การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรโดยการหมักร่วมกับผักตบชวา

นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

BIOGAS PRODUCTION FROM SWINE MANURE CODIGESTION WITH HYACINTH

Mr. Sorrasak Thayai

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and

Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรโดยการหมักร่วมกับผักตบชวา
โดย	นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

--คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

--ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

--อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ)

--กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

--กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อรุณี ศุภสินสาธิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรศักดิ์ ท่าใหญ่ : การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรโดยการหมักร่วมกับผักตบชวา. (BIOGAS PRODUCTION FROM SWINE MANURE CODIGESTION WITH HYACINTH) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ, 133 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักของเสียฟาร์มสุกรกับผักตบชวา เพื่อนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน มูลสุกรและหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น(ของเสียฟาร์มสุกร)จากฟาร์มสุกรในจังหวัดราชบุรี ผักตบชวาจากคลองธรรมชาติในจังหวัดราชบุรี ผสมวัตถุดิบหมัก ระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร : ผักตบชวา ในอัตราส่วนร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 โดยใช้น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักเป็นเกณฑ์ ศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ ปริมาตรหมัก 300 มิลลิลิตรในขวด 500 มิลลิลิตร เติมวัตถุดิบครั้งเดียวแบบแบตซ์ บนโต๊ะเขย่าสาร การทดลองนี้ควบคุมน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมัก มูลสุกรผสมกับผักตบชวาเท่ากับ 2 กรัม หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นเท่ากับ 3 กรัม ทุกอัตราส่วน ระบบการหมักแบบไร้อากาศ

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดคือ อัตราส่วนร้อยละ 60:40 จนสิ้นสุดการทดลองได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 276.5 มิลลิลิตร และอัตราส่วนที่ให้ก๊าซชีวภาพสะสมต่ำสุดคือ อัตราส่วนร้อยละ 100:0 ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 17.0 มิลลิลิตร วิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ อัตราส่วน ที่ให้ร้อยละของก๊าซมีเทนสูงสุดจากการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 คือ อัตราส่วนร้อยละ 60:40 เท่ากับร้อยละ 6.4 และ 7.8 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า การเติมผักตบชวาในการหมักจะช่วยใช้ปริมาณและคุณภาพก๊าซชีวภาพสูงขึ้น จากผลการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวามากขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงขึ้น ค่าความเป็นมลพิษของทุกอัตราส่วนหมัก มีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นค่าความเป็น กรด-ด่าง อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต ....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

5387573320 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: BIOGAS / CO-DIGESTION / WASTE WATER TREATMENT / HYACINTH / SWINE MANURE

SORRASAK THAYAI: BIOGAS PRODUCTION FROM SWINE MANURE CODIGESTION WITH HYACINTH. ADVISOR: SUPAWAT VIVANPATARAKIJ, D.Eng., 133 pp.

The suitable ratio between swine manure and hyacinth for biogas production was considered. From Ratchaburi Province, the swine manure and hyacinth were taken from the pig farm and natural canal, respectively. For this study, mixing ratios between swine manure with hyacinth are 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 and 100:0, considered by dry basis. The anaerobic digesters were studied total mixing volume 300 ml in 500 ml volumetric flask on shaker. Total dry substrate is 2 g every ratio, swine manure and hyacinth. And microbial inoculum from pig farm is 3 g (dry basis).

The experimental results showed the proportion of 60:40 illustrate the maximum quantity of biogas accumulated equal 276.5 ml. And the ratio of 100:0 shows the minimum cumulative biogas volume equal 17.0 ml. The analysis of the gas production, the blend of swine manure per hyacinth has the highest percentage of methane ratio is 60:40 (CH_4=6.4% and 7.8%). The study found that the addition of water hyacinth in the compost helps increase the quantity and quality of biogas. Experimental results on increasing the amount of water hyacinth to make more biogas higher. The pollution of all ratios exceed the effluent standards. Except for the acid - alkaline single value in the benchmark.

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature	....
		Advisor's Signature	....
Academic Year:	2013		

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความกรุณาอย่างสูงของ อาจารย์ ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง แนวคิด ในการแก้ปัญหาต่างๆ และให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และ อาจารย์ ดร.อรุณี ศุภสินสาธิต ที่กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่กรุณาอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ สหสาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่เอื้ออำนวยความสะดวก ช่วยเหลือด้านการประสานงานต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณสมนึก พิณพาทย์ เจ้าของฟาร์มสุกรที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ที่อำนวยความสะดวก ให้ข้อมูล และให้นำตัวอย่างมาเพื่อใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกๆท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน ให้ความรัก ความเข้าใจ และเป็นกำลังใจที่สำคัญ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....จ

กิตติกรรมประกาศ....ฉ

สารบัญ....ช

สารบัญตาราง....ฏ

สารบัญรูป....ฐ

บทที่ 1 บทนำ....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย....3

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย....4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....6

2.1 ก๊าซชีวภาพ....6

2.1.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะไม่ใช้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ....6

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ....9

2.2.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน....9

2.2.2 ปริมาณของเหลวในระบบ....10

2.2.3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์....10

2.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง....11

2.2.5 อุณหภูมิ....11

2.2.6 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา....13

2.2.7 ระยะเวลาเก็บกัก....14

หน้า

2.2.8 การกวนผสม....14
2.2.9 หัวเชื้อ (Starter)....15
2.3 ชนิดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ....15
2.4 ผักตบชวา....18
2.5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร....19
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....29
3.1 การดำเนินการวิจัย....29
3.2 วัตถุดิบ/การเตรียมวัตถุดิบ ในกระบวนการย่อย....29
3.2.1 มูลสุกร....29
3.2.2 ผักตบชวา....30
3.2.3 หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น....32
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย....32
3.3.1 ชุดหมักก๊าซชีวภาพ....32
3.3.2 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ วัดปริมาณก๊าซที่เกิด....32
3.3.3 อุปกรณ์อื่นๆ....33
3.4 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตซ์....33
3.5 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ....34
3.6 วิธีการดำเนินการวิจัย....35
3.6.1 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาในการหมัก....35
3.6.2 การเดินระบบการทดลอง....38
3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย....40
3.7.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้คงที่ในการศึกษาวิจัย....40
3.7.2 พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรต้นที่ต้องการศึกษาวิจัย....41

หน้า

3.7.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 41
3.8 การเก็บตัวอย่าง 42
3.8.1 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ 42
3.8.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดจากการหมัก 44
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 45
4.1 ผลการวิเคราะห์ 45
4.1.1 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่าย ของวัตถุดิบหมัก 45
4.1.2 ค่าน้ำหนักของวัตถุดิบหมักเมื่อใช้ในการทดลอง 48
4.1.3 อุณหภูมิระหว่างการทดลอง 49
4.1.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักของเสียฟาร์ม:ผักตบชวา ต่อวัน 52
4.1.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการหมักของเสียฟาร์มสุกร:ผักตบชวา 58
4.1.6 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ 62
4.2 ผลการเปรียบเทียบ 64
4.2.1 เปรียบเทียบ อุณหภูมิกับปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ต่อวัน 64
4.2.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน เทียบกับปริมาณสารระเหยง่าย 70
4.2.3 เปรียบเทียบความเป็นมลพิษของน้ำเสียจากการหมัก กับค่ามาตรฐาน 72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 77
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 77
5.2 ข้อเสนอแนะ 79
รายการอ้างอิง 80
ภาคผนวก 82
ภาคผนวก ก มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร 83
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้ง และการคำนวณอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง 88

หน้า

ภาคผนวก ค ผลการบันทึกอุณหภูมิภายในขวดหมัก และสิ่งแวดล้อมภายนอก ระหว่างการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ....92

ภาคผนวก ง ผลการบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม....107

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากการทดลอง ครั้งที่ 1 และ 2....122

ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ค่าสารระเหยง่าย และการคำนวณอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมและอัตราการเกิดก๊าซมีเทน....125

ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบหมัก เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ....130

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิด จุดเด่น จุดด้อย ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 15

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร 19

ตารางที่ 3.1 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักตบชวาที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย 31

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนหมักโดยน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ การทดลองหมัก 20 ชุด 38

ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ 42

ตารางที่ 4.1 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก 47

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนหมักของวัตถุดิบหมักโดยน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ 48

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์) 62

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก 70

ตารางที่ 4.5 สารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมักรวม (มูลสุกร , ผักตบชวา และ โคลนบ่อล้น) 70

ตารางที่ 4.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม(ลิตร) เทียบกับค่าสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก(กิโลกรัม) และปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน (ลิตร) เทียบกับค่าสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก (กิโลกรัม) 71

ตารางที่ 4.7 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร 72

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากการทดลองครั้งที่ 1 73

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากการทดลองครั้งที่ 2 73

ตารางที่ ค-1 อุณหภูมิภายในขวดหมัก และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก ในการทดลองครั้งที่ 1 ชุดการทดลอง A,B และ D แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 5 อัตราส่วนและค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดการทดลอง 93

ตารางที่ ค-2 อุณหภูมิภายในขวดหมัก และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก ในการทดลองครั้งที่ 2 ชุดการทดลอง A และ D แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 5 อัตราส่วนและค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ชุดการทดลอง 101

หน้า

ตารางที่ ง-1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ในการทดลองครั้งที่ 1 ชุดการทดลอง A , B และ D แต่ละชุดการทดลอง มีจำนวน 5 อัตราส่วน และค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดการทดลอง 108

ตารางที่ ง-2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ในการทดลองครั้งที่ 2 ชุดการทดลอง A และ D แต่ละชุดการทดลอง มีจำนวน 5 อัตราส่วน และค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ชุดการทดลอง 116

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ 9
รูปที่ 2.2 แสดงผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 12
รูปที่ 2.3 แสดงผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการทำงานและการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 12
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการกวนผสม 14
รูปที่ 2.5 ลักษณะของผักตบชวา 18
รูปที่ 3.1 การเตรียมมูลสุกรที่ใช้ในการผสม 30
รูปที่ 3.2 การเตรียมผักตบชวาที่ใช้ในการศึกษา 30
รูปที่ 3.3 บ่อล้นบริเวณที่เก็บตัวอย่างหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นมาใช้ในการหมัก 32
รูปที่ 3.4 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตซ์ 33
รูปที่ 3.5 การทดสอบรอยรั่วของระบบ 34
รูปที่ 3.6 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ 35
รูปที่ 3.7 ทดลองหมักจำนวน 1 ชุด 35
รูปที่ 3.8 ทดลองหมักจำนวน 5 ชุด 36
รูปที่ 3.9 ทดลองหมักจำนวน 20 ชุด 37
รูปที่ 3.10 ทดลองหมักจำนวน 20 ชุด ติดตั้งจุดเติมน้ำไล่ก๊าซบริเวณขวดเก็บก๊าซ 39
รูปที่ 3.11 การเตรียมผักตบชวาที่ละอัตราส่วน 39
รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งการวางชุดหมักบนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ 40
รูปที่ 3.13 แสดงการสูบอากาศออกจากขวดหมัก 40
รูปที่ 3.14 แสดงการสูบอากาศออกจากถุงเก็บก๊าซ 43
รูปที่ 3.15 จุดเก็บก๊าซชีวภาพ และจุดเติมน้ำเข้าชุดเก็บก๊าซ 43
รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งการวางชุดหมักเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียระหว่างการหมัก 44
รูปที่ 4.1 ลักษณะมูลสุกรสดที่ใช้ในการทดลอง 45
รูปที่ 4.2 บ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เก็บตัวอย่าง 46

หน้า

รูปที่ 4.3 ลักษณะหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการทดลอง 46
รูปที่ 4.4 ลักษณะผักตบชวาที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนักแห้ง 47
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิระหว่างการทดลอง แต่ละอัตราส่วน 50
รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 100 : 0 53
รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 90 : 10 54
รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 80 : 20 55
รูปที่ 4.9 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 70 : 30 56
รูปที่ 4.10 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 60 : 40 57
รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 100 : 0 58
รูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 90 : 10 59
รูปที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 80 : 20 59
รูปที่ 4.14 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 70 : 30 60
รูปที่ 4.15 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 60 : 40 61
รูปที่ 4.16 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน (CH_4) จากการทดลองทั้งสองครั้ง 63
รูปที่ 4.17 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการทดลองทั้งสองครั้ง 64
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ (100:0) 65
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ (90:10) 66
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ (80:20) 67
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ (70:30) 68
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ (60:40) 69
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสียจากการทดลอง กับ ค่ามาตรฐาน 75
รูปที่ ก-1 ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร 87
รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งวัตถุดิบหมัก 89

หน้า

รูปที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ จากการทดลองครั้งที่ 1 123
รูปที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ จากการทดลองครั้งที่ 2 124
รูปที่ ฉ.1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารระเหยง่าย 126
รูปที่ ช.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษ จากการทดลองครั้งที่ 1 131
รูปที่ ช.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษ จากการทดลองครั้งที่ 2 132

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานที่นำมาใช้ ส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีแนวโน้มปริมาณสำรองลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ประเทศ ซึ่งการสำรวจพบแหล่งปิโตรเลียมแหล่งใหม่ทำได้ยากขึ้น และมีขนาดเล็กลงกว่าอดีต สวนทางกับความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น แนวทางหนึ่งที่จะทำให้มีพลังงานใช้ได้อย่างเพียงพอ คือ การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานอื่นที่ไม่ใช่เชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดยรวมเรียกพลังงานเหล่านั้นว่า “พลังงานทดแทน” พลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงาน แทนพลังงานรูปแบบเดิมที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น การใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล หรือก๊าซชีวภาพ แทนการเผาไหม้น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งข้อดีของพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งคือ เมื่อนำมาใช้เป็นพลังงานแล้วสามารถสร้างหรือผลิตขึ้นมาทดแทนของเดิมได้ในระยะเวลาสั้น เช่น เชื้อเพลิงชีวมวลจากพืช สามารถปลูกทดแทนส่วนที่นำมาใช้ได้ โดยพืชที่จะนำมาใช้ ควรเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้เร็ว ประเทศไทยมีนโยบายที่ชัดเจนในเรื่องของการใช้พลังงานทดแทนเป็นลำดับต้นๆ ของเอเชีย โดยรัฐบาลได้กำหนดนโยบายในรูปของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) [1] เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มอัตราส่วนการใช้พลังงานทดแทน สร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ อย่างปิโตรเลียม ทั้งน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งประเทศไทยมีอยู่อย่างจำกัด และไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชนในประเทศ อีกทั้งยังไม่สามารถสำรวจพบแหล่งปิโตรเลียมแหล่งอื่นมาทดแทนได้

การศึกษาวิจัยนี้ผู้ศึกษาสนใจพลังงานจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาและนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนอย่างแพร่หลาย ก๊าซชีวภาพ เกิดจากกระบวนการหมักย่อยสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน(Anaerobic Degradation) โดยใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และเศษอาหารจากอาคารสถานที่ มาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ซึ่งก๊าซที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้ คือ ก๊าซมีเทน ใช้ให้ความร้อนโดยตรง หรือจะนำไปผ่านกระบวนการเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าก็สามารถทำได้

ปัจจุบันมีการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เช่น การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร ใช้ให้ความอบอุ่นกับลูกสุกร หรือผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในฟาร์ม เพื่อลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิง และยังสามารถลดปัญหามลภาวะทางกลิ่นได้อีกด้วย การหมักโดยส่วนใหญ่เป็นการหมักโดยใช้วัสดุอินทรีย์ชนิดเดียวในการหมัก แต่จากข้อมูลการศึกษาวิจัยที่มีผู้ศึกษาวิจัยไว้แล้ว พบว่าการหมักร่วมของสารอินทรีย์มากกว่าหนึ่งชนิด สามารถเพิ่มปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพได้ [2] วัสดุอินทรีย์ที่เหมาะต่อการนำมาหมักร่วมเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สามารถผลิตขึ้นมาทดแทนได้ ผู้ศึกษาเลือกวัชพืชที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ไม่เป็นอาหารของมนุษย์ จัดหาวัตถุดิบได้ง่าย และก่อปัญหาให้กับประชาชน อย่าง “ผักตบชวา” ซึ่งเป็นวัชพืชทางน้ำชนิดหนึ่งที่ก่อปัญหาให้กับหลายพื้นที่ในประเทศ สามารถขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว โดยผักตบชวา 2 ต้น สามารถสร้างต้นใหม่ขึ้นมาได้ 300 ต้น ในเวลา 20 วัน ผักตบชวา สามารถสร้างสารอินทรีย์ (แห้ง) ได้ 24 ตันต่อปี [3] และไม่ใช่พืชอาหารสำหรับมนุษย์ เหมาะในการนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วม โดยวัสดุหมักหลัก คือ ของเสียฟาร์มสุกร เนื่องจากประเทศไทยมีการเลี้ยงสุกรจำนวน(ตัว)สูงเป็นอันดับหนึ่ง โดยไม่รวมสัตว์ปีกที่ให้มูลต่อตัวน้อยกว่ามาก มีจำนวนเลี้ยงที่ 9,300,073 ตัว โดยมีการเลี้ยงที่จังหวัดราชบุรีสูงสุดที่ 1,254,965 ตัว [4] เหมาะใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่างในการศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักร่วมระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับ ผักตบชวา ในรูปน้ำหนักแห้ง Dry Basis ที่ให้ปริมาณและคุณภาพก๊าซชีวภาพ สูงที่สุด

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการหมัก เทียบกับการหมักโดยของเสียฟาร์มสุกรอย่างเดียว โดยใช้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นเกณฑ์ (ภาคผนวก ก)

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการหมักร่วมระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับ ผักตบชวา ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรที่มีการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอยู่แล้วในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัสดุอินทรีย์ ที่ใช้ในกระบวนการหมักร่วม คือ ของเสียฟาร์มสุกร(มูลสุกรรวมกับโคลนบ่อล้น)จากฟาร์มขนาดกลาง (การเลี้ยงสุกรประเภท ข [5])ในจังหวัดราชบุรี และผักตบชวาจากคลองธรรมชาติในจังหวัดราชบุรี

1.3.2 หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากโคลนบ่อล้น บ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ยังใช้งานอยู่

1.3.3 ศึกษาทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) ภายใต้อุณหภูมิห้อง (24 – 39 องศาเซลเซียส) เติมตัวอย่างผสม ครั้งเดียวแบบแบตซ์ (Batch) เขย่าตลอดเวลา โดยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic Shaker) เป็นเวลา 12 ชั่งโมง (07.00 – 19.00 น.)

1.3.4 ลดการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีโดยเก็บตัวอย่างที่ใช้หมัก ในถังโฟมแช่น้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส

1.3.5 ศึกษาผลของการหมักร่วมระหว่าง มูลสุกร กับ ผักตบชวา 2 กรัมน้ำหนักแห้ง ที่อัตราส่วนร้อยละ (0 : 100) , (25 : 75) , (50 : 50) , (75 : 25) และ (100 : 0) แต่ละชุดการทดลองผสมหัวเชื้อจุลชีพ(Seed) 3 กรัมน้ำหนักแห้ง รวมน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักทั้งหมด 5 กรัมน้ำหนักแห้งเท่ากันทุกอัตราส่วน เมื่อคิดรวมค่าน้ำหนักแห้งระหว่างมูลสุกรกับโคลนบ่อล้น เป็นค่าของเสียฟาร์มสุกร หาค่าอัตราส่วนร้อยละน้ำหนักแห้งการเติมผักตบชวาจากอัตราส่วนข้างต้นได้ ดังนี้ (60 : 40) , (70 : 30) , (80 : 20) , (90 : 10) และ (100 : 0)

1.3.6 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยนำส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ

1.3.7 วิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างผสม ระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับ ผักตบชวา ดังนี้

- ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)
- สารระเหยง่าย (Volatile solids)
- ความเป็นกรดและด่าง (pH Value)
- บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)
- สารแขวนลอย (Suspended Solids)
- ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)
- ไนโตรเจนในรูป ทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)

1.3.8 วิเคราะห์คุณสมบัติของ ก๊าซชีวภาพ ดังนี้

- ปริมาณก๊าซชีวภาพ
- องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ จากงานวิจัย บทความ ตำรา เอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 พิจารณาเลือก ฟาร์มสุกร และ แหล่งผักตบชวา เพื่อนำมาใช้ในการดำเนินงานศึกษาทดลอง

1.4.3 นำผักตบชวาจากแหล่งที่ได้มาเตรียมเพื่อการหมัก โดยหั่นเป็นชิ้น ขนาดประมาณชิ้นละ 1 เซนติเมตร ก่อนปั่นละเอียด

1.4.4 นำตัวอย่างมูลสุกร หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) และผักตบชวา จากแหล่งที่เลือก มาวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักแห้งโดยส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ

1.4.5 ดำเนินการศึกษาหาระยะเวลาที่ใช้ในการหมักร่วมจากการทดลอง เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง

1.4.6 จัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำชุดการทดลองแบบเติมครั้งเดียว ติดตั้งชุดการทดลองจำนวน 4 กลุ่ม (A, B, C และ D) โดยแต่ละกลุ่มจะมี 5 ชุด อัตราส่วนผสมระหว่างอัตราส่วน ของเสียฟาร์มสุกร ต่อ ผักตบชวา

1.4.7 นำผักตบชวาหั่นเป็นชิ้น ขนาดประมาณชิ้นละ 1 เซนติเมตร ผสมน้ำสะอาด ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น (Blender) เป็นเวลาปั่น 5 นาที เท่ากันทุกแบตซ์ (Batch)

1.4.8 นำมูลสุกร ผักตบชวาปั่นละเอียด หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น ผสมกันแล้วนำใส่ขวดสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำสะอาดให้ได้ปริมาณ 300 มิลลิลิตร

1.4.9 วิเคราะห์สมบัติของ ของผสมระหว่าง มูลสุกร ผักตบชวา และเชื้อจุลชีพตั้งต้น ณ ห้องปฏิบัติการ

1.4.10 ศึกษาอัตราส่วนที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ จาก อัตราส่วนการผสม ระหว่างมูลสุกร กับ ผักตบชวา

1.4.11 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นรวม องค์ประกอบก๊าซ ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) และ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากอัตราส่วนของผสมแต่ละอัตราส่วน

1.4.12 รวบรวมผลการศึกษาทดลอง วิเคราะห์ผล สรุปผลการศึกษา จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นแนวทางในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

1.5.2 ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักร่วม ระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับผักตบชวา เพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพก๊าซชีวภาพ ที่ดีที่สุด

1.5.3 ทราบได้ว่าน้ำเสียที่เหลือจากระบบการย่อยสลายร่วม ระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับผักตบชวา มีความเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ เมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

1.5.4 สามารถใช้เป็นแนวทางในการลดปัญหาเรื่องมลพิษทางน้ำ จากน้ำเสียฟาร์มสุกร และลดวัชพืชทางน้ำอย่างผักตบชวา ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ(Biogas)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ทำงานด้วยกลุ่มแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน 2 กลุ่มหลักทำงานร่วมกัน ได้แก่ แบคทีเรียชนิดที่ไม่สร้างมีเทน (Non-methanogenic Bacteria) และ แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) โดยแบคทีเรียกลุ่มแรกทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ให้มีโมเลกุลที่เล็กลง จนสามารถถูกย่อยสลายต่อไปเป็นกรดไขมันระเหยง่ายและถูกย่อยสลายต่อไปด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่สองจนได้ก๊าซชีวภาพออกมา องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60-70 , ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 28-38 และที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และ ไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น

2.1.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะไม่ใช้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายทำหน้าที่โดยแบคทีเรียหลายจำพวกโดยปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ แสดงดังสมการที่ 2.1 [6]

$$\text{Organic Matter} \longrightarrow CH_4 + CO_2 + H_2 + NH_3 + H_2S \qquad [2.1]$$

สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ได้อีก 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.1.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis Step) เป็นกระบวนการแตกสายพอลิเมอร์ ซึ่งขั้นตอนนี้แบคทีเรียที่ทำงานคือ Hydrolytic Bacteria เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Non-methanogenic Bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ด้วยเอนไซม์ (Extracellular Enzyme) ที่ขับออกมานอกเซลล์เกิดเป็นสารตัวกลาง (Intermediates) ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กหรือโมโนเมอร์ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน ดังสมการ [2.2 – 2.6]

ซูโครส	$\xrightarrow{\text{เอนไซม์แซคคาเลส}}$	กลูโคส	[2.2]
แป้ง	$\xrightarrow{\text{เอนไซม์อะไมเลส}}$	กลูโคส	[2.3]
เซลลูโลส	$\xrightarrow{\text{เอนไซม์เซลลูเลส}}$	กลูโคส	[2.4]
โปรตีน	$\xrightarrow{\text{เอนไซม์โปรติเอส}}$	กรดอะมิโน แอมโมเนีย	[2.5]
ไขมัน	$\xrightarrow{\text{เอนไซม์ไลเปส}}$	กรดไขมัน กรีเซอรอล	[2.6]

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าขั้นตอนอื่นๆ จึงต้องใช้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบหมักนาน สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานที่ค่า pH ประมาณ 6 และอุณหภูมิมากกว่า 15 ถึง 20 องศาเซลเซียส

2.1.1.2 ขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis Step) หรือ Fermentation Step เป็นกระบวนการที่สารตัวกลาง (Intermediates) ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กหรือโมโนเมอร์ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน จากขั้นตอนแรก ถูกออกซิไดซ์ต่อโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acidogenesis Bacteria หรือ แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด (Acid Producer) ได้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก กรดแลกติก และไฮโดรเจน ดังสมการ [2.7 – 2.10]

กรดอะมิโน	$\longrightarrow$	กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซม์	[2.7]
กรดไขมัน	$\longrightarrow$	กรดอินทรีย์	[2.8]
กรีเซอรอล	$\longrightarrow$	กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซม์	[2.9]
กลูโคส	$\longrightarrow$	กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซม์	[2.10]

2.1.1.3 ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis Step) จากผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนที่สองซึ่งแบคทีเรียสร้างกรดขึ้นมาหลายชนิด บางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ จึงต้องอาศัยกระบวนการสร้างกรดอะซิติก ที่กรดอินทรีย์ขนาดโมเลกุลใหญ่ ที่มีคาร์บอนหลายโมเลกุลหรือแอลกอฮอล์ ถูกย่อยสลายไปเป็น กรดอะซิติก (ส่วนมากอยู่ในรูปของอะซิเตท CH_3COO^- ขึ้นกับค่าพีเอชของสารละลาย), ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

2.1.1.4 ขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methanogenesis Step) เป็นกระบวนการการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) ซึ่งกระบวนการนี้แบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างมีเทน (Methanogens) จะใช้สารตัวกลาง ได้แก่กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ให้เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน โดยกระบวนการสร้างมีเทน แบ่งตามชนิดของแบคทีเรียได้ 2 แบบได้ ดังนี้

2.1.1.4.1 รูปแบบการเปลี่ยนอะซิเตทให้เป็น มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ กระทำโดยโดยแบคทีเรียในกลุ่ม Obligate Acetoclastic Methanogens ซึ่งเป็นรูปแบบการทำงานหลักของการผลิตก๊าซมีเทน ที่ประมาณร้อยละ 70 ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังสมการ [2.11]

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad [2.11]$$

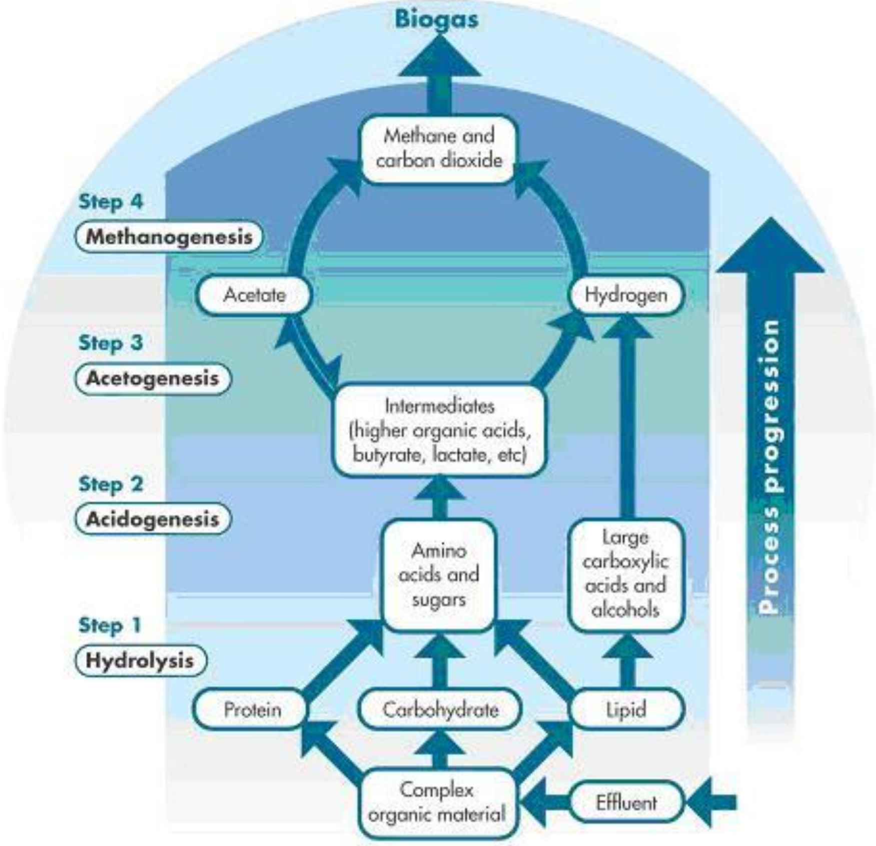
2.1.1.4.2 รูปแบบการเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นก๊าซมีเทน กระทำโดยแบคทีเรียในกลุ่ม Obligate Hydrogenotrophic Methanogens หรือ Hydrogen Utilizer ดังสมการ [2.12]

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad [2.12]$$

นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียสร้างมีเทนที่สามารถใช้ได้ทั้งไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์และอะซิเตท (Hydrogenotrophic/Acetoclastic Methanogen) ในการสร้างมีเทนได้

ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ที่มา : http://www.greenenergynet.net/

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.2.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากคาร์บอนและไนโตรเจนจะถูกแบคทีเรียนำไปสร้างโปรโตพลาสซึ่มของเซลล์ใหม่และสร้างกำลังบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 24-30 ต่อ 1 [7] หากสัดส่วน C/N สูงเกินไป ไนโตรเจนจะหมดไปอย่างรวดเร็วทำให้การเกิดเซลล์แบคทีเรียเซลล์ใหม่ลดลง เป็นผลให้การเกิดก๊าซชีวภาพลดลง แต่ทางตรงกันข้าม สัดส่วน C/N ต่ำเกินไป จะทำให้มีไนโตรเจนมากเกินกว่าที่แบคทีเรียจะย่อยสลายได้หมด ทำให้เกิดแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียและยับยั้งกระบวนการเกิดก๊าซ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของระบบหมักไร้อากาศ (BOD:N:P) ควรเป็น 100 : 0.5 : 0.1 [8]

การทดลองเติมวัสดุหมักรวมลงในวัสดุหมักเดิม [9] ทำโดยใช้การหมักเศษผักผลไม้และหมักร่วมด้วย เศษปลา น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ กากของเสียที่ผ่านกระบวนการ Activated Sludge พบว่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการหมักร่วมระหว่างเศษ ผักผลไม้ กับ วัสดุหมักร่วมมีค่าอยู่ระหว่าง 22-25 และปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ คือ การเติมวัสดุหมักร่วมที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

2.2.2 ปริมาณของเหลวในระบบ (Dilution)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งหากมีของแข็งน้อยหรือเจือจางเกินไปจะทำให้ของแข็งบางส่วนเกิดการตกตะกอน การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้น้อยลง แต่ถ้าของแข็งในระบบมากเกินไป ของแข็งจะอยู่กันอย่างหนาแน่นเกิดการขัดขวางการไหลขึ้นของก๊าซและทำให้การหมุนวนของของเหลวในระบบเป็นไปได้ยากจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้น้อยลง โดยความเข้มข้นของของแข็งรวมที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10-25

