กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก การสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาประจำปี 2554 ขอขอบคุณคณะผู้บริหาร บุคลากร โปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และหน่วยงานสนับสนุนภายในมหาวิทยาลัย ที่ให้ความร่วมมือ ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์และเอื้อเฟื้อในทุกด้านเพื่อให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปได้ด้วยดี

และขอขอบคุณผู้นำชุมชน ท่านผู้ใหญ่บ้าน นายกองค์การบริหารตำบลคลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ที่ช่วยอนุเคราะห์หัวเชื้อ รวมถึงผู้นำชุมชน กำนันตำบลบางเขียด อำนวยการสถานีอนามัยบ้านบางเขียด ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลาที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการถ่ายทอดผลงานวิจัยและอำนวยความสะดวกในการจัดทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2560

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

เลข Sirch 11A2A70
วันที่ 17 S.A. 2561
เลขเรียกหนังสือ ๙ ๖๕.๗๗๖
ก27

บทคัดย่อ

ชื่อรายงานการวิจัย : การพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์
ชื่อผู้วิจัย : นางสาวผจงสุข สุธารัตน์
ผู้ช่วยศาสตรจารย์เสาวนิตย์ ชอบบุญ
ดร. นิศากร วิทจิตสมบูรณ์
ดร. อนุมัติ เดชนะ
ปีที่ทำการวิจัย : 2554

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์นั้นคือ เศษอาหารและมูลโคผสมมูลสุกร โดยใช้ถังหมักแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งเริ่มจากการประกอบถังจำนวน 2 ชุด ขนาดขนาด 1,000 ลิตร และใช้เศษอาหารและมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยดำเนินระบบแบทช์ และกึ่งต่อเนื่อง ที่ช่วงอุณหภูมิเมโซฟิลิก (25°C~30° C) ผลการทดสอบแบบแบทช์ของเศษอาหารและมูลสัตว์ พบว่าเมื่อใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.74 และ 0.66 กรัม VS ต่อลิตร·วัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยวันละ 145.04 และ 137.12 ลิตร และให้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าระบบ 0.267 และ 0.275 ลิตรต่อกรัม VS ที่เติมเข้าระบบ ตามลำดับ ขณะที่ผลการทดสอบแบบกึ่งต่อเนื่องของเศษอาหารและมูลสัตว์เมื่อใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.82 และ 0.7 กรัม VS ต่อลิตร·วัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยวันละ 397.85 และ 332.85 ลิตร และให้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าระบบ 0.647 และ 0.630 ลิตรต่อกรัม VS ที่เติมเข้าระบบ ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าถังหมักแบบขั้นตอนเดียวเมื่อดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องสามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการปรุงอาหารภายในครัวเรือนในแต่ละวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACTS

Research Title : The Development of Bio-gas Generating Tank from Organic Waste

Author : Pajongsuk Sutarut
Asst. Prof. Saowanit Chobbun
Dr. Nisakorn Witthajitsomboon
Dr. Anumust Deachana

Year : 2011

The investigation of biogas production from organic waste such as food waste, the mixture of swine and cattle manure by using single-stage bio-gas generating tank was examined. Firstly, two digesters; 1000-liter tank; were conducted to observe the individual degradation and biogas production of organic wastes using both batch and semi-continuous operation at mesophilic temperature (25°C~35° C). Results from batch test, the organic loading rates (OLR) of food waste and the mixture manure were 0.74 and 0.66 g VS/l·d giving the total gas production of 145.04 and 137.12 l/d, and the biogas yield of 0.267 and 0.275 l/g VS added, respectively. In semi-continuous operation, the organic loading rates (OLR) of food waste and the mixture of manure were 0.82 and 0.7 g VS/l·d, d giving the total gas production of 397.85 and 332.85 l/d, and the biogas yield of 0.647 and 0.630 l/g VS added, respectively. Overall, the result of this study indicate that single-stage bio-gas generating tank under semi-continuous operation can give high biogas production both of food waste and the mixture manure, which are effectively used for daily cooking purposes in household.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ (1)

บทคัดย่อ (2)

ABSTRACT (3)

สารบัญ (4)

สารบัญตาราง (6)

สารบัญภาพ (8)

สารบัญกราฟ (9)

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (10)

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas) 3

2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) 4

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ 9

2.4 ระบบถังหมักภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน 12

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องต้นแบบ 17

3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์ 25

3.3 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ 29

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 พัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากถังต้นแบบ 32

4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์ 36

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 49

5.2 ประเด็นปัญหาที่พบ 50

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

5.3 ข้อเสนอแนะ 50

5.4 ผลผลิตจากงานวิจัย 50

เอกสารอ้างอิง 52

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ 57

ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง 65

ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณ 70

ภาคผนวก ง ประมวลภาพการดำเนินการวิจัย 76

ภาคผนวก จ การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ 81

ภาคผนวก ฉ การถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่ชุมชน 89

ภาคผนวก ช การนำเสนอผลงานวิจัย 101

ประวัติผู้ทำรายงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ตามแหล่งวัตถุดิบ	3
ตารางที่ 3.1	ตารางแสดงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประกอบระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพ ต่อ 1 ชุด	17
ตารางที่ 3.2	วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ	28
ตารางที่ 3.3	แผนการวิเคราะห์จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศระบบแบบแบทช์ (Batch)	27
ตารางที่ 3.4	แสดงการออกแบบการทดลองกระบวนการหมักแบบไร้อากาศระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous)	28
ตารางที่ 3.5	แผนการวิเคราะห์จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous)	28
ตารางที่ 4.1	สรุปลักษณะของถังผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบและถังผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง	33
ตารางที่ 4.2	แสดงคุณลักษณะวัตถุดิบเบื้องต้น	37
ตารางที่ 4.3	แสดงคุณลักษณะของสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ที่มีค่า TS ประมาณ 4%	37
ตารางที่ 4.4	ผลการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการดำเนินระบบแบบแบทช์ระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์	41
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD ของเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบแบทช์	42
ตารางที่ 4.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด VS ของเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบแบทช์	42
ตารางที่ 4.7	ผลการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์	45
ตารางที่ 4.8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพ การกำจัด COD ของเศษอาหารและมูลสัตว์	45
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด VS ของเศษอาหารและมูลสัตว์	45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพในการดำเนินระบบแบบแบทซ์และแบบกึ่งต่อเนื่องของเศษอาหารและมูลสัตว์	46
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพจากงานวิจัยอื่นกับงานวิจัยครั้งนี้	47

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1	กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน	8
ภาพที่ 2.2	ถังหมักแบบอัตราต่ำ	13
ภาพที่ 2.3	ถังหมักแบบอัตราสูง	14
ภาพที่ 2.4	ถังหมักแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน	15
ภาพที่ 3.1	ไดอะแกรมแสดงระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์	19
ภาพที่ 3.2	ชุดถังหมักก่อนการประกอบสมบูรณ์	20
ภาพที่ 3.3	ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพก่อนการประกอบสมบูรณ์	22
ภาพที่ 3.4	ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพเมื่อประกอบสมบูรณ์	23
ภาพที่ 3.5	ชุดเตาหุงต้ม	24

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญกราฟ

+	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันในช่วงการเริ่มเดินระบบ	37
กราฟที่ 4.2	แสดงการผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบทช์ชุดการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ	39
กราฟที่ 4.3	แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบทช์ชุดการทดลองที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ	39
กราฟที่ 4.4	ก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบแบทช์ระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์	41
กราฟที่ 4.5	แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์	43
กราฟที่ 4.6	ก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์	44

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor
HRT	Hydraulic retention time คือ ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมัก
OLR	Organic loading rate คือ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบในแต่ละวัน
SS	Suspended Solids คือ ส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้
COD	Chemical Oxygen Demand คือปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมีทั้งในรูปของแข็งและรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ
TKN	Total Kjedahl Nitrogen คือ ปริมาณไนโตรเจนที่ประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน
VS	Volatile Solids
VFA	Volatile Fatty Acid คือ กรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 6 ตัว สามารถละลายน้ำได้ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถกลั่นได้ที่ความดันต่ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สืบเนื่องจากคณะวิจัยได้มีโอกาสลงพื้นที่เพื่อนำนักศึกษาเข้าเยี่ยมชม กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ณ องค์การบริหารส่วนตำบลคลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขา ที่มีกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างง่าย โดยใช้ถังขนาด 1000 ลิตร มาเป็นถังหมัก มีสายยางเชื่อมต่อก๊าซที่ได้จากถังหมักไปสู่ชุดเก็บก๊าซ ซึ่งใช้ถังขนาด 200 ลิตร และ 160 ลิตร จำนวน 2 ชุด โดยถัง 200 ลิตร จะมีการใส่น้ำให้เต็ม และถังใบขนาด 160 ลิตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าคว่ำไว้ด้านบน เพื่อใช้เป็นส่วนเก็บก๊าซ และจากจุดนี้จะมีสายยางเชื่อมต่อไปยังหัวเตาก๊าซสำหรับใช้งานต่อไป โดยถังผลิตก๊าซนี้เป็นถังที่ถูกพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร ในครัวเรือนที่มีโรงเลี้ยงสุกรขนาดย่อม ซึ่งเดิมการเลี้ยงสุกรเป็นอาชีพเสริมของคนใน ตำบลคลองรี

จากการสอบถามจากผู้ใช้ถังผลิตก๊าซชีวภาพชนิดนี้พบว่าคุณสมบัติของถังดังกล่าว มีข้อบกพร่องที่ต้องปรับปรุงคือ แรงดันของก๊าซที่ผลิตได้มีแรงดันต่ำ ไม่สามารถใช้กับหัวเตาก๊าซปกติได้ ต้องใช้กับหัวเตาที่มีการขยายขนาดรูของหัวเตาเพิ่ม และสามารถใช้ได้เฉพาะไฟขนาดปานกลางเท่านั้น จึงใช้ระยะเวลานานในการปรุงอาหาร นอกจากนี้ในปัจจุบันการเลี้ยงสุกรในตำบลคลองรีลดลง ทำให้เป็นการยากในการหามูลสัตว์เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงมีการนำเศษอาหารเหลือทิ้งในครัวเรือนมาเป็นวัตถุดิบแทน โดยเป็นการลองผิดลองถูกของผู้ใช้ ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ไม่แน่นอน กับทั้งบางครั้งประสบปัญหาระบบการผลิตหยุดชะงัก ซึ่งระบบนี้ยังไม่มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการนำขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร มูลสัตว์ มาเป็นวัตถุดิบในการเดินระบบรูปแบบต่างๆ สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

คณะวิจัยได้ตระหนักถึงความจำเป็นในการตอบโจทย์ตามความต้องการของประชาชนในชุมชน ซึ่งจะเป็นการวางรากฐานสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพถังผลิตก๊าซชีวภาพขององค์การบริหารส่วนตำบล คลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบของถังผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับนำขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร มูลสัตว์ มาเป็นวัตถุดิบ

3) เพื่อถ่ายทอดความรู้ที่ได้แก่ชุมชนและบริการความรู้แก่บุคคลทั่วไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1) สร้างถังผลิตก๊าซชีวภาพและออกแบบเพิ่มเติมจากถังผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบ ขนาด 1,000 ลิตร ขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองรี ซึ่งเป็นระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว (single stage digester)

2) สถานที่ในการศึกษาวิจัย ได้แก่ ศูนย์วิทยาศาสตร์ และอาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3) ใช้ขยะอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองคือ เศษอาหารได้จากโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา มูลสัตว์จากฟาร์มเลี้ยงสุกร และโรงเลี้ยงโคเนื้อ จากกลุ่มเกษตรกรจังหวัดสงขลา

4) หัวเชื้อเริ่มต้นได้จากหัวเชื้อจากถังหมักขององค์การบริหารส่วนตำบล คลองรี และมูลโคจากกลุ่มเกษตรกรจังหวัดสงขลา

5) ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ด้วยระบบแบบแบทช์และระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ถังผลิตก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ ตรงตามความต้องการของชุมชน
2) ได้ข้อมูลพื้นฐานนำไปสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ขยะอินทรีย์เป็นวัตถุดิบ เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดความรู้แก่ชุมชน
3) เป็นแนวทางการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการลดปริมาณของเสียและปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชน
4) ขยายเครือข่ายความร่วมมือของชุมชนกับมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยก๊าซชีวภาพดังกล่าวมีองค์ประกอบเป็นก๊าซต่างๆหลายชนิด อาทิเช่น ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตามลำดับ ดังแสดงสัดส่วนเป็นร้อยละโดยปริมาตรไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในขณะการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ องค์ประกอบวัตถุดิบ อุณหภูมิ pH ระยะเวลาการกักเก็บ สารอาหาร สารพิษ (Deublein and Steinhauser. 2011)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ตามแหล่งวัตถุดิบ (Rasi *et al.* 2007)

องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	หน่วย	ขยะอินทรีย์	จากน้ำเสีย	จากพื้นที่ฝังกลบ
ก๊าซมีเทน	%vol	60-70	55-65	45-55
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	%vol	30-40	35-45	30-40
ก๊าซไนโตรเจน	%vol	<1	<1	5-15
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	ppm_v	10-2000	10-40	50-300

ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการให้ความร้อนและเดินเครื่องยนต์ได้ เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซที่มีค่าความร้อนสูงและมีสมบัติติดไฟได้

2.1.1 คุณสมบัติและการเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติเบากว่าอากาศประมาณครึ่งหนึ่ง (น้ำหนักโมเลกุล 16.04) ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยไม่มีรสไม่มีสีไม่มีกลิ่น แต่เนื่องจากกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซอื่นผสมอยู่ด้วย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงมีกลิ่นเล็กน้อยทำให้ไม่เป็นที่นิยมใช้ ทั้งที่แท้จริงแล้วเป็นก๊าซนี้ไม่ได้ทำให้รสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลงแต่ประการใด เนื่องจากเมื่อมีการเผาไหม้ ก๊าซดังกล่าวก็

ระเหยไป (มานิตย์ อำพันธุ์. 2544) การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ค่าพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วน (%) ของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในเนื้อก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- ค่าความร้อนประมาณ 21.5 MJ/m^3 (CH_4 60 %)
- ความเร็วเปลวไฟ 25 cm/s
- อัตรา A/F ในทางทฤษฎี 6.19 $m^3 air/m^3 gas$
- อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ 650° C
- อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH_4 600° C
- ค่าความจุความร้อน (Cp) 1.6 $kJ/m^3 \cdot ^{\circ}$ C
- ความหนาแน่น 1.15 kg/m^3

2.1.2 รูปแบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์มีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่

- ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน/ในรูปของความร้อนโดยตรง ได้แก่ การใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงาน (ทดแทนการใช้น้ำมันเตา) หรือใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือน เป็นต้น
- ใช้ในการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า ได้แก่ การป้อนก๊าซชีวภาพเข้าเครื่องยนต์ก๊าซเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ในโรงงาน หรือจำหน่ายไฟฟ้าเข้าระบบสายส่ง หรือต่อเครื่องยนต์เข้าเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำใช้ในการเกษตร เป็นต้น
- การผลิตพลังงานความร้อนร่วม (Cogeneration System) เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนร่วมกันซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือผลิตความร้อนเพียงอย่างเดียว

2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)

การเกิดของก๊าซชีวภาพนี้เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือของเสียต่าง ๆ โดยอาศัยการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียหลายชนิดต่อเนื่องกันในสภาพที่ไร้อากาศ ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยที่สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียหลายชนิด เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ

$CH_3CH_2COOH+2H_2O \rightarrow CH_3COOH+CO_2+3H_2$

(propionate)

$CH_3CH_2CH_2COOH+2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH+2H_2$

(butyrate)

$CH_3CHOHCOOH+H_2O \rightarrow CH_3COOH+CO_2+2H_2$

(lactate)

$CH_3CH_2OH+2H_2O \rightarrow CH_3COOH+2H_2$

(ethanol)

2.2.3 กระบวนการมีทาโนเจเนซิส (Methanogenesis)

ขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่หมักย่อยสารพวกกรดระเหยได้เป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียที่เป็น acetotrophic สำหรับแบคทีเรีย hydrogenotrophic เป็นพวกที่ผลิตมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีกว่าพวกที่ใช้กรดระเหย ดังนั้นขั้นตอนนี้กรดระเหยได้ และไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ

$4H_2+CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

$4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$

$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$

$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$

$4(CH_3)3N + 6H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$

$4CO + 2H_2O \rightarrow CH_4 + 3CO_2$

ชนิดของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทน

แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซมีเทนเป็นแบคทีเรียชนิด Anaerobic bacteria พวก Methanogenic bacteria ซึ่งจะพบในธรรมชาติตามโคลนสีดำ ดิน มูลของสัตว์กินหญ้า ผิวน้ำทะเลสาบ ขยะ แหล่งน้ำเน่าๆ ฯลฯ ในปี 1956 Barker ได้ทำการแยกแบคทีเรียพวก methanogenic bacteria ออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันตามรูปร่าง (Morphological group) ดังนี้

1. แบคทีเรียพวก Methanogen ที่มีรูปร่างเป็นท่อน

1.1 ชนิดไม่สร้างสปอร์ (non sporulating rod-shaped cells)

Methanobacterium solmgenii

Methanobacterium formicicum

Methanobacterium propionicum

1.2 ชนิดสร้างสปอร์ (sporulating rod-shaped cells)

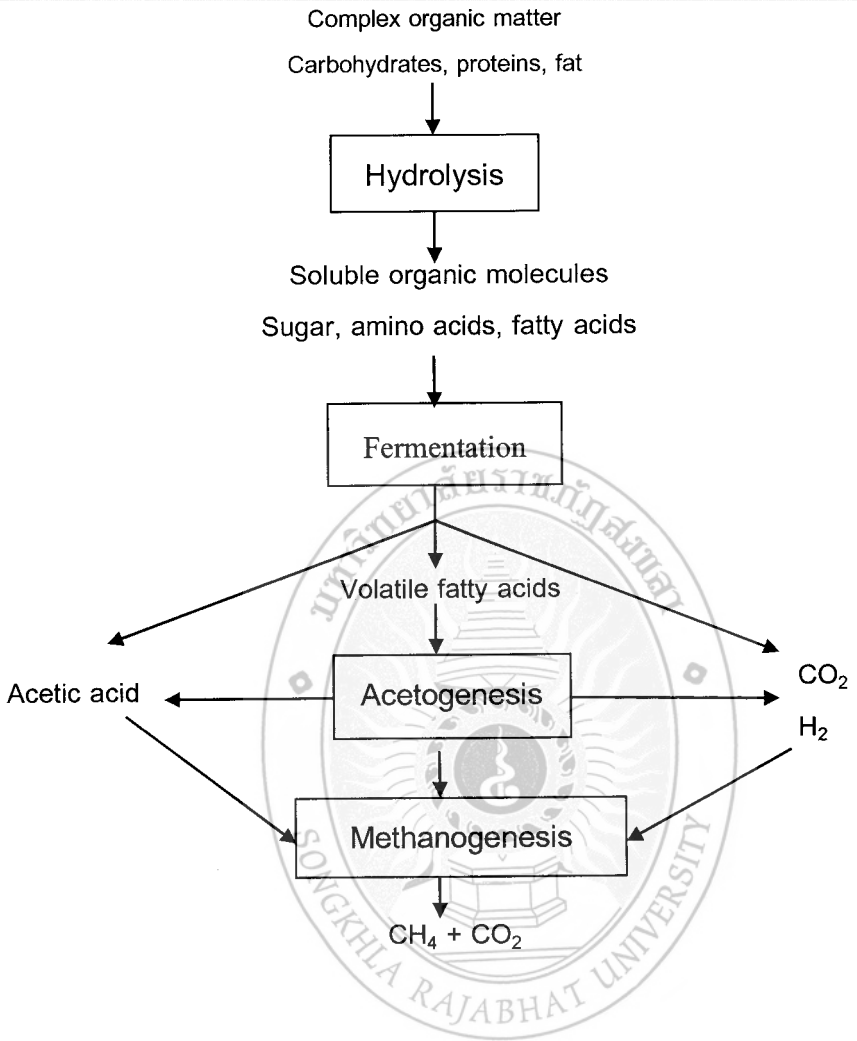
Methanobacterium omelianskii

2. แบคทีเรียพวก Methanogen ที่มีรูปร่างกลม

2.1 Cell not sarcina arrangement ได้แก่ *Methanococcus vaniellii, Methanococcus mazei*

2.2 Cell in sarcina arrangement ได้แก่ *Methanosarcina methanica, Methabosarcina barkerii*

การดำรงชีพของแบคทีเรียพวก Methane formers มีความไวต่อการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมมากกว่าแบคทีเรียพวก Acid formers ดังนั้นจำนวนประชากรของแบคทีเรียชนิด Methane formers จึงมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมเพียงเล็กน้อยอาจทำให้แบคทีเรียพวก Methane formers ชะงักการเจริญแต่กระนั้นแบคทีเรียพวก Acid formers ยังคงเจริญได้รวดเร็ว ทำให้มีปริมาณกรดอินทรีย์ในระบบค่อยๆสะสมเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อยๆ pH จึงต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อการดำรงชีพ



ภาพที่ 2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

ที่มา: : Zheng *et al.* (2014)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.3.1 อุณหภูมิในการเดินระบบ

อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนอย่างยิ่งในระบบการย่อยแบบไร้อากาศ จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเดินระบบสำหรับการย่อยแบบไร้อากาศแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) (Gerardi, M. H. 2003)

- อุณหภูมิที่เหมาะที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ 20– 45 องศาเซลเซียส แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37– 41 องศาเซลเซียส โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็น เมโซฟิลิก
- เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 50 – 52 องศาเซลเซียสแต่ก็สามารถท้างานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 องศาเซลเซียส

แบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิก เสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า

2.3.2 ค่า pH (ความเป็นกรด-ด่าง)

ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่า pH ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมด หรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดด่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH_4 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร pH จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8 (Kondusamy และ Kalamdhad, 2014)

2.3.3 วัตถุดิบที่ป้อนเข้าระบบ

สารอินทรีย์ทุกชนิดสามารถนำมาใช้วัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วนิยมใช้วัสดุที่เป็นของเสียเหลือทิ้ง เช่น น้ำเสีย และขยะอินทรีย์ มาผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเป็นการลดปริมาณของเสียไม่มีต้นทุนของวัตถุดิบ และยังเป็นการนำของเสียมาเพิ่มมูลค่า

ขยะอินทรีย์ (organic waste) คือ ขยะหรือของเสียที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ แบ่งออกเป็น วัสดุสีน้ำตาล (brown material) คือ ขยะอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนมาก เช่น กิ่งไม้แห้ง ใบไม้แห้ง ฟางข้าว แกลบ เปลือกถั่ว เป็นต้น วัสดุสีเขียว (green material) คือ ขยะอินทรีย์ที่มีความชื้น มีองค์ประกอบไนโตรเจนสูง เช่น เศษผักผลไม้ เศษอาหาร มูลสัตว์เป็นต้น (Deublein และ Steinhauser, 2008)

จากการศึกษากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าสามารถใช้สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ พวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นวัสดุที่ใช้หมักก๊าซชีวภาพได้ การใส่เศษอาหารแทนมูลสัตว์จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้ เนื่องจากทั้งมูลสัตว์และเศษอาหารต่างก็เป็นสารที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่เหมือนกัน ทั้งนี้บทบาทของจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่ขับน้ำย่อยออกมาย่อยสารโมเลกุลใหญ่ พวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้เป็นสารโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำก็ยังคงเดิม ส่วนการย่อยไขมันจะย่อยได้ยากกว่าสารอินทรีย์ตัวอื่นๆ เพราะต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิปกติ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ขยะอินทรีย์ที่มีปริมาณไขมันจำนวนมากเติมลงในถังผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรด ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กแล้วขับสารพวกกรดระเหย โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่ต้องการอากาศ ดังนั้นการออกแบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะต้องเป็นระบบปิดที่อากาศภายนอกเข้าในถังหมักไม่ได้ (Gerardi, M. H. 2003)

2.3.4 อัตราการป้อนสารอินทรีย์

อัตราการป้อนสารอินทรีย์ หรือ Organic Loading Rate, OLR เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายปริมาณสารอินทรีย์หรือวัตถุดิบที่เติมเข้าสู่ถังหมักในแต่ละครั้งต่อช่วงเวลา โดยปริมาณสารตั้งต้นสามารถใช่ค่า TS, VS COD หรือ BOD เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยการปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมของระบบการย่อยสลายอินทรีย์แบบไร้อากาศ อยู่ในช่วงประมาณ 1-15 g VS/m^3.d ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของถังหมักที่ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Kondusamy และ Kalamdhad, 2014)

2.3.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อ ไนโตรเจนของขยะอินทรีย์

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนขอขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8–30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ คือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูก Methanogen นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเอง และจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio ต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวน Methanogen ลดลง นอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (Zheng *et al*. 2014)

2.3.6 ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมัก (Hydraulic Retention Time, HRT)

ระยะเวลากักเก็บเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมประสิทธิภาพ ของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ คือระยะเวลาทั้งหมดที่สารอินทรีย์อยู่ในระบบ โดยระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตแก๊สชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลง ขณะเดียวกันการที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า TS อุณหภูมิขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไหร่โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร (อวัสดา, 2545)

ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบ (solid retention time, SRT) หมายถึงมวลของของแข็งภายในระบบหารด้วยมวลของของแข็งที่ปล่อยออกจากระบบต่อวัน ในถังหมักแบบธรรมดาที่ไม่มีการหมุนเวียนตะกอน มีระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ภายในระบบจะเท่ากับระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย

(SRT=HRT) แต่ในถังหมักที่มีการหมุนเวียนตะกอน มีระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ภายในระบบมากกว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (SRT>HRT)

$$HRT = SRT = volume/flow\ rate = V/Q$$

2.3.7 การกวน (Mixing)

การกวนตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงป้องกันการเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ตามจุดต่างๆ ในถังหมัก รวมถึงมีส่วนช่วยในการกระจายความร้อนให้อุณหภูมิเท่ากันตลอด ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น การกวนจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของถังหมักสำหรับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ การกวนผสมภายในถังหมักสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เครื่องกวน (Mechanical mixing) เช่น ใบพัด การใช้เครื่องสูบผ่านท่อนำ (Pumping draft tube) และ หมุนเวียนตะกอนปั๊ม (Recycling of sludge by pump)

Karim และคณะ (2005) ศึกษาผลของการกวนที่มีต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งใช้ถังหมักแบบ continuous stirred tank reactor (CSTR) ขนาด 3.7 ลิตร และใช้มูลวัวที่เป็นของเหลวผสมกับมูลวัวที่เป็นของแข็ง ในอัตราส่วน 5% 10% และ 15% ของมูลวัวที่เป็นของแข็ง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 35°C และมีระยะเวลากักเก็บ (HRT) 16.2 วัน พบว่าการหมักที่มีการกวนจะทำให้เกิดก๊าซได้มากขึ้นกว่าการหมักที่ไม่มีการกวนประมาณ 10 -30% และปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามลำดับอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของมูลวัวที่เป็นของแข็งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นการกวนจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการหมักสำหรับวัตถุดิบที่มีส่วนผสมของของแข็ง

