การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่ม
และโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์

นางสาววิชชุตา ตุ่มทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOGAS PRODUCTION OF CO - DIGESTION FROM BEVERAGE INDUSTRY WASTE AND ORGANIC FERTILIZER WASTE

Miss Vitchuta Toomthong

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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มและโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์
โดย	นางสาววิชชุตา ตุ่มทอง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. วรพงศ์ ตั้งอิทธิพลากร)

วิชชุตา ตุ่มทอง : การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มและโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (BIOGAS PRODUCTION OF CO - DIGESTION FROM BEVERAGE INDUSTRY WASTE AND ORGANIC FERTILIZER WASTE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา, 153 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทาการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากน้ำเสียที่ใช้ล้างลานวัตถุดิบที่สำหรับใช้ในการผลิตปุ๋ย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักร่วมของกากตะกอนที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มจากทั้งหมด 4 ตัวอย่างคือ นม เบียร์ กาแฟ และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง หมักร่วมกับกากตะกอนจากบ่อบำบัดของโรงปุ๋ยซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ในอัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 โดยใช้น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักเป็นเกณฑ์ ศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ เติมวัตถุดิบครั้งเดียวแบบแบตช์ บนโต๊ะเขย่าสารใช้ระบบหมักแบบไร้อากาศ

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด ทั้งปริมาณต่อวันและปริมาณสะสม คืออัตราส่วนการหมัก 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่ใช้หมักร่วมแล้วเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ นม ที่ 272 มิลลิลิตร รองลงมาคือกาแฟ 162 มิลลิลิตร เบียร์ 139 มิลลิลิตรและเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 128 มิลลิลิตรตามลำดับ การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซพบว่า การเพิ่มกากอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัตถุดิบหมักร่วมกับกากตะกอนโรงปุ๋ยทำให้องค์ประกอบของก๊าซ (มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์) ลดลงกว่าการหมักโดยใช้กากตะกอนเพียงอย่างเดียว อัตราส่วนการหมักร่วมที่ให้ก๊าซมีเทนสูงสุดคือ การหมักของกากตะกอนกับกากอุตสาหกรรม 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่ใช้หมักร่วมแล้วเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดได้แก่ นม พบก๊าซมีเทนร้อยละ 20.99 รองลงมาคือกาแฟร้อยละ 15.89 จากการคำนวณพลังงานความร้อน ที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพ อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้พลังงานความร้อนสูงสุดจากการหมักคือ 75:25 ซึ่งกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมคือ นม ให้พลังงานความร้อน 2530.923 จูล จากการศึกษาพบว่า การเติมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มเพื่อใช้ในการหมักร่วมกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้ค่ามีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพลดลงและช่วยให้ได้ปริมาณก๊าซเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ได้พลังงานร้อนเพิ่มสูงขึ้น อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 75:25 และกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมคือ นม

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5787581720 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: PROCESS / BEVERAGE INDUSTRY WASTE / BIOGAS / WASTE WATER / HEATING VALUE

VITCHUTA TOOMTHONG: BIOGAS PRODUCTION OF CO - DIGESTION FROM BEVERAGE INDUSTRY WASTE AND ORGANIC FERTILIZER WASTE. ADVISOR: SUPAWAT VIVANPATARAKIJ, D.Eng., CO-ADVISOR: FASAI WIWATWONGWANA, Ph.D., 153 pp.

This Research aims to study efficiency of Bio Co-digestion from Beverage Industry Waste and Organic Fertilizer Raw Material. The waste water of Covered Lagoon treatment process was produced Biogas come from waste water cleaning raw material field. The Researcher was studied suitable mixing ratio between Beverage Industry Waste were taken from milk, Beer, Coffee and Energy Drink mixing with Organic Fertilizer Raw Material. For this Study, mixing ratio are 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 considered by dry basis and using Shaker Machine.

The experimental result showed the proportion 75:25 illustrate the maximum quantity of biogas accumulated equal 272 ml by milk. And less than accumulate were Coffee equal 162 ml, Beer equal 139 ml, minimum cumulative biogas volume equal 128 ml from Energy Drink. The Analysis of the gas composition results that showed, the blend of Beverage Industry Waste per Organic Fertilizer Raw Material were decrease the gas production (Methane and Carbondioxide) more than only Organic Fertilizer Raw Material The study found mixing ratio the blend of Beverage Industry Waste per Organic Fertilizer Raw Material has the highest percentage of Methane ratio is 75:25 from milk and its produced 2,530.923 joule , Coffee equal 1,141.132 joule, Beer equal 840.479 joule and Energy Drink equal joule of heating value. Experiment results on mixed more Beverage Industry Waste blend with Organic Fertilizer Raw Material decrease methane and the proportion 75:25 to make highest gas production and the heating value. The milk was suitable for mixing with Organic Fertilizer Raw Material.

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
		Advisor's Signature .....
Academic Year:	2016	Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี จากความกรุณาอย่างสูงของอาจารย์ ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา แนะแนวทางในการแก้ปัญหา ให้ทุนสนับสนุนในการทำการวิจัยตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ผศ.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ และอาจารย์ ดร.วรพงศ์ ตั้งอิทธิพลากรที่สละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชา เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้ออำนวยความสะดวก ช่วยเหลือในการประสารงานต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณวีรวิทย์ วัฒนาสวัสดิ์ คุณอนุชา สุคันธตูน คุณชัยณรงค์ ใจเที่ยง และเจ้าหน้าที่สถานีบริการก๊าซธรรมชาติหลัก สายงานก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ทุกท่าน ที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการวิจัย สนับสนุนและส่งเสริมในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ตั้งแต่ต้นจนจบ ขอบคุณคุณวิษณุ สายรัตนทองคำ พี่ๆเพื่อนๆทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนและให้กำลังใจ เพื่อเป็นแรงผลักดันแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ขอกราบของพระคุณบิดามารดา ผู้ให้ความสนับสนุน ให้ความรัก ความเข้าใจและกำลังใจ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 8
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 8
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 9
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 9
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas) 12
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ 14
2.2.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) 14
2.2.2 ปริมาตรของเหลวในระบบ (Dilution) 14
2.2.3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) 15
2.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 15
2.2.5 อุณหภูมิ (Temperature) 16
2.2.6 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา (Toxic and Inhibit) 17
2.2.7 ระยะเวลาเก็บกัก (Retention Time) 18
2.2.8 การกวนผสม (Mixing) 18
2.3 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ 19
2.3.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ 20
2.4 ระบบบำบัดแบบ Covered Lagoon 24
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 30
3.1 การดำเนินการวิจัย 30
3.2 วัตถุดิบ/การเตรียมวัตถุดิบ ในกระบวนการย่อย 30
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 32
3.4 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตช์ 32
3.5 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ 33
3.6 วิธีการดำเนินการวิจัย 34
3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย 35
3.8 การเก็บตัวอย่าง 36
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 37
4.1 ผลการวิเคราะห์ 37
4.1.1 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก 37
4.1.2 ค่าน้ำหนักของวัตถุดิบหมักเมื่อใช้ในการทดลอง 41
4.1.3 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ 43
4.1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 43
4.1.5 ค่า COD (Chemical Oxygen Demand) 44
4.1.6 อุณหภูมิระหว่างการทดลอง 44
4.1.5 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากการหมักต่อวัน 52
4.1.6 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจากการหมัก 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.1.7 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ 88
4.2 ผลการเปรียบเทียบ 92
4.3 การคำนวณความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ 113
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 116
5.1 สรุปและอภิปรายผลวิจัย 116
5.2 ข้อเสนอแนะ 117
รายการอ้างอิง 119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 153

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำเสีย 12
ตารางที่ 2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์ 13
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร 14
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบข้อดีและอุปสรรคของระบบ Covered Lagoon 25
ตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก 40
ตารางที่ 6 อัตราส่วนของวัตถุดิบหมักโดยใช้น้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ 41
ตารางที่ 7 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ 43
ตารางที่ 8 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 44
ตารางที่ 9 ค่า Chemical Oxygen Demand 44
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์) 89
ตารางที่ 11 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้จากการคำนวณสารประกอบอินทรีย์ 92
ตารางที่ 12 แสดงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทนและค่าความร้อนที่ได้ 111
ตารางที่ 13 ประมาณการค่าใช้จ่ายสำหรับการก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพ 114
ตารางที่ 14 ประมาณการค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ตามทางเลือก 115

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ผลอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ 16
รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการทำงาน และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 16
รูปที่ 3 ลักษณะการกวนผสม 18
รูปที่ 4 แผนผังกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานทดแทน 19
รูปที่ 5 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ 21
รูปที่ 6 บ่อระบบ Covered Lagoon 26
รูปที่ 7 ลักษณะของ Covered Lagoon 26
รูปที่ 8 การปล่อยกากอุตสาหกรรมออกจากรถ 31
รูปที่ 9 บริเวณบ่อล้นหมักตะกอนตะกอนจุลินทรีย์ชีวภาพที่เป็นจุดเก็บกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ ... 31
รูปที่ 10 ลักษณะบ่อหมักตะกอนจุลินทรีย์ก๊าซชีวภาพ 31
รูปที่ 11 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตช์ 33
รูปที่ 12 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ 34
รูปที่ 13 ตัวอย่างชุดทดลองหมักจำนวน 27 ชุด 34
รูปที่ 14 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่ของน้ำ 36
รูปที่ 15 บ่อน้ำล้นที่ใช้สำหรับปล่อยกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ที่ค้างภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ .. 37
รูปที่ 16 กากอุตสาหกรรมนม 38
รูปที่ 17 กากอุตสาหกรรมเบียร์ 39
รูปที่ 18 กากอุตสาหกรรมกาแฟ 39
รูปที่ 19 กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 40
รูปที่ 20 อุณหภูมิระบบของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรย์กับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ 45
รูปที่ 21 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 0:100 45
รูปที่ 22 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 0:100 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

รูปที่ 23 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0:100 46
รูปที่ 24 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100..... 46
รูปที่ 25 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25..... 46
รูปที่ 26 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25..... 47
รูปที่ 27 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25 47
รูปที่ 28 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25..... 47
รูปที่ 29 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50..... 48
รูปที่ 30 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50..... 48
รูปที่ 31 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50 48
รูปที่ 32 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50..... 49
รูปที่ 33 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75..... 49
รูปที่ 34 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75..... 49
รูปที่ 35 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75 50
รูปที่ 36 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 25:75..... 50
รูปที่ 37 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและภายในระบบหมัก (°C) 51
รูปที่ 38 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับการอุตสาหกรรมอื่นๆ อัตราส่วน 100:0..... 52
รูปที่ 39 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 0:100..... 53
รูปที่ 40 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 0:100..... 54

Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 41 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0:100 55

รูปที่ 42 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100 56

รูปที่ 43 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25 57

รูปที่ 44 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25 58

รูปที่ 45 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25 59

รูปที่ 46 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25 60

รูปที่ 47 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50 61

รูปที่ 48 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์บกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50 62

รูปที่ 49 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50 63

รูปที่ 50 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50 64

รูปที่ 51 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75 65

รูปที่ 52 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75 66

รูปที่ 53 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75 67

หน้า

รูปที่ 54 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม บำรุงกำลัง อัตราส่วน 25:75 68

รูปที่ 55 สรุปปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันตามอัตราส่วนต่างๆ 69

รูปที่ 56 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรม โรงงานผลิตเครื่องดื่ม อัตราส่วน 100:0 71

รูปที่ 57 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 0:100 72

รูปที่ 58 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 0:100 73

รูปที่ 59 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0:100 74

รูปที่ 60 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม บำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100 75

รูปที่ 61 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25 76

รูปที่ 62 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25 77

รูปที่ 63 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25 78

รูปที่ 64 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม บำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25 79

รูปที่ 65 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50 80

รูปที่ 66 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 67 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50 82

รูปที่ 68 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50 83

รูปที่ 69 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75 84

รูปที่ 70 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75 85

รูปที่ 71 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75 86

รูปที่ 72 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 25:75 87

รูปที่ 73 สรุปปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมตามอัตราส่วนต่างๆ 88

รูปที่ 74 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซชีวภาพมีเทน ตามอัตราส่วนต่างๆ 91

รูปที่ 75 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซชีวภาพคาร์บอนไดออกไซด์ ตามอัตราส่วนต่างๆ 91

รูปที่ 76 ค่า C/N Ratio 93

รูปที่ 77 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ อัตราส่วน 100:0 94

รูปที่ 78 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 100:0 95

รูปที่ 79 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 100:0 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 80 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 100:0 97

รูปที่ 81 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 100:0..... 98

รูปที่ 82 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25 99

รูปที่ 83 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25..... 100

รูปที่ 84 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25 101

รูปที่ 85 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25..... 102

รูปที่ 86 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50..... 103

รูปที่ 87 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50..... 104

รูปที่ 88 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50 105

หน้า

รูปที่ 89 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50 106

รูปที่ 90 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75 107

รูปที่ 91 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75..... 108

รูปที่ 92 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75 109

รูปที่ 93 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 25:75 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเศรษฐกิจของประเทศมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ ขยะและของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ที่เรียกว่า กากอุตสาหกรรม [1] ปัจจุบันกากอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นมีจำนวนมากถึง 2.04 ล้านตัน/ปี คิดเป็น 77% จากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด 2.65 ล้านตัน/ปี โดยกระบวนการกำจัดกากอุตสาหกรรมมีหลายประเภท เช่น การฝังกลบ การเผาทำลายในเตาเผา การนำกลับมาใช้ใหม่ ฯลฯ แต่กระบวนการกำจัดที่เป็นที่นิยมของขยะไม่อันตรายนั้นได้แก่กระบวนการฝังกลบ ซึ่งเป็นการกำจัดที่ราคาถูกและสะดวกในการทำลายมากที่สุด

กระบวนการกำจัดโดยวิธีการฝังกลบนี้ เป็นกระบวนการที่ไม่สามารถนำกากอุตสาหกรรมทำลายมาใช้ประโยชน์ต่อได้ ทำให้เกิดการศูนย์เสียมูลค่าของกากอุตสาหกรรมบางประเภท ที่สามารถใช้ประโยชน์ต่อ เช่น กากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มไม่เป็นอันตราย วิธีการกำจัดใช้กระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติ โดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบแบบไม่เป็นอันตราย (Land Fill) โดยจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะมีก๊าซมีเทน (CH_4), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่นๆ ที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อหลุมฝังกลบ[2] ทำให้ต้องมีกระบวนการกำจัดก๊าซที่เกิดขึ้นและนำไปกำจัดทิ้งอย่างไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายนี้สามารถนำไปผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ และนำก๊าซมีเทน เพื่อนำกลับมาใช้ให้ความร้อนเกิดประโยชน์ต่อไป

การศึกษาวิจัยนี้ผู้ศึกษาสนใจการนำกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มมาเป็นวัตถุดิบร่วมในการผลิตก๊าซชีวภาพของบ่อปิดภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาวิจัยที่มีการจัดทำรายงานไว้พบว่าการหมักร่วมของสารอินทรีย์มากกว่า 1 ชนิด สามารถเพิ่มปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพได้ตามรายงานของ Energy Systems Engineering Institute และจากรายงานของกองการจัดการสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ (2550) พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และเยื่อกระดาษ จำนวน 26 โรงงานมีปริมาณน้ำเสียและกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพเกิดขึ้นประมาณ 40,200 ตัน/เดือน/โรงงาน และคิดเป็นปริมาณน้ำเสียและกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพเกิดขึ้นทั้งหมด 1,045,200 ตัน/เดือน และมีปริมาณการนำไปใช้ประโยชน์เฉลี่ย 8,333 ตัน/เดือน/โรงงาน หรือคิดเป็นปริมาณการนำไปใช้ประโยชน์ 108,333 ตัน/เดือน หรือคิดเป็นร้อยละ

10.36 ของปริมาณที่เกิดขึ้นทั้งหมดของของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มจาก 4 ประเภทที่เป็นเครื่องดื่มที่นิยมในประเทศ เนื่องจากเป็นกากอุตสาหกรรมที่มีค่า COD สูง ซึ่งเป็นค่าที่บอกระดับความเน่าเสีย เพื่อนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ และค้นหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มจากทั้งหมด 4 ตัวอย่าง เพื่อให้ปริมาตรและคุณภาพก๊าซชีวภาพสูงที่สุด

1.2.2 เพื่อนำกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มที่เป็นเป้าหมาย ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์การปรับปรุงการผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการผลิตและใช้อยู่แล้วในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการหมักร่วมเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพและกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม จำนวน 4 โรงงาน ดังนี้

1) กากอุตสาหกรรมนม
2) กากอุตสาหกรรมเบียร์
3) กากอุตสาหกรรมกาแฟ
4) กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

1.3.2 กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ นำมาจากบ่อแบบไร้ออกซิเจนของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพในจังหวัดสุพรรณบุรี

1.3.3 ศึกษาการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) ภายใต้อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างผสมครั้งเดียวแบบแบตช์ (Batch) เขย่าตลอดเวลาโดยเครื่องการใช้เครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic Shaker) เป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน (07.00 – 19.00 น.)