2.2.3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate)

เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนและการเกิดก๊าซชีวภาพ หากป้อนสารอินทรีย์ในระบบมากเกินไปจะทำให้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพล้มเหลว เนื่องจากระบบจะมีกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากทำให้ค่าพีเอชต่ำลงแบคทีเรียสร้างมีเทนตาย แต่หากป้อนสารอินทรีย์น้อยเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการหมักเป็นไปไม่เต็มที่ การเติมอย่างต่อเนื่องหรือเติมเป็นช่วงๆ อย่างสม่ำเสมอจะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียมีความไวต่อความเข้มข้นของสารอาหาร ดังนั้นการเติมอย่างสม่ำเสมอจะลดปัญหาเรื่องนี้ได้ โดยการป้อนสารอาหารเข้าสู่ระบบการบำบัดน้ำเสียมี 3 วิธี หลักๆ ได้แก่

2.2.3.1 การป้อนสารอินทรีย์ครั้งเดียว (*Batch type feeding*) เป็นวิธีการเติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียวลงในระบบการย่อยสลาย และปล่อยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายตัวเองด้วยแบคทีเรียที่มีในระบบนั้นๆ

2.2.3.2 การป้อนแบบกึ่งต่อเนื่อง (*Semi-continuous type feeding*) เป็นวิธีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเป็นช่วงๆ ให้มีความสอดคลองกับแหล่งที่นำสารอินทรีย์มาเติมระบบ เช่น ให้สอดคล้องกับรอบการทำงานของโรงงาน รอบการล้างคอกของฟาร์ม เป็นต้น และมีการถ่ายวัสดุอินทรีย์เดิมในระบบออกเมื่อนำสารอินทรีย์ใหม่เติมเข้าสู่ระบบ

2.2.3.3 การป้อนแบบต่อเนื่อง (*Continuous type feeding*) เป็นวิธีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น เป็นวิธีที่เหมาะกับแหล่งที่นำสารอินทรีย์มาเติมระบบได้อย่างต่อเนื่อง เช่น โรงงานที่มีการผลิตตลอดทั้งวัน มีปริมาณสารอินทรีย์ปล่อยทิ้งตลอดเวลา หรือ ฟาร์มขนาดใหญ่ที่มีการล้างคอกสัตว์ตลอดทั้งวัน เป็นต้น

2.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

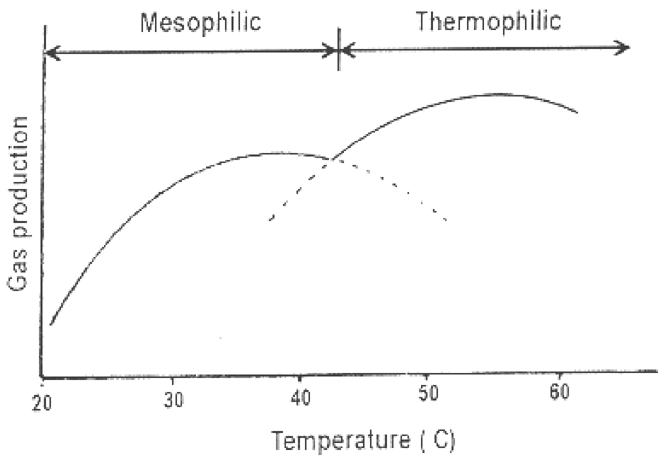
เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพที่สำคัญมาก ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด (Acid forming bacteria) สามารถอาศัยอยู่และเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด และสามารถทนต่อสภาวะค่าพีเอชได้ถึง 4.5 ส่วนแบคทีเรียสร้างมีเทน (*Methane Prducing Bacteria*) สามารถอาศัยอยู่และเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางจนถึงสภาวะที่ค่อนข้างเป็นด่าง ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสำหรับแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มอยู่ในช่วง 6.9 - 7.2 และค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายอยู่ในช่วง 7.0 – 7.2 [10]

2.2.5 อุณหภูมิ (Temperature)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพที่สำคัญมากอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งส่งผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย ที่แต่ละกลุ่มแบคทีเรียต้องการระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งระดับอุณหภูมิที่แบคทีเรียแต่ละกลุ่มต้องการได้ 3 ระดับ ดังนี้

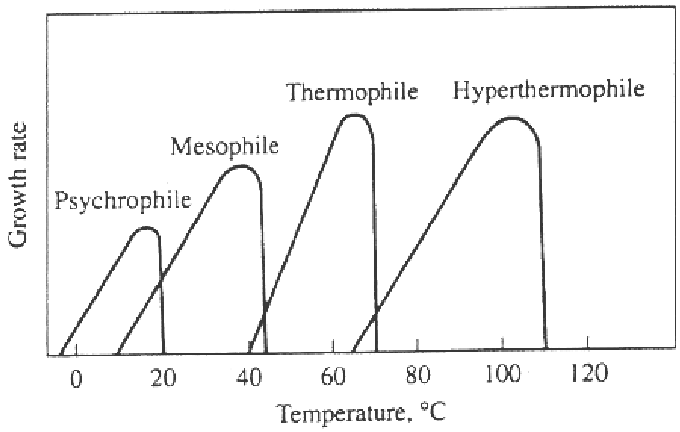
Psychrophilic	อุณหภูมิอยู่ช่วง	5 – 15	องศาเซลเซียส
Mesophilic	อุณหภูมิอยู่ช่วง	35 – 37	องศาเซลเซียส
Thermophilic	อุณหภูมิอยู่ช่วง	50 – 55	องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.2 แสดงผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ [9]

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการเกิดก๊าซจะสูงขึ้นตาม หรือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจะเกิดได้ดีขึ้นมากขึ้น จนอุณหภูมิขึ้นไปที่ประมาณ 38 – 42 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจะเริ่มลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นไปอีกปฏิกิริยาของระบบจะกลับมาทำงานดีขึ้นอีกครั้ง อัตราการเกิดก๊าซจะเพิ่มขึ้นไปจนอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ระบบการเกิดก๊าซจะลดลงอีกครั้ง



รูปที่ 2.3 แสดงผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการทำงาน
และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย [9]

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะสูงขึ้นด้วย ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ ช่วง Mesophilic (35–37 องศาเซลเซียส) และ Thermophilic (50–55 องศาเซลเซียส) แต่การระบบที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะเป็น

ผลเสียต่อระบบ จะทำให้ส่วนประกอบของเซลล์ของแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะลดลงอย่างรวดเร็ว

2.2.6 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา (*Toxic and Inhibit*) [9]

สารบางชนิดมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย สารเหล่านี้อาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายเอง หรือมาจากภายนอก สารบางชนิดในปริมาณเล็กน้อย เช่น ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม แคลเซียม แบคทีเรียนำมาใช้ในการเจริญเติบโตแต่ถ้าปริมาณมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ตัวอย่างการศึกษา ของ Mase et al. (2000) ได้ศึกษาผลของยาปฏิชีวนะจากการหมักแบบไร้อากาศ SRB พบว่าส่งผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนเนื่องจากยาทั้งสองมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย สารที่เกิดขึ้นจากระบบและได้รับจากภายนอกที่เป็นพิษและส่งผลต่อระบบ ดังนี้

2.2.6.1 แอมโมเนีย เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารจำพวก โปรตีน และ ยูเรีย ได้เป็น แอมโมเนีย (NH^{+}_{4}) และแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสามข้อ คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมด, อุณหภูมิ และค่าพีเอช การเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้แบคทีเรียเจริญได้ดี แต่ก็จะทำให้มีแอมโมเนียอิสระสูงขึ้นด้วยเช่นกัน มีผู้ศึกษาปรากฏว่าระบบหมักแบบ Thermophilic ถูกรบกวนได้ง่ายกว่าระบบหมักแบบ Mesophilic ค่าพีเอช ถ้าเพิ่มขึ้นค่าความเป็นพิษของระบบจะสูงขึ้นตามเนื่องจากอัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระกับประจุแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น

2.2.6.2 ซัลไฟด์ เป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยที่กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพจะเกิดปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาสร้างมีเทน (Metanogenesis) และปฏิกิริยาสร้างซัลไฟด์ (Ion Sulfide ; S^{2-}) (Sulfidogensis) หรือซัลเฟตรีดักชัน ทำโดยจุลินทรีย์ Sulphate Reducing Bacteria (SRB) ปฏิกิริยาเป็นดังสมการ [2.13]

$$SO_4^{\ 2-} + \text{Organic Mater} \xrightarrow{\text{เอนไซม์ไลเปส}} S^{2-} + CO_2 + H_2O \qquad [2.13]$$

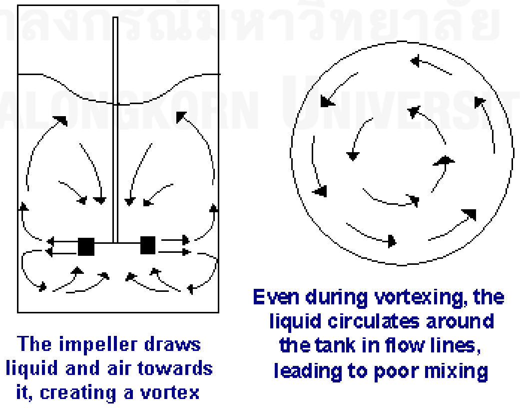
ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเป็นพิษต่อแบคทีเรียอาจทำให้แบคทีเรียหยุดทำงานและระบบการเกิดก๊าซชีวภาพล่มได้

2.2.6.3 โลหะหนัก มีความจำเป็นต่อเอนไซม์และเอนไซม์ร่วม (Co-enzymes) ซึ่งมีความจำเป็นในปริมาณน้อยเพื่อให้เกิดการทำงานอย่างสมบูรณ์ แต่หากมีมากเกินไป โลหะหนักจะไปรบกวนแบคทีเรีย โดยจะไปทำลายโครงสร้างและการทำงานของเอนไซม์

2.2.6.4 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid : VFAs) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทีริก กรดโพรไพโอนิก กรดฟอร์มิก เป็นตัวกลางที่สำคัญในระบบหมักแบบไร้อากาศ มีความสัมพันธ์อยู่กับการใช้ไฮโดรเจนของเมททาโนเจนิกแบคทีเรีย และจะก่อให้เกิดพิษได้หากมีความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 mg/L(as acetic acid) จะมีผลต่อระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ [9] การเพิ่มขึ้นของ VFAs จนเมททาโนเจนไม่สามารถกำจัดไฮโดรเจนและกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้ทันเกิดการสะสมตัวของกรด ค่าพีเอช ลดต่ำลงจนระบบผลิตก๊าซดำเนินต่อไปไม่ได้

2.2.7 ระยะเวลาเก็บกัก (Retention Time) คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่สารอินทรีย์อยู่ในระบบมีความสำคัญกับการผลิตก๊าซชีวภาพกล่าวคือหากกำหนดให้ระยะเวลาเก็บนาน กรณีนี้จะต้องสร้างบ่อหมักขนาดใหญ่เพื่อทำให้ปฏิกิริยาเป็นไปอย่างช้าๆ เป็นผลให้เวลาที่ใช้ในการกักเก็บมาก ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักจึงเป็นสิ่งที่ดีที่สุด โดยระยะเวลาขึ้นกับสภาพแวดล้อมของระบบ ชนิดสารอินทรีย์ ชนิดแบคทีเรียที่ใช้เป็นสำคัญ

2.2.8 การกวนผสม (Mixing) มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์กับแบคทีเรีย เนื่องจากการกวนทำให้ของเหลวในระบบมีการหมุน-วน คลุกเคล้ากันดังแสดงในรูปที่ 2.4 ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการกวนผสม



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการกวนผสม

ที่มา : http://agro-industry.rmutsv.ac.th/

2.2.9 หัวเชื้อ (Starter) เป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง โดยระบบหมักแบบไร้อากาศ เชื้อแบคทีเรียจะทำหน้าที่เป็นตัวผลิตก๊าซ ซึ่งในระบบหนึ่งจะมีเชื้อแบคทีเรียอยู่หลายชนิดทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง การเริ่มระบบสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

2.2.9.1 ไม่ใช้หัวเชื้อตั้งต้น แต่จะรอให้เกิดเชื้อขึ้นในระบบ ซึ่งวิธีนี้จะเป็นวิธีที่เกิดก๊าซได้ช้ามาก

2.2.9.2 ใช้หัวเชื้อตั้งต้นชนิดที่ไม่คุ้นเคยกับระบบของสารอินทรีย์ที่นำมาหมัก

2.2.9.3 ใช้หัวเชื้อตั้งต้นชนิดที่คุ้นเคยกับระบบของสารอินทรีย์ที่นำมาหมัก ซึ่งระบบนี้จะผลิตก๊าซขึ้นมาได้เร็วกว่าระบบอื่น

2.3 ชนิดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ชนิดของระบบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 โดยแบ่งเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งเน้นไปที่ระบบที่มีการนำมาใช้จริงในภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ปศุสัตว์ และชุมชน ที่ไม่รวมระบบบ่อปิดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Pond) ที่มีขนาดเล็ก เช่น ระบบโดมคงที่ (Fixed Dome) หรือระบบ โดมลอยตัว (Floating Drum) ดังนั้นระบบที่เน้น โดยแต่ละระบบจะมี ข้อดี-ข้อเสียต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 นี้

ตารางที่ 2.1 ชนิด จุดเด่น จุดด้อย ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ [6]

ชนิดระบบ	จุดเด่น	จุดด้อย
1. บ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Covered Lagoon)	- ควบคุมดูแลได้ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ - ค่าก่อสร้างระบบต่ำ(ไม่รวมที่ดิน) - รับน้ำเสียที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอได้ดีก่อสร้างง่าย	- รับ Organic loading rate ได้ต่ำ เนื่องจากความเข้มข้นเซลล์แบคทีเรียต่ำ - การกวนผสมไม่ดีประสิทธิภาพต่ำ - ต้องการพื้นที่มาก - มักพบการสะสมของตะกอนแข็ง ทำให้ต้องมีการขุดลอกบ่อบ่อยๆ - การนำก๊าซไปใช้งานค่อนข้างยาก - มีปัญหา Soil Contaminate

ชนิดระบบ	จุดเด่น	จุดด้อย
2. ถังกวนสมบูรณ์แบบไร้อากาศ (CSTR)	- รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี - ประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงเนื่องจากการกวนผสมดี - รับน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารพิษได้ดี	- ต้องการพลังงานในการกวนผสม - ความเข้มข้นของน้ำเสียขาออกสูง - มีการสูญเสียแบคทีเรียในปริมาณที่สูง
3. ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) และ ระบบแบบตรึงฟิล์ม (Anaerobic Fixed Film)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง - มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง - Solids Retention Time สูง - ต้นทุนเดินระบบต่ำเนื่องจากไม่ต้องมี การกวนผสม ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจึงต่ำ	- ต้นทุนระบบเพิ่มขึ้นจากค่าตัวกลาง - กรณีถังกรองไร้อากาศแบบเรียงตัวกลางไม่เป็นระบบ มักอุดตันได้ง่าย - ถังกรองไร้อากาศพบการไหลลัดวงจร และการกระจายตัวของน้ำเสียไม่ดี
4. ระบบ ยูเอเอสบี (UASB)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง - ไม่มีปัญหาการอุดตัน (Clogging)	- น้ำเสียต้องมีสารแขวนลอยต่ำ - อัตราการสูญเสียแบคทีเรียจากระบบ สูง - การสร้างเม็ดตะกอนทำได้ยาก - ต้องการระบบป้อนน้ำเสียและ Gas Solid Separator ที่มีประสิทธิภาพสูง - ควบคุมดูแลยาก
5. ระบบอีจีเอสบี (EGSB) และซีไอ (CI)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง (>UASB) - การกวนผสมดี - บำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่ำหรือมีสาร เป็นพิษได้ดี เนื่องจากการกวนผสมดี	- ควบคุมและเดินระบบยาก ต้องการ พลังงานในการ Re-circulation - อัตราการ Washout สูง - มักเกิดปัญหาเม็ดตะกอนแตกและ หลุดออกนอกระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชนิดระบบ	จุดเด่น	จุดด้อย
6. ระบบ Anaerobic Fluidized Bed (AFB)	- การสัมผัสของสารอาหารกับแบคทีเรียดี - รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง - รับการ Shock Load กะทันหันได้ดี	- ต้นทุนก่อสร้างและเดินระบบสูง - ดูแลและบำรุงรักษายาก - พบปัญหา Unstable Biofilm - พบปัญหาการสูญเสียแบคทีเรีย
7. ระบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (AnSBR)	- ต้นทุนก่อสร้างและเดินระบบต่ำ - ควบคุมดูแลง่าย	- พบปัญหาแบคทีเรียไม่ตกตะกอน ทำให้หลุดออกจากถังได้ง่าย - อัตรารับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ - เหมาะกับน้ำเสียเกิดขึ้นแบบ Batch เท่านั้น
8. ระบบแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ (Anaerobic Baffle Reactor)	- Contract Time นาน - สารอาหารแต่ละห้องต่างกันทำให้ เหมาะสมกับการทำงานของเชื้อแต่ละกลุ่ม (Substrate Specificity)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ พบ ปัญหาการสะสมของตะกอนแข็งใน ระบบ
9. ระบบไร้อากาศแบบลูกผสม (Anaerobic Hybrid Reactor)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ดี - รวมข้อดีของทั้ง UASB และ AFB ไว้ - ความเข้มข้นเซลล์แบคทีเรียในระบบ สูง - ลดปัญหาการอุดตันของ AF ได้มาก	- ยังคงมีต้นทุนจากวัสดุตัวกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 ผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพื้นที่พบมากในทวีปอเมริกาใต้ ในปี พ.ศ. 2367 มีบันทึกถึงเรื่องการค้นพบพืชชนิดนี้โดยนายแพทย์ชาวเยอรมันชื่อ Karl von Martius เป็นผู้ค้นพบในประเทศบราซิล และมีปรากฏในประเทศต่างๆเรื่อยมา จนมาถึงในปี พ.ศ. 2444 ผักตบชวาได้เข้ามาสู่ประเทศไทยโดยการนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย จนเกิดการแพร่กระจายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอย่างรวดเร็วจนเป็นปัญหาที่ต้องแก้ไข จนถึงในปี 2456 ได้มีพระราชบัญญัติ สำหรับกำจัดผักตบชวา พ.ศ. 2456 ขึ้นเพื่อกำจัดผักตบชวา และได้ยกเลิกในปี 2546 แต่ถึงอย่างไรแล้วผักตบชวาก็ยังคงสร้างปัญหาอยู่จนถึงปัจจุบัน

ผักตบชวามีชื่อวิทยาศาสตร์ *Eichhornia crassipes (Mart.) Solms* ชื่อภาษาอังกฤษ Water Hyacinth ชื่อที่คนไทยรู้จัก เช่น ผักปอด, สวะ, ผักโรค, ผักตบชวา, ผักยะวา, ผักอีโยก และผักป่อง เป็นต้น เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ทั้งที่รากไม่ถึงดินหรือในลักษณะลอยน้ำ (Floating plant) แต่หากน้ำแห้งหรือลมพัดลอยไปอยู่บริเวณน้ำตื้นที่รากสามารถถึงดินได้ ผักตบก็สามารถเจริญเติบโตได้ ลักษณะของผักตบชวาประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุกผักตบแต่ละกลุ่มจะเชื่อมติดกันด้วยไหล (Stolon) ซึ่งเป็นลำต้น ใบเป็นใบแบบเดี่ยว (Simple leaf) ประกอบด้วยแผ่นใบ (Blade) และก้านใบ (*Petiole*) ดอกมีสีฟ้าออกเป็นช่อ ไม่มีก้านดอก (Spike) แสดงได้ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 ลักษณะของผักตบชวา

ที่มา : http://www.oknation.net/

การขยายพันธุ์ สามารถขยายพันธุ์ได้ด้วยวิธีการแตกไหล (*Stolon*) แล้วเจริญไปเป็นต้นใหญ่เกาะกันเป็นแพ และการใช้เมล็ดในกรณีที่รากผักตบถึงพื้น โดยผักตบชวา 2 ต้น สามารถเพิ่มจำนวนได้ 300 ต้นในเวลา 20 วัน และเพิ่มเป็น 1,200 ต้นในเวลา 4 เดือนในธรรมชาติ

2.5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร

เนื่องจากการเลี้ยงสุกรในลักษณะฟาร์มจะก่อให้เกิดน้ำเสียที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศมาตรฐานสำหรับการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ไว้ในประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี 2548 [5] ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรประเภท ก ประเภท ข และประเภท ค

การเลี้ยงสุกรประเภท	ความเป็นกรดและด่าง	บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (TKN) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ก	5.5 – 9.0	ไม่เกิน 60	ไม่เกิน 150	ไม่เกิน 300	ไม่เกิน 120
ข	5.5 – 9.0	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 200
ค	5.5 – 9.0	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 200

การเลี้ยงสุกรประเภท ก , ข , หรือ ค ใช้เกณฑ์น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์เป็นตัวกำหนด ดังนี้

“น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย” หมายความว่า น้ำหนักสุทธิของสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุนหรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 500 กิโลกรัม โดยให้คิดคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยของสุกรพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ตัวละ 170 กิโลกรัม สุกรขุนตัวละ 60 กิโลกรัม และลูกสุกร ตัวละ 12 กิโลกรัม

“การเลี้ยงสุกรประเภท ก” หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์เกินกว่า 600 หน่วย

“การเลี้ยงสุกรประเภท ข” หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 60 หน่วย แต่ไม่เกิน 600 หน่วย

“การเลี้ยงสุกรประเภท ค” หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 6 หน่วย แต่ไม่เกิน 60 หน่วย

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญชัย คุณาวนากิจ (2529) [11] ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาโดยการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ถึงผลของระยะเวลาในการหมักต่างๆ กัน คือ 10, 15, และ 25 วัน ที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ 0.5 และ 0.8 กก.TVS ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผลปรากฏว่าได้ปริมาณก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักของ ของแข็งระเหยที่ถูกทำลายไป (1 CH_4/g TVS destroyed) อยู่ในช่วง 0.15-0.33 ลิตรต่อกรัม ของของแข็งระเหยที่ถูกทำลาย ที่ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน สำหรับอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ 0.8 กก.TVS ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และที่ระยะเวลาในการหมัก 25 วัน สำหรับอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ 0.5 กก.TVS ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะให้ก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักของ ของแข็งระเหยที่ถูกทำลายไปสูงที่สุด คือ 0.33 และ 0.27 ลิตรมีเทนต่อกรัมของของแข็งระเหยที่ถูกทำลาย ตามลำดับ และศึกษาปริมาณ ธาตุอาหารพืชอย่าง N, P และ K พบว่ากากตะกอนมีองค์ประกอบของไนโตรเจนร้อยละ 0.03-0.08 ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.001-0.005 และปริมาณโปตัสเซียมร้อยละ 0.04-0.10

ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และ พัสตรา เขมาวุฒานนท์ (2537) [12] ได้ทำการแยกอะซิโตเจนซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่คัดเลือกโดยการเจริญบนอาหารที่มีกรดโพรพิโอนิคหรือกรดแลคติค และนำไปผสมกับเมธาโนเจนซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่คัดเลือกโดยการเจริญบนอาหารที่มีเมธานอลหรือ $H_2 : CO_2$ (80:20) เพื่อศึกษาถึงการผลิตก๊าซมีเทนในระดับหลอดทดลอง พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทนของเชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดโพรพิโอนิค และเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอลหรือ $H_2 : CO_2$ (80:20) หลังจากบ่มเป็นเวลา 6 สัปดาห์ คือใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค 5 mM มีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุล และเติมตัวกระตุ้นกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนคือ $H_2 : CO_2$ (80:20) ในสัปดาห์ที่ 2 ของการเลี้ยงเชื้อโดยใช้อัตราส่วนของอะซิโตเจนต่อเมธาโนเจน 1:1 ที่ 37องศาเซลเซียส โดยได้ปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 2.00×10^5 nmole สิ่งที่น่าสนใจคือ เมื่อใช้เชื้อผสมของอะซิโตเจนที่แยกโดยใช้กรดแลคติคและเมธาโนเจนที่แยกโดยใช้เมธานอล หรือ $H_2 : CO_2$ (80:20) จะเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 2.97×10^5 nmole เมื่อใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีความเข้มข้นกรดแลคติค 10 nM มีการเติมทรายเป็นตัวค้ำจุล และเติมตัวกระตุ้นกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนคือ $H_2 : CO_2$ (80:20) ในสัปดาห์ที่ 2 ของการเลี้ยงเชื้อโดยใช้อัตราส่วนของอะซิโตเจนต่อเมธาโนเจน 1:1 ที่ 37องศาเซลเซียส พบว่าในสภาวะทั้ง 2 มีค่าความเป็นกรด

ด่างสุดท้ายของน้ำเลี้ยงเชื้อ 6.65 และ 6.74 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในช่วงการเจริญของแบคทีเรียในกลุ่มเมธาโนเจนและให้ก๊าซมีเทนในปริมาณที่สูง

สุเมธ ชวเดช (2540) [13] ศึกษาระบบตัวกลางกรอง-ยูเอเอสบี สองขั้นตอนแบบอุณหภูมิสูง ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ประการคือ หลักการสองขั้นตอน, ระบบหมักประสิทธิภาพสูง(ระบบหมักตัวกลางกรอง และระบบหมักชั้นตะกอนไหลขึ้น) และการควบคุมที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและการเกิดก๊าซชีวภาพ ในการทดลองนี้ใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราซึ่งมีค่าซีโอดี 90,000-120,000 มก./ล. ระบบหมักในการทดลองนี้ประกอบด้วย ถังหมักกรด (ตัวกลางกรอง) มีขนาดจุ 6.8 ลิตร และถังหมักมีเทน (ตัวกลางกรอง-ยูเอเอสบี) มีขนาดจุ 55 ลิตร ถังหมักทั้งสองถังถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 55 °ซ ระบบนี้ได้แสดงถึงเสถียรภาพของระบบที่สูงมาก และสามารถปรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ได้สูงถึง 13.05 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อัตราป้อนสารอินทรีที่เหมาะสมเท่ากับ 6.38 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สำหรับประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด และที่สภาวะนี้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 52 ในการเปรียบเทียบกับระบบสองขั้นตอนยูเอเอสบีที่ควบคุมที่อุณหภูมิปานกลาง พบว่าระบบที่ศึกษานี้ซึ่งเป็นระบบหมักสองขั้นตอนตัวกลาง-ยูเอเอสบีแบบอุณหภูมิสูง สามารถรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ได้สูงกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ระบบหมักที่ศึกษานี้ยังให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบหมักขนาดใหญ่แบบยูเอเอสบีสองขั้นตอนอุณหภูมิปานกลาง

สุรภี เบญจปัญญาวงศ์ (2549) [14] ศึกษาอิทธิพลของโพลีเมอร์ต่อการเริ่มเดินระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อหาเกณฑ์การเริ่มเดินระบบอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี จำนวน 2 ถัง ทำการศึกษาเชิงทดลองโดยออกแบบเป็นการทดลองเชิงเปรียบเทียบระหว่างถังปฏิกิริยาที่เติม โพลีเมอร์ กับถังปฏิกิริยาที่ไม่เติมโพลีเมอร์ พบว่าการเติมโพลีเมอร์ที่ความเข้มข้น 5 ลิลลิกรัมต่อกรัมเอสเอส จะลดเวลาในการเกิดเป็นเม็ดตะกอนแบคทีเรียลง และเพิ่มจำนวนของตะกอนแบคทีเรียขึ้น โดยสังเกตได้ในวันที่ 120 ของการทดลอง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 72 ชั่วโมง อัตรารับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.07-8.57 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยในถังปฏิกิริยาที่ 1 (ควบคุม) เท่ากับร้อยละ 93.40 และในถังปฏิกิริยาที่ 2 (เติมโพลีเมอร์) เท่ากับร้อยละ 94.41 และพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตรารับภาระ

สารอินทรีย์ โดยอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในถังปฏิกิริยาที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 1.959 และ 2.058 ลิตรต่อวัน

ทักษดนย์ วุฒคุณ (2549) [15] ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กากของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบ โดยใช้เชื้อแบคทีเรียที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากระบบยูเอเอสบีเป็นหัวเชื้อ การทดลองทำในขวดหมักขนาด 100 มิลลิลิตร และ 2 ลิตร การทดลองในขวดขนาด 100 มิลลิลิตร ได้ทำการแปรผันค่าความเข้มข้นกากปาล์มเป็นร้อยละ 0 , 5 , 10 และ 15 ค่า pH ที่ 5.8 และ 7.0 อุณหภูมิ ที่ 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าการหมักในภาวะที่มีการเติมกากปาล์มที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส pH 5.8 และ 7.0 เกิดปริมาณก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองกรณีอื่นๆ โดยที่ pH 5.8 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.46 ml/gTVS/day โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับ 246.79±7.27 ไมโครโมล หรือ 81.78±2.41 มิลลิลิตร และมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 0.32 ml/gTVS/day โดยเกิดก๊าซไฮโดรเจนจำนวน 57.79±4.16 ไมโครโมล หรือ 19.15±1.38 มิลลิลิตร และที่ pH 7.0 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.60 ml/gTVS/day โดยเกิดก๊าซมีเทนจำนวน 320.08±6.31 ไมโครโมล หรือ 106.07±2.09 มิลลิลิตร และมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 0.26 ml/gTVS/day โดยเกิดก๊าซไฮโดรเจนจำนวน 47.35±1.32 ไมโครโมล หรือ 15.69±0.44 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนที่ผลิตได้แปรผกผันกับปริมาณความเข้มข้นของกากปาล์มทุกภาวะของการทดลอง สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพในขวดแก้วขนาด 2 ลิตร ได้เลือกใช้ภาวะที่มีการเติมกากปาล์ม pH และ อุณหภูมิที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดในการหมักในขวดซีรั่มขนาด 100 มิลลิลิตร พบว่า ที่ pH 5.8 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 8.33×10^{-4} ml/gTVS/day โดยเกิดก๊าซมีเทนจำนวน 3.86 ไมโครโมล หรือ 1.28 มิลลิลิตร และมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 0.06 ml/gTVS/day โดยเกิดก๊าซไฮโดนเจนจำนวน 255.44 ไมโครโมล หรือ 84.65 มิลลิลิตร และที่ pH 7.0 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 3.15×10^{-3} ml/gTVS/day โดยเกิดก๊าซมีเทนจำนวน 16.30 ไมโครโมล หรือ 5.40 มิลลิลิตร และมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 0.06 ml/gTVS/day โดยเกิดก๊าซไฮโดนเจนจำนวน 305.59 ไมโครโมล หรือ 101.26 มิลลิลิตร เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในขวดซีรั่มขนาด 100 มิลลิลิตร

และขวดแก้วขนาด 2 ลิตร พบว่าการหมักในขวดซีรั่มขนาด 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพมากกว่าการหมักในขวดแก้วขนาด 2 ลิตร

ชุติมา ฉันท์พลากร (2551) [16] ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียกากส่า โดยใช้ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ระดับห้องปฏิบัติการ ขนาด 20 ลิตร จำนวน 3 ชุดการทดลอง ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการควบคุมอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 1.5, 3 และ 5 ลิตร/วัน โดยมีความเข้มข้นซีโอดีของน้ำสียเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นค่าภาระซีโอดีที่ใช้ในการทดลองอยู่ระหว่าง 0.30-3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และ การกำจัดซีโอดี ที่อัตราการไหลเดียวกัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงขึ้น เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีเข้าสู่ระบบ และจากการเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นซีโอดีสูงสุด ที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 15,000 มก./ล. ในอัตราการไหลที่ 1.5, 3 และ 5 ลิตร/วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของที่อัตราการไหล 5 ลิตร/วัน มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 31.13 ลิตร/วัน โดยคิดเป็น 2 และ 4.5 เท่า ของการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการไหล 3 และ 1.5 ลิตร/วัน ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงที่สุด มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 80 ดังนั้นสรุปได้ว่า ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากส่า โดยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.621 ลิตร ต่อ 1 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่ค่าภาระซีโอดีเท่ากับ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน

อุษณีย์ นาคะภากร (2551) [17] ศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบหมักไร้ออกซิเจนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสุรา โดยใช้ระบบถังหมักไร้ออกซิเจน ระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 ถัง โดยให้น้ำเข้ามีความเข้มข้นซีโอดีคงที่เท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลากักพักชลศาสตร์คงที่ 20 วัน แล้วปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบที่อัตราไหลเข้าต่ออัตราไหลเวียนกลับ 4 ค่า เท่ากับ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 พบว่าการหมุนเวียนน้ำเสียช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยที่อัตราไหลเข้าต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 41 57 62 72 และ 75 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 48 72 74 77 และ 80 ตามลำดับ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.10 0.12 0.21 0.37 และ 0.48 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 45.14 53.96 52.23 54.23 และ 55.43 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 0.25 เป็น 0.5 และ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย 1:20 พบว่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยนั้นคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกันในทุกค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 77 และ 76 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 73 และ 74 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 2,961 และ 3,391 มิลลิลิตรต่อวัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.36 และ 0.21 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 64.24 และ 53.87 ตามลำดับ

อมรพรรณ แถมเงิน (2551) [18] ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าจากหลุมเทกองผสมกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขยะ โดยใช้ถังหมักที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองหมักขยะชุมชนโดยผสมขยะที่เตรียมไว้กับหัวเชื้อจุลชีพ (Seed) ที่มีความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนขยะต่อหัวเชื้อจุลชีพเท่ากับ 60:40 โดยปริมาตร ทุกชุดการทดลอง แบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทดลองที่ 1 แปรผันอัตราส่วนระหว่างขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองผสมกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ ตั้งแต่ 1:0, 1:2, 1:3, 1:6 และ 0:1 การทดลองที่ 2 ปรับเปลี่ยนปริมาณของแข็งทั้งหมด 3 ค่า คือร้อยละ 3, 5 และ 10 และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการให้ความร้อนขยะก่อนทดลอง จากการทดลองพบว่าขยะชุมชนสดอย่างเดียว (อัตราส่วน 0:1) และขยะชุมชนเก่าอย่างเดียว (อัตราส่วน 1:0) มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.18 และ 0.06 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด ตามลำดับ ใช้เวลาในการเกิดก๊าซทั้งสิ้น 30 และ 16 วัน ตามลำดับ ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่ากับขยะชุมชนสดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดคือ ที่อัตราส่วนขยะชุมชนเก่ากับขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.12 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ภายในเวลา 13 วัน พบว่า ซีโอดีกรองของน้ำในระบบหลังจากสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงร้อยละ 63.19 โดยมีค่าซีโอดีกรองเท่ากับ 3,136 มิลลิกรัมต่อลิตร ใน

การให้ความร้อนขยะที่อัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 พบว่าการให้ความร้อนขยะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีปริมาณสูงขึ้นถึงร้อยละ 73.33

กนิษฐา วิมลรัตน์ (2552) [19] ศึกษาผลของการปรับสภาพเบื้องต้นกากตะกอนน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษกล่องขาวเคลือบมันต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยระบบถังกวนสมบูรณ์ที่เติมหัวเชื้อแบคทีเรียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาตรถังหมัก ทั้งนี้กำหนดให้มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 4 ปรับสภาพเบื้องต้นกากตะกอนเยื่อกระดาษด้วยการให้ความร้อน การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการผสมกับขยะเศษอาหารในอัตราส่วนต่างๆ จากผลการทดลองพบว่ากากตะกอนเยื่อกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้ 0.091 ลิตร/กรัมของแข็งระเหยทั้งหมด และเมื่อนำกากตะกอนเยื่อกระดาษมาปรับสภาพเบื้องต้นด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ทั้งปรับด้วยการให้ความร้อนและแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ากากตะกอนเยื่อกระดาษที่ปรับสภาพด้วยความร้อนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 77.87 คิดเป็นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 0.181 ลิตร/กรัมของแข็งระเหยทั้งหมด แต่พบว่าก๊าซชีวภาพที่ได้มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเพียงร้อยละ 39.37 การทดลองแปรผันอัตราส่วนกากตะกอนเยื่อกระดาษต่อขยะเศษอาหารตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:4 พบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 0.121 ลิตร/กรัมของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนมากขึ้นเท่ากับร้อยละ 69.99 นอกจากนี้การใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษที่ปรับสภาพด้วยความร้อนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พร้อมผสมกับขยะเศษอาหาร ในอัตราส่วนกากตะกอนเยื่อกระดาษต่อขยะเศษอาหารเท่ากับ 1:1 พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมมากขึ้น 0.186 ลิตร/กรัมของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนมากที่สุด ร้อยละ 63.33

อัญชลี แท่นนิล (2553) [20] ศึกษาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบการย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกรกับเศษอาหาร และมูลสุกรกับใบปาล์ม ที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 สัดส่วนของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ

5, 10 และ 20 ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน และถังปฏิกรณ์เมมเบรน พบว่าถังปฏิกรณ์เมมเบรนให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซมีเทน การนำเศษอาหารมาย่อยร่วมกับมูลสุกรที่สัดส่วนของเศษอาหาร และสัดส่วนปริมาณของแข็งที่สูงขึ้นให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น โดยผลการใช้ปริมาณของแข็งร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 70:30 ในถังปฏิกรณ์เมมเบรนให้สัดส่วนองค์ประกอบก๊าซมีเทนร้อยละ 59.6 และให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนมากที่สุดเท่ากับ 1.57±0.12 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี, ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย ในน้ำทิ้งเท่ากับร้อยละ 87.5±0.9 , 47.1±1.3 และ 49.7±1.9 ตามลำดับ เมื่อนำใบปาล์มเป็นโคซับสเตรตที่ปริมาณของแข็งร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 70:30 ในถังปฏิกรณ์เมมเบรน พบว่าให้สัดส่วนองค์ประกอบก๊าซมีเทนร้อยละ 60.5 ในอัตรา 0.86±0.09 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี, ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายในน้ำทิ้งเท่ากับร้อยละ 91.7±0.7 , 52.2±2.7 และ 43.2±1.3 ตามลำดับ

พรรณิภา คำมาเร็ว (2553) [2] วิจัยเพื่อประเมินศักยภาพ ในการเพิ่มปริมาณมีเทนของกระบวนการย่อยสลายร่วมระหว่างน้ำเสียกระดาษสากับ มูลวัว และเศษอาหาร รวมทั้งหาผลของเวลาเก็บกักน้ำต่อการบำบัดในถังปฏิกรณ์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกหาค่า BMP ของการหมักร่วมของ ของเสียระหว่างน้ำเสียกระดาษสากับมูลวัว และเศษอาหาร พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำเสียและมูลวัวในการผลิตก๊าซมีเทนคือ 70:30 (ในรูปค่า VS) โดยมีค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.330 และ 0.368 ล. CH_4/ก. VS_{added} สำหรับการทดลองที่ไม่มีและมีการเขย่าผสมตามลำดับ และสัดส่วนการหมักของเสียระหว่างเศษอาหารกับน้ำเสียกระดาษสาที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซมีเทนคือ 10:90 (ในรูป VS) โดยมีค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.316 และ 0.275 ล. CH_4/ก. VS_{added} สำหรับการทดลองที่ไม่มีและมีการเขย่าผสมตามลำดับ การทดลองในส่วนที่สองเป็นการทดลอง เพื่อศึกษาผลของเวลาเก็บกักน้ำต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ ASBR ในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองการบำบัดส่วนผสมของของเสียระหว่างน้ำเสียกระดาษสากับมูลวัว พบว่าเวลากักน้ำที่ใช้ในช่วง 2 ถึง 30 วัน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดค่า TVS, TSS และ COD มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเวลาเก็บกักน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 30 วัน ให้ค่าปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุด คือ 0.350 ล.CH_4/ก.VS_{added} ส่วนการบำบัดส่วนผสมระหว่างน้ำเสียกระดาษสา

กับเศษอาหาร พบว่าเวลากักน้ำที่ใช้ในช่วง 2 ถึง 20 วัน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดค่า TVS, TSS และ COD มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเวลากักน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 20 วัน ซึ่งให้ค่าปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะเท่ากับ 0.334 ล.CH_4/ก. VS_{added} ส่วนที่สามเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียกระดาษสา และการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ปละไม่ใช้วัสดุหมักร่วม ที่ค่าเวลาเก็บกักน้ำ 20 วัน พบว่ากระบวนการย่อยสลายร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้โดยการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียกระดาษสาและมูลวัวให้ประสิทธิภาพในการบำบัด และการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

จักรพันธ์ หมื่นจี้ (2553) [21] วิจัยเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งระเหยของน้ำเสียฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารเท่ากับ 70:30 และ 40:60 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนดังกล่าวกับถังปฏิกิริยาแบบ ASBR ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ค่าเวลากักเก็บที่ 2, 10, 20 และ 30 วัน ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแรกโดยใช้หญ้าเนเปียร์เป็นวัสดุหมักย่อยร่วม พบว่าค่า pH ของน้ำที่ผ่านระบบอยู่ในช่วง 7.01-7.38 แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยง่ายในระบบ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบที่สภาวะคงที่ ที่ระยะเวลากักเก็บ 2 และ 10 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) แต่มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี น้อยกว่าที่เวลากักเก็บ 20 และ 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญ โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บ 2, 10, 20 และ 30 วัน เท่ากับร้อยละ 66(±3), 77(±5), 87(±4) และ 88(±3) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะ ทางสถิติ พบว่าที่เวลากักน้ำ 10 และ 30 วัน ปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ต่อกรัมของแข็งระเหย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าที่ได้ที่เวลากักเก็บทั้งสองมีค่ามากกว่าที่ได้จากการทดลองที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 20 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้งานและจะให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.629(±0.16) ล.CH_4/ก. VS และผลการทดลองที่สองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัสดุหมักย่อยร่วม พบว่าค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดอยู่ในช่วง 6.87-7.17 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบในสภาวะที่ระยะเวลากักเก็บ 10, 20, และ 30 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 95(±1.6), 97(±1.1) และ 97(±0.9) ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าที่เวลากักเก็บ 2 วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับ

ร้อยละ 70(±0.2) อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาการเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบ คือ 10 วัน เนื่องจากให้ค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะไม่ต่างจากค่าที่ได้ที่ระยะเวลากักเก็บ 20 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.486(±0.24) ล.CH_4/ก.VS และเมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้งสองกับผลที่ได้จากการทดลองที่ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียวในถัง ASBR ที่เวลากักเก็บ 10 วัน พบว่าทีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าที่ได้จากการทดลอง โดยใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 0.240(±0.02) ล.CH_4/ก.VS และการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์ให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารอินทรีย์และการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการหมักร่วมระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับ ผักตบชวา ในอัตราส่วนการผสมที่ต่างกัน คือ อัตราส่วนของ ของเสียฟาร์มสุกร ต่อผักตบชวา ที่ (60 : 40) , (70 : 30) , (80 : 20) , (90 : 10) และ (100 : 0) เป็นการศึกษาผลของการเติมผักตบชวาเข้าผสมกับ ของเสียฟาร์มสุกร(มูลสุกรรวมกับโคลนบ่อล้น) โดยใช้น้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ในการกำหนดอัตราส่วนการผสม ค่ามูลสุกรกับผักตบชวารวมเท่ากับ 2 กรัมน้ำหนักแห้ง เท่ากันทุกอัตราส่วน และผสมหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น(Seed) เท่ากับ 3 กรัมน้ำหนักแห้ง เท่ากันทุกอัตราส่วน การทดลองนี้ทำในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองแบบแบตช์ (Batch) เติมของผสมเพียงครั้งเดียว ซึ่งการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ ศึกษาจากการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และค่าร้อยละของก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบก๊าซที่อยู่ในก๊าซชีวภาพ รวมทั้งพิจารณาค่าความเป็นมลพิษทางน้ำของทิ้งน้ำที่เหลือจากการทดลอง เทียบกับค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด

3.2 วัตถุดิบ/การเตรียมวัตถุดิบ ในกระบวนการย่อย

3.2.1 มูลสุกร ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ข [5] (ฟาร์มระดับครัวเรือน) ในอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี เป็นฟาร์มที่ใช้เป็นกรณีศึกษา เก็บโดยวิธีตักจากกองมูลที่ฟาร์มรวบรวมไว้ รูปที่ 3.1 (ก) ใส่ในถุงพลาสติก 2 ชั้น มัดปากถุงทุกชั้นด้วยยางวง แช่ไว้ในถังโฟมใส่น้ำแข็ง อุณหภูมิ อยู่ที่ 0 – 2 องศาเซลเซียส ในการผสมตัวอย่างทำโดยนำมูลที่แช่เย็นไว้มาตักแบ่งใส่แก้วชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนแต่ละอัตราส่วน รูปที่ 3.1 (ข) จากนั้นนำน้ำสะอาดวัดปริมาณเติมลงไปเพื่อละลายมูลก่อนเทผสมในบีกเกอร์ ทำเช่นนี้ทุกอัตราส่วนการทดลอง

(ก) กองมูลสุกรจากฟาร์มตัวอย่างที่นำมาศึกษา

(ข) การชั่งมูลสุกรเพื่อใช้ในการหมัก

รูปที่ 3.1 การเตรียมมูลสุกรที่ใช้ในการผสม

3.2.2 ผักตบชวา ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากคลองธรรมชาติ ในตำบลโพหัก อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี เก็บโดยการหยิบขึ้นมาเป็นกอ ตัดเอาเฉพาะก้านและใบ มาแบบคละขนาด รูปที่ 3.2 (ก) หั่นเป็นชิ้น ขนาดประมาณชิ้นละ 1 เซนติเมตร แยกส่วนของใบผัก และก้าน ออกจากกัน รูปที่ 3.2 (ข) ชั่งน้ำหนักโดยใช้น้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ในการกำหนดอัตราส่วน สัดส่วนระหว่างก้านและใบผักตบที่ใช้ในการปั่นละเอียดหาโดยเฉลี่ยน้ำหนักของผักตบชวาตัวอย่าง ดังตารางที่ 3.1 แล้วนำก้านต่อใบในสัดส่วน 60 : 40 มาชั่งรวมกันให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการของแต่ละอัตราส่วน รูปที่ 3.2 (ค) แล้วนำไปปั่นละเอียด รูปที่ 3.2 (ง) ผสมน้ำสะอาด ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น (*Blender*) เป็นเวลาปั่น 5 นาที ทุกอัตราส่วน

(ก) ผักตบชวาคละขนาด ที่นำมาใช้ในการหมัก

(ข) ผักตบชวาแบ่งส่วนที่เป็นก้าน และ ใบ

รูปที่ 3.2 การเตรียมผักตบชวาที่ใช้ในการศึกษา

(ค) ชั่งผักตบชวาตามสัดส่วนของก้านและใบ

(ง) ปั่นผักตบชวาด้วยเครื่องปั่นละเอียด

รูปที่ 3.2 การเตรียมผักตบชวาที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตารางที่ 3.1 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยน้ำหนักสดของ ก้าน ต่อ ใบ ผักตบชวาที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย

จำนวนที่นำมาใช้ศึกษา	ก้านผักตบชวา(กรัม)	ใบผักตบชวา(กรัม)
1	13.7	6.9
2	23.5	14.2
3	9.7	7.0
4	45.8	22.0
5	53.6	24.2
6	22.7	15.7
7	65.9	29.5
8	46.1	31.8
9	6.0	0.8
10	14.7	10.5
11	13.5	22.9
12	2.0	4.5
13	3.8	30.9
14	3.0	2.4
รวม	324.0	223.3
คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ	59.2 (ประมาณ ร้อยละ 60)	40.8 (ประมาณ ร้อยละ 40)

3.2.3 หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการทดลอง เก็บโดยการตักจ้วงลงในบ่อล้นของบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากฟาร์มกรณีศึกษา รูปที่ 3.3 (ก) ใส่ในถุงพลาสติก 2 ชั้น มัดปากถุงทุกชั้นด้วยยางวง แช่ไว้ในถังโฟมใส่น้ำแข็ง อุณหภูมิ อยู่ที่ 0 – 2 องศาเซลเซียส ในการผสมตัวอย่างทำโดยนำหัวเชื้อจุลชีพที่แช่เย็นไว้มาตักแบ่งใส่แก้วชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนแต่ละอัตราส่วน รูปที่ 3.3 (ข) จากนั้นนำน้ำสะอาดวัดปริมาณเติมลงไปเพื่อละลายหัวเชื้อจุลชีพก่อนเทผสมในบีกเกอร์ ทำเช่นนี้ทุกอัตราส่วนการทดลอง

(ก) บริเวณบ่อล้น จุดเก็บหัวเชื้อจุลชีพ

(ข) ชั่งหัวเชื้อจุลชีพใช้ในการหมัก

รูปที่ 3.3 บ่อล้นบริเวณที่เก็บตัวอย่างหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) มาใช้ในการหมัก

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 ชุดหมักก๊าซชีวภาพ

3.3.1.1 ขวดสีชา ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.3.1.2 จุกยางอุดปากขวด

3.3.1.3 ท่อนำก๊าซ

3.3.1.4 เทอร์โมมิเตอร์ 0 – 100 องศาเซลเซียส

3.3.2 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ วัดปริมาณก๊าซที่เกิด

3.3.2.1 ขวดใส่น้ำขนาด 2,000 มิลลิลิตร

3.3.2.2 ท่อนำก๊าซ

3.3.2.3 บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.3.3 อุปกรณ์อื่นๆ

3.3.3.1 สลิ้งค์พลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.3.3.2 ท่อนำก๊าซชนิดสายยางซิลิโคน

3.3.3.3 ถุงเก็บก๊าซชีวภาพ

3.3.3.4 อุปกรณ์หั่นหยาบ (มีด , ที่รองหั่น)

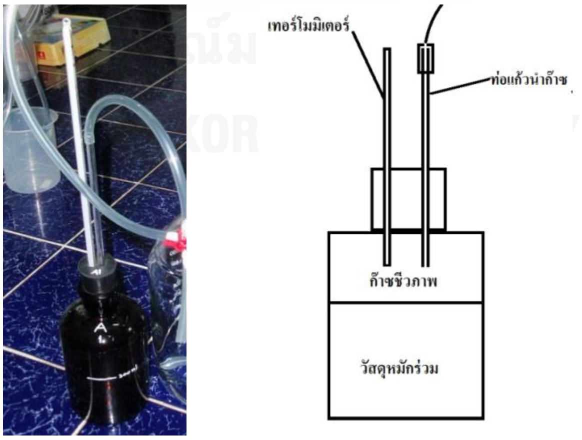
3.3.3.5 อุปกรณ์ปั่นละเอียด (*Blender*)

3.3.3.6 เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างผสม

3.3.3.7 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ
(Gas Chromatograph Shimadzu รุ่นGC-14B)

3.4 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตซ์

ชุดการทดลองจะแบ่งเป็นสองส่วนหลักโดยส่วนที่เป็น ชุดหมัก ประกอบด้วยขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้เป็นขวดหมักของผสม โดยปริมาณหมักเท่ากับ 300 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกยางชนิดเจาะสองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันอากาศเข้าในขวดหมัก ช่องเจาะที่จุกยางใส่เทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิภายในขวดหมัก และใส่ท่อนำก๊าซเพื่อนำก๊าซเข้าชุดเก็บก๊าซและวัดปริมาณก๊าซจากการแทนที่น้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ชุดหมักจะตั้งอยู่บนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (*Automatic shaker*) ทุกอัตราส่วนผสมที่ศึกษา กำหนดให้เครื่องทำงานตลอดเวลาในเวลากลางวัน (07.00 – 19.00 น.) ชุดหมักก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตซ์

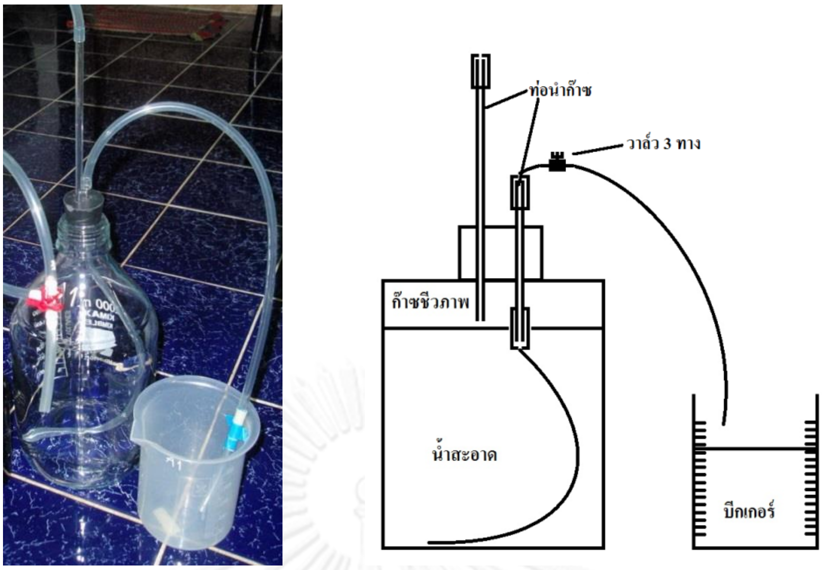
การติดตั้งชุดหมักมีการทดสอบการปิดขวดหมักไม่ให้มีช่องอากาศเข้าหลังการปิดขวดด้วยวิธีการเป่าลมเข้าในขวดทางท่อนำก๊าซออกจากชุดหมักแล้วใช้น้ำผสมน้ำยาล้างจานลาดบริเวณรอบๆ จุดที่มีการต่อกันของอุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบรอยรั่วที่จะทำให้มีอากาศเข้าได้ แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การทดสอบรอยรั่วของระบบ

3.5 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ

ประกอบด้วยขวดแก้วขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่น้ำเต็มขวดปิดขวดด้วยจุกยางชนิดเจาะสองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันก๊าซชีวภาพที่เก็บอยู่ในขวดรั่วซึมออกมา ช่องเจาะที่จุกยางใส่ท่อ 2 เส้น เส้นหนึ่งเป็นท่อนำก๊าซชีวภาพที่เกิดจากชุดหมักเข้าขวดเก็บก๊าซขนาด 2,000 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำอยู่เต็มขวด จากหลักการแทนที่น้ำเมื่อก๊าซเข้าในขวดเก็บก๊าซจะดันน้ำออกมาทางท่ออีกทางหนึ่งลงไปในบีกเกอร์ปริมาณน้ำที่ออกมาที่บีกเกอร์เป็นการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยจะนำน้ำในบีกเกอร์ไปตวงด้วยกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาณที่ละเอียดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 3.6

การติดตั้งชุดเก็บก๊าซชีวภาพมีการทดสอบการปิดขวดเก็บและการต่อท่อนำก๊าซกับสายยางซิลิโคน ไม่ให้มีช่องอากาศเข้าหรือการรั่วซึมของก๊าซด้วยวิธีการเป่าลมเข้าในขวดทางท่อนำก๊าซเข้าขวดเก็บโดยปิดวาล์ว 3 ทาง ส่วนที่ต่อไปยังบีกเกอร์แล้วใช้น้ำผสมน้ำยาล้างจานลาดบริเวณรอบๆ จุดที่มีการต่อเชื่อมของอุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบรอยรั่วที่จะทำให้มีอากาศเข้าหรือก๊าซรั่วซึมออกได้ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ

3.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.6.1 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาในการหมัก และช่วงเวลาการเกิดก๊าซ เพื่อออกแบบการทดลองและวิธีเก็บผลการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหมักด้วยระบบขนาดเล็ก ดังนั้นการเก็บผลการทดลองจึงมีความสำคัญ ผู้ศึกษาจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่สามารถเก็บผลนำมาวิเคราะห์ค่าที่สนใจได้ จำนวน 3 ระบบ ดังนี้

3.6.1.1 ทดลองโดยจัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.7 โดยนำมูลสุกรกับผักตบชวาหมักร่วมในอัตราส่วนที่ยังไม่ได้คำนวณหาค่าอัตราส่วนที่แน่นอน ดำเนินการทดลอง ดังนี้

รูปที่ 3.7 ทดลองหมักจำนวน 1 ชุด

ใช้อัตราส่วนการผสม ของ มูลสุกร : ผักตบชวา : หัวเชื้อตั้งต้น กำหนดโดยปริมาตร ที่ร้อยละ 40 : 40 : 20 ตามลำดับ การเตรียมมูลสุกรใช้น้ำสะอาดละลายมูลให้มีลักษณะเป็นโคลน ผักตบชวาหั่นเป็นชิ้นละประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียด ผสมน้ำพอให้ผักละเอียดมีลักษณะเป็นโคลน นำวัตถุดิบทั้งสองชนิดผสมเข้ากับ หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นที่มีลักษณะเป็นโคลน ให้ได้ปริมาณรวม 200 มิลลิลิตร คือ เป็นมูลสุกร 80 มิลลิลิตร ผักตบชวา 80 มิลลิลิตร และหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น 40 มิลิลิตร จากนั้นนำใส่ในขวดหมักขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำให้ได้ตัวอย่างหมักที่ 300 มิลลิลิตร เป็นการเริ่มต้นระบบ และเก็บผลการทดลองในส่วนของ อุณหภูมิภายในขวดหมัก และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

3.6.1.2 ทดลองอีก จำนวน 5 ชุด โดยแบ่งเป็นชุดหมักละ อัตราส่วนที่ศึกษา จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.8 โดยนำมูลสุกรกับผักตบชวาหมักร่วมในอัตราส่วนโดยปริมาตร ดำเนินการทดลอง ดังนี้

รูปที่ 3.8 ทดลองหมักจำนวน 5 ชุด

นำมูลสุกรกับผักตบชวา หมักรวมกับหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น ในอัตราส่วนโดยปริมาตร ปริมาณการหมักรวมที่ 300 มิลลิลิตร คือ ใช้มูลสุกรผสมน้ำให้มีลักษณะเป็นโคลน รวมกับ ผักตบชวาปั่นละเอียดที่มีลักษณะเป็นโคลน ปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาณหมักรวม หรือเท่ากับ 180 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนผสมที่ศึกษา ระหว่างมูลสุกร : ผักตบชวา นำอัตราส่วนต้องการศึกษา ผสมกับหัวเชื้อจุล

ชีพตั้งต้น ปริมาณร้อยละ 60 ของปริมาณหมัก หรือเท่ากับ 120 มิลลิลิตร หมักในขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร และเก็บผลการทดลองในส่วนของ อุณหภูมิภายใน-ภายนอก ขวดหมัก และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

3.6.1.3 ทดลองอีก จำนวน 20 ชุด โดยหมักอัตราส่วนละ 4 ชุดการทดลอง จำนวน 5 อัตราส่วนที่ศึกษา จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.9 โดยนำของเสียฟาร์มสุกรกับผักตบชวาหมักร่วมในอัตราส่วนที่ได้คำนวณหาค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักแห้งแล้ว (รายละเอียดการคำนวณปริมาณ มูลและผักที่นำมาผสมแสดงใน ภาคผนวก ข) ดำเนินการทดลอง ดังนี้

รูปที่ 3.9 ทดลองหมักจำนวน 20 ชุด

นำมูลสุกร ผักตบชวา และหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น(โคลนบ่อล้น) หมักรวมกันในอัตราส่วนที่ศึกษาโดยใช้น้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ นำหนักแห้งรวมระหว่างมูลสุกรกับผักตบชวาเท่ากับ 2 กรัม น้ำหนักแห้งของหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นเท่ากับ 3 กรัม อัตราส่วนผสมที่ศึกษา ระหว่างมูลสุกรสด : ผักตบชวาน้ำหนักสด หรือระหว่างของเสียฟาร์มสุกรสด : ผักตบชวาน้ำหนักสด เป็นดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนหมักโดยน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ การทดลองหมัก 20 ชุด

อัตราส่วนหมัก (มูลต่อผัก) (ร้อยละ)	อัตราส่วนหมัก(ของเสียฟาร์มสุกรต่อผัก) (ร้อยละ)	น้ำหนักวัตถุดิบหมัก มูลต่อผัก (กรัม)	น้ำหนักวัตถุดิบหมัก ของเสียฟาร์มสุกรต่อผัก (กรัม)
100 : 0	100 : 0	5.8 : 0	26.2 : 0
75 : 25	90 : 10	4.4 : 10.4	24.8 : 10.4
50 : 50	80 : 20	2.9 : 20.8	23.3 : 20.8
25 : 75	70 : 30	1.5 : 31.3	21.9 : 31.3
0 : 100	60 : 40	0 : 41.7	20.4 : 41.7

นำอัตราส่วนที่เตรียมผสมกับหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นน้ำหนัก 20.4 กรัม ผสมวัตถุดิบหมักลงในขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ได้ปริมาณหมักที่ 300 มิลลิลิตร เท่ากันทุกอัตราส่วนที่ศึกษา ปิดขวดหมักและต่ออุปกรณ์เข้าชุดเก็บก๊าซ และเก็บผลการทดลองในส่วนของ อุณหภูมิภายใน-ภายนอกขวดหมัก และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดสะสมของแต่ละอัตราส่วน

3.6.2 การเดินระบบการทดลอง

ใช้การทดลองด้วยชุดทดลอง 20 ชุด โดยหมักอัตราส่วนละ 4 ชุดการทดลองจำนวน 5 อัตราส่วนที่ศึกษา *จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.10* จากการเตรียมวัตถุดิบ ของเสียฟาร์มสุกรและผักตบชวา ตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณ โดยผักตบชวาจะทำการเตรียมที่ละอัตราส่วนแยกไว้ลักษณะดังรูปที่ 3.11 การผสมวัตถุดิบหมักจะทำทีละอัตราส่วน เริ่มจากนำมูลสุกรชั่งให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการในภาชนะถ้วยพลาสติกใส่น้ำสะอาดละลายมูลไม่ให้เหลือติดภาชนะเทลงในบีกเกอร์ หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นชั่งให้ได้น้ำหนักที่ต้องการในภาชนะถ้วยพลาสติกใส่น้ำสะอาดละลายหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นไม่ให้เหลือติดภาชนะเทลงในบีกเกอร์เดียวกัน และนำผักตบชวาที่เตรียมไว้ให้ตรงกับอัตราส่วนของมูลและผักตบชวาที่ดำเนินการแล้วผสมรวมให้เข้ากันก่อนเทลงขวดหมักใช้น้ำสะอาดล้างบีกเกอร์ไม่ให้มีวัตถุดิบหมักเหลืออยู่ในบีกเกอร์เทลงผสมในขวดหมัก แล้วเติมน้ำสะอาดให้ได้ปริมาตรในขวดหมักที่ 300 มิลลิลิตร ทำเช่นเดียวกันกับทุกอัตราส่วนที่ศึกษา ทุกชุดการทดลอง

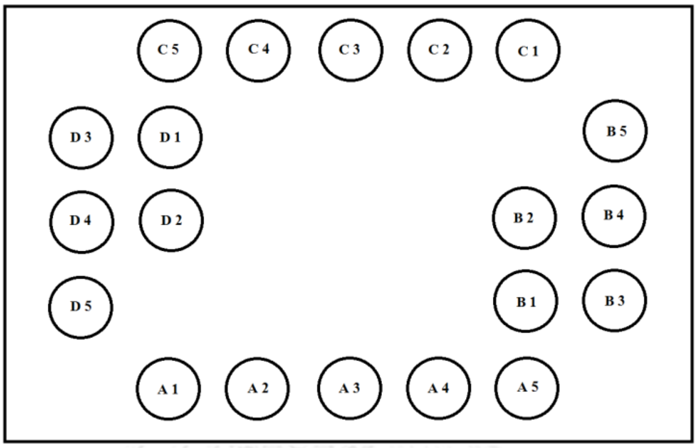
รูปที่ 3.10 ทดลองหมักจำนวน 20 ชุด ติดตั้งจุดเติมน้ำไล่ก๊าซบริเวณขวดเก็บก๊าซ

รูปที่ 3.11 การเตรียมผักตบชวาทีละอัตราส่วน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อัตราส่วนที่ศึกษาโดยใช้น้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ น้ำหนักแห้งรวมระหว่างมูลสุกรกับผักตบชวาเท่ากับ 2 กรัม น้ำหนักแห้งของหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นเท่ากับ 3 กรัม นำหนักแห้งรวมของวัตถุดิบหมักทั้งหมดเท่ากับ 5 กรัม อัตราส่วนผสมที่ศึกษา ระหว่างของเสียฟาร์มสุกรสด : ผักตบชวาสด เป็นดังตารางที่ 3.2 ผสมวัตถุดิบหมักลงในขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรหมักที่ 300 มิลลิลิตร เติมวัตถุดิบหมักเพียงครั้งเดียวให้ระบบเกิดก๊าซชีวภาพแล้วทำการเก็บผลการทดลองเป็นระยะจนสิ้นสุดกระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพ จัดวางชุดหมักทั้งหมดไว้บนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (*Automatic Shaker*) ตามรูปที่ 3.12 โดยแบ่งชุดทดลองเป็น 4 กลุ่ม (A , B , C และ D) กลุ่มละ 5 อัตราส่วน ก่อนเปิดเครื่องให้ระบบทำการเขย่า ได้ทำการสูบอากาศที่อยู่ในขวดหมักออกโดยใช้สลิงค์

สูบอากาศออกครั้งละ 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครั้ง แสดงในรูปที่ 3.13 ทำการหมักเป็นเวลา 22 วัน ตลอดเวลาที่ทดลองเครื่องเขย่าจะทำงานตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึงเวลา 21.00 น. และปิดเครื่องเพื่อบันทึกผลการทดลองในเวลา 13.00 น. เป็นเวลาประมาณ 5 นาที ทุกวัน ในช่วงเช้าและเย็นจะบันทึกผลก่อนและหลังปิดเครื่อง



รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งการวางชุดหมักบนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.13 แสดงการสูบอากาศออกจากขวดหมัก

3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.7.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้คงที่ในการศึกษาวิจัย

3.7.1.1 น้ำหนักแห้งรวมของวัสดุหมัก (มูลสุกร+ผักตบชวา) เท่ากับ 2 กรัม

3.7.1.2 น้ำหนักแห้งของหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) เท่ากับ 3 กรัม

3.7.1.3 ขวดหมักสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร

3.7.1.4 ปริมาตรหมักรวม (มูลสุกร+ผักตบชวา+หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed)) เท่ากับ 300 มิลลิลิตร

3.7.1.5 การเขย่าให้วัสดุหมักในขวดหมักผสมเข้ากัน ทำโดยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (*Automatic Shaker*) เดียวกัน พร้อมกัน ระยะเวลาในการเปิดเครื่อง ตั้งแต่ 7.00 ถึง 21.00 น.