2.3.8 สารยับยั้งการเจริญเติบโต

สารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน, สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ โลหะหนักบางประเภท (เช่น ทองแดง, นิเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่นๆ) ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

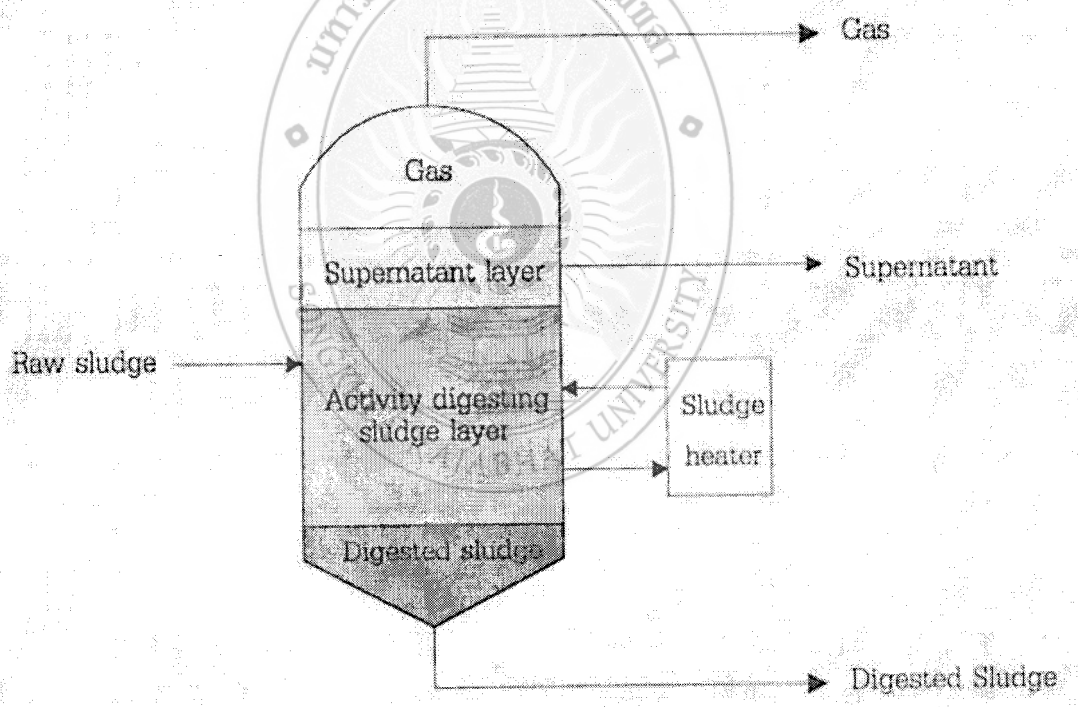
2.4 ระบบถังหมักภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

ระบบถังหมักภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ละแบบมีลักษณะและความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกัน (มั่นสิน, 2542) คือ

2.4.1 ถังหมักแบบธรรมดา (conventional anaerobic digester) หรือถังหมักตะกอนอินทรีย์ (sludge digester) ระบบถังหมักแบบนี้ใช้ในการบำบัดตะกอนอินทรีย์ (sludge) จากระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) แบ่งออกเป็น

ก. ถังหมักแบบอัตราต่ำ (low rate digester)

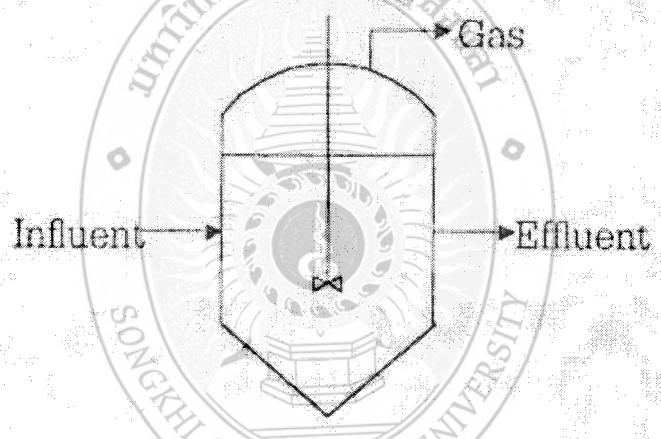
เป็นถังหมักที่ไม่มีการกวนให้กับตะกอนอินทรีย์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังหมักจึงช้าและไม่ทั่วถึง ของเหลวและตะกอนในถังหมักจะแยกออกเป็นส่วน ๆ คือ 1. Supernatant layer เป็นชั้นของน้ำที่ตะกอนแยกตัวออก 2. activity digesting sludge layer เป็นชั้นที่มีการย่อยสลายตะกอน มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตหลายชนิดในชั้นนี้ 3. digested sludge เป็นตะกอนที่ย่อยสลายแล้วและตกลงสู่ก้นถัง แสดงดังภาพที่ 2.2



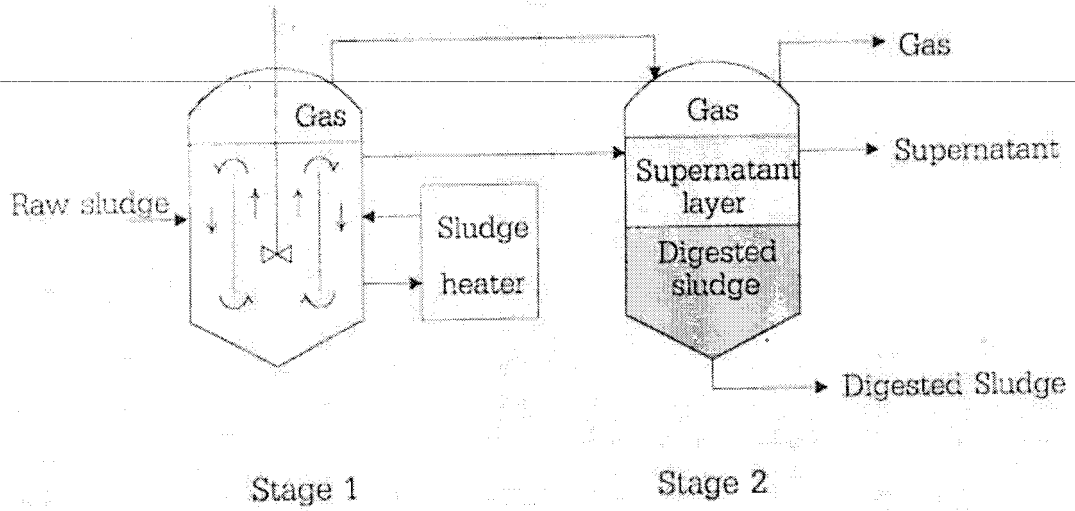
ภาพที่ 2.2 ถังหมักแบบอัตราต่ำ
ที่มา: มั่นสิน (2542)

ข. ถังหมักแบบอัตราสูง (high rate digester)

เป็นถังหมักแบบ ถังหมักแบบ CSTR ที่มีการกวนผสมอย่างทั่วถึง ปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าแบบแรก เนื่องจากจุลินทรีย์จะสัมผัสกับน้ำเสียได้ทั่ว แต่น้ำที่ไหลออกมาต้องมีการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกก่อน แสดงดังภาพที่ 2.2 ส่วน ภาพที่ 2.3 เป็นถังหมักแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน โดยมีการแยกตะกอนอินทรีย์ออกจากถังชุดที่สอง ทำ ให้ได้ตะกอนอินทรีย์ย่อยแล้วที่มีความเข้มข้นสูงและปล่อยน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำ (มีความสกปรกน้อย)



ภาพที่ 2.3 ถังหมักแบบอัตราสูง
ที่มา: มั่นสิน (2542)



ภาพที่ 2.4 ถังหมักแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน
ที่มา: มั่นสิน (2542)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cho และคณะ (1995) ศึกษาการพัฒนาระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนของเศษอาหารในประเทศเกาหลีที่มีของแข็งทั้งหมด 20 เปอร์เซ็นต์ จากระบบขั้นตอนเดียว ซึ่งมีปัญหาคือเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยขึ้นในถังหมักทำให้ไปยับยั้งส่วนของการสร้างก๊าซมีเทน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนของเศษอาหารแบบสองขั้นตอนที่ประกอบด้วยถังกรดขนาด 1 ลิตร และหมักก๊าซขนาด 8 ลิตร พบว่าระบบสองขั้นตอน สามารถแก้ปัญหานี้ได้ เพราะกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในถังหมักกรดจะถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ในถังหมักก๊าซ โดยที่สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดลงได้ 87-90 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งระเหยจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ และมี methane yield เท่ากับ 405-415 ml/g VS

Sosnowski และคณะ (2003) ศึกษาผลของการผลิตก๊าซมีเทนของตะกอนของเสียและขยะเทศบาลที่ได้คัดแยก ที่สภาวะ thermophilic และ mesophilic แบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง คือ โดยชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ใช้ระบบการหมักแบบขั้นตอนเดียว ในถังหมักขนาด 40 ลิตร โดยในชุดการทดลองแรกใช้ตะกอนของเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาล primary sludge และ activated sludge เป็นสารตั้งต้น หมักที่สภาวะ thermophilic และชุดการทดลองที่ 2. ใช้ตะกอนของเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (75 เปอร์เซ็นต์) ผสม

กับขยะเทศบาลที่ได้คัดแยก (25 เปอร์เซ็นต์) การทดลองที่ 3 4 และ 5 ใช้ระบบสองขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยถังหมักกรดแบบ CSTR ที่สภาวะ thermophilic (56^{o}C) และถังหมักก๊าซที่สภาวะ mesophilic (36^{o}C) โดยในชุดการทดลองที่ 3 ใช้ขยะเทศบาลที่ได้คัดแยกเป็นสารตั้งต้นเพียงชนิดเดียว ชุดการทดลองที่ 4 ใช้ตะกอนของเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาล ชุดการทดลองที่ 5 ใช้ตะกอนของเสียและขยะเทศบาลที่ได้คัดแยกผสมกัน พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ในทุกการทดลอง และ biogas productivity มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 และ 0.6 l/g VSS add ซึ่งขึ้นอยู่กับ substrate ที่ใช้และชนิดของถังหมักด้วย

Rene และคณะ (2007) ได้ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการใช้วัตถุดิบหมักแบบร่วมระหว่างมูลสุกร เศษผลไม้ เศษผัก และของเสียจากโรงฆ่าสัตว์ ภายในถังหมักระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้ขนาดถังหมัก 2 ลิตรและปริมาตรใช้งาน 1.8 ลิตร ภายใต้อุณหภูมิช่วงปานกลาง (mesophilic) ที่อุณหภูมิ 35^{o}C โดยทดลองเปลี่ยนสัดส่วนอัตราการป้อนของสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (OLR) อยู่ในช่วง 0.14 – 0.34 kg VS/m^{3}·d โดยควบคุมระยะเวลาการกักเก็บให้คงที่และปรับเปลี่ยนสัดส่วนของวัสดุป้อนในสัดส่วนต่างๆ ผลการทดลองพบว่าเมื่อหมักร่วมระหว่างสองวัตถุดิบขึ้นไปจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าการใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียว โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพและปริมาณผลได้ของก๊าซมีเทน

Nagao *et al.* (2012) ศึกษาผลของการผลิตก๊าซมีเทนจากเศษอาหาร โดยถังหมักขั้นตอนเดียวแบบ CSTR ปริมาตรใช้งาน 3000 ลิตร ที่สภาวะ mesophilic (37^{o}C) เมื่อป้อนของสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบในช่วง 3.7-12.9 kg VS/m^{3}·d พบว่าระบบมีความเสถียรแม้ใช้อัตราการป้อนของสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ ในปริมาณสูง นั้นคือ 9.2 kg VS/m^{3}·d เมื่อดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 187 วัน โดยที่สามารถลดปริมาณของแข็งระเหยได้ 91.8% เปอร์เซ็นต์ และมี methane yield เท่ากับ 455 ml/g VS

Wang และคณะ (2014) ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการใช้วัตถุดิบหมักแบบร่วมระหว่างเศษอาหารและมูลไก่ ภายในถังหมัก CSTR ขนาด 5 ลิตร และปริมาตรใช้งาน 3.5 ลิตร ภายใต้สภาวะเมโซฟิลิก (35^{o}C) ดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้เศษอาหารและมูลไก่เป็นวัตถุดิบ จากการทดลองพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ โดยเมื่อป้อนของสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (OLR) สูงสุดที่ 2.50 kg VS/m^{3}·d ให้ค่ามี methane yield สูงสุด เท่ากับ 507.58 ml/g VS และ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 2.11 L/L·d

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพ จากเครื่องต้นแบบจากถังผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 ลิตร ขององค์การบริหารตำบลคลองรี ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์ได้แก่เศษอาหารและมูลสัตว์ โดยดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล ณ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ซึ่งมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 พัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องต้นแบบ

3.1.1 การออกแบบและประกอบระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพ

เป็นการทดลองออกแบบถังผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับการศึกษาและติดตามระบบ โดยง่ายต่อการเก็บตัวอย่างมาทำการศึกษา สามารถทราบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพแรงดันก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะพิจารณาถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ควบคู่กันไปด้วย ติดตั้ง ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ และทดสอบการใช้ระบบ

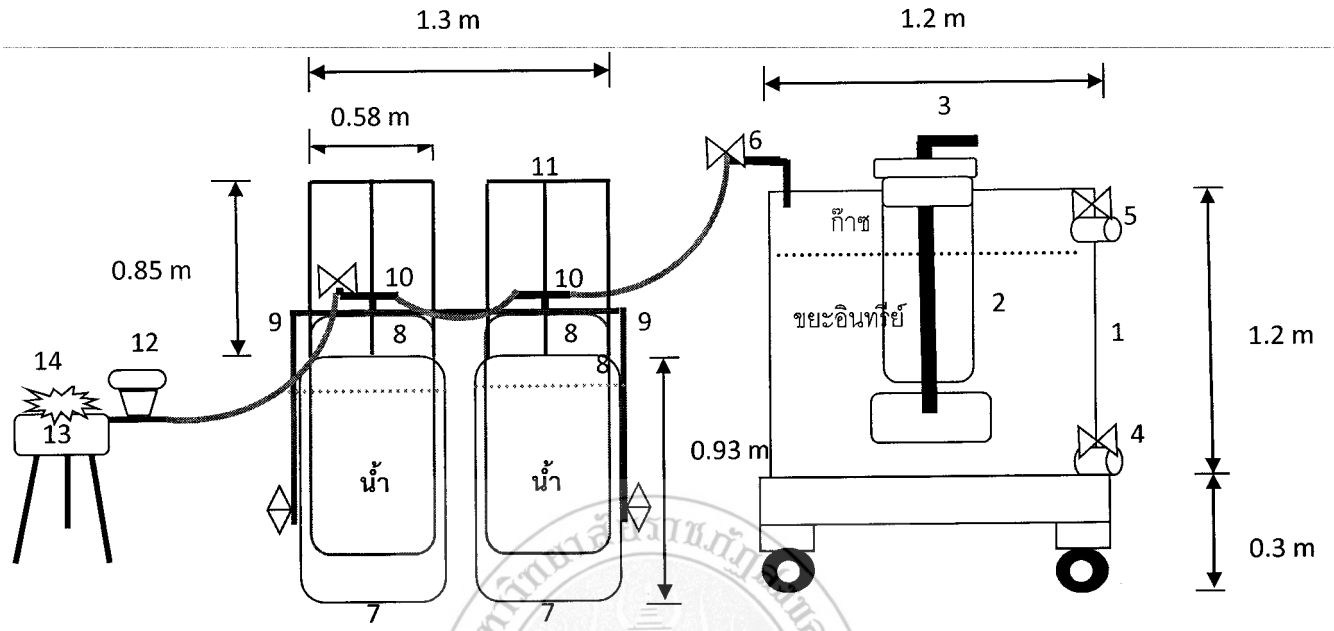
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประกอบระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพ ต่อ 1 ชุด

ลำดับ	วัสดุ	จำนวน
1	ถังขนาด 1,000 ลิตร	1
2	ถังขนาด 200 ลิตร	2
3	ถังขนาด 160 ลิตร	2
4	ท่อพีวีซี ขนาด 3 นิ้ว ความยาว 4 เมตร/เส้น	1
5	ท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว ความยาว 4 เมตร/เส้น	1
6	ข้อต่อตรงเกลียวนอก 3 นิ้ว	3
7	ข้อต่อตรงเกลียวใน 3 นิ้ว	3
8	ข้อต่อเกลียวนอก 4 หุน (1/2 นิ้ว)	4

ลำดับ	วัสดุ	จำนวน
9	ข้อต่อเกลียวใน 4 หุน (1/2 นิ้ว)	4
10	สามทาง 4 หุน (1/2 นิ้ว) เกลียวนอกและเกลียวใน	2
11	ข้อต่ออุดเกลียว ขนาด 1 นิ้ว +ปะเก็น	2
12	แคล๊มป์ กิ๊ปจับท่อ แบบ 2 ขา	8
13	บอลวาล์ว	4
14	หัวเตาก๊าซปิคนิค พร้อมขาตั้ง	1
15	สายยาง ขนาด 1/2 นิ้ว (10 เมตร)	1
16	เหล็กเส้นกลม SR-24 ขนาด RB 12 ยาว 10 เมตร	1
17	ปะเก็นยางข้อต่อ	4
18	ลูกล้อ	4
19	หัวปรับแรงดันก๊าซ	1
20	สายยางท่อก๊าซ ขนาด 4 เมตร	1

(1) ชุดถังหมัก (Digester)

ตัวถังทำด้วยพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) ทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 1,000 ลิตร มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 1 × 1.2 เมตร มีความสูง 1.16 เมตร โดยมีปริมาตรความจุ 1,000 ลิตร มีปริมาตรการหมัก (working volume) 750 ลิตร ติดตั้งท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว มีความยาว 80 เซนติเมตร เพื่อเป็นท่อสำหรับป้อนวัตถุดิบ ภายในช่องป้อนวัตถุดิบมีการติดตั้งใบพัด (Agitator) สำหรับกวน โดยที่เพลาของชุดกวนนี้ติดอยู่กับฝาของถังหมักและมีชุดประกอบเพลาลักษณะเป็นปลอกสวมเพลาอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้เพลาแกว่งขณะหมุนใบพัด ซึ่งอาจทำให้ถังหมักรั่วได้ มีใบพัดติดอยู่ที่ปลายเพลา มีการเจาะด้านล่างของถังต่อเป็นท่อ มีวาล์วสำหรับควบคุมการปิดเปิดเพื่อเป็นท่อสำหรับถ่ายวัสดุที่ผ่านการหมักมาวิเคราะห์ บริเวณด้านข้างของถังหมักใส่ท่อพีวีซีพร้อมวาล์วควบคุมการปิดเปิดสำหรับถ่ายของเหลวส่วนเกินเพื่อควบคุมระดับของเหลวในถังหมักให้ปริมาตรการหมักคงที่ ส่วนด้านบนของถังหมักมีท่อต่องอ สำหรับลำเลียงก๊าซที่ผลิตได้ไปยังชุดเก็บก๊าซ ไดอะแกรมแสดงระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ และชุดถังหมักก่อนการประกอบสมบูรณ์ ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2



ชุดเตาหุงต้ม

12. หัวปรับแรงดันก๊าซ
13. ฐานรองอุปกรณ์หุงต้มขนาด 30 เซนติเมตร
14. หัวเตา

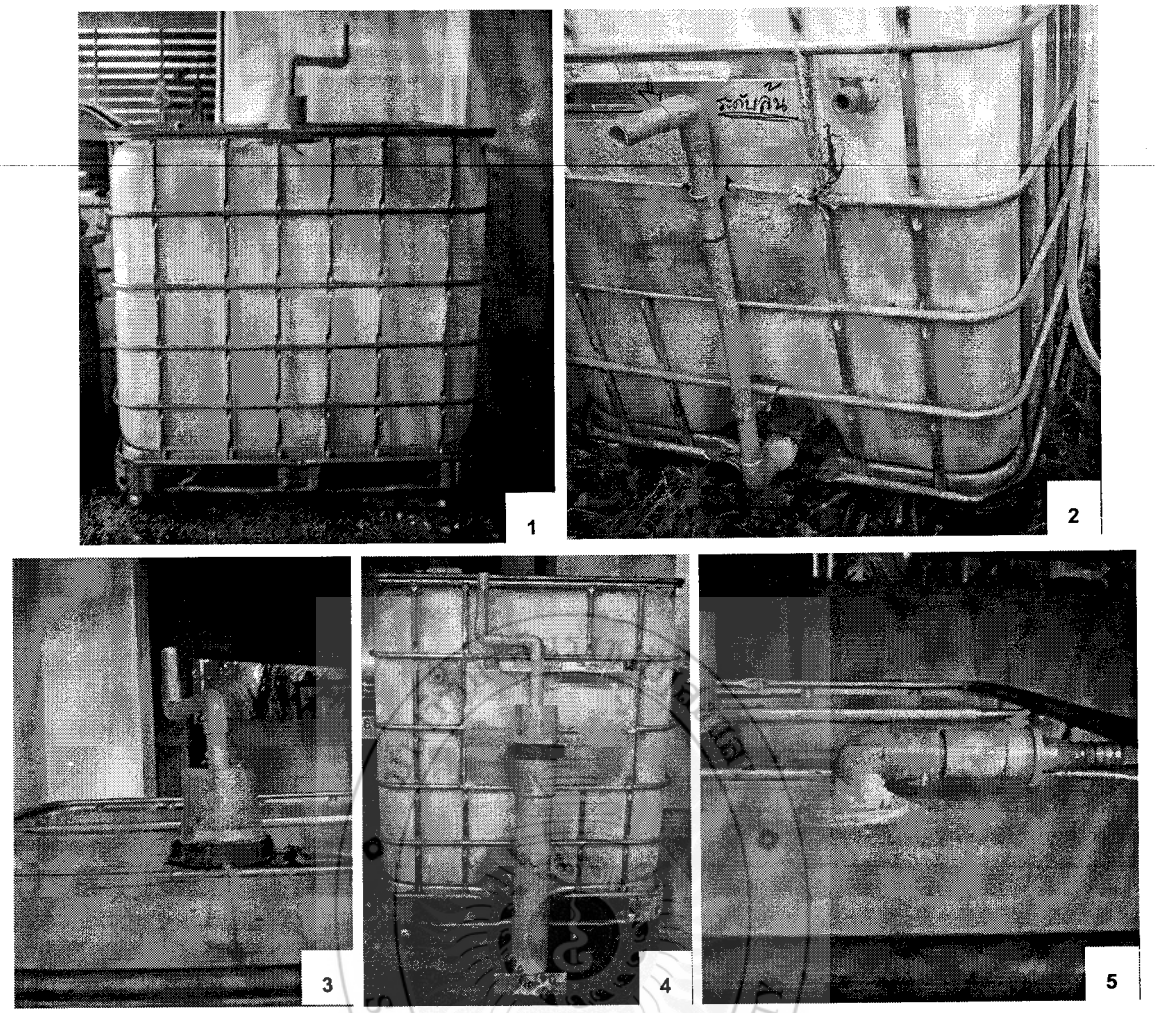
ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ

7. ถัง PE ขนาด 200 ลิตร
8. ถัง PE ขนาด 160 ลิตร คว่ำ (ถังลูกลอย)
9. ชุดตัวล็อคเพิ่มแรงดันก๊าซ (PVC ½ นิ้ว)
10. ชุดสามทาง PVC ½ นิ้ว
11. โครงเหล็กสำหรับควบคุมทิศทางถังลูกลอย

ชุดถังหมัก

1. ถังพลาสติก HDPE ขนาด 1,000 ลิตร
2. ท่อเติมขยะอินทรีย์พร้อมใบพัด
3. ชุดใบพัด
4. ท่อเก็บตัวอย่าง PVC 1 นิ้ว
5. ท่อน้ำทิ้ง PVC ½ นิ้ว
6. ข้องอเก็บก๊าซ

ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมแสดงระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

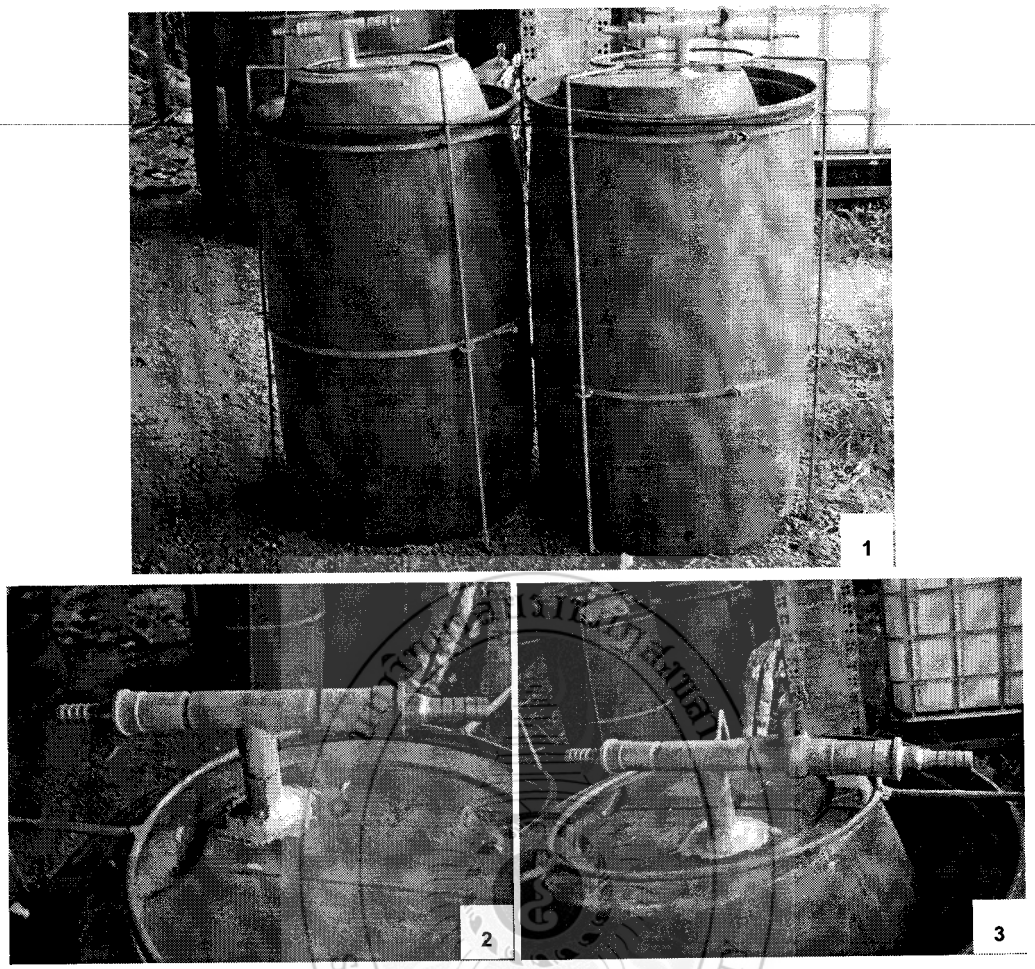


ภาพที่ 3.2 ชุดถังหมักก่อนการประกอบสมบูรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ถังหมักขนาด 1000 ลิตร
2) ท่อน้ำล้น
3) ฝาปิดถังพร้อมท่อใส่วัตถุดิบและชุดใบพัด
4) ลักษณะท่อใส่วัตถุดิบพร้อมชุดใบพัด ก่อนการติดตั้งในถังหมัก
5) ท่อต่อสายก๊าซ