1.3.4 ศึกษาผลการทดลองของการหมักร่วมระหว่างกากอุตสาหกรรมโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มกับกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ ที่อัตราส่วนร้อยละ (0:100, 75:25, 50:50, 25:75 และ 100:0)

1.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยนำส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ

1.3.6 วิเคราะห์ คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพดังนี้

1) ปริมาตรก๊าซชีวภาพ

2) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี หลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้อง และเทียบกับวิทยานิพนธ์อื่นๆ[3]

1.4.2 พิจารณาเลือกกากอุตสาหกรรมจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม เพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

1.4.3 จัดหาอุปกรณ์สำหรับใช้เก็บตัวอย่างและหมักให้เกิดก๊าซชีวภาพ จำนวน 4 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะมีการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลองในอัตราส่วน (0:100), (25:75), (50:50), (75:25) และ (100:0)

1.4.4 วิเคราะห์สมบัติของของผสม ณ ห้องปฏิบัติการ

1.4.5 ศึกษาอัตราส่วนที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ จากอัตราส่วนผสมระหว่างกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มและกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ ปากบ่อปิดแบบไร้ออกซิเจนของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์

1.4.6 เปรียบเทียบปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากอัตราส่วนผสมของแต่ละอัตราส่วน

1.4.7 รวบรวมผลการศึกษาทดลอง วิเคราะห์ สรุปผลการศึกษา และจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาและวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากกากอุตสาหกรรม โรงงานผลิตเครื่องดื่มที่มีความนิยมในตลาดทั้ง 4 ตัวอย่าง และสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานหรือเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

1.5.2 ทำให้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่มาจากกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ เพื่อให้ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด

1.5.3 เป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายจากการนำกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มไปกำจัดและช่วยลดต้นทุนในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการการหมักแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion biochemical processes) โดยอาศัยกระบวนการให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน 2 กลุ่มทำงาน [4] ได้แก่ แบคทีเรียชนิดที่ไม่สร้างมีเทน (Non-methanogenic Bacteria) และแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) โดยหลังจากที่ผ่านกระบวนการมาแล้ว ผลผลิตที่ได้จะได้ก๊าซมีเทน 50-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-40% และที่เหลือจะเป็นก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจน อีกเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพนั้น โดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่นำไปเป็นวัตถุดิบที่จะใช้ในกระบวนการหมักที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ [5]

David A. Till Man ได้การศึกษาและพบว่าน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตโรงงานหนึ่งสามารถทำให้เกิดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้ดังตารางที่ 1 นี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำเสีย

Component	Vol%
H_2	25.7
CO	1.5
CH_4	37.4
N_2	2.9
C_25	27.5
C_35	2.9
C_45	1.7
C_55	0.4
Total	100
Lower Heating Value (MJ/m^3)	38.8
Lower Heating Value (Btu/ft^3)	984

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คมสัน หุตะแพทย์ (2556) ระบุไว้ในหนังสือความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Digester Gas) โดยทั่วไปหมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรียวัตถุ ประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยนของเสียประเภทอินทรีย์ทั้งหลายไปเป็นกระแสไฟฟ้า นอกจากกำจัดขยะได้แล้ว ยังทำลายเชื้อโรคได้ด้วย การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นการบริหารจัดการของเสียที่ควรได้รับการสนับสนุน เพราะเป็นการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ส่วนการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพ ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนจะสะอาดกว่า และจากการศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มจากบทความเรื่อง Biogas Solution for Food and Beverage Industry สามารถที่จะผลิตก๊าซชีวภาพและลดก๊าซเรือนกระจกได้เช่นกัน [7]

กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพนั้น การย่อยสลายทำหน้าที่โดยจุลินทรีย์หลายจำพวกที่สามารถทำงานได้ในสภาวะดังกล่าว และสามารถแสดงได้โดยสมการที่ [1]

$$\text{Organic Matter} \longrightarrow CH_4+CO_2+H_2+NH_3+H_2S \qquad [1]$$

ทั้งนี้ ในก๊าซชีวภาพ จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่สำหรับย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาวะไร้ออกซิเจนนอกจากจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วยังสามารถทำให้เกิดก๊าซต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถใช้ทดแทนก๊าซได้ตามตารางที่ 3

Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์

ชนิดของก๊าซ	ปริมาณ
มีเทน	50 – 60 %
คาร์บอนไดออกไซด์	25 – 35 %
ไนโตรเจน	2 – 7 %
ไฮโดรเจน	1 – 5 %
คาร์บอกากอุตสาหกรรมนมอนอกไซด์	เล็กน้อย
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	เล็กน้อย
ก๊าซอื่นๆ	เล็กน้อย

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร

เชื้อเพลิง	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60	ลิตร
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
ไฟฟ้า	1.20	กิโลวัตต์ชั่วโมง

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.2.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากคาร์บอนและไนโตรเจนจะถูกแบคทีเรียนำไปสร้างโปรโตพลาสซึ่มของเซลล์ใหม่และสร้างกำลังบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 24-30 ต่อ 1 หากสัดส่วน C/N สูงเกินไป ไนโตรเจนจะหมดไปอย่างรวดเร็วทำให้การเกิดแบคทีเรียเซลล์ใหม่ลดลง เป็นผลให้การเกิดก๊าซชีวภาพลดลง แต่ทางตรงกันข้าม สัดส่วน C/N ต่ำเกินไป จะทำให้มีไนโตรเจนมากเกินกว่าที่แบคทีเรียจะย่อยสลายได้หมด ทำให้เกิดแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียและยับยั้งกระบวนการเกิดก๊าซ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของระบบหมักไร้อากาศ (BOD:N:P) ควรเป็น 100:0.5:0.1 การทดลองเติมวัสดุหมักร่วมลงในวัสดุหมักเดิม ดำเนินการโดยใช้การหมักเศษผักผลไม้และหมักร่วมด้วย เศษปลา น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ กากของเสียที่ผ่านกระบวนการ Activated Sludge พบว่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการหมักร่วมระหว่างเศษ ผักผลไม้ กับ วัสดุหมักร่วมมีค่าอยู่ระหว่าง 22-25 และปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ คือ การเติมวัสดุหมักร่วมที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

2.2.2 ปริมาตรของเหลวในระบบ (Dilution)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ หากมีของแข็งน้อยหรือเจือจางเกินไปจะทำให้ของแข็งบางส่วนเกิดการตกตะกอน การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้น้อยลง แต่ถ้าของแข็งในระบบมากเกินไป ของแข็งจะอยู่กันอย่างหนาแน่นเกิดการขัดขวางการไหลขึ้นของก๊าซและทำให้การหมุนวนของของเหลวในระบบเป็นไปได้ยาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยลง โดยความเข้มข้นของของแข็งรวมที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10-25

2.2.3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate)

เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนและการเกิดก๊าซชีวภาพ หากป้อนสารอินทรีย์ในระบบมากเกินไปทำให้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพล้มเหลว เนื่องจากระบบเกิดมีกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากทำให้ค่าพีเอชต่ำลงจนทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนตาย แต่หากป้อนสารอินทรีย์น้อยเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการหมักเป็นไปไม่เต็มที่ การเติมอย่างต่อเนื่องหรือเติมเป็นช่วงๆ อย่างสม่ำเสมอจะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียมีความไวต่อความเข้มข้นของสารอาหาร ดังนั้นการเติมอย่างสม่ำเสมอจะลดปัญหาเรื่องนี้ได้ การป้อนสารอาหารเข้าสู่ระบบการบำบัดน้ำเสียมี 3 วิธี หลักๆ ได้แก่

2.2.3.1 การป้อนสารอินทรีย์ครั้งเดียว (Batch type feeding) เป็นวิธีการเติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียวลงในระบบการย่อยสลาย และปล่อยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายตัวเองด้วยแบคทีเรียที่มีในระบบนั้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ผู้วิจัยเลือกวิธีการนี้

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

2.2.3.3 การป้อนแบบต่อเนื่อง (Continuous type feeding) เป็นวิธีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น เป็นวิธีที่เหมาะกับแหล่งที่นำสารอินทรีย์มาเติมระบบได้อย่างต่อเนื่อง เช่น โรงงานที่มีการผลิตตลอดทั้งวัน มีปริมาณสารอินทรีย์ปล่อยทิ้งตลอดเวลา หรือ ฟาร์มขนาดใหญ่ที่มีการทำความสะอาดคอกสัตว์ตลอดทั้งวัน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพที่สำคัญมาก ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด (Acid forming bacteria) สามารถอาศัยอยู่และเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด และสามารถทนต่อสภาวะค่าพีเอชได้ถึง 4.5 ส่วนแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Prducing Bacteria) สามารถอาศัยอยู่และเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางจนถึงสภาวะที่ค่อนข้างเป็นด่าง ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสาหรับแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มอยู่ในช่วง 6.9-7.2 และค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 7.0–7.2

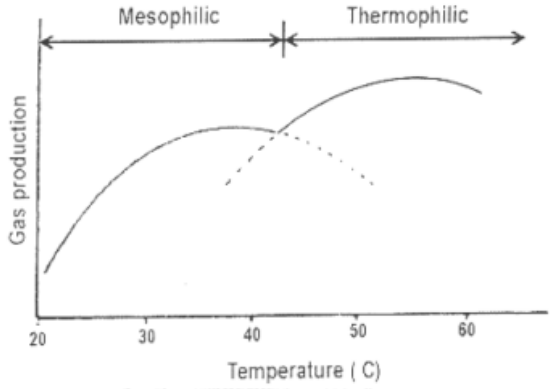
2.2.5 อุณหภูมิ (Temperature)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพที่สำคัญมาก ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียแต่ละกลุ่มแบคทีเรียต้องการระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งระดับอุณหภูมิที่แบคทีเรียแต่ละกลุ่มต้องการได้ 3 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

1) Psychrophilic อุณหภูมิอยู่ช่วง 5–15 องศาเซลเซียส

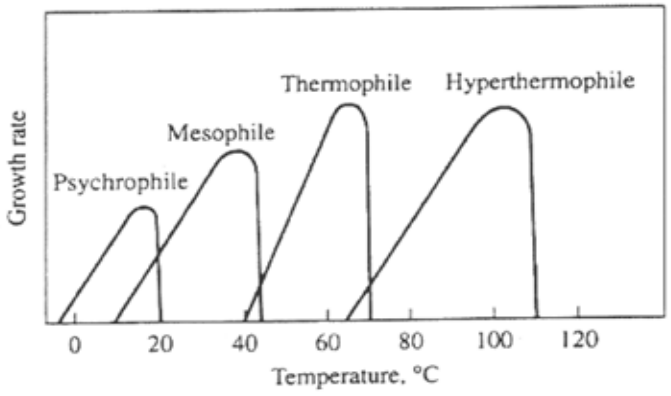
2) Mesophilic อุณหภูมิอยู่ช่วง 35–37 องศาเซลเซียส

3) Thermophilic อุณหภูมิอยู่ช่วง 50–55 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 แสดงผลอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการเกิดก๊าซจะสูงขึ้นตาม หรือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจะเกิดได้มากขึ้น จนอุณหภูมิขึ้นไปที่ประมาณ 38–42 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจะเริ่มลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นไปอีกปฏิกิริยาของระบบจะกลับมาทางานดีขึ้นอีกครั้ง อัตราการเกิดก๊าซจะเพิ่มขึ้นไปจนอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ระบบการเกิดก๊าซจะลดลงอีกครั้ง



รูปที่ 2 แสดงผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการทำงาน และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะสูงขึ้นด้วย ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ ช่วง Mesophilic (35–37 องศาเซลเซียส) และ Thermophilic (50–55 องศาเซลเซียส) แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะเป็นผลเสียต่อระบบทำให้ส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรียบางส่วนถูกทำลาย การเจริญเติบโตของแบคทีเรียลดลงอย่างรวดเร็ว

2.2.6 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา (Toxic and Inhibit)

สารบางชนิดมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย สารเหล่านี้อาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายเอง หรือมาจากภายนอก สารบางชนิดในปริมาณเล็กน้อย เช่น ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม แคลเซียม แบคทีเรียนำมาใช้ในการเจริญเติบโต แต่ถ้าปริมาณมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ตัวอย่างการศึกษา ของ Mase et al. (2000) ได้ศึกษาผลของยาปฏิชีวนะจากการหมักแบบไร้อากาศ SRB พบว่าส่งผลต่อการเกิดก๊าซมีเทน เนื่องจากยาทั้งสองมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย สารที่เกิดขึ้นจากระบบและได้รับจากภายนอกที่เป็นพิษส่งผลต่อระบบ ดังนี้

2.2.6.1 **แอมโมเนีย** เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารจำพวก โปรตีน และยูเรีย ได้เป็น แอมโมเนีย (NH^{+}_{4}) และแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระขึ้นอยู่กับปัจจัยสามข้อ 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 กระทำโดยจุลินทรีย์ Sulphate Reducing Bacteria (SRB) ปฏิกิริยาเป็นดังสมการ [2]

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

ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเป็นพิษต่อแบคทีเรียอาจทำให้แบคทีเรียหยุดทำงานและระบบการเกิดก๊าซชีวภาพล่มได้

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

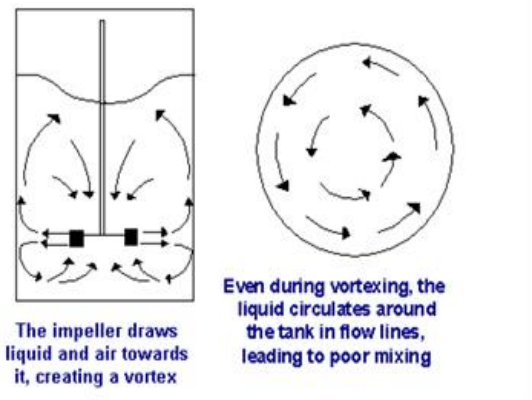
2.2.6.4 **กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid : VFAs)** เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทีริก กรดโพรไพโอนิก กรดฟอร์มิก เป็นตัวกลางที่สำคัญในระบบหมักแบบไร้อากาศมีความสัมพันธ์อยู่กับการใช้ไฮโดรเจนของเมททาโนเจนิกแบคทีเรีย และก่อให้เกิดพิษได้หากมีความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 mg/L(as acetic acid) จะมีผลต่อระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ การเพิ่มขึ้นของ VFAs จนเมททาโนเจนไม่สามารถกำจัดไฮโดรเจนและกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้ทัน เกิดการสะสมตัวของกรด ค่าพีเอช ลดต่ำลงจนระบบผลิตก๊าซดำเนินต่อไปไม่ได้

2.2.7 ระยะเวลาเก็บกัก (Retention Time)

ระยะเวลาทั้งหมดที่สารอินทรีย์อยู่ในระบบ มีความสำคัญกับการผลิตก๊าซชีวภาพ กล่าวคือหากกำหนดให้ระยะเวลาเก็บนาน กรณีนี้จะต้องสร้างบ่อหมักขนาดใหญ่เพื่อทำให้ปฏิกิริยาเป็นไปอย่างช้าๆ เป็นผลให้เวลาที่ใช้ในการกักเก็บมาก ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักจึงเป็นสิ่งที่ดีที่สุด โดยระยะเวลาขึ้นกับสภาพแวดล้อมของระบบ ชนิดสารอินทรีย์ ชนิดแบคทีเรียที่ใช้เป็นสำคัญ

2.2.8 การกวนผสม (Mixing)

มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์กับแบคทีเรีย เนื่องจากการกวนทำให้ของเหลวในระบบมีการหมุนวน คลุกเคล้ากันดังแสดงในรูปที่ 3 ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการกวนผสม

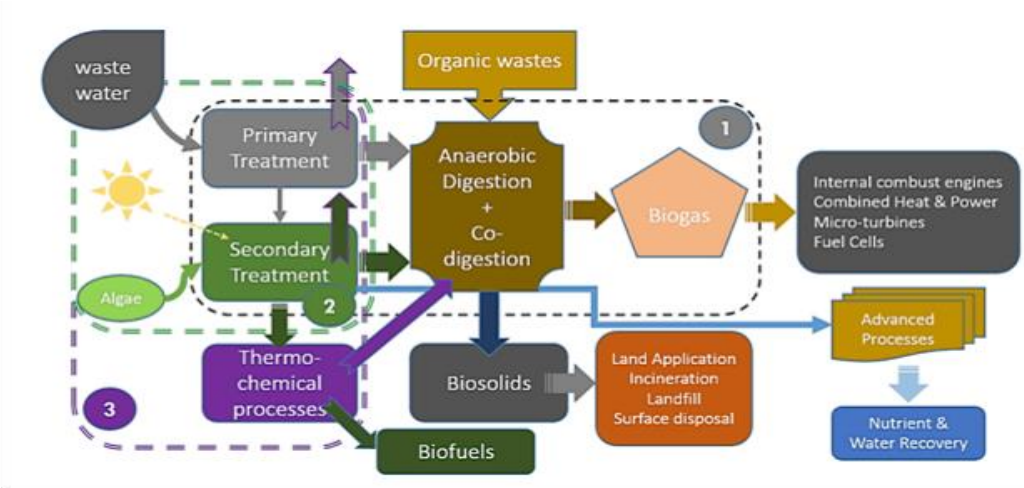


รูปที่ 3 แสดงลักษณะการกวนผสม

2.3 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

2.3.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการผลิตเครื่องดื่ม เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการรับวัตถุดิบ เพื่อนำเข้ามาในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ พิจารณาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้สำหรับการผลิตก๊าซมีเทน ได้แก่ ขั้นตอนรับวัตถุดิบ ขั้นตอนการหมัก ขั้นตอนการทางเคมี ขั้นตอนการนำกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ไปจัดเก็บ ขั้นตอนการนำน้ำมาทำการ Recovery ระบบน้ำ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 แผนผังกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานทดแทน



รูปที่ 4 แผนผังกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานทดแทน

โดยทั่วไป ลักษณะของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1.การจัดเตรียมวัตถุดิบ เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับการแยกกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ออกจากน้ำที่ต้องการ นำมาบำบัดก่อนที่จะนำมาเฉพาะน้ำที่ไม่มีกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ผสมอยู่

2. การหมักและการย่อยโดยโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Process) เป็นกระบวนการการย่อยสลายทางชีววิทยาที่ใช้แบคทีเรีย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศคือ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) และนอกจากนี้ก๊าซที่ยังได้จากกระบวนการนี้อีกคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.กระบวนการปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะนำปล่อยสู่ภายนอก เป็นกระบวนที่ปรับปรุงคุณภาพน้ำ กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์และสิ่งที่ออกมาจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอย่างปลอดภัย

2.3.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศมีกระบวนการที่สลับซับซ้อน โดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีเกิดขึ้นนับร้อยกระบวนการ และมีการเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าภายในซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเข้าทำปฏิกิริยาด้วย การศึกษาเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีการศึกษามาอย่างยาวนาน แต่ในปัจจุบันการศึกษาทางด้านนี้ก็ยังไม่หยุดนิ่งยังคงมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบถึงกลไกและลักษณะการทำงานของแบคทีเรียทำให้การออกแบบและควบคุมระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2.3.2.1 กลไกการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

1) แบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ การย่อยทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายชนิดในการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ก๊าซชีวภาพ แบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศหลายกลุ่มเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยจำแนกหรือแบ่งกลุ่มได้หลายวิธี วิธีแรกอาจแบ่งตามลักษณะสภาวะการดำรงชีพของแบคทีเรียซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ Facultative Anaerobic Bacteria หรือแบคทีเรียที่สามารถอยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน และ Obligate Anaerobic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น ดังนั้นแบคทีเรียในกลุ่มนี้จึงมาสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือดำรงชีพอยู่ได้ หากระบบมีการละลายของออกซิเจนอิสระ

2) แบคทีเรียชนิดสร้างกรด (Acid Fomer Bacteria) เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม FacultativAnaerobic Bacteria และแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ แบคทีเรียในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย Psudomonas,Favobacteria, Anaerobic Bacteria และ Escherichia เป็นต้น

3) แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Fomer Bacteria) เป็นแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้อากาศอย่างแท้จริงจะย่อยสลายพวกกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ Methanobacterium, Methanococcus และMethanobacillus เป็นต้น โดยเป็นจีนัส (Genus) ในตระกูล Methanobacteriaceae ซึ่งมีการเจริญเติบโตได้ช้า โดยทั่วไปต้องการเวลากักเก็บตะกอน(Solid Retention Time, SRT) มากกว่า 4 วัน แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดและสร้างมีเทน จะต้องพึ่งพาซึ่งกันและกัน

2.3.2.2 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจะเป็นสารประกอบจำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันทั้งที่อยู่ในรูปของแข็งและสารละลาย กระบวนการย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

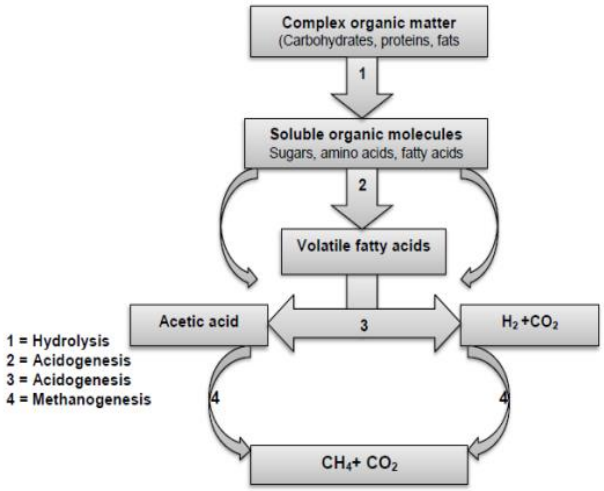
แบบไม่ใช้อากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 5 ที่ได้ระบุไว้ในการทดลองของมหาวิทยาลัยโอเรกอน ประเทศสหรัฐอเมริกา [6] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Solubilisation หรือ Hydrolysis