3.7.2 พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรต้นที่ต้องการศึกษาวิจัย

3.7.2.1 อัตราส่วนผสมระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับ ผักตบชวา โดยศึกษาอัตราส่วนการผสม ดังนี้ (60 : 40) , (70 : 30) , (80 : 20) , (90 : 10) และ (100 : 0) ตามลำดับ

3.7.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

3.7.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหมัก ได้แก่ มูลสุกร , ผักตบชวา และหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) วิเคราะห์ค่า น้ำหนักแห้ง (กรัม/กิโลกรัม) และ ค่าสารระเหยง่าย (กรัม/กิโลกรัม)

3.7.3.2 น้ำเสียที่ได้จากการผสมวัตถุดิบหมักทั้งสามอย่างแล้ว ทุกอัตราส่วน

3.7.3.2.1 ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

3.7.3.2.2 สารระเหยง่าย (Volatile solids)

3.7.3.2.3 ความเป็นกรดและด่าง

3.7.3.2.4 บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.7.3.2.5 สารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.7.3.2.6 ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.7.3.2.7 ไนโตรเจน (TKN) (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.7.3.3 อุณหภูมิภายในระบบหมัก และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

3.7.3.4 ก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมัก

3.7.3.4.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดในแต่ละวัน

3.7.3.4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

3.7.3.4.3 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (ก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2))

วิธีการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ ต่อครั้งการทดลอง

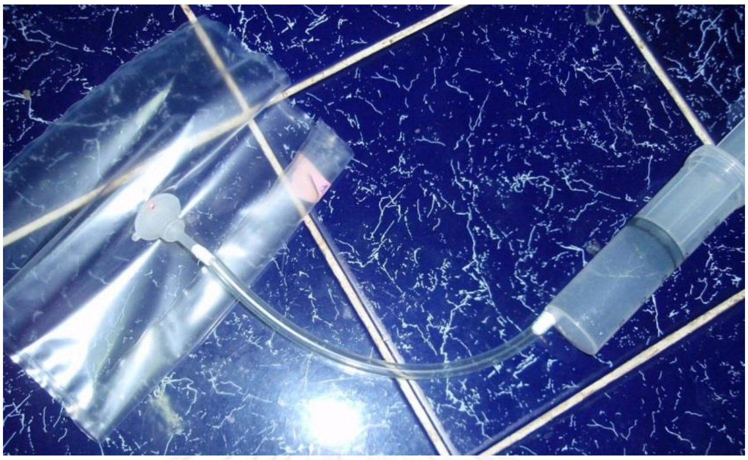
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
น้ำหนักแห้ง	Total Solids Dried at 103-105°C	1 ครั้ง
สารระเหยง่าย	Volatile Solids Ignited at 550°C	1 ครั้ง
ความเป็นกรดและด่าง	Electrometric Method 4500-H^+ B.	2 ครั้ง
บีโอดี	5-Days BOD Test 5210 B.	2 ครั้ง
สารแขวนลอย	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C 2540 D.	2 ครั้ง
ซีโอดี	Open Reflux Method 5220 B.	2 ครั้ง
ไนโตรเจน(TKN)	Macro-Kjeldahl Method 4500-N_{org} B.	2 ครั้ง
อุณหภูมิภายในระบบหมัก	เทอร์โมมิเตอร์	ทุกวัน
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	เทอร์โมมิเตอร์	ทุกวัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพแต่ละวัน	ปริมาณการแทนที่น้ำ น้ำในบีกเกอร์	ทุกวัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม	รวมปริมาณก๊าซแต่ละวัน	ทุกวัน
องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	Chromatograph Shimadzu รุ่น GC-14B	1 ครั้ง

3.8 การเก็บตัวอย่าง

3.8.1 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

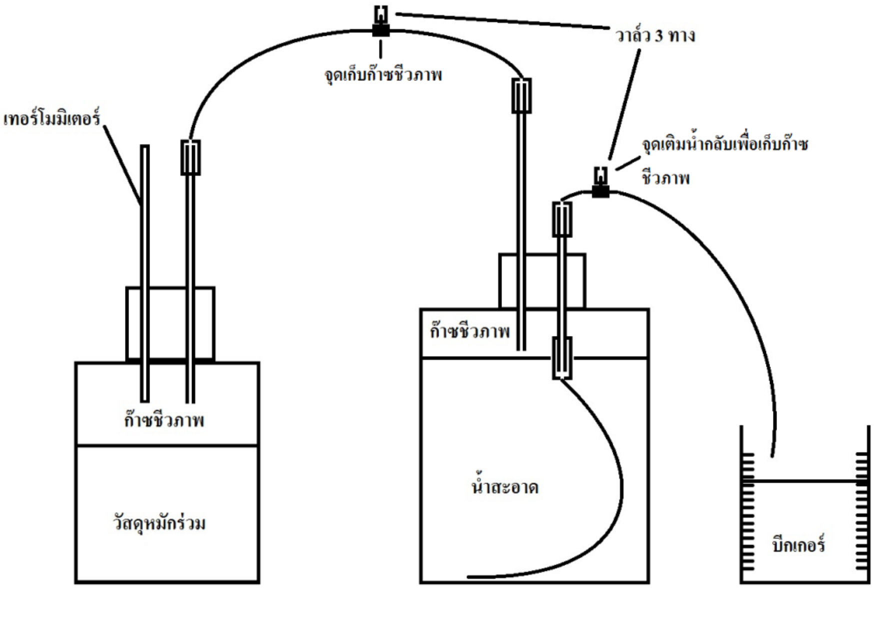
ชุดทดลองที่ใช้ในการหมัก จะมีการต่อท่อนำก๊าซชีวภาพจากชุดหมักไปเก็บไว้ที่ชุดเก็บก๊าซ โดยระหว่างทางจะมีวาล์วสามทางไว้เพื่อเป็นจุดติดตั้งถุงเก็บก๊าซในขณะเก็บก๊าซ และที่ชุดเก็บก๊าซจะใช้หลักการแทนที่น้ำของก๊าซที่เกิดขึ้นโดยเมื่อก๊าซเข้าไปยังชุดเก็บก๊าซจะดันน้ำที่อยู่ในขวดเก็บก๊าซออกมาทางท่อสายยางลงไปยังบีกเกอร์ซึ่งในระหว่างทางจะมีวาล์วสามทางอีกหนึ่งตัวไว้เติมน้ำเข้าขวดเก็บก๊าซเพื่อเป็นการไล่ก๊าซย้อนกลับเข้าไปทางวาล์วตัวแรกเพื่อเป็นการเก็บก๊าซเข้าถุงเก็บ

ก๊าซที่เตรียมไว้ โดยถุงเก็บก๊าซก่อนที่จะนำมาเก็บตัวอย่างก๊าซมีการไล่อากาศออกจากถุงด้วยมือ และสูบอากาศออกจากถุงด้วยสลิงค์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีกจำนวน 1 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการสูบอากาศออกจากถุงเก็บก๊าซ

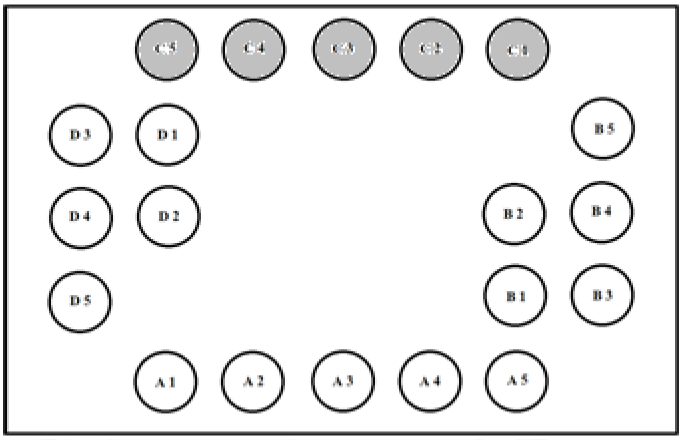
การติดตั้งวาล์วทั้งสองแสดงดังรูปที่ 3.15 หลังจากได้ตัวอย่างก๊าซชีวภาพแล้วจึงนำหลอดเก็บก๊าซสูบก๊าซจากถุงเก็บก๊าซเพื่อฉีดเข้าเครื่อง *Gas Chromatograph Shimadzu* รุ่น *GC-14B* หลักการหาค่าร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะใช้การเปรียบเทียบและคำนวณค่าจากกราฟที่ได้จากเครื่อง GC ที่ใช้ก๊าซมาตรฐานของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ฉีดเข้าเครื่อง แล้วฉีดก๊าซชีวภาพที่ต้องการหาค่าองค์ประกอบตามจะสามารถหาค่าองค์ประกอบก๊าซเป็นร้อยละได้



รูปที่ 3.15 จุดเก็บก๊าซชีวภาพ และจุดเติมน้ำเข้าชุดเก็บก๊าซ

3.8.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดจากการหมัก

ตัวอย่างน้ำเสียจะเก็บสามครั้งคือ เริ่มการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง เริ่มการทดลองใช้การเตรียมตัวอย่างเดียวกับที่ใช้ในการทดลองอีกอัตราส่วนละ 1 ตัวอย่าง ระหว่างการทดลองเนื่องจากชุดทดลองที่ทำการทดลองทำทั้งหมด 4 กลุ่ม โดย 1 กลุ่มไว้เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียระหว่างการทดลอง แล้วเติมน้ำเท่าปริมาณเดิมที่อยู่ในขวดเพื่อให้ระบบการเขย่าทำงานเช่นเดิม ดังนั้นที่เหลืออีก 3 กลุ่ม จะเก็บรวมกันทีละอัตราส่วน เพื่อส่งวิเคราะห์ค่าหลังสิ้นสุดการทดลอง แสดงตำแหน่งชุดที่ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างการทดลองดังรูปที่ 3.16 เมื่อได้ตัวอย่างน้ำเสียแล้วนำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งการวางชุดหมักเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียระหว่างการหมัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์

4.1.1 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่าย ของวัตถุดิบหมัก

4.1.1.1 มูลสุกร ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย นำตัวอย่างจากฟาร์มสุกรในอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ฟาร์มเลี้ยงสุกรโดยเฉลี่ยมีสุกรโตเต็มวัยประมาณ 150 ตัว ลูกสุกร 300-400 ตัว มูลสุกรที่เก็บได้ประมาณวันละ 60 กิโลกรัม อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรเป็นอาหารสุกรสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาด [22] การเก็บมูลสุกรใช้วิธีการตักมูลจากกองมูลที่ฟาร์มรวบรวมไว้ซึ่งลักษณะของมูลจะมีลักษณะเป็นมูลสุกรสด นำตัวอย่างมูลใส่ถุงพลาสติกแช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0-2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของมูลสุกรโดยกรรมวิธีอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103-105°C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งมูลสุกรมีค่าเท่ากับ 344 กรัมต่อกิโลกรัม และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้โดยวิธีการ อบให้สารระเหยไปได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ของมูลสุกรเท่ากับ 108 กรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ลักษณะมูลสุกรสดที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.2 หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย นำตัวอย่างจากฟาร์มเดียวกับมูลสุกร ซึ่งฟาร์มแห่งนี้มีบ่อหมักผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้งานอยู่แล้วจำนวน 1 บ่อ ซึ่งยังใช้งานอยู่ ณ วันที่เข้าเก็บตัวอย่าง บ่อผลิตก๊าซชีวภาพมีลักษณะเป็นโดมคงที่ (Fix Dome Digester) สามารถผลิตก๊าซใช้ก๊าซชีวภาพได้ติดต่อกันครั้งละประมาณ 2 ชั่วโมง จากการเติมมูลสุกรเพียงอย่างเดียวทุก 2-3 วัน [22] ลักษณะบ่อหมักก๊าซชีวภาพของฟาร์มแสดงดังรูปที่ 4.1 หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นเก็บในรูป

ของโคลนบ่อล้น โดยใช้วิธีการตักจ้วงลงในบ่อล้น นำตัวอย่างโคลนที่ได้ใส่ถุงพลาสติกแช่น้ำแข็ง อุณหภูมิประมาณ 0-2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของโคลนที่นำมาใช้เป็นเชื้อจุลชีพตั้งต้น โดยกรรมวิธีอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103-105°C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นในรูปโคลนบ่อล้นมีค่าเท่ากับ 147 กรัมต่อกิโลกรัม และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้โดยวิธีการ อบให้สารระเหยไปได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ของมูลสุกรเท่ากับ 503 กรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.2 บ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เก็บตัวอย่าง

รูปที่ 4.3 ลักษณะหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) ที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษานี้ทำการศึกษาโดยนำมูลสุกรและโคลนบ่อล้นผสมกันตามอัตราส่วนผสมระหว่างมูลกับผักตบชวาโดยน้ำหนักแห้ง เพื่อหาค่าของผักตบชวาที่นำไปเติมระบบที่ใช้การหมักเชิงเดี่ยวด้วยมูลสุกรอย่างเดียว

4.1.1.3 ผักตบชวา ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย นำตัวอย่างจากคลองธรรมชาติใน อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี จากสภาพคลอง ณ วันที่เข้าเก็บตัวอย่างผักตบชวา มีลักษณะผักตบชวาหนาแน่นส่งผลต่อการใช้ประโยชน์คลองที่จะไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากปัญหาผักตบชวา และบางช่วงมีการตักผักตบชวาขึ้นกองไว้บริเวณริมคลองเพื่อรอการนำไปกำจัด การเก็บตัวอย่างผักตบชวาทำโดยการเก็บจากกอผักตบที่อยู่ในน้ำขึ้นมาแล้วตัดเอาส่วนรากและไหลผักออก เอามาเฉพาะส่วนที่เป็นก้านและใบ โดยนำมาใช้แบบคละขนาดจำนวน 14 ก้านใบ แล้วนำมาย่อยหยาบโดยการหั่นเป็นชิ้นชิ้นละประมาณ 1 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.4 นำตัวอย่างผักตบชวาที่ได้ใส่ถุงพลาสติกแช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0-2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของโคลนที่นำมาใช้เป็นเชื้อจุลชีพตั้งต้น โดยกรรมวิธีอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103-105°C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของผักตบชวามีค่าเท่ากับ 48 กรัมต่อกิโลกรัม และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้โดยวิธีการ อบให้สารระเหยไปได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ของมูลสุกรเท่ากับ 9 กรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.4 ลักษณะผักตบชวาที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.1 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก

รายการวิเคราะห์	ผักตบชวา (g/Kg)	มูลสุกร (g/Kg)	โคลนบ่อล้น (g/Kg)
Total Solids	48	344	147
Volatile Solids	9	108	503

จากการวิเคราะห์พบว่าวัตถุดิบหมักที่มีค่าน้ำหนักแห้งสูงที่สุดคือ มูลสุกร มีค่าเท่ากับ 344 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ โคลนบ่อล้น (หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น) มีค่าเท่ากับ 147 กรัมต่อกิโลกรัม และที่มีค่าต่ำสุดคือ ผักคบชวา มีค่าเท่ากับ 48 กรัมต่อกิโลกรัม และค่าสารระเหยง่ายสูงสุดคือ โคลนบ่อล้น มีค่า 503 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ มูลสุกร มีค่า 108 กรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุดคือ ผักตบชวา มีค่า 9 กรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 4.1

4.1.2 ค่าน้ำหนักของวัตถุดิบหมักเมื่อใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยผู้ศึกษาควบคุมตัวแปรให้มีค่าเท่ากันในทุกอัตราส่วนร้อยละของวัตถุดิบหมัก คือ ค่าของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมัก ดังนี้ มูลสุกรรวมกับผักตบชวา ค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 2 กรัม และหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) เท่ากับ 3 กรัม ดังนั้นสามารถหาอัตราส่วนการหมักของวัตถุดิบหมักแสดงการคำนวณได้ตามภาคผนวก ข สรุปในดังตารางที่ 4.2

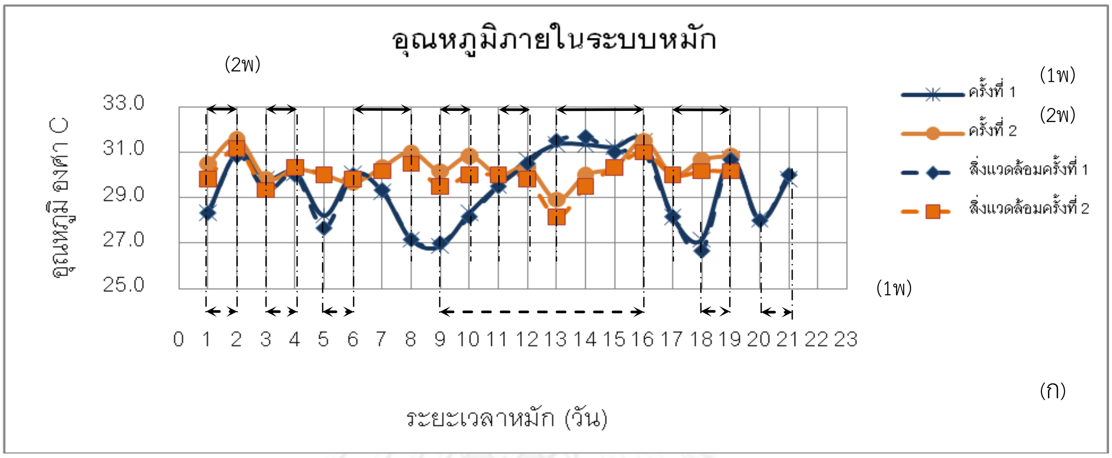
ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนหมักของวัตถุดิบหมักโดยน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์

อัตราส่วนหมัก (มูลต่อผัก) (ร้อยละ)	**อัตราส่วนหมัก(ของเสียฟาร์มสุกรต่อผัก) (ร้อยละ)**	**น้ำหนักวัตถุดิบหมัก มูลต่อผัก (กรัม)**	**น้ำหนักวัตถุดิบหมัก ของเสียฟาร์มสุกรต่อผัก (กรัม)**
100 : 0	100 : 0	5.8 : 0	26.2 : 0
75 : 25	90 : 10	4.4 : 10.4	24.8 : 10.4
50 : 50	80 : 20	2.9 : 20.8	23.3 : 20.8
25 : 75	70 : 30	1.5 : 31.3	21.9 : 31.3
0 : 100	60 : 40	0 : 41.7	20.4 : 41.7

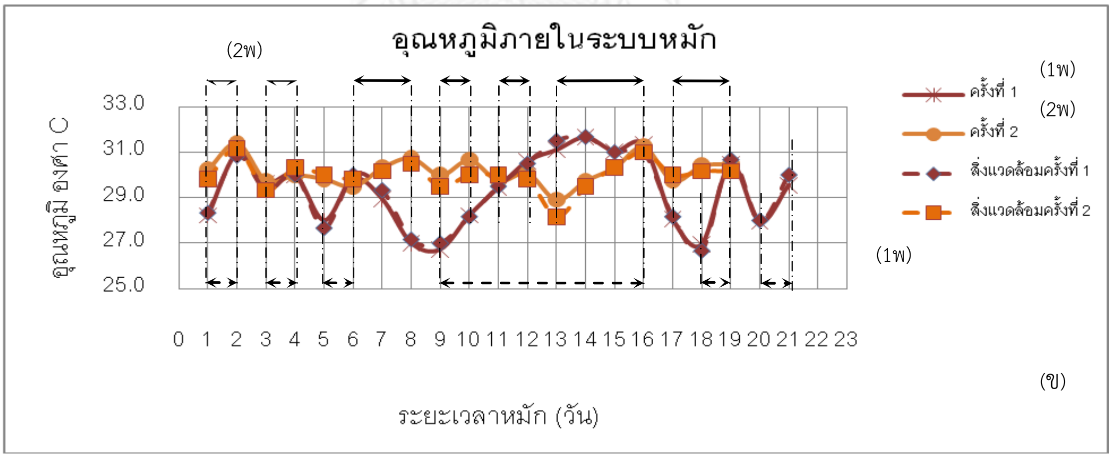
จากวิธีการศึกษาทดลอง หากพิจารณาอัตราส่วนการหมักโดย พิจารณาวัตถุดิบหมัก มูลสุกรและโคลนบ่อล้นรวมกันเป็น ของเสียฟาร์มสุกร จากลักษะฟาร์มตัวอย่างที่นำวัตถุดิบมาใช้ในการทดลอง ซึ่งมีลักษณะการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักมูลสุกรอย่างเดียวในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ แล้วพิจารณาในลักษณะการเติมผักตบชวาร่วมเข้าในระบบ เป็นการหมักผสมระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกรกับ ผักตบชวา ดังตารางที่ 4.2

4.1.3 อุณหภูมิระหว่างการทดลอง

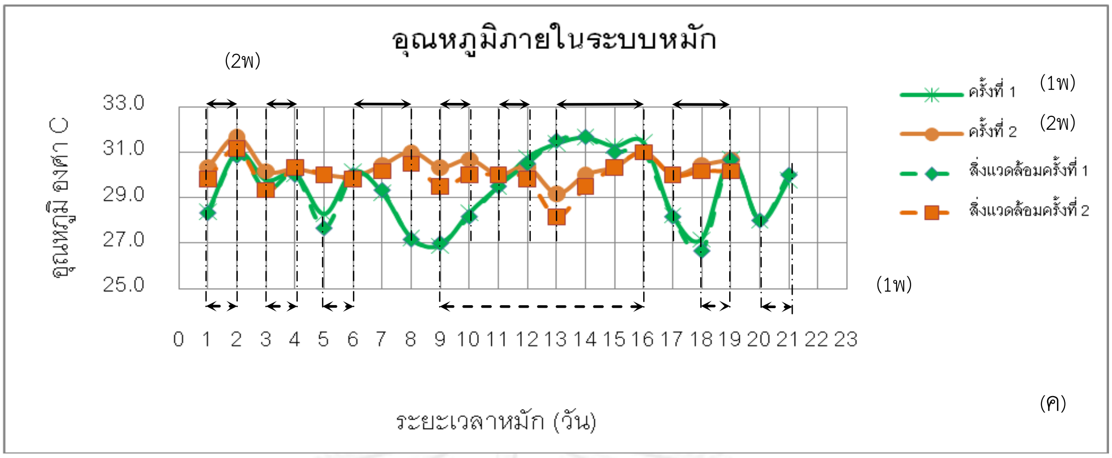
การศึกษานี้เป็นการทดลองหมักวัตถุดิบหมักร่วมที่อุณหภูมิห้อง โดยจะวัดอุณหภูมิระหว่างการทดลองสองส่วนคือ อุณหภูมิภายในระบบหมัก และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกระบบหมัก แสดงดังรูปที่ 4.5 (ก – จ)



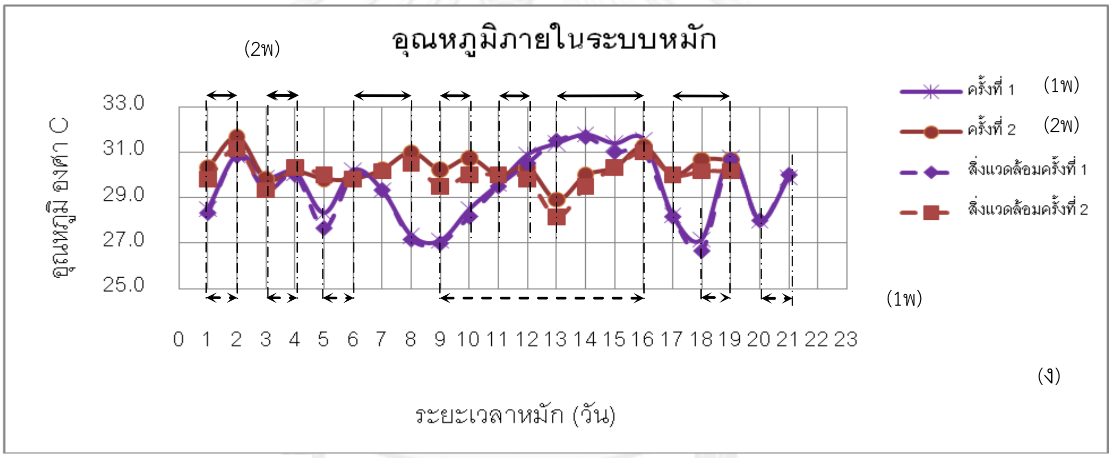
1พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 1 *ก. อัตราส่วน 100:0* 2พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 2



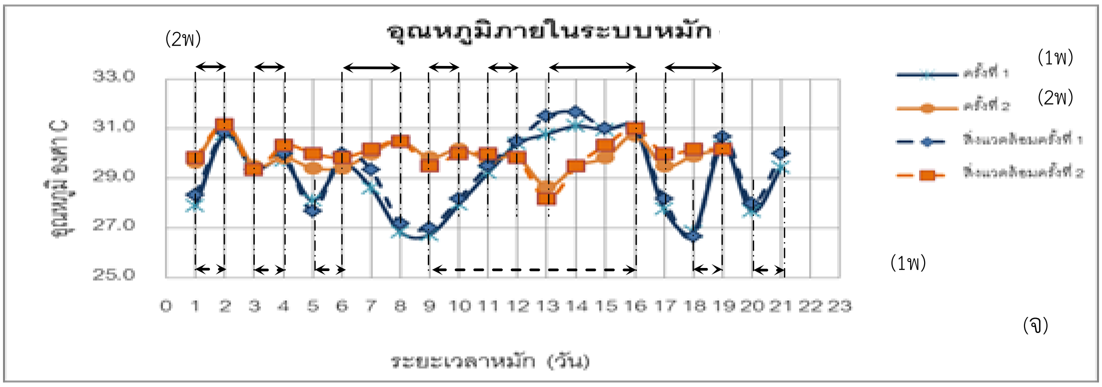
1พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 1 *ข. อัตราส่วน 90:10* 2พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 2



1พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 1 *ค. อัตราส่วน 80:20* 2พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 2



1พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 1 *ง. อัตราส่วน 70:30* 2พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 2



1พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 1 *จ. อัตราส่วน 60:40* 2พ : เพิ่มในการทดลองครั้งที่ 2

รูปที 4.5 อุณหภูมิระหว่างการทดลอง แต่ละอัตราส่วน

จากรูปที่ 4.5 เป็นค่าอุณหภูมิที่บันทึกระหว่างการทดลอง พบว่าทุกอัตราส่วนการหมัก (ก) - (จ) อุณหภูมิภายในขวดหมักมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เป็นเช่นเดียวกันนี้ในการทดลองทั้งสองครั้ง และหากดูในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้น (อุณหภูมิเพิ่ม : พ) สามารถแบ่งได้ดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 อุณหภูมิเพิ่ม (1พ) วันที่ 1-2 , 3-4 , 5-6 , 9-16 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 อุณหภูมิเพิ่ม (2พ) วันที่ 1-2 , 3-4 , 6-8 , 9-10 , 11-12 , 13-16 และ 17-19 ของการทดลอง ช่วงวันที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเหมือนกันของทั้งสองครั้งการทดลอง คือ วันที่ 1-2 , 3-4 , 9-10 , 11-12 , 13-16 และ 18-19 ของการทดลอง เพื่อใช้เป็นช่วงในการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการทดลองทั้งสองครั้งซึ่งก๊าซชีวภาพจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งจากการทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วน (ก) 100:0 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 16 ของการทดลอง ที่ 31.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 9 ของการทดลอง ที่ 26.9 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (ข) 90:10 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 14 ของการทดลอง ที่ 31.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 9 ของการทดลอง ที่ 26.7 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (ค) 80:20 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 14 ของการทดลอง ที่ 31.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 9 ของการทดลอง ที่ 26.9 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (ง) 70:30 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 14 ของการทดลอง ที่ 31.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 9 ของการทดลอง ที่ 27.1 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (จ) 60:40 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 15 และ 17 ของการทดลอง ที่ 31.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 9 ของการทดลอง ที่ 26.7 องศาเซลเซียส และ จากการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วน (ก) 100:0 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 2 ของการทดลอง ที่ 31.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 13 ของการทดลอง ที่ 28.9 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (ข) 90:10 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 2 ของการทดลอง ที่ 31.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 13 ของการทดลอง ที่ 28.9 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (ค) 80:20 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 2 ของการทดลอง ที่ 31.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 13 ของการทดลอง ที่ 29.2 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (ง) 70:30 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 2 ของการทดลอง ที่ 31.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 13 ของการทดลอง ที่ 28.9 องศาเซลเซียส, อัตราส่วน (จ) 60:40 อุณหภูมิสูงสุดที่ วันที่ 2 ของการทดลอง ที่ 31.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ วันที่ 13 ของการทดลอง ที่ 28.7 องศาเซลเซียส

ดังนั้นช่วงอุณหภูมิระหว่างการทดลอง ของการทดลองครั้งที่ 1 ดังนี้

อัตราส่วน (ก) 100:0 ที่ 26.9 – 31.5 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ข) 90:10 ที่ 26.7 – 31.7 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ค) 80:20 ที่ 26.9 – 31.7 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ง) 70:30 ที่ 27.1 – 31.8 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (จ) 60:40 ที่ 26.7 – 31.1 องศาเซลเซียส

การทดลองครั้งที่ 2 ดังนี้

อัตราส่วน (ก) 100:0 ที่ 28.9 – 31.6 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ข) 90:10 ที่ 28.9 – 31.4 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ค) 80:20 ที่ 29.2 – 31.7 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (ง) 70:30 ที่ 28.9 – 31.7 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน (จ) 60:40 ที่ 28.7 – 31.2 องศาเซลเซียส

