหมักจนกว่าปริมาณแก๊สเกิดขึ้นคงที่หรือมีแนวโน้มลดลง การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการได้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

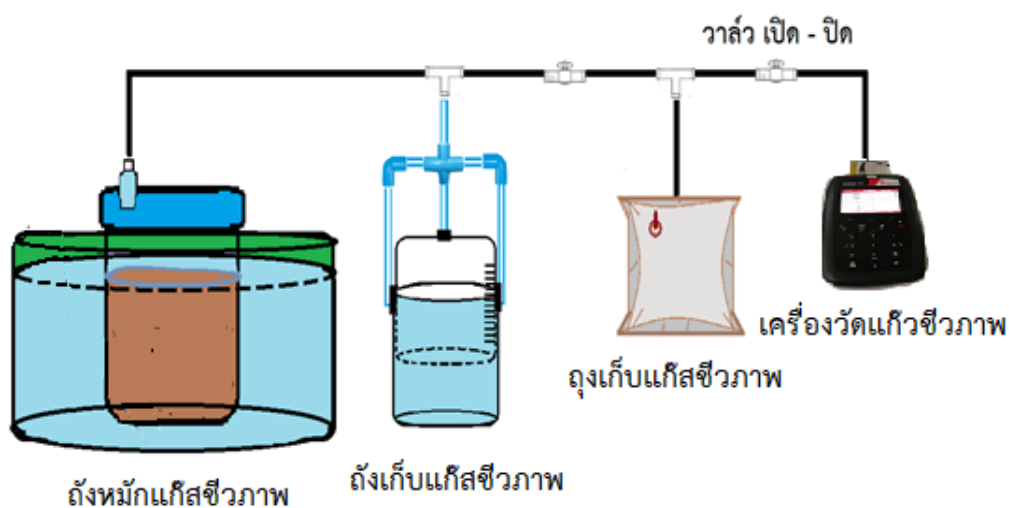
ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยศึกษาที่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15, 20 และ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย ดำเนินการหมักในสภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก (Mesophilic) 35 ± 3 °C เขย่าถังหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาเวลาที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ก่อนการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักแก๊สชีวภาพ โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย ดำเนินการหมักในสภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก (Mesophilic) 35 ± 3 °C เขย่าถังหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเขย่าในช่วงขั้นตอนการใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับ โดยจะทำการศึกษาการใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15, 20 และ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg เวลาการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน ซึ่งเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย และดำเนินการหมักในสภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก (Mesophilic) 35 ± 3 °C เขย่าถังหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการหมักแก๊สชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ถังหมัก (Digester) ขนาด 5 L ปริมาตรที่ใช้งานจริง 4 L ในขั้นตอนการหมัก ถังหมักจะถูกปิดสนิท ฝาด้านบน

ของถังติดตั้งวาล์ว (Valve) สามารถเปิด - ปิด เชื่อมด้วยสายยางเพื่อลำเลียงแก๊สชีวภาพไปยังถังเก็บแก๊ส (Storage) โดยที่สายยางเชื่อมด้วยข้อต่อสามทางและวาล์วเปิดปิดสำหรับลำเลียงแก๊สชีวภาพไปยังถังเก็บแก๊ส ถังเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ (Gas Bag) และเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊ส (Gas Detector) ชุดถังเก็บแก๊สชีวภาพ ใช้วิธีการอ่านปริมาตรแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ (Water Displacement) ซึ่งประกอบด้วยถังขนาด 4 และ 7 L โดยที่ถังขนาด 4 L เชื่อมกับสายยางสำหรับลำเลียงแก๊ส และคว่ำปากถังลงในถังขนาด 7 L ที่บรรจุน้ำไว้เพื่อวัดปริมาตรของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการแทนที่ของน้ำ เมื่อในระบบมีการผลิตแก๊สชีวภาพเกิดขึ้น แก๊สชีวภาพจะลอยตัวขึ้นและลำเลียงมายังถังเก็บแก๊สชีวภาพ โดยที่น้ำในถังจะถูกแทนที่ด้วยแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น สามารถอ่านค่าปริมาตรของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันได้ ในส่วนของการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ ได้ทำการเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพจากถังเก็บแก๊สชีวภาพ โดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ ที่เชื่อมต่อกับสายยางจากถังเก็บแก๊สชีวภาพ ถุงเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพสามารถถอดออกจากสายยางได้ การเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพทำได้โดยการกดถังเก็บแก๊สชีวภาพ โดยให้น้ำที่อยู่ในถัง 7 L ดันแก๊สชีวภาพที่อยู่ด้านบนและลำเลียงตามสายยางไปยังถุงเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 37 และ 38 หลังจากนั้นเชื่อมเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพเข้ากับถุงเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ได้และทำการจดบันทึก แสดงดังตารางที่ 16



ภาพที่ 37 แบบจำลองการทดลองผลิตแก๊สชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 38 ลักษณะการวางถังหมักและถังเก็บแก๊สชีวภาพ

ตารางที่ 16 วิเคราะห์พารามิเตอร์ในขั้นตอนการหมักแก๊สชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ

พารามิเตอร์	จำนวนครั้งในการวิเคราะห์	การวิเคราะห์
TS	ก่อนหมักและหลังหมัก	APHA, AWWA, 22 nd , 2012, p.2540 B
VS	ก่อนหมักและหลังหมัก	APHA, AWWA, 22 nd , 2012, p.2540 B
TKN	ก่อนหมักและหลังหมัก	AOAC and OMAF
pH	ก่อนหมักและหลังหมัก	pH meter
VFA	ก่อนหมักและหลังหมัก	APHA, AWWA, 22 nd , 2012, p.2320
Alk	ก่อนหมักและหลังหมัก	APHA, AWWA, 22 nd , 2012, p.2320
COD	ก่อนหมักและหลังหมัก	APHA, AWWA, 22 nd , 2012, p.5220
อัตราการผลิตแก๊ส	ทุกวัน	แทนที่น้ำ
CH ₄	3 ครั้ง/การทดลอง	Gas Check (Geo Tech 5000)

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลการศึกษา

การศึกษากาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ และส่วนที่สองศึกษาผลของการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

ผลการศึกษากาการผลิตถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ เพื่อตรวจสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ มีรายละเอียดดังนี้

ค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดลิ้นจี่

ผลการศึกษาค่าความชื้นของเมล็ดลิ้นจี่ก่อนการเผาเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ พบว่า ค่าเฉลี่ยความชื้นมาตรฐานแห้งและค่าเฉลี่ยมาตรฐานเปียกคิดเป็นร้อยละ 12.25 ± 0.28 และ 10.92 ± 0.22 ตามลำดับ โดยค่าความชื้นตั้งต้นนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้นของเปลือกแมคคาเดเมียก่อนเผาซึ่งให้ความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้นประมาณร้อยละ 14 (บรรพต, 2556)

ร้อยละของผลได้ของถ่านของถ่านเมล็ดลิ้นจี่

จากการศึกษากาการเผาเมล็ดลิ้นจี่ในเตาเผา (Chamber Furnace Model CWF11/5/301) ในช่วงอุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ระยะเวลาการเผา 1 h จากผลการศึกษา พบว่า ร้อยละของผลได้ แปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา โดยที่อุณหภูมิการเผาสูงขึ้นส่งผลให้ผลได้มีค่าลดลงและอุณหภูมิการเผาต่ำส่งผลให้ผลได้สูงขึ้น เนื่องมาจากอุณหภูมิการเผาที่มีผลต่อการสูญเสียปริมาณสารระเหย อินทรีย์คาร์บอนบางส่วนแปรสภาพกลายเป็นเถ้า ดังนั้นหากอุณหภูมิการเผาสูงเกินไปวัสดุจะกลายเป็นเถ้าเสียส่วนใหญ่ ส่งผลได้ปริมาณถ่านน้อยลง ในขณะที่อุณหภูมิการเผาต่ำวัสดุจะกลายเป็นเถ้าได้น้อย จึงได้ปริมาณถ่านมากกว่าการเผาที่อุณหภูมิสูง จากการทดลองที่อุณหภูมิ 400 °C ให้ร้อยละของผลได้ที่สูงที่สุด 29.59 รองลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 500 °C ให้ร้อยละผลได้ 27.27 และที่อุณหภูมิ 600 °C ให้ร้อยละผลได้ที่น้อยที่สุดคือ 25.33 ซึ่งภายใต้เงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ร้อยละของผลได้ของเมล็ดลิ้นจี่มีค่าอยู่ในช่วง 29.59 – 25.33 ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 17 ซึ่งร้อยละของผลได้ของเมล็ดลิ้นจี่ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการเผาเมล็ดลำไย ภายใต้เงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ

500, 600, 700, 800 และ 900 °C ให้ร้อยละของผลได้ของเมล็ดลำไยในช่วง 33.29 – 24.18 (กิติโรจน์ และคณะ, 2550)

ตารางที่ 17 ผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

อุณหภูมิ (°C)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตที่ได้
400	29.59 ± 0.21
500	27.27 ± 0.14
600	25.33 ± 0.08

ลักษณะทางกายของถ่านเมล็ดลิ้นจี่

จากการศึกษาการเผาเมล็ดลิ้นจี่ในเตาเผา (Chamber Furnace Model CWF11/5/301) อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เวลา 1 h จากผลการศึกษา พบว่า ลักษณะทางกายภาพของถ่านเมล็ดลิ้นจี่ มีลักษณะกลมทรงแป้น สีดำมันเงา ทุกช่วงอุณหภูมิ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาให้สูงขึ้น สีของถ่านเมล็ดลิ้นจี่จะมีสีม่วงปนน้ำเงิน นอกจากนี้ยัง พบว่า ที่อุณหภูมิการเผาที่ 400 และ 500 °C มีเขม่าควันเกิดขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงเกิดเขม่าควันดำขึ้น (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) แต่ที่อุณหภูมิการเผา 600 °C พบว่า ไม่มีเขม่าควันดำเกิดขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (อรไพลิน, 2557) ดังแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิการเผา (ก) 400, (ข) 500 และ (ค) 600 °C

เมื่อทำการบดถ่าน พบว่า สีด้านในของถ่านในแต่ละอุณหภูมิการเผา มีลักษณะต่างกันเล็กน้อย อุณหภูมิการเผาที่ 400 และ 500 °C ด้านในตัวถ่านมีสีน้ำตาลอ่อน แต่ที่อุณหภูมิการเผาที่ 600 °C ด้านในของถ่านเมล็ดลิ้นจี่มีสีดำ จากนั้นทำการคัดขนาดของถ่านเมล็ดลิ้นจี่ ให้มีขนาด 0.5 – 1.5 mm ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิการเผา (ก) 400, (ข) 500 และ (ค) 600 °C

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

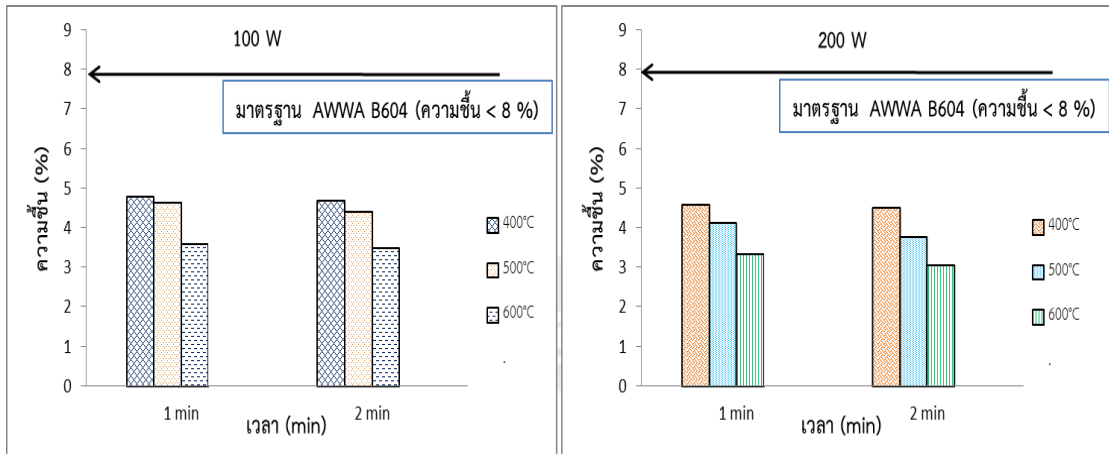
จากการศึกษาการก่อกัมมันต์หลังการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ด้วยน้ำร่วมกับ คลื่นไมโครเวฟ และเปรียบเทียบกับผลของการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้ กำลังไฟฟ้า 100 และ 200 W ระยะเวลา 1 และ 2 min จากการวิเคราะห์ความชื้นของถ่านกัมมันต์ พบว่า ค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 3 – 5 ซึ่งค่าความชื้นจะมี ค่าลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาและเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการกระตุ้น (อรโพลิน, 2557) น้ำที่อยู่ในถ่านเมล็ด ลิ้นจี่เมื่อได้รับความร้อนจากกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น น้ำในถ่านเมล็ดลิ้นจี่จึงระเหยออกไปได้มากขึ้น ส่งผล ให้ถ่านเมล็ดลิ้นจี่มีค่าร้อยละของความชื้นต่ำลง ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติที่ดี จะต้องมีความชื้นต่ำกว่า ร้อยละ 8

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

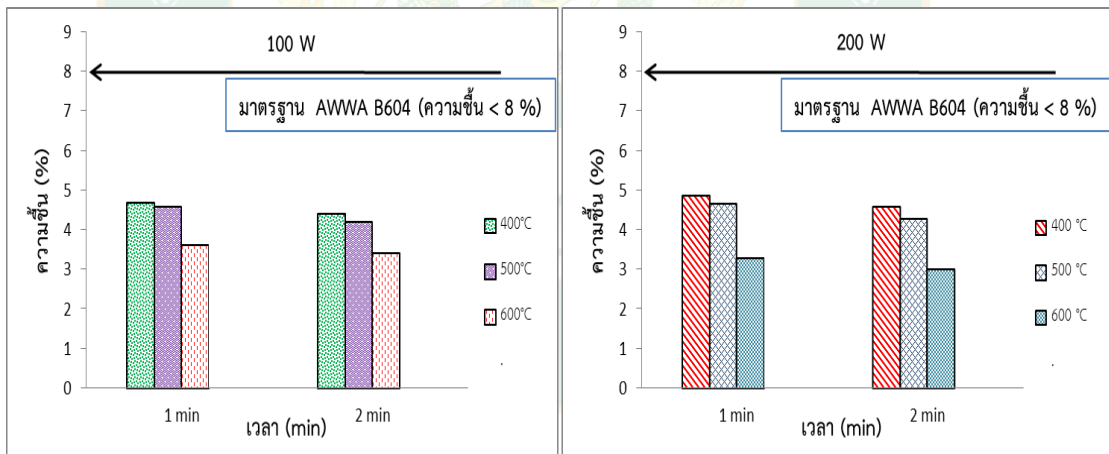
ค่าร้อยละของความชื้นจะแปรผกผันกับอุณหภูมิการเผา เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ค่าร้อยละของความชื้นมีค่าลดลง เนื่องจากความร้อนมีผลต่อการระเหยน้ำในวัสดุ ส่งผลให้มีค่าร้อยละ ของความชื้นต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิการเผาต่ำมีความร้อนน้อยน้ำในวัสดุระเหยไปได้น้อย จึงมีค่าร้อยละ ของความชื้นสูงกว่าการเผาที่อุณหภูมิสูง (หฤทัย, 2554)

จากสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ดี ถ่านกัมมันต์จะต้องมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 พบว่า ค่าความชื้นที่ต่ำที่สุดที่ได้จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำร่วมกับ ไมโครเวฟที่ 3.07 ± 0.01 และ 3.00 ± 0.01 ตามลำดับ ภายใต้การกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 2 min อุณหภูมิการเผา 600 °C และ ค่าความชื้นที่สูงที่สุดคือ 4.78 ± 0.01 และ 4.70 ± 0.07 ตามลำดับ ภายใต้การกระตุ้นถ่านให้ก่อกัม

มันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 100 W เวลา 1 min อุณหภูมิอุณหภูมิ การเผา 400 °C ดังแสดงในภาพที่ 41 และ 42



ภาพที่ 41 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ

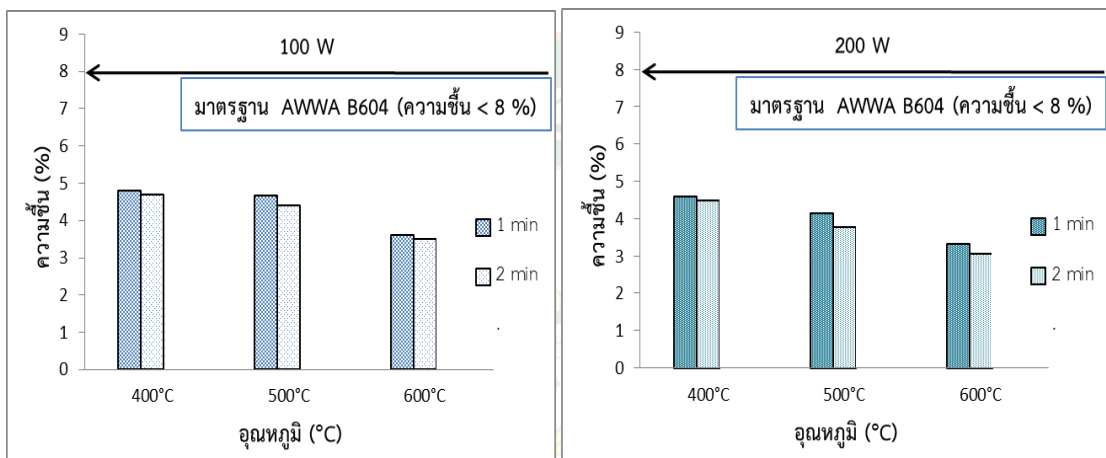


ภาพที่ 42 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

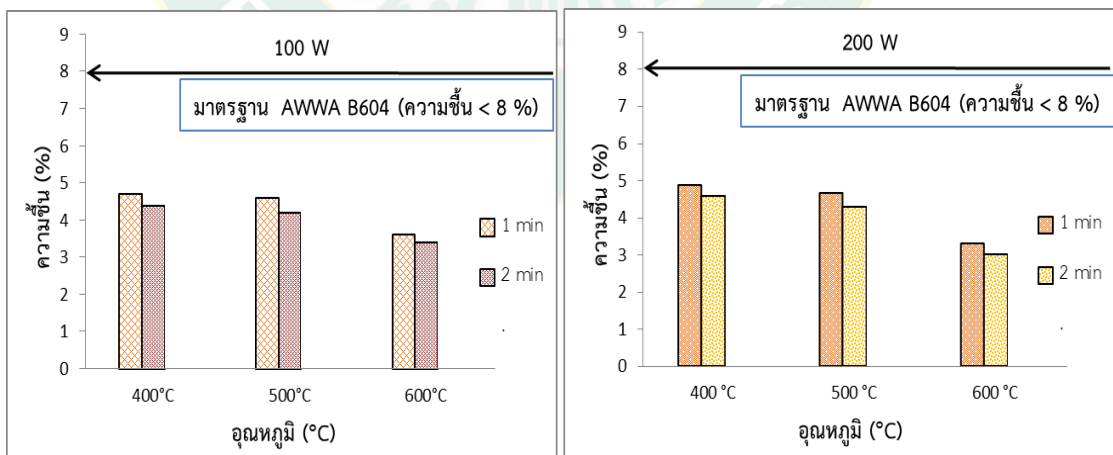
ผลของเวลาที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นถ่านเมล็ดลีนจี้ให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

จากการทดลอง พบว่า ร้อยละของความชื้นมีค่าแปรผันกับระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นให้นานขึ้น ค่าร้อยละของความชื้นจะมีค่าต่ำลง ในขณะที่ระยะเวลากระตุ้นที่สั้น วัสดุจะสัมผัสและสะสมไอน้ำในตัวได้น้อย จึงมีค่าร้อยละของความชื้นต่ำกว่า

การกระตุ้นที่ใช้เวลานานกว่า (หุทัย, 2554) ค่าความชื้นที่น้อยที่สุดที่ได้จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านเมล็ดลินจีด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟที่ 3.07 ± 0.01 และ 3.00 ± 0.01 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองวิธีการศึกษาใช้ระยะเวลาในการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ที่เวลา 2 min กำลังไฟ 200 W อุณหภูมิ 600 °C และค่าความชื้นที่สูงที่สุด คือ 4.78 ± 0.01 และ 4.70 ± 0.07 ตามลำดับ ภายใต้การกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 100 W เวลา 1 min อุณหภูมิอุณหภูมิการเผา 400 °C ดังแสดงในภาพที่ 43 และ 44



ภาพที่ 43 ผลของเวลาที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ

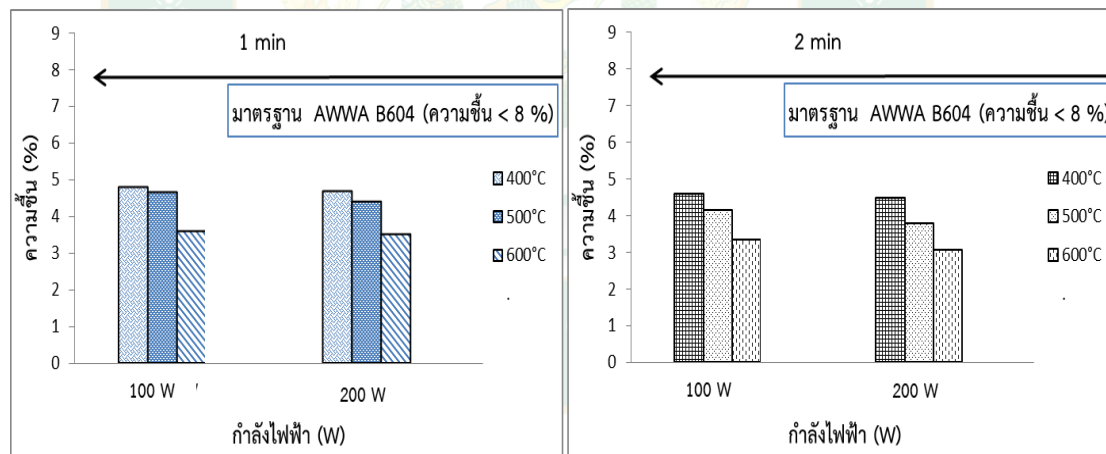


ภาพที่ 44 ผลของเวลาที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

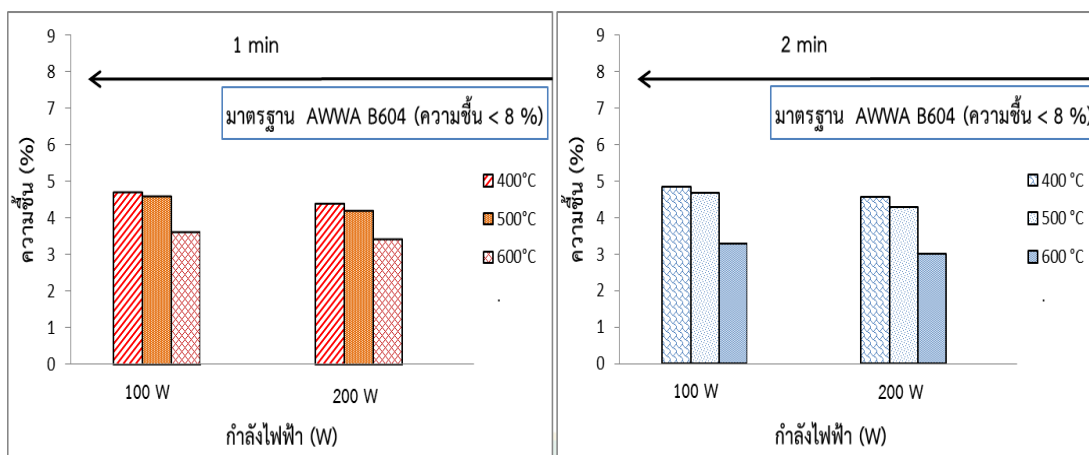
3. ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นถ่านเมล็ดลีนจีให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

ค่าร้อยละของความชื้นมีค่าแปรผันกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านเมล็ดลีนจีให้ก่อกัมมันต์ เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น ค่าร้อยละของความชื้นจะต่ำลง เนื่องจากเมื่อคลื่นความถี่สูงหรือกำลังไฟฟ้าสูงไปกระทบกับเม็ดถ่าน ทำให้โมเลกุลของน้ำในเม็ดถ่านเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้กลายเป็นพลังงานความร้อนสูงส่งผลให้น้ำระเหยออกจากเม็ดได้ง่ายกว่าการกระตุ้นที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ (วิจิต, 2559)