ขั้นตอนที่ 2 : Acidogenesis

ขั้นตอนที่ 3 : Acetogenesis

ขั้นตอนที่ 4 : Methanogenesis



รูปที่ 5 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

โดยอาจแบ่งขั้นตอนในการย่อยสลายได้เป็นสองระดับ ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลาย คือ การย่อยสลายแบบไม่มีการสร้างก๊าซมีเทน และการย่อยสลายที่มีการสร้างก๊าซมีเทนและไม่มีการสร้างก๊าซมีเทน [8]

ในกระบวนการสร้างมีเทนจำเป็นที่จะต้องทำการเปลี่ยนโมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอินทรีย์จำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้มีขนาดเล็กลงจนถึงขั้นของกรดไขมันระเหยง่ายขนาดเล็กเช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid, CH_3COOH) ซึ่งขั้นตอนนี้รวมกันเป็นขั้นตอนการสร้างกรด (Acid Formation Phase) โดยกลไกการสร้างกรดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือกระบวนการที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์และกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์

การย่อยสลายภายนอกเซลล์ได้แก่ขั้นตอนที่ 1 คือกระบวนการ Solubilisation หรือกระบวนการ Hydrolysis สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน ถูกแบคทีเรียย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ที่ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (Extracellular Enzyme)ให้กลายสภาพเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว (Monomer) สำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรดแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการ

ย่อยสลายคือแบคทีเรียจำพวกแฟคคัลเททีฟแอนด์แอร์โรบิคแบคทีเรีย (Facultative Anaerobic Bacteria) โดยกลุ่มของแบคทีเรียในขั้นตอนนี้ แบ่งได้ตามชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คือ Cellulytic, Lipolytic และ Proteolytic สำหรับความเร็วของกระบวนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย ซึ่งเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจะเลือกชนิดของปฏิกิริยา ชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา รวมถึงการทำงานของเอนไซม์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของสารเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น จากการศึกษากระบวนการแตกสลายโพลีเมอร์จากของเสียหลายๆประเภท พบว่าการย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียหลายชนิดร่วมกันจะได้ผลดีมากกว่าการย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียเพียงชนิดเดียว

หลังจากเกิดกระบวนการย่อยสลายภายนอกเซลล์ การย่อยสลายจะเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งได้แก่ขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 โดยในขั้นตอนที่ 2 หรือการเกิดกระบวนการ Acidogenesis การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้น สำหรับแบคทีเรียประเภทสร้างกรด โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหารดังกล่าวให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดวาเลอริก (Valeric acid) และกรดแลคติก (Lactic acid) โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงสุด และมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เป็นผลสืบเนื่องมาจากการอยู่รวมกันของแบคทีเรียหลายสปีชีส์ (Species) สำหรับแบคทีเรียในขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis) คือแบคทีเรียในกลุ่ม ของ Fermentative Bacteria หรือ Acidogens ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ได้อีกด้วย

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 หรือการเกิดกระบวนการ Acetogenesis เป็นผลอันเนื่องมาจากการที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงโดยสารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบไปด้วย กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมธานอล และเมธิลามิน แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดโพรพิออนิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารในการผลิตก๊าซมีเทนโดยตรงได้ ดังนั้นในกรณีที่กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ที่สร้างขึ้นยังอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ประโยนช์ได้ เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรีย จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีอะตอมของคาร์บอนที่ลดลง เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติก ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Producing Acetogenic

Bacteria) ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีในภายใต้สภาวะ Low Hydrogen Partial Pressure ดังสมการ [3] , [4]

$$CH_3CH_2COOH \text{ (Propionic Acid)} + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \quad [3]$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH \text{ (Butyric Acid)} + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2 \quad [4]$$

นอกจากการสร้างกรดด้วยกระบวนการทั้งสองชนิดแล้ว ยังพบว่ามีแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการ [5]

$$2CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2O \quad [5]$$

สำหรับกระบวนการย่อยสลายที่มีการสร้างมีเทนกระบวนการนี้เกิดขึ้นเฉพาะในขั้นตอนที่ 4 เรียกว่ากระบวนการ Methanogenesis โดยที่กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซมีเทน (Methane Forming Bacteria) การเกิดก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบแรกคือเกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้มีปริมาณเป็น 70% ของก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ ยกตัวอย่างเช่นการทดลองใน Waste Water Treatment Plant; WWTp ที่ประเทศออสเตรเลียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่าร้อยละ 60 [9] และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียประเภท Hydrogen Utilizing Methane Bacteria ดังแสดงในสมการ [6], [7]

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \text{ (Methane Forming Bacteria)} \quad [6]$$

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \text{ (Hydrogen – Utilizing Methane Bacteria)} \quad [7]$$

แบคทีเรียสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าสภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ทำให้ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้แคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8–7.2 และแบคทีเรียในกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate) หรือการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ใหม่ต่ำ ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน จึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด โดย

แบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อพิจารณากลุ่มของแบคทีเรียที่อยู่รวมกันในระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ พบว่ากลุ่มของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียหลักในการควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้อัตราการเติบโตช้าที่สุดและมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมของระบบมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น

2.4 ระบบบำบัดแบบ Covered Lagoon

ระบบบำบัดแบบ Anaerobic Covered Lagoon [10] สามารถใช้ได้กับน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม หรือน้ำเสียชุมชน โดยน้ำเสียที่เหมาะกับระบบ Anaerobic Covered Lagoon ควรมีปริมาณของของแข็งทั้งหมด 0.5–3.0 % ทั้งนี้ประสิทธิ์ภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบจะสูงกว่า 60% อย่างไรก็ตามระบบ Anaerobic Covered Lagoon มีความสามารถในการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ เมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบบอื่นๆ โดยสามารถรับอัตราภาระบรรทุกซีโอดีได้สูงสุดประมาณ 1–2 กก./ลบ.ม. ต่อวัน เท่านั้น ในขณะที่ระบบอื่นสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 4–10 กก./ลบ.ม. ต่อวัน จึงส่งผลให้การก่อสร้างระบบ Covered Lagoon ต้องการพื้นที่ในการสร้างมากกว่าในระบบอื่นๆ

การทำงานของระบบ มีกระบวนการออกแบบให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของบ่อแล้วผสมเข้ากับตะกอนแบคทีเรียที่ตกตะกอนอยู่บริเวณก้นบ่อ จากนั้นให้ไหลไปตามแนวยาวของบ่อ โดยระบบรวบรวมน้ำออกจะอยู่ด้านบนของบ่อในอีกฝั่งหนึ่ง อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านระบบ Anaerobic Covered Lagoon ยังไม่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดต่อในระบบบำบัดขั้นตอนหลังต่อไป แบคทีเรียในระบบ Anaerobic Covered Lagoon จะประกอบด้วยแบคทีเรียที่อยู่ในสภาวะไม่ใช้อากาศทั้งสองแบบ คือ แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน แม้ในบางครั้งจะมีการสร้างกรดในปริมาณที่มากเกินไป แต่ผลกระทบเนื่องจากการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองชนิดจะไม่รุนแรงเหมือนในระบบบำบัดแบบที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง เนื่องจากบ่อที่มีขนาดใหญ่และเวลาเก็บกักน้ำที่ยาวนาน จึงทำให้แบคทีเรียในระบบมีเวลาปรับตัว อย่างไรก็ตามไม่ควรปล่อยให้ระบบอยู่ในสภาวะรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงเกินไปเป็นเวลานาน เพราะอาจทำให้ระบบอยู่ในสภาวะที่เกินความสามารถในการปรับตัวของแบคทีเรีย

การควบคุมและการดูแลรักษาระบบทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับระบบยูเอเอสบีหรือถังกรองไม่ใช้อากาศ จึงเป็นระบบที่เหมาะกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์หรือชุมชนซึ่งต้องการระบบที่ไม่สลับซับซ้อน นอกจากนี้หากไม่คิดรวมราคาที่ดินและราคาในการก่อสร้างจะถูกกว่าระบบอื่น ถึงระบบนี้จะมีเสถียรภาพและราคาไม่แพง แต่หากจะสร้างระบบเพื่อนำก๊าซมาใช้งานปริมาณก๊าซที่ได้จะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบยูเอเอสบี หรือถังกรองไร้อากาศ เนื่องจากความง่ายในการเดินระบบ จึงทำให้

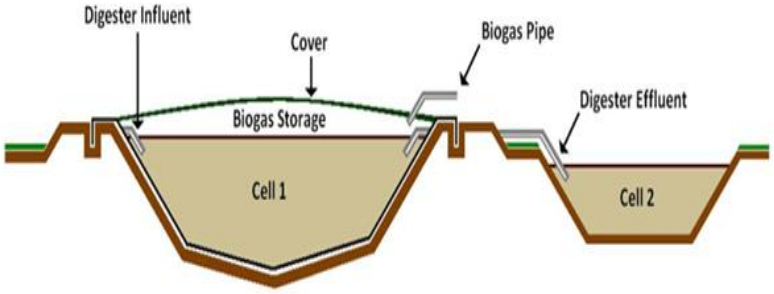
ผู้ดูแลระบบมักไม่ค่อยมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จนบางครั้งระบบอาจอยู่ในสภาวะที่รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงหรือต่ำเกินไปทำให้ปริมาตรก๊าซที่ได้ไม่แน่นอน แต่หากมีการจัดการที่ดีปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ได้ก็จะไม่แตกต่างจากระบบอื่นเท่าใดนัก นอกจากนี้อุณหภูมิก็จะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเช่นกัน โดยสามารถเห็นผลชัดเจนในประเทศเขตประเทศที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำมาก โดยปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ได้จะไม่ค่อยคงที่หากไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับอุณหภูมิ สำหรับประเทศไทยมีการใช้ระบบ Covered Lagoon อย่างแพร่หลายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ทั้งขนาดกลางและขนาดใหญ่โดยมีการเทียบข้อดีของระบบดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเปลี่ยนเทียบข้อดีและอุปสรรคของระบบ Covered Lagoon

ข้อดี	อุปสรรคของระบบ
1. ก่อสร้างได้ง่ายและประหยัดค่าก่อสร้าง ไม่ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมในบ่อ	1.การกวนผสมในระบบและการกระจายของน้ำ เสียเข้าในบ่อไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ
2. สามารถรับน้ำเสียที่มีปริมาตรของสารอินทรีย์สูง	2.การควบคุมระบบได้ยากเนื่องจากอาจเกิดการไหลลัดทางได้ หากการกวนผสมไม่ดี
3. เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยหรือไขมันสูง	3.ต้องการพื้นที่มาก จึงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีราคาที่ดินสูง
4. ระบบมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือสารพิษเนื่องจากระบบมีขนาดความจุมากและมีเวลากักเก็บตะกอนนาน	4.อาจมีการซึมของน้ำเสียในบ่อลงสู่ใต้ดิน
5. ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบสูง	5.ปริมาณก๊าซที่ได้น้อยเมื่อเทียบกับระบบอื่น
6. สามารถสร้างบ่อในลักษณะบ่ออนุกรมได้	6.กรณีที่ก๊าซชีวภาพยังไม่เกิด จะมีปัญหาเกี่ยวกับการท่วมขังของน้ำบนผ้าพลาสติกคลุมบ่อ ซึ่งต้องมีการสูบน้ำออก
7. ต้องการการดูแลรักษาน้อย	

เนื่องจากระบบ Anaerobic Covered Lagoon เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ง่ายในการเดินระบบแต่มีความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างมาก ดังนั้นจึงนิยมนำไปใช้กับภาคการเกษตรเช่นในฟาร์มเลี้ยงสัตว์[11] วัตถุประสงค์ในการใช้งานระบบ Anaerobic Covered Lagoon มีอยู่ด้วยกันสองประเด็น ได้แก่การบำบัดน้ำเสียและการนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกัน

กลิ่นซึ่ง มักเกิดขึ้นกับบ่อแบบเปิดทั่วไป การใช้ระบบ Anaerobic Covered Lagoon ดังแสดงในรูปที่ 6 จะต้องมีการจัดการน้ำเสียก่อนที่จะเข้าสู่ระบบเพื่อควบคุมประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของระบบ ดังนั้นน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจำเป็นต้องมีการกำจัดของแข็งแขวนลอย ขยะ หรือสิ่งปลอมปนอื่นๆออกก่อน รวมไปถึงการแยกระบบรวบรวมน้ำเสียออกจากระบบรวบรวมน้ำฝนด้วยตามลักษณะในรูปที่ 7



รูปที่ 6 แสดงบ่อระบบ Covered Lagoon

รูปที่ 7 ภาพลักษณะของ Covered Lagoon

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อมรพรรณ แถมเงิน (2551) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าจากหลุมเทกองขยะชุมชนสดจากรถเก็บขยะ โดยใช้ถังหมักที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์ ศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองหมักขยะชุมชนโดยผสมขยะที่เตรียมไว้กับหัวเชื้อจุลชีพ (Seed) ที่มีความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนขยะต่อหัวเชื้อจุลชีพเท่ากับ 60:40 โดยปริมาตร ทุกชุดการ

ทดลอง 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 อัตราส่วนขยะชุมชนเก่ากับขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.12 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ภายในเวลา 13 วัน พบว่า ซีโอดีกรองของน้ำในระบบหลังจากสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงร้อยละ 63.19 โดยมีค่าซีโอดีกรองเท่ากับ 3,136 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการให้ความร้อนขยะที่อัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 พบว่าการให้ความร้อนขยะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีปริมาตรสูงขึ้นถึงร้อยละ 73.33

อัญชลี แท่นนิล (2553) 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 คามาเร็ว (2553) วิจัยเพื่อประเมินศักยภาพ ในการเพิ่มปริมาณมีเทนของกระบวนการย่อยสลายร่วมระหว่างน้ำเสียกระดาษสากับ มูลวัว และเศษอาหาร รวมทั้งหาผลของเวลาเก็บกักน้ำต่อการบำบัดในถังปฏิกรณ์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกหาค่า BMP ของ

การหมักร่วมของ ของเสียระหว่างน้ำเสียกระดาษสากับมูลวัว และเศษอาหาร พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำเสียและมูลวัวในการผลิตก๊าซมีเทนคือ 70:30 (ในรูปค่า VS) โดยมีค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.330 และ 0.368 ล. CH_4/ก. VSadded สำหรับการทดลองที่ไม่มีและมีการเขย่าผสมตามลำดับ และสัดส่วนการหมักของเสียระหว่างเศษอาหารกับน้ำเสียกระดาษสาที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซมีเทนคือ 10:90 (ในรูป VS) โดยมีค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.316 และ 0.275 ล. CH_4/ก. VSadded สำหรับการทดลองที่ไม่มีและมีการเขย่าผสมตามลำดับ การทดลองในส่วนที่สองเป็นการทดลอง เพื่อศึกษาผลของเวลาเก็บกักน้ำต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ ASBR ในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองการบำบัดส่วนผสมของ ของเสียระหว่างน้ำเสียกระดาษสากับมูลวัว พบว่าเวลากักน้ำที่ใช้ในช่วง 2 ถึง 30 วัน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดค่า TVS, TSS และ COD มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเวลาเก็บกักน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 30 วัน ให้ค่าปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุด คือ 0.350 ล.CH_4/ก.VSadded ส่วนการบำบัดส่วนผสมระหว่างน้ำเสียกระดาษสากับเศษอาหาร พบว่าเวลากักน้ำที่ใช้ในช่วง 2 ถึง 20 วัน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดค่า TVS, TSS และ COD มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเวลากักน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 20 วัน ซึ่งให้ค่าปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะเท่ากับ 0.334 ล.CH_4/ก.VSadded ส่วนที่สามเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียกระดาษสา และการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้และไม่ใช้วัสดุหมักร่วม ที่ค่าเวลาเก็บกักน้ำ 20 วัน พบว่ากระบวนการย่อยสลายร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้โดยการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียกระดาษสาและมูลวัว ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด และการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

จักรพันธ์ หมื่นจี้ (2553) วิจัยเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งระเหยของน้ำเสียฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารเท่ากับ 70:30 และ 40:60 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนดังกล่าวกับถังปฏิกิริยาแบบ ASBR ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เวลากักเก็บที่ 2, 10, 20 และ 30 วัน ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแรกโดยใช้หญ้าเนเปียร์เป็นวัสดุหมักร่วม 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 ไม่

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าที่ได้ที่เวลากักเก็บทั้งสอง มีค่ามากกว่าที่ได้จากการทดลองที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 และ 20 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้งาน ให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 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 เมื่อพิจารณาการเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบ คือ 10 วัน เนื่องจากให้ค่าการเกิดก๊าซมีเทนจำเพาะไม่ต่างจากค่าที่ได้ที่ระยะเวลากักเก็บ 20 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.486(±0.24) ล.CH_4 /ก.VS และเมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้งสองกับผลที่ได้จากการทดลองที่ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียวในถัง ASBR ที่เวลากักเก็บ 10 วัน พบว่ามีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าที่ได้จากการทดลอง โดยใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 0.240(±0.02) ล.CH_4/ก.VS และการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์ให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารอินทรีย์และการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการหมักร่วมโดยศึกษาแนวทางของการวิจัยของมหาวิทยาลัยสุรนารี[12] ในอัตราส่วนการผสมที่ต่างกัน คือ กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม อัตราส่วนโดยน้ำหนักแห้งที่ (100:0), (75:25), (50:50), (25:75) และ (0:100) โดยทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองแบบแบตช์ (Batch) เติมของผสมเพียงครั้งเดียว ซึ่งการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ ศึกษาจากการเปรียบเทียบค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และค่าร้อยละของก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบก๊าซที่อยู่ในก๊าซชีวภาพ

3.2 วัตถุดิบ/การเตรียมวัตถุดิบ ในกระบวนการย่อย

3.2.1 กากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มที่ใช้ในการทดลองได้มาจากโรงงานจำนวน 4 โรงงาน ดังนี้

1) กากอุตสาหกรรมนม
2) กากอุตสาหกรรมเบียร์
3) กากอุตสาหกรรมกาแฟ
4) กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

เก็บตัวอย่างโดยวิธีการรองจากรถดูดกากอุตสาหกรรมที่เข้าไปเก็บกากอุตสาหกรรมในบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มดังรูปที่ 8 ที่เก็บรวบรวมไว้เพื่อส่งกำจัด โดยใส่ในกระบอกพลาสติกปิดฝามิดชิด แช่ไว้ในถังโฟมใส่น้ำแข็ง ควบคุมอุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส และนำมาเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น

รูปที่ 8 การปล่อยกากอุตสาหกรรมออกจากรถ

3.2.2 กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง เก็บโดยการตักลงในบ่อล้นของบ่อหมักก๊าซชีวภาพตามรูปที่ 9 และรูปที่ 10 จากโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพกรณีศึกษา และใส่ในกระบอกพลาสติกปิดฝามิดชิด แช่ไว้ในถังโฟมใส่น้ำแข็ง อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส และนำมาเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่

รูปที่ 9 บ่อล้นหมักตะกอนตะกอนจุลินทรีย์ชีวภาพที่เป็นจุดเก็บกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ

รูปที่ 10 บ่อหมักตะกอนจุลินทรีย์ก๊าซชีวภาพ

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 วัดปริมาตรก๊าซที่เกิด

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

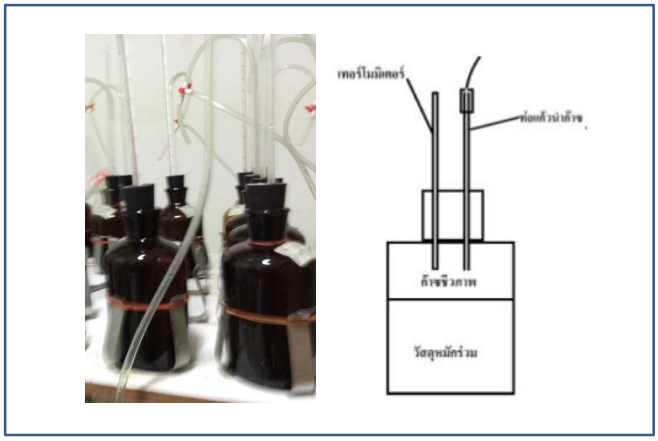
3.3.3.3 ถุงเก็บก๊าซชีวภาพ

3.3.3.4 เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างผสม

3.3.3.5 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ (Gas Chromatograph Shimadzu รุ่นGC-14B)

3.4 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตช์

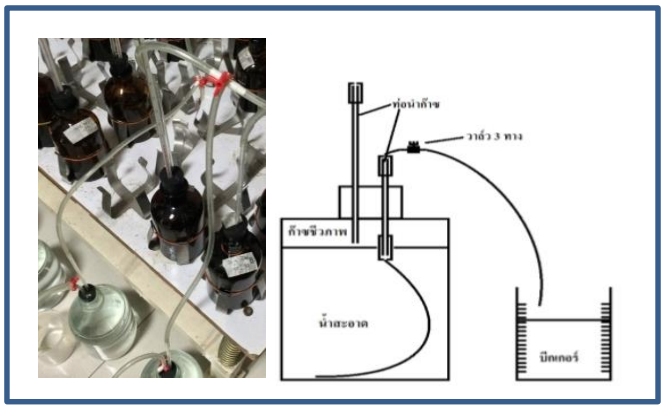
ชุดการทดลองจะแบ่งเป็นสองส่วนหลักโดยส่วนที่เป็น ชุดหมัก ประกอบด้วยขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้เป็นขวดหมักของผสมโดยปริมาตรหมักเท่ากับ 300 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกยางชนิดเจาะสองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันอากาศเข้าในขวดหมัก ช่องเจาะที่จุกยางใส่ เทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิภายในขวดหมัก และใส่ท่อนำก๊าซเพื่อนำก๊าซเข้าชุดเก็บก๊าซและวัดปริมาตรก๊าซจากการแทนที่น้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ชุดหมักจะตั้งอยู่บนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic Shaker) ทุกอัตราส่วนผสมที่ศึกษา กำหนดให้เครื่องทำงานตลอดเวลาในเวลากลางวัน (07.00 – 19.00 น.) [3] ชุดหมักก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตซ์

3.5 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ

ประกอบด้วยขวดแก้วขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่น้ำเต็มขวดปิดขวดด้วยจุกยางชนิดเจาะสองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันก๊าซชีวภาพที่เก็บอยู่ในขวดรั่วซึมออกมา ช่องเจาะที่จุกยางใส่ท่อ 2 เส้น เส้นหนึ่งเป็นท่อนำก๊าซชีวภาพที่เกิดจากชุดหมักเข้าขวดเก็บก๊าซขนาด 2,000 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำอยู่เต็มขวด จากหลักการแทนที่น้ำเมื่อก๊าซเข้าในขวดเก็บก๊าซจะดันน้ำออกมาทางท่ออีกทางหนึ่งลงไปในบีกเกอร์ปริมาตรน้ำที่ออกมาที่บีกเกอร์เป็นการวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยจะนำน้ำในบีกเกอร์ไปตวงด้วยกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาตรที่ละเอียดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 12 การติดตั้งชุดเก็บก๊าซชีวภาพมีการทดสอบการปิดขวดและการต่อท่อนำก๊าซกับสายยางซิลิโคน ไม่ให้มีช่องอากาศเข้าหรือการรั่วซึมของก๊าซด้วยวิธีการเป่าลมเข้าในขวดทางท่อนำก๊าซเข้าขวดเก็บ โดยปิดวาล์ว 3 ทางส่วนที่ต่อไปยังบีกเกอร์แล้วใช้น้ำผสมน้ำยาล้างจานราดบริเวณรอบๆ จุด ที่มีการต่อเชื่อมของอุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบรอยรั่วที่จะทำให้มีอากาศเข้าหรือก๊าซรั่วซึมออกได้



รูปที่ 12 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ

3.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.6.1 การเดินระบบการทดลอง ใช้การทดลองด้วยชุดทดลอง 27 ชุดการทดลอง โดยมีตัวอย่างอัตราส่วน 5 ตัวอย่าง 5 อัตราส่วน โดยหมักอัตราส่วนละ 3 ชุดการทดลอง จัดชุดการทดลอง เตรียมวัตถุดิบ การผสมวัตถุดิบหมัก ดำเนินการทำทีละอัตราส่วน โดยให้ปริมาตรของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพและกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแบบแห้งทั้ง 2 ชนิด ผสมกันตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ และเติมน้ำรวมกันที่ 300 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 13 ดำเนินการจัดทำเช่นเดียวกันกับทุกอัตราส่วนที่ศึกษาทุกชุดการทดลอง

รูปที่ 13 ตัวอย่างชุดทดลองหมักจำนวน 27 ชุด

3.6.2 การผสมวัตถุดิบ ใช้วิธีการผสมกากอุตสาหกรรมและกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพลงในขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรหมักที่ 300 มิลลิลิตร เติมวัตถุดิบหมักเพียงครั้งเดียว ให้ระบบเกิดก๊าซชีวภาพแล้วทำการเก็บผลการทดลองเป็นระยะจนสิ้นสุดกระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพ จัดวางชุดหมักทั้งหมดไว้บนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic Shaker) โดยแบ่งชุด

ทดลองเป็น 5 กลุ่มละ 5 อัตราส่วน ทำทั้งหมด 3 ครั้ง ก่อนเปิดเครื่องให้ระบบทำการเขย่า ได้ทำการสูบอากาศที่อยู่ในขวดหมักออกโดยใช้สลิงค์สูบอากาศออกครั้งละ 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครั้ง ทำการหมักเป็นเวลา 22 วัน ตลอดเวลาที่ทดลองเครื่องเขย่าจะทำงานตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึงเวลา 19.00 น. และปิดเครื่องเพื่อบันทึกผลการทดลองในเวลา 13.00 น. เป็นเวลาประมาณ 5 นาทีทุกวัน ในช่วงเช้าและเย็นบันทึกผลก่อนและหลังปิดเครื่อง

3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.7.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้คงที่ในการศึกษาวิจัย

3.7.1.1 ขวดหมักสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร

3.7.1.2 ปริมาตรหมักรวม (กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์และกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม) เท่ากับ 300 มิลลิลิตร

3.7.1.3 การเขย่าให้วัสดุหมักในขวดหมักผสมเข้ากัน ทำโดยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic Shaker) เดียวกันพร้อมกัน ระยะเวลาในการเปิดเครื่อง ตั้งแต่ 7.00 ถึง 19.00 น.

3.7.2 พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรต้นที่ต้องการศึกษาวิจัย

3.7.2.1 อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ โดยศึกษาอัตราส่วนการผสม ดังนี้ (100:0), (75:25), (50:50), (25:75) และ (0:100) ตามลำดับ

3.7.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

3.7.3.1 ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

3.7.3.2 สารระเหยง่าย (Volatile solids)

3.7.3.3 อุณหภูมิภายในระบบหมัก และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

3.7.3.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.7.3.5 ค่า COD (Chemical Oxygen Demand)

3.7.3.6 ค่าองค์ประกอบอินทรีย์

3.7.3.7 ค่า C/N Ratio

3.7.3.8 ค่าความร้อน (Heating Value)

3.7.3.9 ก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมัก

3.7.3.9.1 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดในแต่ละวัน

3.7.3.9.2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม

3.7.3.10 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (ผลการทดลองที่คาดว่าจะต้องได้ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2))

3.8 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ ชุดทดลองที่ใช้ในการหมักดำเนินการต่อท่อนำก๊าซชีวภาพจากชุดหมักไปเก็บไว้ที่ชุดเก็บก๊าซ โดยระหว่างทางจะมีวาล์วสามทางไว้เพื่อเป็นจุดติดตั้งถุงเก็บก๊าซในขณะเก็บก๊าซและที่ชุดเก็บก๊าซจะใช้หลักการแทนที่ของก๊าซที่เกิดขึ้นโดยเมื่อก๊าซเข้าไปยังชุดเก็บก๊าซจะดันน้ำที่อยู่ในขวดเก็บก๊าซออกมาทางท่อสายยางลงไปยังบีกเกอร์ ซึ่งในระหว่างทางจะมีวาล์วสามทางอีกหนึ่งตัว สำหรับเติมน้ำเข้าขวดเก็บก๊าซ เป็นการไล่ก๊าซย้อนกลับเข้าไปทางวาล์วตัวแรกเพื่อเป็นการเก็บก๊าซเข้าถุงเก็บก๊าซที่เตรียมไว้ โดยถุงเก็บก๊าซก่อนที่จะนำมาเก็บตัวอย่างก๊าซดำเนินการไล่อากาศออกจากถุงด้วยมือ และสูบอากาศออกจากถุงด้วยสลิงค์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีกจำนวน 1 ครั้ง ดังแสดงวิธีการจัดเก็บตัวอย่างในรูปที่ 14

รูปที่ 14 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่ของน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลังจากได้ตัวอย่างก๊าซชีวภาพแล้วจึงนำหลอดเก็บก๊าซสูบก๊าซจากถุงเก็บก๊าซเพื่อฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph Shimadzu รุ่น GC-14B หาค่าร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซดใช้การเปรียบเทียบและคำนวณค่า จากกราฟที่ได้จากเครื่อง GC ที่ใช้ก๊าซมาตรฐานของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ฉีดเข้าเครื่อง จากนั้นฉีดก๊าซชีวภาพที่ต้องการหาค่าจำเพาะที่ทำให้สามารถหาค่าองค์ประกอบของก๊าซที่ผลิตได้ออกมาเป็นร้อยละ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์

4.1.1 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก

4.1.1.1 กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนำมาจากกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพประเภท Anaerobic Covered Lagoon ขนาดปริมาตร 100 m^3 จำนวน 1 บ่อภายในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในจังหวัดสุพรรณบุรี ดังรูปที่ 15 ซึ่งสามารถรองรับน้ำเสียจากการชะล้างวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพได้วันละ 20 m^3 / วัน น้ำเสียที่ผ่านการล้างมายังบ่อหมักชีวภาพจะถูกปิดด้วยแผ่นปกคลุมพลาสติก High Density Poly Ethylene : HDPE ซึ่งทำด้วยวัสดุเฉพาะที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บและป้องกันการรั่วไหลของก๊าซและมีความยืดหยุ่นเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของระดับการผลิต การเก็บกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ใช้วิธีเก็บจากบ่อน้ำล้นที่ใช้สำหรับปล่อยกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ที่ค้างภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ นำตัวอย่างใส่กล่องพลาสติกแช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0–2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ โดยวิธีอบที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103–105 °C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 107,560 mg/L และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ โดยวิธีการอบให้สารระเหยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์เท่ากับ 55,584 mg/L

รูปที่ 15 บ่อน้ำล้นที่ใช้สำหรับปล่อยกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ที่ค้างภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

4.1.1.2 กากอุตสาหกรรมนมดังรูปที่ 16 ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเกิดจากไขมันลอยหน้าจากกระบวนการผลิตนมยูเอชที โดยจะปาดไขมันที่ลอยหน้าทิ้งก่อนเข้ากระบวนการผลิต และนำไขมันนมมาพักไว้ในแทงค์อลูมิเนียมเพื่อส่งกำจัด ลักษณะของกากอุตสาหกรรมเป็นน้ำผสมตะกอนเล็กน้อย สีขาวขุ่น มีชั้นไขมันจับตัวอยู่ด้านบน การเก็บกากอุตสาหกรรมนม เก็บโดยการปล่อยออกจากแทงค์ที่ผ่านการปั้มเพื่อไม่ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไขมันและน้ำ ใส่ภาชนะพลาสติกปิดฝาแช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0 – 2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ โดยวิธีอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103 – 105 °C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกากอุตสาหกรรมนมมีค่าเท่ากับ 74,344 mg/L และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ โดยวิธีการอบให้สารระเหยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้เท่ากับ 69,256 mg/L

รูปที่ 16 กากอุตสาหกรรมนม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1.3 กากอุตสาหกรรมเบียร์ดังรูปที่ 17 ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเกิดจากกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเบียร์ ที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ Internal Circulation Reactor (IC Reactor) และ Upflow Anaerobic Sludge (UASB โดยยังไม่ผ่านเครื่องรีดตะกอน ลักษณะกากอุตสาหกรรมเป็นน้ำใสสีเหลือง ประกอบด้วยตะกอนเล็กน้อยและฟองด้านบนสีขาวขุ่น เก็บโดยการปล่อยออกจากรถแทงค์ที่ดูดกากอุตสาหกรรมเบียร์จากบ่อพักกากตะกอน และผ่านการปั้มภายในแทงค์เพื่อไม่ให้เกิดการแยกชั้น ใส่ภาชนะพลาสติกปิดฝาแช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0 – 2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกาก โดยวิธีอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103 – 105 °C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งมีค่าเท่ากับ 12,400 mg/L และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ โดยวิธีการอบให้สารระเหยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้เท่ากับ 6,800 mg/L

รูปที่ 17 กากอุตสาหกรรมเบียร์

4.1.1.4 กากอุตสาหกรรมกาแฟที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เก็บตัวอย่างจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงงานอุตสาหกรรมผลิตกาแฟบรรจุกระป๋องที่ ยังไม่ผ่านเครื่องรีดตะกอน ลักษณะกากอุตสาหกรรมเป็นของเหลว ขุ่นสีน้ำตาล ตะกอนเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ ไม่มีการแยกชั้น เก็บโดยการปล่อยออกจากรถแทงค์ที่ดูดกากอุตสาหกรรมกาแฟจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และผ่านการปั้มภายในแทงค์เพื่อไม่ให้เกิดการแยกชั้น ใส่ภาชนะพลาสติกปิดฝาแช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0 – 2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกากอุตสาหกรรมกาแฟ โดยวิธีอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103 – 105 ^{o}C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกากอุตสาหกรรมกาแฟมีค่าเท่ากับ 29,088 mg/L และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ โดยวิธีการอบให้สารระเหยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้เท่ากับ 27,204 mg/L ดังรูปที่ 18

รูปที่ 18 กากอุตสาหกรรมกาแฟ

4.1.1.5 กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเกิดจากบรรจุภัณฑ์เสื่อมสภาพหรือไม่ตรงตามสเปคที่ต้องการที่ทางโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ดังรูปที่ 19 โดยเทรวมผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพตามต้องการในแต่ละรอบการผลิต รวมไว้ในแทงค์เพื่อรอการกำจัด ลักษณะกากอุตสาหกรรมเป็นน้ำ ใส สีเหลืองส้ม มีฟองและเนื้อตะกอนเล็กน้อยลอยอยู่ด้านบน

เก็บโดยการปล่อยออกจากรถแทงค์ที่เก็บกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ใส่ภาชนะพลาสติกปิดฝาแช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 0 – 2 องศาเซลเซียส นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งของกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง โดยวิธีอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (Total Solids Dried at 103 – 105 ^{o}C) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งมีค่าเท่ากับ 30,732 mg/L และวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ โดยวิธีการอบให้สารระเหยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้เท่ากับ 30,168 mg/L

รูปที่ 19 กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

จากการวิเคราะห์พบว่าวัตถุดิบหมักที่มีค่าน้ำหนักแห้งสูงสุดคือกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพมีค่าเท่ากับ 107,560 mg/L รองลงมาคือกากอุตสาหกรรมนมมีค่าเท่ากับ 74,344 mg/L และค่าสารระเหยง่ายสูงสุดคือกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพมีค่าเท่ากับ 55,584 mg/L ดังตารางที่ 5

Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักแห้งและสารระเหยง่ายของวัตถุดิบหมัก

รายการวิเคราะห์	หน่วย	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์	ชนิดกากอุตสาหกรรม			
			นม	เบียร์	กาแฟ	เครื่องดื่มบำรุงกำลัง
Total Solids	mg/L	107,564	74,344	12,400	29,088	30,732
Volatile Solids	mg/L	55,584	69,256	68,000	27,204	30,168

4.1.2 ค่าน้ำหนักของวัตถุดิบหมักเมื่อใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยผู้ศึกษาควบคุมตัวแปรให้มีค่าเท่ากันในทุกอัตราส่วนร้อยละของวัตถุดิบหมัก คือค่าน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักมีค่าเท่ากับ 2 กรัม โดยอัตราส่วนการหมักของวัตถุดิบแสดงการคำนวณได้ตามภาคผนวก ก สรุปได้ดังตารางที่ 6 (ก–ง)

ตารางที่ 6 อัตราส่วนของวัตถุดิบหมักโดยใช้น้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์

กากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 100			
วัตถุดิบ	น้ำหนักแห้ง (mg/L)	ปริมาณวัตถุดิบหมัก (ml)	
		กากตะกอน	กากอุตสาหกรรมอื่นๆ
กากตะกอนโรงปุ๋ย	107.564	18.5935815	-
กากอุตสาหกรรมนม	74.344	-	26.901
กากอุตสาหกรรมเบียร์	12.4	-	161.290
กากอุตสาหกรรมกาแฟ	29.088	-	68.757
กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	30.732	-	65.079

(ก) อัตราส่วนหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 100

กากตะกอนโรงปุ๋ย: กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 75:25			
วัตถุดิบ	น้ำหนักแห้ง (mg/L)	ปริมาณวัตถุดิบหมัก (ml)	
		กากตะกอน	กากอุตสาหกรรมอื่นๆ
กากอุตสาหกรรมนม	74.344	13.945	6.726
กากอุตสาหกรรมเบียร์	12.4	13.945	40.323
กากอุตสาหกรรมกาแฟ	29.088	13.945	17.190
กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	30.732	13.945	16.270

(ข) อัตราส่วนหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 75:25

กากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 50:50			
วัตถุดิบ	น้ำหนักแห้ง (mg/L)	ปริมาณวัตถุดิบหมัก (ml)	
		กากตะกอน	กากอุตสาหกรรมอื่นๆ
กากอุตสาหกรรมนม	74.344	9.297	13.451
กากอุตสาหกรรมเบียร์	12.4	9.297	80.645
กากอุตสาหกรรมกาแฟ	29.088	9.297	34.379
กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	30.732	9.297	32.540

(ค) อัตราส่วนหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 50:50

กากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 25:75			
วัตถุดิบ	น้ำหนักแห้ง (mg/L)	ปริมาณวัตถุดิบหมัก (ml)	
		กากตะกอน	กากอุตสาหกรรมอื่นๆ
กากอุตสาหกรรมนม	74.344	4.648	20.177
กากอุตสาหกรรมเบียร์	12.4	4.648	120.968
กากอุตสาหกรรมกาแฟ	29.088	4.648	51.568
กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	30.732	4.648	48.809

(ง) อัตราส่วนหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรม อัตราส่วน 25:75

จากการศึกษาทดลองพิจารณาอัตราส่วนการหมักโดยนำกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์และกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มผสมกันตามปริมาณที่คำนวณจากน้ำหนักแห้ง ดังตาราง 6 (ก – ง) ควบคุมปริมาณน้ำในขวดที่ 300 มิลลิลิตรโดยการเติมน้ำกลั่น เพื่อให้เหลือพื้นที่ในการเขย่าทำปฏิกิริยาในการหมักเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งใช้ขวดแก้วสีชาในการทำการทดลองขนาด 500 มิลลิลิตร