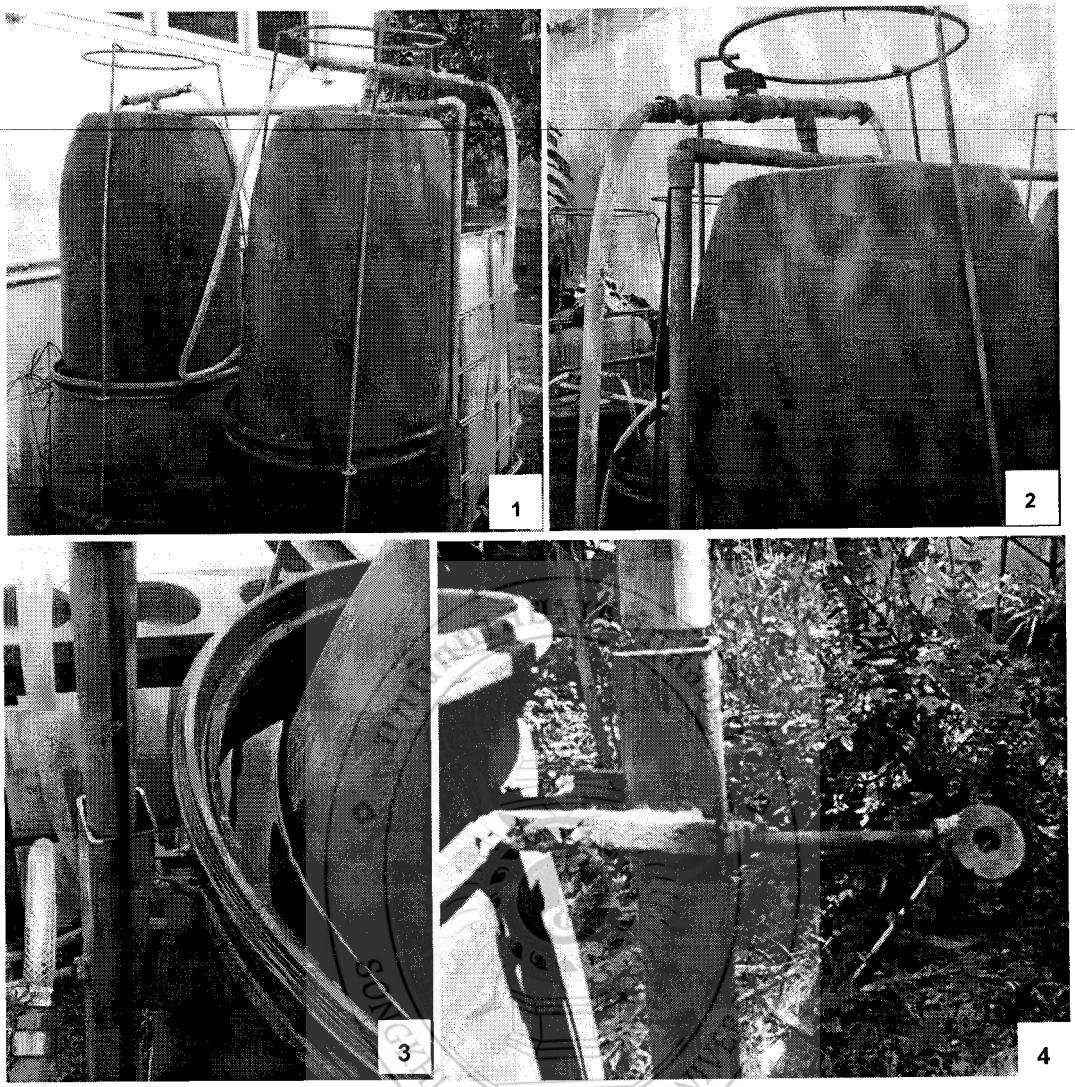
(2) ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ (Gas Collector)

ประกอบด้วยชุดถังเก็บก๊าซจำนวน 2 ชุด นั้นคือมีถังเก็บน้ำขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ถัง ที่ตั้งหงายเพื่อบรรจุน้ำสำหรับเป็นตัวกั้นไม่ให้ก๊าซรั่วออกนอกถังเก็บก๊าซ และครอบด้วยถังพลาสติกขนาด 160 ลิตร จำนวน 2 ถัง คว่ำลงในถังน้ำขนาด 200 ลิตร เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกักเก็บก๊าซไว้ โดยตัวถังจะลอยขึ้นเมื่อมีก๊าซชีวภาพถูกลำเลียงมาจากถังหมัก โดยด้านบนของถังขนาด 160 ลิตร ชุดที่ 1 ติดตั้งชุด 3 ทางเชื่อมต่อระหว่างถังหมักและถังเก็บก๊าซชุดที่ 2 เข้าด้วยกัน ส่วนด้านบนของถังขนาด 160 ลิตร ชุดที่ 2 ติดตั้งชุด 3 ทางเชื่อมต่อระหว่างถังเก็บก๊าซชุดที่ 1 และวาล์วสำหรับเปิดและปิดเพื่อนำก๊าซที่ผลิตได้ไปเข้าสู่ชุดเตาหุงต้ม ชุดถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ชุด เสริมโครงเหล็กสี่เส้นรอบถังเก็บก๊าซทั้งสองใบเพื่อควบคุมให้ถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ลอยขึ้นในแนวตรงเมื่อมีปริมาณก๊าซเกิดขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับสูตรที่ใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นนั้นคือ ปริมาณก๊าซ = $\pi r^2 h_1 + \pi r^2 h_2$ โดย r คือรัศมีของถังขนาด 160 ลิตร h_1 และ h_2 คือความสูงของถังขนาด 160 ลิตร ชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ที่ลอยสูงขึ้นเมื่อมีการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงติดตั้งชุดตัวล็อคประกอบด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว ประกอบในแนวตั้งฉากกับถังขนาด 160 ลิตร ทำหน้าที่ควบคุมระดับความสูงของถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ชุดให้เท่ากัน ด้านข้างของท่อ PVC ต่อด้วยเหล็กเส้นความยาว 85 เซนติเมตร ขนานกับถังลูกลอยขนาด 160 ลิตร ทำหน้าที่เป็นเสมือนเข็มบอกระดับความสูงของถังเก็บก๊าซ เมื่อมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น โดยในแต่ละวันจะทำสัญลักษณ์แสดงตำแหน่งเริ่มต้น เมื่อมีก๊าซเกิดขึ้น ถังเก็บก๊าซจะยกตัวสูงขึ้น ติดตั้งตัวล็อคที่ทำจากเหล็กสามารถไขล็อคปรับเปลี่ยนระดับได้ สำหรับกดถังเก็บก๊าซเพื่อเพิ่มความดันก๊าซชีวภาพขณะใช้งานคู่กับชุดเตาหุงต้ม ลักษณะของชุดถังเก็บก๊าซแสดงดังภาพที่ 3.3 และ 3.4



ภาพที่ 3.3 ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพก่อนการประกอบสมบูรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ถังพลาสติกขนาด 160 ลิตร คว่ำลงในถังน้ำขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ชุด
2) ถังชุดที่ 1 ต่อท่อก๊าซสามทาง
3) ถังชุดที่ 2 ต่อท่อก๊าซสามทาง พร้อมบอลวาล์ว

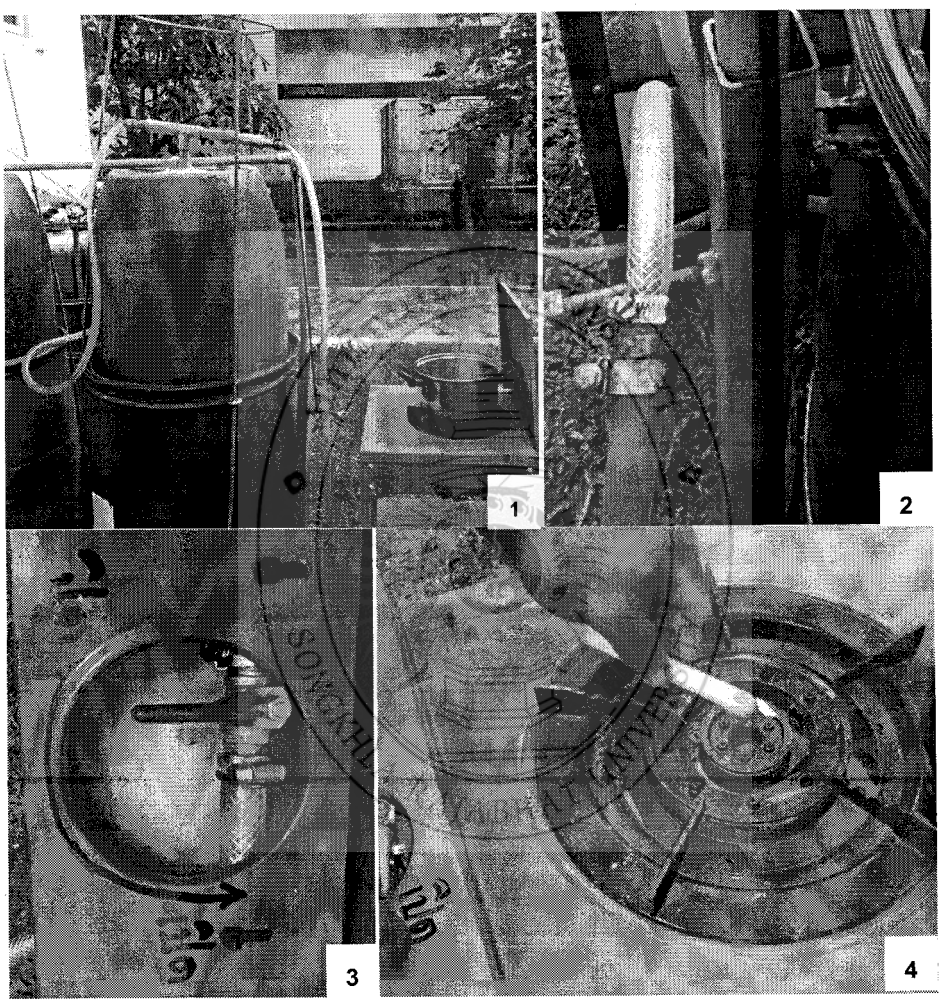


ภาพที่ 3.4 ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพเมื่อประกอบสมบูรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ลักษณะชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพทั้ง 2 ชุด เมื่อมีการผลิตก๊าซเกิดขึ้น
2) ชุดตัวล็อคท่อ PVC เพื่อประคองและควบคุมระดับความสูงของถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ชุดให้เท่ากัน
3) ระบบดักน้ำในชุดถังเก็บก๊าซสำหรับเป็นตัวกั้นไม่ให้ก๊าซรั่วออกนอกถัง
4) ลักษณะตัวไขล็อคซึ่งปรับเปลี่ยนระดับได้ขณะใช้งาน

(3) ชุดเตาหุงต้ม

ในชุดเตาหุงต้มได้เปลี่ยนรูปแบบระบบท่อส่งก๊าซโดยเชื่อมหัวปรับแรงดันก๊าซต่อกับสายท่อก๊าซที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด ½ นิ้ว ดัดแปลงหัวเตาโดยการขยายรูรังผึ้งให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เพิ่มประสิทธิภาพแรงดันก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 3.5 ชุดเตาหุงต้ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ลักษณะสายส่งก๊าซจากชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ ไปยังหัวเตา
2) ลักษณะเข็มขัดรัดสายยางส่งก๊าซ
3) วาล์วเปิดและปิดก่อนเข้าสู่เตาสำหรับหุงต้ม
4) เตาสำหรับหุงต้ม

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

(4) การตรวจสอบระบบถังหมัก

การตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งของถังหมักแบบไร้ออกซิเจน เพราะระบบนี้จะต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริง มิฉะนั้นแล้วก๊าซชีวภาพจะออกมาตามรอยรั่วต่าง ๆ ได้ เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะดันถังเก็บก๊าซให้ลอยขึ้น การทดสอบสามารถทำได้โดยการเติมน้ำเข้าไปในถังหมักให้ระดับน้ำสูงกว่ารอยต่อต่าง ๆ แล้วสังเกตการรั่วซึมจากทุกด้าน ส่วนการทดสอบการรั่วของก๊าซชีวภาพโดยใช้น้ำสบู่ทาบริเวณรอยต่อต่าง ๆ แล้วเป่าลมเข้าถังหมัก จากนั้นอุดรอยรั่วทุกทางด้วยกาวซิลิโคน

3.1.2 การเตรียมกล้าเชื้อ

กล้าเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองมาจาก 2 แหล่งที่มาดังนี้ คือ มูลโคสด ได้จากจากฟาร์มโคเนื้อขนาดเล็ก บ้านอ่างทอง ตำบลทุ่งหวัง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา และหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังผลิตก๊าซชีวภาพ (ถังหมักแบบไร้ออกซิเจน) ขนาด 1,000 ลิตร ขององค์การบริหารตำบลคลองรี โดยหัวเชื้อที่ได้จะมีการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ก่อนการบรรจุในชุดถังหมัก ดังนี้ ใช้หัวเชื้อ 2 กิโลกรัม ต่อน้ำ 2 ลิตร ผสมมูลสุกร 10 กิโลกรัม ขยายหัวเชื้อในถังพลาสติกขนาด 130 ลิตร โดย ผสมน้ำ 20 ลิตร หมัก 10 วัน จากนั้น เพิ่มเศษอาหาร 2.5 กิโลกรัม ทุกๆ 5 วัน จนกว่าจะเริ่มต้นระบบ เพื่อปรับจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับวัตถุดิบก่อนการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.1.3 การเริ่มเดินระบบ

การเริ่มต้นเดินระบบโดยเติมกล้าเชื้อจากข้อ 3.1.2 และมูลโคสด (ซึ่งใช้ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 (125 กิโลกรัม: 125 กิโลกรัม) และเติมน้ำ 750 ลิตร เหมือนกันทั้งสองชุดการทดลอง บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันในรูปปริมาณก๊าซทั้งหมด (total gas) ซึ่งคำนวณได้จากความสูงของภาชนะเก็บก๊าซ

3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

(1) เศษอาหาร

นำเศษอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา คลุกเคล้าให้ทั่วเพื่อให้เศษอาหารทั้งหมดมีลักษณะใกล้เคียงกันให้มากที่สุด นำเศษอาหารไปบดละเอียดด้วยเครื่องบด แบ่งใส่ในถุงพลาสติกสำหรับใช้ในวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและใช้เป็น

ก
ทธ.796
ก27

วัตถุดิบตั้งต้นในชุดการทำลองการผลิตก๊าซจากเศษอาหาร จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่จะเกิดขึ้น

(2) มูลสัตว์

ใช้มูลโคสดจากฟาร์มเลี้ยงโคเนื้อ บ้านอ่างทอง ตำบลทุ่งหวัง และมูลสุกรสดซึ่งได้จากฟาร์มเลี้ยงสุกร ตำบลเกาะแต้ว อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยผสมในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 แบ่งใส่ในภาชนะพลาสติกสำหรับใช้ในวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเบื้องต้นสำหรับชุดการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์

3.2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุดิบเบื้องต้น

ก่อนเริ่มการทดลองการหมักเศษอาหารและมูลสัตว์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจะมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบตามรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

ปัจจัยที่วิเคราะห์	วัตถุประสงค์การวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ค่า pH	ความเป็นกรด-ด่าง	pH Meter
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS)	ปริมาณสัดส่วนของแข็งในวัตถุดิบ	APHA 2540, 1998 (ภาคผนวก ก)
ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile solid, VS)	ปริมาณสัดส่วนของแข็งระเหยได้ทั้งหมดในวัตถุดิบ	APHA 2540, 1998 (ภาคผนวก ก)
ค่า Chemical oxygen demand (COD)	ปริมาณสารอินทรีย์	APHA 5220, 1998 (ภาคผนวก ก)
ค่า Biochemical oxygen demand (BOD)	ปริมาณสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้	APHA 5220, 1998 (ภาคผนวก ก)
ปริมาณไนโตรเจน (Total nitrogen,TKN)	ปริมาณสารอาหาร	APHA 2310, 1998 (ภาคผนวก ก)

3.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์ในระบบแบบแบทช์ (Batch Operation)

เตรียมวัตถุดิบสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4%(w/v) (รายละเอียดตามภาคผนวก ค.) ในแต่ละชุดการทดลอง โดยป้อนวัตถุดิบเข้าไปทางด้านบนของถังเพียงครั้งเดียว แต่ละชุดการทดลองจะมีการเติมสารสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ในปริมาตร 250 ลิตร โดยมีการถ่ายตะกอนและเหลวเดิมที่อยู่ถังหมักทิ้งในปริมาตร 250 ลิตร เช่นกัน เพื่อควบคุมปริมาตรการหมักให้คงที่ 750 ลิตร ในขณะเริ่มต้นการทดลอง หมักวัตถุดิบในถังหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการปิดถังหมักไม่ให้สัมผัสกับอากาศ กวนผสมโดยใช้ใบพัดหมุนกวนวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น ครั้งละ 10 นาที สังเกตการเกิดก๊าซชีวภาพในถังเก็บก๊าซและบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบเก็บก๊าซ ซึ่งดูได้จากระดับสเกลของภาชนะเก็บก๊าซ เมื่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเริ่มคงที่และลดน้อยลงจะหยุดการทดลอง บันทึกข้อมูลพร้อมวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 3.3 แผนการวิเคราะห์จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศระบบแบบแบทช์ (Batch)

ลักษณะสมบัติ	ความถี่ในการวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน
pH	ทุกวัน
ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile solid, VS)	ก่อนและหลัง
ค่า Chemical oxygen demand (COD)	ก่อนและหลัง

3.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์ในระบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Operation)

เตรียมสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ ความเข้มข้น 4% (w/v) ในแต่ละชุดการทดลอง โดยป้อนเข้าสู่ถังหมักเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง คือมีการเติมสารละลายวัตถุดิบเข้าสู่ถังหมักและมีการเก็บตัวอย่างออกจากถังหมักในปริมาตรที่เท่ากัน ซึ่งเป็นการรักษาระดับปริมาตรของเหลวในถังหมักให้คงที่ 750 ลิตร ตลอดการทดลอง โดยมีความถี่ในการเติมสารละลายวัตถุดิบ 1 วันต่อครั้ง ในปริมาตร 20 ลิตร ทั้ง 2 ชุดการทดลอง กวนผสมโดยใช้ใบพัดหมุนกวนวันละ 2 ครั้ง เช้าและ

เย็น ครั้งละ 10 นาที โดยในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการกักเก็บ 38 วัน ควบคุมอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 4 กรัม COD/ลิตร·วัน แสดงดังตารางที่ 3.4 บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันในรูปปริมาณก๊าซทั้งหมด ซึ่งดูได้จากระดับความสูงของภาชนะเก็บก๊าซ บันทึกข้อมูลพร้อมวิเคราะห์ผลการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล ตามรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 แสดงการออกแบบการทดลองกระบวนการหมักแบบไร้อากาศระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous)

	ชุดการทดลองเศษอาหาร	**ชุดการทดลองมูลสัตว์**
HRT (day)	38	38
OLR(gCOD/l.d)	4	4
TS ของวัตถุดิบ (%)	4	4

ตารางที่ 3.5 แผนการวิเคราะห์จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous)

	ความถี่ในการวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน
ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile solid, VS)	ทุก 5 วัน
ค่า Total chemical oxygen demand (COD)	ทุก 5 วัน

3.3 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

3.3.1 ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมัก (Hydraulic retention time, HRT)

เป็นค่าที่อธิบายระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในถังหมัก โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรความจุของเหลวของถังหมักกับปริมาณของเหลวที่เข้าระบบ ดังนี้

ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมัก (วัน)

$$= \frac{\text{ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก (ลิตร)}}{\text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบ(ลิตร/วัน)}}$$

3.3.2 อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR; g COD/l·d, g VS/l·d)

เป็นค่าที่ใช้อธิบายปริมาณของสารอินทรีย์ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ต่อปริมาตรความจุของถังและเวลา ทั้งนี้สารอินทรีย์ที่ใช้สามารถใช้ค่า Total COD และ Total VS คำนวณได้ดังนี้

อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (กรัม COD/ลิตร·วัน)

$$= \frac{\text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบ(ลิตร/วัน)x ค่า COD ของเหลวที่เข้าระบบ(กรัม/ลิตร)}}{\text{ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก(ลิตร)}}$$

และ

อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (กรัม VS/ลิตร·วัน)

$$= \frac{\text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบ(ลิตร/วัน)x ค่า VS ของเหลวที่เข้าระบบ(กรัม/ลิตร)}}{\text{ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก(ลิตร)}}$$

3.3.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (Total gas production; l/d)

ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (ลิตร/วัน)

$$= \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ทั้งหมด (ลิตร)}}{\text{จำนวนวันที่ผลิตก๊าซชีวภาพ (วัน)}}$$

3.3.4 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas production rate; l/l·d)

เป็นค่าที่อธิบายอัตราส่วนระหว่างปริมาณก๊าซเฉลี่ยที่ผลิตได้ในแต่ละวันต่อปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก มีหน่วยเป็น ลิตร/ลิตร·วัน หรือ ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตร·วัน ($m^3/m^3 \cdot d$) เป็นค่าที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างถังหมักที่แตกต่างกันได้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/ลิตร·วัน)

$$= \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวัน (ลิตร/วัน)}}{\text{ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก(ลิตร)}}$$

3.3.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อ COD ที่เข้าระบบ (Total biogas production per g COD added, l/g COD added)

ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อ COD ที่เข้าระบบ หรือค่า Biogas yield ที่พิจารณาจากปริมาณ COD เป็นค่าที่บอกถึงสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยนิยมใช้เป็นค่าเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีขนาดแตกต่างกันได้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อน้ำหนัก COD ที่เข้าระบบ (ลิตร/กรัม COD ที่เติม)

$$= \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวัน (ลิตร/วัน)}}{\text{ของเหลวที่เข้าระบบ (ลิตร/วัน) x ค่า COD ที่เข้าระบบ (กรัม/ลิตร)}}$$

3.3.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เข้าระบบ (Total biogas production per g VS added; l/g VS added)

ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อ VS ที่เข้าระบบ หรือค่า Biogas yield ที่พิจารณาจากปริมาณ VS เป็นค่าที่นิยมใช้ในการทดสอบสมรรถนะระหว่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีขนาดแตกต่างกันเช่นกันได้ โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ สามารถคำนวณได้ดังนี้

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เข้าระบบ (ลิตร/กรัม VS ที่เติม)

$$= \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวัน (ลิตร/วัน)}}{\text{ของเหลวที่เข้าระบบ (ลิตร/วัน) x ค่าสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ (กรัม/ลิตร)}}$$

3.3.7 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ (% COD removal)

เป็นค่าที่อธิบายความสามารถของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ทั้งหมด โดยคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด (\%)} = \frac{\text{(CODที่เข้าระบบ – CODที่ออกจากระบบ) x 100}}{\text{COD ที่เข้าระบบ}}$$

3.3.8 ประสิทธิภาพการกำจัด VS ของระบบ (% VS removal)

เป็นค่าที่อธิบายความสามารถของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ทั้งหมดในระบบ โดยคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด (\%)} = \frac{\text{(VS ที่เข้าระบบ – VS ที่ออกจากระบบ) x 100}}{\text{VS ที่เข้าระบบ}}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 พัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากถังแบบ

4.1.1 การออกแบบและประกอบถังผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการทดลองครั้งนี้ได้ออกแบบและดำเนินการประกอบตัวถังจากถังผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีถังผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 ลิตร จากองค์การบริหารส่วนตำบลคลองรีเป็นถังต้นแบบซึ่งเป็นระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว โดยประกอบถังจำนวน 3 ชุด ชุดที่ 1 และ 2 ติดตั้ง ณ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาสำหรับดำเนินการทดลองประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ ชุดที่ 3 ติดตั้งชั่วคราว ณ บ้านเลขที่ 25/1 หมู่ 1 ต. ทุ่งหวัง อ. เมือง จ. สงขลา และปัจจุบันได้ย้ายไปติดตั้ง ณ ศูนย์การเรียนรู้ชุมชน ต. บางเขียด อ. สิงหนคร จ. สงขลา สำหรับติดตามการผลิตก๊าซชีวภาพภายในครัวเรือนและถ่ายทอดความรู้สู่ชุมชน ซึ่งถังหมักทั้ง 3 ชุด ได้ออกแบบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และง่ายต่อการติดตามระบบดังนี้ เพิ่มท่อสำหรับป้อนวัตถุดิบพร้อมชุดใบพัด ที่สามารถป้องกันก๊าซรั่ว ในระหว่างเติมวัตถุดิบและกวนผสมวัตถุดิบในถังหมัก เพิ่มท่อล้นสำหรับสะดวกต่อการเก็บตัวอย่างและติดตามระบบ เพิ่มโครงเหล็กสี่เส้นรอบถังเก็บก๊าซทั้งสองใบเพื่อควบคุมให้ถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ลอยขึ้นในแนวตรงเมื่อมีปริมาณก๊าซเกิดขึ้น เพิ่มชุดตัวล็อคทำหน้าที่ควบคุมระดับความสูงของถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ชุดให้เท่ากัน และสามารถไขล็อคปรับเปลี่ยนระดับได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแรงดันขณะหุงต้ม เพิ่มเข็มบอกระดับความสูงของถังเก็บก๊าซเพื่อง่ายต่อคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และปรับขนาดสายท่อก๊าซที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด ½ นิ้ว ดัดแปลงหัวเตา เพิ่มประสิทธิภาพแรงดันก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถสรุปลักษณะของถังผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบและถังผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปลักษณะของถังผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบและถังผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบของระบบ	ถังผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบ	ถังผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง
ชุดถังหมัก		
- ใช้ถังพลาสติกขนาด 1,000 ลิตร ซึ่งมีปริมาตรการหมัก 750 ลิตร	✓	✓
- ท่อสำหรับป้อนวัตถุดิบที่มีเฉพาะฝาปิดเปิด ซึ่งมักเกิดปัญหาการรั่วของก๊าซชีวภาพในระหว่างการเติมวัตถุดิบและกวนผสมวัตถุดิบในถังหมัก	-	✓
- ท่อสำหรับป้อนวัตถุดิบพร้อมใบพัด ที่ประกอบด้วยเพลาของชุดใบพัดที่ติดอยู่กับฝาของถังหมักและมีชุดประกอบเพลาลักษณะเป็นปลอกสวมเพลาอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้เพลาแกว่งขณะหมุนใบพัด มีฝาชั้นในหมุนปิดป้องกันก๊าซรั่ว ในระหว่างเติมวัตถุดิบและกวนผสมวัตถุดิบในถังหมัก	✓	-
- ด้านล่างของถัง มีวาล์วสำหรับควบคุมการปิดเปิดเพื่อใช้สำหรับถ่ายตะกอนในถังหมัก	✓	
- ด้านล่างของถังต่อเป็นท่อล้นเชื่อมต่อระหว่างวาล์วสำหรับควบคุมการปิดเปิดเพื่อเป็นท่อสำหรับถ่ายตะกอนและวัสดุที่ผ่านการหมักมาวิเคราะห์	-	✓