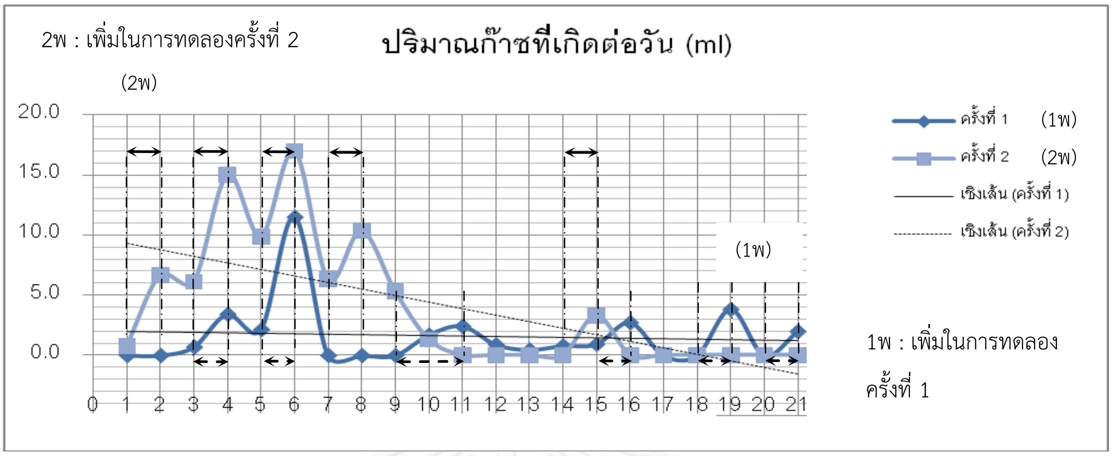
ช่วงอุณหภูมิระหว่างการทดลองดังกล่าวเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ ช่วง Mesophilic เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย

4.1.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักของเสียฟาร์ม:ผักตบชวา ต่อวัน

เป็นการเก็บผลปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมิลลิลิตรต่อวัน เก็บโดยการวัดปริมาณน้ำในบีกเกอร์ที่ได้จากการแทนที่น้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากขวดหมักเข้าแทนที่น้ำในขวดเก็บก๊าซชีวภาพ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 – 4.10 การเก็บผลจะทำหลังจากเติมวัตถุดิบหมักแล้วสามวันเพื่อให้แบคทีเรียปรับตัวเข้ากับวัตถุดิบหมักที่ใช้ทดลองได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

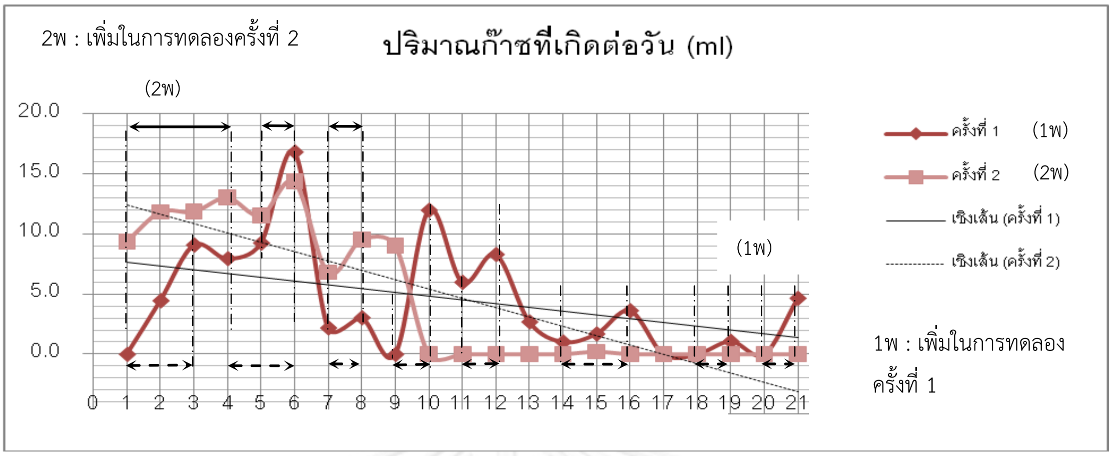
4.1.4.1 อัตราส่วนการหมัก 100 : 0



รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 100 : 0

จากรูปที่ 4.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะไม่คงที่หรือมีลักษณะการเกิดไม่เท่ากันทุกวัน ตลอดการทดลอง โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีลักษณะเพิ่มที่สูงขึ้น (พ) และลดต่ำลง เมื่อเทียบกับปริมาณการเกิดก๊าซในวันที่บันทึกผลครั้งที่ผ่านมา การทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (1พ) ในวันที่ 3-4 , 5-6 , 9-11 , 15-16 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (2พ) วันที่ 1-2 , 3-4 , 5-6 , 7-8 และ 14-15 ของการทดลอง และจากการทดลองจะเห็นว่าการทดลองทั้งสองครั้งจะมีปริมาณก๊าซเกิดสูงในช่วง 1 ถึง 10 วันแรกของการทดลอง ค่าปริมาณการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลง หลังจากวันที่ 6 ของการทดลอง เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียวซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบเมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์เพื่อเป็นอาหารของแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วน 100:0 สูงสุด วันที่ 6 ของการทดลอง ที่ 11.5 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วน 100:0 สูงสุด วันที่ 6 ของการทดลอง ที่ 17.0 มิลลิลิตร

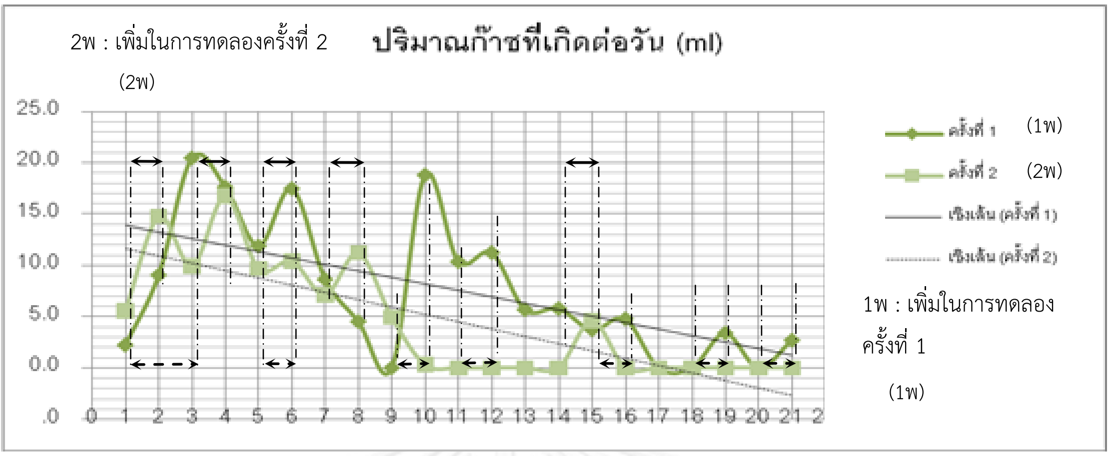
4.1.4.2 อัตราส่วนการหมัก 90:10



รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 90:10

จากรูปที่ 4.7 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะไม่คงที่หรือมีลักษณะการเกิดไม่เท่ากันทุกวัน ตลอดการทดลอง โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีลักษณะเพิ่มที่สูงขึ้น (พ) และลดต่ำลง เมื่อเทียบกับปริมาณการเกิดก๊าซในวันที่บันทึกผลครั้งที่ผ่านมา การทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (1พ) ในวันที่ 1-3 , 4-6 , 7-8 , 9-10 , 11-12 , 14-16 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (2พ) วันที่ 1-4 , 5-6 และ 7-8 ของการทดลอง และจากการทดลองจะเห็นว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซจะเกิดขึ้นตลอดช่วงการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซเกิดสูงในช่วง 1 ถึง 10 วันแรกของการทดลอง ทั้งสองครั้งการทดลองปริมาณการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนวันในการหมักเพิ่มขึ้นเนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียวซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบเมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์เพื่อเป็นอาหารของแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วน 90:10 สูงสุด วันที่ 6 ของการทดลอง ที่ 16.8 มิลลิลิตร และ การทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วน 90:10 สูงสุด วันที่ 6 ของการทดลอง ที่ 14.4 มิลลิลิตร

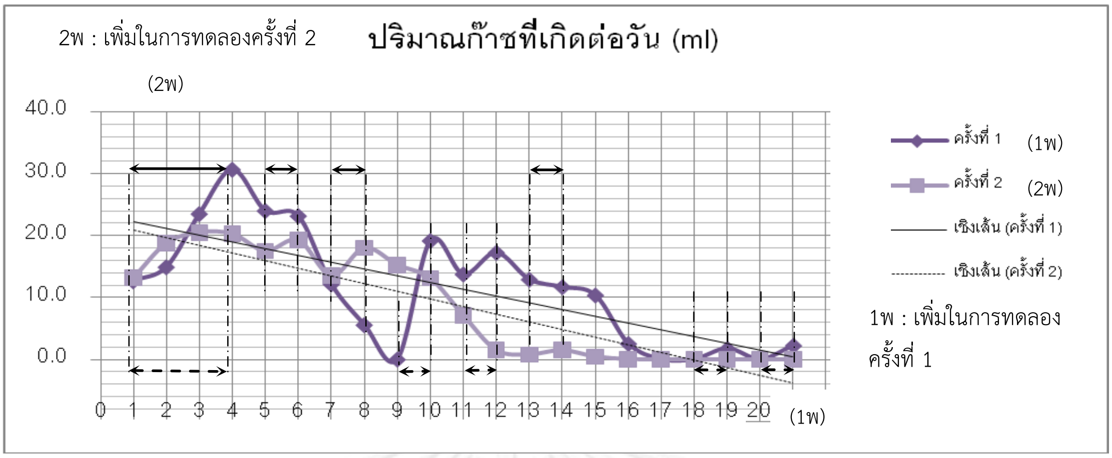
4.1.4.3 อัตราส่วนการหมัก 80:20



รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 80:20

จากรูปที่ 4.8 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะไม่คงที่หรือมีลักษณะการเกิดไม่เท่ากันทุกวัน ตลอดการทดลอง โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีลักษณะเพิ่มที่สูงขึ้น (พ) และลดต่ำลง เมื่อเทียบกับปริมาณการเกิดก๊าซในวันที่บันทึกผลครั้งที่ผ่านมา การทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (1พ) ในวันที่ 1-3 , 5-6 , 9-10 , 11-12 , 15-16 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (2พ) วันที่ 1-2 , 3-4 , 5-6 , 7-8 และ 14-15 ของการทดลอง และจากการทดลองจะเห็นว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซจะเกิดขึ้นตลอดช่วงการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซเกิดสูงในช่วง 1 ถึง 10 วันแรกของการทดลอง ทั้งสองครั้งการทดลองปริมาณการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนวันในการหมักเพิ่มขึ้นเนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียวซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบเมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์เพื่อเป็นอาหารของแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วน 80:20 สูงสุด วันที่ 3 ของการทดลอง ที่ 20.5 มิลลิลิตร และ การทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วน 80:20 สูงสุด วันที่ 4 ของการทดลอง ที่ 16.8 มิลลิลิตร

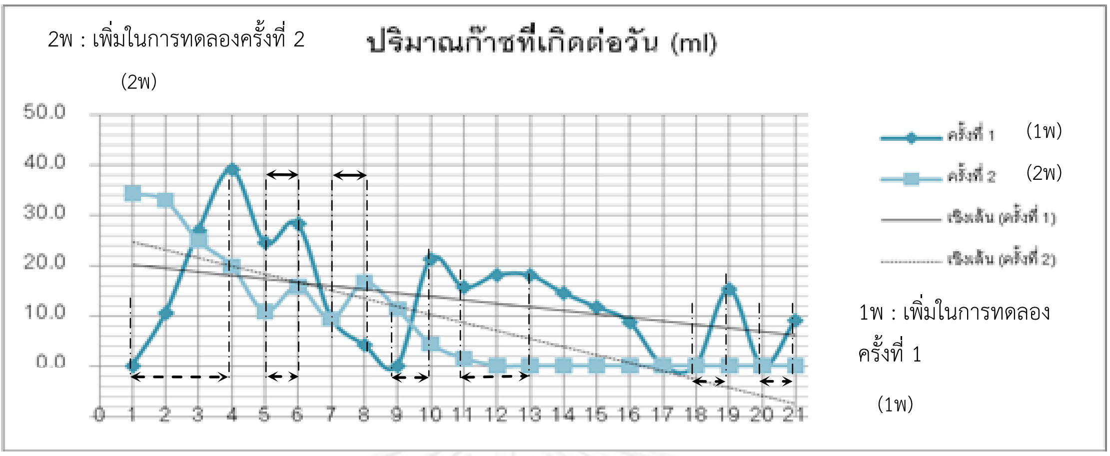
4.1.4.4 อัตราส่วนการหมัก 70:30



รูปที่ 4.9 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 70:30

จากรูปที่ 4.9 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะไม่คงที่หรือมีลักษณะการเกิดไม่เท่ากันทุกวัน ตลอดการทดลอง โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีลักษณะเพิ่มที่สูงขึ้น (พ) และลดต่ำลง เมื่อเทียบกับปริมาณการเกิดก๊าซในวันที่บันทึกผลครั้งที่ผ่านมา การทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (1พ) ในวันที่ 1-4 , 9-10 , 11-12 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (2พ) วันที่ 1-4 , 5-6 , 7-8 และ 13-14 ของการทดลอง และจากการทดลองจะเห็นว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซจะเกิดขึ้นตลอดช่วงการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซเกิดสูงในช่วง 1 ถึง 12 วันแรกของการทดลอง ทั้งสองครั้งการทดลองปริมาณการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนวันในการหมักเพิ่มขึ้นเนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียวซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบเมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์เพื่อเป็นอาหารของแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วน 70:30 สูงสุด วันที่ 4 ของการทดลอง ที่ 30.7 มิลลิลิตร และ การทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วน 70:30 สูงสุด วันที่ 3 ของการทดลอง ที่ 20.5 มิลลิลิตร

4.1.4.5 อัตราส่วนการหมัก 60:40



รูปที่ 4.10 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน อัตราส่วน 60:40

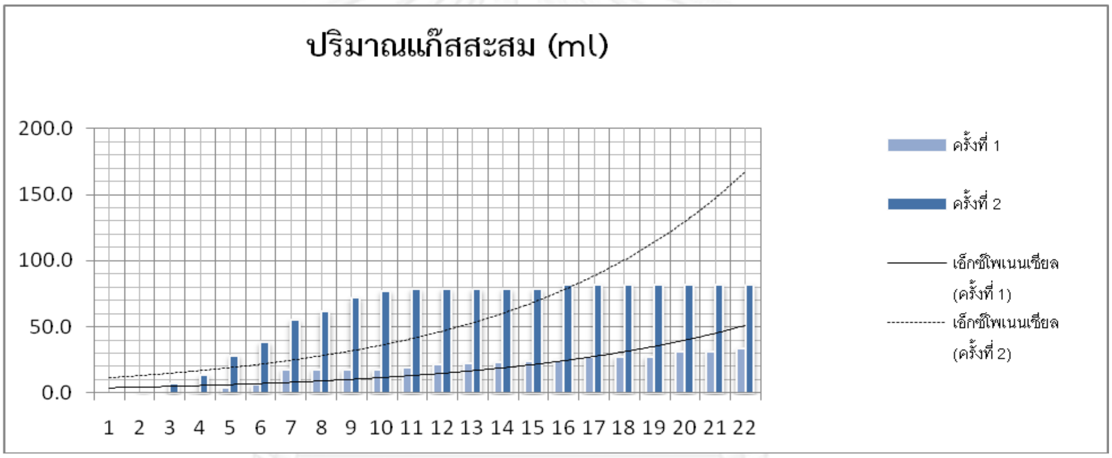
จากรูปที่ 4.10 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะไม่คงที่หรือมีลักษณะการเกิดไม่เท่ากันทุกวัน ตลอดการทดลอง โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีลักษณะเพิ่มที่สูงขึ้น (พ) และลดต่ำลง เมื่อเทียบกับปริมาณการเกิดก๊าซในวันที่บันทึกผลครั้งที่ผ่านมา การทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (1พ) ในวันที่ 1-4 , 5-6 , 9-10 , 11-13 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซที่เกิดเพิ่มมากขึ้น (2พ) วันที่ 5-6 และ 7-8 ของการทดลอง และจากการทดลองจะเห็นว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซจะเกิดขึ้นตลอดช่วงการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 มีปริมาณก๊าซที่เกิดในช่วงวันแรกของการทดลองสูงทำให้ปริมาณการเกิดก๊าซตลอดการทดลองมีค่าต่ำเมื่อนำไปเทียบกับการเกิดในวันแรก แต่ทั้งนี้การทดลองทั้งสองครั้งการทดลองปริมาณการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนวันในการหมักเพิ่มขึ้นเนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียวซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบเมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์เพื่อเป็นอาหารของแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วน 60:40 สูงสุด วันที่ 4 ของการทดลอง ที่ 39.2 มิลลิลิตร และ การทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วน 60:40 สูงสุด วันที่ 1 ของการทดลอง ที่ 34.4 มิลลิลิตร

จากผลการทดลองปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันสูงและมีระยะเวลาการเกิดยาวก๊าซยาวนานที่สุดคือ อัตราส่วน 60:40 รองลงมาคือ อัตราส่วน 70:30 และอัตราส่วนที่มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันน้อยและช่วงเวลาการเกิดสั้นคือ อัตราส่วน 100:0

4.1.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการหมักของเสียฟาร์มสุกร:ผักตบชวา

การทดลองศึกษาการหมักร่วมระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกร กับ ผักตบชวา ในอัตราส่วนที่กำหนดทั้ง 5 อัตราส่วน ทำการทดลองทั้งสิ้นจำนวน 2 ครั้ง เหมือนกันโดยการควบคุมน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักให้มีค่าเท่ากัน ตัวอย่างเก็บจากแหล่งเก็บตัวอย่างเดียวกัน โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพของแต่ละวันจะมีลักษณะลดลงตลอดทุกวัน ทุกอัตราส่วน มีลักษณะเช่นเดียวกันทั้งสองครั้งการทดลอง เมื่อรวมปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดในแต่ละวันจะได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมแสดงดังรูปที่ 4.11 – 4.15

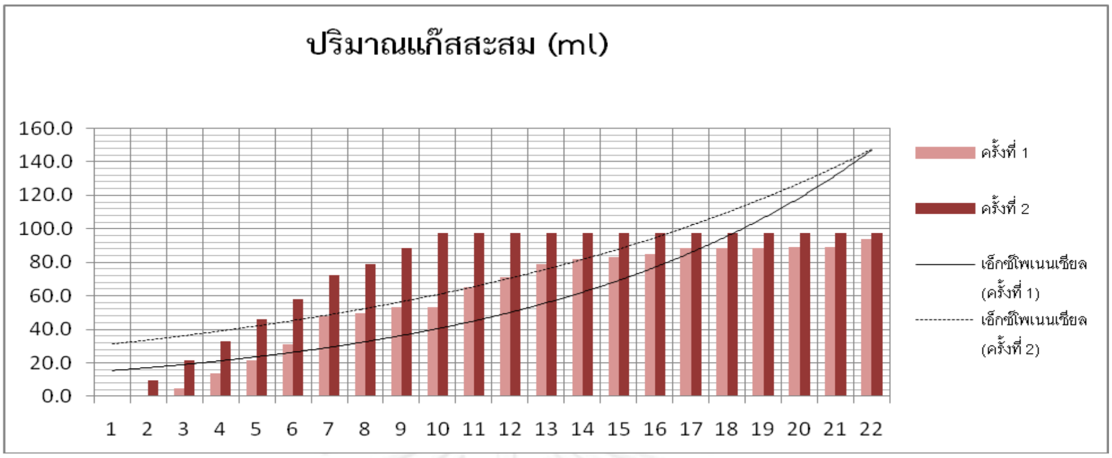
4.1.5.1 อัตราส่วนการหมัก 100 : 0



รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 100 : 0

จากรูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนการหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละไม่มากแต่จะเพิ่มตลอดการเก็บผลการทดลองได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 33.6 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการทดลองครั้งที่ 1 และได้ปริมาณก๊าซสูงกว่า แต่ช่วงที่มีการเกิดก๊าซจะสั้นกว่าโดยได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 81.9 มิลลิลิตร

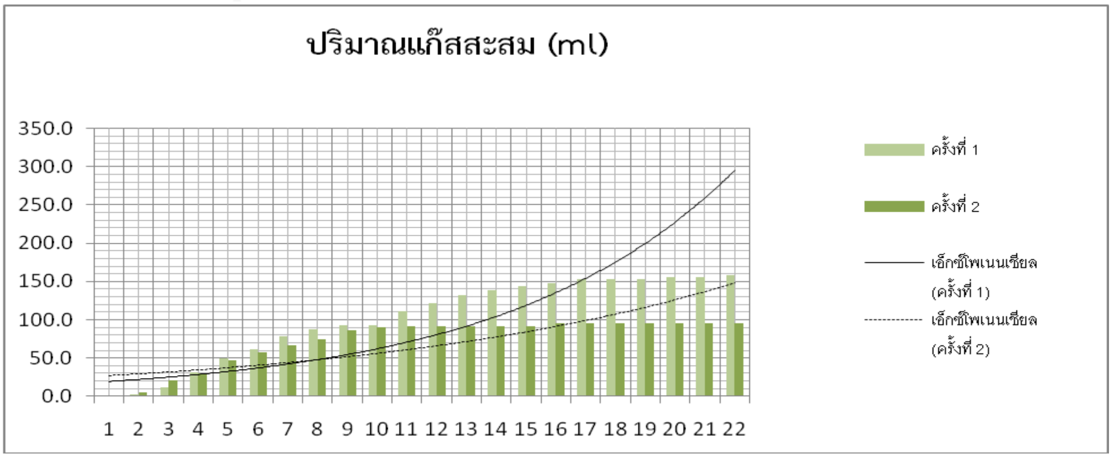
4.1.5.2 อัตราส่วนการหมัก 90:10



รูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 90:10

จากรูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาณสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนการหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละไม่มากแต่จะเพิ่มตลอดการเก็บผลการทดลองได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 94.0 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการทดลองครั้งที่ 1 และได้ปริมาณก๊าซสูงกว่า แต่ช่วงที่มีการเกิดก๊าซจะสั้นกว่าโดยได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 97.7 มิลลิลิตร

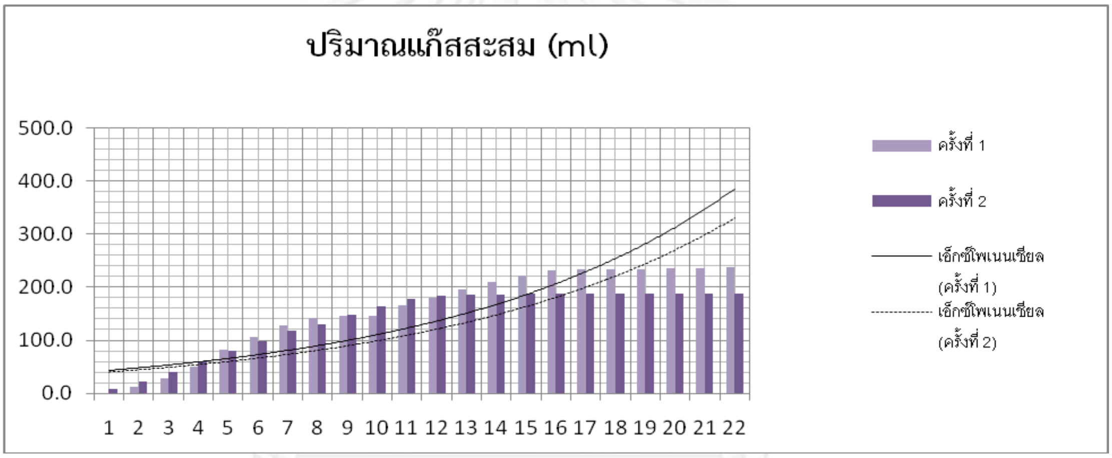
4.1.5.3 อัตราส่วนการหมัก 80:20



รูปที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 80:20

จากรูปที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาณสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนการหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ละไม่มากแต่จะเพิ่มตลอดการเก็บผลการทดลองได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 158.8 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณการเกิดสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 2 ตลอดการทดลอง โดยการทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเป็นช่วงที่มีการเกิดก๊าซสั้นกว่าโดยได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 95.5 มิลลิลิตร

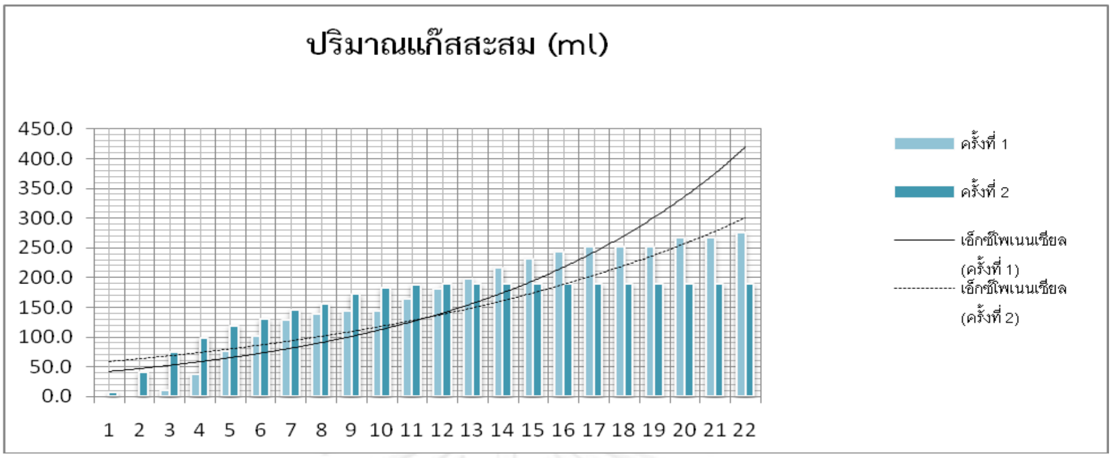
4.1.5.4 อัตราส่วนการหมัก 70:30



รูปที่ 4.14 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 70:30

จากรูปที่ 4.14 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาณสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนการหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ละไม่มากแต่จะเพิ่มตลอดการเก็บผลการทดลอง ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 238.3 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณการเกิดก๊าซสะสมสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยการทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเป็นช่วงที่มีการเกิดก๊าซสั้นกว่าโดยได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 188.6 มิลลิลิตร

4.1.5.5 อัตราส่วนการหมัก 60:40



รูปที่ 4.15 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม อัตราส่วน 60:40

จากรูปที่ 4.15 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาณสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนการหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ละไม่มากแต่จะเพิ่มตลอดการเก็บผลการทดลอง ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 276.5 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณการเกิดก๊าซสะสมสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยการทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซสะสมจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเป็นช่วงที่มีการเกิดก๊าซสั้นกว่าโดยได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองที่ 189.5 มิลลิลิตร ซึ่งในช่วง 12 วันแรกของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 จะมีลักษณะปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 1 แต่จากวันที่ 13 ของการทดลองปริมาณการเกิดก๊าซของการทดลองครั้งที่ 2 จะสิ้นสุด ทำให้ปริมาณก๊าซสะสมของการทดลองครั้งที่ 1 จนสิ้นสุดการทดลองสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 2

จากผลการทดลองปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลอง จากการเก็บบันทึกค่าการทดลองทั้งสองครั้ง อัตราส่วนที่ได้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด คือ 60:40 รองลงมา คือ 70:30 และอัตราส่วนที่ได้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมต่ำสุด คือ 100:0 เป็นเช่นนี้ในทุกอัตราส่วนการหมัก

4.1.6 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

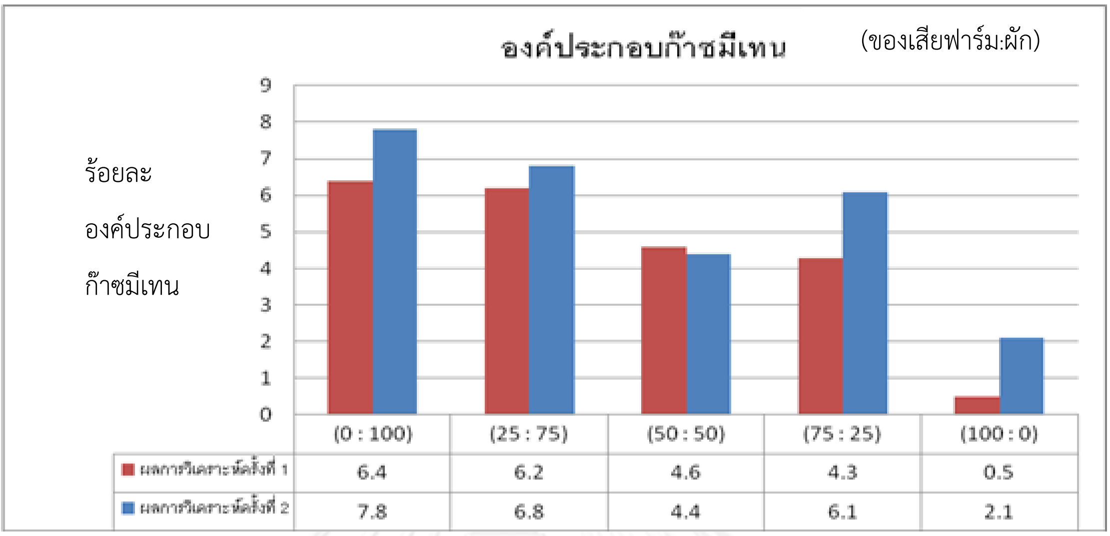
เมื่อเก็บก๊าซชีวภาพจากการทดลองใส่ถุงเก็บก๊าซแล้วจากนั้นจึงนำก๊าซชีวภาพที่ได้เข้าเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ Gas Chromatograph Shimadzu รุ่น GC-14B เพื่อหาองค์ประกอบของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลอง โดย การทดลองครั้งที่ 1 เก็บก๊าซชีวภาพในวันที่ 16 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 เก็บก๊าซชีวภาพในวันที่ 10 ของการทดลอง องค์ประกอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์)

อัตราส่วนหมัก (ของเสียฟาร์มสุกร : ผัก) %	การทดลองครั้งที่ 1			การทดลองครั้งที่ 2		
	CH_4 (%)	CO_2 (%)	ก๊าซอื่นๆ (%)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	ก๊าซอื่นๆ (%)
60 : 40	6.4	4.1	89.5	7.8	2.5	89.7
70 : 30	6.2	3.5	90.3	6.8	2.4	90.8
80 : 20	4.6	2.9	92.5	4.4	1.5	94.1
90 : 10	4.3	2.5	93.2	6.1	1.5	92.4
100 : 0	0.5	0.9	98.6	2.1	0.7	97.2

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนที่ให้ร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน (CH_4) สูงสุด คือ 60:40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.4 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง และต่ำสุด คือ 100:0 ค่าเท่ากับร้อยละ 0.5 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง การทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนที่ให้ร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน (CH_4) สูงสุด คือ 60:40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.8 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง และต่ำสุด คือ 100:0 ค่าเท่ากับร้อยละ 2.1 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง และ การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนที่ให้ร้อยละองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงสุด คือ 60:40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.1 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง และต่ำสุด คือ 100:0 ค่าเท่ากับร้อยละ 0.9 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง การทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนที่ให้ร้อยละองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงสุด คือ 60:40