จากการศึกษา พบว่า ค่าความชื้นที่ต่ำที่สุดที่ได้จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านเมล็ดลีนจีด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟที่ 3.07 ± 0.01 และการกระตุ้นถ่านเมล็ดลีนจีด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟที่ 3.00 ± 0.01 โดยที่ทั้งสองวิธีการศึกษาใช้ระยะเวลาในการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ที่ กำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 2 min อุณหภูมิ 600 °C และค่าความชื้นที่สูงที่สุดของทั้งสองวิธีการศึกษา คือ 4.78 ± 0.01 และ 4.70 ± 0.07 กำลังไฟฟ้า 100 W เวลา 1 min อุณหภูมิ 400 °C ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 45 และ 46



ภาพที่ 45 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

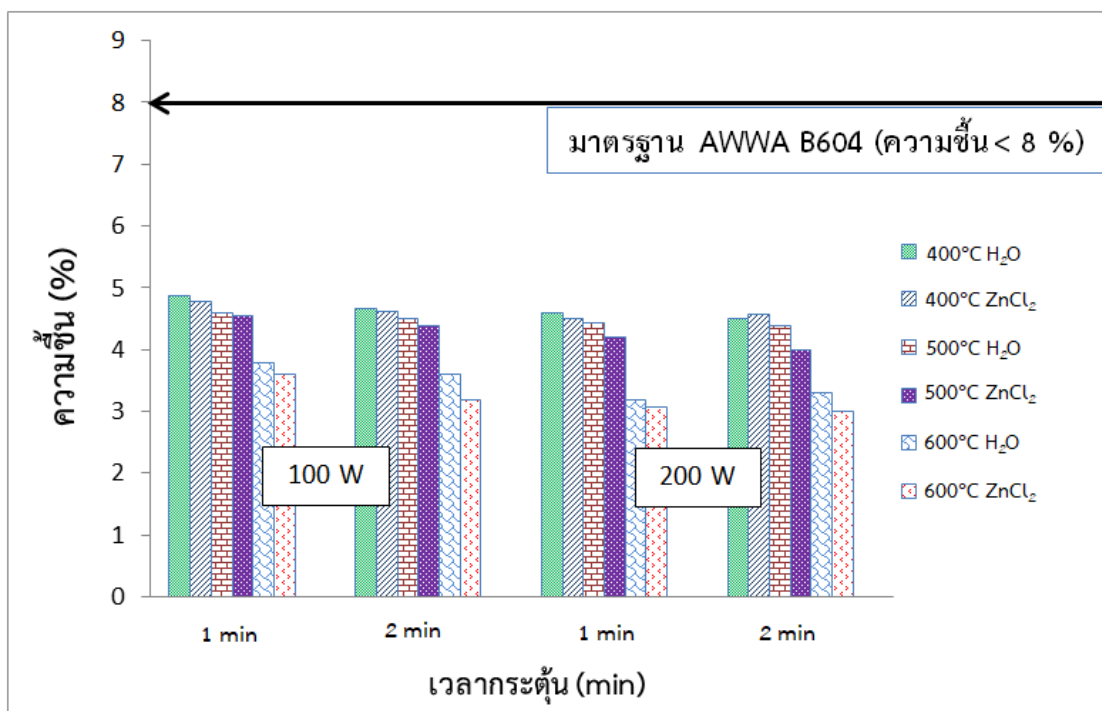


ภาพที่ 46 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ

ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ทุกช่วงการกระตุ้น มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความชื้น AWWA B 604 (เกณฑ์มาตรฐานไม่เกิน 8 %) ที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 18 และภาพที่ 47

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

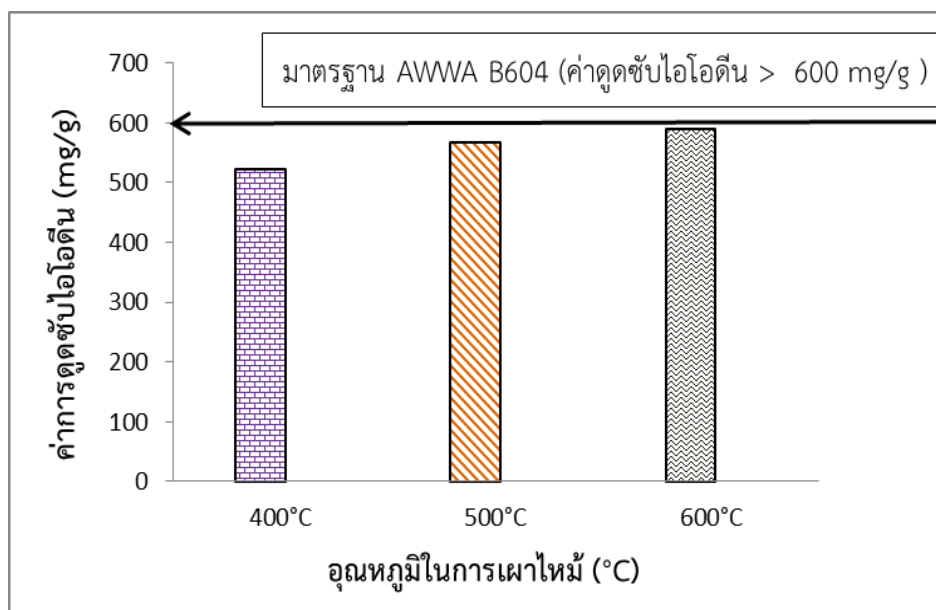
อุณหภูมิ (°C)	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา (min)	กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ	กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ
400	100	1	4.78 ± 0.01	4.70 ± 0.07
		2	4.68 ± 0.01	4.20 ± 0.02
	200	1	4.60 ± 0.01	4.86 ± 0.03
		2	4.50 ± 0.01	4.58 ± 0.05
500	100	1	4.65 ± 0.02	4.86 ± 0.02
		2	4.40 ± 0.05	4.58 ± 0.03
	200	1	4.14 ± 0.02	4.67 ± 0.07
		2	3.38 ± 0.01	4.29 ± 0.42
600	100	1	3.34 ± 0.01	3.34 ± 0.01
		2	3.07 ± 0.01	3.07 ± 0.01
	200	1	3.34 ± 0.06	3.30 ± 0.02
		2	3.07 ± 0.01	3.00 ± 0.01



ภาพที่ 47 ความชื้นของเมล็ดลิ้นจี่หลังจากผ่านการกระตุ้นให้ก่อกัมมันต์แล้ว

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ การดูดซับไอโอดีนของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ก่อนการกระตุ้น

การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนจากเมล็ดลิ้นจี่ก่อนการกระตุ้น เพื่อเปรียบเทียบหลังจากการกระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำร่วมและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 522.12 ± 3.35 , 568.36 ± 8.88 และ 589.74 ± 20.08 mg/g ตามลำดับ ซึ่งการดูดซับไอโอดีนของถ่านเมล็ดก่อนการกระตุ้น มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากมีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยกว่า 600 mg/g ตามวิธีการทดสอบ AWWA B 604 ที่กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ 48



ภาพที่ 48 การดูดซับไอโอดีนของเม็ดถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ก่อนการกระตุ้น

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

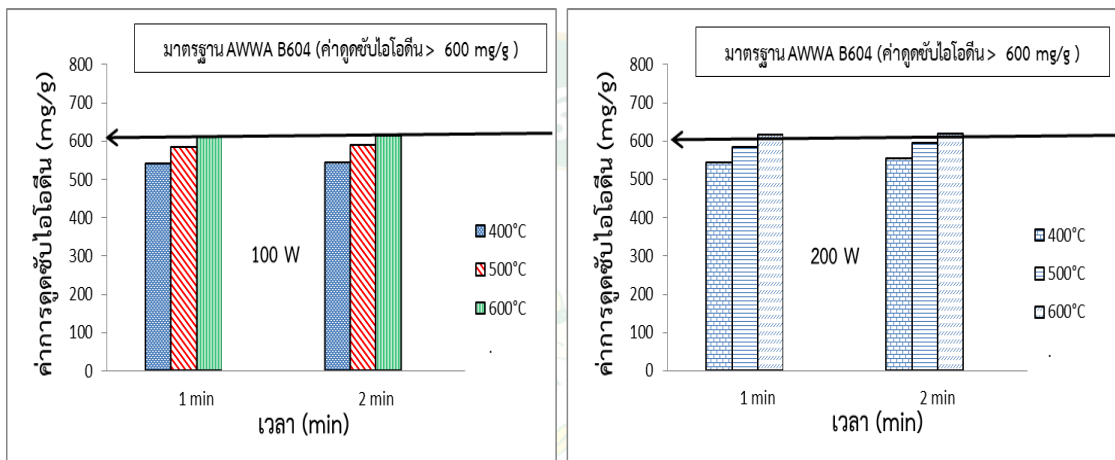
ค่าการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ทำการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 100 และ 200 W เวลา 1 – 2 min พบว่า การใช้ถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 และ 500 °C มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ผ่านตามที่มาตรฐาน AWWA B 604 ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง $540.86 \pm 4.63 - 589.05 \pm 20.21$ mg/g เท่านั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าแปรผันกับอุณหภูมิการเผา เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิความร้อนมีผลต่อการระเหยน้ำในถ่าน ส่งผลให้ถ่านมีความพรุนสูงขึ้น

การก่อกัมมันต์ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟโดยใช้ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 2 min มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุด 621.17 ± 9.27 mg/g รองลงมา คือ 615.82 ± 20.21 mg/g ที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 1 min และที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 100 W เวลา 1 min ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำที่สุด คือค่าการดูดซับเฉลี่ย 610.46 ± 13.91 mg/g ดังแสดงในภาพที่ 49

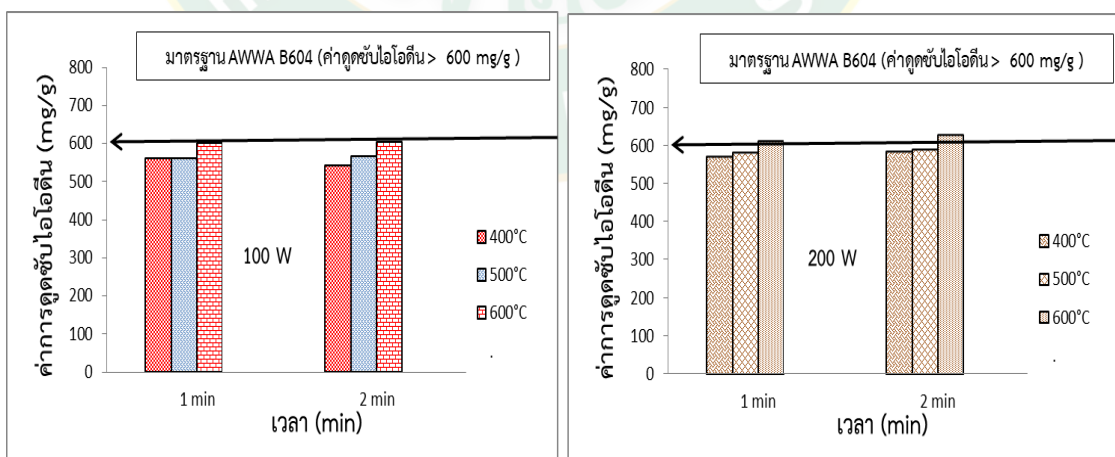
การก่อกัมมันต์ถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟโดยใช้ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 2 min ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงและดีที่สุด 626.57 ± 8.03 mg/g รองลงมาคือ 610.46 ± 21.25 mg/g ที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 200 W

เวลา 1 min และที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 100 W เวลา 1 min ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำที่สุด คือค่าการดูดซับเฉลี่ย 605.12 ± 16.72 ดังแสดงในภาพที่ 50

สภาวะที่ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่สามารถให้ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ผ่านมาตรฐาน AWWA B 604 คือ เมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 100 W เวลา 1 min ขึ้นไป แสดงดังตารางที่ 20 การเพิ่มอุณหภูมิการเผาและการเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ ส่งผลให้ถ่านมีค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้น (กิติโรจน์ และคณะ, 2550)



ภาพที่ 49 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ

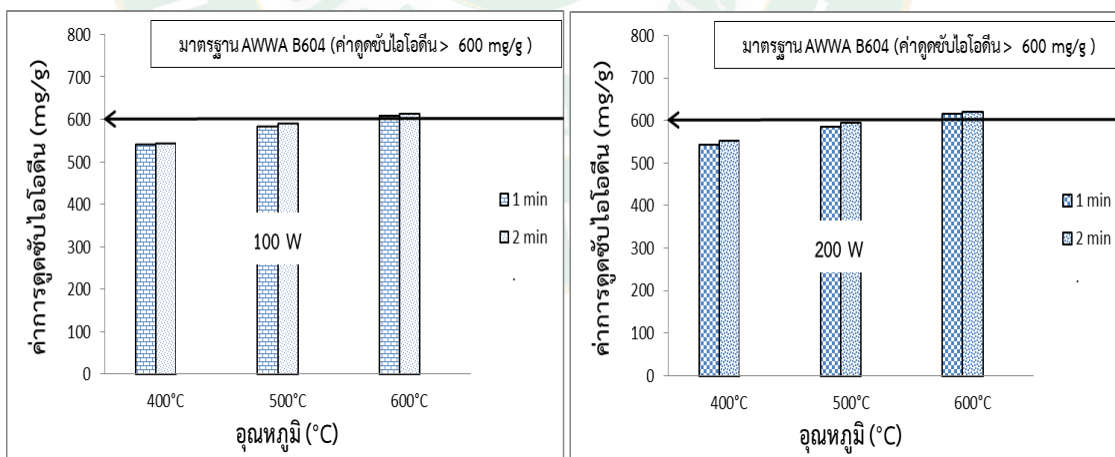


ภาพที่ 50 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

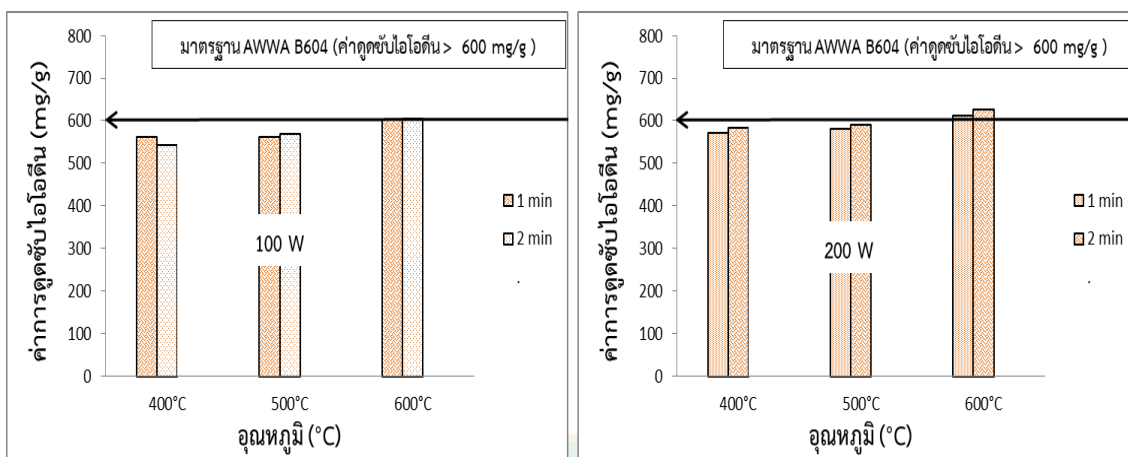
ผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

ค่าการดูดซับไอโอดีนถ่านเมล็ดลิ้นจี่ให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ทำการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 100 และ 200 W เวลา 1 – 2 min พบว่า การใช้ถ่านจากเม็ดลิ้นจี่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 และ 500 °C มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ผ่านตามที่มาตรฐาน AWWA B 604 ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง $540.86 \pm 4.63 - 589.05 \pm 20.21$ mg/g เท่านั้น

ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าแปรผันกับระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นนานขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นตามมา ในขณะที่ระยะเวลากระตุ้นสั้น วัสดุจะสัมผัสและสะสมไอน้ำในตัวได้น้อย จึงมีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำกว่าการกระตุ้นที่ใช้ระยะเวลานานกว่า (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟมีค่าเฉลี่ย 621.17 ± 9.27 และ 626.57 ± 8.03 mg/g ตามลำดับ ที่เวลาการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ 2 min อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 200 W เมื่อเทียบกับเวลาการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ 1 min ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟเพียง 615.82 ± 20.21 และ 610.46 ± 21.25 mg/g ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 20 และภาพที่ 51 และ 52



ภาพที่ 51 ผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ

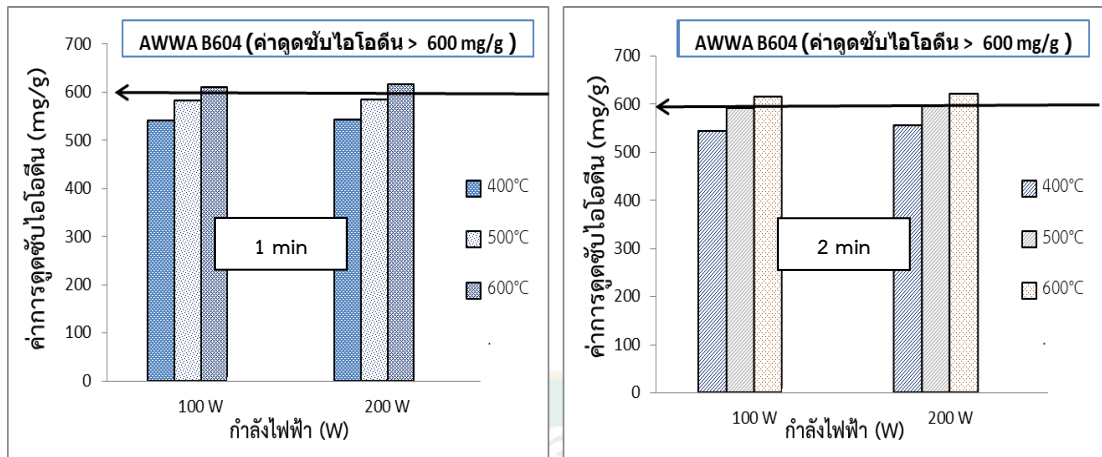


ภาพที่ 52 ผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

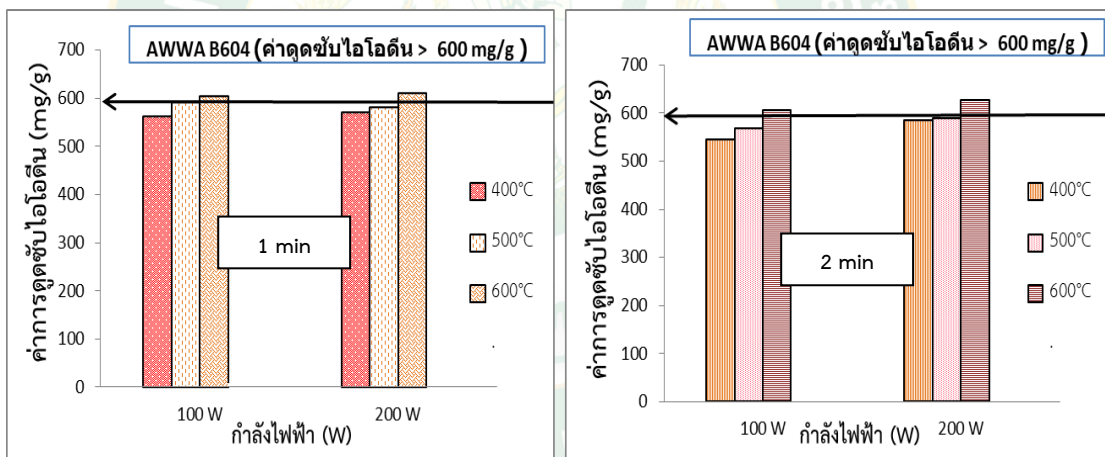
ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

ค่าการดูดซับไอโอดีนจากการกระตุ้นผ่านเมล็ดลินจี้ให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ทำการกระตุ้นผ่านให้ก่อกัมมันต์ด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 100 และ 200 W เวลา 1 – 2 min จากการศึกษา พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าแปรผันกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นผ่านเมล็ดลินจี้ให้ก่อกัมมันต์ เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อคลื่นไมโครเวฟมีความถี่สูงหรือกำลังไฟฟ้าที่สูงไปกระทบเม็ดถั่ว ทำให้โมเลกุลของน้ำในเม็ดถั่วเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลกัน น้ำในเม็ดถั่วระเหยออกจากเม็ดได้ง่ายกว่าการกระตุ้นที่ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย (วิจิต, 2559) ทำให้เม็ดถั่วมีความพรุนสูงขึ้น ส่งผลเม็ดถั่วมีความสามารถในการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น

จากการศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนจากการกระตุ้นผ่านเมล็ดลินจี้ให้ก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ พบว่า การใช้ถั่วจากเม็ดลินจี้ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 และ 500 °C มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ผ่านตามที่มาตรฐาน AWWA B 604 ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง $540.86 \pm 4.63 - 589.05 \pm 20.21$ mg/g และค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุดที่สภาวะการกระตุ้นผ่านเมล็ดลินจี้ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้าในการกระตุ้นผ่านให้ก่อกัมมันต์ 200 W เวลา 2 min ที่อุณหภูมิ 600 °C มีค่า 621.17 ± 9.27 และ 626.57 ± 8.03 mg/g ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเวลาการกระตุ้นผ่านให้ก่อกัมมันต์ 100 W ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้จากการศึกษาการกระตุ้นผ่านเมล็ดลินจี้ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟมีค่า 615.82 ± 20.21 และ 610.46 ± 21.25 mg/g ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 53 และ 54 และตารางที่ 19



ภาพที่ 53 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ



ภาพที่ 54 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความชื้นจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ

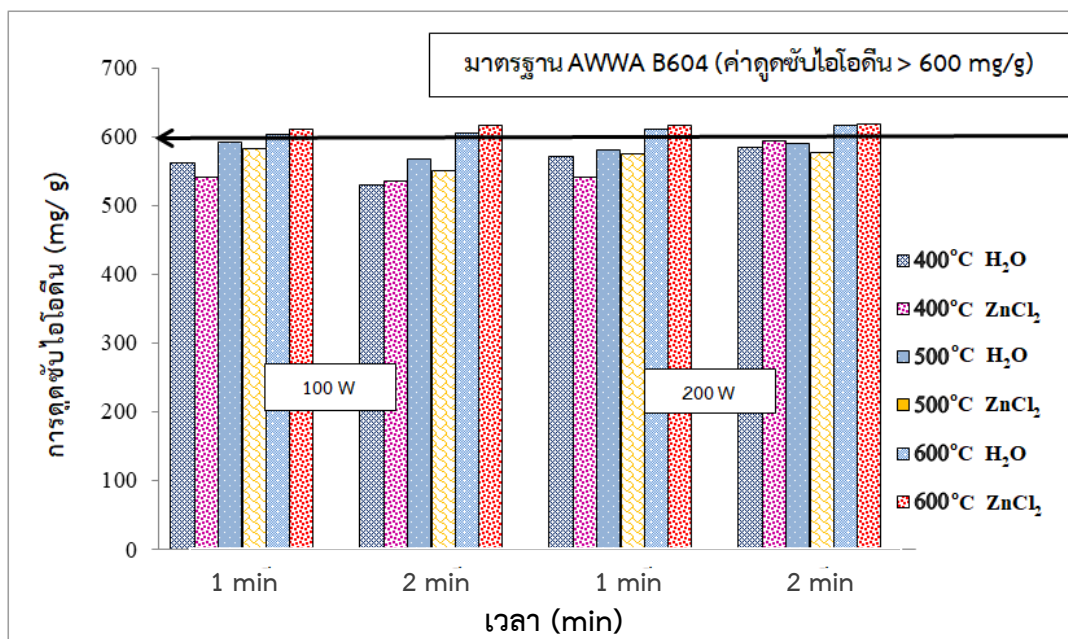
ตารางที่ 19 การดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลีนไมโครเวฟ ภายใต้ อุณหภูมิการเผา 400, 500 และ 600 °C

อุณหภูมิ (°C)	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา (min)	กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับคลีนไมโครเวฟ	กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลีนไมโครเวฟ
400	100	1	540.86 ± 4.64	562.28 ± 8.03
		2	543.54 ± 4.64	543.54 ± 4.63
	200	1	543.54 ± 16.72	570.31 ± 8.03
		2	594.40 ± 21.25	583.69 ± 16.72
500	100	1	583.69 ± 23.18	591.72 ± 12.27
		2	551.57 ± 9.27	567.63 ± 25.82
	200	1	575.66 ± 12.27	581.02 ± 4.64
		2	578.34 ± 35.01	589.05 ± 20.21
600	100	1	* 610.46 ± 13.91	* 602.43 ± 21.25
		2	* 613.82 ± 12.27	* 605.12 ± 16.72
	200	1	* 615.82 ± 20.21	* 610.46 ± 21.25
		2	* 621.17 ± 9.27	* 626.57 ± 8.03

* ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ผ่านมาตรฐาน AWWA B 604

ค่าการดูดซับไอโอดีนแปรผันตรงกับอุณหภูมิการเผา ระยะเวลาและกำลังไฟฟ้าในการกระตุ้นที่ให้ต่อคลีนไมโครเวฟ สรุปได้ว่าทุกช่วงกำลังไฟฟ้าและทุกช่วงระยะเวลาการใช้คลีนไมโครเวฟในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ให้ก่อกัมมันต์ ภายใต้อุณหภูมิการเผาที่ 600 °C ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนผ่านตามมาตรฐาน ตามวิธีการ AWWA B 604 ดังแสดงในภาพที่ 55

อุณหภูมิการเผาสูงส่งผลให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้นอุณหภูมิการเผา 500 °C ค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากความร้อนมีผลต่อการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างของผลึกคาร์บอน เกิดเป็นโพรงหรือรูพรุนขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเผาสูง จะมีการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนสูงจึงเกิดรูพรุนมาก เป็นผลให้ถ่านเมล็ดลิ้นจี่ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิสูงนี้มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนมาก (หฤทัย, 2554)



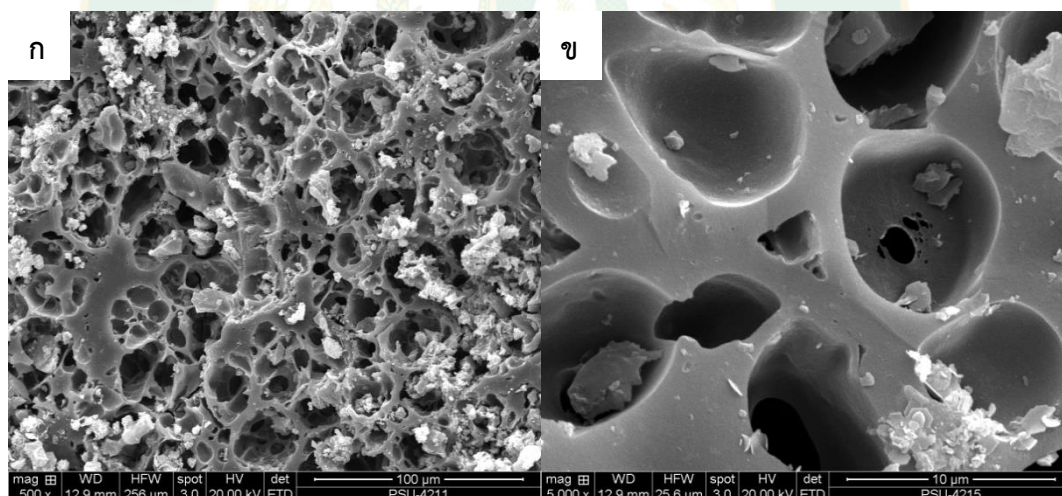
ภาพที่ 55 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นที่ผ่านการกระตุ้น

งานวิจัยในส่วนของ การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ได้ทำการคัดเลือกจากสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เกิดการกักกัมมันต์ของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ จากการทดลองเลือกใช้สภาวะการผลิตถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิการเผาเมล็ดลิ้นจี่ 600 °C มาทำการกระตุ้นให้เกิดการกักกัมมันต์ที่กำลังไฟฟ้า 200 W ระยะเวลาการกระตุ้น 2 min ซึ่งให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด โดยวิธีการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางกายภาพด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ 621.17 ± 9.27 mg/g และวิธีการกระตุ้นทางเคมีร่วมกับไมโครเวฟ 626.57 ± 8.03 mg/g แม้ว่าวิธีการกระตุ้นทางกายภาพจะมีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าวิธีการทางเคมี 0.86 % แต่เนื่องจากวิธีการกระตุ้นทางเคมี (การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ) มีขั้นตอนการล้างสารเคมีหลายครั้งและใช้เวลาในการผลิตนานกว่าการกระตุ้นด้วยวิธีการทางกายภาพ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีการทางกายภาพในส่วนของ การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ ซึ่งวิธีทางกายภาพนี้สามารถช่วยลดขั้นตอนการล้างทำความสะอาดสารเคมี อีกทั้งช่วยประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายในเรื่องของสารเคมี และกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ได้

ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 400 การกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำเปรียบเทียบกับกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ภายใต้อุณหภูมิการเผาที่ 600 °C ที่กำลังไฟฟ้า 200 W ระยะเวลา 2 min ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ จากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 10 μm พบว่ายังมีผงถ่านปรากฏตามรูพรุนในเม็ดถ่านอยู่มาก แสดงดังภาพที่ 56ก และ 56ข ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน (Brunauer Emmett and Teller, BET) ของถ่านกัมมันต์ที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุด คือ การกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ภายใต้อุณหภูมิการเผาที่ 600 °C ที่กำลังไฟฟ้า 200 W ระยะเวลา 2 min พบว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะมีขนาด 40.82 m^2/g ซึ่งแอมโมเนียมีมวลต่อหนึ่งโมลเพียง 17.031 g/mol และรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 1136.00 Å (1 Å มีค่า 10^{-10} m หรือ 10 nm)

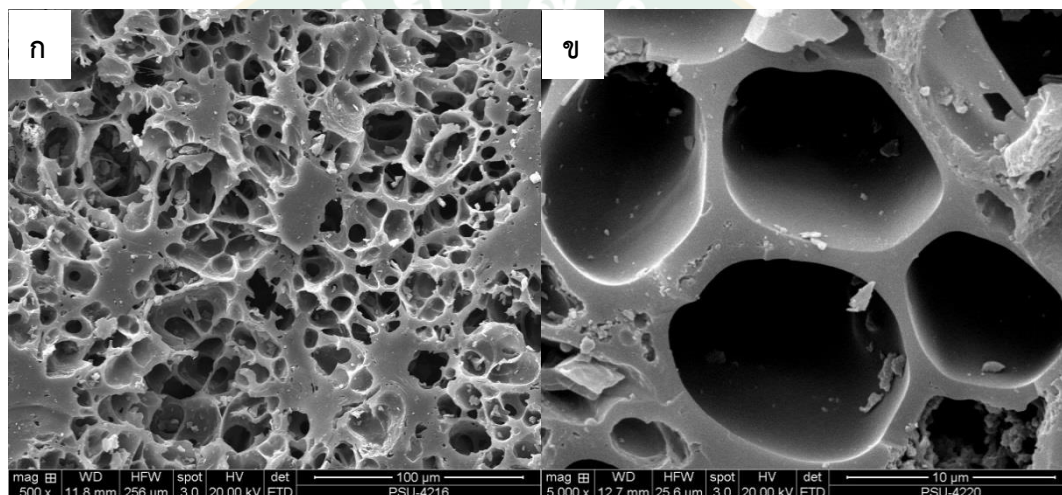


ภาพที่ 56 โครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ จากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 10 μm แสดงดังภาพที่ 57ก และ 57ข ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ทำให้ทราบถึงความสามารถในกักต่อน้ำในชั้นตอน

กระตุ้นให้ก่อกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์นั้น สามารถชำระล้างเศษผงถ่านขนาดเล็กที่ตกค้างออกจากในรูพรุนได้ (Dejang et al., 2015) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (ปัญญา, 2555)

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน (Bruner Emmett and Teller, BET) ของถ่านกัมมันต์ที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุด คือ การกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ภายใต้อุณหภูมิการเผาที่ 600 °C ที่กำลังไฟฟ้า 200 W ระยะเวลา 2 min พบว่า พื้นที่ผิวจำเพาะมีขนาด 48.21 m²/g ซึ่งแอมโมเนียมีมวลต่อหนึ่งโมลเพียง 17.031 g/mol ตามลำดับ และรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 1174.3 Å



ภาพที่ 57 โครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

งานวิจัยในส่วนของการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ได้ทำการคัดเลือกจากสถานะที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เกิดการก่อกัมมันต์ของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ จากการทดลองสถานะการผลิตถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิการเผาเมล็ดลิ้นจี่ 600 °C การกระตุ้นให้เกิดการก่อกัมมันต์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 200 W ระยะเวลาการกระตุ้น 2 min พบว่า การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 626.57 ± 8.03 mg/g ซึ่งให้ประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีนสูงการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับไมโครเวฟ คิดเป็น 0.86 % จากผลการศึกษาดังกล่าว พบว่า ค่าการดูดซับที่ได้จากการกระตุ้นทั้งทางกายภาพและทางเคมี ให้ค่า

การดูดซับไอน้ำที่แตกต่างกันมากนัก อีกทั้งกระตุ้นทางเคมี (การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ) มีต้นทุนในเรื่องของสารเคมีและการล้างทำความสะอาดสารเคมี ดังนั้นจึงคัดเลือกวิธีการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อใช้ในขั้นตอนการประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สชีวภาพ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย ดำเนินการหมักในถังขนาด 5 L ปริมาตรการใช้งานจริง 4 L สภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก (Mesophilic) ช่วง 35 ± 3 °C เขย่าถังหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุดิบมูลไก่ตั้งต้น

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของมูลไก่ก่อนการศึกษา เช่น ความชื้น (Moisture Content, MC) ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid, VS) และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) ดังแสดงในตารางที่ 20 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบ พบว่า ความชื้น (Moisture Content, MC) ของมูลไก่เริ่มต้นมีค่า 20.5 ค่าความชื้นในมูลไก่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการดำเนินกิจกรรมของแบคทีเรียตลอดจนการละลายของสารประกอบต่าง ๆ และการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ในมูล ผลของอัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ของมูลไก่มีค่า 8 : 1 ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าตามทฤษฎี ซึ่งควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20-30: 1 หากอัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 30 แสดงถึงการมีปริมาณไนโตรเจนที่สูง การมีปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปเกินความต้องการ ส่งผลให้เกิดการสร้างกรดแอมโมเนียมากขึ้นในระบบ ทำให้เกิดผลกระทบต่อแบคทีเรียที่ช่วยในการผลิตแก๊สชีวภาพ แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จึงมีปริมาณที่น้อย อย่างไรก็ตามหากอัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 30 เนื่องจากการมีปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ ส่งผลให้การเริ่มต้นของระบบการผลิตแก๊สชีวภาพค่อนข้างช้า เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Punal และคณะ, 2000) ดังแสดงในตารางที่ 20

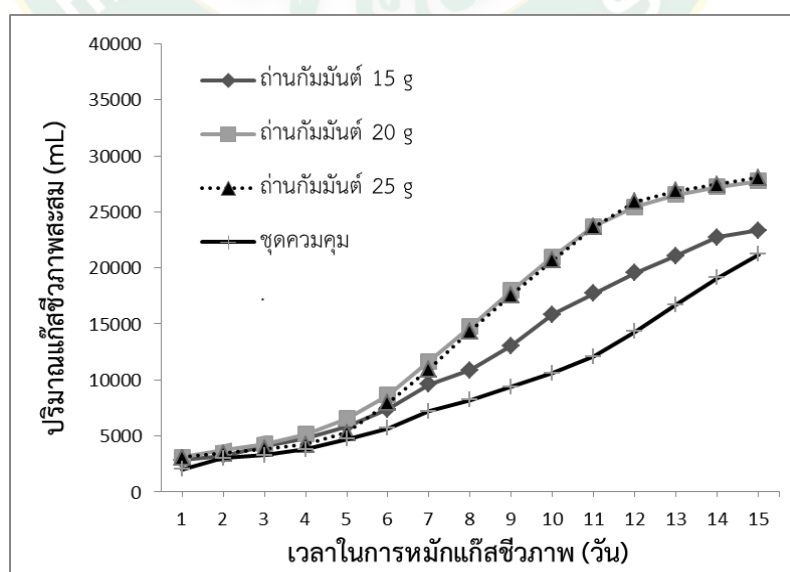
ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์คุณลักษณะของมูลไก่

พารามิเตอร์	มูลไก่
Moisture Content (%)	20.5
C/N Ratio	8 : 1
Total Kjeldahl Nitrogen, TKN (mg/kg)	23,569
Volatile Solid, VS (mg/kg)	405,664
Total Solid, TS (mg/kg)	516,422

ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ

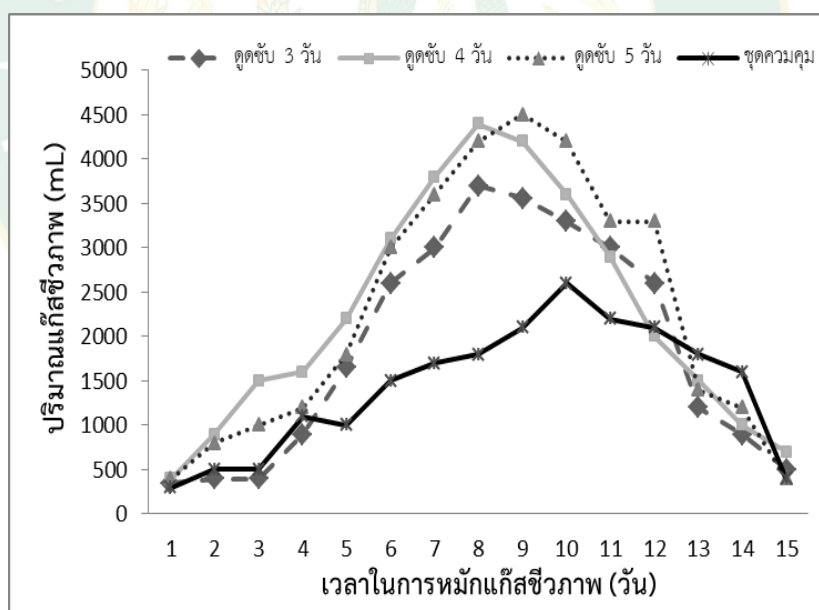
จากการศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ ที่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15, 20 และ 25 g จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด 28,075 mL จากการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ ปริมาณ 25 g และระยะเวลาในการดูดซับ 3 วัน เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาที่สภาวะเดียวกัน พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ 15 และ 20 g ในการดูดซับ ให้ปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพสะสม 23,350 mL และ 27,750 mL ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย พบว่า การใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ 25 g ให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าชุดควบคุมคิดเป็น 24.49 % ดังแสดงในภาพที่ 58

ผลการทดลองการเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสูงขึ้นตามมา เนื่องจากการเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวรูพรุนให้มากขึ้น (บุญรักษ์, 2540) พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ เมื่อพื้นที่ผิวรูพรุนมากขึ้น (สมบัติถ่านกัมมันต์คือ การมีความพรุนของถ่าน) ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ในดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ก่อนการหมัก จึงส่งผลให้อัตราส่วนของไนโตรเจนที่เปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมีปริมาณน้อยลง ความเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนในระบบน้อยลง (พลกฤษณ์, 2557) ส่งผลให้ในขั้นตอนการหมักได้แก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 58 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ

จากการศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ ที่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15, 20 และ 25 g ระยะเวลาการดูดซับ 3 วัน ต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพแต่ละวัน พบว่า ระบบเริ่มมีการผลิตแก๊สชีวภาพในวันที่ 4 ในทุกผลการทดลอง การผลิตแก๊สชีวภาพของทุก ๆ การทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ในช่วงแรกระบบอยู่ในช่วงของกระบวนการอะซิโตเจเนซิสและกระบวนการอะซิโตเจเนซิส (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) แนวโน้มของการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในระบบ (พงศัลดดา และคณะ, 2552) ทั้งนี้หลังจากดำเนินการหมักได้ช่วงระยะหนึ่ง การผลิตแก๊สชีวภาพของแต่ละการทดลองเริ่มคงที่ เนื่องจากระบบการหมักแก๊สชีวภาพเป็นระบบแบบทชซึ่งมีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว จึงไม่มีสารอินทรีย์เพียงพอต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย การผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวันของการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g ในวันที่ 9 เกิดแก๊สชีวภาพสูงสุด 3,650 mL วันที่ 10 ปริมาณแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง เนื่องจากไม่มีการเติมสารอาหารเข้าระบบ ที่ชุดควบคุมเกิดแก๊สชีวภาพสูงสุดในวันที่ 10 ปริมาณ 2,600 mL วันที่ 11 ปริมาณแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง ดังแสดงในภาพที่ 59



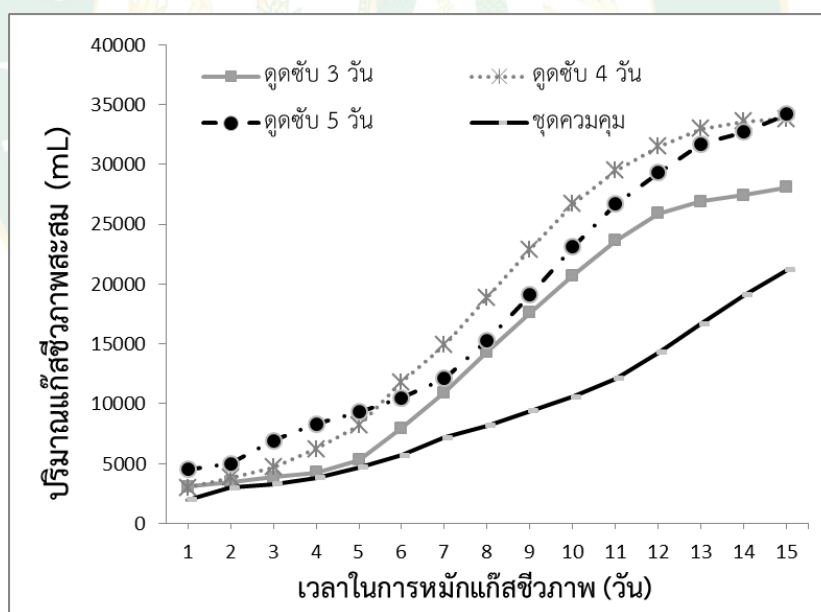
ภาพที่ 59 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน

ผลของระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ 3, 4 และ 5 วัน ปริมาณ 25 g เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ จากการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน

ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด รองลงมาคือระยะเวลาการดูดซับ 4 และ 3 วัน ตามลำดับ ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม 34,200, 33,800 และ 28,075 mL ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย พบว่า ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมน้อยที่สุด คือ 21,200 mL ดังแสดงในภาพที่ 60

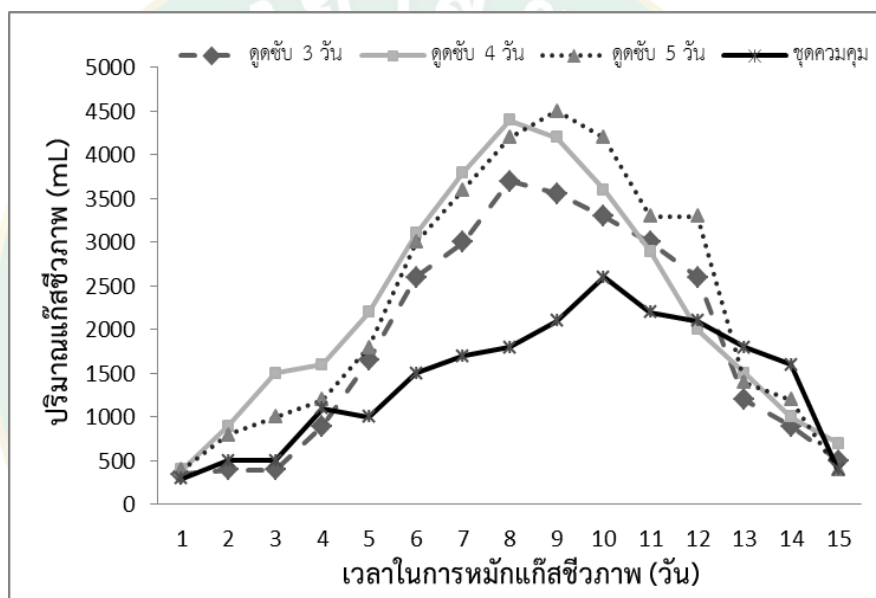
การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ระยะเวลา 5 วัน สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้มากกว่าชุดควบคุม เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในโตรเจนเป็นการเพิ่มความความสามารถในการดูดซับของพื้นที่ผิวตัวถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นการลดลงของความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) ปริมาณการสะสมของแอมโมเนียในโตรเจนที่จะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ในขั้นตอนการหมักได้แก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากแอมโมเนียในโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนียแอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียที่ทำให้จำนวน Methanogen ลดลง จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณแก๊สที่ได้เป็นแก๊สอื่น ๆ นอกจากมีเทน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (พงศ์ลัดดา และคณะ, 2555)



ภาพที่ 60 ระยะเวลาของการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ 3, 4 และ 5 วัน ปริมาณ 25 g ต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพแต่ละวัน พบว่า ระบบมีการผลิตแก๊สชีวภาพในวันที่ 4 ในทุกผลการทดลอง โดยการผลิตแก๊สชีวภาพของทุก ๆ การทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมัก

เพิ่มขึ้น แนวโน้มของการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในระบบ (ศักรินทร์, 2555) ทั้งนี้หลังจากดำเนินการหมักได้ช่วงระยะหนึ่ง การผลิตแก๊สชีวภาพของแต่ละการทดลองเริ่มคงที่ เนื่องจากระบบการหมักแก๊สชีวภาพเป็นระบบแบบทซ์ซึ่งมีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว จึงไม่มีสารอินทรีย์เพียงพอต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย การผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวันของการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 5 วัน ในวันที่ 9 เกิดแก๊สชีวภาพสูงสุด 4,500 mL/day วันที่ 10 ปริมาณแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง เนื่องจากไม่มีการเติมสารอาหารเข้าระบบ ที่ชุดควบคุมเกิดแก๊สชีวภาพสูงสุดในวันที่ 10 ปริมาณ 2,600 mL/day วันที่ 11 ปริมาณแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง ดังแสดงในภาพที่ 61



ภาพที่ 61 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน

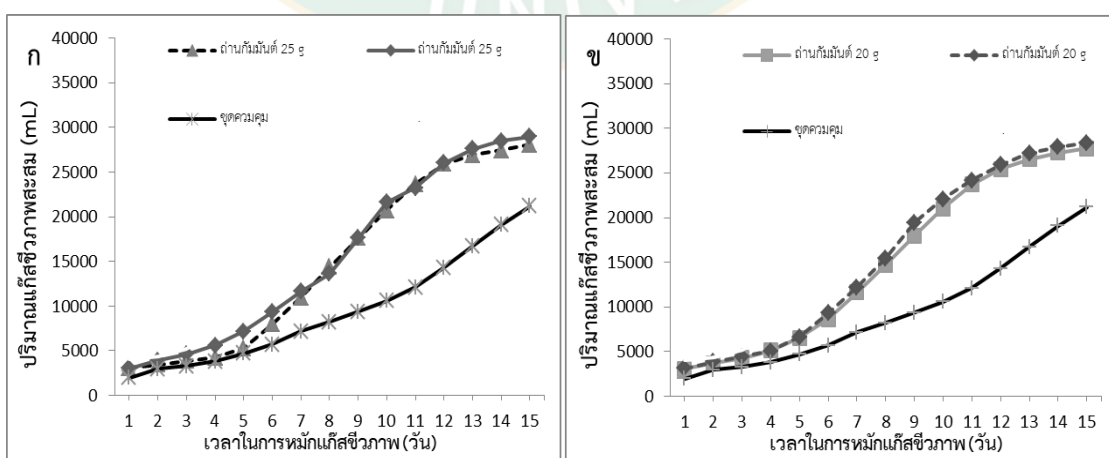
ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