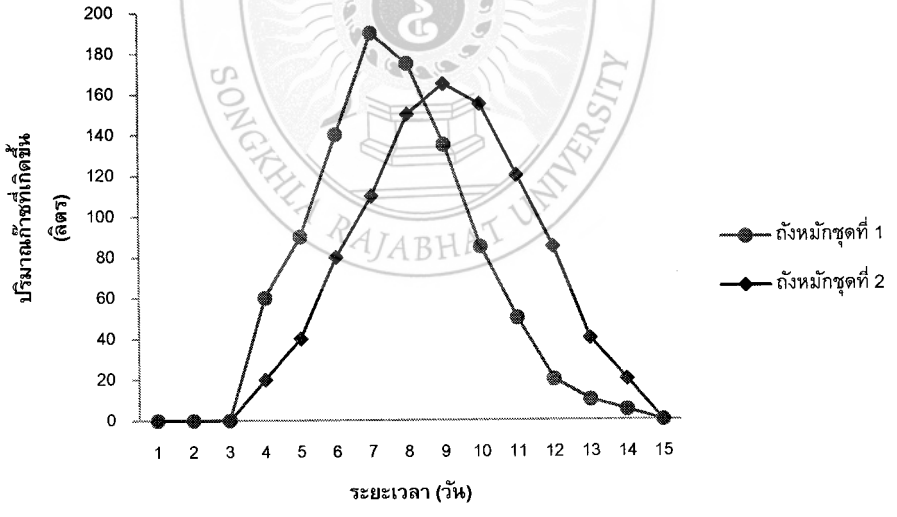
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

องค์ประกอบของระบบ	ถังผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบ	ถังผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง
ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ		
- ถังเก็บน้ำขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ถัง	✓	✓
- โครงเหล็กสี่เส้นรอบถังเก็บก๊าซทั้งสองใบเพื่อควบคุมให้ถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ลอยขึ้นในแนวตรงเมื่อมีปริมาณก๊าซเกิดขึ้น	-	✓
- ชุดตัวล็อคประกอบด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว ทำหน้าที่ควบคุมระดับความสูงของถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ชุดให้เท่ากัน พร้อมตัวล็อคที่ทำจากเหล็กสามารถไขล็อคปรับเปลี่ยนระดับได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแรงดันขณะหุงต้ม	-	✓
- เข็มบอกระดับความสูงของถังเก็บก๊าซเพื่อง่ายต่อการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น	-	✓
ชุดเตาหุงต้ม		
- เปลี่ยนรูปแบบระบบท่อส่งก๊าซโดยเชื่อมหัวปรับแรงดันก๊าซต่อกับสายท่อก๊าซที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด ½ นิ้ว ดัดแปลงหัวเตาโดยการขยายรูรังผึ้งให้มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เพิ่มประสิทธิภาพแรงดันก๊าซชีวภาพ	-	✓

4.1.2 การเริ่มเดินระบบ

ในการเริ่มต้นเดินระบบได้เติมกล้าเชื้อ และมูลโคสด ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 (125 กิโลกรัม: 125 กิโลกรัม) และเติมน้ำ 750 ลิตร โดยใช้มูลวัวสดเป็นทั้งแหล่งหัวเชื้อและแหล่งอาหารสำหรับกล้าเชื้อ จึงมีปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นในระบบคิดเป็น 33.33 % ของปริมาตรการหมักซึ่งเหมือนกันทั้งสองชุดการทดลอง บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันในรูปปริมาณก๊าซทั้งหมด ซึ่งคำนวณได้จากความสูงของภาชนะเก็บก๊าซ เมื่อติดตามปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น พบว่าถังหมักทั้ง 2 ชุด พบว่ามีแนวโน้มการผลิตก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันในช่วงการเริ่มเดินระบบดังแสดงกราฟที่ 4.1 โดยเริ่มมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในวันที่ 3 ของการหมักทั้ง 2 ถัง โดยถังชุดที่ 1 มีการผลิตก๊าซสูงที่สุด ได้เท่ากับ 190 ลิตร ในวันที่ 7 ของการหมัก และถังชุดที่ 2 ของ การผลิตก๊าซสูงที่สุด ได้เท่ากับ 165 ลิตร ในวันที่ 9 ของการหมัก จะมีการผลิตก๊าซสูงที่สุด หลังจากนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพจะเริ่มลดลงและสิ้นสุดการหมักในวันที่ 15 โดยปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด ของถังชุดที่ 1 และ 2 คือ 990 ลิตร และ 975 ลิตร ตามลำดับ

กราฟที่ 4.1 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันในช่วงการเริ่มเดินระบบ



4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์

4.2.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะวัตถุดิบเบื้องต้น

การทดลองนี้ใช้วัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ 2 ชนิด โดยชุดที่ 1 ใช้เศษอาหารที่เหลือจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และเศษอาหารจากครัวเรือน ซึ่งประกอบด้วยข้าวเป็นส่วนประกอบหลัก รองลงมาคือ ผักเปลือกผลไม้ และเศษเนื้อสัตว์ต่าง ๆ ซึ่งล้วนแต่เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ โดยมีองค์ประกอบที่ความแตกต่างกันไป จึงจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างเศษอาหารในปริมาณมากคลุกเคล้าให้เข้ากัน เพื่อให้ตัวอย่างเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบต่าง ๆ ใกล้เคียงกันมากที่สุด และชุดที่ 2 มูลโคสดจากฟาร์มเลี้ยงโคเนื้อ บ้านอ่างทอง ตำบลทุ่งหวัง และมูลสุกรสดซึ่งได้จากฟาร์มเลี้ยงสุกร ตำบลเกาะแต้ว อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยผสมในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเศษอาหารและมูลสัตว์ของตัวอย่างเบื้องต้น แสดงดังตารางที่ 4.2

ในการทดลองนี้ใช้ลักษณะเศษอาหารและมูลสัตว์ดังกล่าวมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับใช้เตรียมเป็นสารละลายที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบถังหมัก (ดังแสดงในภาคผนวก ค.) โดยการใช้วัตถุดิบที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) นั้น เป็นค่าที่เหมือนกับการทดลองของ Mata-Alvarez และ Llabres (1992) ที่ใช้ในศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอาหารสด เช่น เศษผัก ผลไม้และเปลือกสัตว์ทะเล พบว่าระบบมีเสถียรภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งการใช้ปริมาณของแข็งต่ำสามารถป้องกันการเกิดระบบล้มเหลวอันเนื่องมาจากการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณสูงเกินไป ซึ่งปัญหานี้มักเกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่สูงมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพในระบบถังหมักแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นปัญหาที่พบเช่นเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ในช่วงระยะแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ กับทั้งในเพื่อเทียบเคียงกับการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือนที่มีปริมาณสารอินทรีย์หรือวัตถุดิบที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวันไม่มากนัก จึงใช้วัตถุดิบในรูปสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ที่มีปริมาณของแข็งต่ำ ผลของการวิเคราะห์ลักษณะสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณลักษณะวัตถุดิบเบื้องต้น

	เศษอาหาร	มูลสัตว์
pH	5.8	7.4
%TS	23.4	15.42
TS (mg/l)	74,520	58,400
VS (mg/l)	72,360	55,347
SS (mg/l)	55,080	38,700
COD (mg/l)	252,574	201,080
BOD (mg/l)	157,025	126,682
TKN(mg/l)	5,753	3,254

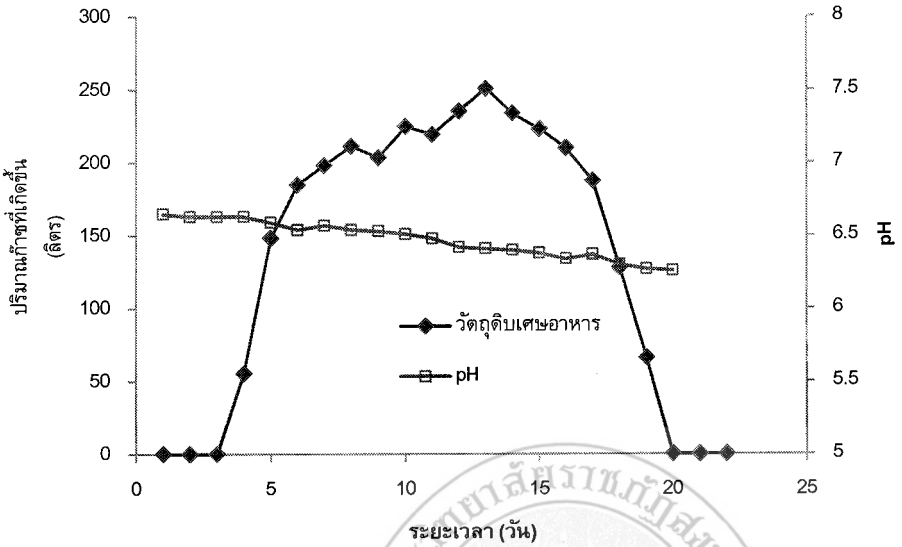
ตารางที่ 4.3 แสดงคุณลักษณะของสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ที่มีค่า TS ประมาณ 4%

	เศษอาหาร	มูลสัตว์
pH	6.8 – 6.4	7.3 – 7.1
TS (mg/l)	46,450 – 34,660	41,400 – 28,600
VS (mg/l)	44,620 – 30,750	39,800- 26,410
SS (mg/l)	26,700 – 21,650	18,800 – 14,750
COD (mg/l)	162,374 - 150,340	145,430 – 135,500
BOD (mg/l)	107,165 - 101,250	91,530 – 67,460
TKN (mg/l)	2,598	1,353

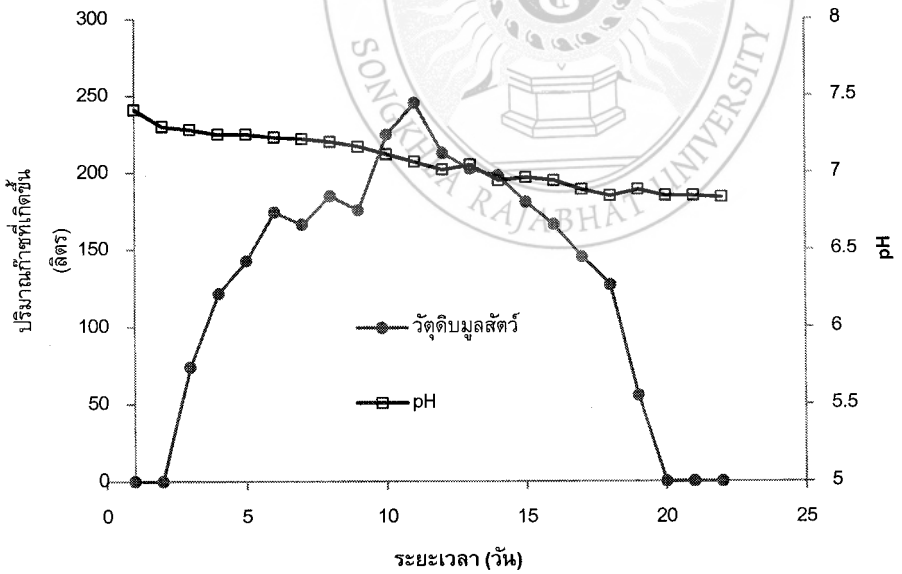
4.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์ในระบบแบบแบทช์ (Batch Operation)

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์ในการทำงานระบบแบบแบทช์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ใช้วัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ ในแต่ละชุดการทดลองมีการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบเพียงครั้งเดียวให้เต็มระบบ โดยใช้วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดที่เตรียมเป็นรูปแบบสารละลายที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบถังหมัก หลังจากนั้นจึงหมักวัตถุดิบในถังหมักเพื่อติดตามปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น การดำเนินระบบในลักษณะเช่นนี้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบแต่ละชนิดโดยให้คล้ายคลึงกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับครัวเรือนที่ต้องการเดินระบบอย่างง่ายโดยการเติมวัตถุดิบในปริมาณมากเพียงครั้งเดียว ซึ่งแต่ละชุดการทดลองจะมีการเติมสารสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ในปริมาตร 250 ลิตร โดยมีการถ่ายตะกอนและเหลวเดิมที่อยู่ถังหมักในปริมาตร 250 ลิตรเช่นกัน บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันจนสิ้นสุดลง เมื่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นน้อยกว่า 5 มิลลิลิตร/วัน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551) จึงดำเนินการหยุดระบบ โดยในการทดลองนี้เก็บบันทึกผลทั้งหมด 20 วัน ผลการผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบทช์ของชุดการทดลองเศษอาหาร และชุดการทดลองมูลสัตว์แสดงดังกราฟที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่า pH เริ่มต้นของชุดการทดลองเศษอาหารและชุดการทดลองมูลสัตว์ มีค่าเท่ากับ 6.65 และ 7.41 ตามลำดับ เมื่อดำเนินระบบพบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่า pH ลดลงอย่างต่อเนื่อง จนมีค่าเท่ากับ 6.26 และ 6.82 ตามลำดับเมื่อสิ้นสุดการหมัก โดยชุดการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบเริ่มมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในวันที่ 3 ของการหมักมีการผลิตก๊าซสูงที่สุด ได้เท่ากับ 250.99 ลิตร ในวันที่ 13 ของการหมักและจะเริ่มลดลงและสิ้นสุดการหมักในวันที่ 20 ส่วนชุดการทดลองที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบจะเริ่มมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในวันที่ 2 ของการหมักซึ่งเร็วกว่าชุดการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ มีการผลิตก๊าซสูงที่สุด ได้เท่ากับ 245.18 ลิตร ในวันที่ 17 ของการหมักและจะเริ่มลดลงและสิ้นสุดการหมักในวันที่ 20 จะเห็นได้ว่าการหมักแบบนี้ประสิทธิภาพไม่ดีนักและมีความเสถียรภาพของระบบไม่คงที่เนื่องจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอในช่วงระยะเวลาการหมัก

กราฟที่ 4.2 แสดงการผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบทช์ชุดการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ



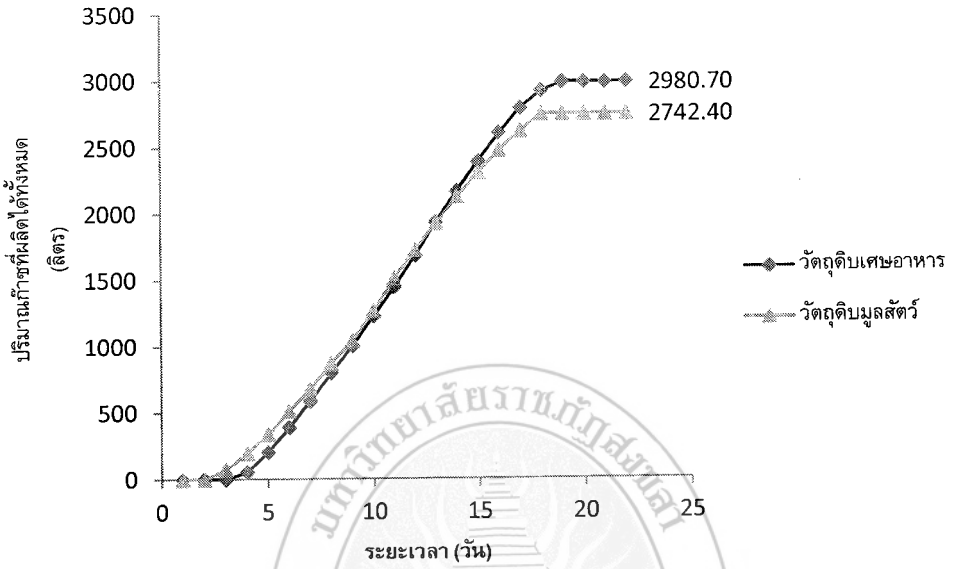
กราฟที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบทช์ชุดการทดลองที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ



ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบแบทช์ระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์แสดงดังภาพกราฟที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมค่อยๆ เพิ่มขึ้นทั้งสองชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ใช้สารละลายมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบจะเกิดก๊าซชีวภาพได้เร็วกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารละลายเศษอาหารเป็นวัตถุดิบ แต่อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่ใช้สารละลายเศษอาหารเป็นวัตถุดิบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดได้ 2,980.70 ลิตร ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารละลายมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบซึ่งผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดได้ 2,742.40 ลิตร เมื่อคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันระหว่างชุดการทดลองใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบและชุดการทดลองใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 149.04 และ 137.12 ลิตรตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างหลังสิ้นสุดการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบแบทช์ระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ระหว่างชุดการทดลองใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบและชุดการทดลองใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 0.193 และ 0.183 ลิตร/ลิตร·วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ระหว่างชุดการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบและชุดการทดลองใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ โดยพิจารณาจากค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อ COD ที่เข้าระบบ พบว่าชุดการทดลองใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 0.075 ลิตร/กรัม COD ที่เติม ซึ่งมีค่ามากกว่าชุดการทดลองใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ คือ 0.073 ลิตร/กรัม COD ที่เติม เช่นเดียวกับปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เข้าระบบ พบว่าชุดการทดลองที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบมีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ โดยมีค่าเท่ากับ 0.275 และ 0.267 ลิตร/กรัม VS ที่เติม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์หรือ ค่า Biogas yield พบว่ามูลสัตว์เป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมต่อการดำเนินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบแบทช์ มากกว่าการใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจาก ค่า pH ของชุดการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ ลดลงอย่างรวดเร็วจาก 6.65 จนถึง 6.26 ซึ่งมีค่าต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบการหมักในชุดการทดลองนี้ลดลง ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมต่อระบบการหมักแบบขั้นตอนเดียว มีค่าอยู่ในช่วง 6.5 – 8.2 โดย pH 7 เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบนี้ (Zhang *et al.* 2013)

กราฟที่ 4.4 ก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบแบทช์ระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์



ตารางที่ 4.4 ผลการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการดำเนินระบบแบบแบทช์ระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์

	เศษอาหาร	มูลสัตว์
HRT (day)	20	20
OLR(gCOD/l.d)	2.71	2.42
OLR(gVS/l.d)	0.74	0.66
Inlet flow rate (l/20 d)	12.5	12.5
Total gas production (l/d)	145.04	137.12
Gas production rate (l/l.d)	0.193	0.183
Total gas production per g COD added (l/g COD added)	0.073	0.075
Total gas production per g VS added (l/g VS added)	0.267	0.275

ผลประสิทธิภาพการกำจัด COD จากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบแบทช์ พบว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบสามารถกำจัด COD ได้ 57.45 % ซึ่งมากกว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบที่สามารถกำจัด COD ได้ 54.83 % เช่นเดียวกันกับผลการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด หรือ VS จากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบแบทช์ พบว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดได้มากกว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ โดยมีค่า 64.60% และ 62.39% ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่ประสิทธิภาพการกำจัด COD และ VS ที่ได้จากการดำเนินระบบแบบแบทช์มีค่าต่ำอาจ เนื่องมาจากค่า pH ในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ (Kondusamy and Kalamdhad. 2014)

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD ของเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบแบทช์

	Influent COD (g/L)	Effluent COD (g/L)	COD removal (%)
เศษอาหาร	162.37	73.34	54.83
มูลสัตว์	145.43	61.88	57.45

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด VS ของเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบแบทช์

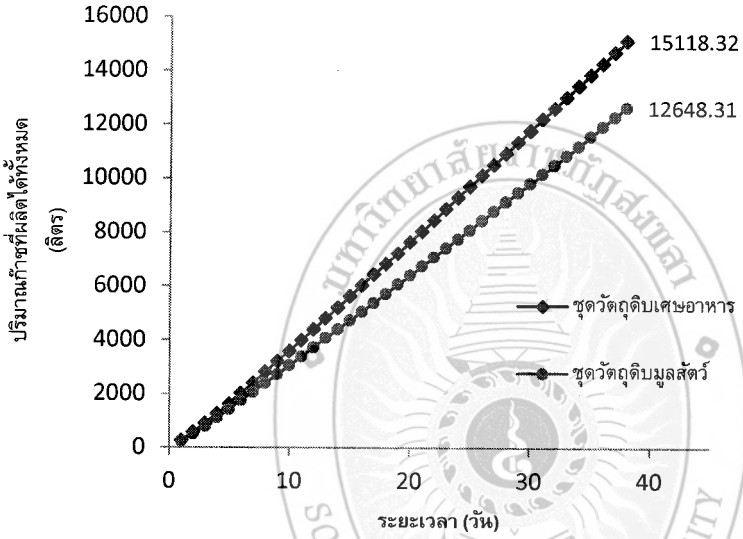
	Influent VS (g/L)	Effluent VS (g/L)	VS removal (%)
เศษอาหาร	44.62	16.78	62.39
มูลสัตว์	39.80	14.10	64.60

4.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์และมูลสัตว์แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi continuous)

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยการป้อนสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์เข้าสู่ถังหมักและถ่ายวัตถุดิบเก่าที่ผ่านการย่อยสลายแล้วไหลล้นออกจากถังหมัก โดยจะเติมสารอินทรีย์ใหม่ทุกวันๆ วัน 1 ครั้ง ครั้งละ 20 ลิตร โดยใช้วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดที่เตรียมเป็นรูปแบบสารละลายที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ดำเนินระบบโดยใช้ระยะเวลาในการกักเก็บ 38 วัน เมื่อคิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (OLR) ของชุดการทดลองเศษอาหาร และชุดการทดลองมูล

ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันระหว่างชุดการทดลองใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบและชุดการทดลองใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 397.85 และ 332.85 ลิตรตามลำดับ

กราฟที่ 4.6 ก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์



ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างหลังสิ้นสุดการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์ แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ระหว่างชุดการทดลองใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 0.530 ลิตร/ลิตร·วัน มีค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อ COD ที่เข้าระบบมีค่าเท่ากับ 0.132 ลิตร/กรัม COD ที่เติม ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าชุดการทดลองใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ ที่มีค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.444 ลิตร/ลิตร·วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อ COD ที่เข้าระบบ มีค่าเท่ากับ 0.123 ลิตร/กรัม COD ที่เติม และเมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เข้าระบบระหว่างชุดการทดลองใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบและชุดการทดลองใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 0.647 และ 0.630 ลิตร/กรัม VS ที่เติม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมต่อการดำเนินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบกึ่งต่อเนื่องมากกว่าการใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ

ตารางที่ 4.7 ผลการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์

	เศษอาหาร	มูลสัตว์
HRT (day)	38	38
OLR(gCOD/l.d)	4	3.61
OLR(gVS/l.d)	0.82	0.70
Inlet flow rate (l/d)	20	20
Total gas production (l/d)	397.85	332.85
Biogas production rate (l/l.d)	0.530	0.444
Total biogas production per g COD added (l/g COD added)	0.132	0.123
Total biogas production per g VS removal (l/g VS added)	0.647	0.630

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD ของเศษอาหารและมูลสัตว์

	Influent COD (g/L)	Effluent COD (g/L)	COD removal (%)
เศษอาหาร	150.34	48.89	67.48
มูลสัตว์	135.50	46.30	65.83

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด VS ของเศษอาหารและมูลสัตว์

	Influent VS (g/L)	Effluent VS (g/L)	VS removal (%)
เศษอาหาร	30.75	6.63	78.43
มูลสัตว์	26.41	6.17	76.64

ประสิทธิภาพการกำจัด COD จากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบสามารถกำจัด COD ได้ 67.48 % ซึ่งมากกว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบที่สามารถกำจัด COD ได้ 65.83 % เช่นเดียวกันกับผลการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด หรือ VS จากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ในการดำเนินระบบแบบต่อเนื่อง พบว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบสามารถกำจัด

สารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดได้มากกว่าชุดการทดลองถังหมักที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ โดยมีค่า 78.43% และ 76.64% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพในการดำเนินระบบแบบแบทช์และแบบกึ่งต่อเนื่องของเศษอาหารและมูลสัตว์

	ชุดการทดลอง ที่ใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบ		ชุดการทดลอง ที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ	
	ดำเนินระบบแบบแบทช์	ดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	ดำเนินระบบแบบแบทช์	ดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง
OLR(gCOD/l.d)	2.71	4	2.42	3.61
OLR(gVS/l.d)	0.74	0.82	0.66	0.70
Total biogas production (l/d)	145.04	397.85	137.12	332.85
Biogas production rate (l/l.d)	0.193	0.530	0.183	0.444
Total gas production per g COD added (l/g COD added)	0.073	0.132	0.075	0.123
Total gas production per g VS removal (l/g VS added)	0.267	0.647	0.275	0.630

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้การดำเนินระบบแบบแบทช์และแบบกึ่งต่อเนื่องในแต่ละชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าการดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องสามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ สูงกว่าการดำเนินระบบแบบแบทช์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เติมเข้าระบบ หรือค่า biogas yield พบว่าในชุดการทดลองเศษอาหารและมูลสัตว์เมื่อดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ให้ค่าที่สูงกว่าระบบแบบแบทช์ถึง 2.52 และ 2.29 เท่าตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่การดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องมีประสิทธิภาพดีกว่าการดำเนินระบบแบบแบทช์ ทั้งนี้เนื่องจากการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ส่งผลดีต่อการทำงานของแบคทีเรีย เนื่องจากเกิดสภาวะคงตัว (steady-state) ของระบบเนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อความเข้มข้น

ของสารอาหาร เนื่องจากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักในลักษณะเป็นช่วงๆ แต่สม่ำเสมอ ช่วยลดปัญหาอันเนื่องมาจากการที่สารอาหารเพิ่มเข้าสู่ระบบกะทันหัน (shock load) มีผลทำให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบแบทช์ นิยมใช้กันทั่วไป

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพจากงานวิจัยอื่นกับงานวิจัยครั้งนี้

ชนิดของถังและสภาวะที่ใช้	วัตถุดิบที่ใช้	OLR (g VS/l.d)	Biogas production rate (l/l.d)	Biogas yield (l/g VS added)	อ้างอิง
ถังหมักขั้นตอนเดียวแบบ CSTR ขนาด 5 ลิตร, ปริมาตรในการหมัก 3.75 ลิตร thermophilic (55°C), ดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	มูลโค เศษอาหารและตะกอนเชื้อจากน้ำเสีย	1.5	0.72	0.479	Marañón et al. (2012)
ถังหมักขั้นตอนเดียวแบบ CSTR ขนาดปริมาตรในการหมัก 3000 ลิตร, mesophilic (37°C), ดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	เศษอาหาร	3.7	2.7	0.417*	Nagao *et al.* (2012)
ถังหมักขั้นตอนเดียวแบบ CSTR ขนาด 5 ลิตร ปริมาตรในการหมัก 3.5 ลิตร mesophilic (35°C), ดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	เศษอาหารและมูลไก่	0.87	0.80	0.915	Wang *et al.* (2014)
ถังหมักขั้นตอนเดียวแบบ CSTR ขนาด 2 ลิตร, ปริมาตรในการหมัก 1.8 ลิตร mesophilic (36°C), ดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	เศษอาหารผสมมูลโค	1	0.72	0.72	Agyeman และ Tao (2014)
ระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ขนาด 1000 ลิตร ปริมาตรในการหมัก 750 ลิตร ภายใต้สภาวะ mesophilic (30 - 37°C)	เศษอาหาร	0.82	0.530	0.647	งานวิจัยครั้งนี้
	มูลสัตว์	0.70	0.444	0.630	งานวิจัยครั้งนี้