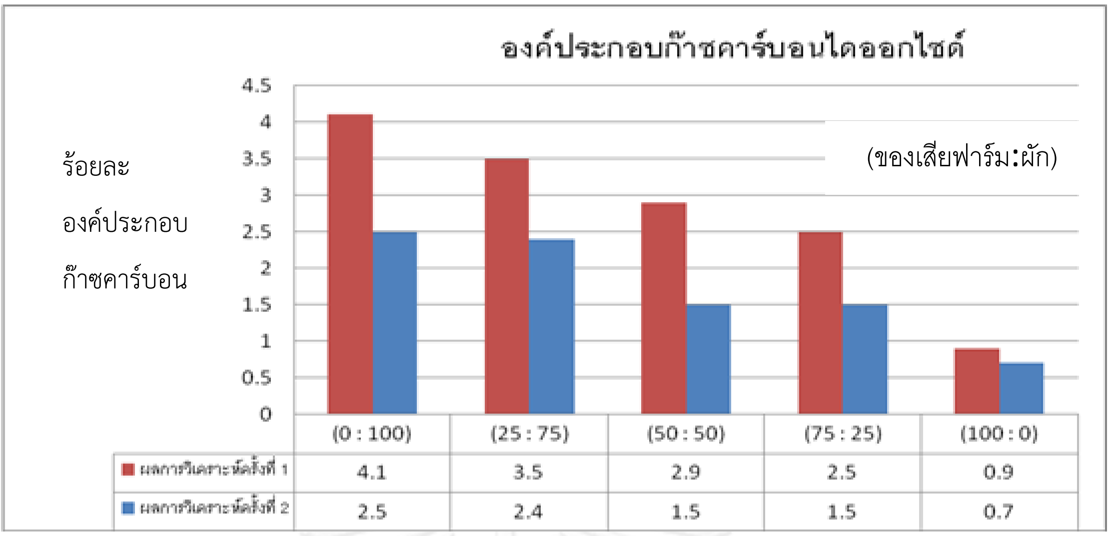
มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.5 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง และต่ำสุด คือ 100:0 ค่าเท่ากับร้อยละ 0.7 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ส่งตัวอย่าง



รูปที่ 4.16 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน (CH_4) จากการทดลองทั้งสองครั้ง

จากรูปที่ 4.16 พบว่าการทดลองครั้งที่ 1 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมของเสียฟาร์มสุกรขึ้นและลดสัดส่วนการผสมผักตบชวาลง เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ (60:40) , (70:30) , (80:20) , (90:10) และ (100:0) ตามลำดับ และ จากการทดลองครั้งที่ 2 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมของเสียฟาร์มสุกรขึ้นและลดสัดส่วนการผสมผักตบชวาลงในช่วงอัตราส่วน (60:40) , (70:30) และ (80:20) เรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ และมีค่าสูงขึ้นที่อัตราส่วน (90:10) และลดลงอีกครั้งเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมของเสียฟาร์มสุกรขึ้นและลดสัดส่วนการผสมผักตบชวาลงที่อัตราส่วน (100:0)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

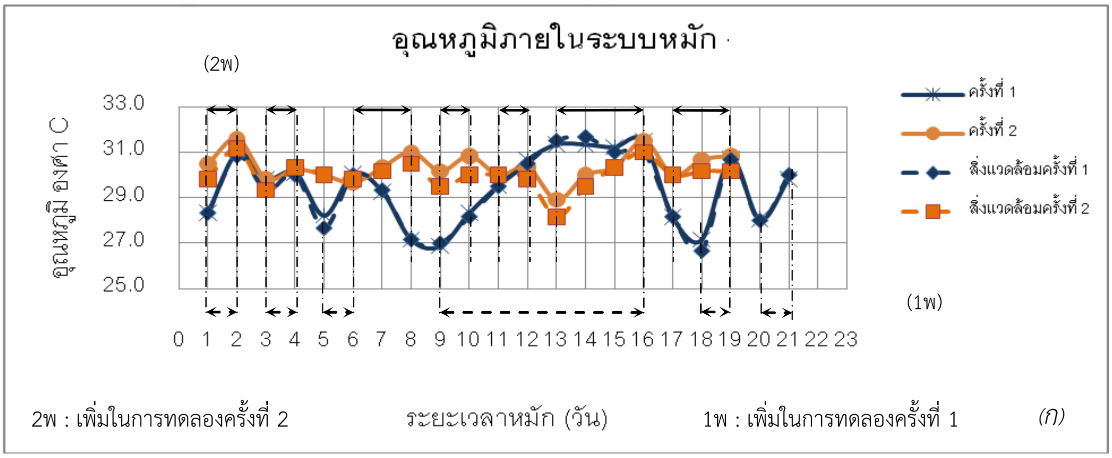


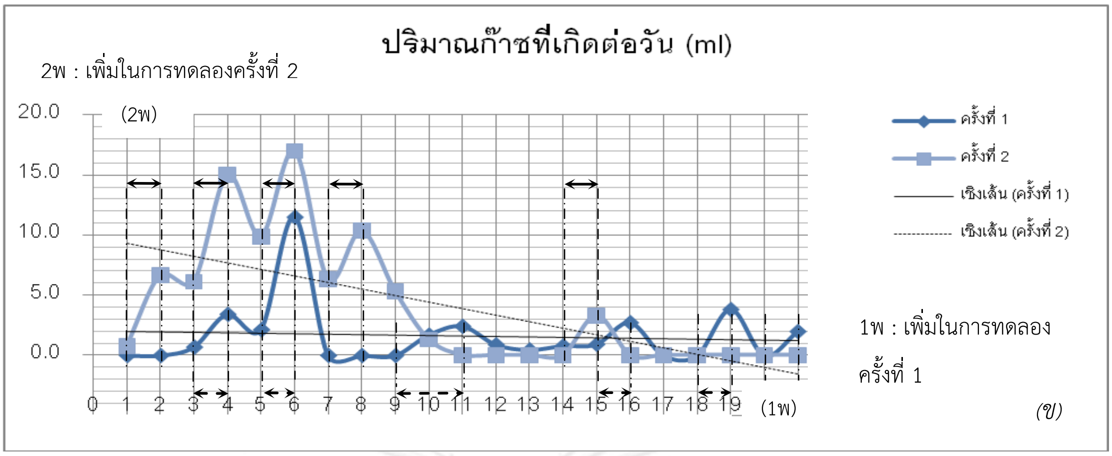
รูปที่ 4.17 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการทดลองทั้งสองครั้ง

จากรูปที่ 4.17 พบว่าการทดลองครั้งที่ 1 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมของเสียฟาร์มสุกรขึ้นและลดสัดส่วนการผสมผักตบชวาลง เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ (60:40) , (70:30) , (80:20) , (90:10) และ (100:0) ตามลำดับ และ จากการทดลองครั้งที่ 2 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมของเสียฟาร์มสุกรขึ้นและลดสัดส่วนการผสมผักตบชวาลง เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ (60:40) , (70:30) , (80:20) , (90:10) และ (100:0) ตามลำดับ

4.2 ผลการเปรียบเทียบ

4.2.1 เปรียบเทียบ อุณหภูมิกับปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ต่อวัน

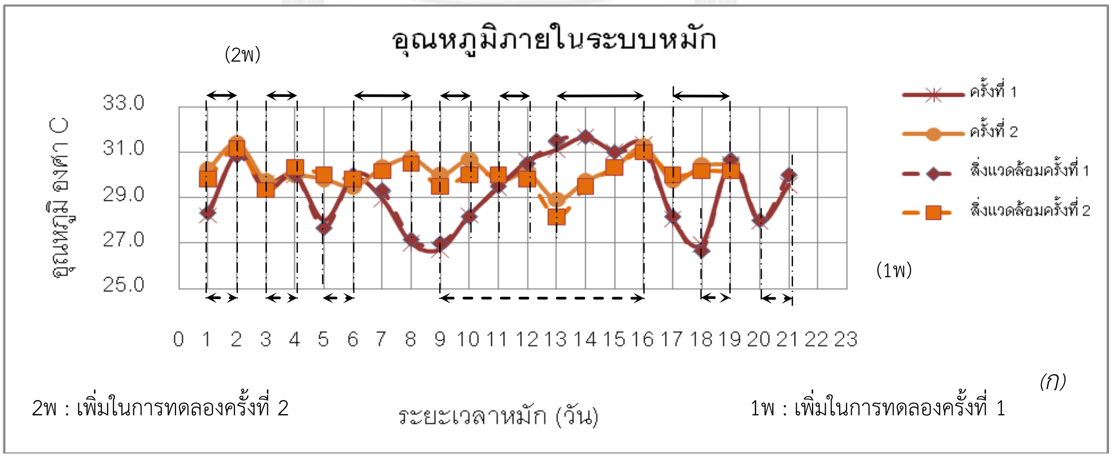


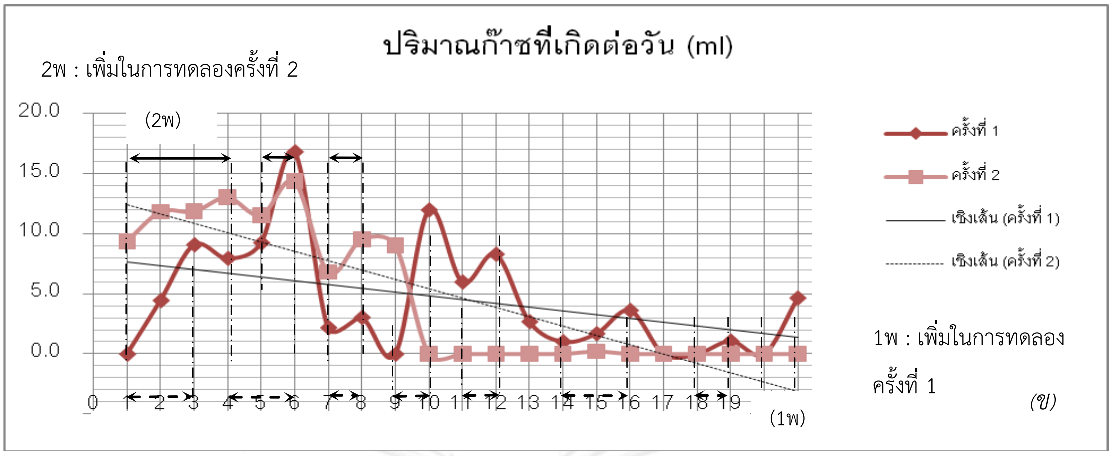


รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาณการเกิดก๊าซต่อวัน อัตราส่วน (100:0)

จากรูปที่ 4.18 ที่อัตราส่วนการหมักระหว่างของเสียฟาร์มสุกรต่อผักตบชวาร้อยละ 100:0 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 3-4 , 5-6 , 9-11 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 3-4 , 7-8 และ 14-15 ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งสองครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์ กับอุณหภูมิระหว่างการหมัก

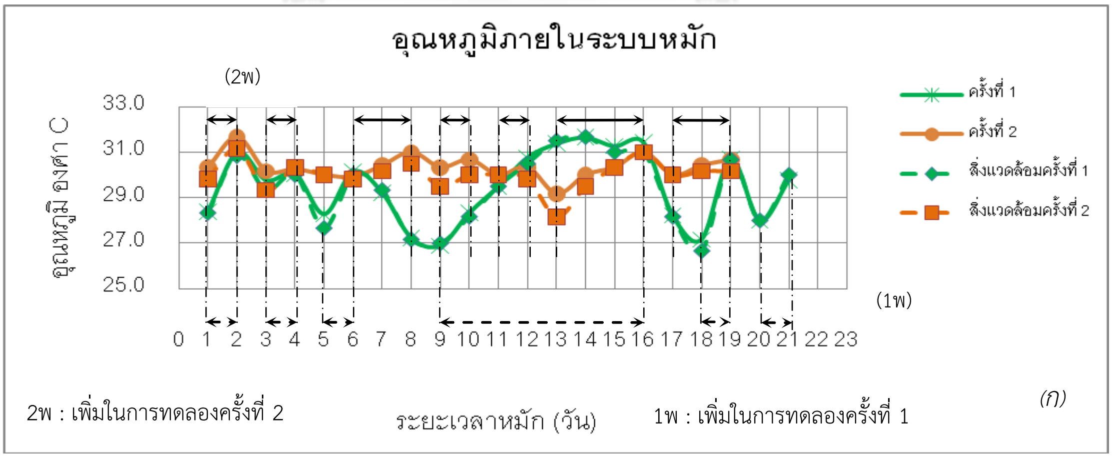


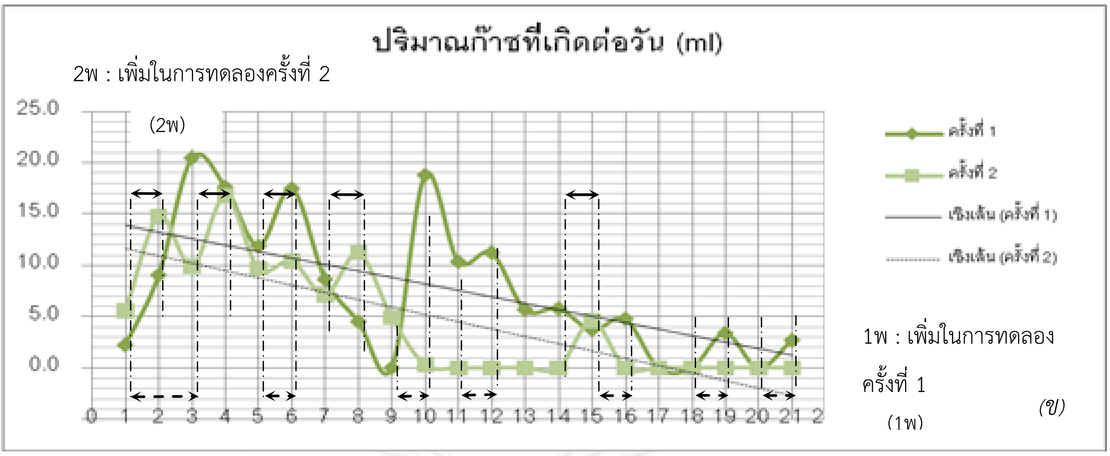


รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาณการเกิดก๊าซต่อวัน อัตราส่วน (90:10)

จากรูปที่ 4.19 ที่อัตราส่วนการหมักระหว่างของเสียฟาร์มสุกรต่อผักตบชวาร้อยละ 90:10 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 5-6 , 9-10 , 11-12 , 14-16 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 3-4 และ 7-8 ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งสองครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์ กับอุณหภูมิระหว่างการหมัก



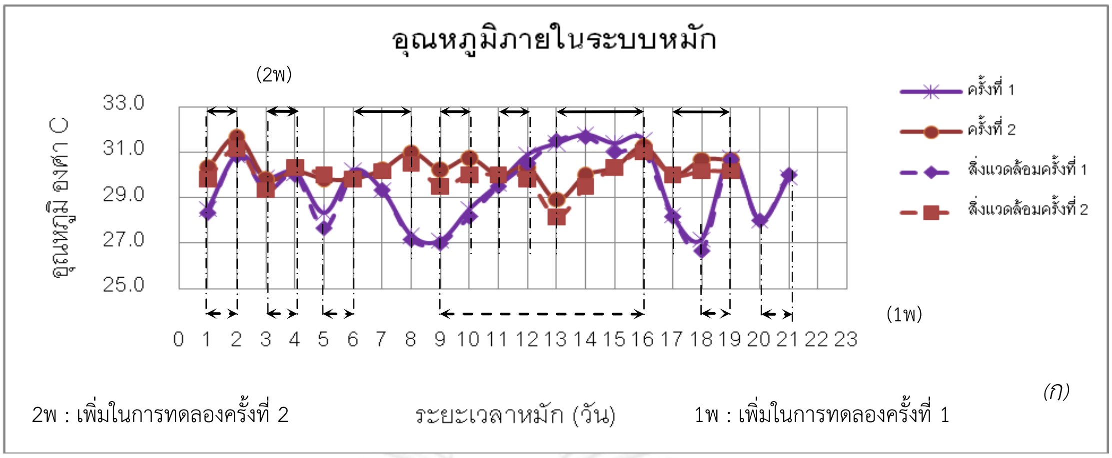


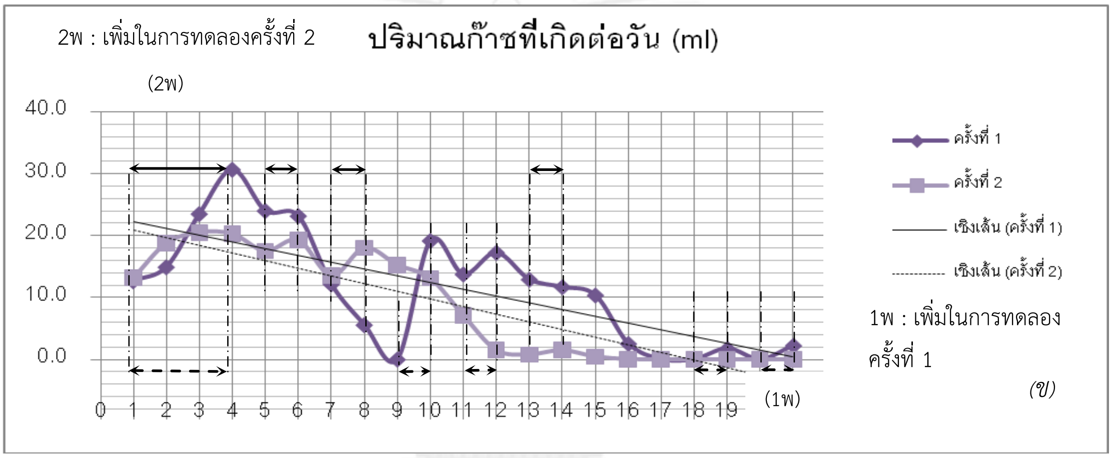
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาณการเกิดก๊าซต่อวัน อัตราส่วน (80:20)

จากรูปที่ 4.20 ที่อัตราส่วนการหมักระหว่างของเสียฟาร์มสุกรต่อผักตบชวาร้อยละ 80:20 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 5-6 , 9-10 , 11-12 , 15-16 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 3-4 , 7-8 และ 14-15 ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งสองครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์ กับอุณหภูมิระหว่างการหมัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

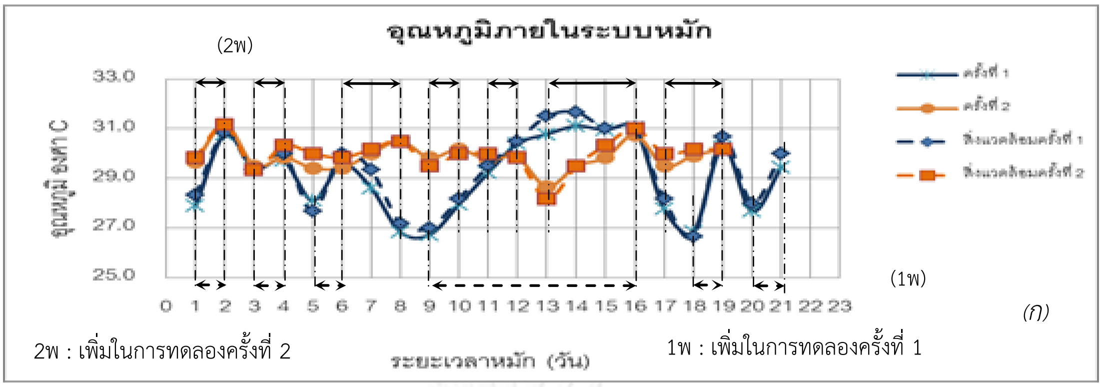


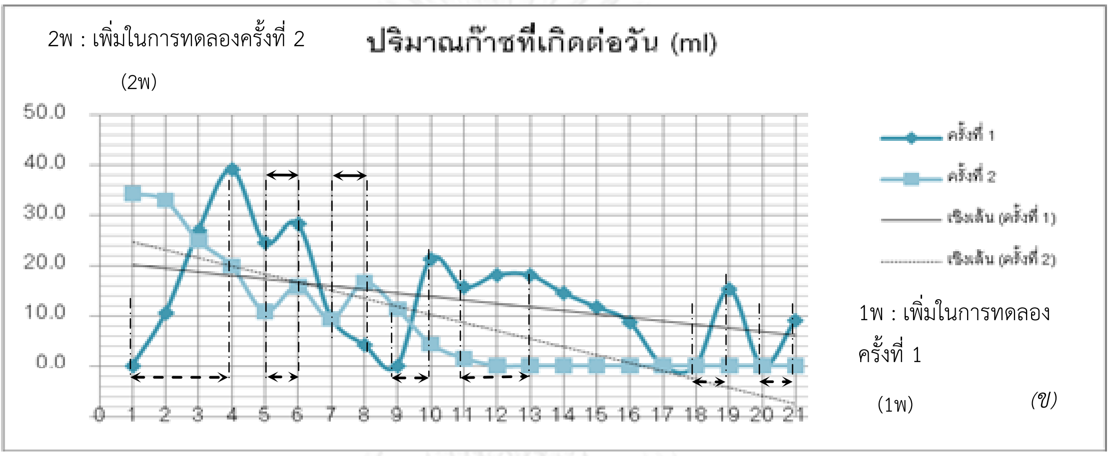


รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาณการเกิดก๊าซต่อวัน อัตราส่วน (70:30)

จากรูปที่ 4.21 ที่อัตราส่วนการหมักระหว่างของเสียฟาร์มสุกรต่อผักตบชวาร้อยละ 70:30 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 3-4 , 9-10 , 11-12 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง การทดลองครั้งที่ 2 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 3-4 , 7-8 และ 13-14 ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งสองครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์ กับอุณหภูมิระหว่างการหมัก





รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับ อุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาณการเกิดก๊าซต่อวัน อัตราส่วน (60:40)

จากรูปที่ 4.22 ที่อัตราส่วนการหมักระหว่างของเสียฟาร์มสุกรต่อผักตบชวาร้อยละ 60:40 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 1-2 , 3-4 , 5-6 , 9-10 , 11-13 , 18-19 และ 20-21 ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งสองครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์ กับอุณหภูมิระหว่างการหมัก การทดลองครั้งที่ 2 ช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ วันที่ 7-8 ของการทดลอง ซึ่งในอัตราส่วนนี้ การทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะสูงตั้งแต่วันแรกของการทดลอง ในวันต่อๆมาระบบยังคงเกิดก๊าซชีวภาพอยู่แต่มีปริมาณการเกิดลดลงจากวันแรก ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองได้ทิ้งระบบให้เข้าสู่สภาวะเหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียก่อนการเก็บผลเป็นเวลาสามวัน

4.2.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน เทียบกับปริมาณสารระเหยง่าย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซตารางที่ 4.3 สามารถหาค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสะสมได้ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสะสมกับค่าสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมักตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลวิเคราะห์		
		มูลสุกร	ผักตบชวา	โคลนบ่อล้น
สารระเหยง่าย (VS)	g/kg	108	9	503

จากตารางที่ 4.4 คำนวณค่าสารระเหยง่ายในแต่ละอัตราส่วนการหมักต่างๆ คือ มูลสุกร , ผักตบชวา และโคลนบ่อล้น รวมกัน ค่าเป็นกรัมต่อกิโลกรัม และ คิดจากน้ำหนักของวัตถุดิบหมักรวม ค่าสารระเหยง่ายเป็นกิโลกรัม ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมักรวม (มูลสุกร , ผักตบชวา และ โคลนบ่อล้น)

อัตราส่วนหมัก (ของเสียฟาร์มสุกร:ผักตบชวา)	สารระเหยง่าย (g/kg)	สารระเหยง่าย (kg)
60 : 40	512.0	0.032
70 : 30	536.8	0.029
80 : 20	561.5	0.025
90 : 10	586.3	0.021
100 : 0	611.0	0.016

สามารถแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม (ลิตร) ของแต่ละอัตราส่วน กับค่าสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมักของแต่ละอัตราส่วนหมัก (กิโลกรัมสารระเหยง่าย) และเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสะสม (ลิตรก๊าซมีเทน) กับค่าสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมักในแต่ละอัตราส่วนหมัก (กิโลกรัมสารระเหยง่าย) จากการทดลองทั้งสองครั้งได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม (ลิตร) เทียบกับค่าสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก (กิโลกรัม) และปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน (ลิตร) เทียบกับค่าสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก (กิโลกรัม)

อัตราส่วนหมัก (ของเสียฟาร์มสุกร:ผัก)	การทดลองครั้งที่ 1		การทดลองครั้งที่ 2	
	L(biogas)/kgVS	L(CH4)/kgVS	L(biogas)/kgVS	L(CH4)/kgVS
60 : 40	8.70	0.557	5.96	0.465
70 : 30	8.35	0.517	6.60	0.449
80 : 20	6.41	0.295	3.86	0.170
90 : 10	4.56	0.196	4.73	0.289
100 : 0	2.10	0.010	5.12	0.107

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม (ลิตร) และ ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน (ลิตร) เทียบกับ ปริมาณสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก (กิโลกรัม) จะเห็นว่าอัตราส่วนผสมการหมักระหว่าง ของเสียฟาร์มสุกรต่อผัก 70:30 มีผลรวมค่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม(ลิตร) เทียบกับ ปริมาณสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก (กิโลกรัม) สูงสุด เท่ากับ 14.95 L(biogas)/kgVS และรองลงมาคือ อัตราส่วน 60:40 เท่ากับ 14.66 L(biogas)/kgVS และปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน (ลิตร) เทียบกับ ปริมาณสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก (กิโลกรัม) สูงสุดรวมจากการทดลองทั้งสองครั้ง ที่อัตราส่วน 60:40 เท่ากับ 1.02 L(CH4)/kgVS และรองลงมาคือ อัตราส่วน 70:30 เท่ากับ 0.97 L(CH4)/kgVS ดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ของอัตราส่วน 60:40 มีค่าเท่ากับ 8.70 L(biogas)/kgVS และ อัตราส่วน 70:30 มีค่าเท่ากับ 8.35 L(biogas)/kgVS อัตราการเกิดก๊าซมีเทนของอัตราส่วน 60:40 มีค่าเท่ากับ 0.557 L(CH4)/kgVS และ อัตราส่วน 70:30 มีค่าเท่ากับ 0.517 L(CH4)/kgVS และการทดลองครั้งที่ 2 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ของอัตราส่วน 60:40 มีค่าเท่ากับ 5.96 L(biogas)/kgVS และ อัตราส่วน 70:30 มีค่าเท่ากับ 6.60 L(biogas)/kgVS อัตราการเกิดก๊าซมีเทนของอัตราส่วน 60:40 มีค่าเท่ากับ 0.465 L(CH4)/kgVS และ อัตราส่วน 70:30 มีค่าเท่ากับ 0.449 L(CH4)/kgVS

4.2.3 เปรียบเทียบความเป็นมลพิษของน้ำเสียจากการหมัก กับค่ามาตรฐาน

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะต้องมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานและการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ตารางที่ 4.7 โดยน้ำทิ้งในที่นี้หมายความว่า น้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ซึ่งค่าที่เราวิเคราะห์น้ำเสียจากการทดลองเป็นค่าที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ซึ่งการเปรียบเทียบจะสามารถบอให้ทราบได้ว่าน้ำเสียในแต่ละอัตราส่วนการหมักจะต้องมีการบำบัดที่แตกต่างกันอย่างไร ฟาร์มที่เก็บตัวอย่างมีจำนวนสุกรเป็นไปตามข้อกำหนดของฟาร์มประเภท ข

ตารางที่ 4.7 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร

การเลี้ยงสุกรประเภท	ความเป็นกรดและด่าง	บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (TKN) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ก	5.5 – 9.0	ไม่เกิน 60	ไม่เกิน 150	ไม่เกิน 300	ไม่เกิน 120
ข	5.5 – 9.0	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 200
ค	5.5 – 9.0	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 200

จากการทดลองทั้งสองครั้งได้เก็บค่าตัวอย่างน้ำเสียจากการทดลองโดยเก็บระหว่างการทดลองซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากการทดลองครั้งที่ 1

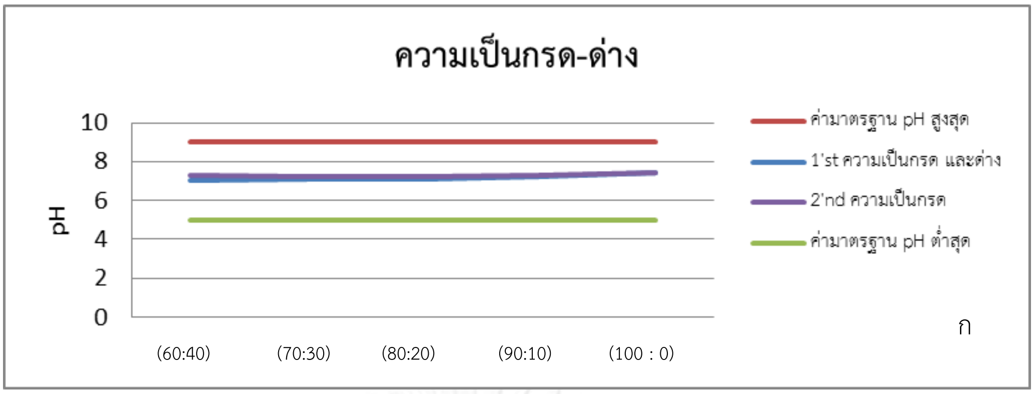
อัตราส่วนหมัก (ของเสียฟาร์ม:ผัก)	ความเป็นกรดและด่าง	บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (TKN) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
60 : 40	7.0	230	10,895	11,300	509
70 : 30	7.1	235	9,340	6,570	448
80 : 20	7.1	220	9,355	5,888	419
90 : 10	7.2	267	9,820	7,784	444
100 : 0	7.4	248	8,975	5,684	351

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากการทดลองครั้งที่ 2

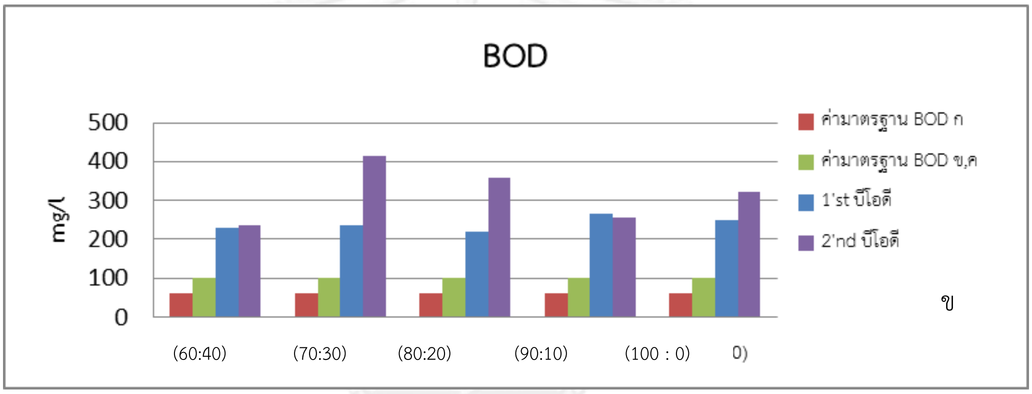
อัตราส่วนหมัก (ของเสียฟาร์ม:ผัก)	ความเป็นกรดและด่าง	บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (TKN) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
60 : 40	7.3	237	1,985	12,214	234
70 : 30	7.2	414	8,505	9,036	263
80 : 20	7.2	358	8,710	8,838	442
90 : 10	7.3	255	8,700	7,845	487
100 : 0	7.4	321	8,750	7,944	319

สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในตาราง 4.8 และ 4.9 กับค่ามาตรฐานตารางที่ 4.7 ในรูปกราฟ ดังรูปที่ 4.23 (ก – จ)

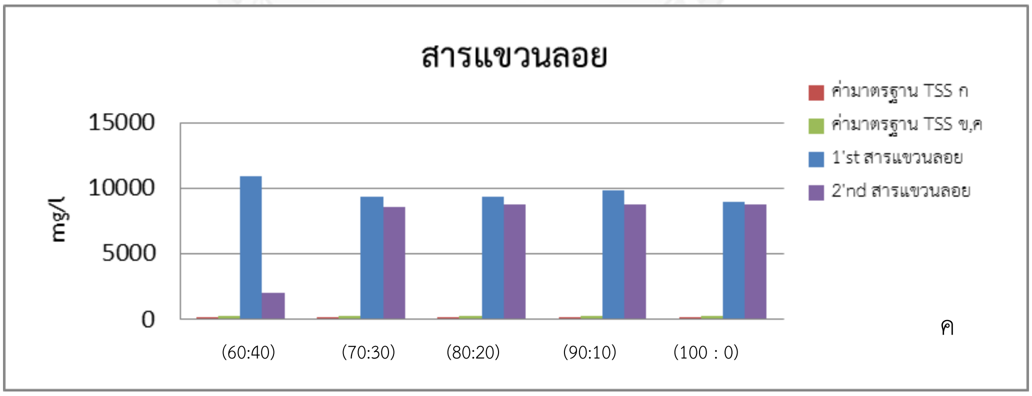
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