4.1.3 องค์ประกอบของสารอินทรีย์

ในการศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบสารอินทรีย์ของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก โดยทำการวิเคราะห์ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน เถ้าและค่าความชื้น เพื่อนำมาคำนวณหาออกซิเจน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบของสารอินทรีย์

ตัวอย่าง	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์	ชนิดกากอุตสาหกรรม			
		นม	เบียร์	กาแฟ	เครื่องดื่มบำรุงกำลัง
Moisture (% w/w , as received)	76.20	88.57	96.60	87.67	85.45
Ash (% w/w , dry basis)	27.71	17.10	12.72	14.80	12.26
Carbon (% w/w , dry basis)	31.08	5.92	4.24	4.93	3.21
Hydrogen (% w/w , dry basis)	4.38	0.82	0.09	0.61	1.06
Nitrogen (% w/w , dry basis)	1.23	0.28	0.14	0.20	0.1
Oxygen	35.6	75.88	82.81	79.46	83.37

จากองค์ประกอบสารอินทรีย์ สามารถเขียนสูตรอย่างง่าย (แอมพิริคัล) ได้ดังนี้ กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ $CH_{1.69}O_{0.86}N_{0.0335}$, กากอุตสาหกรรมนม $CH_{1.67}O_{20.30}N_{0.0408}$, กากอุตสาหกรรมเบียร์ $CH_{0.25}O_{14.8}N_{0.0285}$, กากอุตสาหกรรมกาแฟ $CH_{1.48}O_{14.37}N_{0.0341}$ และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง $CH_{3.97}O_{19.52}N_{0.0262}$

4.1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ในการทดลองทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์และกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มประเภทต่างๆ ก่อนนำไปหมักร่วมตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ของวัตถุดิบหมัก ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

วัตถุดิบหมัก	ค่า pH
กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ	7
กากอุตสาหกรรมนม	7
กากอุตสาหกรรมเบียร์	5
กากอุตสาหกรรมกาแฟ	7
กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	4

4.1.5 ค่า COD (Chemical Oxygen Demand)

ค่า COD ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้นำมาจากรายงานผลการวิเคราะห์กากอุตสาหกรรมที่จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลในการกำจัดกากอุตสาหกรรมในโรงงานนั้นๆ โดยค่า COD แสดงถึงปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องใช้สำหรับทำปฏิกิริยาเคมี (Oxidation) กับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ โดยหลังจากทำปฏิกิริยาเคมีจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมาแทนที่ ดังแสดงในตารางที่ 9

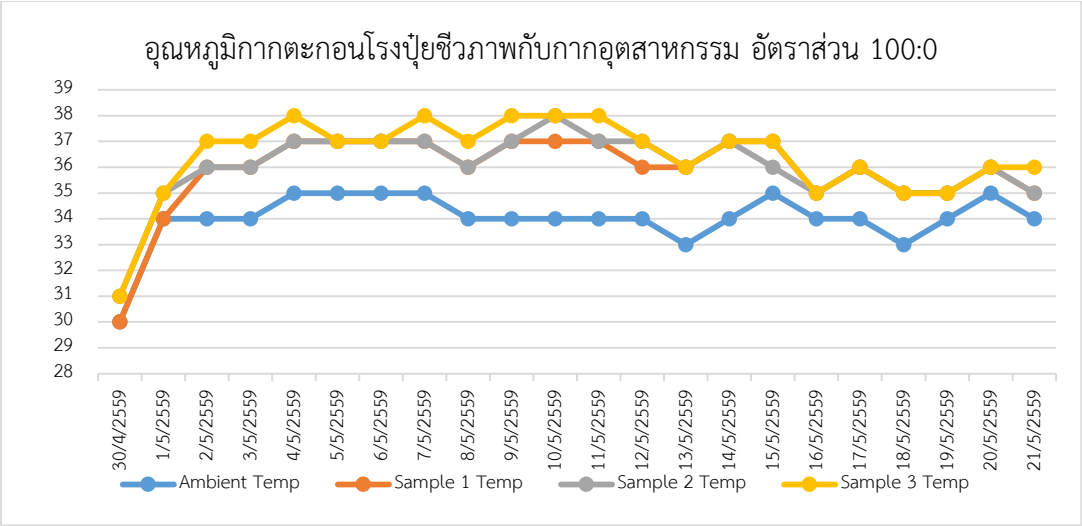
ตารางที่ 9 ค่า Chemical Oxygen Demand

วัตถุดิบหมัก	ค่า COD (mg/l)
กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ	109,653
กากอุตสาหกรรมนม	54,802
กากอุตสาหกรรมเบียร์	51,350
กากอุตสาหกรรมกาแฟ	51,986
กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	48,400

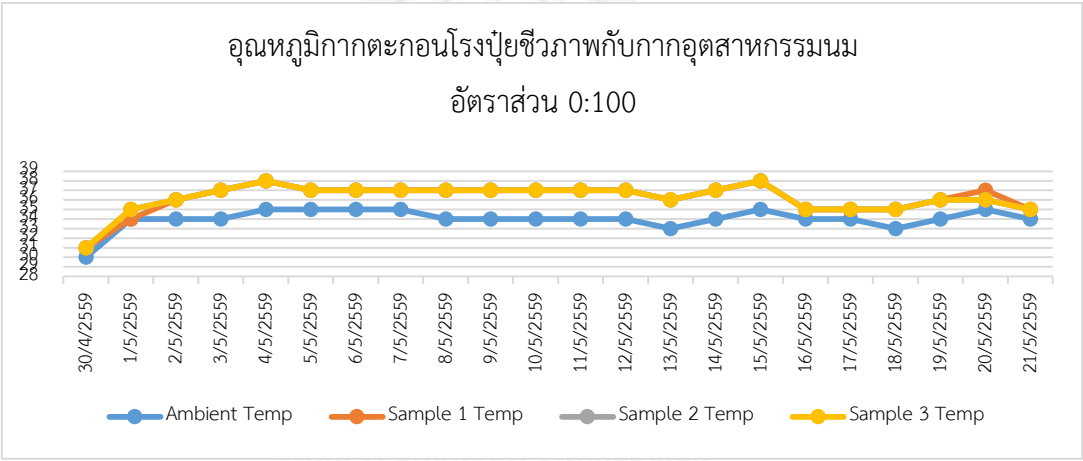
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.6 อุณหภูมิระหว่างการทดลอง

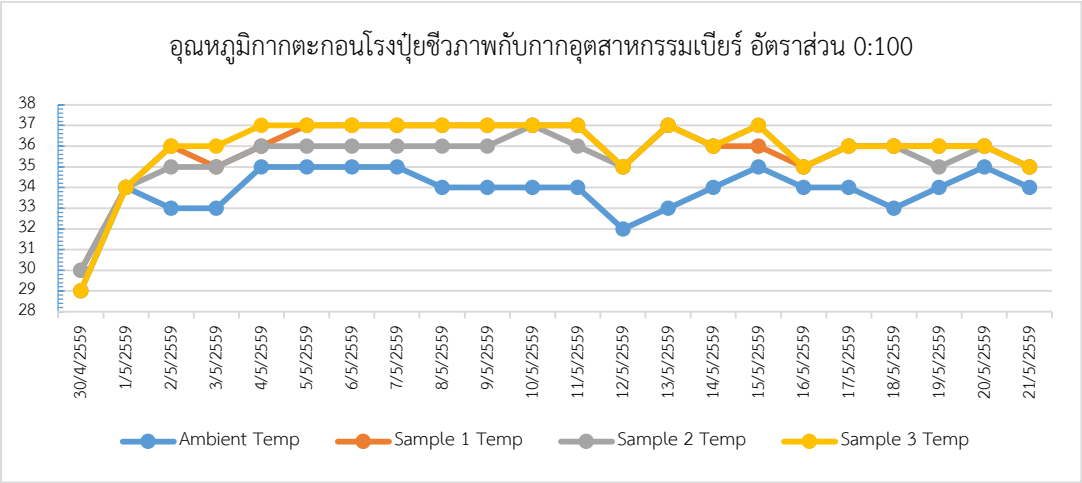
การศึกษานี้เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาตรที่เหมาะสมในการหมักร่วมระหว่างกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์และกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่ม โดยทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง วัดอุณหภูมิระหว่างการหมักและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกระบบหมักจดค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ ณ.เวลา 14.00 น.ของทุกวัน แสดงดังรูปที่ 20-36



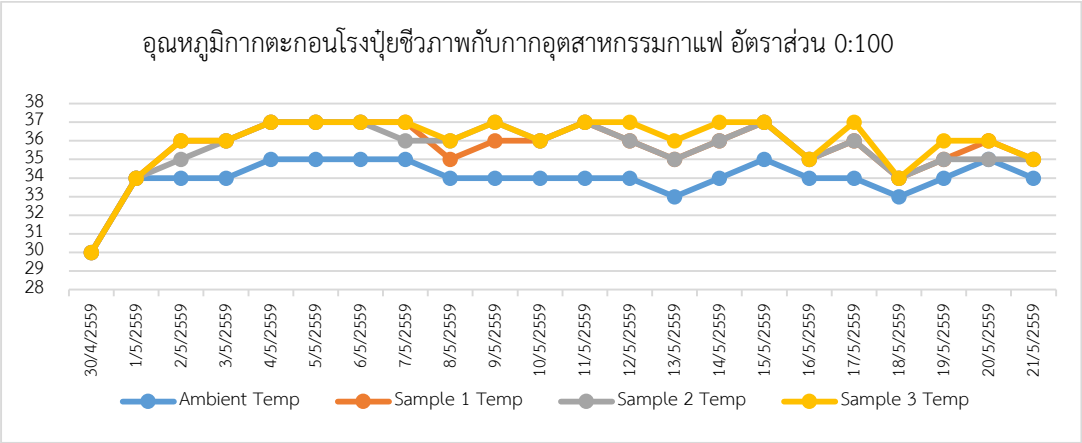
รูปที่ 20 อุณหภูมิระบบของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ อัตราส่วน 100:0



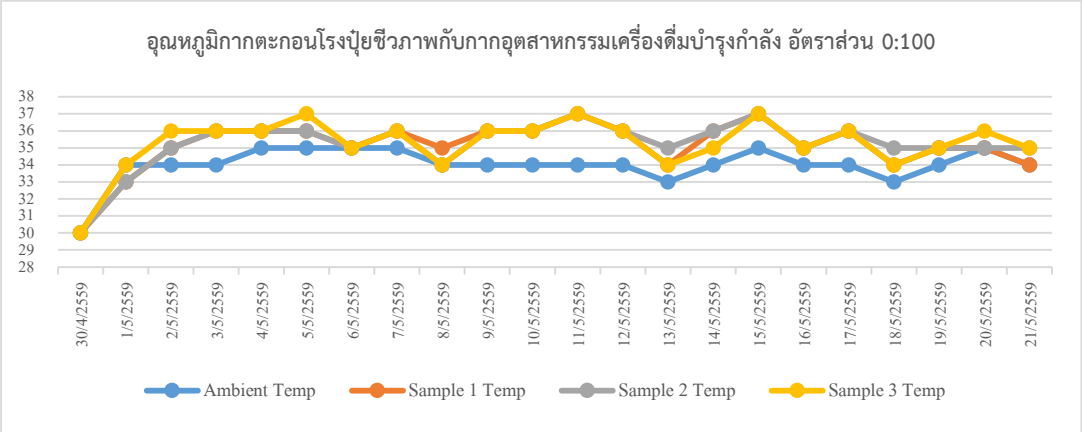
รูปที่ 21 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 0:100



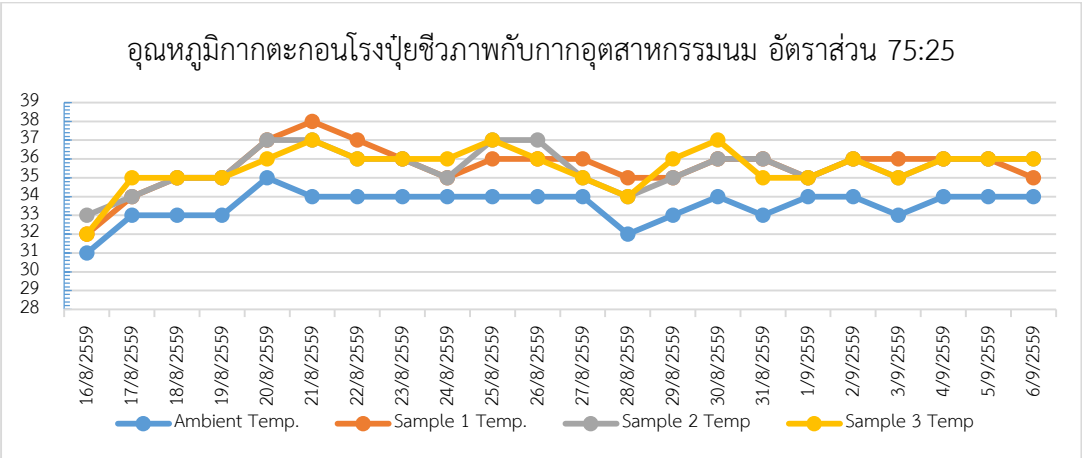
รูปที่ 22 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 0:100



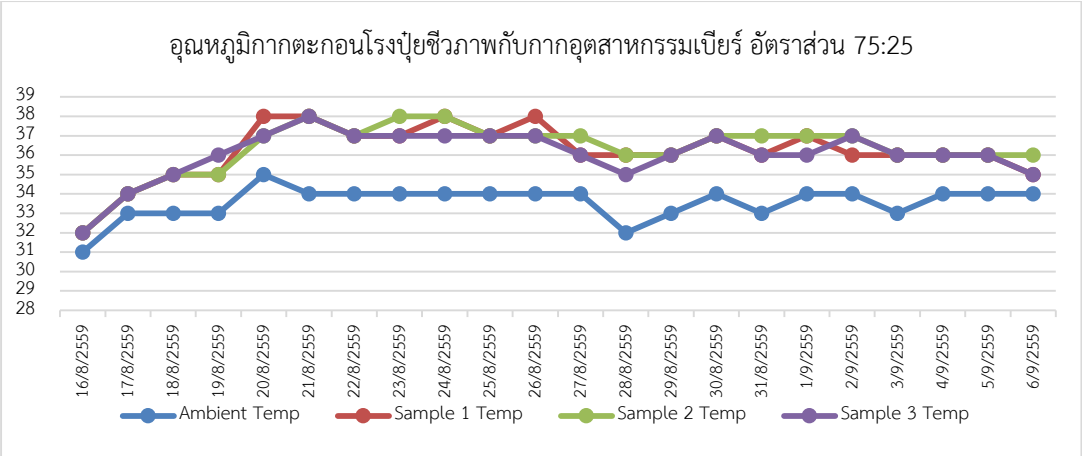
รูปที่ 23 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0:100



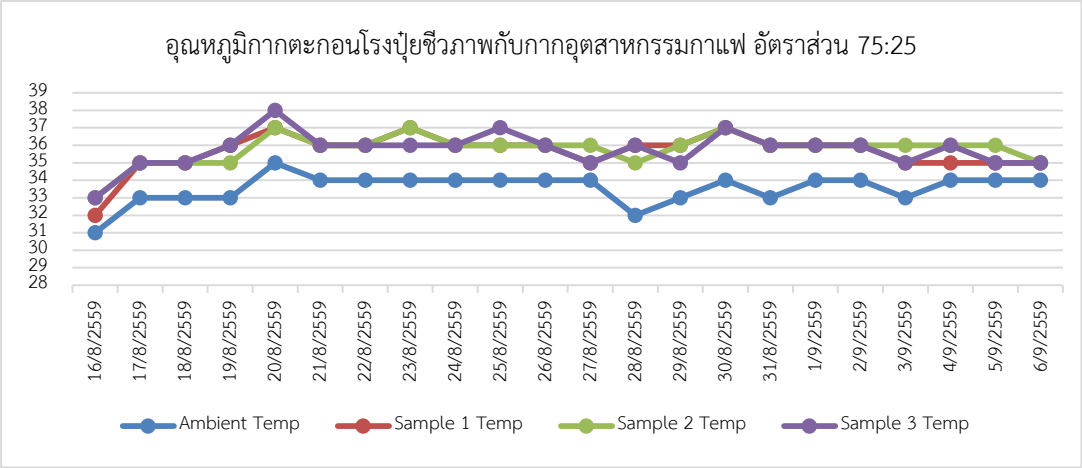
รูปที่ 24 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100



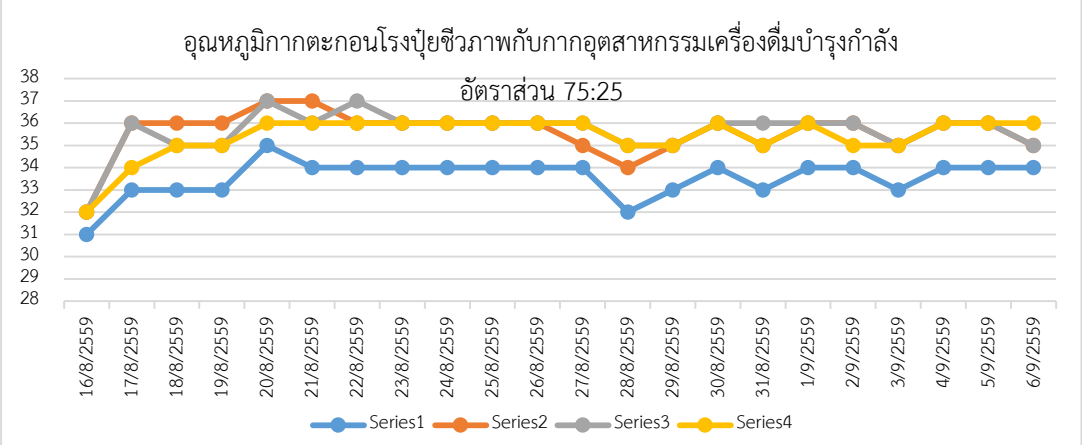
รูปที่ 25 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25



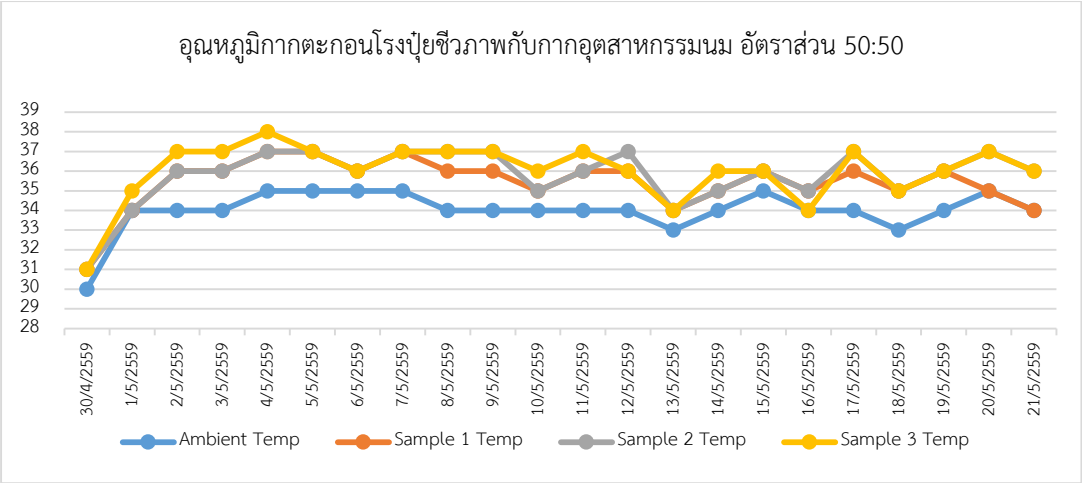
รูปที่ 26 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25