* Methane yield

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ต่างๆ จากงานวิจัยอื่น พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้ต่ำอยู่ในช่วง 0.44 – 0.53 ลิตร/ลิตร · วัน เช่นเดียวกับสมรรถนะของระบบ เมื่อพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เข้าระบบมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 0.63-0.647 ลิตร/กรัม VS ที่เติม ในขณะที่งานวิจัยอื่นสูงกว่านี้ คือมีค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูง 0.72-2.7 ลิตร/ลิตร ·วัน และมีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เข้าระบบมีค่าสูงอยู่ในช่วง 0.479-0.915 ลิตร/กรัม VS ที่เติม เนื่องมาจากงานวิจัยนี้งานวิจัยนี้ใช้ค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ OLR ที่มีค่าต่ำกว่างานวิจัยอื่น กับทั้งงานวิจัยนี้ใช้ถังหมักแบบธรรมดา (conventional anaerobic digester) ที่ติดตั้งใบพัดสำหรับกวนผสมวัตถุดิบ ซึ่งมีการกวนวัตถุดิบเป็นช่วง ๆ คือ 2 ครั้งต่อวัน ตอนเช้าและเย็นครั้งละ 10 นาที ในขณะที่งานวิจัยอื่นใช้ถังแบบ CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) ซึ่งมีการกวนผสมตลอดการหมักจึงย่อมมีค่าที่สูงกว่า นอกจากนี้รูปแบบของระบบเก็บก๊าซจากงานวิจัยนี้ก็มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น โดยในงานวิจัยนี้มีระบบเก็บก๊าซแบบถังลูกลอย คือเมื่อมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจะมีการดันถังลูกลอยให้สูงขึ้น ปริมาณก๊าซจะคำนวณจากความสูงของถังลูกลอย เนื่องจากมีแรงกดจากน้ำหนักของถังลูกลอย ปริมาณก๊าซที่วัดได้จึงมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ในขณะที่งานวิจัยอื่นใช้การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำซึ่งสามารถวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริง

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในแง่ของการประยุกต์ครัวเรือน พบว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากงานวิจัยนี้เมื่อดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง มีสมรรถนะที่เพียงพอต่อผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือนสำหรับใช้ในการหุงต้ม คือได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 332.85 - 397.85 ลิตรต่อวัน จากการใช้วัตถุดิบมูลสัตว์และเศษอาหารความเข้มข้นต่ำ (ปริมาณของแข็งทั้งหมด 4 %) ซึ่งหากต้องการได้ปริมาณก๊าซชีวภาพในระดับนี้สามารถเตรียมได้อย่างง่าย โดยใช้เศษอาหารประมาณ 3.5 กิโลกรัม เติมน้ำ เพื่อปรับปริมาตร ให้ได้ 20 ลิตร ส่วนมูลสัตว์ใช้ประมาณ 5 กิโลกรัม เติมน้ำ เพื่อปรับปริมาตร ให้ได้ 20 ลิตร และป้อนเข้าสู่ถังทุกวันอย่างต่อเนื่อง

ในการทดลองนี้ไม่ได้มีการวัดปริมาณ % มีเทนที่เกิดขึ้น แต่สามารถอนุมานได้ว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณมีเทนมากกว่า 50% เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถติดไฟได้ง่ายและได้เปลวไฟที่ลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง (Anggono *et al.* 2013)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ที่ได้ดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้นั้น สามารถสรุปผลการวิจัยโดยแยกตามวัตถุประสงค์แต่ละด้านได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาประสิทธิภาพถังผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1000 ลิตรจากถังต้นแบบขององค์การบริหารส่วนตำบล คลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ในการวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบถังผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับการศึกษาและติดตามระบบ ออกแบบถังผลิตก๊าซชีวภาพและดำเนินการประกอบตัวถังจำนวน 3 ชุด เพิ่มชุดใบพัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมัก เพิ่มระบบการเก็บตัวอย่างและติดตามปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น เพิ่มตัวล็อคถังเก็บก๊าซเพื่อเพิ่มความดันก๊าซสำหรับใช้งาน และเปลี่ยนรูปแบบระบบท่อส่งก๊าซโดยเชื่อมหัวปรับแรงดันก๊าซและปรับขนาดสายท่อก๊าซให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กคือเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ดัดแปลงหัวเตาโดยการขยายรูรังผึ้งให้มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการการผลิตก๊าซชีวภาพจาก เศษอาหารและมูลสัตว์ โดยดำเนินระบบแบบแบทช์ พบว่าเมื่อใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.74 และ 0.66 กรัม VS ต่อลิตร·วัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยวันละ 145.04 และ 137.12 ลิตร และให้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ได้ต่อสารอินทรีย์ หรือ ค่า Biogas yield เท่ากับ 0.267 และ 0.275 ลิตรต่อกรัม VS ที่เติมเข้าระบบ ตามลำดับ

ขณะที่การศึกษาประสิทธิภาพการการผลิตก๊าซชีวภาพจาก เศษอาหารและมูลสัตว์ โดยดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.82 และ 0.7 กรัม VS ต่อลิตร·วัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยวันละ 397.85 และ 332.85 ลิตร และให้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อสารอินทรีย์เท่ากับ 0.647 และ 0.630 ลิตรต่อกรัม VS ที่เติมเข้าระบบ ตามลำดับ ซึ่งในชุดการทดลองเศษอาหารและมูลสัตว์ มีค่าสูงกว่าระบบแบบแบทช์ 2.52 และ 2.29 เท่าตามลำดับ พบว่าถังหมักแบบขั้นตอนเดียวเมื่อดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากวัตถุดิบเศษอาหารและมูลสัตว์ ได้เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการปรุงอาหารภายในครัวเรือนในแต่ละวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ประเด็นปัญหาที่พบ

จากผลการวิจัยพบประเด็นปัญหา ในการผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะอินทรีย์ด้วยถังหมักขนาด 1,000 ลิตร เมื่อเริ่มดำเนินระบบในระยะแรกใช้ความเข้มข้นของวัตถุดิบที่สูง นั้นคือมีค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดสูง (ประมาณ 15%TS) พบว่าระบบล้มเหลวเนื่องจากมีสารอินทรีย์ในระบบสูงส่งผลให้มีการผลิตกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดกระบวนการย่อย pH จึงลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อจุลินทรีย์ในกลุ่ม methanogen ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตและผลิตก๊าซชีวภาพได้ เมื่อปรับลดค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดให้ต่ำลง พบว่าระบบทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น กับทั้งการใช้วัตถุดิบในรูปสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ในปริมาณของแข็งต่ำ ก็สามารถเทียบเคียงกับการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือนที่มีปริมาณสารอินทรีย์หรือวัตถุดิบที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวันไม่มากนักเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อเดินระบบในระยะเวลาหนึ่งมักประสบปัญหาเกิดรอยรั่วตามแนวรอยต่อของท่อของระบบ ต้องมีการตรวจสอบและซ่อมรอยรั่วต่าง ๆ อยู่บ่อยครั้ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจำแนกเศษอาหารก่อนการป้อนเข้าสู่ระบบ ส่วนมูลสัตว์ควรมีการกรองผ่านตะแกรงก่อนการป้อนเข้าสู่ระบบ สำหรับแยกเศษวัชพืชต่างๆ ที่มักติดมากับมูลโคเพื่อลดความเสี่ยงของระบบล้มเหลว

5.3.2 หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบเมื่อมีค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น และเพิ่มการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

5.3.3 หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรเปรียบเทียบการผลิตแก๊สชีวภาพจากถังต้นแบบ กับถังที่ใช้ในการทดลองนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงปริมาณในการยืนยันถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นหลังจากการออกแบบเพิ่มเติม

5.4 ผลผลิตจากงานวิจัย

5.3.1 นำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมใหญ่โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาครั้งที่ 1 (The First Higher Education Research Promotion Congress, HERP CONGRESS 1)

5.3.2 บูรณาการในการเรียนการสอนและหรืองานวิจัย ความรู้และประสบการณ์ในการวิจัย การผลิตก๊าซชีวภาพ การปรับปรุงการเรียนการสอนในรายวิชาโดยนำผลงานจากงานวิจัยนำไปใช้ในการเรียนภาคบรรยาย และบทปฏิบัติการ ในรายวิชา สอนรายวิชา 4353501 เทคโนโลยีชีวภาพสิ่งแวดล้อม

5.3.3 ถ่ายทอดเทคโนโลยีถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ผ่านบริการวิชาการ โดยอบรมให้ความรู้พร้อมสาธิตการใช้งาน และติดตั้งถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์จำนวน 1 ชุด ณ แหล่งเรียนรู้ชุมชนหมู่ที่ 2 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลาสำหรับใช้งานในชุมชนและให้ผู้สนใจได้ศึกษาเรียนรู้

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

เอกสารอ้างอิง

Agyeman, F.O. and Tao, W. 2014. **Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of food waste particle size and organic loading rate**. Journal of Environmental Management. 133: 268-274.

Anggono, W, Wardana, I.N.G., Lawes, M, Hughes, K.J., Wahyudi, S. and Hamidi, N. 2013. **The laminar burning velocity and flammability characteristics of biogas in spark ignited premix combustion at reduced pressure**. Applied Mechanics and meterials. 376: 79-85

Cho, J.K., S.C. Park and H.N. Chang. 1995. **Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes**. Bioresource Technology. 52: 245-253.

Deublein, D. and Steinhauser, A. 2011. **Biogas from waste and renewable resources**. Mörlenbach, Germany.

Grady, C.P.L., JR.G.T. Daigger and H.C. Lim. 1999. **Biological Wastewater Treatment**. Marcel Dekker Inc., New York.

Gerardi, M.H. 2003. **The Microbiology of Anaerobic Digesters**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

Griffin, M.E., K.D. McMahon, R.I. Mackie and L. Raskin. 1998. **Methanogenic population dynamics during start-up of anaerobic digesters treating municipal solid waste and biosolids.** Biotechnology and Bioengineering. 57 (3): 342-355.

Holland, K.T., J.S. Knapp and J.G. Shoesmith. 1987. **Anaerobic Bacteria**. Chapmon and Hall. New York.

Karim, K., Hoffman, R., Thomas Klasson, K. and Al-Dahhan, M.H. 2005. **Anaerobic digestion of animal waste : Effect of mode of mixing**. Water Research. 39(15): 3597-3606

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Kondusamy, D. and Kalamdhad, A.S. 2014. **Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production-A review**. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2:1821-1830

Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez and García, M.M. 2012. **Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production**. Waste Management. 32: 1821-1825

Mata-Alvarez, J., Cecchi, F., Llabrés, P. and Pavan, P. 1992. **Anaerobic digestion of the Barcelona central food market organic wastes: plant design and feasibility study**. Bioresource Technology. 42: 33 -42.

Nagao, N., Tajima, N., Kawai, M., Niwa, C., Kurosawa, N., Matsuyama, T., Yusoff, F. Md. and Toda, T. 2012. **Maximum organic loading rate for the single-stage wet anaerobic digestion of food waste**. Bioresource Technology. 188: 210-218

Nasir, I. M., Ghazi, T.I.M, Omar, R. and Idris, A. 2013. **Batch and semi-continuous biogas production from cattle manure**. International Journal of Engineering and Technology. 10(1): 16-21

Rasi, S., Veijanen, A., Rintala, J., 2007. **Trace Compounds of biogas from different biogas production plants**. Energy. 32(8): 1375-1380.

Rene, A. and Gunnar, L. 2007. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste**. Renewable Energy. 33 (4): 726-734

Sosnowski, P., A. Wieczorek and S. Ledakowicz. 2003. **Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes.** Advances in Environmental Research. 7: 609-616.

Wang, M., Sun, X., Li, P., Yin, L., Liu, D., Zhang, Y., Li, W. and Zheng, G. 2014. **A novel alternate feeding mode for semi-continuous anaerobic co-digestion of food waste with chicken manure**. Bioresource Technology. 164: 309-314.

Zhang, C., Su, H. and Tan, T. 2013. **Batch and semi-continuous anaerobic digestion of food waste in dual solid-liquid system.** Bioresource Technology. 145: 10-16

Zheng, Y., Pan, Z., Zhang, R., El-Mashad, H. M., Pan, J. and Jenkins B. M. 2009. **Anaerobic digestion of saline creeping wild ryegrass for biogas production and pretreatment of particleboard material**. Bioresource Technology. 100: 1582–1588.

Zheng, C., Su, H. and Baeyens, T. T. 2014. **Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production.** Renewable Sustain Energy Review 38: 383-392

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2540. **ระบบก๊าซและบ่อก๊าซชีวภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กองเกษตรสัมพันธ์.

ปิยชน สังข์กลิ่นหอม. 2545. **การบำบัดและผลิตแก๊สชีวภาพจากขยะเศษอาหารด้วยระบบไร้ออกซิเจนแบบท่อไหล**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประทิน กุลละวณิชย์. 2550. **ภาพรวมเชิงสถานภาพและศักยภาพของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทย.** วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ ฉบับพิเศษ ปีที่ 30 ฉบับที่ 4.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **เทคโนโลยีบำ บัดน้ำเสียอุตสาหกรรม.** เล่มที่ 2. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วีระชัย สุนทรรังสรรค์. 2549. **ชีวมวลแหล่งพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม**, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21(2): 29-32.

วุฒิภัณฑ์ คุมมินทร์. 2544. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่ความเข้มข้นสูง โดยการหมักแบบชั้นกรองไร้อากาศ 2 ขั้นตอน ร่วมกับวิธีการวนน้ำหมัก**, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2551. โครงการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในรูปแบบการหมักย่อยร่วมโดยถังปฏิกรณ์ UASB และ CSTR เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

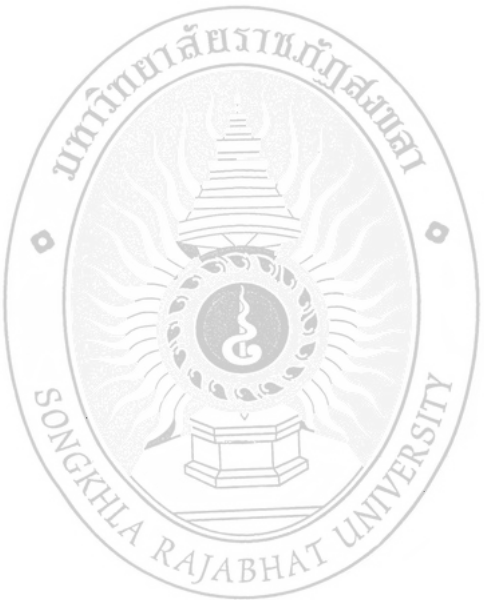
สมชัย จันทร์สว่าง. 2546. **การเกิดก๊าซชีวภาพ.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ http://kanchanapisek.or.th/pk1/data/06/nk6041.htm สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2553

สมชาย แก้วจันทร์ฉาย และคณะ .2547 . **การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้งานถังก๊าซชีวภาพใช้ในครัวเรือนของชุมชน**

อวัสดา ฉลานุวัฒน์. 2545. **อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

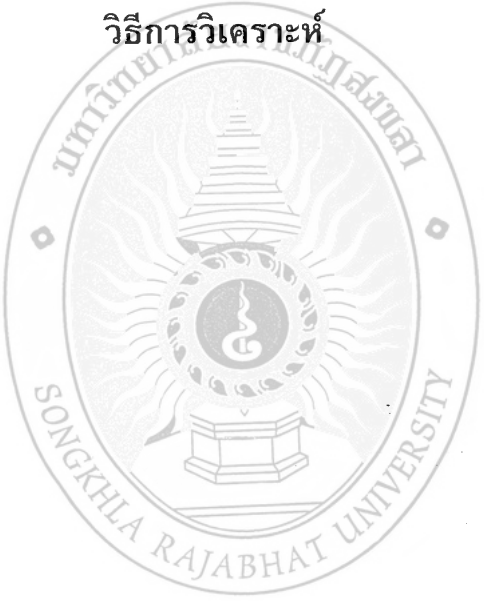
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์



1. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) และปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile solid, VS) โดยวิธี Gravimetric

ของแข็งทั้งหมด หมายถึง ปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากสารตัวอย่างจนหมด แล้วนำ ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator) แล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของของแข็งทั้งหมด ส่วนปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของสารที่ระเหยไปได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่ใช้ในการติดตามปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์

(1) การเตรียมจานระเหย จานที่จะใช้ต้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน สมมติ = A มิลลิกรัม

(2) เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำให้เหมาะสม

(3) ค่อย ๆ รินตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาของแข็งทั้งหมดใส่ในจานระเหย นำ ไประเหยน้ำออกให้หมดบน water bath หรือ hot plate นำ ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

(4) ชั่งน้ำหนักจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง สมมติ = B มิลลิกรัม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นก็คือน้ำหนักของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งคำนวณออกมาในรูปของมิลลิกรัมต่อลิตร

(5) นำจานระเหยที่ได้จากการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ไปเผาในตู้อบที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน สมมติ = C มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{Total solids (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{(B-A) มิลลิกรัม} \times 1{,}000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

$$\text{Total volatile solid (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{(B-C) มิลลิกรัม} \times 1{,}000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

2. Chemical Oxygen Demand (COD) โดยวิธี Titrimetric Method

การวิเคราะห์หาค่า COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux) มีหลักการเช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open reflux) สารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดซ์ได้มากกว่าในระบบเปิดเพราะมีเวลา

สัมผัสกับสารออกซิไดซ์ได้นานกว่า ก่อนทำ การทดลองทุกครั้งควรตรวจดูฝาปิดหลอดแก้วว่ามีรอยแตกหรือไม่ ฝาจุกของหลอดทดลองที่อาจเกิดชำ รุดในขณะทำ การย่อยสลายในตู้อบจะทำ ให้เกิดการปนเปื้อนและทำ ให้มีการสูญหายของสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงควรที่จะต้องระมัดระวังสำ หรับการย่อยสลายในตู้อบจะใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเลือกขนาดของหลอดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความไว (sensitivity) ที่ต้องการ

สารเคมี

(1) สารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต 0.0167 M ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.913 กรัม ที่อบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator) ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 167 มิลลิลิตร เติม$HgSO_4$ 33.3 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

(2) กรดซัลฟูริครีเอเจนต์ ละลาย Ag_2SO_4 22 กรัม ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.0 กิโลกรัม

(3) สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย $FeSO_4.7H_2O$ 0.695 กรัม และ 1,10 phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

(4) สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 M ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)2.H_2O$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 20 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่นำ มาใช้ เติมสารเคมีตามตารางผนวกที่ 1 ในภาชนะย่อยสลายแต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 1-2 หยดทำ ประมาณ 1-2 หลอด ไตเตรทจนถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากสีฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

วิธีการวิเคราะห์

(1) ล้างหลอดย่อยสลายและฝาจุกด้วยกรดซัลฟูริค 20 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์

(2) เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

(3) นำ ตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลายหรือแอมพูล เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลายซึ่งได้แก่ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

(4) ค่อย ๆ เทกรดซัลฟูริครีเอเจนต์ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำและสารละลายในการย่อยสลาย

(5) ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่นหรือถ้าใช้แอมพูลก็ให้เชื่อมให้สนิท แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

(6) นำ หลอดทดลองนี้ไปใส่เครื่องย่อยสลาย (block digester) หรือตู้อบ ซึ่งได้ทำ ให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสก่อน ใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยนำหลอดทดลองมาวางในที่วางหลอดทดลอง

(7) เปิดฝาจุก แล้วจึงใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วยทีเอฟอี (TFE covered magnetic bar) ถ้าใช้แอมพูล ให้เทของผสมลงไปในภาชนะที่ใหญ่กว่า เพื่อนำ ไปไตเตรท เติมเฟอโรอิน-อินดิเคเตอร์ ประมาณ 1-2 หยด คนโดยใช้เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 M จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากสีฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง ถึงแม้บางครั้งสีฟ้าอมเขียวอาจจะกลับมาปรากฏอีกในหลายนาทีถัด มา และในลักษณะเดียวกันให้ทำ รีฟลักซ์และไตเตรทแบลงค์ที่มีรีเอเจนต์กับน้ำกลั่นในปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{COD (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A-B)\times M\times 8{,}000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

A = มิลลิลิตร $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์

B = มิลลิลิตร $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างน้ำ

M = Molarity ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่าง ๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

ขนาดของภาชนะย่อยสลาย	ตัวอย่าง (ml)	สารละลายในการย่อยสลาย (ml)	กรดซัลฟูริครีเอเจนต์ (ml)	ปริมาตรทั้งหมด (ml)
หลอดย่อยสลาย				
16x100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20x150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25x150 mm	10.0	6.0	14.0	30.0
แอมพูลมาตรฐาน				
10 ml	2.5	1.5	3.5	7.5

3. Biochemical oxygen demand (BOD)

BOD คือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ค่า BOD นี้จะบอกถึงคุณลักษณะของน้ำเสียนั้นว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มากหรือไม่ ถ้าค่า BOD มีมาก แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก แต่ถ้าค่า BOD น้อยแสดงว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่น้อยด้วย

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. ขวดมาตรฐานความจุ 250-300 มิลลิลิตร มีจุกปิดได้สนิทปากกว้างออกเล็กน้อยมีร่องเหนือจุกและปากขวดเพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอขณะ incubate ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดทุกครั้งก่อนนำ มาใช้

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

3. ตู้เย็นขนาด 6 คิวบิคฟุต

4. กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์คุณภาพสูงปราศจากคลอรีน อัลคาไลนิตี้ กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $Na_2HPO_4.7H_2O$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ควรจะมีค่า pH 7.2

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $MgSO_4.7H_2O$ จำ นวน 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย $CaCl_2$ ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

5. สารละลายเฟอริคคลอไรด์ ละลาย $FeCl_3.6H_2O$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

6. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 N ละลาย Na_2SO_3 ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ไม่คงที่สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการเท่านั้น

7. สารละลายกรดและด่าง 1 N สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

8. การเติมน้ำเชื้อ (seeding) เพื่อต้องการให้มีจำนวนแบคทีเรียเพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำเสียประเภทสารอินทรีย์ เช่น น้ำโสโครกจากบ้านเรือนซึ่งมีแบคทีเรียอยู่เป็นจำนวนมากแล้วก็ไม่จำ เป็นต้องเติมน้ำเชื้อลงไปอีก

ตัวอย่างน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรียอยู่น้อยหรือไม่มีเลย เช่น น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น้ำทิ้งที่อุณหภูมิสูง เป็นกรดหรือด่างแรงจะต้องเติมเชื้อลงในน้ำที่ใช้เจือจาง น้ำเชื้อมาตรฐานเตรียมได้จากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนที่ปล่อยให้ตกตะกอนและใส่ไว้ในตู้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง จึงดูดเอาน้ำส่วนบนมาใช้ โดยทั่วไปแล้วใช้น้ำเชื้อมาตรฐาน 1-2 มิลลิลิตรต่อน้ำที่ใช้เจือจาง 1,000 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาณที่ต้องการใช้ 1,000 มิลลิลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด

1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์ ตามลำ ดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อเจือน้ำอจาง 1,000 มิลลิลิตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

1.4 เติมน้ำ2 มิลลิลิตร ต่อน้ำใช้เจือจาง 1,000 มิลลิลิตร ในกรณีที่จำ เป็นต้องใช้

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์

2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดจะต้องปรับให้เป็นกลาง คือ pH ประมาณ 7 ด้วย H_2SO_4 1 N หรือ NaOH 1 N แล้วแต่กรณี

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง คลอรีนส่วนที่เหลือก็จะสลายตัวไป แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลางแล้วยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มากต้องกำ จัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ การหาปริมาณคร่าว ๆ ของโซเดียมซัลไฟด์ที่จะเติมทำ ได้โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100-1,000 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติค (1+1) หรือกรดซัลฟูริค (1+50) 10 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 N ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ก็จะทราบปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่จะต้องใช้ แล้วจึงนำ ตัวอย่างน้ำที่กำ จัดคลอรีนส่วนเกินแล้วไปหาค่า BOD ต่อไป

2.3 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำ จัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

การคำนวณ

1. ในกรณีที่ไม่เติมเชื้อ

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร BOD} = \frac{D1-D2}{P}$$

2. ในกรณีที่เติมเชื้อ

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร BOD} = \frac{(D1-D2)-(B1-B2)f}{P}$$

D1 = DO ของตัวอย่างที่ทำ การเจือจางแล้วเป็นเวลา 15 นาที ของวันที่ 0

D2 = DO ของตัวอย่างที่ทำ การเจือจางแล้วและบ่มเป็นเวลา 5 วัน

P = อัตราส่วนของตัวอย่างที่ใช้ต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้ว

B1 = DO ของหัวเชื้อคุม (seed control) ก่อนการบ่ม

B2 = DO ของหัวเชื้อคุม (seed control) หลังการบ่ม 5 วัน

f = อัตราส่วนของหัวเชื้อในตัวอย่างต่อในหัวเชื้อคุม

$$= \frac{\% \text{ seed in D1}}{\% \text{ seed in B1}}$$

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางภาคผนวก ข-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบแบทช์

วันที่	ถังชุดที่ 1 (เศษอาหาร)				ถังชุดที่ 2 (มูลสัตว์)			
	pH	ความสูงของถังเก็บก๊าซ (cm)	ปริมาณ biogas (L)	ปริมาณ biogas สะสม (L)	pH	ความสูงของถังเก็บก๊าซ (cm)	ปริมาณ biogas (L)	ปริมาณ biogas สะสม (L)
1	6.65	0	0	0	7.41	0	0	0
2	6.63	0	0	0	7.30	0	0	0
3	6.63	0	0	0	7.28	14	73.98	73.98
4	6.63	10.5	55.48	55.48	7.25	23	121.53	195.51
5	6.59	28.1	148.48	203.96	7.25	27	142.67	338.18
6	6.57	35	184.94	388.90	7.23	33	174.37	512.55
7	6.55	37.5	198.15	587.05	7.22	31.5	166.45	678.99
8	6.54	40	211.36	798.41	7.20	35	184.94	869.93
9	6.53	38.5	203.43	1001.85	7.17	33.25	175.69	1039.63
10	6.51	42.5	224.57	1226.42	7.12	42.5	224.57	1264.2
11	6.48	41.5	219.29	1445.70	7.07	46.4	245.18	1509.37
12	6.42	44.5	235.14	1680.84	7.04	40.25	212.68	1722.06
13	6.41	47.5	250.99	1931.83	7.02	38.3	202.38	1924.43
14	6.40	44.25	233.82	2165.65	6.97	37.5	198.15	2122.58
15	6.38	42.25	223.25	2388.90	6.97	34.25	180.98	2303.56
16	6.34	39.75	210.04	2598.94	6.95	31.5	166.45	2470.01
17	6.31	35.5	187.58	2786.52	6.89	27.5	145.31	2615.32
18	6.30	24.25	128.14	2914.65	6.85	24.05	127.08	2742.4
19	6.27	12.5	66.05	2980.70	6.84	10.5	55.48	2742.4
20	6.26	0	0	2980.70	6.82	0	0	2742.4