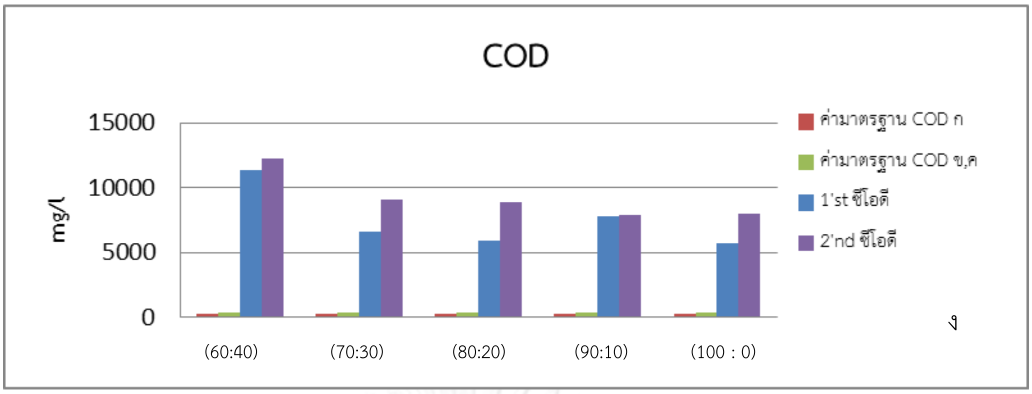
ก. ค่าความเป็น กรด-ด่าง pH



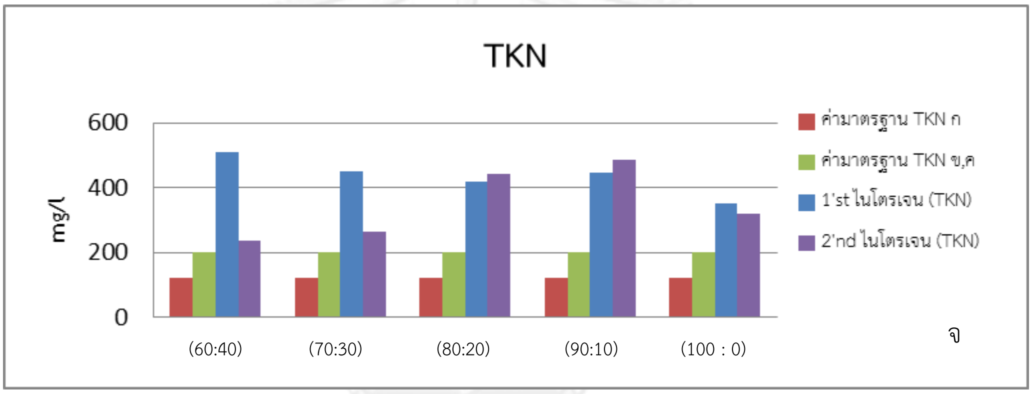
ข. ค่า BOD



ค. สารแขวนลอย TSS



ง. ค่า COD



จ. ค่า TKN

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสียจากการทดลอง

กับ ค่ามาตรฐาน

จากรูปที่ 4.23 (ก) การทดลองทั้งสองครั้งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ทุกอัตราส่วนการหมัก

รูปที่ 4.23 (ข) การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนที่มีค่า BOD สูงที่สุดคือ 90:10 มีค่า 267 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 100:0 มีค่า 248 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า BOD ต่ำสุด คือ 80:20 มีค่า 220 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนที่มีค่า BOD สูงที่สุดคือ 70:30 มีค่า 414 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 80:20 มีค่า 358 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า BOD ต่ำสุด คือ 60:40 มีค่า 237 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น อัตราส่วนที่มีค่า BOD สูงสุดของการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 คือ 90:10 และ 70:30 ตามลำดับ

รูปที่ 4.23 (ค) การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนที่มีค่าสารแขวนลอย TSS สูงที่สุดคือ 60:40 มีค่า 10,895 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 90:10 มีค่า 9,820 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า TSS ต่ำสุด คือ 100:0 มีค่า 8,975 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนที่มีค่า TSS สูงที่สุดคือ 100:0 มีค่า 8,750 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 80:20 มีค่า 8,710 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า TSS ต่ำสุด คือ 60:40 มีค่า 1,985 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น อัตราส่วนที่มีค่าสารแขวนลอย TSS สูงสุดของการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 คือ 60:40 และ 100:0 ตามลำดับ

รูปที่ 4.23 (ง) การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนที่มีค่า COD สูงที่สุดคือ 60:40 มีค่า 11,300 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 90:10 มีค่า 7,784 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า COD ต่ำสุด คือ 100:0 มีค่า 5,684 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนที่มีค่า COD สูงที่สุดคือ 60:40 มีค่า 12,214 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 70:30 มีค่า 9,036 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า COD ต่ำสุด คือ 90:10 มีค่า 7,845 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น อัตราส่วนที่มีค่า COD สูงสุดของการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 คือ 60:40

รูปที่ 4.23 (จ) การทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนที่มีค่า TKN สูงที่สุดคือ 60:40 มีค่า 509 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 70:30 มีค่า 448 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า TKN ต่ำสุด คือ 100:0 มีค่า 351 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนที่มีค่า TKN สูงที่สุดคือ 90:10 มีค่า 487 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ 80:20 มีค่า 442 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนที่มีค่า TKN ต่ำสุด คือ 60:40 มีค่า 234 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น อัตราส่วนที่มีค่า TKN สูงสุดของการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 คือ 60:40 และ 90:10 ตามลำดับ

จากข้อมูลที่ได้จะพบว่าความเป็นมลพิษของน้ำเสียทุกอัตราส่วนการหมักที่ยังไม่ผ่านการบำบัดมีค่าสูงกว่ามาตรฐานทุกค่ายกเว้นค่าความเป็น กรด-ด่าง ค่าเดียว โดยอัตราส่วนที่มีค่าความเป็นมลพิษสูงสุดในแต่ละองค์ประกอบ BOD , TSS , COD , TKN ดังนี้ 60:40 , 70:30 , 90:10 และ 100:0 ดังนั้น อัตราส่วนดังกล่าวจึงต้องนำไปผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยออกสูงแหล่งน้ำธรรมชาติ หรืออาจนำไปใช้เป็นปุ๋ย สารปรับปรุงดินได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักวัตถุดิบหมัก มูลสุกร โคลนบ่อล้น (ของเสียฟาร์มสุกร) และผักตบชวา เมื่อพิจารณาลักษณะการหมักร่วมโดยเติมผักตบชวาเข้าไปในระบบการหมัก โดยปรับปริมาณสัดส่วนผักตบชวาของแต่ละอัตราส่วน ภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน ค่าน้ำหนักแห้งรวมของทุกอัตราส่วนเท่ากันที่ 5 กรัม พบว่าอัตราส่วนการหมักที่ต่างกันส่งผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ , อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ , ร้อยละขององค์ประกอบก๊าซมีเทน , อัตราการเกิดก๊าซมีเทน และ ค่าความเป็นมลพิษของของน้ำเสีย ที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษา อัตราส่วนทั้ง 5 อัตราส่วนการหมัก ได้ดังนี้

5.1.1 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันสูงและมีระยะเวลาการเกิดก๊าซยาวนานที่สุดคือ อัตราส่วน 60:40 ในการทดลองครั้งที่ 1 มีช่วงระยะเวลาการเกิดก๊าซจำนวน 21 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดสูงสุด 39.2 มิลลิลิตร รองลงมาคือ อัตราส่วน 70:30 ในการทดลองครั้งที่ 1 มีช่วงระยะเวลาการเกิดก๊าซจำนวน 16 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดสูงสุด 30.7 มิลลิลิตร และอัตราส่วนที่มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันน้อยและช่วงเวลาการเกิดสั้นที่สุดคือ อัตราส่วน 100:0 ในการทดลองทั้งสองครั้ง การทดลองครั้งที่ 2 มีจำนวนวันที่มีการเกิดก๊าซมากกว่าการทดลองครั้งที่ 1 แต่เมื่อเทียบกับอัตราส่วนหมักอื่นๆ ยังคงเป็นค่าที่น้อยที่สุด โดยช่วงระยะเวลาการเกิดก๊าซจำนวน 10 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดสูงสุด 17.0 มิลลิลิตร ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันจะมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนที่เพิ่มปริมาณผักตบชวาในการหมักร่วม เทียบกับการหมักด้วยมูลสุกรหรือของเสียฟาร์มสุกรอย่างเดียว อัตราส่วน 100 ต่อ 0

5.1.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลอง จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่ได้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด คือ 60:40 ในการทดลองครั้งที่ 1 เก็บผลปริมาณการเกิดก๊าซรวม 21 วัน ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพรวม 276.5 มิลลิลิตร รองลงมาคือ อัตราส่วน 70:30 ในการทดลองครั้งที่ 1 เก็บผลปริมาณการเกิดก๊าซรวม 21 วัน ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพรวม 238.3 มิลลิลิตร และอัตราส่วนที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมต่ำสุด คือ อัตราส่วน 100:0 ในการทดลองทั้งสองครั้ง ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองครั้งที่ 2 สูงกว่าครั้งที่ 1 แต่เมื่อเทียบกับอัตราส่วนหมักอื่นๆ

ยังคงเป็นค่าที่น้อยที่สุด โดยปริมาณการเกิดก๊าซรวม 16 วัน ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพรวม 81.9 มิลลิลิตร ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลองทั้งสองครั้ง จะมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนที่เพิ่มปริมาณผักตบชวาในการหมักร่วม เทียบกับการหมักด้วยมูลสุกรหรือของเสียฟาร์มสุกรอย่างเดียว อัตราส่วน 100 ต่อ 0

5.1.3 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม(ลิตร)เฉลี่ยจากการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 เทียบกับ ปริมาณสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก(กิโลกรัม) สูงสุดที่อัตราส่วน 70:30 เท่ากับ 7.48 L(biogas)/kgVS และรองลงมาคือ อัตราส่วน 60:40 เท่ากับ 7.33 L(biogas)/kgVS และปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน(ลิตร)เฉลี่ยจากการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 เทียบกับ ปริมาณสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก (กิโลกรัม) สูงสุดที่อัตราส่วน 60:40 เท่ากับ 0.51 L(CH4)/kgVS และรองลงมาคือ อัตราส่วน 70:30 เท่ากับ 0.48 L(CH4)/kgVS ซึ่งการหมักด้วยมูลสุกรอย่างเดียวอัตราส่วน 100:0 จะให้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม(ลิตร)เฉลี่ย และปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน(ลิตร)เฉลี่ย เทียบกับ ปริมาณสารละเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก(กิโลกรัม) มีค่าน้อยที่สุด ที่ 3.61 L(biogas)/kgVS และ 0.06 L(CH4)/kgVS ตามลำดับ

5.1.4 ค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสียจากการทดลอง เทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรที่ผ่านการบำบัดของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสียทุกอัตราส่วนการหมักซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่ผ่านการบำบัดมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ยกเว้นค่าความเป็น กรด-ด่าง ที่อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งอัตราส่วนที่มีค่าความเป็นมลพิษสูงในแต่ละองค์ประกอบ BOD , TSS , COD , TKN เป็นดังนี้ 60:40 , 70:30 , 90 : 10 และ 100:0 โดยอัตราส่วน 80:20 ไม่เป็นค่าที่สูงที่สุดแต่ยังคงมีความเป็นมลพิษสูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวต้องนำไปผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยออกสูงแหล่งน้ำธรรมชาติ หรืออาจนำไปใช้เป็นปุ๋ย สารปรับปรุงดินได้

5.1.5 จากผลที่ได้ทั้งหมดในการทดลองนี้ พิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสม ดังนี้

5.1.5.1 อัตราส่วนที่ให้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันและก๊าซชีวภาพสะสมสูง คือ 60:40 และ 70:30

5.1.5.2 อัตราส่วนที่ให้อัตราการเกิดก๊าซก๊าซชีวภาพ และ อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูง คือ 60:40 และ 70:30

5.1.5.3 ในทุกค่าที่ได้จากการทดลองการหมักด้วยมูลสุกรอย่างเดียว(ของเสียฟาร์มสุกร) 100:0 ซึ่งเป็นการหมักของฟาร์มสุกรโดยทั่วไปที่ผลิตก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่ำที่สุด แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผักตบชวาเข้าในกระบวนการหมัก

ดังนั้น การเติมผักตบชวาเข้าในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่มีการหมักด้วยมูลสุกรอย่างเดียวเป็นวัตถุดิบหมักสามารถเพิ่มปริมาณและคุณภาพ(องค์ประกอบก๊าซมีเทน) ของก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้นได้ซึ่งจากการทดลองเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมผักตบชวามากขึ้น ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จะเพิ่มสูงขึ้น และอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ปรับปรุงกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ อัตราส่วนการหมัก ของเสียฟาร์มสุกร(มูลและโคลนบ่อล้น)ที่ 60:40 และ 70:30 และสิ่งที่เหลือจากการทดลองมีค่า TKN สูง สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นสารปรับปรุงดินได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการปรับอัตราส่วนการหมักให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยให้ค่าใกล้เคียงกับอัตราผสมส่วนระหว่างของเสียฟาร์มสุกรต่อผักตบชวา 60:40 และ 70:30 เพื่อหาค่าที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการจัดหาวัตถุดิบหมัก เพื่อสะท้อนต้นทุนและโอกาสการนำไปพัฒนาในการใช้งานจริง

5.2.3 ควรมีการนำไปขยายผลโดยการทดลองใช้งานในระบบที่ใช้งานอยู่จริง เพื่อปรับปรุงขีดความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน

5.2.4 ควรมีการศึกษาน้ำเสียที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

1. กระทรวงพลังงาน, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก *25%* ใน *10* ปี (พ.ศ.*2555-2564)*, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554. หน้า. 15.
2. พรรณิภา คำมาเร็ว, การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกระดาษสาโดยการย่อยสลายร่วมกับมูลวัวและเศษอาหารโดยถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. 2553, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
3. สำนักงานคณะกรรมการบริหารลูกเสือแห่งชาติ, โครงการป้องกันกำจัดผักตบชวาทั่วราชอาณาจักร. 2520: กรุงเทพมหานคร.
4. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สถิติข้อมูลกรมปศุสัตว์, กรมปศุสัตว์, 2550.
5. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร. 2548: ราชกิจจานุเบกษา.
6. สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, รายงานสถานภาพของการวิจัยและผลิตเอทานอล ไบโอดีเซล ไบโอแก๊ส และน้ำมันชีวภาพในประเทศไทย, สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553: บริษัท วี พลัส กรุ๊ป (ไทยแลนด์) จำกัด 645 ถนนเจริญนคร แขวงดาวคะนอง เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600. หน้า. 184.
7. Ward, A.J., et al., *Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources.* Bioresource Teachnology 99 (2008), 2008. **2008**: p. 7928-7940.
8. Gray, N.F., *Biological of Wastewater Treatment*. Second ed, ed. P.J.N.B. Bell. Vol. 4. 2004: Imperial College Press 57 Shelton Street Covent Garden London WC2H9HE.
9. โครงการจัดตั้งสถาบันวิจัยพลังงาน , มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, โครงการระบบต้นแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าช้างเนเปียร์ร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกร เพื่อส่งเสริมอาชีพเกษตรกรควบคู่การผลิตพลังงานทดแทน. 2554.
10. Polprasert, C., *Organic Waste Recycling*. 1989, Chichester College United Kingdom: John Wiley & Sons.
11. ชาญชัย คุณาวนากิจ, การผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาภายใต้การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน, ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย. 2529, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
12. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และ พัสตรา เขมาวุฒานนท์, การสำรวจสรีรวิทยาเชิงนิเวศน์ของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพในกากตะกอนน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม. 2537. หน้า. 110.

13. สุเมธ ชวเดช, ระบบยูเอเอสบี-ตัวกลางกรองแบบอุณหภูมิสูงและสองขั้นตอนสำหรับบำบัดน้ำกากส่าและผลิตก๊าซชีวภาพ. 2540. หน้า. 68.
14. สุรภี เบญจปัญญาวงศ์, ผลของการเติมโพลีเมอร์ต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบยูเอเอสบี, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย. 2549, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
15. ทักษดนย์ วุฒคุณ, การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากของแข็งที่ได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์. 2549, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
16. ชุติมา ฉันท์พลากร, ผลของภาระการป้อนซีโอดีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากส่าโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
17. อุษณีย์ นาคะภากร, ผลของการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
18. อมรพรรณ แถมเงิน, การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าด้วยระบบหมัก, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
19. กนิษฐา วิมลรัตน์, การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษกล่องขาวเคลือบมัน, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
20. อัญชลี แท่นนิล, การย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกร ใบปาล์ม และขยะชุมชนในถังปฏิกรณ์ร่วม *2* ขั้นตอนและถังปฏิกรณ์เมมเบรน, สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
21. จักรพันธ์ หมื่นจี้, การผลิตและการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในห้องปฏิบัติการ, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. 2553, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
22. นายสมนึก พิณพาทย์, ข้อมูลฟาร์มลียงสุกรและปริมาณมูลสุกรที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ, 2556.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า ๑๔
เล่ม ๑๒๒ ตอนที่ ๑๒๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๙ ธันวาคม ๒๕๔๘

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร

โดยที่ได้มีการปฏิรูประบบราชการโดยให้มีการจัดตั้งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และให้โอนภารกิจของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ ไปเป็นของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประกอบกับเป็นการสมควรให้คณะกรรมการควบคุมมลพิษเป็นผู้พิจารณาให้ความเห็นชอบกับวิธีการทางเทคนิคและทางวิชาการอื่นนอกเหนือจากที่กำหนดไว้แทนกรมควบคุมมลพิษ จึงสมควรแก้ไขปรับปรุงประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ แก้ไขโดยมาตรา ๑๑๔ แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. ๒๕๔๕ พ.ศ. ๒๕๔๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐ และมาตรา ๕๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกรไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ลงวันที่ ๖ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๔๔

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

"การเลี้ยงสุกร" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปตามน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์

"น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ๑ หน่วย" หมายความว่า น้ำหนักสุทธิของสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ ๕๐๐ กิโลกรัม โดยให้คิดคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยของสุกรพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ตัวละ ๑๗๐ กิโลกรัม สุกรขุนตัวละ ๖๐ กิโลกรัม และลูกสุกรตัวละ ๑๒ กิโลกรัม

"การเลี้ยงสุกรประเภท ก" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์เกินกว่า ๖๐๐ หน่วย

"การเลี้ยงสุกรประเภท ข" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ ๖๐ หน่วย แต่ไม่เกิน ๖๐๐ หน่วย

"การเลี้ยงสุกรประเภท ค" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ ๖ หน่วย แต่ไม่ถึง ๖๐ หน่วย

"น้ำทิ้ง" หมายความว่า น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ ๓ ให้แบ่งประเภทการเลี้ยงสุกรตามข้อ ๒ ออกเป็น ๓ ประเภท คือ

(๑) การเลี้ยงสุกรประเภท ก

(๒) การเลี้ยงสุกรประเภท ข

(๓) การเลี้ยงสุกรประเภท ค

ข้อ ๔ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรประเภท ก ต้องมีค่า ดังต่อไปนี้

(๑) ความเป็นกรดและด่าง (pH Value) ระหว่าง ๕.๕ ถึง ๙

(๒) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๖๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน ๑๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๓๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๕) ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่เกิน ๑๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๕ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรประเภท ข และประเภท ค ต้องมีค่าดังต่อไปนี้

(๑) ความเป็นกรดและด่าง ระหว่าง ๕.๕ ถึง ๙

(๒) บีโอดี ไม่เกิน ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย ไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) ซีโอดี ไม่เกิน ๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๕) ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๖ การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งให้เก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) จากจุดที่สถานที่เลี้ยงสุกรระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม ในกรณีสถานที่เลี้ยงสุกรมีการระบายน้ำทิ้งหลายจุด ให้เก็บทุกจุดที่มีการระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม

ข้อ ๗ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรให้ใช้วิธีการ ดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter) แบบ Electrometric Titrator ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า ๐.๑ หน่วย

(๒) การตรวจสอบค่าบีโอดีให้ใช้วิธีการอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๕ วัน ติดต่อกันหรือวิธีการ Membrane Electrode

(๓) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอยให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc) และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ ๑๐๓-๑๐๕ องศาเซลเซียส

(๔) การตรวจสอบค่าซีโอดีให้ใช้วิธีการย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion) แบบ Open Reflux หรือ Closed Reflux

(๕) การตรวจสอบค่าไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นให้ใช้วิธีการเจลดาห์ล (Kjeldahl) และให้ตรวจวัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการ Colorimetric หรือ Ammonia Selective Electrode

ข้อ ๘ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรตามข้อ ๗ ต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียที่สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยกำหนดไว้ หรือตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) ที่ American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริการ่วมกันกำหนดไว้ หรือตามวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หน้า ๑๗
เล่ม ๑๒๒ ตอนที่ ๑๒๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๙ ธันวาคม ๒๕๔๘

ข้อ ๔ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๗ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๔๘
ยงยุทธ ติยะไพรัช
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

รูปที่ ก-1 ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้ง และการคำนวณอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 02-2188211 , 02-2188213 โทรสาร. 02-2188212

รายงานผลวิเคราะห์

เจ้าของตัวอย่าง : สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ : อาคารสถาบัน 3 ชั้น 12 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
จุดเก็บตัวอย่าง : ฟาร์มสุกรในจังหวัดราชบุรี, คลองโพหัก **ผู้เก็บตัวอย่าง :** ....–............
ประเภทตัวอย่าง : ผักตบชวา, มูลสุกร **รหัสงานวิเคราะห์ :** 01857
วันที่ส่งตัวอย่าง : 4 กุมภาพันธ์ 2556 **วันที่วิเคราะห์ :** 7 - 8 กุมภาพันธ์ 2556

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลวิเคราะห์			วิธีวิเคราะห์
		ผักตบชวาสด	มูลสุกรสด	น้ำเสียบ่อล้นมูลสุกร	
Total Solids	g/Kg	48	344	147	Total Solids Dried at 103-105°C

หมายเหตุ : รายงานฉบับนี้รับรองผลให้เฉพาะตัวอย่างที่ส่งตรวจเท่านั้น ห้ามนำไปใช้อ้างอิงเพื่อการค้าหรือโฆษณาสินค้า
การคัดลอกหรือสำเนารายงานผลวิเคราะห์ไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้อำนวยการสถาบันฯ

(นางสาววลีพร ศรีเพ็ญประภา)
หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ
11 / กพ. / 56

(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
12 / กพ. / 56

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งวัตถุดิบหมัก

การคำนวณค่าน้ำหนักวัตถุดิบหมัก เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย โดยใช้ค่าผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์

1. หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น (Seed) จากน้ำเสียบ่อล้น
   การศึกษานี้ใช้ค่าน้ำหนักแห้งในการหมักที่ 3 กรัม จากค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถหาค่าน้ำหนักสดที่นำมาหมักได้ ดังนี้

   น้ำหนักแห้งน้ำเสียบ่อล้นมูลสุกร(Seed) 147 กรัม จากน้ำหนักน้ำเสีย 1000 กรัม

   น้ำหนักแห้งน้ำเสียบ่อล้นมูลสุกร(Seed) 3 กรัม คิดเป็นน้ำหนักน้ำเสีย 20.4 กรัม

2. อัตราส่วนผสม มูลสุกร : ผักตบชวา การศึกษานี้ใช้ค่าน้ำหนักแห้งในการหมักที่ 2 กรัม จากค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถหาค่าน้ำหนักสดที่นำมาหมักได้ ดังนี้

   จากน้ำหนักแห้งที่ใช้ในการหมักระหว่างมูลสุกรผสมกับผักตบชวา เท่ากับ 2 กรัม

   ดังนั้นน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักระหว่าง มูลสุกร : ผักตบชวา เป็นดังนี้

   2.1 อัตราส่วน 0 : 100

   มูลสุกรร้อยละ 0 ดังนั้น 0 กรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็นน้ำหนักมูลสด <u>0</u> กรัม

   ผักตบชวาร้อยละ 100 คิดเป็น 1.00 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 2 กรัมน้ำหนักแห้ง

   น้ำหนักแห้งผักตบชวา 48 กรัม จากน้ำหนักผักตบชวาสด 1000 กรัม

   น้ำหนักแห้งผักตบชวา 2 กรัม คิดเป็นน้ำหนักผักตบชวาสด <u>41.7 กรัม</u>

   2.2 อัตราส่วน 25 : 75

   มูลสุกรร้อยละ 25 คิดเป็น 0.25 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 0.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

   น้ำหนักแห้งมูลสุกร 344 กรัม จากน้ำหนักมูลสุกรสด 1000 กรัม

   น้ำหนักแห้งมูลสุกร 0.5 กรัม คิดเป็นน้ำหนักมูลสุกรสด <u>1.5 กรัม</u>

   ผักตบชวาร้อยละ 75 คิดเป็น 0.75 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

   น้ำหนักแห้งผักตบชวา 48 กรัม จากน้ำหนักผักตบชวาสด 1000 กรัม

   น้ำหนักแห้งผักตบชวา 1.5 กรัม คิดเป็นน้ำหนักผักตบชวาสด <u>31.3 กรัม</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 อัตราส่วน 50 : 50

มูลสุกรร้อยละ 50 คิดเป็น 0.50 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งมูลสุกร 344 กรัม จากน้ำหนักมูลสุกรสด 1000 กรัม

น้ำหนักแห้งมูลสุกร 1 กรัม คิดเป็นน้ำหนักมูลสุกรสด 2.9 กรัม

ผักตบชวาร้อยละ 50 คิดเป็น 0.50 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งผักตบชวา 48 กรัม จากน้ำหนักผักตบชวาสด 1000 กรัม

น้ำหนักแห้งผักตบชวา 1 กรัม คิดเป็นน้ำหนักผักตบชวาสด 20.8 กรัม

2.4 อัตราส่วน 75 : 25

มูลสุกรร้อยละ 75 คิดเป็น 0.75 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งมูลสุกร 344 กรัม จากน้ำหนักมูลสุกรสด 1000 กรัม

น้ำหนักแห้งมูลสุกร 1.5 กรัม คิดเป็นน้ำหนักมูลสุกรสด 4.4 กรัม

ผักตบชวาร้อยละ 25 คิดเป็น 0.25 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 0.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งผักตบชวา 48 กรัม จากน้ำหนักผักตบชวาสด 1000 กรัม

น้ำหนักแห้งผักตบชวา 0.5 กรัม คิดเป็นน้ำหนักผักตบชวาสด 10.4 กรัม

2.5 อัตราส่วน 100 : 0

มูลสุกรร้อยละ 100 คิดเป็น 1 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 2 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งมูลสุกร 344 กรัม จากน้ำหนักมูลสุกรสด 1000 กรัม

น้ำหนักแห้งมูลสุกร 2 กรัม คิดเป็นน้ำหนักมูลสุกรสด 5.8 กรัม

ผักตบชวาร้อยละ 0 ดังนั้น 0 กรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็นน้ำหนักผักตบชวาสด 0 กรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

ผลการบันทึกอุณหภูมิภายในขวดหมัก และสิ่งแวดล้อมภายนอก
ระหว่างการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-1 อุณหภูมิภายในขวดหมัก และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก ในการทดลองครั้งที่ 1 ชุดการทดลอง A , B และ D แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 5 อัตราส่วน และค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง A

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30/9/2013	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.0	28.5	28.8	28.2	28.5
1/10/2013	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.7	31.2	30.8	31.0
2/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.5	29.8	30.0	29.7	30.0
3/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.8	30.2	30.5	30.0	30.3
4/10/2013	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	28.0	28.2	28.7	28.0	28.7
5/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.8	30.2	30.8	29.8	30.3
6/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	28.8	29.3	29.8	29.0	29.7
7/10/2013	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.0	27.3	27.7	27.0	27.3
8/10/2013	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.7	27.2	27.3	26.7	27.2
9/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.0	28.5	28.7	28.2	28.5

ชุดการทดลอง A (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/10/2013	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.3	29.7	30.0	29.3	29.7
11/10/2013	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.8	31.2	30.7	30.8
12/10/2013	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.0	31.5	32.0	31.2	31.7
13/10/2013	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.2	31.7	32.2	31.5	31.8
14/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.2	31.5	31.8	31.2	31.3
15/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.3	31.7	32.0	31.3	31.5
16/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	27.8	28.2	28.7	28.0	28.3
17/10/2013	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	27.0	27.2	27.7	27.0	27.3
18/10/2013	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.5	30.8	31.2	30.5	30.8
19/10/2013	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.8	28.2	28.5	28.0	28.3
20/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.7	30.0	30.3	29.7	29.8

ชุดการทดลอง B

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30/9/2013	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	27.8	28.5	28.2	28.2	28.2
1/10/2013	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	31.0	30.8	31.0	30.8
2/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.5	30.0	29.7	29.7	29.7
3/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.8	30.0	29.8	30.0	30.0
4/10/2013	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	28.3	28.3	28.0	28.0	28.0
5/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.5	30.5	29.8	29.8	29.8
6/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	28.7	29.3	28.7	28.8	28.8
7/10/2013	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	26.8	27.3	27.0	27.0	27.0
8/10/2013	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.7	27.0	26.7	26.7	26.7
9/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.0	28.5	28.2	28.2	28.2
10/10/2013	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.2	29.5	29.2	29.3	29.3
11/10/2013	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.3	30.8	30.5	30.5	30.3
12/10/2013	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	30.8	31.3	31.0	31.2	31.2

ชุดการทดลอง B (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
13/10/2013	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.2	31.7	31.2	31.5	31.5
14/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.8	31.2	30.8	30.8	30.8
15/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.8	31.3	31.0	31.2	31.3
16/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	27.7	28.3	28.0	28.0	28.0
17/10/2013	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	27.0	27.2	26.8	26.8	27.0
18/10/2013	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.2	30.7	30.5	30.5	30.5
19/10/2013	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.7	28.0	27.7	27.7	27.7
20/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.3	30.0	29.3	29.3	29.7

ชุดการทดลอง D

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30/9/2013	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	27.8	28.5	28.2	28.3	28.3
1/10/2013	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.7	31.0	31.0	31.0	31.0
2/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.2	29.8	29.7	29.7	29.8
3/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.5	30.2	29.8	30.0	30.0
4/10/2013	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	28.0	28.5	28.2	28.0	28.0
5/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.3	30.0	29.8	29.8	30.0
6/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	28.3	29.3	29.2	29.0	29.3
7/10/2013	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	26.7	27.3	27.0	27.0	27.2
8/10/2013	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.8	27.2	26.7	26.8	26.8
9/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	27.8	28.5	28.2	28.3	28.3
10/10/2013	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.2	29.7	29.3	29.7	29.7
11/10/2013	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.3	31.0	30.7	30.7	30.8
12/10/2013	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	30.5	31.3	31.2	31.0	31.2

ชุดการทดลอง D (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
13/10/2013	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.0	32.0	31.7	32.0	30.7
14/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.8	31.5	31.2	31.2	31.5
15/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.7	31.3	31.5	31.7
16/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	27.8	28.2	28.0	28.2	28.2
17/10/2013	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.5	27.2	27.0	27.0	27.2
18/10/2013	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.2	30.8	30.5	30.5	30.8
19/10/2013	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.5	27.8	27.8	28.2	28.2
20/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.3	29.7	29.7	29.7	30.0

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , B , D

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิเฉลี่ยภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30/9/2013	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	27.9	28.5	28.4	28.2	28.3
1/10/2013	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.9	31.0	30.9	30.9
2/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.4	29.9	29.8	29.7	29.8
3/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.7	30.1	30.1	30.0	30.1
4/10/2013	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	28.1	28.3	28.3	28.0	28.2
5/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.6	30.2	30.2	29.8	30.1
6/10/2013	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	28.6	29.3	29.2	28.9	29.3
7/10/2013	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	26.8	27.3	27.2	27.0	27.2
8/10/2013	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.7	27.1	26.9	26.7	26.9
9/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	27.9	28.5	28.3	28.2	28.3
10/10/2013	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.2	29.6	29.5	29.4	29.6
11/10/2013	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.4	30.9	30.8	30.6	30.7
12/10/2013	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	30.8	31.4	31.4	31.1	31.3