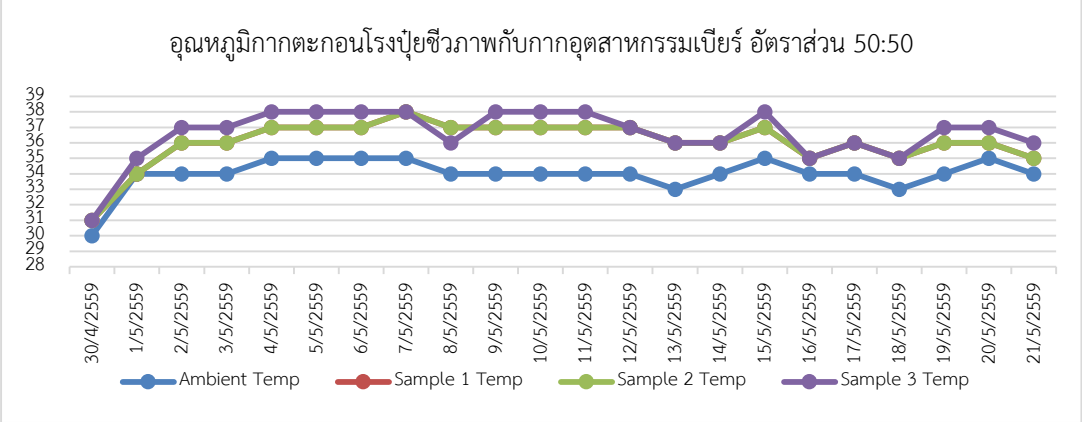
รูปที่ 27 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25



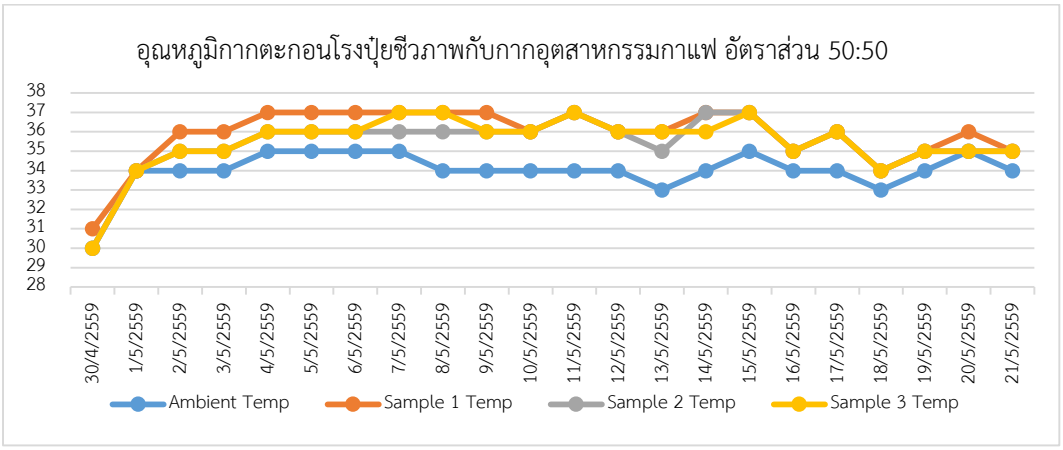
รูปที่ 28 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25



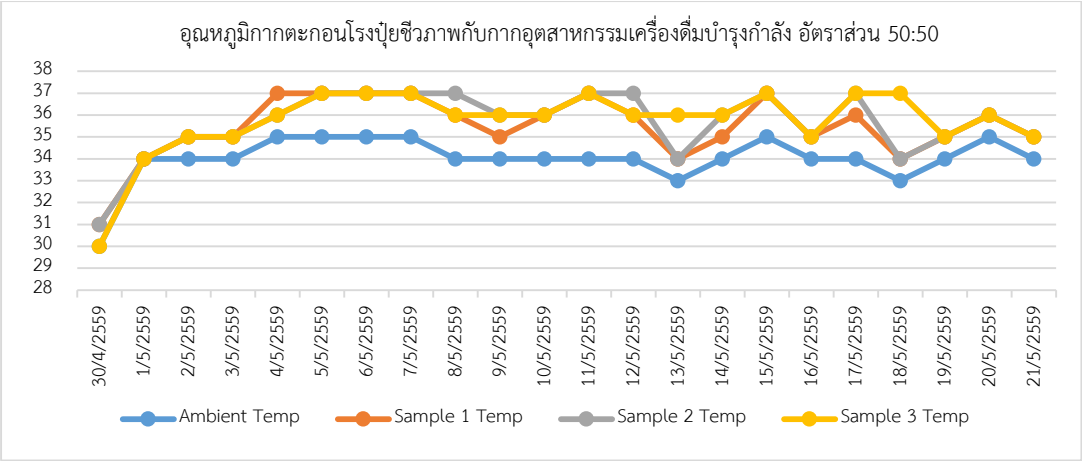
รูปที่ 29 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50



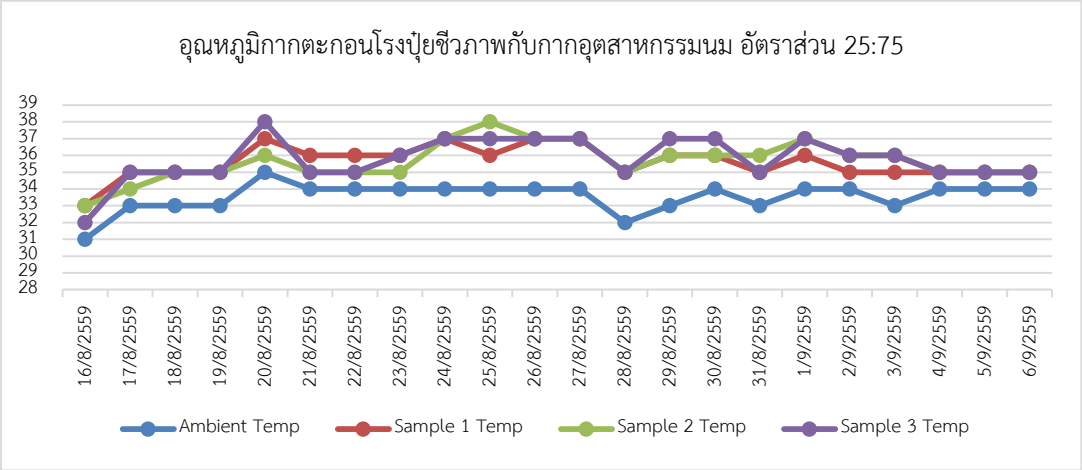
รูปที่ 30 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50



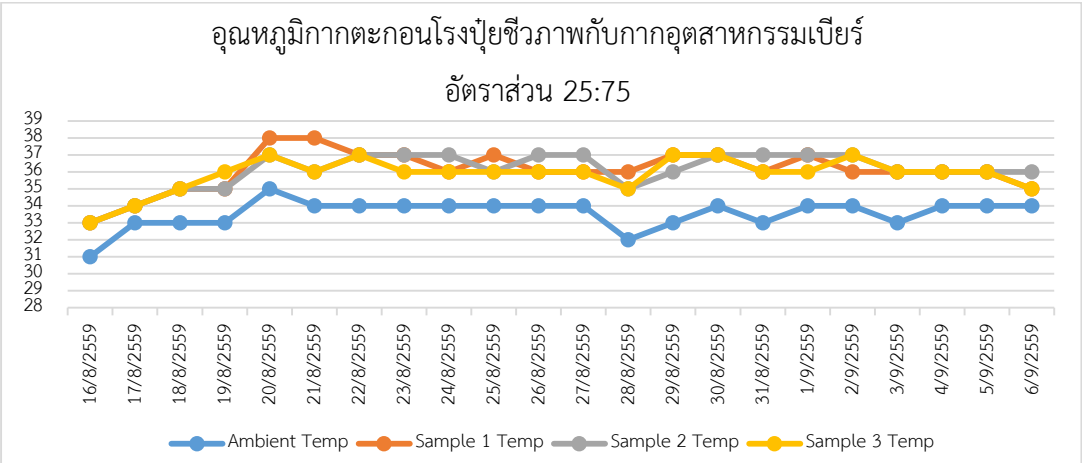
รูปที่ 31 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50



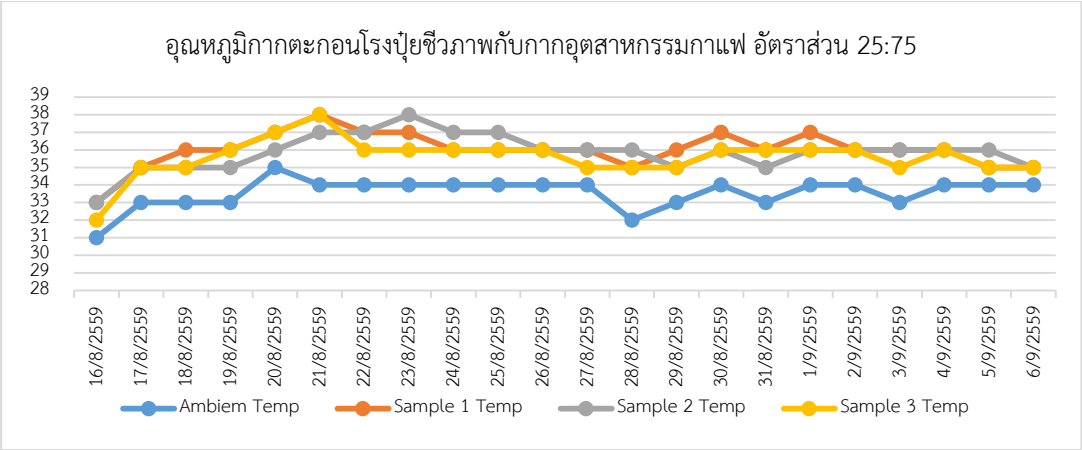
รูปที่ 32 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50



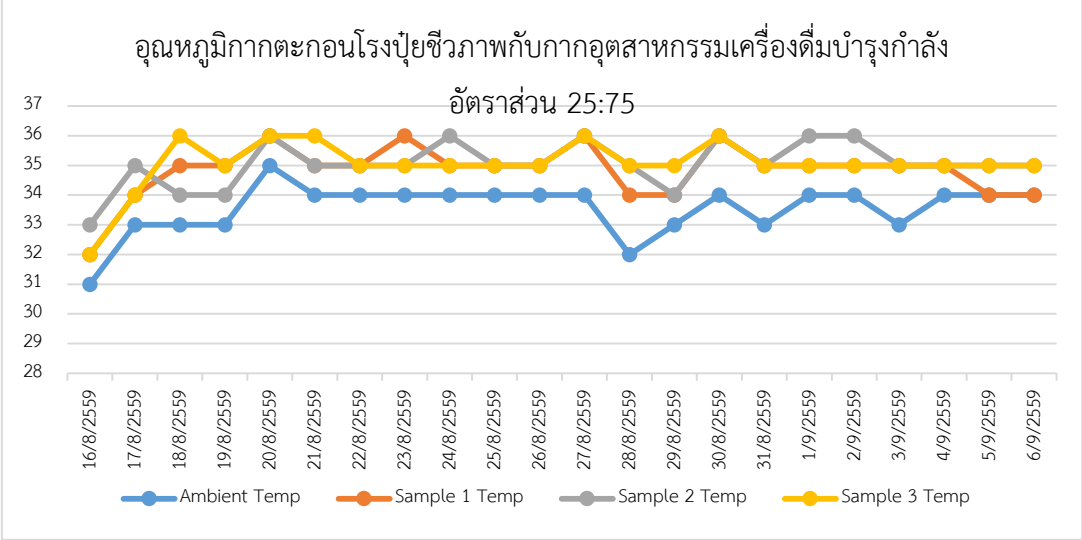
รูปที่ 33 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 34 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75



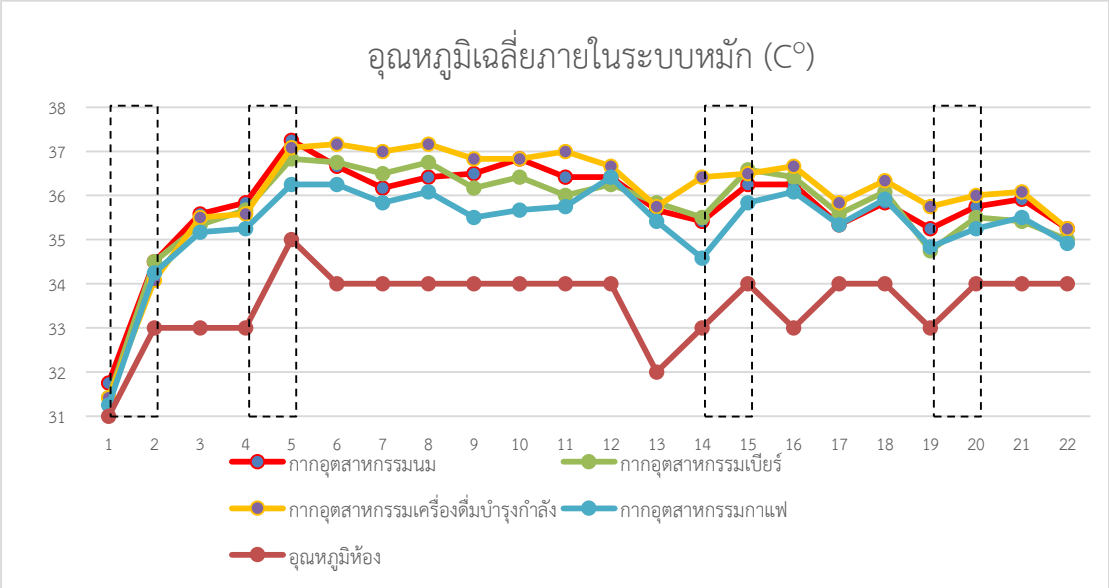
รูปที่ 35 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 36 อุณหภูมิกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 20-36 เป็นค่าอุณหภูมิที่บันทึกจากการทดลอง โดยจดค่า ณ.เวลา 14.00 น. ของทุกวัน พบว่าทุกอัตราส่วนการหมัก อุณหภูมิภายในขวดหมักจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย โดยเป็นไปทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ครั้งของการทดลองในแต่ละตัวอย่าง จากการทดลองซึ่งดำเนินการในช่วง 2 ระยะเวลาคือ วันที่ 30 เมษายน 2559 – 21 พฤษภาคม 2559 ระยะเวลา 22 วัน โดยทำการทดลอง 9 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง ได้แก่ กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมโรงงานเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 100:0, 0:100 กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50, กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50, กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50 และกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์

กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50 และช่วงวันที่ 16 สิงหาคม 2559 ถึงวันที่ 9 กันยายน 2559 ระยะเวลา 22 วัน ทำการทดลอง 8 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง ได้แก่ กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25, อัตราส่วน 25:75, กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75 : 25, อัตราส่วน 25:75, กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25, อัตราส่วน 25:75 และกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25, อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 37 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและภายในระบบหมัก (°C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

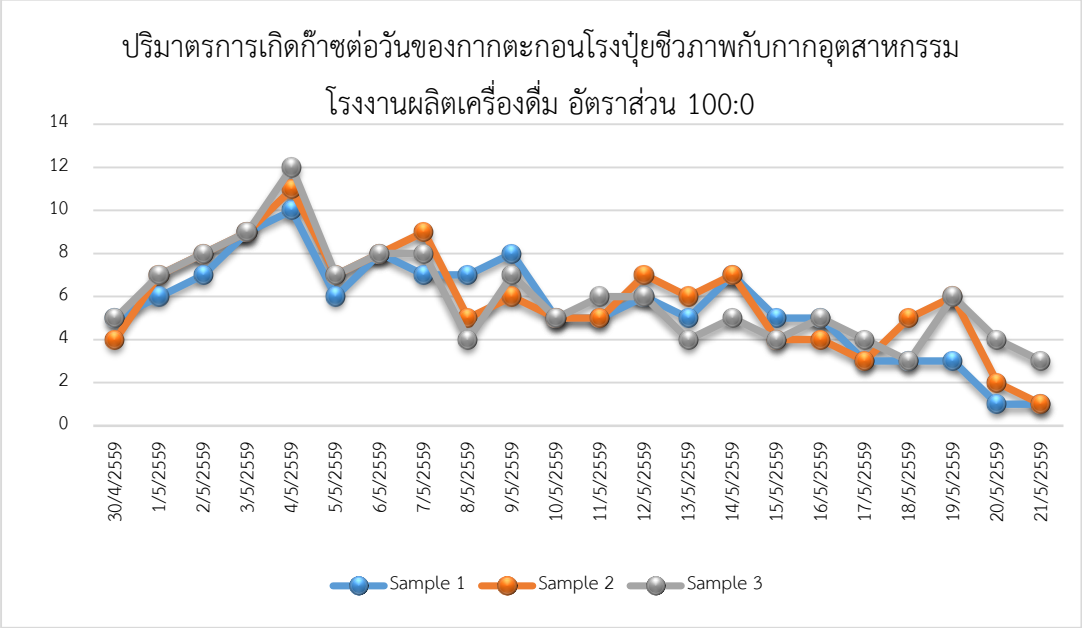
จากรูปที่ 37 แสดงการทดลองพบช่วงที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเหมือนกันทั้ง 2 ช่วงระยะเวลา คือ วันที่ 1-2, 4-5, 14-15 และ 19-20 ของการทดลองเพื่อใช้เป็นช่วงเปรียบเทียบปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ซึ่งก๊าซชีวภาพจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งจากการทดลอง อุณหภูมิสูงสุดคือวันที่ 5 ของการทดลอง ที่ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ต่ำสุดคือวันที่ 1 ของการทดลอง 30 องศาเซลเซียส

ช่วงอุณหภูมิระหว่างการทดลองดังกล่าวเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเอื้อต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม Mesophilic ที่จะย่อยสลากสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง

4.1.5 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากการหมักต่อวัน

เป็นการเก็บผลก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน โดยการวัดปริมาตรน้ำที่เกิดจากการแทนที่น้ำ ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในขวดเก็บก๊าซชีวภาพ มีหน่วยวัดเป็นมิลลิลิตรต่อวันดังแสดงดังรูปที่ 38 – 55 การเก็บผลดำเนินการหลังจากเติมวัตถุดิบหมักแล้ว 3 วันเพื่อให้แบคทีเรียปรับตัวเข้ากับวัตถุดิบของการทดลอง