ตารางภาคผนวก ข-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เศษอาหารและมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

วันที่	ถังชุดที่ 1 (เศษอาหาร)				ถังชุดที่ 2 (มูลสัตว์)			
	pH	ความสูงของถังเก็บก๊าซ (cm)	ปริมาณ biogas (L)	ปริมาณ biogas สะสม (L)	pH	ความสูงของถังเก็บก๊าซ (cm)	ปริมาณ biogas (L)	ปริมาณ biogas สะสม (L)
1	6.87	62	274.77	274.77	7.18	55	237.78	237.78
2	6.82	65.75	294.58	569.35	7.12	60	264.20	501.98
3	6.83	72.25	328.93	898.28	7.15	66	295.90	797.88
4	6.81	78.5	361.95	1260.23	7.18	69	311.76	1109.64
5	6.79	81.5	377.81	1638.04	7.25	70.5	319.68	1429.32
6	6.77	84	391.02	2029.06	7.23	73.5	335.53	1764.86
7	6.80	82.5	383.09	2412.15	7.22	69.5	314.40	2079.25
8	6.79	87	406.87	2819.01	7.25	73.2	333.95	2413.20
9	6.81	85.7	400.00	3219.01	7.27	70	317.04	2730.24
10	6.81	82	380.45	3599.46	7.27	73.5	335.53	3065.78
11	6.80	86	401.58	4001.04	7.28	72	327.61	3393.38
12	6.82	85.5	398.94	4399.99	7.24	74	338.18	3731.56
13	6.79	89.2	418.49	4818.48	7.26	75.2	344.52	4076.08
14	6.81	84.25	392.34	5210.82	7.27	71.5	324.97	4401.04
15	6.78	90	422.72	5633.54	7.25	74.5	340.82	4741.86
16	6.80	88.5	414.79	6048.33	7.20	70	317.04	5058.90
17	6.81	85.5	398.94	6447.27	7.17	72	327.61	5386.51
18	6.80	83.8	389.96	6837.23	7.12	73.5	335.53	5722.04
19	6.77	85	396.30	7233.53	7.10	76.2	349.80	6071.84
20	6.76	89.5	420.08		7.07	73.9	337.65	6409.49

วันที่	ถังชุดที่ 1 (เศษอาหาร)				ถังชุดที่ 2 (มูลสัตว์)			
	pH	ความสูงของถังเก็บก๊าซ (cm)	ปริมาณ biogas (L)	ปริมาณ biogas สะสม (L)	pH	ความสูงของถังเก็บก๊าซ (cm)	ปริมาณ biogas (L)	ปริมาณ biogas สะสม (L)
21	6.75	85.5	398.94	8052.55	7.14	75	343.46	6752.95
22	6.72	88	412.15	8464.70	7.17	73.7	336.59	7089.54
23	6.71	91	428.00	8892.71	7.21	75	343.46	7433.00
24	6.73	88	412.15	9304.86	7.25	72.4	329.72	7762.72
25	6.75	90	422.72	9727.58	7.27	74.2	339.23	8101.96
26	6.77	88	412.15	10139.73	7.23	76	348.74	8450.70
27	6.75	85	396.30	10536.03	7.22	75.7	347.16	8797.86
28	6.73	87.5	409.51	10945.54	7.20	76.2	349.80	9147.66
29	6.77	88	412.15	11357.69	7.17	75	343.46	9491.12
30	6.79	90	422.72	11780.41	7.22	73	332.89	9824.01
31	6.81	91.5	430.65	12211.06	7.17	75.5	346.10	10170.11
32	6.78	88.2	413.21	12624.27	7.14	73.2	333.95	10504.06
33	6.77	86.5	404.23	13028.49	7.12	75.5	346.10	10850.17
34	6.80	90.5	425.36	13453.86	7.10	77.2	355.08	11205.25
35	6.78	87	406.87	13860.72	7.18	74.4	361.43	11566.68
36	6.81	90	422.72	14283.44	7.16	75.5	367.24	11933.91
37	6.80	88	412.15	14695.60	7.11	72.7	352.44	12286.36
38	6.79	90	422.72	15118.32	7.15	75.5	361.95	12648.31

ตารางภาคผนวก ข-3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด COD และ VS เมื่อใช้เศษอาหารและมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก	COD		VS	
	เศษอาหาร	มูลสัตว์	เศษอาหาร	มูลสัตว์
0	147.54	126.75	28.25	25.12
5	131.34	122.85	27.46	22.82
10	129.75	111.65	21.2	20.91
15	104.28	101.74	20.17	19.55
20	91.56	90.24	18.74	17.28
25	83.72	82.46	13.45	12.74
30	79.84	68.15	11.17	9.68
35	55.12	53.46	7.89	7.54
38	48.89	46.3	6.63	6.17

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณการเตรียมสารละลายเศษอาหารที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4% (w/v)

ตัวอย่างการคำนวณ

เตรียมสารละลายเศษอาหารที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4% (w/v) จากเศษอาหารที่มีความชื้น 76.6% และ มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 23.4%

สารละลายเศษอาหารมีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 4 % (w/v) 100 กรัม

เตรียมได้จากเศษอาหาร	4	กรัม เติมน้ำ	96	มิลลิลิตร

แต่เศษอาหารมีค่าของแข็งทั้งหมด TS 23.4 % (w/v)

นั้นคือเศษอาหาร	23.4	กรัม จะต้องเติมน้ำ	$\frac{96 \times 23.4}{4}$	มิลลิลิตร
			= 561.6	มิลลิลิตร

แต่เนื่องจากเศษอาหารมีค่าความชื้น 76.6% หากต้องการเตรียมให้มีค่าของแข็งมีค่าประมาณ 4% จะต้องใช้เศษอาหารหนัก 100 กรัม และเติมน้ำ 561.6 – 76.6 = 485 มิลลิลิตร

ปริมาตรรวมทั้งหมดของสารละลายเศษอาหาร(เศษอาหาร+น้ำ)จะเท่ากับ 100 + 485 = 585 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการเตรียมสารละลายเศษอาหารให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร

ปริมาตรสารละลายเศษอาหารทั้งหมด	585	มิลลิลิตร ใช้เศษอาหาร	100	กรัม
ถ้าเตรียมสารละลายเศษอาหารทั้งหมด	1000	มิลลิลิตร ใช้เศษอาหาร	$\frac{100 \times 1000}{585}$	กรัม
			= 170.94	กรัม

เศษอาหาร	100	กรัม	ต้องเติมน้ำ	485	มิลลิลิตร
ถ้าใช้เศษอาหาร	170.94	กรัม	ต้องเติมน้ำ	$\frac{485 \times 170.94}{100}$	มิลลิลิตร
				= 829.06	มิลลิลิตร

ดังนั้น เตรียมสารละลายเศษอาหารที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4% (w/v) จากเศษอาหารที่มีความชื้น 76.6% และ มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 23.4% ปริมาตร 1 ลิตร

จะต้องใช้เศษอาหาร 170.94 กรัม ผสมกับน้ำ 829.06 มิลลิลิตร

2. การคำนวณการเตรียมสารละลายมูลสัตว์ที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4% (w/v)

ตัวอย่างการคำนวณ

เตรียมสารละลายมูลสัตว์ที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4% (w/v) จากมูลสัตว์ที่มีความชื้น 84.58% และ มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 15.42%

สารละลายมูลสัตว์มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 4 % (w/v) 100 กรัม

เตรียมได้จากมูลสัตว์ 4 กรัม เติมน้ำ 96 มิลลิลิตร

แต่มูลสัตว์มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 15.42 % (w/v)

นั้นคือมูลสัตว์ 15.42 กรัม จะต้องเติมน้ำ $\frac{96 \times 15.42}{4}$ มิลลิลิตร

$= 370.08$ มิลลิลิตร

แต่เนื่องจากมูลสัตว์มีค่าความชื้น 84.58% หากต้องการเตรียมให้มีค่าของแข็งมีค่าประมาณ 4%

จะต้องใช้มูลสัตว์หนัก 100 กรัม และเติมน้ำ 370.08 – 84.58 = 285.5 มิลลิลิตร

ปริมาตรรวมทั้งหมดของสารละลายมูลสัตว์(มูลสัตว์+น้ำ)จะเท่ากับ 100 + 285.5 = 385.5 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการเตรียมสารละลายมูลสัตว์ให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร

ปริมาตรสารละลายมูลสัตว์ทั้งหมด 385.5 มิลลิลิตร ใช้มูลสัตว์ 100 กรัม

ถ้าเตรียมสารละลายมูลสัตว์ทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร ใช้เศษอาหาร $\frac{100 \times 1000}{385.5}$ กรัม

$= 259.40$ กรัม

มูลสัตว์ 100 กรัม ต้องเติมน้ำ 285.5 มิลลิลิตร

ถ้าใช้มูลสัตว์ 259.40 กรัม ต้องเติมน้ำ $\frac{285.5 \times 259.40}{100}$ มิลลิลิตร

$= 740.6$ มิลลิลิตร

ดังนั้น เตรียมสารละลายมูลสัตว์ที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4% (w/v) จากเศษอาหารที่มีความชื้น 84.58% และ มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 15.42% ปริมาตร 1 ลิตร

จะต้องใช้มูลสัตว์ 259.40 กรัม ผสมกับน้ำ 740.6 มิลลิลิตร

3. การคำนวณอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate;OLR)

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการป้อนสารอินทรีย์สำหรับชุดการทดลองเศษอาหาร

ค่า COD ของเหลวที่เข้าระบบ 150,340 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 150.34 กรัม/ลิตร

ปริมาณของสารละลายเศษอาหารที่เข้าระบบ 20 ลิตร/วัน

ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก 750 ลิตร

$$\text{OLR (กรัม COD/ ลิตร·วัน)} = \frac{\text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบ(ลิตร/วัน)x ค่า COD ของเหลวที่เข้าระบบ(กรัม/ลิตร)}}{\text{ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก(ลิตร)}}$$

$$\text{OLR} = \frac{20 \times 150.34}{750}$$

$$= 4.01 \text{ กรัม COD/ ลิตร·วัน}$$

ดังนั้นค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์สำหรับชุดการทดลองเศษอาหารคือ 4.01 กรัม COD/ ลิตร·วัน

ตัวอย่างการคำนวณค่าปริมาณของสารละลายมูลสัตว์ที่เข้าระบบในแต่ละวัน

เนื่องจากต้องการควบคุมปริมาณที่เติมในแต่ละวันของชุดการทดลองเศษอาหารและมูลสัตว์ให้มีค่าเท่ากันทั้ง 2 ชุดการทดลอง

ค่า COD ของของเหลวที่เข้าระบบ 135,500 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 135.50 กรัม/ลิตร

ปริมาณของสารละลายเศษอาหารที่เข้าระบบ 20 ลิตร/วัน

ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก 750 ลิตร

$$\text{OLR} = \frac{20 \times 135.50}{750}$$

$$= 3.61 \text{ ลิตร/วัน}$$

ดังนั้นค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์สำหรับชุดการทดลองมูลสัตว์คือ 3.61 กรัม COD/ ลิตร·วัน

4. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ (% removal)

ประสิทธิภาพการกำจัด (%) = (สารอินทรีย์ที่เข้าระบบ – สารอินทรีย์ที่ออกจากระบบ) x 100
สารอินทรีย์ที่เข้าระบบ

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่า COD ของเหลวที่เข้าระบบ 252,574 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 252.57 กรัม/ลิตร

า COD ของเหลวที่เข้าระบบ 74,303 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 74.30 กรัม/ลิตร

ประสิทธิภาพการกำจัด (%) = (252.57 – 74.30) x 100
252.57

= 70.58%

5. การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์เข้าระบบ(ลิตร/กรัมสารอินทรีย์ที่เติม)

= ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดต่อวัน(ลิตร/วัน)
ของเหลวที่เข้าระบบ(ลิตร/วัน) x ค่าสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ(กรัม/ลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณชุดการทดลองเศษอาหาร

ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ย = 62 ลิตร/วัน

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 5 ลิตร/วัน

ค่า COD ของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 252.57 กรัม/ลิตร

ค่า VS ของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 72.36 กรัม/ลิตร

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์เข้าระบบ(ลิตร/กรัมสารอินทรีย์ที่เติม)

= 62 .
5 x 252.57

= 0.049 ลิตร/กรัม COD ที่เติม

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์เข้าระบบ(ลิตร/กรัมสารอินทรีย์ที่เติม)

= 62 .
5 x 72.36

= 0.171 ลิตร/กรัม VS ที่เติม

ตัวอย่างการคำนวณชุดการทดลองมูลสัตว์

ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ย = 68.5 ลิตร/วัน

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 6.27 ลิตร/วัน

ค่า COD ของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 201.08 กรัม/ลิตร

ค่า VS ของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 55.35 กรัม/ลิตร

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์เข้าระบบ(ลิตร/กรัมสารอินทรีย์ที่เติม)

$$= \frac{58.5}{6.27 \times 201.08}$$

= 0.054 ลิตร/กรัม COD ที่เติม

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์เข้าระบบ(ลิตร/กรัมสารอินทรีย์ที่เติม)

$$= \frac{58.5}{6.27 \times 55.35}$$

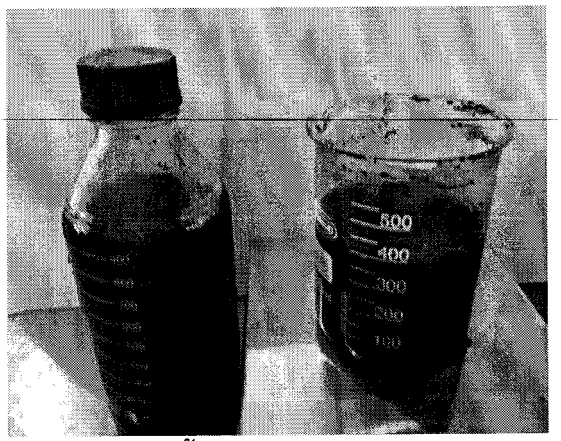
= 0.168 ลิตร/กรัม VS ที่เติม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

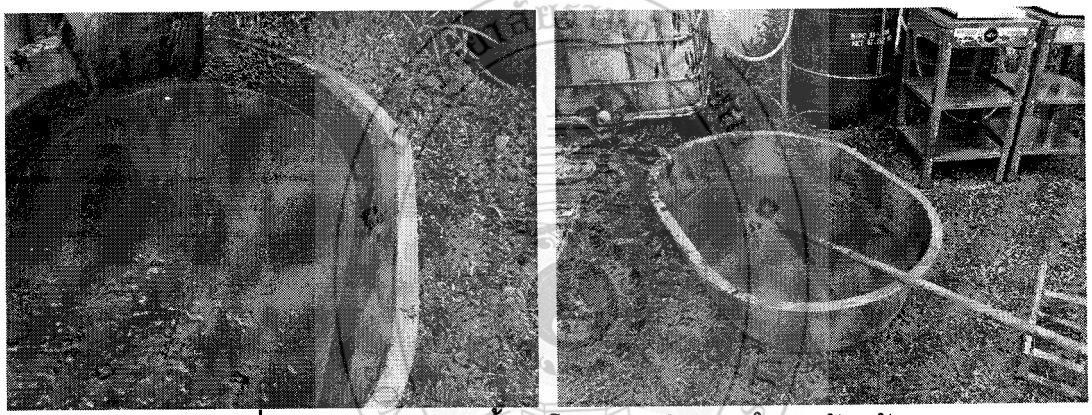
ภาคผนวก ง

ประมวลภาพการดำเนินการวิจัย

ภาพที่ ง-1 ลงพื้นที่เข้าเยี่ยมชม กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
ณ องค์การบริหารส่วนตำบลคลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

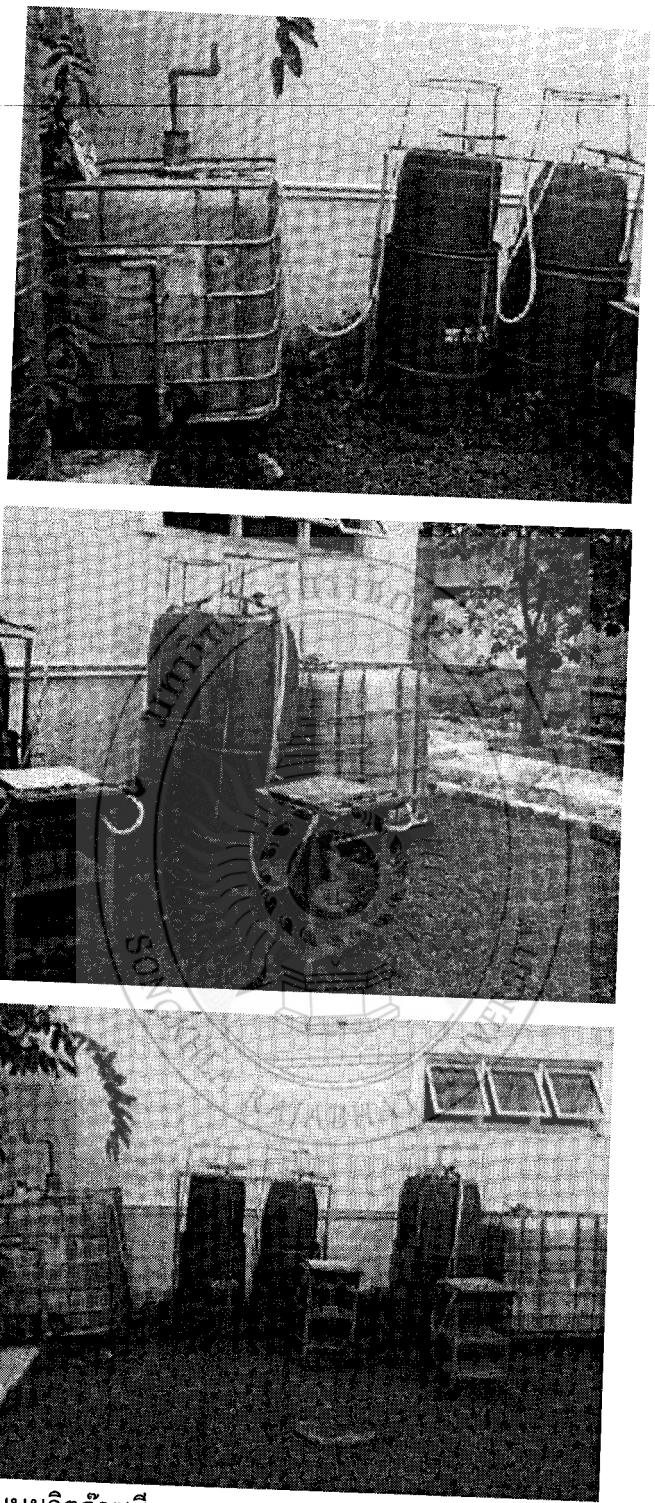


ภาพที่ ง-2 ลักษณะหัวเชื้อจากตะกอนจุลินทรีย์ในถังผลิตก๊าซขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

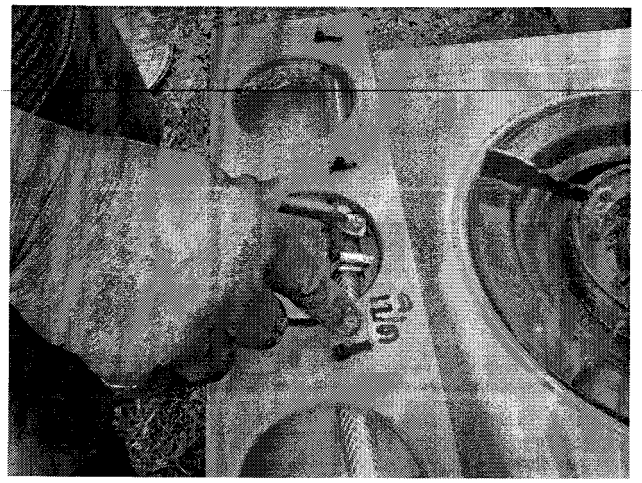


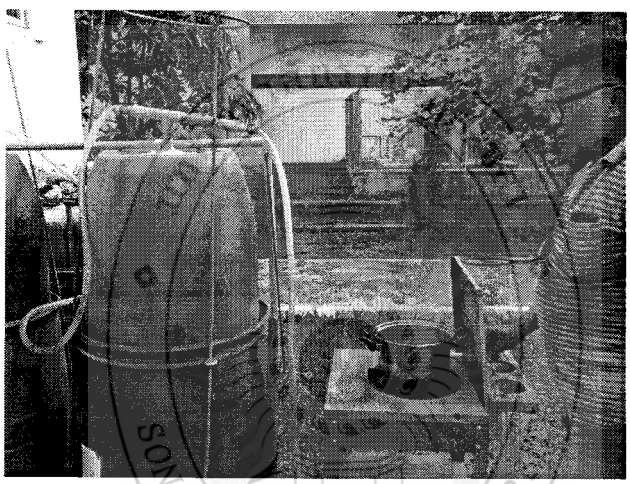
ภาพที่ ง-3 การเตรียมหัวเชื้อมูลโคสดสำหรับบรรจุในชุดถังหมัก

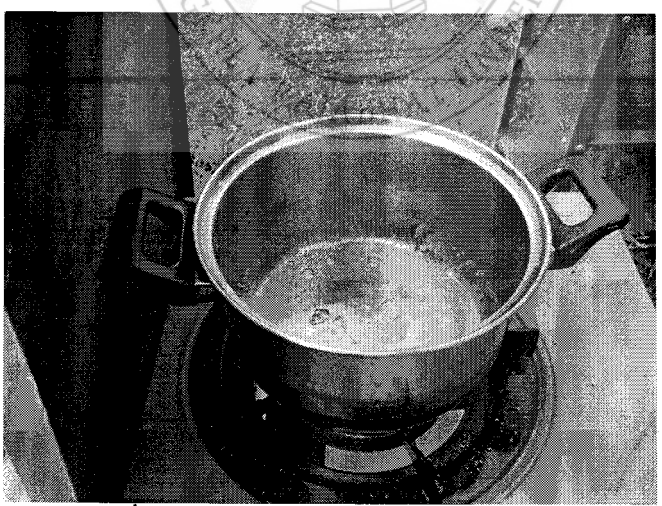
ภาพที่ ง-4 ลักษณะสารละลายเศษอาหารที่มีค่า TS ประมาณ 4%



ภาพที่ ง-5 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 2 ชุด ณ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์และเศษอาหารเป็นวัตถุดิบ





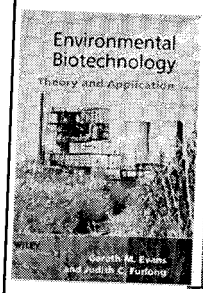


ภาพที่ ง-6 ทดสอบการใช้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

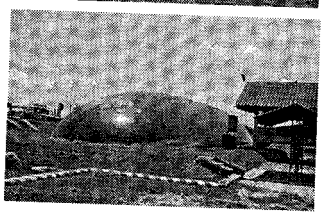
ภาคผนวก จ
การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ใช้เป็นเอกสารประกอบการสอนในรายวิชา 4353501 เทคโนโลยีชีวภาพสิ่งแวดล้อม

รายวิชา 4353501
เทคโนโลยีชีวภาพทางสิ่งแวดล้อม



การผลิตก๊าซชีวภาพ

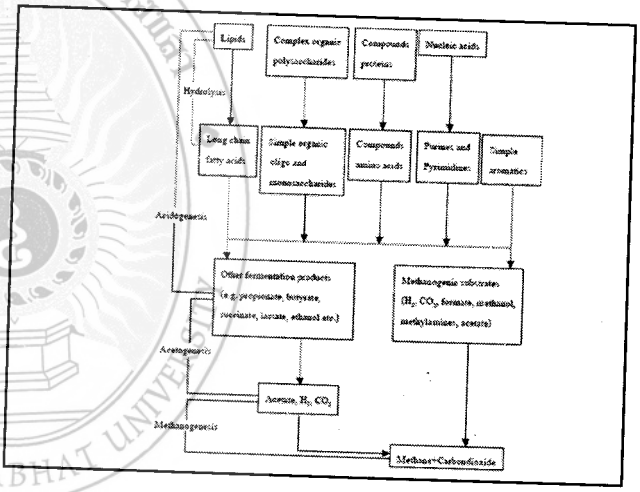


กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic process)

- **กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic process)** จุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนจะเติบโตโดยใช้สารประกอบพวก SO_4^{-2} , NO_3^- ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวได้พลังงานและสารประกอบอื่นที่ไม่คงตัว ได้แก่ มีเทน ไนโตรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์

bacteria

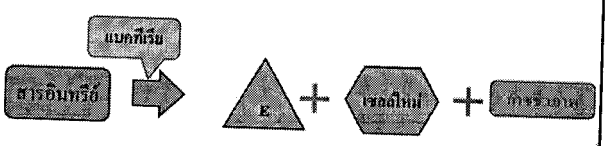
Organic waste $\rightarrow$ $H_2O + CH_4 + N_2 + H_2S + CO_2 + energy$



กรณีศึกษา โครงการวิจัย การพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

- ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการอากาศหรือออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ทำปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์



กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส → แบคทีเรียสร้างกรด

สารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก

ปฏิกิริยาการเกิดกรด → แบคทีเรียสร้างกรด

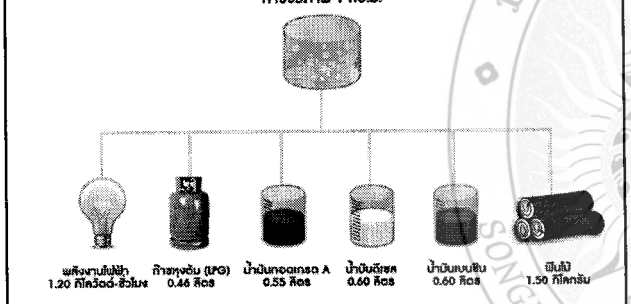
กรดอินทรีย์

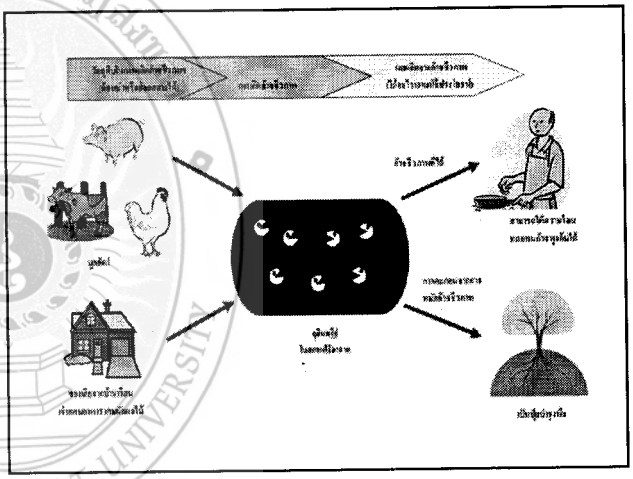
ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน → แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน

ก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.