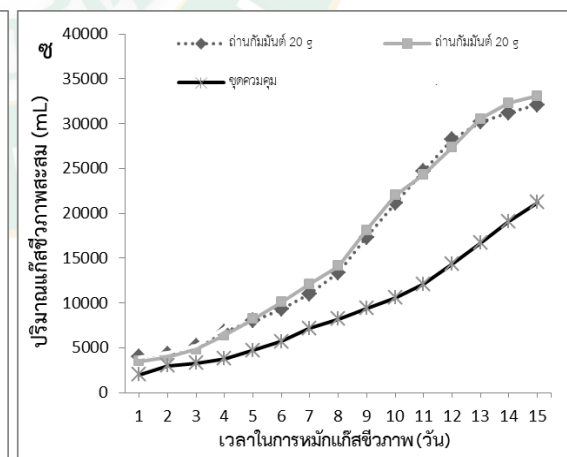
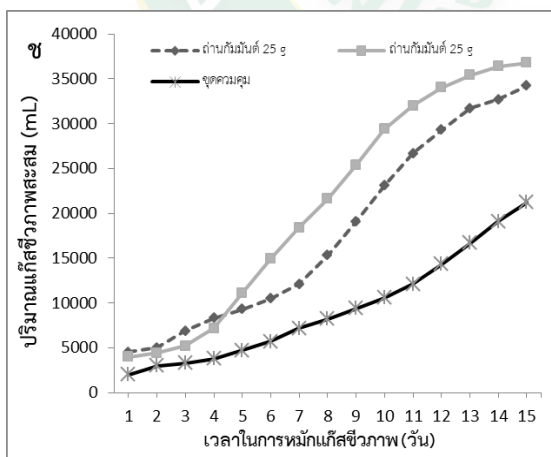
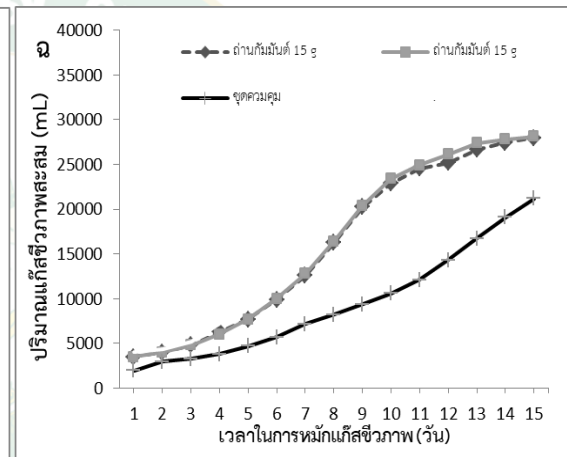
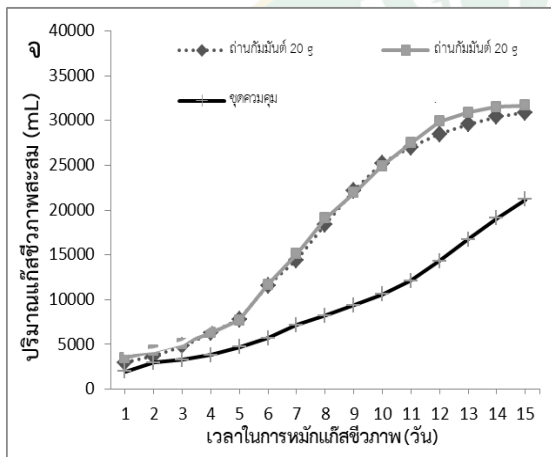
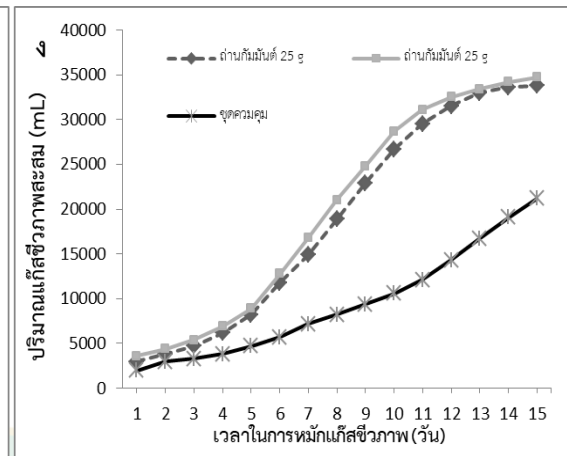
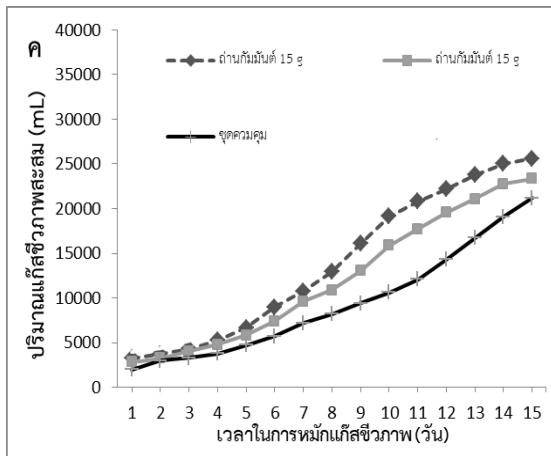
จากการศึกษาผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ พบว่า ผลของการเขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับส่งผลต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ ดังแสดงในภาพที่ 61 จากการศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ด้วยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ระหว่างขั้นตอนการดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ เวลา 5 วัน ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด 36,800 mL และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับพบว่า ให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าการดูดซับที่ไม่มีการเขย่าถ่านกัมมันต์ 7.06 % ดังแสดงในภาพที่ 62

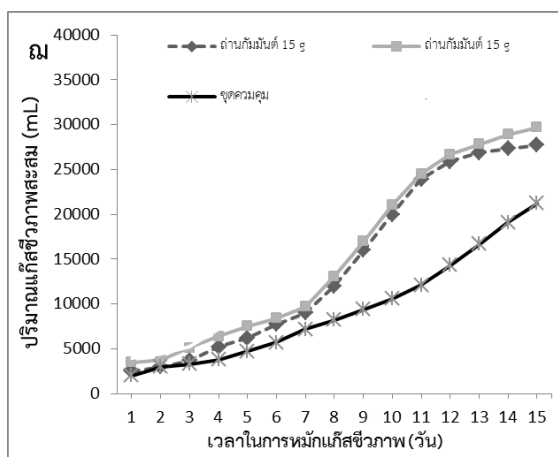
เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่าและไม่เขย่าของการดูดซับที่ระยะเวลาการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน จากการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับ พบว่า ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การเขย่าส่งผลให้มีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ ซึ่งให้ปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพสะสม 36,800, 34,700 และ 28,950 mL ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 62ช, 62ง และ 62ก

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่ากับการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณ 15, 20 และ 25 g ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน พบว่า ผลของการเขย่ากับการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับในการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน ซึ่งให้ปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพสะสม 36,800 mL ปริมาณถ่านกัมมันต์ 25 g, 33,100 mL ปริมาณถ่านกัมมันต์ 20 g และ 29,700 mL ปริมาณถ่านกัมมันต์ 15 g ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 62ช, 62ข และ 62ฉ

การเขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับเป็นการสร้างความปั่นป่วนให้เกิดขึ้น ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์เกิดการดูดซับได้ดี อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเข้าสู่โพรงช่องว่างของถ่านกัมมันต์ การเขย่าเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวกลไกกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560) เมื่อโมเลกุลแอมโมเนียไนโตรเจนมีการเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายไปเกาะบนผิวรอบนอกของถ่านกัมมันต์ จากสมบัติถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ๆ จำนวนมาก (บุญรักษ์, 2550) ภายในรูจะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา ซึ่งโมเลกุลของแอมโมเนียไนโตรเจนสามารถเคลื่อนที่ลึกลงไปในช่องโพรง ถ่านกัมมันต์จึงดูดซับได้แอมโมเนียไนโตรเจนมากขึ้น เมื่อแอมโมเนียไนโตรเจนในระบบลดลง ความเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนในระบบจึงน้อยลง ส่งผลให้ระบบมีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้น







ภาพที่ 62 ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ

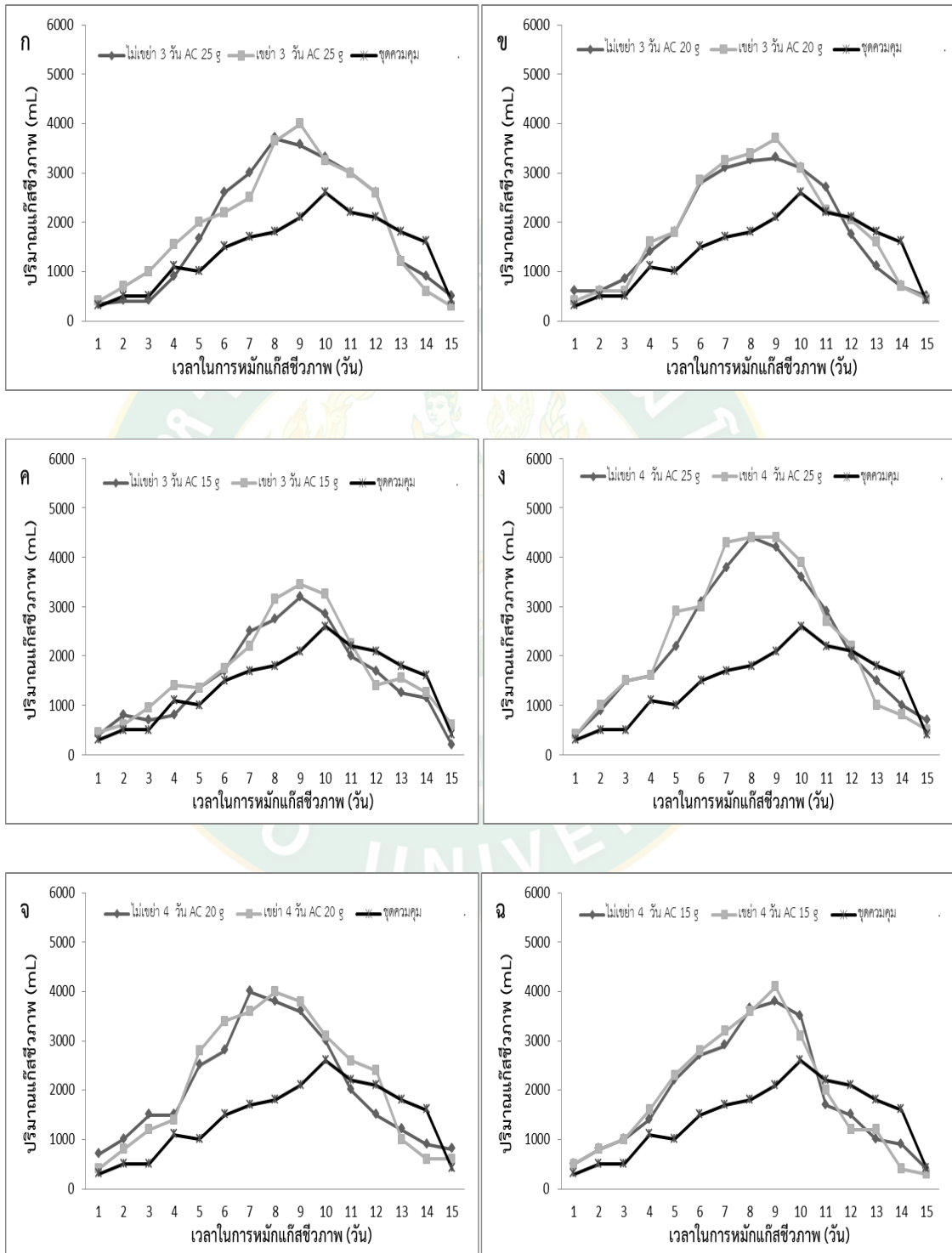
จากการศึกษาผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ พบว่า ในทุกผลการทดลองมีการผลิตแก๊สชีวภาพในวันที่ 4 โดยการผลิตแก๊สชีวภาพของทุก ๆ การทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น (ศักรินทร์, 2555) และหลังจากดำเนินการหมักได้ช่วงระยะหนึ่ง การผลิตแก๊สชีวภาพของแต่ละการทดลองเริ่มคงที่ เนื่องจากระบบการหมักแก๊สชีวภาพเป็นระบบแบบทชซึ่งมีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว (ภัทราและศิระประภา, 2554) จึงไม่มีสารอินทรีย์เพียงพอต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย

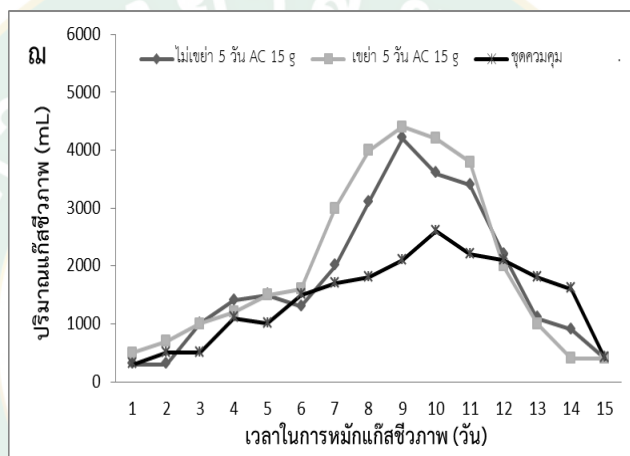
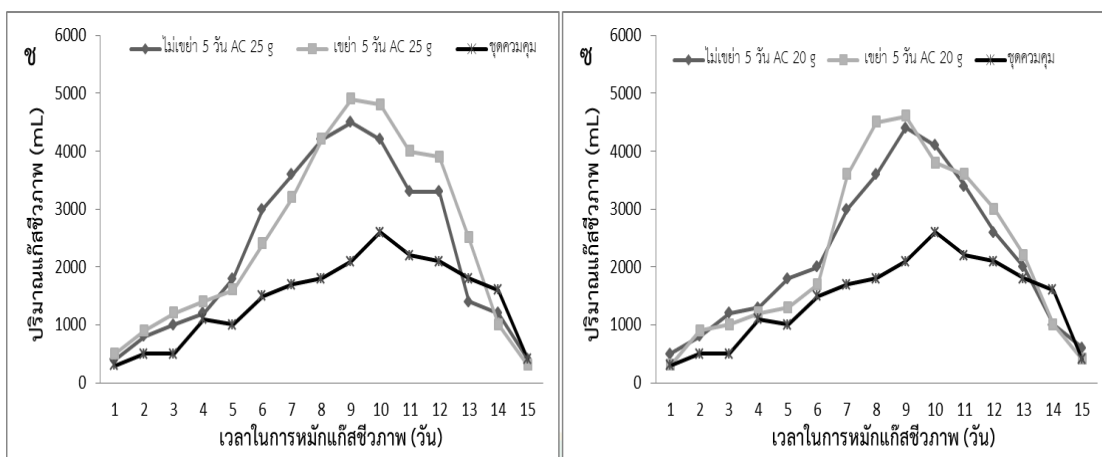
จากการศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ด้วยวิธีการเขย่าและไม่เขย่าถ่านกัมมันต์ระหว่างขั้นตอนการดูดซับ เวลา 5 วัน ในวันที่ 9 เกิดแก๊สชีวภาพสูงสุด 4,900 mL/day ที่ชุดควบคุมเกิดแก๊สชีวภาพสูงสุดในวันที่ 10 ปริมาณ 2,600 mL/day พบว่า การเขย่าถ่านกัมมันต์ระหว่างขั้นตอนการดูดซับ เวลา 5 วัน เกิดแก๊สชีวภาพสูงกว่าชุดควบคุม 46.93 % ดังแสดงในภาพที่ 63ข

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่าและไม่เขย่าของการดูดซับที่ระยะเวลาการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน จากการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับ พบว่า ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การเขย่าส่งผลให้เกิดแก๊สชีวภาพสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ ซึ่งให้ปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพสูงสุด 4,500, 4,400 และ 3,700 mL ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 63ข, 63ง และ 63ก

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่ากับการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณ 15, 20 และ 25 g ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน พบว่า ผลของการเขย่ากับการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับในการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน

ซึ่งให้เกิดแก๊สชีวภาพสูงสุด 4,500 mL ปริมาณถ่านกัมมันต์ 25 g, 4,400 mL ปริมาณถ่านกัมมันต์ 20 g และ 4,200 mL ปริมาณถ่านกัมมันต์ 15 g ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 63ช, 63ข และ 63ฅ





ภาพที่ 63 ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน

ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในระบบการหมักแก๊สชีวภาพ

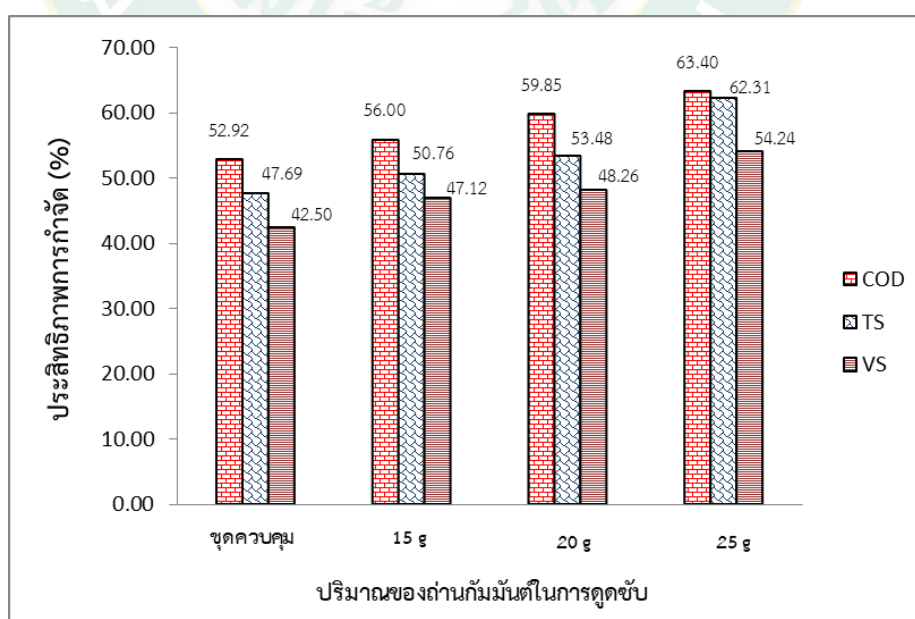
จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในระบบการผลิตแก๊สชีวภาพ จากการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ 15, 20 และ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg ดำเนินการหมักในสภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก (Mesophilic) อุณหภูมิ 35 ± 3 °C เขย่าถังหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศ แสดงผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ

หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 15 วัน การทดลองใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15, 20 และ 25 g ระยะเวลาการดูดซับ 3 วัน มีค่า TS, VS, COD และ VFA/Alk ลดลงหลังจากผ่าน

กระบวนการหมัก เนื่องจากการลดลงของสารอินทรีย์เกิดจากแบคทีเรียในระบบได้นำสารอินทรีย์ไปใช้ และเปลี่ยนให้เป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ (ภัทราและศิระประภา, 2554) ประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD สูงสุดที่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 25 g คิดเป็นร้อยละ 62.31, 54.24 และ 63.40 ตามลำดับ หลังจากดำเนินการหมักไปช่วงระยะเวลา 10 วัน ระบบมีการกำจัดสารอินทรีย์อยู่ในช่วงร้อยละ 14 – 16 จากการผลิตแก๊สชีวภาพของมูลไก่ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งระเหยง่าย (VS) สามารถถูกย่อยสลายให้กลายเป็นแก๊ส มีเทนได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 28 – 31 และประสิทธิภาพของการกำจัด TS, VS และ COD น้อยที่สุด คือ การใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15 g คิดเป็นร้อยละ 50.76, 47.12 และ 56.00 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า ประสิทธิภาพของการกำจัด TS, VS และ COD ที่ 25 g ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าชุดควบคุม ร้อยละ 23.47, 21.65 และ 16.52 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 64

การใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 25 g สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้มากกว่าชุดควบคุม เนื่องจากสามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ ทำให้ปริมาณการสะสมของแอมโมเนียไนโตรเจนที่จะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียลดลง แอมโมเนียเป็นสารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials) ส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตแก๊สของแบคทีเรีย ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ เช่น แอมโมเนียในปริมาณ 50 – 200 mg/L จะเป็นผลดี ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 mg/L ก็จะเริ่มส่งผลเสียในขั้นตอนการผลิตแก๊ส (ภัทราและศิระประภา, 2554)



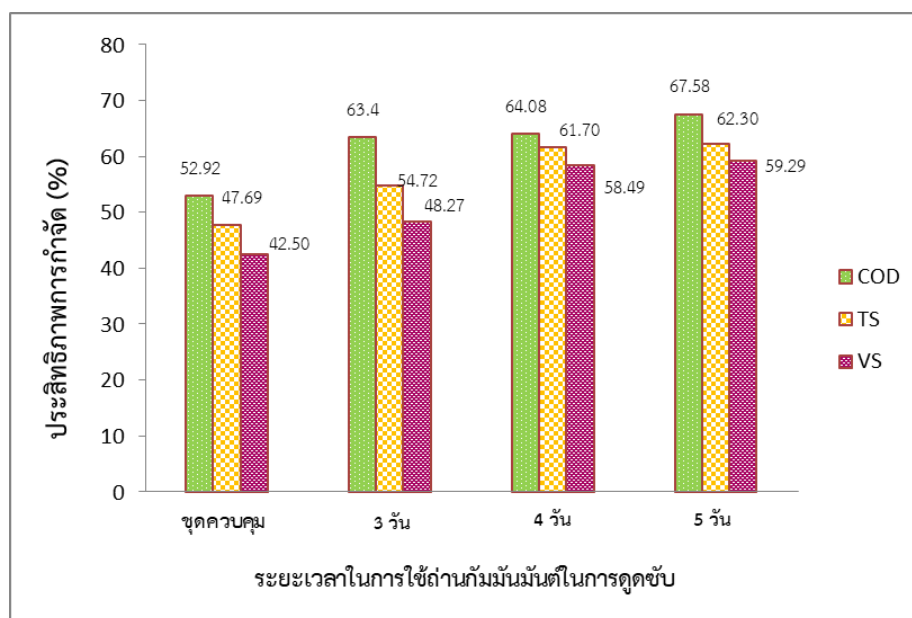
ภาพที่ 64 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ

การทดลองของการใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15, 20 และ 25 g ระยะเวลาการดูดซับ 3 วัน ในช่วงแรกของการหมักระบบมีสัดส่วนของ VFA/Alk อยู่ในช่วง 0.6 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ได้ แสดงให้เห็นว่าระบบมีปริมาณของกรดอินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเป็นแก๊สชีวภาพได้ (ศกรินทร์, 2555), (สิริชัย, 2554) ช่วงแรกของการทดลองแก๊สชีวภาพส่วนใหญ่ยังคงเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สอื่น ๆ ถึงร้อยละ 95 เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป ทุกการทดลองมีค่า VFA/Alk เพิ่มขึ้นหลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 15 วัน ระบบสัดส่วนของ VFA/Alk เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.7 แสดงให้เห็นว่าระบบยังมีปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยอยู่ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปใช้งานได้ทัน เป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้น ในระบบมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.1 – 7.5 แสดงให้เห็นว่าระบบมีสัดส่วนที่มีความเป็นบัฟเฟอร์ต่ำ เนื่องจากมูลไก่มีค่า C/N Ratio ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนสูง แบคทีเรียจึงใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตได้ไม่หมด เมื่อมีระยะเวลาในการหมักที่นานขึ้น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย ทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียขึ้นในระบบ เป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตในช่วงของค่า pH ที่แคบ จึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้น้อยลง เมื่อเทียบกับการทดลองของชุดควบคุม หลังดำเนินการหมักเป็นเวลา 15 วัน พบว่า มีค่า pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมของแอมโมเนียเกิดขึ้น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า pH ในระบบ เมื่อมีค่า pH ไม่เกิน 7.2 แอมโมเนียไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนีย แต่ถ้าในระบบมีค่า pH มากกว่า 7.2 แอมโมเนียไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียแทน (ศกรินทร์, 2555) เป็นสาเหตุทำให้เกิดการยับยั้งขึ้นในระบบ ความสามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพจึงมีปริมาณน้อยลง

การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 15 วัน พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน ปริมาณถ่านกัมมันต์ 25 g ค่า TS, VS, COD และ VFA/Alk ลดลงหลังจากผ่านกระบวนการหมัก เนื่องจากการลดลงของสารอินทรีย์เกิดจากแบคทีเรียในระบบได้นำสารอินทรีย์ไปใช้ และเปลี่ยนให้เป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) ประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD สูงสุดที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 62.30, 59.29 และ 67.58 ตามลำดับ และการทดลองที่ระยะเวลาการดูดซับ 3 วัน ประสิทธิภาพของการกำจัด TS, VS และ COD น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 54.72, 48.27 และ 63.4 และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

พบว่า ประสิทธิภาพของการกำจัด TS, VS และ COD ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าชุดควบคุม คิดเป็น 23.46, 28.32 และ 21.69 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 65



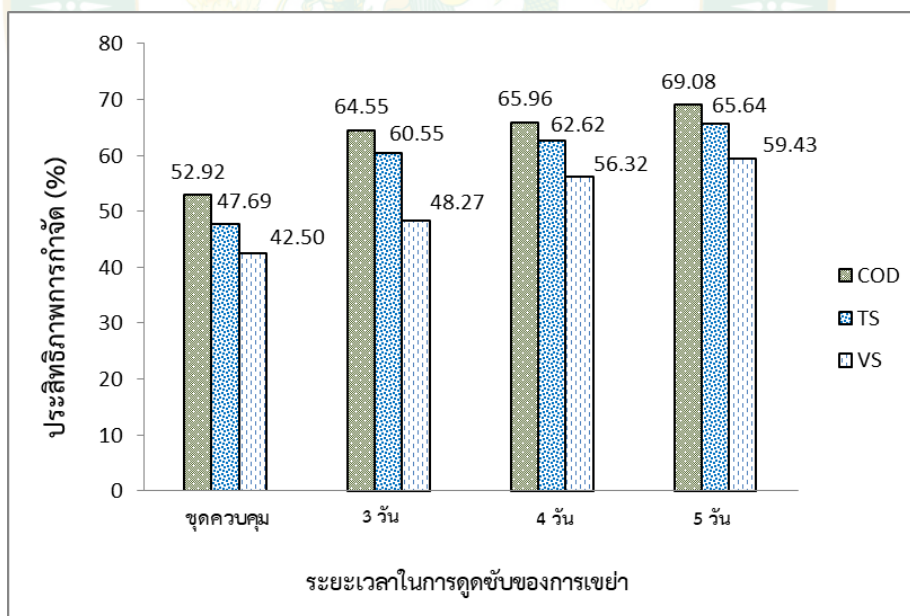
ภาพที่ 65 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