4.1.5.1 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม อัตราส่วน 100:0

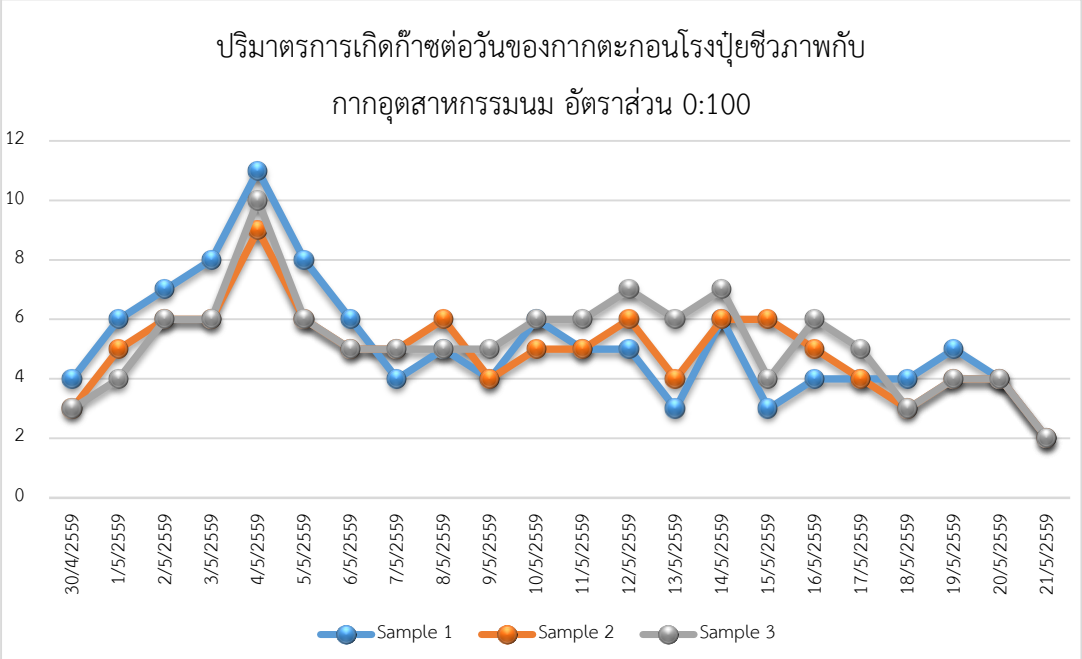


รูปที่ 38 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับการอุตสาหกรรมอื่นๆ อัตราส่วน 100:0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 38 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 5.54, 5.86 และ 5.90 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

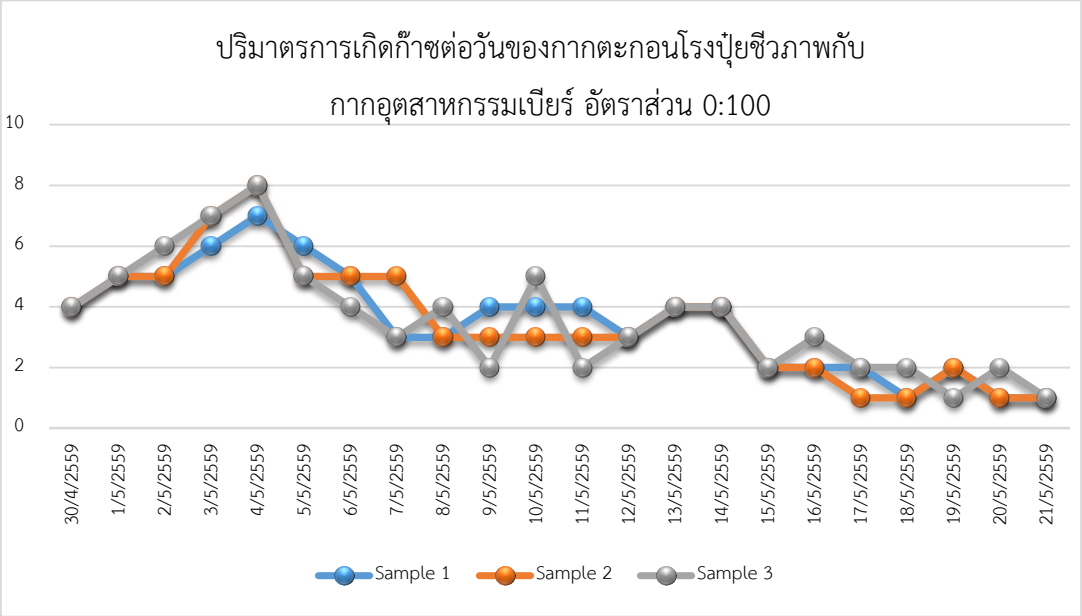
4.1.5.2 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 0:100



รูปที่ 39 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 0:100

จากรูปที่ 39 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 5.18, 4.95 และ 5.22 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

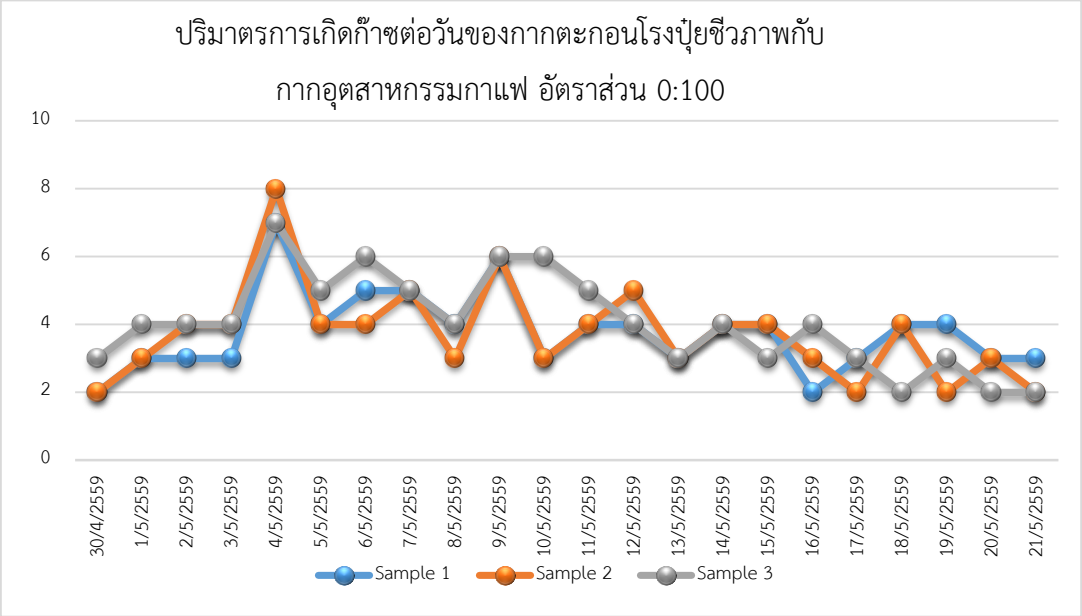
4.1.5.3 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 0:100



รูปที่ 40 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 0:100

จากรูปที่ 40 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 3.54, 3.50 และ 3.59 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

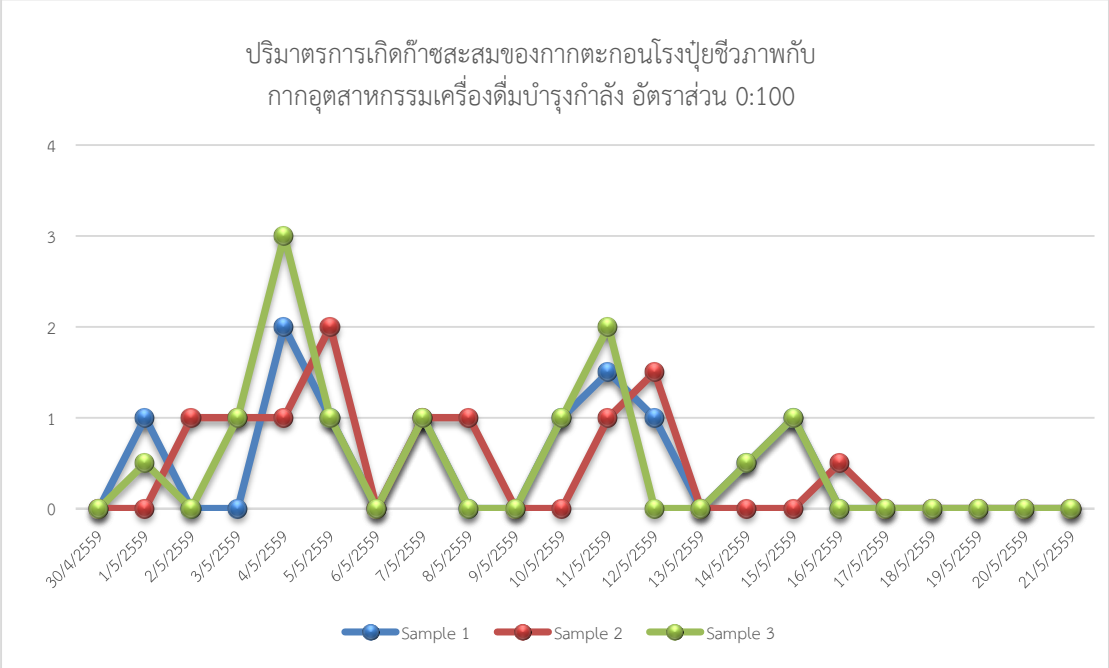
4.1.5.4 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0:100



รูปที่ 41 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0: 100

จากรูปที่ 41 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 3.77, 3.72 และ 4.04 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

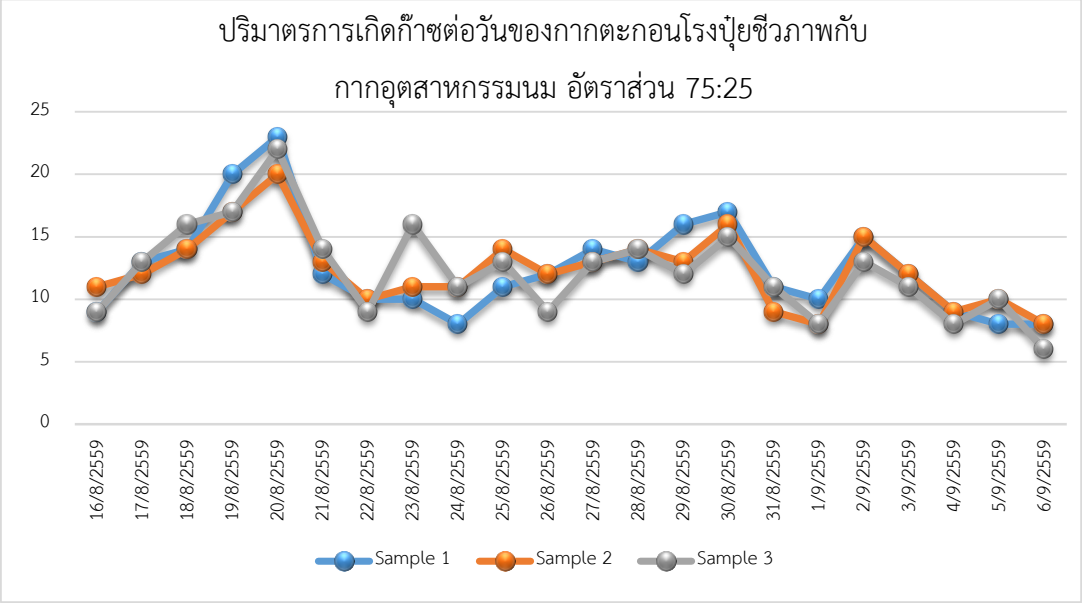
4.1.5.5 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100



รูปที่ 42 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100

จากรูปที่ 42 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทด ลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 0.45, 0.45 และ 0.5 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

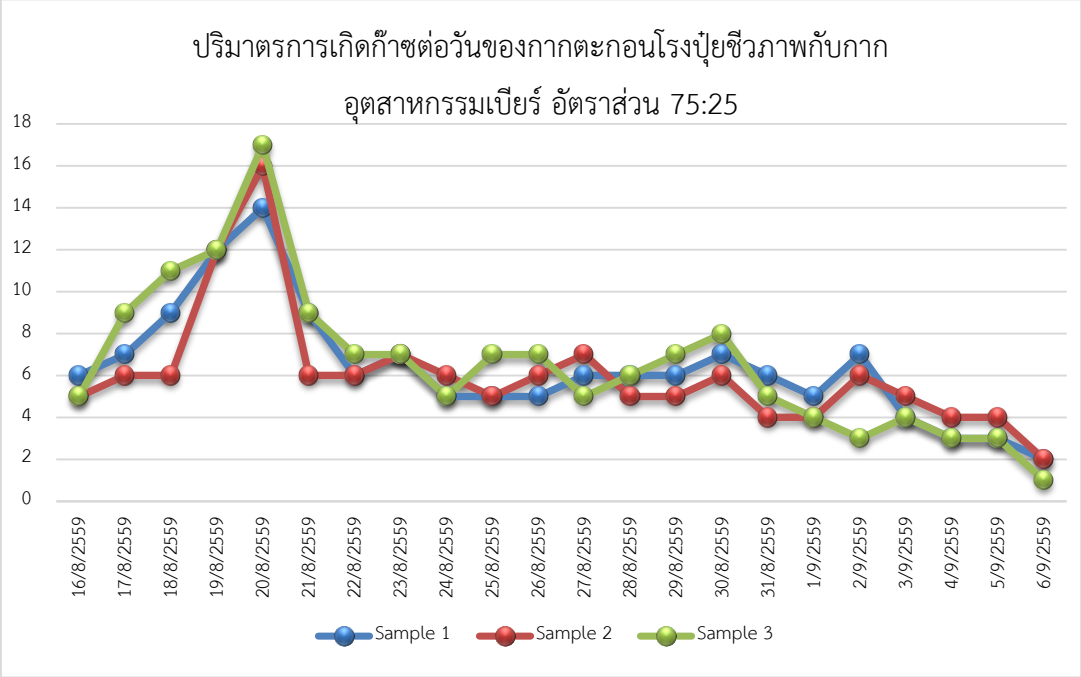
4.1.5.6 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25



รูปที่ 43 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 43 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทด ลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 12.5, 12.36 และ 12.27 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

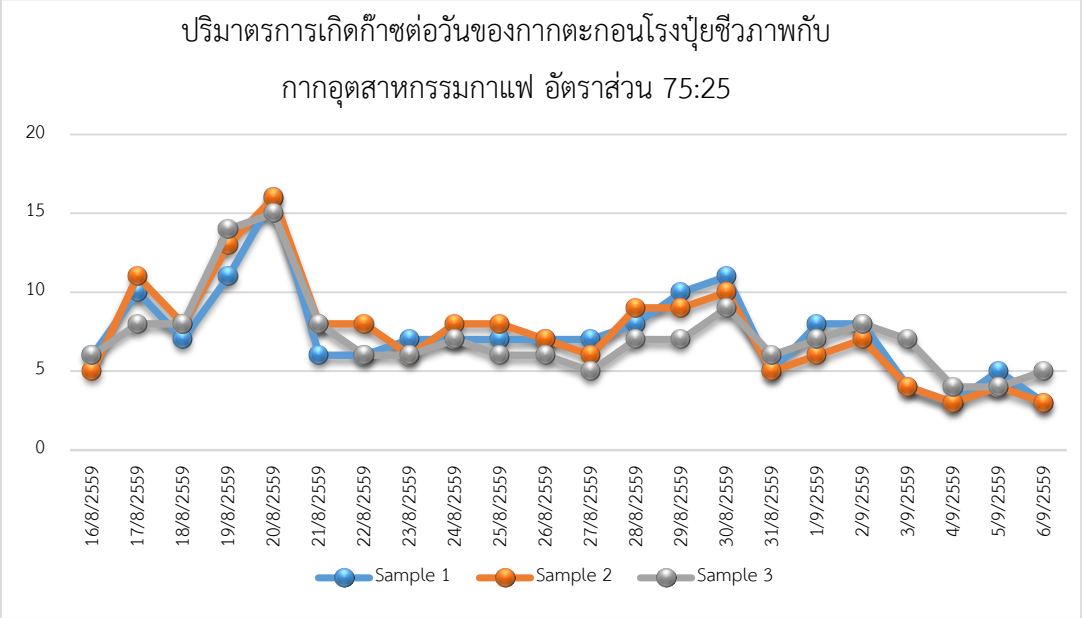
4.1.5.7 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25



รูปที่ 44 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 44 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทด ลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 6.36, 6.04 และ 6.59 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

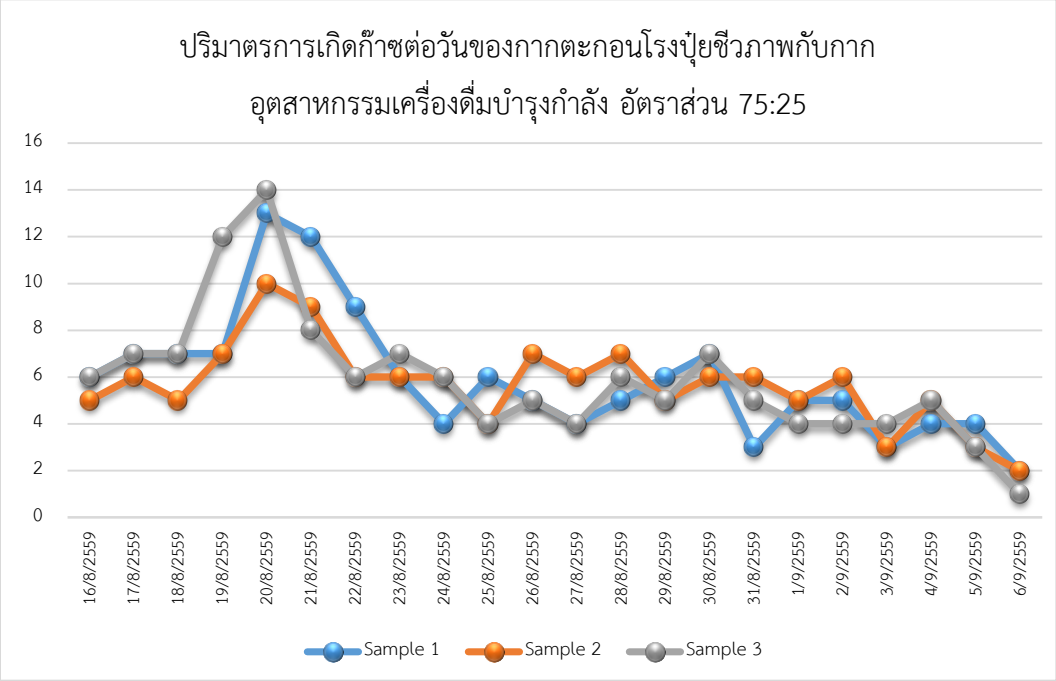
4.1.5.8 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25



รูปที่ 45 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 45 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 7.36, 7.45 และ 7.22 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

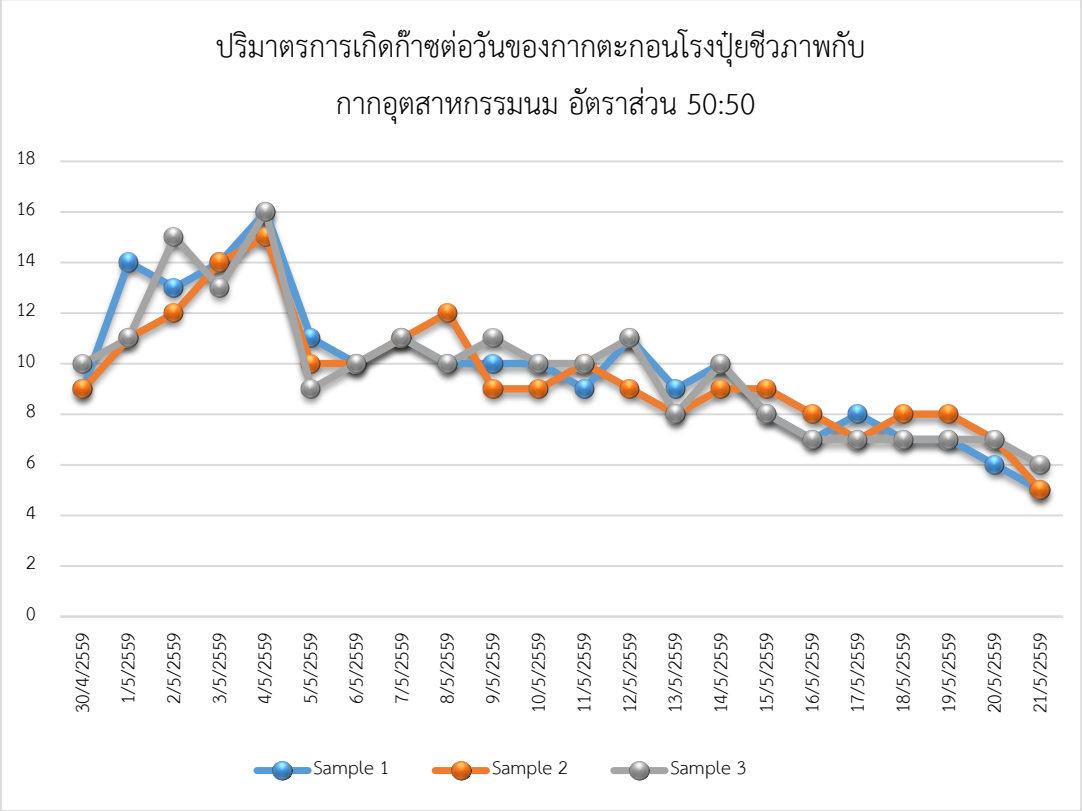
4.1.5.9 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25