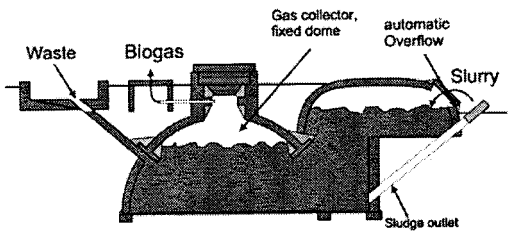


ตัวอย่างถังผลิตก๊าซชีวภาพในครัวเรือน

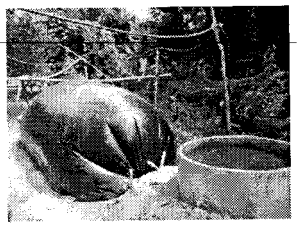
แบบโดมคงที่ (Fixed Dom Digester)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

แบบโดมคงที่ (Fixed Dom Digester)

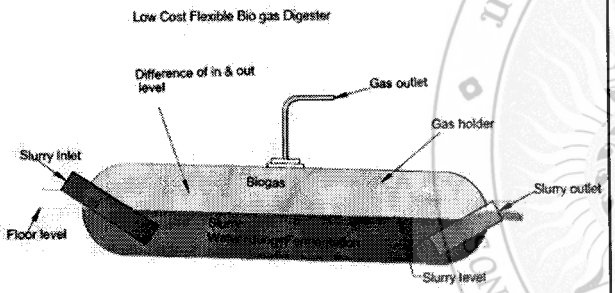


การผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุงหมักพีวีซี



- ขนาดของบ่อดินมีความกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร ลึก 1 เมตร ซึ่งจะใช้ถุงพลาสติกพีวีซี ยาว 6 เมตร มีเส้นรอบวง 5.25 เมตร มีปริมาตรรวม 8 ลูกบาศก์เมตร

การผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุงหมักพีวีซี

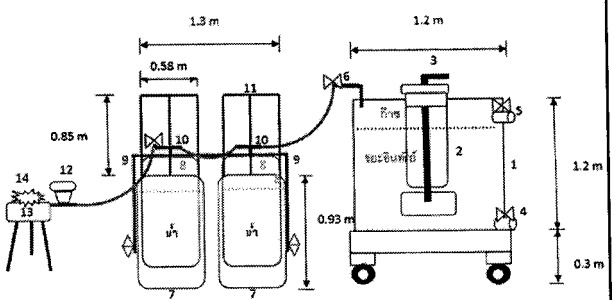


ชุดผลิตก๊าซชีวภาพแบบต่าง ๆ

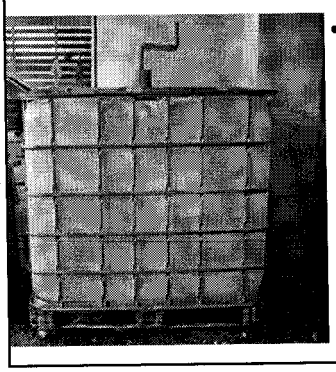
ถังหมักแบบครัวเรือน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

- ขนาด 200 ลิตร
- รับขยะอินทรีย์ได้ 1-5 กก./วัน
- ราคาประมาณ 6,000 บาท

แบบเครื่องมือการผลิตก๊าซจากขยะอินทรีย์



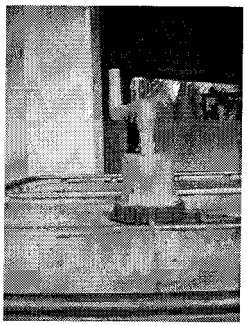
ชุดถังหมัก

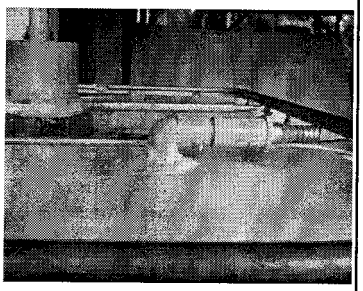


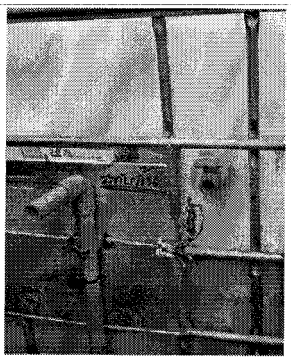
- ตัวถังทำด้วยพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) ขนาด 1,000 ลิตร มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 1 × 1.2 เมตร มีความสูง 1.16 เมตร โดยมีปริมาตรความจุ 1,000 ลิตร ปริมาตรที่ใช้ในการหมักคือ 750 ลิตร

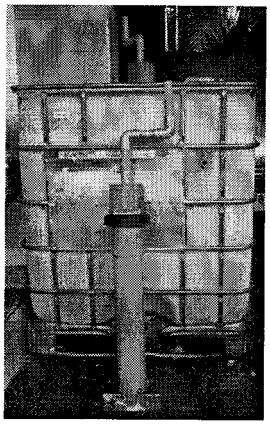
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร SAKONNAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

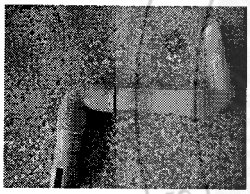
ชุดถังหมัก







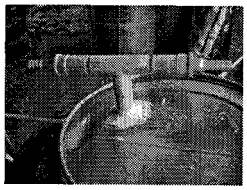


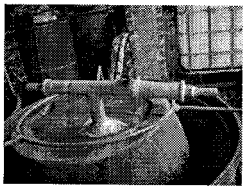


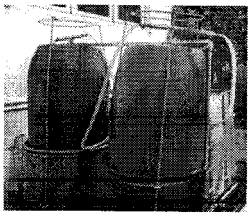
- ชุดใบพัดกวน ยาว 80 เซนติเมตร

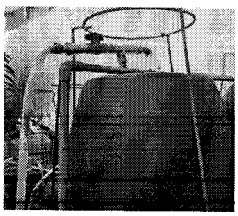
ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ

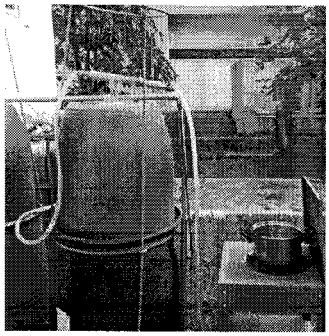
- ถังพลาสติกขนาด 160 ลิตร คว่ำลงในถังน้ำขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ชุด



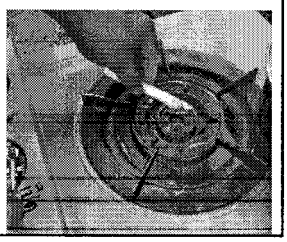








- ต่อสายยาง ขนาด ½ นิ้ว จากชุดเก็บก๊าซชีวภาพ เข้ากับ ชุดเตาหุงต้ม



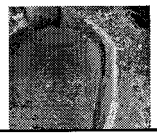
การเตรียมหัวเชื้อสำหรับเริ่มต้นเดินระบบ

- มูลวัวสด 1 ส่วน ผสมน้ำ 3 ส่วน นั่นคือ มูลวัวสด 250 กิโลกรัม เติมน้ำเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ 750 ลิตร ในถังหมักขนาด 1,000 ลิตร หมักเป็นระยะเวลา 10 วัน
- จากนั้นจึงเติมมูล 2 กิโลกรัม ผสมน้ำ 2 ลิตร หรือ 2 กิโลกรัม ทุกวัน จนครบ 5 วัน

การเดินระบบและใช้งานถังหมักก๊าซชีวภาพ

- สามารถเติมวัตถุดิบในทุกๆ วัน ในปริมาณ 1-5 กิโลกรัม หรือเติมทุกๆ 3 วัน ในปริมาณ 10 – 20 กิโลกรัม

มูลสัตว์ 1 ส่วน ต่อ น้ำ 1 ส่วน
เศษอาหาร 1 ส่วน มูลสัตว์ 1 ส่วน น้ำ 1 ส่วน
เศษผักและเปลือกผลไม้ 1 ส่วน มูลสัตว์ 1 ส่วน น้ำ 1 ส่วน

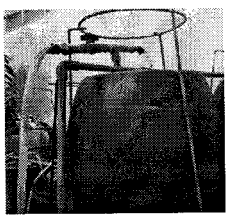


การเดินระบบและใช้งานถังหมักก๊าซชีวภาพ

โดยจากการวิจัยพบว่าหากต้องการก๊าซชีวภาพปริมาณวันละ 300-400 ลิตร สามารถใช้วัตถุดิบในอัตราส่วนดังต่อไปนี้

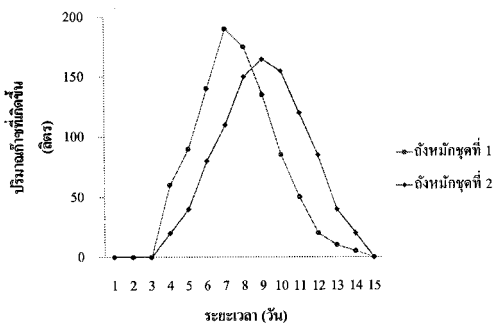
- เศษอาหารประมาณ 3.5 กิโลกรัม เติมน้ำ เพื่อปรับปริมาตร ให้ได้ 20 ลิตร ป้อนเข้าสู่ถังทุกวันอย่างต่อเนื่อง
- ส่วนมูลสัตว์ใช้ประมาณ 5 กิโลกรัม เติมน้ำ เพื่อปรับปริมาตร ให้ได้ 20 ลิตร เช่นเดียวกัน ป้อนเข้าสู่ถังทุกวันอย่างต่อเนื่อง

การวัดปริมาณก๊าซ



ปริมาณก๊าซ= $\pi r^2 h_1 + \pi r^2 h_2$

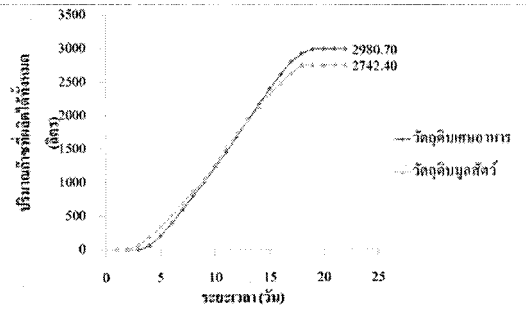
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันในช่วงการเริ่มเดินระบบ



คุณลักษณะของสารละลายเศษอาหารและมูลสัตว์ที่มีค่า TS ประมาณ 4%

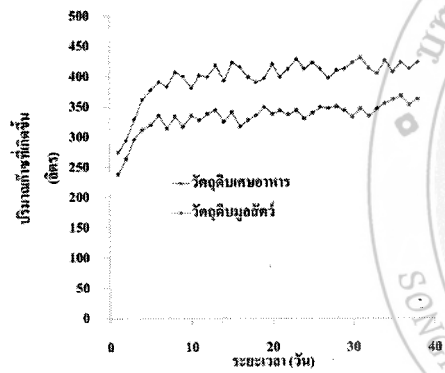
	เศษอาหาร	มูลสัตว์
pH	6.8 – 6.4	7.3 – 7.1
TS (mg/l)	46,450 – 34,660	41,400 – 28,600
VS (mg/l)	44,620 – 30,750	39,800- 26,410
SS (mg/l)	26,700 – 21,650	18,800 – 14,750
COD (mg/l)	162,374 - 150,340	145,430 – 135,500
BOD (mg/l)	107,165 - 101,250	91,530 – 67,460
TKN (mg/l)	2,598	1,353

ก๊าซชีวภาพสะสมในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบแบบแบทช์ระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์



การทดลองกระบวนการหมักแบบไร้อากาศระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous)

	ชุดการทดลองเศษอาหาร	ชุดการทดลองมูลสัตว์
HRT (day)	38	38
OLR(gCOD/l.d)	4	4
TS ของวัตถุดิบ (%)	4	4



การดูแลรักษา

- ควรติดตั้งระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 ลิตร ไว้ในที่ร่ม เพื่อป้องกันการแตกเปราะของอุปการณ์
- ต้องมีการตรวจสอบการรั่วซึมของถังหมักและถังเก็บก๊าซ อย่างสม่ำเสมอ
- สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่างๆ เช่นสบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตแก๊สของแบคทีเรียได้

การกำจัดของเสียที่เป็นของแข็ง

- **การหมัก** (Composting)
  - **กำจัดสารอินทรีย์** โดยแยกขยะอันตราย ขยะติดเชื้อออกก่อน ปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเปื่อย สามารถนำขยะที่ผ่านการย่อยสลายนั้นมาใส่ปรับปรุงคุณภาพดินได้
  - จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่จะเป็นพวก thermophilic microorganisms ซึ่งมีทั้ง แบคทีเรีย และรา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร SAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ฉ

การถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่ชุมชน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรยากาศการถ่ายทอด

ภาพที่ ฉ-1ลงพื้นที่ถ่ายทอดองค์ความรู้ กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
ณ อาคารอเนกประสงค์ สถานีอนามัยบ้านบางเขียด ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

ภาพที่ ฉ-2สาธิตการติดตั้งและวิธีการใช้ถังผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และขยะอินทรีย์
ณ หมู่ที่ 2 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

เอกสารประกอบการอบรม

การพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

ความรู้ทั่วไปสำหรับก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ

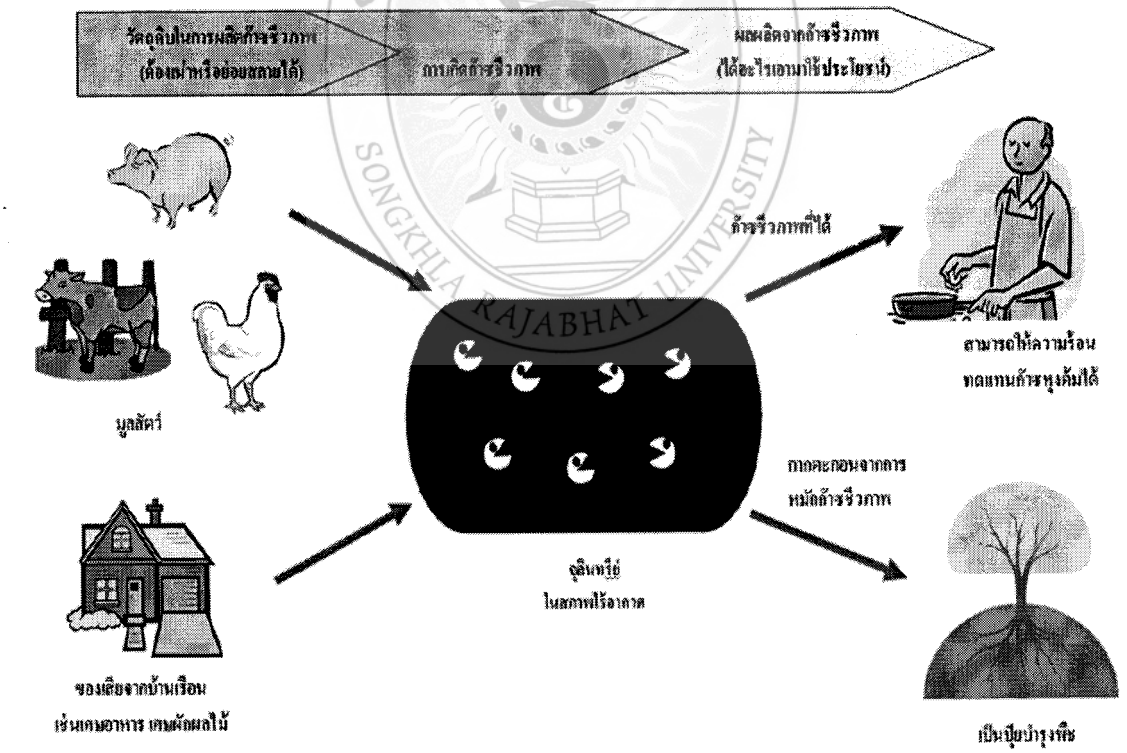
ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการอากาศหรือออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ทำปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น น้ำเสีย เศษอาหาร เศษผักผลไม้ ฟางข้าว มูลสัตว์ อุจจาระคน ฯลฯ ทำให้เกิดก๊าซผสมที่ติดไฟได้ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสาหรับหุงต้มได้

องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน(CH_4) ประมาณ 50-70% และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดเจน(H_2) ออกซิเจน(O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ไนโตรเจน(N) และไอน้ำ

วัตถุดิบสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ

ได้แก่ มูลสัตว์ทุกชนิด ขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษผัก และผลไม้ วัชพืช เศษวัตถุดิบทางการเกษตรรวมทั้งของเสีย/น้ำเสียจากแหล่งชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร เป็นต้น



ภาพที่ 1 ตัวอย่างวัตถุดิบเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือนและในระดับชุมชน และการใช้ประโยชน์

ที่มา: สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์และคณะ. 2553: 6

การเกิดก๊าซชีวภาพ

1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส : เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็ก เช่น สารคาร์โบไฮเดรต ให้เป็นน้ำตาล โปรตีนเป็นกรดอะมิโน
2. ปฏิกิริยาการเกิดกรด : ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารขนาดเล็กด้วยกระบวนการหมัก นั้นเองซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่าย
3. ปฏิกิริยาการสร้างกรดแอซิติก : ปฏิกิริยาการย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายให้เป็นกรดแอซิติก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญของกระบวนการ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนสารตั้งต้นให้มีคาร์บอนเพียง 1-2 คาร์บอนเท่านั้น (กรดแอซีติก กรดฟอร์มิก เมทานอล)
4. ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน : เป็นปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่มอาร์เคียแบคทีเรียที่มีการเจริญช้ามากและสามารถใช้สารตั้งต้นเพียงบางชนิด

ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

1. ประโยชน์ทางด้านพลังงาน ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซถัง ไฟฟ้า ฯลฯ

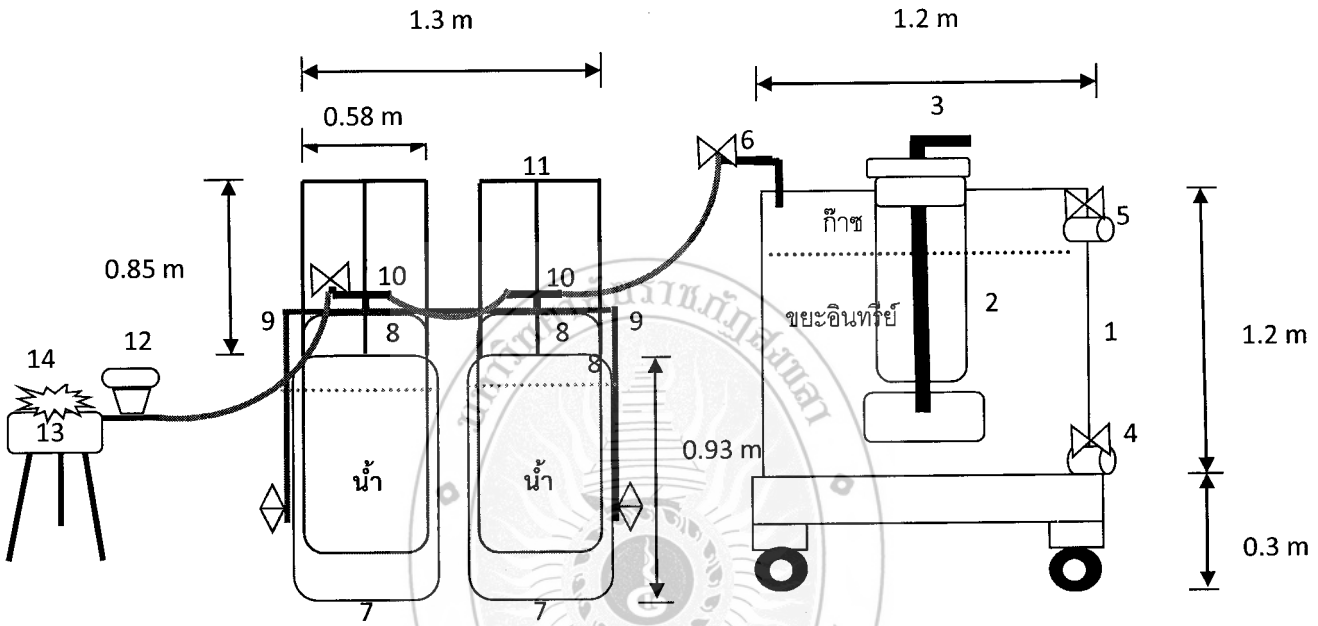
2. ประโยชน์ทางด้านการเกษตร กากมูลสัตว์ที่ได้จากการหมักแก๊สชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่าปุ๋ยพืชสด (ปุ๋ยคอก) ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมักนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ให้กลายเป็นแอมโมเนียที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่า และยังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าปุ๋ยเคมีในการใช้ปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรให้มีสภาพดีขึ้นด้วย

3. ประโยชน์ทางด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม การนำมูลสัตว์ เศษอาหาร มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการช่วยกำจัดมูลบริเวณที่เลี้ยงสัตว์ ทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลง

ถังผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 ลิตร

1. ขั้นตอนการประกอบถังผลิตก๊าซชีวภาพ

แผนภาพแสดงระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ โดยใช้ถังผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 ลิตร ขององค์การบริหารตำบลคลองรีเป็นต้นแบบ



ชุดเตาหุงต้ม

12. หัวปรับแรงดันก๊าซ
13. ฐานรองอุปกรณ์หุงต้ม ขนาด 30 เซนติเมตร
14. หัวเตา

ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ

7. ถัง PE ขนาด 200 ลิตร
8. ถัง PE ขนาด 160 ลิตร คว่ำ (ถังลูกลอย)
9. ชุดตัวล็อคเพิ่มแรงดันก๊าซ (PVC ½ นิ้ว)
10. ชุดสามทาง PVC ½ นิ้ว
11. โครงเหล็กสำหรับควบคุมทิศทางถังลูกลอย

ชุดถังหมัก

7. ถังพลาสติก HDPE ขนาด 1,000 ลิตร
8. ท่อเติมขยะอินทรีย์
9. ชุดใบพัด
10. ท่อเก็บตัวอย่าง PVC 1 นิ้ว
11. ท่อน้ำทิ้ง PVC ½ นิ้ว
12. ข้องอเก็บก๊าซ

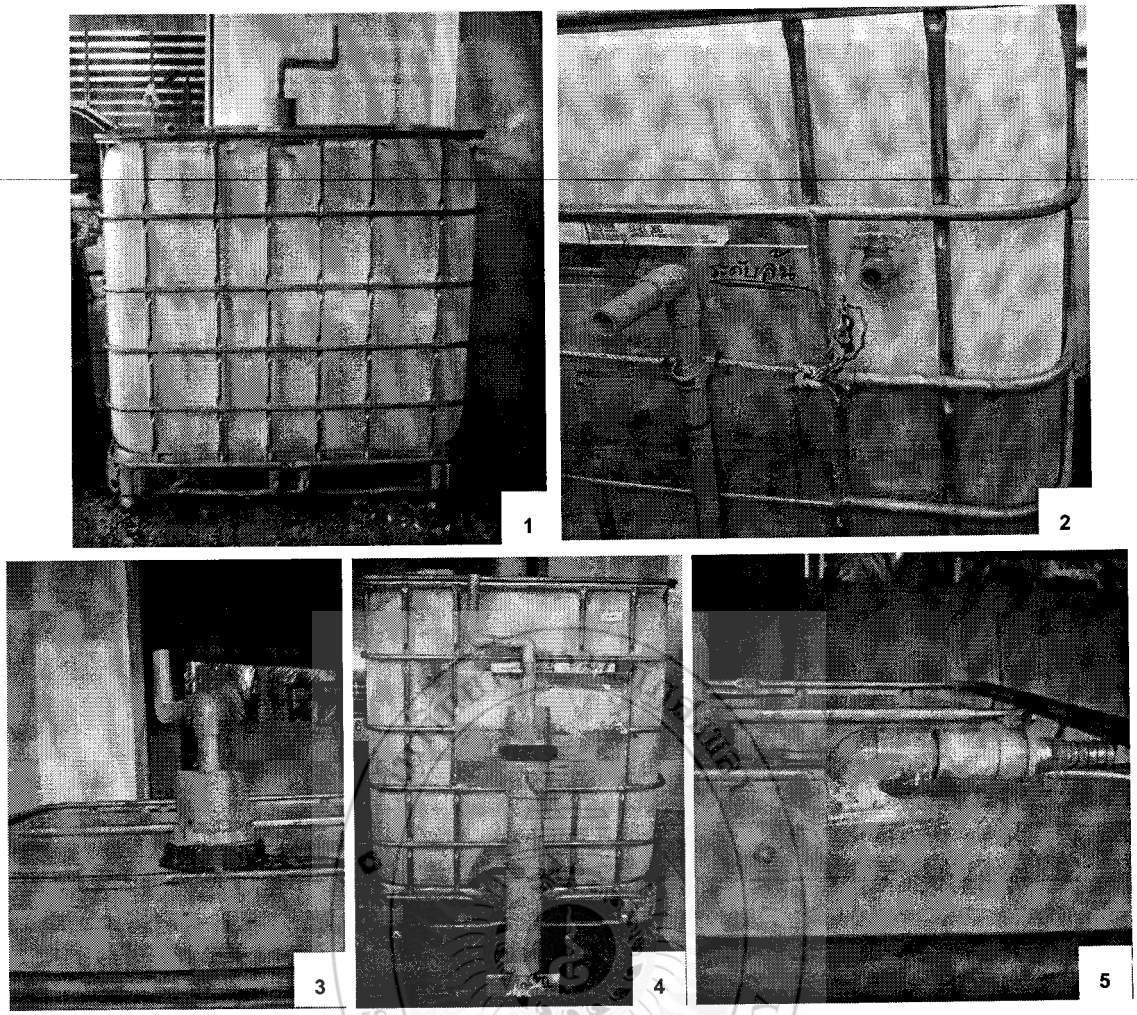
ภาพที่ 2 แสดงระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

ตารางที่ 1 ตารางแสดงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประกอบระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพ (อย่างง่าย) ต่อ 1 ชุด

ลำดับ	วัสดุ	จำนวน
1	ถังขนาด 1,000 ลิตร	1
2	ถังขนาด 200 ลิตร	2
3	ถังขนาด 160 ลิตร	2
4	ท่อพีวีซี ขนาด 3 นิ้ว ความยาว 1 เมตร/เส้น	1
5	ท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว ความยาว 1 เมตร/เส้น	1
6	ข้อต่อตรงเกลียวนอก 3 นิ้ว	1
7	ข้อต่อตรงเกลียวใน 3 นิ้ว	1
8	ข้อต่อเกลียวนอก 4 หุน (1/2 นิ้ว)	4
9	ข้อต่อเกลียวใน 4 หุน (1/2 นิ้ว)	4
10	สามทาง 4 หุน (1/2 นิ้ว) เกลียวนอกและเกลียวใน	2
11	ข้อต่ออุดเกลียว ขนาด 1 นิ้ว +ปะเก็น	2
12	แคล้มป์ กิ๊ปจับท่อ แบบ 2 ขา	8
13	บอลวาล์ว	4
14	หัวเตาก๊าซปิคนิค พร้อมขาตั้ง	1
15	สายยาง ขนาด ½ นิ้ว (1 เมตร)	1

(3) ชุดถังหมัก

ตัวถังทำด้วยพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) ขนาด 1,000 ลิตร มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 1 × 1.2 เมตร มีความสูง 1.16 เมตร โดยมีปริมาตรความจุ 1,000 ลิตร ปริมาตรที่ใช้ในการหมักคือ 750 ลิตร เจาะถังด้านข้างเป็นท่อต่อของเหลวที่ล้นออกจากตัวถัง ส่วนด้านบนของถังเจาะเป็นท่อนำก๊าซภายใน