จากการวิเคราะห์สัดส่วนของ VFA/Alk พบว่า การทดลองในช่วงแรกของระบบมีสัดส่วนของ VFA/Alk อยู่ในช่วง 0.6 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ได้ แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเป็นแก๊สชีวภาพได้ (ศกรินทร์, 2555), (สิริชัย, 2554) ช่วงแรกของการทดลองแก๊สชีวภาพส่วนใหญ่ยังคงเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สอื่น ๆ ถึงร้อยละ 95 ทุกการทดลองมีค่า VFA/Alk เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 15 วัน ระบบสัดส่วนของ VFA/Alk เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.7 ซึ่งระบบยังมีปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยอยู่ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปใช้งานได้ทัน ทำให้ระบบเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้น ค่า pH อยู่ในช่วง 7.3 – 7.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีความเป็นบัฟเฟอร์ต่ำ เนื่องจากมูลไก่มีค่า C/N Ratio ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม ทำให้มีปริมาณของไนโตรเจนสูง ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตในช่วงของค่า pH ที่แคบ ทำให้ระบบสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้น้อยลง (ศกรินทร์, 2555) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุม หลังการหมักเป็นเวลา 15 วัน พบว่า มีค่า pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมของแอมโมเนียเกิดขึ้น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออน จะขึ้นอยู่กับค่า pH ในระบบ ในส่วนของการทดลองที่ใช้ระยะเวลาในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

มันต์หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 15 วัน มีค่า pH เพิ่มขึ้นเช่นกันและอยู่ในช่วง 7.2 – 7.4 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน

การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของการเขย่าที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

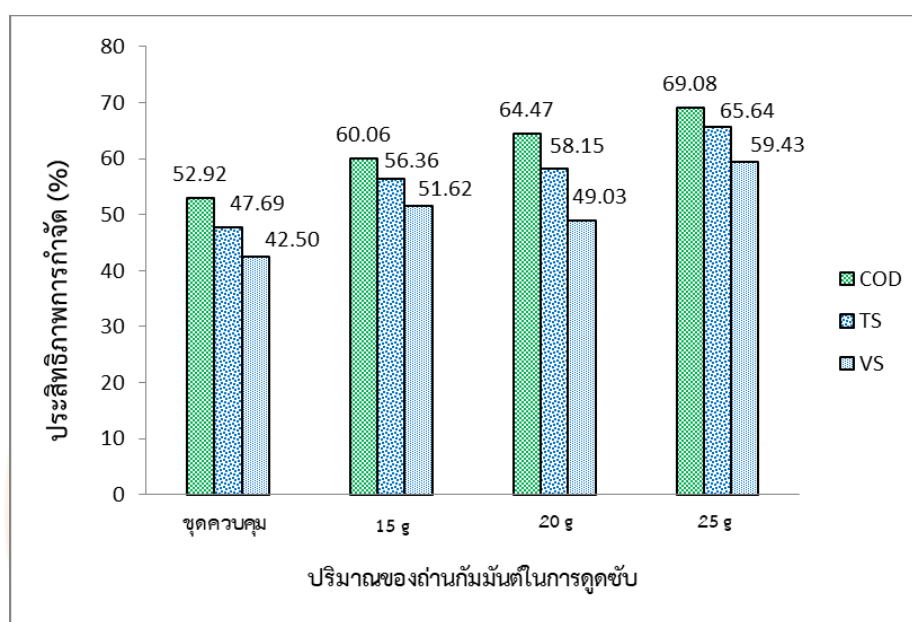
หลังจากดำเนินการหมักเป็นเวลา 15 วัน เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่าและไม่เขย่าของการดูดซับที่ระยะเวลาการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน จากการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับพบว่า ค่า TS, VS, COD และ VFA/Alk ลดลงหลังจากผ่านกระบวนการหมัก เนื่องจากการลดลงของสารอินทรีย์ที่เกิดจากแบคทีเรียในระบบได้นำสารอินทรีย์ไปใช้ และเปลี่ยนให้เป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ (ศักรินทร์, 2555) ประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD ของการเขย่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับสูงสุด ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 65.64, 59.43 และ 69.08 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่าประสิทธิภาพของการกำจัด TS, VS และ COD ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าชุดควบคุม คิดเป็น 27.35, 28.49 และ 23.39 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 66



ภาพที่ 66 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของการไม่เขย่าระหว่างการดูดซับ

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่าและไม่เขย่าของการดูดซับจากการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณ 15, 20 และ 25 g ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน พบว่า การใช้ปริมาณถ่านกัม

มันต์ที่ปริมาณ 25 g มีประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD ของการเขย่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 65.64, 59.43 และ 69.08 ตามลำดับ รองลงมา 58.15, 49.03 และ 64.47 ที่ปริมาณ 20 g ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัด TS, VS และ COD น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 56.15, 49.03 และ 60.06 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 67



ภาพที่ 67 ค่าพารามิเตอร์ในระบบการหมักจากผลของการเขย่าระหว่างการดูดซับ

จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์หลังการหมัก พบว่า การทดลองในช่วงแรกของระบบมีสัดส่วนของ VFA/Alk อยู่ในช่วง 0.6 ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปใช้ได้ทัน จึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้น (ศักรินทร์, 2555) มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.0 - 7.2 แสดงให้เห็นว่าระบบมีความเป็นบัฟเฟอร์ต่ำ เนื่องจากมูลไก่มีค่า C/N Ratio ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม ทำให้มีปริมาณของไนโตรเจนสูง ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย (สิริชัย, 2554) ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตในช่วงของค่า pH ที่แคบ ทำให้ระบบสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้น้อยลง (ศักรินทร์, 2555) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุม หลังการหมักเป็นเวลา 15 วัน พบว่า มีค่า pH เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.2 - 7.4 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน

ค่า TKN เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดของการทดลอง จากการวิเคราะห์ค่า TKN ทั้งก่อนและหลังการหมัก พบว่า หลังจากระยะการหมักเป็นระยะเวลา 15 วัน ทุกการทดลองมีปริมาณ TKN ลดลง ซึ่งการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสามารถลดปริมาณ TKN ได้มากกว่าชุดควบคุม โดยการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g เวลา 5 วัน โดยการเขย่าระหว่างขั้นตอนการดูดซับ สามารถกำจัดไนโตรเจนในรูปของ TKN ได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 12.04 คิดเป็นร้อยละ 13.95 รองลงมา คือ โดยการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g เวลา 4 วัน โดยการเขย่าระหว่างขั้นตอนการดูดซับ คิดเป็นร้อยละ 11.20 และ 7.50 ตามลำดับ การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสามารถกำจัด TKN จึงสามารถกำจัด TKN ได้ เนื่องจากกลไกกระบวนการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนจะเกิดขึ้น เมื่อแอมโมเนียไนโตรเจนระเหยหรือมีการเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายไปเกาะบนผิวของตัวถ่านกัมมันต์ (บุญรักษ์, 2550) โมเลกุลของแอมโมเนียไนโตรเจนสามารถเคลื่อนที่ตกลงไปในช่องโพรง ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากขึ้นทำให้ดูดซับได้แอมโมเนียไนโตรเจนมากขึ้น ในส่วนของการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 15 g สามารถกำจัด TKN ได้น้อยที่สุดเนื่องจากมีปริมาณถ่านพื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าค่า

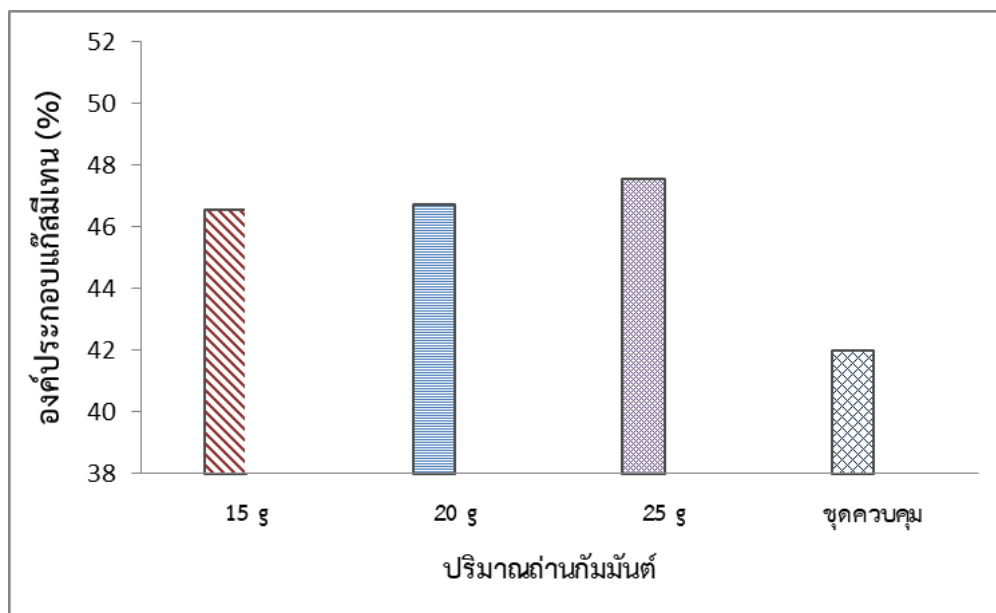
การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพพบว่า ในช่วง 3 วันแรก มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 0 – 10 แก๊สส่วนใหญ่เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 90 และมีองค์ประกอบของแก๊สอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย หลังจากระยะการหมักผ่านไป 3 วัน พบว่า มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นและอยู่ในช่วงร้อยละ 20 – 30 แต่ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนไม่ถึงร้อยละ 50 (จิราพร, 2560) หลังจากระยะเวลาการหมักผ่านไป 9 วัน พบว่า มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 58.8 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อองค์ประกอบแก๊สมีเทน

ผลของการศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อองค์ประกอบแก๊สมีเทนของระบบ พบว่า ที่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 25 g ในวันที่ 9 มีองค์ประกอบแก๊สมีเทนเฉลี่ยสูงสุด 47.53 % ตามด้วย 20 และ 15 g ซึ่ง มีองค์ประกอบแก๊สมีเทน 46.73 และ 46.53 % ซึ่งปริมาณของถ่านกัมมันต์ 25 g ให้ องค์ประกอบแก๊สมีเทนสูงกว่าชุดควบคุม 11.51 % เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ในการดูดซับทำให้ ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวรูพรุนมากขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในมูลไก่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณแก๊สชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากถ่านกัมมันต์ดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในมูลไก่ได้มาก เป็นการ

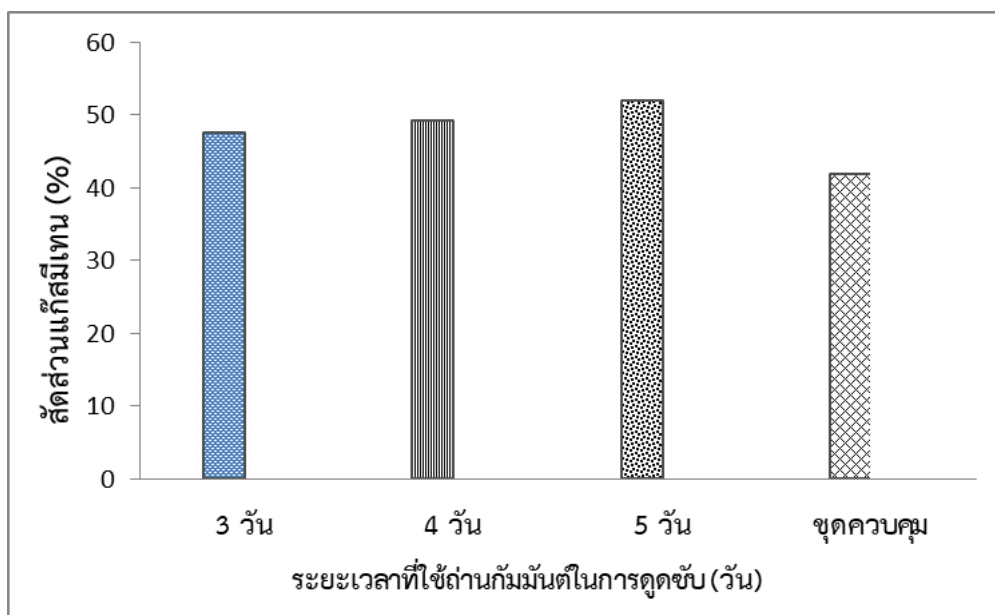
ช่วยลดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนในระบบ ส่งผลให้ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการเกิดมีเทนในการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 68



ภาพที่ 68 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อองค์ประกอบแก๊สมีเทน

2. ผลของระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

ผลของระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ต่อองค์ประกอบแก๊สมีเทนของระบบ พบว่า ระยะเวลา 5 วัน ในวันที่ 9 มีองค์ประกอบแก๊สมีเทนเฉลี่ยสูงสุด 52.04 % ระยะเวลา 4 วัน มีองค์ประกอบแก๊สมีเทน 49.33 % และระยะเวลา 3 วัน มีองค์ประกอบแก๊สมีเทน 47.53 % ระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ 5 วัน ให้องค์ประกอบแก๊สมีเทนสูงกว่าชุดควบคุม 18.78 % การเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นการเพิ่มความความสามารถในการดูดซับของพื้นที่ผิวตัวถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นการลดลงของความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้การดูดซับจะทำให้ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนที่จะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการเกิดมีเทนในการทดลอง การศึกษาใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพได้มากกว่าชุดควบคุมได้จริง ดังแสดงในภาพที่ 69



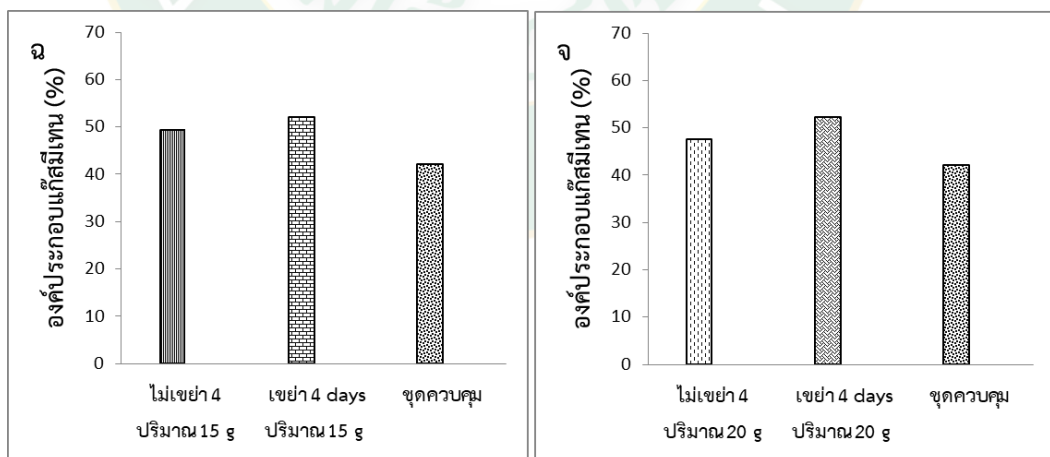
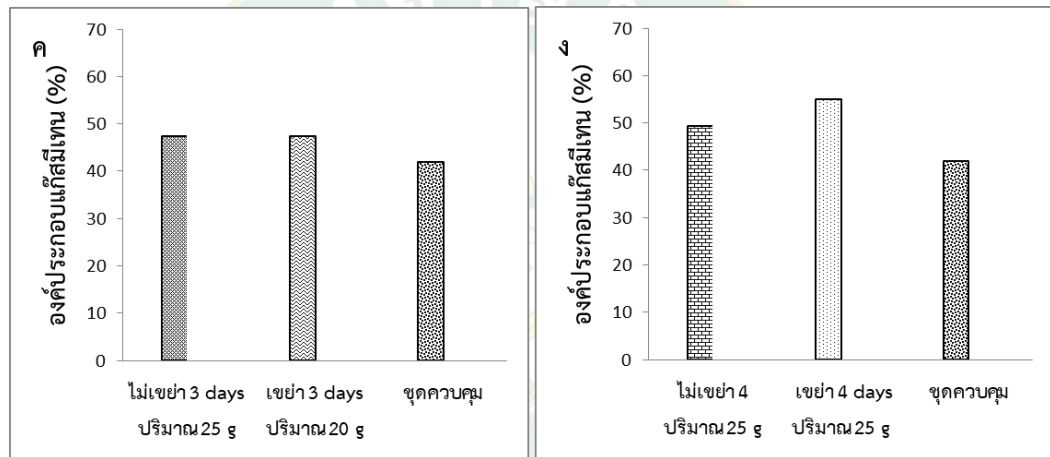
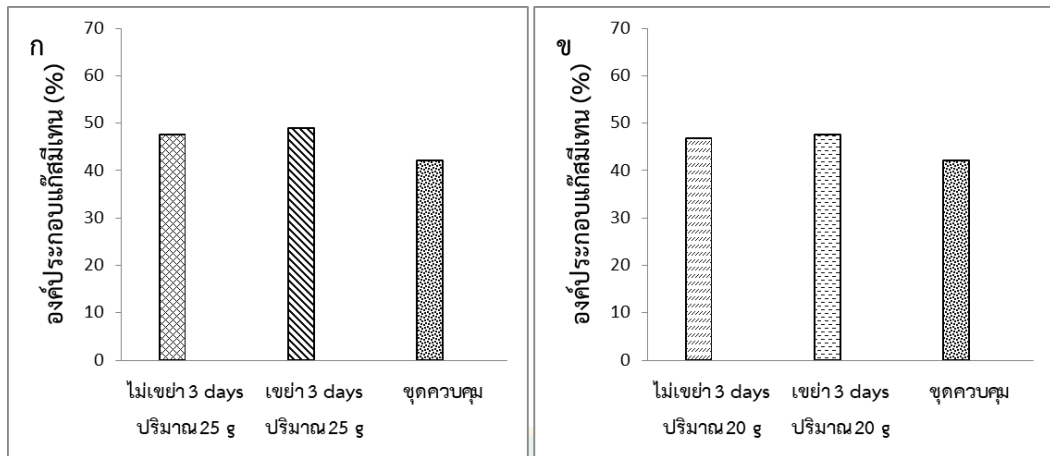
ภาพที่ 69 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับต่อองค์ประกอบแก๊สมีเทน

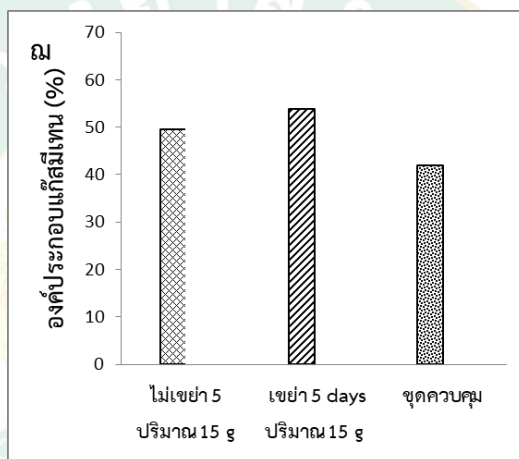
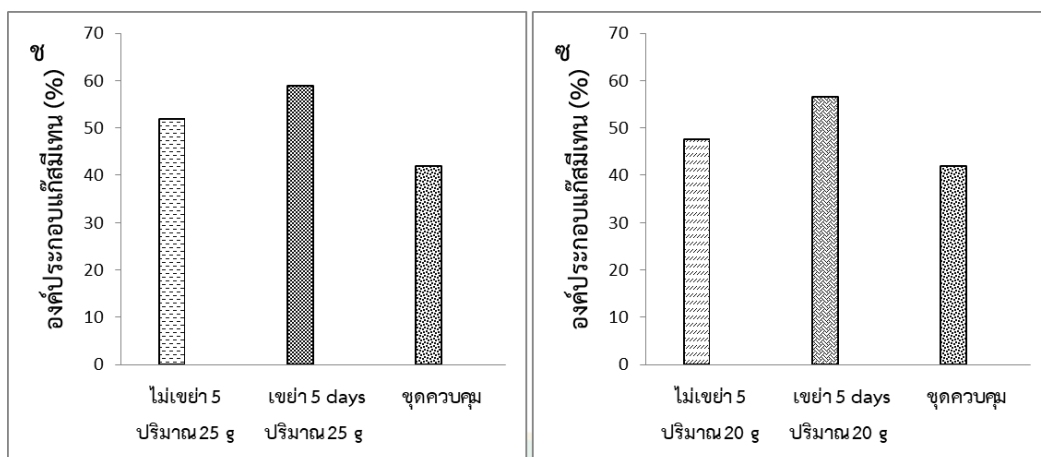
3. ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

จากการศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ด้วยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ 1 ครั้งต่อวัน ในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ เวลา 5 วัน มีองค์ประกอบแก๊สมีเทนเฉลี่ยสูงสุด 58.86 % และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับ พบว่า มีองค์ประกอบแก๊สมีเทนสูงกว่าการดูดซับที่ไม่มีการเขย่าถ่านกัมมันต์ 11.66 % และสูงกว่าชุดควบคุม 28.25 % ดังแสดงในภาพที่ 70ซ

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่าและไม่เขย่าของการดูดซับที่ระยะเวลาการดูดซับ 3, 4 และ 5 วัน จากการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับ พบว่า ผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การเขย่าส่งผลให้มีองค์ประกอบแก๊สมีเทนสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ ซึ่งให้ องค์ประกอบแก๊สมีเทน 58.86, 55.10 และ 48.86 % ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 70ซ, 70ง และ 70ก

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเขย่ากับการใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณ 15, 20 และ 25 g ที่ระยะเวลาการดูดซับ 5 วัน พบว่า การใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณ 25 g ให้มี องค์ประกอบแก๊สมีเทนสูงกว่าการไม่เขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับในช่วงระยะเวลาการดูดซับที่ แตกต่างกัน ที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ 25, 20 และ 15 g มีองค์ประกอบแก๊สมีเทน 58.86, 55.10 และ 48.86 % ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 70ซ, 70ข และ 70ฉ





ภาพที่ 70 สัดส่วนการเกิดแก๊สไฮโดรเจน

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์จะทำการคำนวณต้นทุนเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ ใช้เมล็ดลิ้นจี่ 5 kg ราคา 1,000 บาท โดยใช้เตาเผาขนาด 3,000 W เวลา 1 h ชั่วโมงละ 30 บาท จำนวน 5 ครั้งการเผา ค่าเช่าในการใช้ไมโครเวฟและใช้ตู้อบลมร้อน 100 บาท/วัน

ส่วนที่สอง การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่โดยการลดแอมโมเนีย โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพจากถ่านเมล็ดลิ้นจี่ ระบบ 200L ระยะเวลาใช้งาน 300 วัน/ปี ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3 บาท/kWh อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 (กิติโรจน์ และคณะ, 2550) การนำแก๊สชีวภาพมาใช้แทนแก๊สหุงต้ม สามารถทำได้โดยปรับสัดส่วนอากาศให้เหมาะสม ซึ่งแก๊สชีวภาพ 1 m³ สามารถทดแทนแก๊สหุงต้มได้ 0.46 kg พบว่า มีค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนรวมประมาณ 8,070 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนของระบบ 6,200 บาท ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนของพลังงานในรูปของไฟฟ้า 540 บาท/ปี และค่าใช้จ่าย

ด้านต้นทุนวัตถุดิบ 1516 บาท/ปี ทั้งนี้ผลจากการผลิตแก๊สชีวภาพสามารถนำมาทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มได้โดยมีระยะเวลาคืนทุนของระบบเป็นเวลา 2.9 ปี ดังแสดงในตารางที่ 21