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , B , D (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกขวด (องศาเซลเซียส) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อุณหภูมิเฉลี่ยภายในขวด (องศาเซลเซียส) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
13/10/2013	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.1	31.8	31.7	31.7	31.3
14/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.9	31.4	31.3	31.1	31.2
15/10/2013	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.1	31.6	31.4	31.3	31.5
16/10/2013	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	27.8	28.2	28.2	28.1	28.2
17/10/2013	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.8	27.2	27.2	26.9	27.2
18/10/2013	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.3	30.8	30.7	30.5	30.7
19/10/2013	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.7	28.0	28.0	27.9	28.1
20/10/2013	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.4	29.9	29.8	29.6	29.8

ตารางที่ ค-2 อุณหภูมิภายในขวดหมัก และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก ในการทดลองครั้งที่ 2 ชุดการทดลอง A และ D แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 5 อัตราส่วน และค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง A

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/3/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.7	30.2	30.7	30.0	30.5
12/3/2014	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.7	32.2	31.2	31.7
13/3/2014	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.7	29.8	30.7	29.7	29.8
14/3/2014	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	29.8	30.2	30.7	29.8	30.3
15/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.5	29.8	30.5	29.8	30.2
16/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.5	29.8	30.3	29.5	29.8
17/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.0	30.2	30.8	30.2	30.3
18/3/2014	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	31.0	31.5	30.5	31.0
19/3/2014	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	30.0	30.0	31.0	29.7	30.0
20/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.3	30.5	31.3	30.3	30.8

ชุดการทดลอง A (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
21/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.5	29.5	30.0
22/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	30.3	30.8	29.8	30.3
23/3/2014	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.7	28.7	29.7	28.7	28.7
24/3/2014	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	30.0	30.5	29.5	30.0
25/3/2014	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	29.8	30.3	30.8	30.3	30.3
26/3/2014	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.5
27/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.5	30.0	30.5	29.5	30.0
28/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.7	31.2	30.2	30.7
29/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.5	31.2	30.2	30.8

ชุดการทดลอง D

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/3/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.7	30.5	30.0	30.5	30.5
12/3/2014	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.7	31.2	31.7	31.5
13/3/2014	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.8	29.7	29.8	29.8
14/3/2014	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	29.8	30.2	29.8	30.2	30.2
15/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.3	29.8	29.5	29.8	29.8
16/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.3	29.8	29.5	29.5	29.5
17/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.0	30.3	30.0	30.5	30.3
18/3/2014	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	31.0	30.5	31.0	31.0
19/3/2014	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.7	30.5	29.7	30.3	30.3
20/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	31.0	30.0	31.0	30.8
21/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.5	30.0	29.5	30.0	30.0
22/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	30.3	29.8	30.3	30.3
23/3/2014	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.7	29.2	28.7	29.2	29.2

ชุดการทดลอง D (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
24/3/2014	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	30.0	29.5	30.0	30.0
25/3/2014	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	29.8	30.3	29.8	30.3	30.3
26/3/2014	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.5	31.5	31.0	31.5	31.5
27/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.5	30.0	29.5	30.0	30.0
28/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	29.7	30.7	29.7	30.7	30.7
29/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.8	30.2	30.8	30.8

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , D

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิเฉลี่ยภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/3/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.7	30.3	30.3	30.3	30.5
12/3/2014	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.7	31.7	31.4	31.6
13/3/2014	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.5	29.8	30.2	29.8	29.8
14/3/2014	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	29.8	30.2	30.3	30.0	30.3
15/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.4	29.8	30.0	29.8	30.0
16/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.4	29.8	29.9	29.5	29.7
17/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.0	30.3	30.4	30.3	30.3
18/3/2014	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	31.0	31.0	30.8	31.0
19/3/2014	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.8	30.3	30.3	30.0	30.2
20/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.2	30.8	30.7	30.7	30.8
21/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.8	30.0	30.0	29.8	30.0
22/3/2014	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	30.3	30.3	30.1	30.3
23/3/2014	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.7	28.9	29.2	28.9	28.9

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , D (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกขวด (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิเฉลี่ยภายในขวด (องศาเซลเซียส)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
24/3/2014	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	30.0	30.0	29.8	30.0
25/3/2014	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	29.8	30.3	30.3	30.3	30.3
26/3/2014	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.8	31.3	31.0	31.3	31.5
27/3/2014	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.5	30.0	30.0	29.8	30.0
28/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	29.9	30.7	30.4	30.4	30.7
29/3/2014	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.7	30.7	30.5	30.8

ภาคผนวก ง

ผลการบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน

และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง-1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ในการทดลองครั้งที่ 1 ชุดการทดลอง A , B และ D แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 5 อัตราส่วน และค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง A

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30/9/2013	0.0	10.5	0.5	0.0	0.0	0.0	10.5	0.5	0.0	0.0
1/10/2013	6.8	9.5	9.0	6.3	0.0	6.8	20.0	9.5	6.3	0.0
2/10/2013	27.5	25.5	18.0	15.0	1.3	34.3	45.5	27.5	21.3	1.3
3/10/2013	66.5	31.0	18.0	7.0	5.9	100.8	76.5	45.5	28.3	7.2
4/10/2013	31.0	17.0	10.0	10.0	5.4	131.8	93.5	55.5	38.3	12.6
5/10/2013	29.0	21.5	17.0	14.8	9.3	160.8	115.0	72.5	53.1	21.9
6/10/2013	16.8	7.2	12.5	6.6	0.0	177.5	122.2	85.0	59.7	21.9
7/10/2013	0.0	3.2	2.7	3.4	0.0	177.5	125.4	87.7	63.1	21.9
8/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	177.5	125.4	87.7	63.1	21.9
9/10/2013	27.0	18.5	23.0	16.0	0.0	204.5	143.9	110.7	79.1	21.9

ชุดการทดลอง A (ต่อ)

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/10/2013	22.0	14.3	12.0	6.6	2.0	226.5	158.2	122.7	85.7	23.9
11/10/2013	24.0	16.0	14.5	7.5	2.7	250.5	174.2	137.2	93.2	26.6
12/10/2013	22.0	10.2	3.7	3.6	1.4	272.5	184.4	140.9	96.8	28.0
13/10/2013	31.0	6.6	3.6	3.1	2.4	303.5	191.0	144.5	99.9	30.4
14/10/2013	11.5	15.5	3.5	2.9	2.8	315.0	206.5	148.0	102.8	33.2
15/10/2013	5.4	4.0	3.2	7.2	3.2	320.4	210.5	151.2	110.0	36.4
16/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	320.4	210.5	151.2	110.0	36.4
17/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	320.4	210.5	151.2	110.0	36.4
18/10/2013	16.0	4.0	1.7	1.8	4.8	336.4	214.5	152.9	111.8	41.2
19/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	336.4	214.5	152.9	111.8	41.2
20/10/2013	0.0	2.8	8.1	5.6	0.8	336.4	217.3	161.0	117.4	42.0

ชุดการทดลอง B

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30/9/2013	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0
1/10/2013	12.0	21.0	14.3	5.9	0.0	12.0	39.5	14.3	5.9	0.0
2/10/2013	20.5	29.5	29.0	8.5	0.8	32.5	69.0	43.3	14.4	0.8
3/10/2013	25.0	30.0	25.5	13.5	4.4	57.5	99.0	68.8	27.9	5.2
4/10/2013	28.0	24.0	19.0	8.5	1.0	85.5	123.0	87.8	36.4	6.2
5/10/2013	35.0	24.0	20.5	18.3	7.8	120.5	147.0	108.3	54.7	14.0
6/10/2013	9.3	10.5	8.4	0.0	0.0	129.8	157.5	116.7	54.7	14.0
7/10/2013	8.2	7.1	8.6	5.7	0.0	138.0	164.6	125.3	60.4	14.0
8/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	138.0	164.6	125.3	60.4	14.0
9/10/2013	17.5	21.0	19.5	14.0	0.0	155.5	185.6	144.8	74.4	14.0
10/10/2013	10.3	13.0	9.4	6.6	4.8	165.7	198.6	154.2	81.0	18.8
11/10/2013	17.0	16.0	7.6	5.2	0.0	182.7	214.6	161.8	86.2	18.8
12/10/2013	19.0	9.0	5.4	4.5	0.0	201.7	223.6	167.2	90.7	18.8

ชุดการทดลอง B (ต่อ)

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
13/10/2013	6.5	8.5	5.2	0.0	0.0	208.2	232.1	172.4	90.7	18.8
14/10/2013	13.8	5.6	3.7	2.2	0.0	222.0	237.7	176.1	92.9	18.8
15/10/2013	12.3	2.4	3.4	0.3	1.8	234.2	240.1	179.5	93.2	20.6
16/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	234.2	240.1	179.5	93.2	20.6
17/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	234.2	240.1	179.5	93.2	20.6
18/10/2013	16.0	1.2	4.3	1.4	4.6	250.2	241.3	183.8	94.6	25.2
19/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	250.2	241.3	183.8	94.6	25.2
20/10/2013	15.3	3.9	0.0	8.4	5.2	265.5	245.2	183.8	103.0	30.4

ชุดการทดลอง D

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30/9/2013	0.0	9.0	6.2	0.0	0.0	0.0	9.0	6.2	0.0	0.0
1/10/2013	13.0	14.3	4.0	1.2	0.0	13.0	23.3	10.2	1.2	0.0
2/10/2013	33.0	15.5	14.5	3.8	0.0	46.0	38.8	24.7	5.0	0.0
3/10/2013	26.0	31.0	9.5	3.4	0.0	72.0	69.8	34.2	8.4	0.0
4/10/2013	15.0	31.0	6.8	9.3	0.1	87.0	100.8	41.0	17.7	0.1
5/10/2013	21.0	24.0	15.0	17.5	17.5	108.0	124.8	56.0	35.2	17.6
6/10/2013	3.0	18.8	5.1	0.0	0.0	111.0	143.5	61.1	35.2	17.6
7/10/2013	4.4	6.4	2.3	0.1	0.0	115.4	149.9	63.4	35.3	17.6
8/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.4	149.9	63.4	35.3	17.6
9/10/2013	19.5	18.0	14.0	6.0	5.1	134.9	167.9	77.4	41.3	22.7
10/10/2013	15.0	14.0	9.8	4.8	0.5	149.9	181.9	87.2	46.1	23.2
11/10/2013	13.5	19.8	11.8	12.3	0.0	163.4	201.7	99.0	58.3	23.2
12/10/2013	13.5	19.5	8.0	0.0	0.0	176.9	221.2	107.0	58.3	23.2

ชุดการทดลอง D (ต่อ)

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
13/10/2013	6.2	20.0	8.6	0.0	0.0	183.1	241.2	115.6	58.3	23.2
14/10/2013	10.0	10.0	4.0	0.0	0.0	193.1	251.2	119.6	58.3	23.2
15/10/2013	8.5	1.2	7.8	3.4	3.2	201.6	252.4	127.4	61.7	26.4
16/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6	252.4	127.4	61.7	26.4
17/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6	252.4	127.4	61.7	26.4
18/10/2013	14.0	0.0	4.2	0.1	2.1	215.6	252.4	131.6	61.8	28.5
19/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	215.6	252.4	131.6	61.8	28.5
20/10/2013	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	227.6	252.4	131.6	61.8	28.5

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , B , D

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (มิลลิลิตร) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมเฉลี่ย (มิลลิลิตร) อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
29/9/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30/9/2013	0.0	12.7	2.2	0.0	0.0	0.0	12.7	2.2	0.0	0.0
1/10/2013	10.6	14.9	9.1	4.5	0.0	10.6	27.6	11.3	4.5	0.0
2/10/2013	27.0	23.5	20.5	9.1	0.7	37.6	51.1	31.8	13.6	0.7
3/10/2013	39.2	30.7	17.7	8.0	3.4	76.8	81.8	49.5	21.5	4.1
4/10/2013	24.7	24.0	11.9	9.3	2.2	101.4	105.8	61.4	30.8	6.3
5/10/2013	28.3	23.2	17.5	16.8	11.5	129.8	128.9	78.9	47.6	17.8
6/10/2013	9.7	12.2	8.7	2.2	0.0	139.4	141.1	87.6	49.8	17.8
7/10/2013	4.2	5.6	4.5	3.1	0.0	143.6	146.6	92.1	52.9	17.8
8/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	143.6	146.6	92.1	52.9	17.8
9/10/2013	21.3	19.2	18.8	12.0	1.7	165.0	165.8	111.0	64.9	19.5
10/10/2013	15.8	13.8	10.4	6.0	2.4	180.7	179.6	121.4	70.9	21.9
11/10/2013	18.2	17.3	11.3	8.3	0.9	198.9	196.8	132.6	79.2	22.8
12/10/2013	18.2	12.9	5.7	2.7	0.5	217.0	209.7	138.3	81.9	23.3

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , B , D (ต่อ)

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมเฉลี่ย (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
13/10/2013	14.6	11.7	5.8	1.0	0.8	231.6	221.4	144.1	82.9	24.1
14/10/2013	11.8	10.4	3.7	1.7	0.9	243.4	231.8	147.9	84.6	25.0
15/10/2013	8.7	2.5	4.8	3.6	2.7	252.1	234.3	152.7	88.3	27.8
16/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	252.1	234.3	152.7	88.3	27.8
17/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	252.1	234.3	152.7	88.3	27.8
18/10/2013	15.3	1.7	3.4	1.1	3.8	267.4	236.0	156.1	89.4	31.6
19/10/2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	267.4	236.0	156.1	89.4	31.6
20/10/2013	9.1	2.2	2.7	4.7	2.0	276.5	238.3	158.8	94.0	33.6

ตารางที่ ง-2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ในการทดลองครั้งที่ 2 ชุดการทดลอง A และ D แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 5 อัตราส่วน และค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง A

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/3/2014	7.4	16.0	0.0	0.0	0.0	7.4	16.0	0.0	0.0	0.0
11/3/2014	19.3	22.0	3.6	7.5	0.5	26.7	38.0	3.6	7.5	0.5
12/3/2014	29.0	13.5	10.0	8.2	8.0	55.7	51.5	13.6	15.7	8.5
13/3/2014	25.5	14.5	12.0	9.0	6.6	81.2	66.0	25.6	24.7	15.1
14/3/2014	19.0	22.0	12.0	9.6	16.5	100.2	88.0	37.6	34.3	31.6
15/3/2014	5.8	20.0	8.4	8.6	12.8	106.0	108.0	46.0	42.9	44.4
16/3/2014	13.3	18.5	11.5	10.5	22.5	119.2	126.5	57.5	53.4	66.9
17/3/2014	3.2	12.5	3.3	0.1	5.8	122.4	139.0	60.8	53.5	72.7
18/3/2014	7.8	14.0	10.5	3.6	3.7	130.2	153.0	71.3	57.1	76.4
19/3/2014	4.7	14.0	3.5	6.6	5.0	134.9	167.0	74.8	63.7	81.4
20/3/2014	0.0	8.9	0.6	0.0	2.2	134.9	175.9	75.4	63.7	83.6

ชุดการทดลอง A (ต่อ)

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
21/3/2014	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	134.9	178.6	75.4	63.7	83.6
22/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.9	178.6	75.4	63.7	83.6
23/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.9	178.6	75.4	63.7	83.6
24/3/2014	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	134.9	179.6	75.4	63.7	83.6
25/3/2014	0.0	0.1	0.2	0.4	6.6	134.9	179.7	75.6	64.1	90.2
26/3/2014	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	134.9	179.8	75.6	64.1	90.2
27/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.9	179.8	75.6	64.1	90.2
28/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.9	179.8	75.6	64.1	90.2
29/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.9	179.8	75.6	64.1	90.2

ชุดการทดลอง D

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/3/2014	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0
11/3/2014	49.5	4.3	7.6	11.3	1.0	56.3	4.3	7.6	11.3	1.0
12/3/2014	37.0	24.0	19.5	15.5	5.3	93.3	28.3	27.1	26.8	6.3
13/3/2014	24.5	26.5	7.9	14.8	5.6	117.8	54.8	35.0	41.5	11.9
14/3/2014	21.0	18.5	21.5	16.5	13.5	138.8	73.3	56.5	58.0	25.4
15/3/2014	16.0	15.0	11.0	14.5	7.0	154.8	88.3	67.5	72.5	32.4
16/3/2014	18.5	20.0	9.4	18.3	11.5	173.3	108.3	76.9	90.8	43.9
17/3/2014	15.5	14.5	11.0	13.5	6.8	188.8	122.8	87.9	104.3	50.7
18/3/2014	25.5	22.0	12.0	15.5	17.0	214.3	144.8	99.9	119.8	67.7
19/3/2014	18.0	16.5	6.4	11.5	5.6	232.3	161.3	106.3	131.3	73.3
20/3/2014	8.8	17.3	0.0	0.0	0.4	241.1	178.6	106.3	131.3	73.7
21/3/2014	3.0	11.5	0.0	0.0	0.0	244.1	190.1	106.3	131.3	73.7
22/3/2014	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	244.1	193.1	106.3	131.3	73.7
23/3/2014	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	244.1	194.7	106.3	131.3	73.7

ชุดการทดลอง D (ต่อ)

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
24/3/2014	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	244.1	196.7	106.3	131.3	73.7
25/3/2014	0.0	0.8	9.0	0.0	0.0	244.1	197.5	115.3	131.3	73.7
26/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	244.1	197.5	115.3	131.3	73.7
27/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	244.1	197.5	115.3	131.3	73.7
28/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	244.1	197.5	115.3	131.3	73.7
29/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	244.1	197.5	115.3	131.3	73.7

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , D

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมเฉลี่ย (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
10/3/2014	7.1	8.0	0.0	0.0	0.0	7.1	8.0	0.0	0.0	0.0
11/3/2014	34.4	13.2	5.6	9.4	0.8	41.5	21.2	5.6	9.4	0.8
12/3/2014	33.0	18.8	14.8	11.9	6.7	74.5	39.9	20.4	21.2	7.4
13/3/2014	25.0	20.5	10.0	11.9	6.1	99.5	60.4	30.3	33.1	13.5
14/3/2014	20.0	20.3	16.8	13.1	15.0	119.5	80.7	47.1	46.2	28.5
15/3/2014	10.9	17.5	9.7	11.6	9.9	130.4	98.2	56.8	57.7	38.4
16/3/2014	15.9	19.3	10.5	14.4	17.0	146.3	117.4	67.2	72.1	55.4
17/3/2014	9.4	13.5	7.2	6.8	6.3	155.6	130.9	74.4	78.9	61.7
18/3/2014	16.7	18.0	11.3	9.6	10.4	172.3	148.9	85.6	88.4	72.0
19/3/2014	11.4	15.3	5.0	9.1	5.3	183.6	164.2	90.6	97.5	77.3
20/3/2014	4.4	13.1	0.3	0.0	1.3	188.0	177.2	90.9	97.5	78.6
21/3/2014	1.5	7.1	0.0	0.0	0.0	189.5	184.3	90.9	97.5	78.6
22/3/2014	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	189.5	185.8	90.9	97.5	78.6
23/3/2014	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	189.5	186.6	90.9	97.5	78.6

ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง A , D (ต่อ)

วันที่	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (มิลลิลิตร)					ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมเฉลี่ย (มิลลิลิตร)				
	อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)					อัตราส่วนผสม (มูลสุกร : ผักตบชวา)				
	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)	(0 : 100)	(25 : 75)	(50 : 50)	(75 : 25)	(100 : 0)
24/3/2014	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	189.5	188.1	90.9	97.5	78.6
25/3/2014	0.0	0.5	4.6	0.2	3.3	189.5	188.6	95.5	97.7	81.9
26/3/2014	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	189.5	188.6	95.5	97.7	81.9
27/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.5	188.6	95.5	97.7	81.9
28/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.5	188.6	95.5	97.7	81.9
29/3/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.5	188.6	95.5	97.7	81.9

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากการทดลอง ครั้งที่ 1 และ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดลองครั้งที่ 1

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี(บางขุนเทียน)
เลขที่ 49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล
แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150 Fax 02-452-3466

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อลูกค้า / บริษัท ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อผู้ติดต่อ นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่

รายงานการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ตำแหน่ง	CH_4 (%)	CO_2 (%)	Bal (%)
ตัวอย่างที่ 1 (450)	6.4	4.1	89.5
ตัวอย่างที่ 2 (450)	6.2	3.5	90.3
ตัวอย่างที่ 3 (300)	4.6	2.9	92.5
ตัวอย่างที่ 4 (240)	4.3	2.5	93.2
ตัวอย่างที่ 5 (74)	0.5	0.9	98.6

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่งตัวอย่าง วันที่ 15 ตุลาคม 2556

ทดสอบตัวอย่างก๊าซชีวภาพ วันที่ 15 ตุลาคม 2556

หมายเหตุ

1. ตรวจวิเคราะห์ด้วย เครื่อง Gas Chromatograph Shimadzu รุ่น GC-14B
2. Bal หมายถึง ก๊าซอื่นๆ

ผู้รับตัวอย่าง
นางสาวจงกล พูนทวี

ผู้ทดสอบ
นางสาวจงกล พูนทวี

หน่วยบริการวิชาการและฝึกอบรม นางสาวนันทยา คล้ายอินทร์
โทร. 02-470-7400-1, 02-470-7450-2
โทรสาร 02-452-3466

รูปที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ จากการทดลองครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดลองครั้งที่ 2

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี(บางขุนเทียน)
เลขที่ 49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล
แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150 Fax 02-452-3466

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อลูกค้า / บริษัท ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชื่อผู้ติดต่อ นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่
รายงานการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ตำแหน่ง	CH_4 (%)	CO_2 (%)	Bal (%)
ตัวอย่างที่ 1	7.8	2.5	89.7
ตัวอย่างที่ 2	6.8	2.4	90.8
ตัวอย่างที่ 3	4.4	1.5	94.1
ตัวอย่างที่ 4	6.1	1.5	92.4
ตัวอย่างที่ 5	2.1	0.7	97.2

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่งตัวอย่าง วันที่ 19 มีนาคม 2557

ทดสอบตัวอย่างก๊าซชีวภาพ วันที่ 19 มีนาคม 2557

หมายเหตุ

1. ตรวจวิเคราะห์ด้วย เครื่อง Gas Chromatograph Shimadzu รุ่น GC-14B
2. Bal หมายถึง ก๊าซอื่นๆ

ผู้รับตัวอย่าง

นางสาวจงกล พูนทวี

ผู้ทดสอบ

นางสาวสุพรรณา จอมคำสิงห์

หน่วยบริการวิชาการและฝึกอบรม นางสาวนันทยา คล้ายอินทร์
โทร. 02-470-7400-1, 02-470-7450-2
โทรสาร 02-452-3466

รูปที่ จ-2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ จากการทดลองครั้งที่ 2

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์ค่าสารระเหยง่าย และการคำนวณอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม

และอัตราการเกิดก๊าซมีเทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 02-2188211, 02-2188213 โทรสาร. 02-2188212

รายงานผลวิเคราะห์

เจ้าของตัวอย่าง : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ : เลขที่ 254 อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
จุดเก็บตัวอย่าง : ....--........................ **ผู้เก็บตัวอย่าง :** นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่
ประเภทตัวอย่าง : มูลสุกร, ผักตบชวา, โคลนบ่อล้น **รหัสงานวิเคราะห์ :** 02023
วันที่ส่งตัวอย่าง : 15 พฤษภาคม 2557 **วันที่วิเคราะห์ :** 22 - 23 พฤษภาคม 2557

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลวิเคราะห์			วิธีวิเคราะห์
		มูลสุกร	ผักตบชวา	โคลนบ่อล้น	
VSS	g/Kg	108	9	503	Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C 2540 E.

BASED ON STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd Edition (2012)

หมายเหตุ : รายงานฉบับนี้รับรองผลให้เฉพาะตัวอย่างที่ส่งตรวจเท่านั้น ห้ามนำไปใช้อ้างอิงเพื่อการค้าหรือโฆษณาสินค้า การคัดลอกหรือสำเนารายงานผลวิเคราะห์ไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้อำนวยการสถาบันฯ

....
(นางสาววลีพร ศรีเพ็ญประภา)
ผู้วิเคราะห์
29 / พค. / 57

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
29 / พค. / 57

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ฉ-1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารระเหยง่าย

ตัวอย่างการคำนวณค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม

1. อัตราส่วน 0 : 100

   น้ำหนักมูล 5.8 กรัม น้ำหนักผักตบชวา 0 กรัม น้ำหนักโคลนบ่อล้น 20.4 กรัม

   รวมน้ำหนักวัตถุดิบหมัก 26.2 กรัม = 26.2×10^{-3} กิโลกรัม

   ทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 276.5 มิลลิลิตร = 0.2765 ลิตร

   ทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 189.5 มิลลิลิตร = 0.1895 ลิตร

   ค่าสารระเหยง่าย มูลสุกร 108 กรัมต่อกิโลกรัม ผักตบชวา 9 กรัมต่อกิโลกรัม

   โคลนบ่อล้น 503 กรัมต่อกิโลกรัม

   หาค่า สารระเหยง่าย = ((0x108)+(1x9))+503 กรัมต่อกิโลกรัม

   = 512 กรัมต่อกิโลกรัม

   ค่าสารละเหยง่ายวัตถุดิบหมัก = (512 กรัมต่อกิโลกรัม) x (26.2×10^{-3} กิโลกรัม)

   = 1.34×10^{-2} กิโลกรัม

   ทดลองครั้งที่ 1

   อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม = ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม / สารระเหยง่ายวัตถุดิบหมัก

   = 0.2765/(1.34×10^{-2}) ลิตรก๊าซชีวภาพต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

   = 20.6 ลิตรก๊าซชีวภาพต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

   ทดลองครั้งที่ 2

   อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม = ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม / สารระเหยง่ายวัตถุดิบหมัก

   = 0.1895/(1.34×10^{-2}) ลิตรก๊าซชีวภาพต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

   = 14.1 ลิตรก๊าซชีวภาพต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างการคำนวณค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทน

2. อัตราส่วน 25 : 75

ร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6.2 ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6.8

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

ทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 238.3 มิลลิลิตร = 0.2383 ลิตร

ทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 188.6 มิลลิลิตร = 0.1886 ลิตร

ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม

ทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม = (0.2383 ลิตร x 6.2) / 100 = 1.48×10^{-2} ลิตร

ทดลองครั้งที่ 2 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม = (0.1886 ลิตร x 6.8) / 100 = 1.28×10^{-2} ลิตร

น้ำหนักมูล 4.4 กรัม , น้ำหนักผักตบชวา 10.4 กรัม , น้ำหนักโคลนบ่อล้น 20.4 กรัม

รวมน้ำหนักวัตถุดิบหมัก 35.2 กรัม = 35.2×10^{-3} กิโลกรัม

ค่าสารระเหยง่าย มูลสุกร 108 กรัมต่อกิโลกรัม ผักตบชวา 9 กรัมต่อกิโลกรัม

โคลนบ่อล้น 503 กรัมต่อกิโลกรัม

หาค่า สารระเหยง่าย = ((0.25x108)+(0.75x9))+503 กรัมต่อกิโลกรัม

= 536.8 กรัมต่อกิโลกรัม

ค่าสารละเหยง่ายวัตถุดิบหมัก = (536.8 กรัมต่อกิโลกรัม) x (35.2×10^{-3} กิโลกรัม)

= 1.89×10^{-2} กิโลกรัม

ทดลองครั้งที่ 1

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสม = ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม / สารระเหยง่ายวัตถุดิบหมัก

= (1.48×10^{-2})/(1.89×10^{-2}) ลิตรก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

= 0.782 ลิตรก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

ทดลองครั้งที่ 2

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสม = ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม / สารระเหยง่ายวัตถุดิบหมัก

= $(1.28 \times 10^{-2})/(1.89 \times 10^{-2})$ ลิตรก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

= 0.679 ลิตรก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมสารระเหยง่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ช

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบหมัก

เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสีย ครั้งที่ 1

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 02-2188211, 02-2188213 โทรสาร. 02-2188212

รายงานผลวิเคราะห์

เจ้าของตัวอย่าง : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ : เลขที่ 254 อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
จุดเก็บตัวอย่าง : ....--........................ **ผู้เก็บตัวอย่าง :** นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่
ประเภทตัวอย่าง : น้ำเสียผสม (มูลสัตว์ : ผักตบชวา) **รหัสงานวิเคราะห์ :** 01954
วันที่ส่งตัวอย่าง : 15 ตุลาคม 2556 **วันที่วิเคราะห์ :** 15 - 31 ตุลาคม 2556

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลวิเคราะห์					วิธีวิเคราะห์
		C1 (0 : 100)	C2 (25 : 75)	C3 (50 : 50)	C4 (75 : 25)	C5 (100 : 0)	
pH	-	7.0	7.1	7.1	7.2	7.4	Electrometric Method 4500-H^+ B.
BOD_5	mg/L	230	235	220	267	248	5-Days BOD Test 5210 B.
COD	mg/L	11,300	6,570	5,888	7,784	5,684	Open Reflux Method 5220 B.
TSS	mg/L	10,895	9,340	9,355	9,820	8,975	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C 2540 D.
TKN	mg/L	509	448	419	444	351	Macro-Kjeldahl Method 4500-N_{org} B.

BASED ON STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd Edition (2012)

หมายเหตุ : รายงานฉบับนี้รับรองผลให้เฉพาะตัวอย่างที่ส่งตรวจเท่านั้น ห้ามนำไปใช้อ้างอิงเพื่อการค้าหรือโฆษณาสินค้า
การคัดลอกหรือสำเนารายงานผลวิเคราะห์ไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้อำนวยการสถาบันฯ

....
(นางสาววลีพร ศรีเพ็ญประภา)
ผู้วิเคราะห์
31 / 10 / 56

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
4 / 11 / 56

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ช-1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษ จากการทดลองครั้งที่ 1

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษของน้ำเสีย ครั้งที่ 2

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 02-2188211, 02-2188213 โทรสาร. 02-2188212

รายงานผลวิเคราะห์

เจ้าของตัวอย่าง : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ : เลขที่ 254 อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
จุดเก็บตัวอย่าง : ....--...................... **ผู้เก็บตัวอย่าง :** นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่
ประเภทตัวอย่าง : น้ำเสียผสม (มูลสัตว์ : ผักตบชวา) **รหัสงานวิเคราะห์ :** 02000
วันที่ส่งตัวอย่าง : 19 มีนาคม 2557 **วันที่วิเคราะห์ :** 19 มีนาคม – 11 เมษายน 2557

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลวิเคราะห์					วิธีวิเคราะห์
		C1 (0 : 100)	C2 (25 : 75)	C3 (50 : 50)	C4 (75 : 25)	C5 (100 : 0)	
pH	-	7.3	7.2	7.2	7.3	7.4	Electrometric Method 4500-H^+ B.
BOD_5	mg/L	237	414	358	255	321	5-Days BOD Test 5210 B.
COD	mg/L	12,214	9,036	8,838	7,845	7,944	Open Reflux Method 5220 B.
TSS	mg/L	1,985	8,505	8,710	8,700	8,750	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C 2540 D.

BASED ON STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd Edition (2012)

หมายเหตุ : รายงานฉบับนี้รับรองผลให้เฉพาะตัวอย่างที่ส่งตรวจเท่านั้น ห้ามนำไปใช้อ้างอิงเพื่อการค้าหรือโฆษณาสินค้า
การคัดลอกหรือสำเนารายงานผลวิเคราะห์ไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้อำนวยการสถาบันฯ

(นางสาววลีพร ศรีเพ็ญประภา)
ผู้วิเคราะห์
21 / 4 / 57

(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
21 / เม.ย. / 57

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ช-2 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นมลพิษ จากการทดลองครั้งที่ 2

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่ เกิดเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2527 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2550 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรมหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 เข้ารับราชการสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน เมื่อปีพุทธศักราช 2552 ถึง ปัจจุบัน โดยปฏิบัติราชการประจำ ณ สำนักงานพลังงานจังหวัดราชบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University