ภาพที่ 3 ชุดถังหมักก่อนการประกอบสมบูรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6) ถังหมักขนาด 1000 ลิตร

7) ท่อน้ำล้น

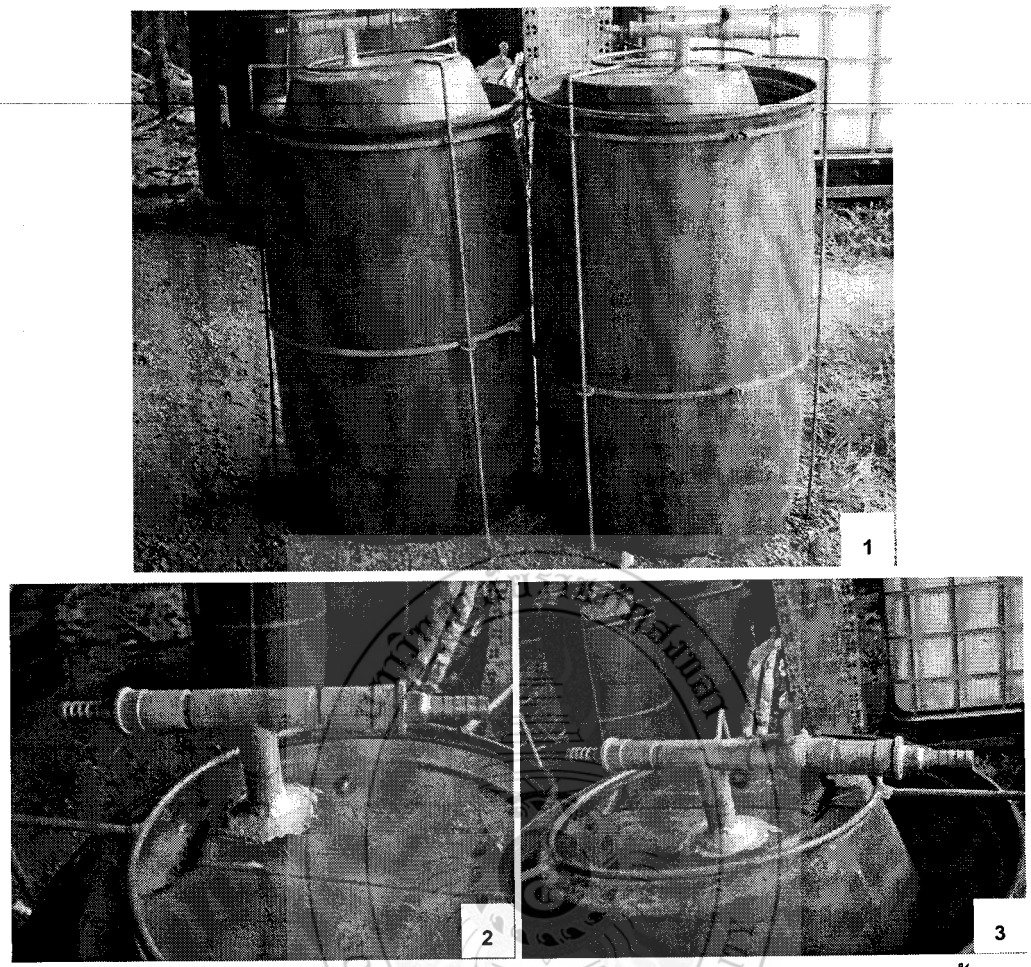
8) ท่อกวนและท่อใส่วัตถุดิบ

9) ใบกวน

10) ท่อต่อสายก๊าซ

(4) ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ระบบเก็บก๊าซมีลักษณะเป็นถังพลาสติกขนาด 160 ลิตร จำนวน 2 ชุด ติดตั้งเชื่อมต่อถังหมักด้วยท่อลำเลียงและวาล์วโดยคว่ำลงในถังน้ำขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ถัง เพื่อใช้เป็นถังเก็บกักก๊าซชีวภาพ ดังรูป



ภาพที่ 4 ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพก่อนการประกอบสมบูรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4) ถังพลาสติกขนาด 160 ลิตร คว่ำลงในถังน้ำขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ชุด

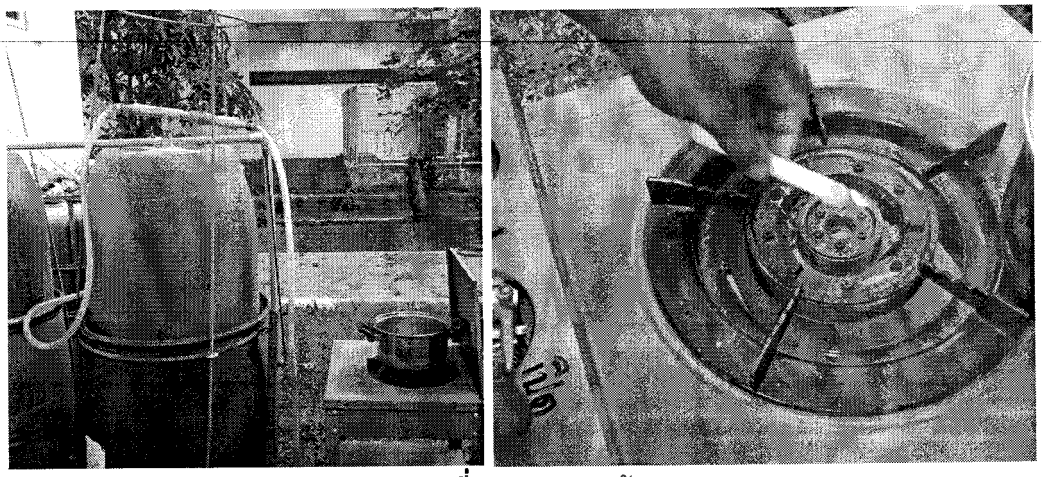
5) ถังชุดที่ 1 ต่อท่อก๊าซสามทาง

6) ถังชุดที่ 2 ต่อท่อก๊าซสามทาง พร้อมบอลวาล์ว

จากนั้นจึงต่อสายยาง ขนาด ½ นิ้ว จากถังหมัก กับชุดเก็บก๊าซชีวภาพ ตามภาพที่ 2 แสดงระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

(3) เตาหุงต้ม

ต่อสายยาง ขนาด ½ นิ้ว จากชุดเก็บก๊าซชีวภาพ เข้ากับ ชุดเตาหุงต้ม ตามภาพที่ 2 แสดงระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ดัดแปลงหัวเตาโดยการขยายรูรังผึ้งให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร



ภาพที่ 5 ชุดเตาหุงต้ม

2. การทดสอบระบบถังหมัก

การตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำ เป็นอย่างยิ่งของถังหมักแบบไร้ออกซิเจน เพราะระบบนี้จะต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริงมิฉะนั้นแล้วก๊าซชีวภาพจะออกมาตามรอยรั่วต่าง ๆ ได้ เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบเก็บก๊าซชีวภาพ การทดสอบสามารถทำ ได้โดยการเติมน้ำเข้าไปในถังหมักให้ระดับน้ำสูงกว่ารอยต่อต่าง ๆ แล้วสังเกตการรั่วซึมจากทุกด้าน ส่วนการทดสอบการรั่วของก๊าซชีวภาพโดยใช้น้ำสบู่ทาบริเวณรอยต่อต่าง ๆ แล้วเป่าลมเข้าถังหมัก จากนั้นอุดรอยรั่วทุกทางด้วยกาวซิลิโคน

3. การเตรียมหัวเชื้อสำหรับเริ่มต้นเดินระบบ

มูลวัวสด 1 ส่วน ผสมน้ำ 3 ส่วน นั้นคือ มูลวัวสด 250 กิโลกรัม เติมน้ำเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ 750 ลิตร ในถังหมักขนาด 1,000 ลิตร หมักเป็นระยะเวลา 10 วัน จากนั้นจึงเติมมูล 2 กิโลกรัม ผสมน้ำ 2 ลิตร หรือ 2 กิโลกรัม ทุกวัน จนครบ 5 วัน ก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นประมาณวันที่ 7 ของการเริ่มต้นเดินระบบ

3. การเดินระบบและใช้งานถังหมักก๊าซชีวภาพ

3.1 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ

เพื่อให้ระบบสามรถผลิตก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่องจำเป็นจะต้องมีการเติมวัตถุดิบลงในถังหมัก สามารถเติมวัตถุดิบในทุกๆ วัน โดยจากการวิจัยพบว่าหากต้องการก๊าซชีวภาพปริมาณวันล่ะ 300-400ลิตร สามารถใช้วัตถุดิบในอัตราส่วนดังต่อไปนี้

- เศษอาหารประมาณ 3.5 กิโลกรัม เติมน้ำ เพื่อปรับปริมาตร ให้ได้ 20 ลิตร ป้อนเข้าสู่ถังทุกวันอย่างต่อเนื่อง

- ส่วนมูลสัตว์ใช้ประมาณ 5 กิโลกรัม เติมน้ำ เพื่อปรับปริมาตร ให้ได้ 20 ลิตร เช่นเดียวกัน ป้อนเข้าสู่ถังทุกวันอย่างต่อเนื่อง

3.2 การดูแลรักษา

- ควรติดตั้งระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 ลิตร ไว้ในที่ร่ม เพื่อป้องกันการแตกเปราะของอุปการณ์
- ต้องมีการตรวจสอบการรั่วซึมของถังหมักและถังเก็บก๊าซ อย่างสม่ำเสมอ
- ในกรณีที่มีการใช้เศษอาหาร เศษผักและเปลือกผลไม้ ต้องมีการตรวจสอบสภาพความเป็นกรดของ ของเหลวในถังหมัก อาจโดยการ ดมกลิ่น ถ้าเป็นกรดจะมีกลิ่นเปรี้ยว และฉุน แก้ไขได้โดยการเติมมูลสัตว์เข้าสู่ระบบ หรือเติมปูนขาว และหยุดการเติมวัตถุดิบทิ้งไว้ประมาณ 2- 3 วัน หากยังไม่ติดไฟ ให้ถ่ายวัตถุดิบ ในถังหมักออกแล้วเริ่มต้นใหม่
- เมื่อใช้งานไปได้สักระยะเวลาหนึ่ง กากตะกอนจะมีจำนวนมากจนไม่สามารถเติมวัตถุดิบได้ ให้เปิดวาล์วระบายกากเพื่อนากากตะกอนไปใช้ประโยชน์ต่อไป

.....

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2540. **ระบบก๊าซและบ่อก๊าซชีวภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กองเกษตรสัมพันธ์.

กระทรวงพลังงาน. ม.ป.ป. **Biogas คู่มือสำหรับประชาชนทั่วไป.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน

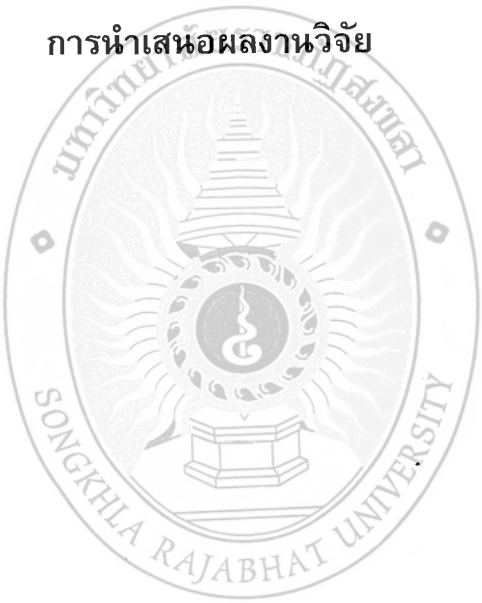
วิสาขา ภู่จินดา. 2555. **การบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียน เพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน**. รายงานวิจัย เสนอต่อสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ และคณะ. 2553. **การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะและเป็นพลังงานสาหรับใช้ในครัวเรือน**. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สมชาย แก้วจันทร์ฉาย และคณะ .2547 . **การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้งานถังก๊าซชีวภาพใช้ในครัวเรือนของชุมชน**

ภาคผนวก ช

การนำเสนอผลงานวิจัย



การพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

ผจงสุข สุธารัตน์[1], เสาวนิตย์ ชอบบุญ[1], นิศากร วิทจิตสมบูรณ์[1] และอนุมัติ เดชนะ[2]

[1]โปรแกรมวิชาชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

[2]โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

วัตถุประสงค์ของโครงการโดยสรุปย่อ

4) เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพถังผลิตก๊าซชีวภาพของอบต. คลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา
5) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์และมูลสัตว์
6) เพื่อถ่ายทอดความรู้ที่ได้แก่ชุมชนและบริการความรู้แก่บุคคลทั่วไป

ผลการดำเนินโครงการตามวัตถุประสงค์

๑. ออกแบบให้เหมาะสมกับการศึกษาและติดตามระบบ ออกแบบถังผลิตก๊าซชีวภาพและดำเนินการประกอบตัวถังจำนวน 2 ชุด ออกแบบติดตามระบบการเก็บตัวอย่างและติดตามปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น โดยคำนวณปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากสูตร
ปริมาณก๊าซ= $\pi r^2 h_1 + \pi r^2 h_2$
๒. เพิ่มประสิทธิภาพแรงดันก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะพิจารณาถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ควบคู่กันไปด้วย โดยเปลี่ยนรูปแบบระบบท่อส่งก๊าซโดยเชื่อมหัวปรับแรงดันก๊าซและปรับขนาดสายท่อก๊าซให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก คือเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว ดัดแปลงหัวเตาโดยการขยายรูรังผึ้งให้มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร
๓. ทดสอบการใช้ระบบ เริ่มต้นพบว่าสัดส่วนของหัวเชื้อและมูลสัตว์ซึ่งใช้ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 (125 kg: 125 kg) และเติมน้ำ 750 ลิตร ในวันที่ 7 ถังเก็บก๊าซจะถูกแรงดันให้ลอยสูงสุดขึ้นสามารถคำนวณปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

แนวทางการนำผลการดำเนินโครงการไปใช้ประโยชน์

๑. ถ่ายทอดแบบและสาธิตวิธีการติดตั้งถังผลิตก๊าซชีวภาพที่พัฒนาขึ้นสู่ชุมชน เพื่อส่งเสริมการนำขยะอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ อันเป็นการวางรากฐานสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

การพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

ผจงสุข สุธารัตน์[1], เสาวนิตย์ ชอบบุญ[1], นิศากร วิทจิตสมบูรณ์[1] และอนุมัติ เดชนะ[2]
[1]โปรแกรมวิชาชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[2]โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

Corresponding author Email : jongsuk_su@hotmail.com

ความเป็นมา

สืบเนื่องจากคณะวิจัยได้มีโอกาสลงพื้นที่เข้าเยี่ยมชม กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ณ องค์การบริหารส่วนตำบลคลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา จากการสอบถามผู้ใช้งานพบว่าถังชีวภาพ มีข้อบกพร่องคือ ก๊าซที่ผลิตได้มีแรงดันต่ำ นักประสบปัญหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ไม่แน่นอน บางครั้งระบบการผลิตหยุดชะงักเมื่อมีการนำเศษอาหารเหลือทิ้งในครัวเรือนมาใช้เป็นวัตถุดิบแทนมูลสัตว์ จึงควรดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพถังผลิตก๊าซชีวภาพ และการศึกษาถึงความเหมาะสมของการนำขยะอินทรีย์มาเป็นวัตถุดิบเปรียบเทียบกับมูลสัตว์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพถังผลิตก๊าซชีวภาพของอบต. คลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์และมูลสัตว์
3. เพื่อถ่ายทอดความรู้ที่ได้แก่ชุมชนและบริการความรู้แก่บุคคลทั่วไป

ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย

ถังผลิตก๊าซชีวภาพ จาก อบต. คลองรี ขนาดถังหมัก 1,000 ลิตร

พัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพโดยออกแบบให้เหมาะสมกับการศึกษา เพิ่มประสิทธิภาพแรงดันก๊าซชีวภาพ

สร้าง/ทดลองใช้งาน ถังผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบ

ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์และมูลสัตว์สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ → ตอบโจทย์ที่ตรงกับความต้องการของชุมชน → ถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์และมูลสัตว์

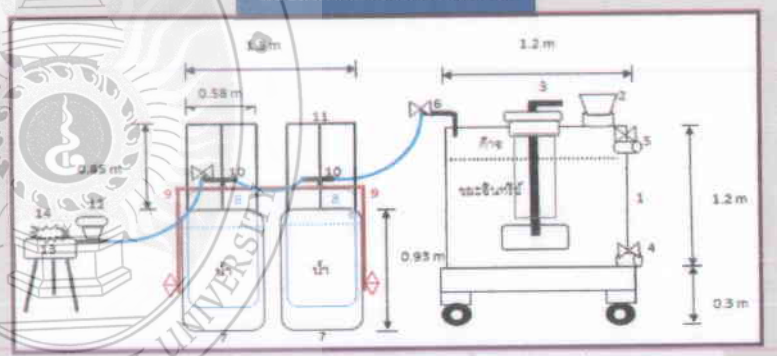
- ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ขยะอินทรีย์และมูลสัตว์ โดยควบคุม ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand, COD) ที่ 10 kg COD/m^3d ของขยะอินทรีย์และมูลสัตว์ ที่จะเข้าสู่ระบบ
- เก็บรวบรวมข้อมูลทางเคมีของสารละลายขยะอินทรีย์และมูลสัตว์ประกอบด้วย ค่า pH, Total solid, Chemical oxygen demand (COD), Biochemical oxygen demand (BOD), ปริมาณไนโตรเจน (Total nitrogen) เป็นเวลา 30 วัน โดยจะทำการเก็บทุกๆ 3 วัน

ผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผล

พัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพ จากเครื่องต้นแบบ

1. ออกแบบให้เหมาะสมกับการศึกษาและติดตามระบบ และติดตั้งใบพัด เพื่อให้เกิดกระจายตัวของหัวเชื้อและขยะอินทรีย์ภายในถัง
2. เสริมโครงเหล็กสี่เส้นรอบถังเก็บก๊าซทั้งสองใบเพื่อให้ถังลูกลอยสำหรับเก็บก๊าซยกตัวสูงขึ้นในแนวตรงเมื่อมีปริมาณก๊าซเกิดขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับสูตรที่ใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นนั้นคือ ปริมาณก๊าซ= $\pi r^2 h_1 + \pi r^2 h_2$
3. เพิ่มประสิทธิภาพแรงดันก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะพิจารณาถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ควบคู่กันไปด้วย โดยเปลี่ยนรูปแบบระบบท่อส่งก๊าซโดยเชื่อมหัวปรับแรงดันก๊าซและปรับขนาดสายท่อก๊าซให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้ว ดัดแปลงหัวเตาโดยการขยายรูรังผึ้งให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร
4. ขยายหัวเชื้อในถังพลาสติกขนาด 130 ลิตร โดยใช้หัวเชื้อจากอบต. คลองรี 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร ผสมมูลสุกร 5 กิโลกรัม ผสมน้ำ 10 ลิตร หมัก 10 วัน จากนั้น เพิ่มเศษอาหาร 2.5 กิโลกรัม ทุกๆ 20 วัน
5. ทดสอบการใช้ระบบ เริ่มต้นพบว่าสัดส่วนของหัวเชื้อและมูลสัตว์ซึ่งใช้ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 (125 kg: 125 kg) และเติมน้ำ 750 ลิตร ในวันที่ 7 ถังเก็บก๊าซจะถูกดันให้ลอยสูงสุดขึ้น สามารถคำนวณปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 448.92 ลิตร

แบบถังผลิตก๊าซจากขยะอินทรีย์



ชุดเตาหุงต้ม
12. หัวปรับแรงดันก๊าซ
13. ฐานรองอุปกรณ์หุงต้มขนาด 30 เซนติเมตร
14. หัวเตา

ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพ
7. ถัง PE ขนาด 200 ลิตร
8. ถัง PE ขนาด 160 ลิตร คว่ำ (ถังลูกลอย)
9. ชุดตัวล็อคเพิ่มแรงดันก๊าซ (PVC ½ นิ้ว)
10. ชุดสามทาง PVC ½ นิ้ว
11. โครงเหล็กสำหรับควบคุมทิศทางถังลูกลอย

ชุดถังหมัก
1. ถังพลาสติก HDPE ขนาด 1,000 ลิตร
2. ท่อเติมขยะอินทรีย์
3. ชุดใบพัด
4. ท่อเก็บตัวอย่าง PVC 1 นิ้ว
5. ท่อน้ำทิ้ง PVC ½ นิ้ว
6. ข้องอเก็บก๊าซ

แนวทางการนำผลการดำเนินโครงการไปใช้ประโยชน์

1. ได้ถังผลิตก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ ตรงตามความต้องการของชุมชน
2. ได้ข้อมูลพื้นฐานนำไปสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ขยะอินทรีย์เป็นวัตถุดิบ
3. นำองค์ความรู้ถ่ายทอดสู่ชุมชน เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะอินทรีย์และส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน อันเป็นการวางรากฐานสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาประจำปี 2554

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวผจงสุข สุธารัตน์

Miss Pajongsuk Sutarut

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานโปรแกรมวิชาชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

สถานที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

หมายเลขโทรศัพท์ 074-336933 ต่อ 214 , 0891797643 โทรสาร 074 -336950

Email : jongsuk_su@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่สำเร็จการศึกษา 2550

ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ปีที่สำเร็จการศึกษา 2546

ทุนที่ได้รับระหว่างการศึกษา

ทุนพัฒนานักวิจัยและบุคลากร ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติงานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสัตว์ การนำของเสียมาใช้ประโยชน์ การบำบัดน้ำเสีย

งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว

- วิทยานิพนธ์ เรื่อง “Production of monoclonal antibodies specific to vitellogenin and zona radiate proteins in greenback mullet, *Liza subviridis*”.
- 18 – 20 October 2005: 31th Congress on Science and Technology of Thailand, Suranaree University of Technology of Thailand, Nakhon Ratchasima, Detection and characterization of vitellogenin and zona radiate proteins for the determination of xenoestrogen in water.
- 10 – 21 October 2006: 32th Congress on Science and Technology of Thailand,Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, Production of monoclonal antibodies specific to vitellogenin and zona radiate proteins in greenback mullet (*Liza subviridis)*.

ผู้ช่วยศาสตรจารย์เสาวนิตย์ ชอบบุญ

Asst. Prof. Saowanit Chobbun

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงาน โปรแกรมชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 90000

โทรศัพท์ 0869570362 โทรสาร 074-336950

E-mail :chsaowanit@yahoo.com

ประวัติการศึกษา ปริญาตรีสาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้ ปีสำเร็จการศึกษา 2536

ปริญญาโทสาขาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ปีสำเร็จการศึกษา 2548

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ

ด้านแบคทีเรีย ราวิทยา

งานวิจัยที่ผ่านมา

- เอนไซม์โปรตีเอสจากแบคทีเรียในป่าพรุ
- โครงการวิจัยและพัฒนาชุดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ท้องถิ่น ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน (มัธยมศึกษา) เรื่องทะเลสาบสงขลา กรณีศึกษาแหลมสนสองทะเล
- อิทธิพลของสภาวะการเพาะเลี้ยงที่มีต่อการผลิตสารสีโดย *Monascus purpureus* ATCC 16360 เพื่อใช้เป็นสารเร่งสีและการยับยั้งเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่ทำให้เกิดโรคในปลาทอง ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ 2551-2552 (ผู้ร่วมโครงการ)
- การใช้สาหร่ายขนาดเล็กทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาบึกอุยทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปี 2550-2551 (ผู้ร่วมโครงการ)
- การเก็บและรวบรวมสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปี 2550-2551 (หัวหน้าโครงการ)

จำนวนโครงการที่คณะผู้วิจัยกำลังดำเนินการอยู่

(1) ชื่อโครงการ อิทธิพลของสภาวะการเพาะเลี้ยงที่มีต่อการผลิตสารสีโดย *Monascus purpureus* ATCC 16360 เพื่อใช้เป็นสารเร่งสีและการยับยั้งเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่ทำให้โรคในปลาทอง

ระยะเวลาโครงการ 2 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 ถึง ตุลาคม 2553

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

งบประมาณที่ได้รับ 317,515 บาท

สถานะของหัวหน้าโครงการ เป็นผู้ร่วมวิจัย

เวลาที่ใช้ในการทำวิจัยในโครงการนี้กี่ชั่วโมงต่อสัปดาห์ 15 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

(2) ชื่อโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวสังหยด เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชน

ระยะเวลาโครงการ 1 ปี ตั้งแต่ กรกฎาคม 2552 ถึง กรกฎาคม 2553

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน การวิจัยเครือข่ายการวิจัยภาคใต้ตอนล่าง

งบประมาณที่ได้รับ 260,000 บาท

สถานะของหัวหน้าโครงการ หัวหน้าโครงการวิจัย

เวลาที่ใช้ในการทำวิจัยในโครงการนี้กี่ชั่วโมงต่อสัปดาห์ 15 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ดร. นิศากร วิทจิตสมบูรณ์
Dr. Nisakorn Witthajitsomboon
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
หน่วยงาน โปรแกรมชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 90000
โทรศัพท์ 0873567399 โทรสาร 074-336950
E-mail : namasis7@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอกดุษฎีบัณฑิต วิทยาศาสตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัย
บูรพา
ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา
มหาวิทยาลัยบูรพา ปีที่สำเร็จการศึกษา 2543
ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)
ทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สำนักงานส่งเสริมการวิจัย

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ชีววิทยาโมเลกุล ไวรัสวิทยา

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว

-วิทยานิพนธ์ เรื่องการพัฒนาวัคซีนต่อต้านไวรัสไข้สมองอักเสบในประเทศไทย
(Development of vaccine candidate against Japanese Encephalitis virus in Thailand)ซึ่งเป็นงานวิจัยร่วมกับ Karolinska Institutet ประเทศสวีเดน

-โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. การตรวจสอบความแปรปรวนทางพันธุกรรมของกล้วยไม้ป่าภาคใต้. ทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏ ปี 2552 (ผู้ร่วมโครงการ)

ดร.อนุมัติ เดชนะ

Dr. Anumust Deachana

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 7

หน่วยงาน โปรแกรมฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000 โทรศัพท์ 08-3193-8023

E-mail: anumj@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี กศ.บ. (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีณครินทรวิโรฒ วิทยาเขต สงขลา

ปริญญาโท วท.ม.(พลาสมา-ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

M.Ed. (Physics), Osaka Kyoiku University, Osaka, Japan

ปริญญาเอก วท.ด. (Plasma-Physics, พลาสมา-ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

อิเลกทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ คลื่นเสียง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กลศาสตร์

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

งานวิจัยที่ได้ทำ

Plasma source

Computer simulation

Diamond like carbon (DLC)

Atomic Layer Deposition (ALD)

Zinc Oxide nanorod

ประสบการณ์ทางด้านวิชาชีพ

เอกสารประกอบการสอน: กลศาสตร์

ผู้สอนรายวิชา ดิจิตัลเบื้องต้น กลศาสตร์ แม่เหล็กไฟฟ้า พลาสมา และนาโนศาสตร์