การผลิตแก๊สชีวภาพนี้เป็นเพียงการลงทุนในการสร้างระบบเริ่มต้น แม้ว่าระยะคืนทุนใช้ระยะเวลาถึง 2.9 ปี แต่การใช้แก๊สชีวภาพที่ได้จากชีวมวลนี้สามารถทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ทั้งช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ หากประเทศไทยสามารถลดปริมาณการใช้พลังงาน ด้วยการใชพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แสวงหาแหล่งน้ำมันเพิ่ม และพัฒนาพลังงานทางเลือกอื่น ๆ เช่น เชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอล ไบโอดีเซล) พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ แก๊สชีวภาพ ฯลฯ นอกจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน) ได้ ก็จะส่งผลดีต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ ทั้งนี้ ความมั่นคงด้านพลังงานมิได้เป็นเพียงเรื่องของอุปสงค์ อุปทาน และราคา แต่ยังรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานอีกด้วย เช่น มลภาวะในสิ่งแวดล้อม ภาวะโลกร้อน ด้วยเหตุนี้ การใช้กลไกพลังงานสะอาดจึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจไม่น้อยกว่าการมีพลังงานใช้อย่างเพียงพอ และเป็นการเพิ่มอำนาจการแข่งขันทางด้านพลังงานให้กับประเทศ สร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน อีกทั้งยังสร้างความยั่งยืนทางด้านพลังงานทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	รายการ	ราคา	หน่วย
ต้นทุนระบบ	ชุดระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (300 วัน)	2,200	บาท
	ชุดมอเตอร์	1,000	บาท
	ค่าแรง	3,000	บาท
	ต้นทุนรวมของระบบ	6,200	บาท/ปี
ต้นทุนไฟฟ้า	การใช้ไฟฟ้าก่อนดำเนินการหมัก	0.3	kWh
	การใช้ไฟฟ้าระหว่างการหมัก (300 วัน)	0.6	kWh/วัน
		180	kWh/ปี
	ต้นทุนไฟฟ้าระบบหมักแก๊ส	540	บาท/ปี
ต้นทุนวัตถุดิบ	วัตถุดิบมูลไก่ 40 kg	240	บาท/ปี
	ต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์ 125 g		
	- เมล็ดลีนจี่ 5 kg กิโลกรัมละ 200 บาท	1,000	บาท
	- การเช่าเตาเผา 5 h ชั่วโมงละ 30 บาท	150	บาท
	- การเช่าไมโครเวฟและตู้อบลมร้อน 100 บาท/วัน ระยะเวลา 3 วัน	300	บาท
	ต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์รวมต้นทุนวัตถุดิบ	1,450	บาท
	1,690	บาท	
	รวมต้นทุนในการผลิตทั้งหมด	8,070	baht
ผลผลิตก๊าซชีวภาพ	ผลิตแก๊สชีวภาพ (15 วัน)	36.8	L/ถัง
	แก๊สชีวภาพเฉลี่ย	2.45	L/วัน
	Tank 5 L = 0.00245 m ³ /day	0.00245	m ³ /วัน
	Tank 200 L = 0.09813 m ³ /day	29.44	m ³ /ปี
การใช้ก๊าซหุงต้ม	1 ครั้วเรือนใช้ก๊าซหุงต้ม 1 ถัง (15 kg) เฉลี่ย	7.5	kg/เดือน
	ราคาก๊าซหุงต้ม (450 บาท)	225	บาท/เดือน
		2,700	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน		2.9	ปี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ส่วนที่สองศึกษาผลของการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่โดยการลดแอมโมเนียด้วยการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ในระดับครัวเรือน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ โดยวิธีการเผาเมล็ดลิ้นจี่ ในช่วงอุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เวลา 1 h ซึ่งทำการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟให้ค่าการดูดซับไอโอดีน กำลังไฟฟ้า 100 และ 200 W ระยะเวลา 1 และ 2 min สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การเผาเมล็ดลิ้นจี่ในช่วงอุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เวลา 1 h พบว่า ให้ร้อยละผลได้ที่สูงที่สุดคือ 29.59 ที่อุณหภูมิ 400 °C รองลงมาคือ 27.27 ที่อุณหภูมิ 500 °C และ 25.33 ที่อุณหภูมิ 600 °C ตามลำดับ ซึ่งภายใต้เงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C ร้อยละของผลได้ที่ของเมล็ดลิ้นจี่มีค่าอยู่ในช่วง 29.59 – 25.33

5.1.2 ผลการศึกษาค่าร้อยละของความชื้นจากการกระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ให้ก่อกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ มีค่าร้อยละของความชื้น 3.00 ± 0.01 และพบว่าทุกชุดการกระตุ้น มีค่าร้อยละของความชื้นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน AWWA B 604 ซึ่งต้องมีค่าร้อยละความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ที่กำหนดไว้

5.1.3 ผลการศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านเมล็ดลิ้นจี่ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ มีค่า 621.17 ± 9.27 และ 626.57 ± 8.03 mg/g ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 600 °C กำลังไฟฟ้า 200 W เวลา 2 min

5.1.4 ภายใต้สภาวะอุณหภูมิการเผา 600 °C ทุกช่วงการกระตุ้น ถ่านเมล็ดลันจ์มีสมบัติถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน AWWA B 604 ที่กำหนดไว้

5.1.5 การกระตุ้นถ่านเมล็ดลันจ์ด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟมีพื้นที่ผิวจำเพาะมีขนาด 40.82 m²/g และรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 1136.00 Å และ 48.21 m²/g ตามลำดับ และรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 1174.3 Å

5.2 ผลของการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ได้ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย ดำเนินการหมักในถังขนาด 5 L ปริมาตรการใช้งานจริง 4 L สภาวะอุณหภูมิเมโสฟิลิก (Mesophilic) ช่วง 35 ± 3 °C เขย่าถังหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 วัน ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศสามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ การใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g ระยะเวลาการดูดซับ 3 วัน ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด 28,075 mL เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย พบว่า ให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าชุดควบคุมคิดเป็น 24.49 %

5.2.2 ผลของระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ ที่เวลา 5 วัน ปริมาณถ่านกัมมันต์ 25 g ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด 34,200 mL เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย พบว่า ให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าชุดควบคุมคิดเป็น 38.01 %

5.2.3 ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ด้วยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ 1 ครั้งต่อวัน ในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ เวลา 5 วัน ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด 36,800 mL เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย พบว่า ให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสะสมสูงกว่าการดูดซับที่ไม่มีการเขย่าถ่านกัมมันต์ 7.06 %

5.2.4 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ด้วยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ระหว่างการขั้นตอนดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลา 5 วัน หลังจากการหมักแก๊สชีวภาพในวันที่ 9 เกิดแก๊สชีวภาพสูงสุด 44,000 mL/day

5.2.5 ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในระบบการหมักแก๊สชีวภาพ

พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ด้วยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ ระหว่างการขึ้นตอนดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลา 5 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัด TS, VS, COD และองค์ประกอบแก๊สมีเทนที่ดีที่สุดและสูงกว่าชุดควบคุมคิดเป็น 27.35 %, 35.28 %, 46.67 % และ 28.25 %

5.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่โดยการลดแอมโมเนียด้วยการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ในระดับครัวเรือนพบว่า แก๊สชีวภาพที่ได้สามารถนำไปทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มได้ โดยมีต้นทุนรวมสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพ 4,905 baht และพบว่าสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 2.3 year

ข้อเสนอแนะ

1. จำนวนครั้งที่ล้างถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ ควรมีจำนวนครั้งเท่ากับการล้างถ่านที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์
2. ควรมีการศึกษาการปรับสภาพของมูลไก่ก่อนดำเนินการหมักด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีในวิธีการอื่น และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนโตรเจนของมูลไก่
3. มูลไก่ จะต้องมึลักษณะเปียกชื้น ทั้งนี้ก่อนทำการป้อนมูลไก่เข้าสู่ระบบจะทำการแยกเศษใบไม้ที่ติดมากับมูลสัตว์ออกก่อน และมีการบดมูลไก่ เพื่อให้มูลไก่มีลักษณะละเอียด นำไปสู่การกระจายตัวของจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในมูลไก่ได้ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2560. การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion (15 ม.ค. 2560).
- กิติโรจน์ หวันตาหลา, ชยาภาส ทับทอง และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม. 2550. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก ถ่านหินและกะลามะพร้าว. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ฉบับที่ 2(10). หน้า 104 - 112.
- จิราพร เผ่าเอี้ยง. 2560. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมของน้ำเสียและขี้ข้าวโพดบด ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- ณัฐธา กาญจนขุนดี. 2560. วิธีการผลิตแก๊สชีวภาพสำหรับครัวเรือน. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.khundee.com> (15 ม.ค. 2560).
- ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2552. การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมในภาคปศุสัตว์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ทิพนตร์การพิมพ์.
- นฤมล เชาวะระโทก. 2556. การผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนดีแคแเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิพัฒน์ สุขวิบูลย์. 2558. การวิจัยและพัฒนาถัง. กรมวิชาการเกษตร.
- บรรพต สารกาญจน์. 2556. การเปรียบเทียบสมบัติความเป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกแมคคาเดเมีย. คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- บุญรักษ์ กาญจนวรรณชัย. 2550. สมบัติของถ่านกัมมันต์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- ปรินทร เต็มถาวรศิลป์. 2551. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่แดงและไผ่หมาจู้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงศ์รัตน์ เผ่าศิริ. 2555. การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียม. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. ฉบับที่6(1). หน้า 129 - 137.
- พรณิศา บรรจง. 2554. การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม) คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พลกฤษณ์ คุ่มกล้า. 2557. การผลิตแก๊สชีวภาพจากฟางข้าว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ภัทรา วงษ์พันธ์กุล และศิริระประภา ชัยเนตร. 2554. การศึกษาปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพจากการใช้มูลไก่. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภายัพ.

- ศักรินทร์ หนูเทพ. 2555. **ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เนื้อด้วยระบบถังกวนสมบูรณ์.**
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศิลป์ชัย มณีชิตย์. 2552. การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและไก่ ด้วยแอมโมนีเอสโตรไลต์ ใน
แบบจำลองคลองวนเวียน. **Environment and Natural Resources Journal** ฉบับที่ 7(1).
- วิจิต ศรีตรระกุล. 2559. **เตาอบไมโครเวฟ.** [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
http://thep-center.org/src2/views/daily-life.php?article_id=16. (11 ม.ค. 2560).
- สมชาย มณีวรรณ, อนุสรณ์ วรสิงห์, นิตยา อายุยืน และณิชนันท์ คำนวนสินธุ์. 2554. **การผลิตถ่านกัมมันต์จาก
เปลือกมะขามเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกรองอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมพ่นสีรถยนต์.** รายงาน
ผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554.
การจัดการกลิ่นจากฟาร์มสัตว์ปีกในกรุงเทพมหานคร. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<http://wqm.pcd.go.th/water>. (21 ก.พ. 2560).
- สิริชัย แยมแบน. 2554. **การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ไข่ด้วยระบบบ่อหมักรางของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุภาพร รัตนพันธ์และเพ็ญญา เฟ็งแจ่ม. 2557. การเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด.
วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 ฉบับพิเศษ.
- หฤทัย จันทพงษ์. 2554. **การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ.** คณะวิทยาศาสตร์
สาขาฟิสิกส์ประยุกต์. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อรไพลิน สมประสิทธิ์. 2557. **การผลิตเม็ดถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมียร์ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์
คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ.** รายงานการวิจัยโครงการวิจัยนี้ได้รับเงินทุนเพื่อการศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง
สำหรับนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2557 สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อัจฉรา แก้วกล้า, นิกราน หอมดวง, กิติกร สาสุจิตต์ และวิชาญ คงธรรม. 2555. **การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์
จากลำไยตากเกรดด้วยระบบฟลูอิดไอเซนไอน้ำ.** รายงานผลการวิจัยโครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการการ
สร้างมูลค่าเพิ่มลำไยตากเกรด. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- อุดมลักษณ์ สุขอัสตะ, ประภัสสร รักถาวร, เมธิกา ลีบุญญานนท์ และพจมาน พิศเพียงจันทร์. 2553. **สารออกฤทธิ์ทาง
ชีวภาพการต้านอนุมูลอิสระและการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อสิวของสารสกัดจากเปลือกผลไม้. การประชุมทาง
วิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 3-5 ก.พ. 2553. หน้า 364 - 373.**
- Dech aof. 2560. **น้ำผลไม้ไทย การทำน้ำพั้นซ์จากลิ้นจี่.** [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
http://aofmint.blogspot.com/2013/01/blog-post_855.html. (15 มกราคม 2560)
- Dejang, N., Somprasit, O. and Chindaruksa, S. 2015. A Preparation of Activated Carbon
from Macadamia Shell by Microwave Irradiation Activation. **Energy Procedia.**
Vol. 79. p 727 - 732.

- Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Christopoulou, N. and Goumenaki, M. 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure. **Applied Energy**. Vol. 84(6). p 646 - 663.
- Hadoun, H., Sadaoui, Z., Souami, N., Sahel, D. and Toumert, I. 2013. Characterization of mesoporous carbon prepared from date stems by H_3PO_4 chemical activation. **Applied Surface Science**. Vol. 280. p 1 - 7.
- Huggins, T. M., Haeger, A., Biffinger, J. C. and Ren, Z. J. 2016. Granular biochar compared with activated carbon for wastewater treatment and resource recovery. **Water Res.** Vol. 94. p 225 - 232.
- Ji, C., Xu, P., Wang, S., Feng, Y., Su, T., Yu, M. and Cong, X. 2017. Reducing HC emissions from a gasoline engine at the starting conditions through activated carbon adsorption. **Applied Thermal Engineering**. Vol. 112. p 124 - 132.
- Poinern, G. E. J., Senanayake, G., Shah, N., Thi-Le, X. N., Parkinson, G. M. and Fawcett, D. 2011. Adsorption of the aurocyanide, complex on granular activated carbons derived from macadamia nut shells – A preliminary study. **Minerals Engineering**. Vol.24(15). p 1694 - 1702.
- Pongludda, P., Weerasak, S. and Chanchainarong S. 2012. Removal Ammonia nitrogen and Phosphorus in Swine Wastewater Using Precipitation with Magnesium Salt. **Rajabhat Maha Sarakham University Journal; RMUJ**. Vol.6(1). p 129 - 137.
- Prahas, D., Kartika, Y., Indraswati, N. and Ismadji, S. 2008. Activated carbon from jackfruit peel waste by H_3PO_4 chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. **Chemical Engineering Journal**. Vol. 140(1-3). p 32 - 42.
- Qin, C., Chen, Y. and Gao, J.-m. 2014. Manufacture and characterization of activated carbon from marigold straw (*Tagetes erecta* L) by H_3PO_4 chemical activation. **Materials Letters**. Vol. 135. p. 123 - 126.
- Rishi, K. S., Deepak, P., Anirudh, P. and Abha, S., 2012. Proximate analysis, nutritive value, total phenolic content and antioxidant activity of Litchi Chinensis sonn. **Natural Products. NPAIJ**. Vol. 8(9). p. 361-369.
- Saygılı, H., Güzel, F. and Önal, Y., 2015. Conversion of grape industrial processing waste to activated carbon sorbent and its performance in cationic and anionic dyes adsorption. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 93 p. 84 - 93.

- Serafin, J., Narkiewicz, U., Morawski, A. W., Wróbel, R. J. and Michalkiewicz, B. 2017. Highly microporous activated carbons from biomass for CO₂ capture and effective micropores at different conditions. **Journal of CO₂ Utilization**. Vol. 18 p.73 - 79.
- Tan, I. A., Ahmad, A. L. and Hameed, B. H. 2008. Preparation of activated carbon from coconut husk: optimization study on removal of 2,4,6-trichlorophenol using response surface methodology. **J Hazard Mater**. Vol. 153 (1-2). p. 709-717.
- Tan, X. F., Liu, S. B., Liu, Y. G., Gu, Y. L., Zeng, G. M., Hu, X. J., Wang, X., Liu, S. H. and Jiang, L. H. 2017. Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: Multiple applications in environmental protection and energy storage. **Bioresour Technol**. Vol. 227 p. 359 - 372.
- Yagmur, E., Tunc, M. S., Banford, A. and Aktas, Z. 2013. Preparation of activated carbon from autohydrolysed mixed southern hardwood. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. Vol. 104 p. 470 - 478.
- Yakout, S. M. and Sharaf El-Deen, G. 2016. Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation of olive stones. **Arabian Journal of Chemistry**. Vol. 9 p S1155 - S1162.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการตรวจสอบการวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายซิงค์คลอไรด์

สูตร: $ZnCl_2$

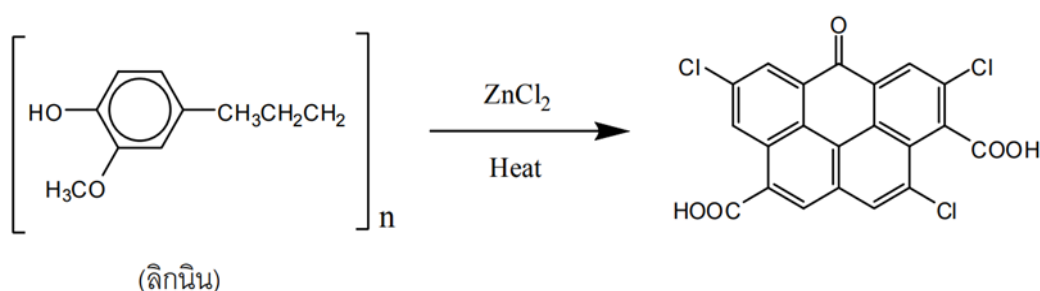
ปริมาตรเชิงโมล: 136.286 g/N

ความหนาแน่น: 2.91 g/cm^3

จุดเดือด: $732 \text{ }^\circ\text{C}$

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสารเคมีประเภทสารดูดน้ำ (Dehydration agent) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ความหนาแน่น 2.19 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 136.286 g/N มักอยู่ในรูปไฮเดรต โดยซิงค์คลอไรด์จะละลายได้ดีเมื่อมีความเข้มข้น 0.5 – 1.0 N ถ้าเป็นสารละลายเข้มข้นจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน $[ZnCl_3]$ หรือ $[ZnCl_4]^{2-}$ สารละลายเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์จะมีความเป็นกรดสูง ซึ่งสามารถละลายแป้ง เซลลูโลส และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ (อัจฉรา และคณะ, 2555)

เมื่อนำวัตถุดิบที่เผาเป็นถ่านแล้วมาผสมเป็นสารละลายซิงค์คลอไรด์ โดยอัตราส่วนที่ใช้ คือสารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้นประมาณ 0.5 – 4 ส่วน ต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ $400 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$ สารละลายซิงค์คลอไรด์จะเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ซึ่งแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ แสดงดังภาพภาคผนวก ก1 (อัจฉรา และคณะ, 2555)



ภาพภาคผนวก ก1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน เมื่อใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น

จากภาพจะเห็นได้ว่า โครงสร้างของลิกนินหลังจากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์จะมีหมู่ฟังก์ชันัลที่เป็นกรด เช่น Cl และ COOH เป็นต้น ซึ่งมีผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีความว่องไวในการดูดซับมากยิ่งขึ้น เตรียมสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 การศึกษานี้ใช้ซิงค์คลอไรด์น้ำหนัก 3.75 g ผสมน้ำกลั่น 11.25 mL แสดงดังสมการที่ 18

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละมวลต่อปริมาตร} &= \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรตัวถูกละลาย+ปริมาตรตัวทำละลาย}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 18} \\
 &= \frac{3.75}{3.75+11.25} \times 100 \\
 &= 25 \%
 \end{aligned}$$

2. การดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน AWWA B 604

2.1 วิธีเตรียมสารละลาย

1) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) จำนวน 70.00 mL ลงในน้ำกลั่น 550.00 mL เขย่าให้เข้ากัน

2) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดต 0.100 N (normal, N)

ซึ่งโปแตสเซียมไอโอเดต (Primary Standard Grade Potassium Iodate, KIO₃) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 h แล้วทิ้งให้เย็นในโถ ดูดความชื้น จำนวน 3.5667 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 mL

3) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 ± 0.001 N (normal, N)

ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, Na₂S₂O₃·5H₂O) 24.8200 g ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75.00 mL เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1000 g ถ้วยสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 L ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 mL เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 day ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

4) สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 ± 0.001 N (normal, N)

ซึ่งไอโอดีน 12.7000 g และโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 19.1000 g ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2 – 5 mL คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย (ครึ่งละประมาณ 5.00 ml) จนกระทั่งให้สารละลายประมาณ 40 mL ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 h คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ้วยสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 L ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 mL เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้น กับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1000 N

5) น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

สารละลายแป้ง (soluble Starch) 1.0 ± 0.5 g ในน้ำเย็น 5 – 10 ml คนสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 ml เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 ลิตร แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4 – 5 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.2 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

1) การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

- ปิเปตต์สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 25.00 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 2.0000 g เขย่าจนละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 mL ลงในขวดรูปชมพู่

- ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายจางลงจนกระทั่ง เป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยดน้ำแป้ง 2 – 3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

$$\text{จาก} \quad N_1 = P \times R / V$$

สมการที่ 19

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N

P = ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, mL

R = ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, N

V = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, mL

2) การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตต์สารละลายไอโอดีน 25.00 ml ในขวดรูปชมพู่ 250 mL

- ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยดน้ำแป้ง 2 – 3 หยด สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน

จาก
$$N_2 = (V \times N_1) / l$$
 สมการที่ 20

เมื่อ
$$N_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน, N}$$

$$V = \text{ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, mL}$$

$$N_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N}$$

$$l = \text{ปริมาตรสารละลายไอโอดีน, mL}$$

3) วิธีวิเคราะห์การหาค่า Iodine Number

- ชั่งผงถ่านตัวอย่างละ 1.0000 g โดยให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

- เติมสารละลายไอโอดีน 0.1000 N ปริมาตร 50 mL เขย่า 1 min
- กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ทั้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรก
- บีบอัดสารละลายที่กรองได้มา 25.00 ml
- ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสารละลาย

ไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแฉ่ง 2 – 3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ทำซ้ำ 3 ครั้ง

- คำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

วิธีการคำนวณค่าการดูดซับจำเพาะของไอโอดีน (X/M)

จาก
$$X/M = (A - (DF \times B \times S)) / M$$
 สมการที่ 21

เมื่อ
$$X/M = \text{มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ}$$

$$A = (N_2)(12693.0)$$

$$N_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน, N}$$

$$B = (N_1)(126.93)$$

$$N_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N}$$

$$S = \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้}$$

M = ปริมาณถ่านที่ใช้, g
 DF = ค่าคงที่ของการเจือจางหาได้จากสูตร

จาก $DF... = (I+H)/F$ สมการที่ 22

เมื่อ I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน, mL
 H = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5%, mL
 F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต, mL

3. ค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD)

ค่าซีโอดี คือ การวัดปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ โดยใช้สารเคมี (Dichromate) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สูง ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การหาค่าซีโอดีจะมีความจำเป็นอย่างมากในการควบคุมคุณภาพน้ำ ค่าซีโอดีจะมีค่าสูงมากถ้ามีสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมาก โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมี 3 วิธี คือ

- วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method)
- วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การติเตรต (Closed Reflux, Titrimetric Method)
- วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/เปรียบเทียบสี (Closed Reflux, Colorimetric Method) ซึ่ง

ในการวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการที่ 2 คือ วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การติเตรต (Closed Reflux, Titrimetric Method)

3.1 การเตรียมสารเคมี

1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.0167 N (Standard Potassium Dichromate Solution) – (Digestion Reagent)

2) สารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_2$) 4.913 g อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 2 h ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปละลายน้ำกลั่นประมาณ 500 mL ค่อยเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 167 mL เติมเมอร์คิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$) ลงไป 33.3 g คนให้ละลาย ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 mL

3) กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต – (H_2SO_4 Reagent) ละลาย Ag_2SO_4 22 g ใน Conc. H_2SO_4 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4 kg หรือ 2.5 L แล้วตั้งไว้ 1 – 2 วัน

4) สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ (Feroin) ละลาย Phenanthroline Monohydrate ($C_{12}H_8N_2H_2O$) 1.485 g และ Sulphat heptahydrate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 g ใน น้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 mL

5) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (FAS) ละลาย $[Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ 39.2 g ในน้ำกลั่น 50 mL เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 20 mL คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็นและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 mL (สารละลายนี้ต้อง เทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่จะนำมาใช้)

วิธีการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

1. ปิเปิดน้ำกลั่น 5 mL ลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมสารละลาย Digestion Reagent 3 mL
3. ค่อยๆ เติม H_2SO_4 Reagent ปริมาตร 7 mL ให้ไหลลงก้นหลอดแก้วเพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ในชั้นของตัวอย่างน้ำ ทิ้งไว้ให้เย็น
4. นำมาไทเทรตกับสารละลาย FAS 0.10 โมลาร์ โดยใช้ Feroin จำนวน 2 – 3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์
7. สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียว และเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
8. นำค่าที่ได้ไปคำนวณความเข้มข้นของ FAS ดังนี้

จาก $FAS (M) = (Digestion\ reagent \times 0.10) / FAS\ ที่ใช้ไทเทรต$

สมการที่ 23

การหาค่าซีโอติของตัวอย่าง

- 1) ล้างหลอดซีโอติ และฝาปิดด้วยกรด H_2SO_4 20% ก่อนใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์
- 2) ปิเปิดตัวอย่างนำมา 5 mL ใส่ลงในหลอดซีโอติ แล้วเติม Digestion reagent ลงไป 3 mL
- 3) ค่อย ๆ เติม H_2SO_4 Reagent ลงไป 7 mL ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นของน้ำตัวอย่าง และ Digestion reagent
- 4) ปิดฝาซีโอติให้แน่น แล้วคว่ำหลอดไปมาหลายๆ ครั้งอย่างทั่วถึงก่อนจะนำตัวอย่างไป Reflux เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ที่ก้นหลอด ซึ่งอาจแตกในขณะที่ทำการ Reflux

5) ทำ Blank ประมาณ 2 หลอด โดยใช้ น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง ทำการศึกษา เช่นเดียวกันกับข้อ 2 – 4

6) นำหลอดทดลองทั้งหมดรวม Blank วางบนที่ตั้งหลอดทดลอง (Rack) แล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 150 ± 2 °C เป็นเวลา 2 h เสร็จแล้วนำออกจากตู้อบ ที่ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

7) เทตัวอย่างจากหลอดใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ไทเทรตกับสารละลาย FAS 0.10 โมลาร์ โดยใช้ Ferroin จำนวน 2 – 3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสารละลายจะเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียว และเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตร FAS ที่ใช้

จาก ซีไอดี (COD), mg/L = $[(A-B) \times M \times 8,000] /$ น้ำตัวอย่าง (mL)

สมการที่ 24

เมื่อ A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (mL)

B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง (mL)

M = ความเข้มข้นของ FAS (โมลาร์)

ค่าความชื้น (ADAC, 1995)

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

วิธีการหาค่าความชื้น

1) อบอุ่นสำหรับหาความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 h นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2) ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 3 mg

3) ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้น 1 – 2 g ใส่ลงในภาชนะหาความชื้น นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 5 – 6 h นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่าอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

4) อบอุ่นจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดกันไม่เกิน 1 – 3 mg

จาก ความชื้น (%) = $[(W_1 - W_2) \times 100] /$ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น สมการที่ 25

เมื่อ $W_1 =$ น้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างก่อนอบ, g

$W_2 =$ น้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างหลังอบ, g

ปริมาณของแข็งรวม (Total Solid, TS)

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

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โถดูดความชื้น
2. ถ้วยครุชเชิล
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
5. Hot Plate
6. ปากคืบ

วิธีการหาปริมาณของแข็งรวม

1. เตรียมถ้วยครุชเชิลโดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เวลา 20 min
2. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล, g
3. ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 – 6 g ใส่ลงในถ้วยครุชเชิล
4. นำไประเหยบน Hot Plate
5. นำถ้วยครุชเชิลที่ระเหยแห้งแล้ว อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C 15 min
6. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล, g

จาก $TS, \text{mg/g} = [B-A (\text{g}) \times 10^6] /$ ปริมาตรตัวอย่าง สมการที่ 26

เมื่อ $A =$ ถ้วยครุชเชิลก่อนอบ, g

$B =$ ถ้วยครุชเชิลหลังอบ, g

ปริมาณสารระเหยง่าย (Volatile Solid, VS)

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

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

วิธีการคำนวณหาปริมาณสารระเหยง่าย

1. เตรียมถ้วยครุชเชิลโดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เวลา 20 min
2. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล, g
3. ตวงตัวอย่างปริมาตร 5 – 6 g ใส่ลงในถ้วยครุชเชิล
4. นำไประเหยบน Hot Plate
5. นำถ้วยครุชเชิลที่ระเหยแห้งแล้ว อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C 15 min
6. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล, g
7. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 20 min
8. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล

จาก $VS, \text{mg/g} = (B - C) \times 10^6 / \text{ปริมาตรตัวอย่าง (g)}$

สมการที่ 27

เมื่อ $A = \text{ถ้วยครุชเชิลก่อนอบ, g}$

$B = \text{ถ้วยครุชเชิลหลังอบครั้งที่ 1, g}$

$C = \text{ถ้วยครุชเชิลหลังอบครั้งที่ 2, g}$

องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพในการศึกษานี้ ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Geotech biogas 5000 ดังภาพผนวกที่ 1 ซึ่งองค์ประกอบแก๊สชีวภาพที่ได้จากการใช้เครื่องนี้

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



ภาพผนวกที่ 1 เครื่องวัดแก๊ส Geotech biogas 5000

การวิเคราะห์หาปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจน (Total Kjeldahl nitrogen, TKN)

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด หมายถึงผลรวมระหว่างออร์แกนิกไนโตรเจน (Organic Nitrogen) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen) สำหรับการวิเคราะห์ออร์แกนิกไนโตรเจนถ้าไม่ได้แยกแอมโมเนียไนโตรเจนออกเสียออก ผลที่ได้จะได้เป็นไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมดที่จะกล่าวถึงนี้หาได้โดยวิธีเจลดาทัล มีเมอร์คิวรี (II) ซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะเปลี่ยนพวกออร์แกนิกไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต หลังจากการย่อยสลายละลายด้วย Conc. H_2SO_4 ที่มีโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เป็นตัวเพิ่มจุดเดือดให้สูงขึ้นถึง $344 - 371^\circ\text{C}$ หลังจากการย่อยสลายแล้วให้เจือจางส่วนที่เหลือภายในขวดเจลดาทัล แล้วทำให้เป็นด่างด้วย NaOH นำไปกลั่นโดยมีสารละลาย Boric Acid เป็นตัวดูดกลืนสารเคมี

สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายสำหรับย่อยสลาย (Digestion Solution) ละลาย K_2SO_4 134 g ในน้ำกลั่น 650 ml ผสม Conc. H_2SO_4 200 ml แล้วละลาย Red Mercury (II) oxide 2 g ใน H_2SO_4 3 N ค่อย ๆ เติมลงในสารละลาย K_2SO_4 แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml เก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า $14\text{ }^{\circ}C$ เพื่อป้องกันการตกตะกอน
2. Phenolphthalein Indicator
3. สารละลาย Sodium Hydroxide – Sodium Thiosulphate Reagent ละลาย NaOH 500 g และ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 25 g ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml
4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator) ละลาย Methyl Red Indicator 200 mg ใน Ethyl Alcohol 95% 100 ml ละลาย Methylene Blue 100 mg ใน Ethyl Alcohol 95% 50 ml แล้วผสมสารละลายทั้งสองชนิดนี้เข้าด้วยกัน
5. สารละลาย Indicating Boric Acid Solution ละลาย Boric Acid 20 g ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย เติม Mixed Indicator ลงไป 10 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml
6. สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.01 M

วิธีการวิเคราะห์

1. ตวงตัวอย่างโดยให้มีปริมาตรที่เหมาะสม ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 2 ใส่ลงในขวดเจลดาร์ลและใส่ลูกแก้ว 5 – 6 ลูก
2. เติมสารละลายสำหรับย่อยสลายออร์แกนิกไนโตรเจน 50 ml
3. ต้มจนได้สายละลายใส เคี้ยวต่ออีก 20 – 30 min ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 300 ml
4. ทำให้เป็นด่างด้วยสารละลาย Sodium Hydroxide – Sodium Thiosulphate Reagent 50 ml โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปกลั่นลงในสารละลาย Boric Acid 50 ml จนได้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 200 ml
5. นำส่วนที่กลั่นได้ให้เย็น นำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.01 M โดยใช้ Mixed indicator 2 – 3 หยด

วิธีการคำนวณ

$$\text{ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/L)} = ((A-B) \times M \times 1,000 \times 28) / V$$

เมื่อ A = สารละลาย H_2SO_4 ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง

B = สารละลาย H_2SO_4 ที่ใช้สำหรับ Blank

M = Molality ของสารละลาย H_2SO_4

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาตรของตัวอย่างที่เหมาะสม

ออร์แกนิกไนโตรเจนในตัวอย่าง (mg/L)	ปริมาณของตัวอย่าง (ml)
0 - 1	500
1 - 10	250
10 - 20	100
20 - 50	50
50 - 100	25

ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

- ชื่อผู้แต่ง: Onpailin Somprasit
Jutaporn Chanathaworn
Tanate Chaichana
Natthanicha Sukasem
- ชื่อบทความ: The activation of carbonized lychees seed via water and zinc chloride combined with microwave
- ชื่อวารสาร: The 13th International Conference on Ecomaterials 2017
- หน้าที่: 118-122
- สถานที่: KMUTT Knowledge Exchange for Innovation Center (KX), Bangkok, Thailand
- วันที่: November 19 – 23, 2017
- ชื่อบทความ: การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลไก่ ที่ผ่านการลดแอมโมเนียโดยใช้ ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่
Efficiency of Biogas Production from Chicken Manure by Ammonia reduction pretreatment Using Lychees seed Activated Carbon
- ชื่อวารสาร: การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3
The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology
- หน้าที่: 223-234
- สถานที่: ณ โรงแรม ลอฟท์ มาเนีย จ.ชุมพร ประเทศไทย ดำเนินการจัดประชุมโดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพรวันที่ ระหว่างวันที่ 24-25 พฤษภาคม 2561



Proceedings ICEM^{13th}

The 13th International Conference on Ecomaterials 2017

November 19-23, 2017

KMUTT Knowledge Exchange for Innovation Center (KIX), Bangkok, Thailand





The activation of carbonized lychees seed via water and zinc chloride combined with microwave

Onpailin Somprasit, Jutaporn Chanathaworn*, Tanate Chaichana and
Natthanicha Sukasem

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

*e-mail: winchana.jc@gmail.com

Abstract: Activated carbon was prepared by lychees seed carbonaceous as raw material with different of activation condition. The raw material was changed into carbon structure by confine space process at 400°C, 500°C and 600°C, respectively for 1 h. The yield of obtained lychees seed carbon exhibited of 29.25%, 26.94% and 25.33%, respectively. Carbon was crushed and sieved until the particle size in the range of 0.5–1.5 mm. The both physical and chemical activation process was required by microwave irradiation at different power (100 W and 200 W) and irradiation time (1 and 2 min). The carbon was activated by H₂O and ZnCl₂ combined with microwave irradiation. The results showed that the moisture content of sample was less than 5%. The best condition of iodine adsorption was 618.30 mg/g at 200 W of microwave irradiation by using ZnCl₂ activation for 2 min at the activated temperature of 600°C. The resulting activated carbon from H₂O and ZnCl₂ activation gave a SEM image of the uniform and regular porous and porous surface. The values obtained by microwave irradiation of activation process were clearly meet the standard value of Thai industrial No.900-2547 and AWWA B604 at the activated temperature of 600°C for 1 and 2 min with H₂O and ZnCl₂ activation. Finally, the microwave irradiation could be applied to activation process to produce the activated carbon from lychees seed.

Keywords: activated carbons, lychees seed, microwave, iodine adsorption

1. Introduction

Activated carbons are the most versatile and commonly adsorbents that used for purification and separation in many industrial processes including medicinal use, gas storage, pollutant and odious removal, gas separation, and catalysis^{1,2} or separation processes.^{3,4} As a result, the demand for activated carbon is increasing. However, activated carbon is expensive which limits its large scale application.

Normally, the activation process can be done by either physical or chemical method. The surface areas and porous were widely improved by carbonization and activation treatment. Further improvement can be done by designing or modification

activation process. For example, carbonization at high temperature or different atmospheres (e.g. nitrogen and carbon dioxide) can improve porosity of adsorption properties.^{5,6} Activated carbons can be produced from a large variety of raw materials, basically by two methods: Physical and chemical activation or a combination of both of them. In recent years, the combination of both process known as physiochemical was attractively studied.⁷ A lot of research has been reported on activated carbons from agricultural wastes, such as pistachios shell, cotton stalks, bagasse and rice husk, rice bran, coffee husks⁸, olive kernels, cherry stones, olive stones, walnut shells, sugar cane



bagasse and sunflower seed hull, wood particle board wastes, tobacco residues, soybean oil cake, etc.

The main objective of the present work was to the activation of carbonized lychees seed via water and zinc chloride combined with microwave. In this study, the factors effecting the specific surface area and product yield were investigated.

2. Materials and Methods

2.1 The preparation of activated carbon

Lychees seed as raw material was collected from the north of Thailand. The raw material was washed with water to remove dust and then dried. The carbonization was prepared by confine space process temperature 400°C, 500°C and 600°C for 1 h. The obtained Lychees seed carbon samples were crushed and sieved until the powders size in the range of 0.5–1.5 mm. Two activation methods: 1) physical (H₂O) and 2) chemical (ZnCl₂) activation process were combined with microwave irradiation. The selected microwave power inputs were 100 W and 200 W and the irradiation time was varied from 1 min and 2 min. The H₂O and 25 mol% ZnCl₂ were mixed with carbon powder at the weight ratio of 3:1. After that, the slurries were placed in the microwave oven with the mentioned condition above. The activated carbon powders from ZnCl₂ activation process were washed for 3–5 times. After activation process, the activated carbon powders were filtered with Whatman #1 and then dried at 60°C for 24 h.

2.2 Characterization method

The analysis of activated carbon powders was conducted by using yield percent (%Yield) and moisture content (Moisture%). The Yield% of carbonization process was calculated according to the following formula;

$$\text{Yield\%} = \left(\frac{W_{\text{after}}}{W_{\text{before}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Where W_{before} is mass of Lychees seed, W_{after} is mass of carbon product from carbonization. The carbon was dried in the oven at 103 °C and the weight was then measured every 3 h until the weight didn't change according to AWWA B604 standard. After that, the moisture content was calculated from the following formula:

$$\text{Moisture\%} = \left[\frac{W-D}{D} \right] \times 100 \quad (2)$$

where W is the initial weight after first drying step (60°C for 24 h) and D is the weight of dried samples.

2.3 Morphology

The iodine number is a technique employed to determine the adsorption capacity of activated carbons. The iodine number indicates the porosity of the activated carbon and it is defined as the amount of iodine adsorbed by 1 g of carbon at the mg level. Iodine number can be used as an approximation for surface area and microporosity of active carbons with good precision. The iodine adsorption was determined using the sodium thiosulfate volumetric method.¹

The scanning electron microscope (SEM, W1-RES-SEM-Quanta-001 and W1-RES-SEM-001) was used to characterize the morphology of the samples. The samples were dried overnight at approximately 60 °C under vacuum before SEM analysis.

The presence of carbon in the activated carbon was investigated by using a surface area analyzer (BET, Model NOVA-e, Quanta Chrome). The samples were previously out gassed at 250 °C for 24 h⁹. The extent of micro-porosity is commonly evaluated by applying method involving micro pore surface area and external surface area. Finally, the results were compared with Thai Industrial Standards Institute No. 900-2547 and AWWA B604.



3. Results & Discussion

3.1 Production of the porous carbon

The raw material was changed into carbon structure by confine space process at 400°C, 500°C and 600°C, respectively for 1 h. The yield of obtained lychees seed carbon exhibited of 29.25%, 26.94% and 25.33%, respectively.

3.2 Moisture of activated carbon

Figure 1 shows the carbon was activated by H₂O combined with microwave irradiation. The results showed that the moisture content of sample was less than 5%. Similar trend was observed in ZnCl₂ activation process.

In this study, the moisture content of activated carbon from both H₂O and ZnCl₂ activation process meets Thai Industrial standard No.900-2547 and AWWA B604 which require that the moisture content in the activated carbon should be lower than 8%.

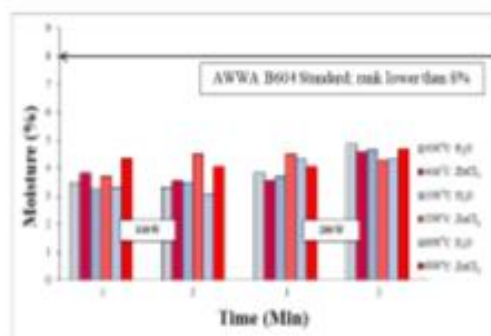


Figure 1. Moisture of activated carbon from two activation process.

3.3 Adsorption properties

Activated carbon prepared by different activation process exhibited different adsorption properties as indicated by iodine adsorption number (Figure 2–3). The iodine adsorption number is an indication of ability of a carbon to adsorb high molecular weight substances.¹¹

Figure 2, the raw material was changed into carbon structure by confine space process at 400°C, 500°C and 600°C, respectively for 1 h. The non-activated carbon had iodine value of 522.12 mg/g, 568.36 mg/g, and 589.74 mg/g, respectively.

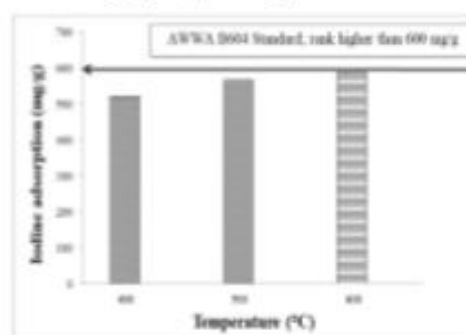


Figure 2. Iodine adsorption from the non-activated carbon process.

Figure 3, the results showed that the best condition of iodine adsorption was 618.30 mg/g at 200 W of microwave irradiation by using ZnCl₂ activation for 2 min in the activated temperature of 600°C.

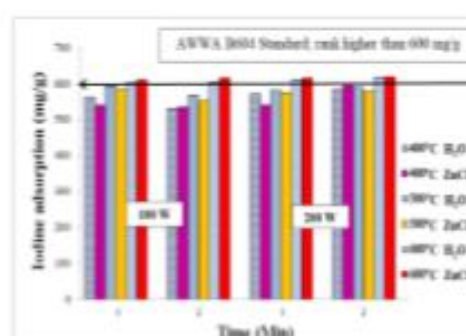


Figure 3. Iodine adsorption from the activation process.

After the activation process used in this study Thai industrial standard requires that iodine adsorption number should be higher than 600 mg/g. The differences of iodine adsorption number implied different activated carbon structure.¹² The result indicated that microwave irradiation can be

used to improve physical properties using vibration dipole molecule liquid and ionic conduction into the wet carbon of Lychees seed.¹³ The iodine absorption values were significantly affected by the microwave energy and the irradiation time during activation process.

3.3 Textural characterization by SEM

In Figure 4, SEM technique was used to investigate the surface structure. The morphology of some activated carbon by H₂O (Figure 4(a)) and ZnCl₂ (Figure 4(b)) activation for 2 min at 200 W and the activated temperature of 600°C was presented. The activated carbon showed irregular granules. The microstructure showed high porosity in activated carbon. It was corresponding to micro porosity in the carbon skeleton.¹³ The structure was confirmed the ability for molecule adsorption of activated carbon.

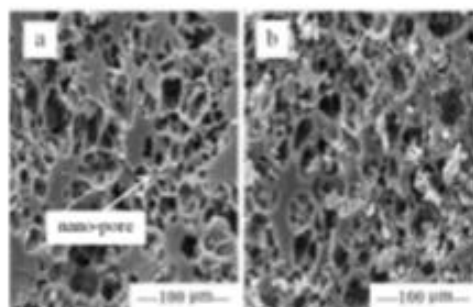


Figure 4. The morphology of activated carbon from different factor (a) H₂O and (b) ZnCl₂ combined with microwave during 2 min at 200 W and the activated temperature of 600°C process.

4. Conclusion

In order to prepare the activated carbon from lychees seed, the raw material was changed into carbon structure by confine space process at 400°C, 500°C and 600°C, respectively for 1 h. The carbon was activated by H₂O and ZnCl₂ combined with

microwave irradiation. The results showed that the moisture content of all sample was less than 5%. The lychees seed carbon was activated by using H₂O and ZnCl₂ solution combined with different microwave irradiation condition. The best condition of iodine adsorption was 618.30 mg/g at 200 W of microwave irradiation by using ZnCl₂ activation for 2 min at the activated temperature of 600°C. BET surface area of the best produced activated carbon was 40.823 m²/g. The activated carbon obtained from H₂O combined with 100 W microwave irradiation power input at 1 min and activated temperature of 600°C irradiation time meets the Thai industrial standard No.900-2547 and AWWA B604 in terms of moisture content and iodine adsorption number. This method can be applied successfully for preparation of activated carbon.

Acknowledgements

The author would like to thank School of Renewable Energy, Maejo University, of financial support under project from the production and development potential graduate of renewable energy in ASEAN countries for graduate students, School of Renewable Energy, Maejo University, academic year 2016. The authors also wish to thank the Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand for financial support.

References

1. Bansal, R. and Goyal, M., 2005, Activated Carbon Adsorption, CRC Press, Boca Raton.
2. Dias, J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Almeida, M.F. and Rivera-Utrilla, J., Sanchez-Polo, M., 2007, *Journal of Environmental Management*, 85, 833–846.



3. Yalcin, N. and Sevinc, V., 2000, *Carbon*, 38, 1943–1945.
4. Ahmedna, M., Marshall, W.E., Husseiny, A.A., Rao, R.M. and Goktepe, I., 2004, *Water Research*, 38, 1062–1068.
5. Saka, C., ahin, Ö. S., Küc, M.M, ük., 2012, *International journal of Environmental Science and Technology*, 9, 379–394.
6. El-Hendawy, A.A., Alexander, A.J., Andrews, R.J. and Forrest, G., 2008, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82, 272–278.
7. Ceyhan, A.A., Ömer S., ahin, Baytar, O. and Saka. C., 2013, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 378–383.
8. Lussier, M.G., Shull, J.C. and Miller, D.J., 1994, *Carbon*, 32, 1493–1498.
9. Dejanga, N., Somprasit, O. and Chindaruksa. S., 2015, *Energy Procedia*, 79, 727–732.
10. Saka. C., 2012, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 95, 21–24.
11. Yusufu, M. I., Ariaahu, C.C. and Igbabul, B.D., 2012, *J. Pure Applied Chem.*, 6(9), 123–131.
12. Rufford, T.E., Hulicava-Jurcakova, D. and Huz. J., 2013, *Green carbon materials, Advances and applications*, U.S. Taylor&Francis group Ltd.
13. Gua, Y. and Rockstraw. D.A., 2007, *Micro-porous and Mesoporous Mater*, 100, 12–19.



บทความฉบับเต็ม

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 3

ด้านสารสนเทศ การเกษตร การจัดการ บริหารธุรกิจ
วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture,
Management, Business administration, Engineering,
Sciences and Technology : IAMBEST 2018

24 - 25 พฤษภาคม 2561

จัดโดย : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตสุนทรเวชระเทศอุบลรัตน์ จังหวัดอุบลราชธานี

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ ที่ผ่านการลดแอมโมเนียโดย
ใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

Efficiency of Biogas Production from Chicken Manure by Ammonia
reduction pretreatment Using Lychees seed Activated Carbon

อรไพลิน สมประสิทธิ์ และ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร*

Onpailin Somprasit and Jutaporn Chanathaworn*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand.

* Corresponding author: winchana.jc@gmail.com

บทคัดย่อ

วิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจาก
มูลไก่หลังจากการลดแอมโมเนีย โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ เพื่อนำมูลไก่ที่
ผ่านการดูดซับแอมโมเนียแล้วไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ การผลิตถ่านกัมมันต์โดยเตรียมเมล็ด
ลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพโดยใช้น้ำร่วมกับคลื่น
ไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ และศึกษา
ระยะเวลาการดูดซับที่ระยะเวลา 3 – 4 วัน ปริมาณถ่านกัมมันต์ 15 – 25 กรัม ต่อปริมาณมูล
ไก่ 1 กิโลกรัม จากงานวิจัยที่ศึกษาผ่านมา พบว่า ค่าการดูดซับของถ่านที่เหมาะสมต่อสิ่งที่ดูด
ซับคือ 15 กรัม ต่อ 1 กิโลกรัม และผลของการเขย่าในขั้นตอนการดูดซับ จากนั้นนำมูลไก่ที่
ผ่านการดูดซับแล้วไปหมักในสภาวะไร้อากาศ ระบบการหมักแบบแบทช์ขนาด 5 ลิตร
ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน สภาวะอุณหภูมิเมโสฟิลิก (35 ± 2 องศาเซลเซียส) เพื่อหา
ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์
25 กรัม ระยะเวลาการดูดซับ 4 วัน ให้ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด 42,800 มิลลิลิตร
เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า การเขย่าในระหว่างการดูดซับให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูง
กว่าชุดควบคุม 47.89%

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ ก๊าซชีวภาพ มูลไก่ เมล็ดลิ้นจี่.

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



Abstract

This research aimed to study the improvement of biogas production from chicken manure after ammonia reduction. Adsorption of activated carbon from lychee seeds to remove the ammonia-adsorbed chicken manure to produce biogas. Activated carbon produced lychee seeds at 600 ° C incubation temperature, activated by physical means using water in combine with microwave, at 200 watts for 2 minutes to use activated carbon as an adsorbent. The adsorption time 3 – 4 days for activated carbon 15 – 25 g/kg (Based on the research, it was found that the adsorption value of activated carbon for adsorbents was 15 g/kg). And the effects of shakes in the adsorption step. The adsorption of chicken manure was carried out in anaerobic conditions. The adsorbed chicken manure was then fermented size 5 L for 15 day fermentation time in the Mesophilic temperature (35 ± 2 °C) for the production of biogas. The results showed that the use of activated carbon 25 g, the adsorption time of 4 days. The maximum production of biogas 42,800 ml. Compared with the control, shakes during the adsorption gave higher biogas yield than the control set at 47.89%

Keywords: Activated carbons, Biogas, Chicken manure, Lychees seed

บทนำ

ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพรูปแบบหนึ่ง โดยทั่วไปนั้น หมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของสารอินทรีย์ในระบบไร้อากาศ สารอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการหมัก เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์ม หรือน้ำเสียจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อระบบการหมัก เช่น ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งทั้งในระบบ (Total solid, TS) ระยะเวลาการย่อยสลาย อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ซึ่งวัตถุดิบบางชนิดมีค่าที่ไม่เหมาะสม ต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้มีค่าเหมาะสมก่อนนำมาเข้าสู่กระบวนการหมัก (วีระยุทธ, 2552) มูลไก่ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่เนื่องจากมีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูง ส่งผลให้มีอัตราส่วน C/N ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพไนโตรเจนที่อยู่ในมูลไก่จะถูกสะสมอยู่ในรูปของแอมโมเนีย เมื่อ

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology



ระบบมีการสะสมของแอมโมเนียสูง (สิริชัย, 2554) ทำให้ระบบมีความเป็นด่างสูงขึ้น ส่งผลต่อค่า pH ที่อยู่ในระบบ ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพหยุดการเจริญเติบโตทำให้ระบบล้มเหลวได้ (อัญชลี, 2553) ดังนั้นการลดแอมโมเนียให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการลดแอมโมเนียในมูลไก่ก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพด้วยวิธีการใช้ถ่านกัมมันต์มาเป็นตัวดูดซับ

ถ่านกัมมันต์ (Activated charcoal หรือ Activated carbon) เป็นรูปแบบหนึ่งของธาตุคาร์บอน ที่สามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ช้างข้าวโพด ชี้อ้อย เศษไม้ เมล็ดผลไม้ แกลบ กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของการดูดซับสารต่าง ๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางด้านการมีรูพรุนสูง ผลิตโดยการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ในกระบวนการผลิต ถ่านกัมมันต์มีประโยชน์หลายด้าน เช่น ฟอกหรือกรองอากาศในเครื่องปรับอากาศ เป็นไส้กรองของหน้ากากนิรภัยเพื่อกรองแก๊สพิษ สกัดสีนแร่ เช่น แร่ทองคำ และใช้ในอุตสาหกรรมยา (พรณธิตา, 2550) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาทดลองการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในด้านการดูดซับ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเปลือกของถั่วแมคคาเดเมียในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล (พรณธิตา, 2554) และการลดการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์เบนซินโดยใช้การดูดซับจากถ่านกัมมันต์ (Changwei, 2017) เป็นต้น

จากคุณสมบัติการดูดซับดังกล่าว จึงนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ ก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยสลาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการศึกษาระยะเวลาในการดูดซับปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม และผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ ทำการหมักในระบบไร้อากาศ ในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์ วิเคราะห์คุณสมบัติตั้งต้นของถ่านกัมมันต์ คุณลักษณะของมูลไก่ก่อนการหมัก และวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ เช่น ปริมาณของออกซิเจนทั้งหมด (Chemical oxygen demand, COD) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS) ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile solid, VS) เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ในระดับครัวเรือนต่อไป

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology



วิธีการศึกษา

1. ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ทำได้โดยการเผาเมล็ดลิ้นจี่ในเตาเผาไฟฟ้าอับอากาศที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 1 h เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำการปิดเตาและทิ้งถ่านให้เย็นตามอุณหภูมิเตา จากนั้นบดถ่านเมล็ดลิ้นจี่ โดยทำการคัดขนาดเม็ดถ่านให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.50 – 1.5 mm กระตุ้นเม็ดถ่านให้เกิดการก่อกัมมันต์ด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้สัดส่วนเม็ดถ่านต่อสารกระตุ้น ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 (g/mg) ที่กำลังไฟฟ้า 200 W เป็นเวลา 2 min ตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐาน AWWA B604 (AWWA B604, American Water Works Association 1997) วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน (Brunauer Emmett and Teller, BET)

2. วัตถุดิบ

มูลไก่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบได้รับความอนุเคราะห์มาจากฟาร์มไก่ ในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ วิเคราะห์คุณลักษณะของมูลไก่ก่อนการทดลอง เช่น ค่าอัตราส่วน C/N ความชื้น (Moisture content, MC) ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile solid, VS) และ ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS) แสดงดัง Table 1.

Table 1 Characteristics of chicken manure from chicken farm in Chiang Mai.

Constituent	Chicken manure
C/N ratio	8 : 1
Moisture content (%)	80.5 ± 0.01
Volatile solid, VS content (%)	25.9 ± 0.02
Total solid, TS content (%)	18.5 ± 0.04

3. ศึกษาการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเมล็ดลิ้นจี่ มาทำการศึกษการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ก่อนการหมักก๊าซชีวภาพ โดยการศึกษาระยะเวลาการดูดซับ 3 – 4 day ปริมาณถ่านกัมมันต์ 15 – 25 g ต่อปริมาณมูลไก่ 1 kg เปรียบเทียบผลของการเขย่ากับชุดควบคุมที่ไม่มีการเขย่าใน

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology



ระหว่างการดูดซับ เมื่อครบตามเวลาการดูดซับที่กำหนด ทำการแยกถ่านกัมมันต์ที่ผ่านดูดซับออกจากมูลไก่ก่อนทำการหมัก

4. ระบบหมักก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

การหมักก๊าซชีวภาพจากการใช้มูลไก่เป็นวัตถุดิบ ได้ดำเนินการทดลองในระบบแบบ batch ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังหมักขนาด 5 L ปริมาตรการใช้งานจริง 4 L อัตราส่วนของมูลไก่และน้ำที่ใช้สำหรับการทดลอง 1 ต่อ 3 ดำเนินการหมักในสภาวะอุณหภูมิเมโสฟิลิก (Mesophilic) คือ อยู่ภายใต้อุณหภูมิ 35 ± 2 °C ระยะเวลา 15 day ซึ่งทำการเขย่าในระหว่างการหมัก 1 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 1 min ใช้ระบบการกักเก็บก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่ด้วยน้ำ ทำการติดตั้งถังสำหรับกักเก็บก๊าซชีวภาพโดยเชื่อมต่อกับถังหมักก๊าซชีวภาพ อ่านค่าและบันทึกผลอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทุกวัน วิเคราะห์ค่า (Chemical Oxygen Demand, COD) (Total Solid, TS) และ (Volatile Solid, VS) ก่อนหมักและหลังหมัก ตามมาตรฐาน AWWA1998 (APHA, AWWA and WEF, 1998)

ผลการศึกษา

1. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

หลังการเผาเมล็ดลิ้นจี่ด้วยเตาเผาไฟฟ้าในอับอากาศที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 1 h พบว่า ให้ค่าร้อยละของผลผลิต (Yield, %) 25.33 ± 0.08 g มีค่าร้อยละของความชื้น (Moisture, %) ของถ่านกัมมันต์ 4.26 ± 0.09 และค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine adsorption, mg/g) 615.82 ± 20.28 mg/g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน AWWA B604 (AWWA, 1997) แสดงดัง Table 2.

Table 2 Lychees seed activated carbon

Constituent	Lychees seed
Yield (%)	25.33 ± 0.08
Moisture (%)	4.26 ± 0.09
Iodine adsorption (mg/g)	626.53 ± 8.03

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเมล็ดลิ้นจี่มีลักษณะเป็นเม็ดกลม สีดำ เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.5 – 1.5 mm แสดงดัง Figure 1a ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) แสดง

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology



ตั้ง Figure 1b จากรูปจะปรากฏรูพรุนขนาดเล็กและขนาดใหญ่อย่างชัดเจน และสังเกตเห็นเศษอนุภาคผงขนาดเล็กบนผิวถ่าน แสดงตั้ง Figure 1b จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน (Brunauer Emmett and Teller, BET) พบว่า พื้นที่ผิวจำเพาะมีขนาด $40.82 \text{ m}^2/\text{g}$ และรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 1136.00 \AA

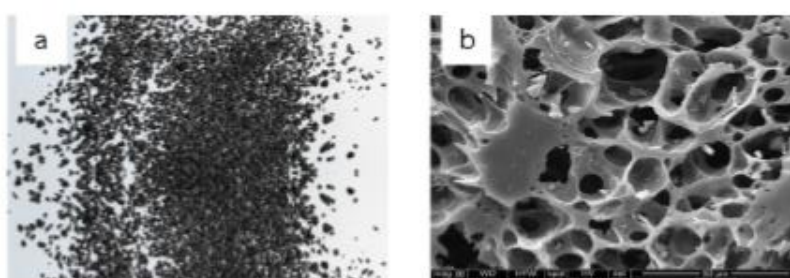


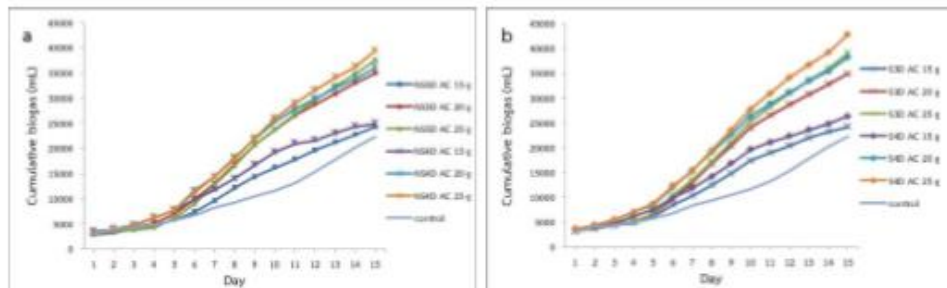
Figure 1 Lychees seed activated carbon (a) and SEM image of Lychees seed activated carbon (b)

2. ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ โดยทำการศึกษาที่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 15 20 และ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg ดำเนินการหมักในสภาวะอุณหภูมิเมโสฟิลิก (Mesophilic) คือ อยู่ภายใต้ อุณหภูมิ $35 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เขย่าถึงหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 day ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศ แสดงผลตั้ง Figure 2 จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซสะสมของการทดลองในระยะเวลา 15 day พบว่า ผลของการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ปริมาณ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg ระยะเวลาในการดูดซับ 4 day โดยวิธีการไม่เขย่าถ่านกัมมันต์ในระหว่างการดูดซับและวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ในระหว่างการดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดที่ 39,400 และ 42,800 mL ตามลำดับ แสดงตั้ง Figure 2 (a และ b) เมื่อเปรียบเทียบที่สภาวะการทดลองที่สภาวะเดียวกัน พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ 15 g (โดยวิธีการไม่เขย่าถ่านกัมมันต์ในระหว่างการดูดซับ 3 day) ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมน้อยที่สุด คือ ให้ปริมาณก๊าซสะสม 24,350 mL และ 20 g ให้ปริมาณก๊าซสะสม 34,950 mL ตามลำดับ การทดลองการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับนี้ ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับ ซึ่งชุดควบคุมให้ปริมาณก๊าซสะสมเพียง 22,300 mL

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



*NS3D: Non shakes during adsorption for 3 days
***NS4D: Non shakes during adsorption for 4 days

**S3D: Shakes during adsorption for 3 days
****S4D: Shakes during adsorption for 4 days

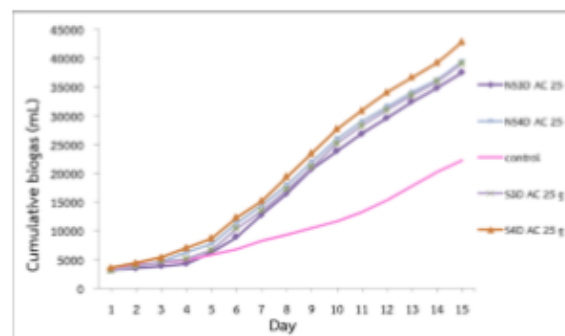
Figure 2 Cumulative of biogas production; non shake during adsorption (a) shake during adsorption (b).

3. ระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่

จากการศึกษาเวลาที่ถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในมูลไก่ก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาการดูดซับ 3 และ 4 day โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ต่อมูลไก่ 1 kg เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการดูดซับแอมโมเนีย ดำเนินการหมักในสภาวะอุณหภูมิเมโสฟิลิก (Mesophilic) คือ อยู่ภายใต้อุณหภูมิ 35 ± 2 °C เขย่าถังหมัก 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการหมัก 15 day ภายใต้การย่อยสลายแบบไร้อากาศ แสดงดัง Figure 3 จากการทดลอง พบว่า ปริมาณก๊าซสะสมของการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพในระยะเวลา 15 day ที่ระยะเวลาการดูดซับ 4 day ให้ปริมาณก๊าซสะสมสูงสุด รองลงมาคือระยะเวลาการดูดซับ 3 day และชุดควบคุมที่ไม่มีการดูดซับ ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าปริมาณก๊าซสะสม 48,200 39,050 และ 22,300 mL ที่สภาวะการเขย่าถ่านกัมมันต์ในระหว่างการดูดซับ พบว่า ระยะเวลาการดูดซับส่งผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อระยะเวลาการดูดซับนานขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งผลของการเพิ่มเวลาในการดูดซับที่ 4 day ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าการดูดซับที่ 3 day โดยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ในระหว่างการดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ถึง 8.76%

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology



*NS3D: Non shakes during adsorption for 3 days

**S3D: Shakes during adsorption for 3 days

***NS4D: Non shakes during adsorption for 4 days

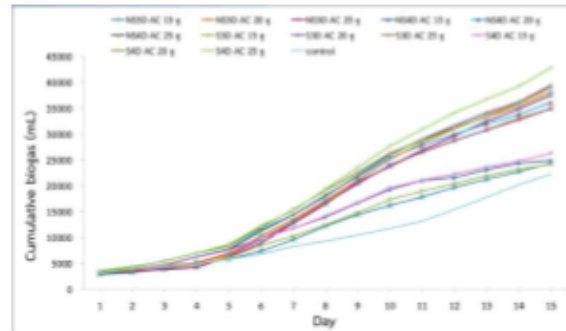
****S4D: Shakes during adsorption for 4 days

Figure 3 Cumulative of biogas production by using activated carbon for adsorption

4. ผลของการเขย่าในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ

การเขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับ ส่งผลต่อการเกิดปริมาณผลิตก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ แสดงดัง Figure 4 จากการทดลองการใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g ในการดูดซับแอมโมเนียจากมูลไก่ ด้วยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ 1 ครั้งต่อวัน ในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ เป็นเวลา 4 day พบว่า ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าการดูดซับที่ไม่มีการเขย่าถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 4 day ถึง 7.94 % ซึ่งที่สภาวะการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ 3 day ภายได้ปริมาณถ่านเดียวกัน โดยใช้วิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ 1 ครั้งต่อวัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงเพียง 39,050 mL การใช้ถ่านกัมมันต์ 25 g เป็นตัวดูดซับ โดยวิธีการเขย่าถ่านกัมมันต์ในช่วงขั้นตอนการดูดซับ 4 day ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าการเขย่าถ่านกัมมันต์ในช่วงขั้นตอนการดูดซับ 3 day ถึง 8.76 % แสดงให้เห็นว่า ผลของการเขย่าถ่านกัมมันต์และการใช้ระยะเวลาการดูดซับมีความสำคัญในการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3
The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



*NS3D: Non shakes during adsorption for 3 days

**S3D: Shakes during adsorption for 3 days

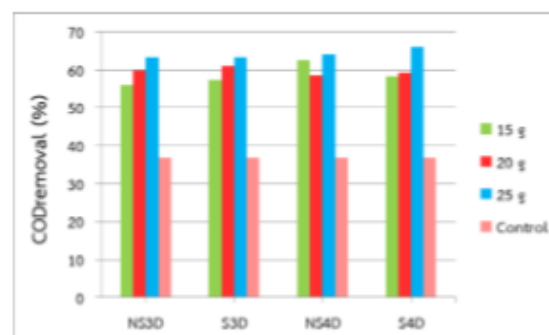
***NS4D: Non shakes during adsorption for 4 days

****S4D: Shakes during adsorption for 4 days

Figure 4 Cumulative of Biogas production none is shakes and shakes during adsorption for 3 – 4 days.

5. ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD (COD removal)

การลดลงของค่า COD ส่งผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณ COD จะลดลงตามระยะเวลาการหมัก ผลการทดลอง การเปลี่ยนแปลงค่า COD ของทุกชุดการทดลองของการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ มีค่าการกำจัด COD อยู่ในช่วง 51.53 – 65.96% ซึ่งผลของการใช้ถ่านกัมมันต์ในปริมาณ 25 g โดยทำการเขย่าถ่านกัมมันต์ระหว่างการดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 4 day หลังจากการหมักผ่านไป 15 day พบว่า ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงที่สุดถึง 65.96% เมื่อเปรียบเทียบกับ ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ ให้ค่าการกำจัด COD 36.84% แสดงดัง Figure 5



*NS3D: Non shakes during adsorption for 3 days

**S3D: Shakes during adsorption for 3 days

***NS4D: Non shakes during adsorption for 4 days

****S4D: Shakes during adsorption for 4 days

Figure 5 COD removal of experiments

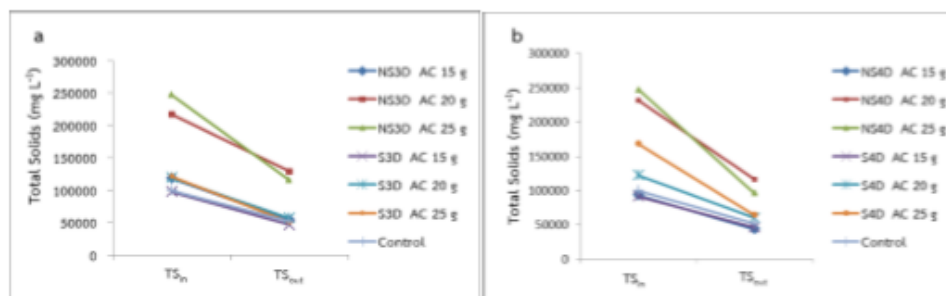
การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology



6. การเปลี่ยนแปลง TS ในระบบการหมัก (Total solid, TS)

จากการทดลองผลของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดของการหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ก่อนเข้าระบบและออกจากระบบ มีค่าการกำจัด TS อยู่ในช่วง 40.60 – 61.68% ผลของการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g โดยทำการเขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ก่อนการหมักเป็นเวลา 4 day พบว่า TS เริ่มต้น 167,892 mg/L หลังจากการหมักผ่านไป 15 day มีปริมาณลดลงเหลือ 64,329 mg/L ซึ่งค่าการกำจัดค่า TS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุดถึง 61.86% แสดงดัง Figure 6b เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ การหมักก๊าซชีวภาพจากชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้ถ่านกัมมันต์ในดูดซับมีประสิทธิภาพ ในการกำจัดค่า TS ค่อนข้างต่ำที่ 47.68 % แสดงดัง Figure 6



**NS3D: Non shakes during adsorption for 3 days

***NS4D: Non shakes during adsorption for 4 days

**S3D: Shakes during adsorption for 3 days

****S4D: Shakes during adsorption for 4 days

Figure 6 Efficiency of suspended solids removal. During adsorption for 3 days

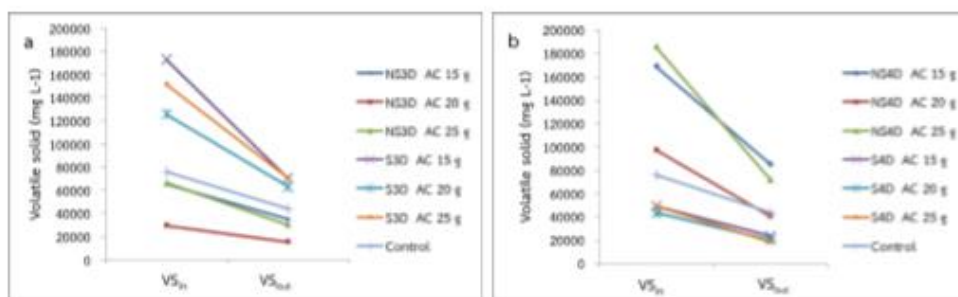
(a) During adsorption for 4 days (b)

7. การเปลี่ยนแปลง VS ในระบบการหมัก (Volatile solid, VS)

จากการทดลองผลของการกำจัดปริมาณของแข็งระเหยง่ายของการหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ก่อนเข้าระบบและออกจากระบบ มีค่าการกำจัด COD อยู่ในช่วง 42.94 – 62.41% ผลของการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g โดยทำการเขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ก่อนการหมักเป็นเวลา 4 day พบว่ามีปริมาณของแข็งระเหยง่าย เริ่มต้น 49,210 mg/L หลังจากการหมักผ่านไป 15 day มีปริมาณลดลงเหลือ 18,496 mg/L ซึ่งค่าการกำจัด VS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุดถึง 62.41% แสดงดัง Figure 4b เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ การหมักก๊าซชีวภาพจากชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้ถ่านกัมมันต์ในดูดซับให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัดค่า VS ค่อนข้างต่ำที่ 31.91% แสดงดัง Figure 7

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



*NS3D: Non shakes during adsorption for 3 days

***NS4D: Non shakes during adsorption for 4 days

**S3D: Shakes during adsorption for 3 days

****S4D: Shakes during adsorption for 4 days

Figure 7 TS_{in} and TS_{out} of the experiments.

สรุป

จากการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ที่ผ่านขั้นตอนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลันจี เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยการศึกษาปริมาณของถ่านกัมมันต์ ระยะเวลาการดูดซับ และผลของการเขย่าถ่านกัมมันต์ในระหว่างขั้นตอนการดูดซับ พบว่า ผลของการใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25 g โดยทำการเขย่าในช่วงขั้นตอนการดูดซับ 1 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการดูดซับ 4 day ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 42,800 mL ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าชุดควบคุมคิดเป็น 47.89% ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด 65.96% มีประสิทธิภาพในการกำจัด TS สูงสุด 61.86% และประสิทธิภาพในการกำจัด VS สูงที่สุด 62.41% จากการทดลองสรุปได้ว่า ปริมาณของถ่านกัมมันต์ ระยะเวลาการดูดซับ และการเขย่าถ่านกัมมันต์ในระหว่างขั้นตอนการดูดซับส่งผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ

คำขอบคุณ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการให้ความช่วยเหลือทางด้านทุนสนับสนุนงานวิจัยภายใต้โครงการผลิตและการพัฒนาศักยภาพการศึกษาด้านพลังงานหมุนเวียนในระดับอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาวิทยาลัยพลังงานและขอขอบพระคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน (สนพ.) ประจำปีการศึกษา 2560 ในการให้ความช่วยเหลือทางด้านทุนสนับสนุนงานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



เอกสารอ้างอิง

- กิติโรจน์ หวันตาหลา, ชยาภาส ทับทอง และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม. 2550. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2550. 2(10): p. 104 – 112.
- พรณิศา บรรจง และเดชา ฉัตรศิริเวช. 2554. การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีระยุทธ ทองหนู. 2552. การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคหมักร่วมกับสาหร่ายทางกระรอก เพื่อใช้เป็นพลังงานเสริมในการอบลดความชื้นแผ่นยางพาราดิบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สิริชัย แยมแบน. 2554. การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่ด้วยระบบบ่อหมักรางของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อัญชลี แท่นนิล. 2553. การย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกร ไบโพลัม และขยะของแข็งชุมชนในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ชั้นตอนและถังปฏิกรณ์เมมเบรน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- AWWA B604. American Water Works Association. 1997. Standard for Granular Activated Carbon. Maryland: American Public Health Association. Washington D.C. U.S.A.
- APHA AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Maryland: American Public Health Association. Washington D.C. U.S.A.
- Changwei Ji. 2017. Reducing HC emissions from a gasoline engine at the starting conditions through activated carbon adsorption. Applied Thermal Engineering. 112: p. 124 – 132.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นางสาวอรไพลิน สมประสิทธิ์

เกิดเมื่อ

23 กุมภาพันธ์ 2536

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2558 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