รูปที่ 46 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังอัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 46 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 5.90, 5.68 และ 5.90 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

4.1.5.10 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50

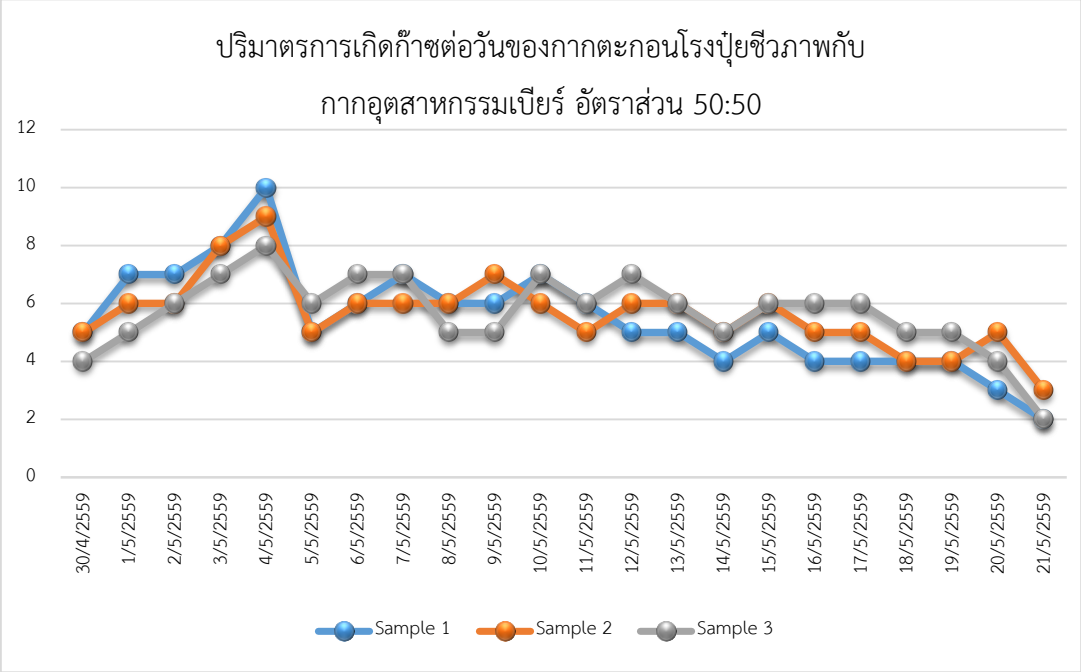


รูปที่ 47 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 47 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 9.77, 9.54 และ 9.72 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

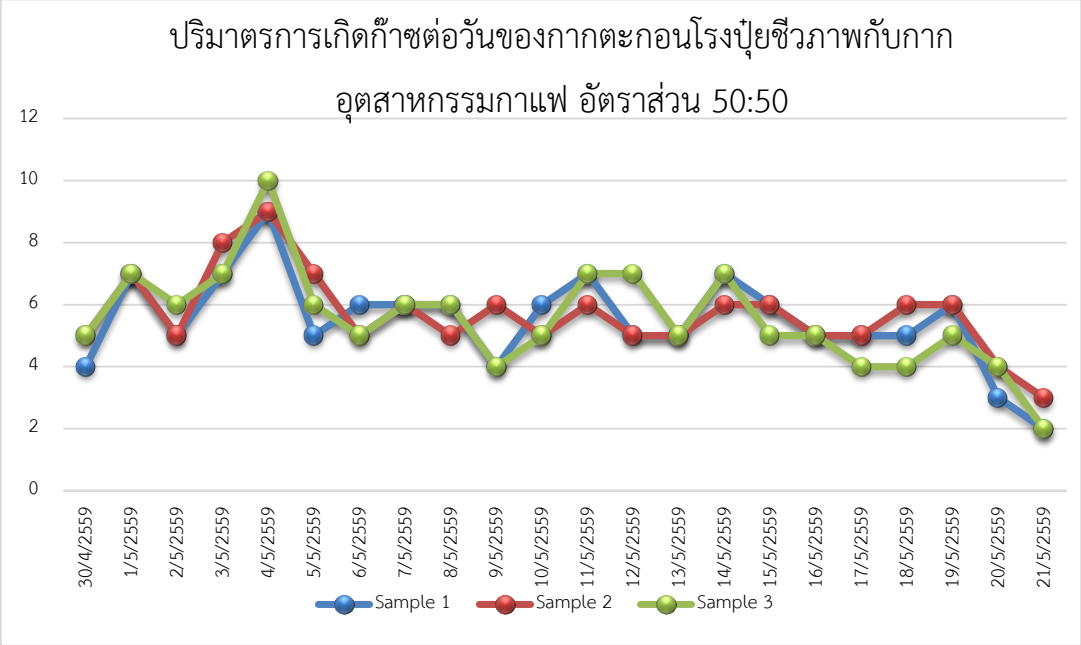
4.1.5.11 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50



รูปที่ 48 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50

จากรูปที่ 48 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทด ลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 5.45, 5.63 และ 5.68 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

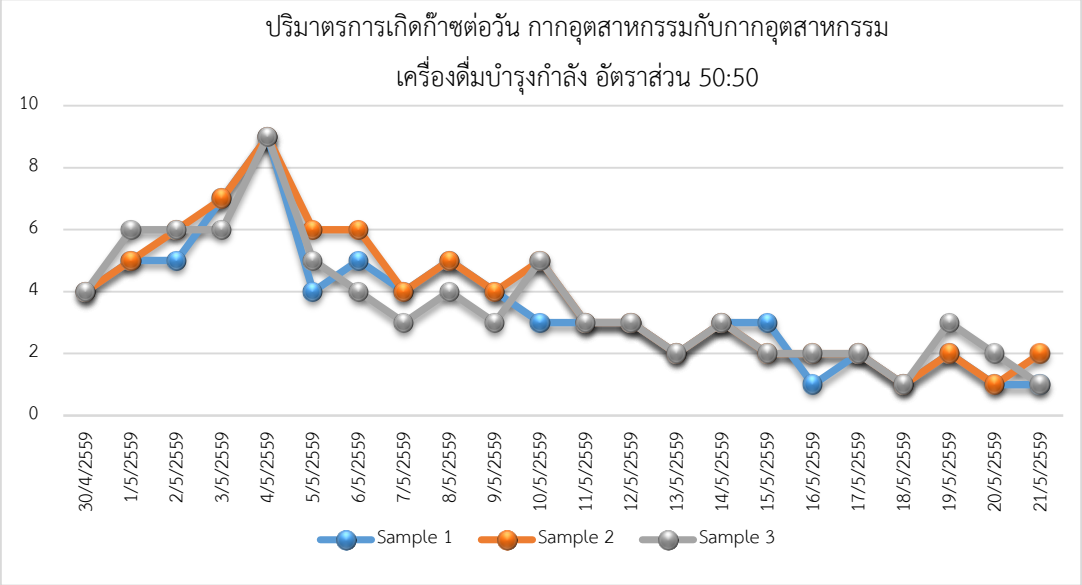
4.1.5.12 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50



รูปที่ 49 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50

จากรูปที่ 49 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 5.50, 5.68 และ 5.90 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

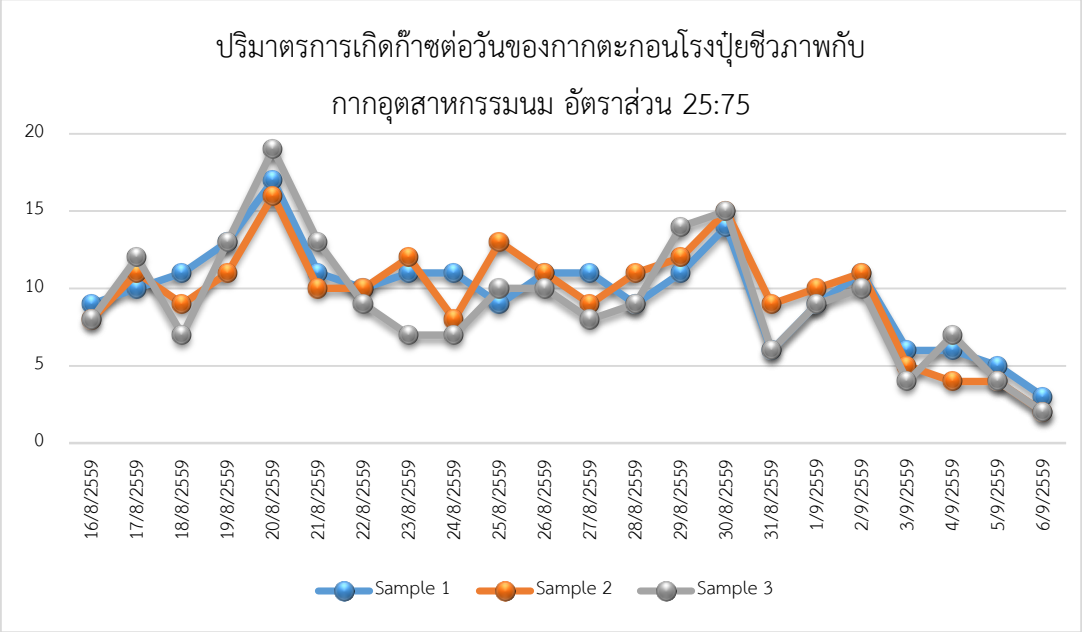
4.1.5.13 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังอัตราส่วน 50:50



รูปที่ 50 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม เครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50

จากรูปที่ 50 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 3.50, 3.81 และ 3.59 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

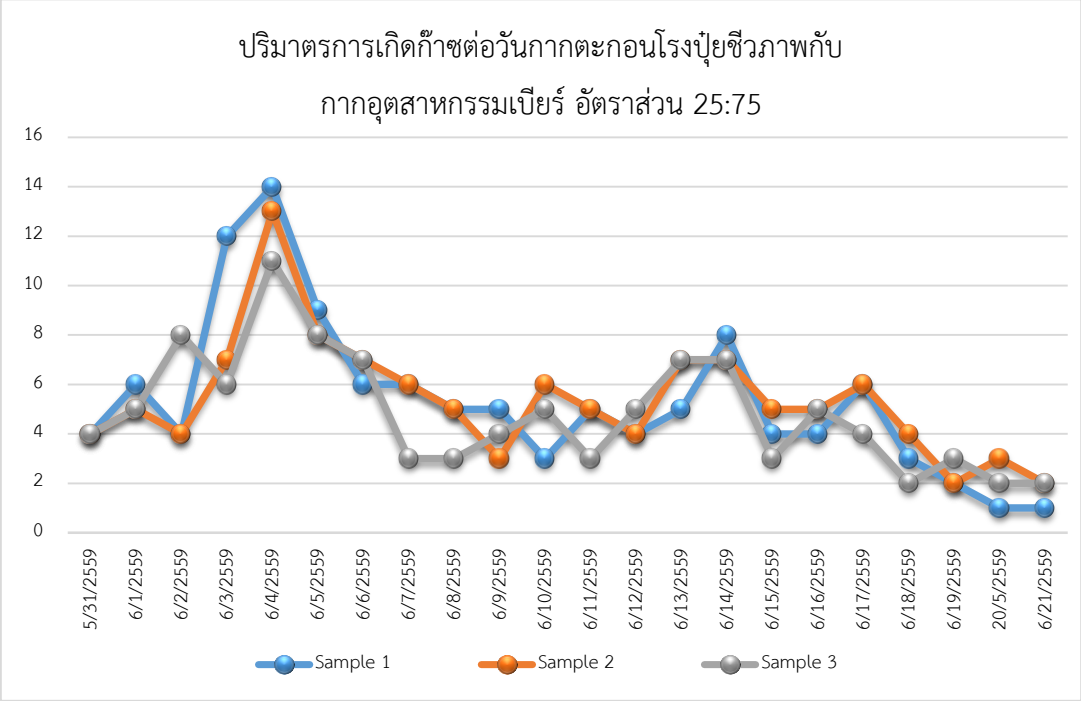
4.1.5.14 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 51 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 51 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 9.72, 9.59 และ 9.22 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

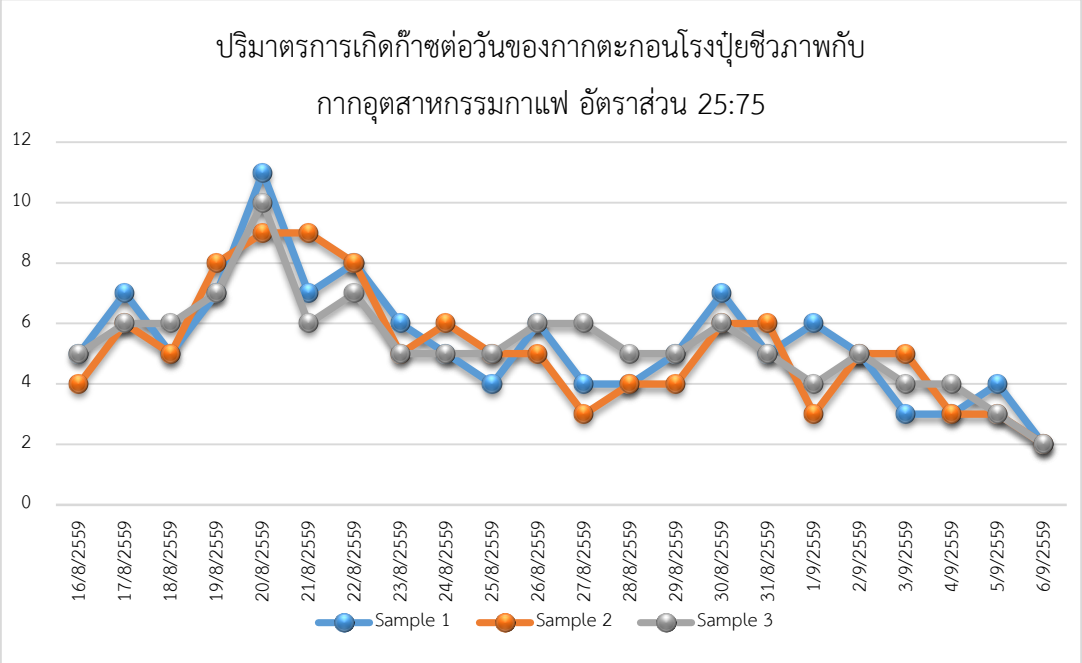
4.1.5.15 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 52 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 52 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 5.61, 5.36 และ 4.86 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

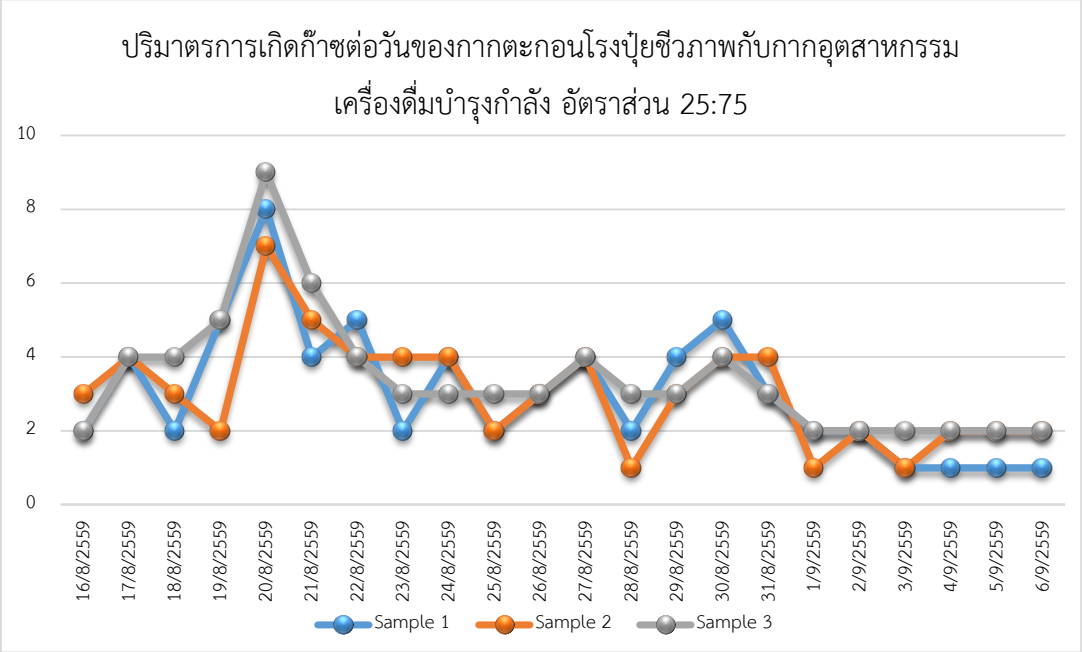
4.1.5.16 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 53 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75

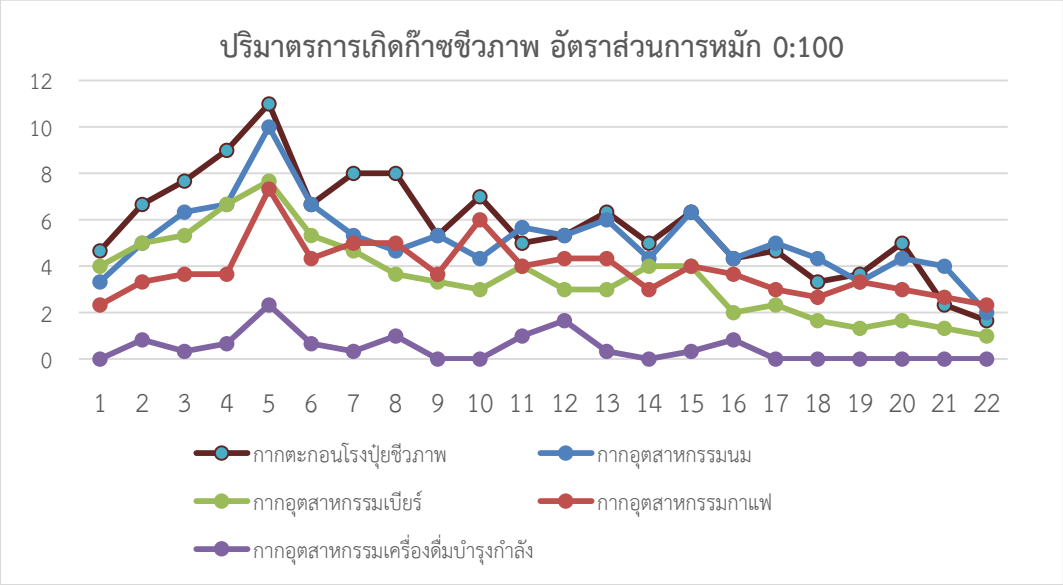
จากรูปที่ 53 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 5.40, 5.18 และ 5.31 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

4.1.5.17 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 25:75



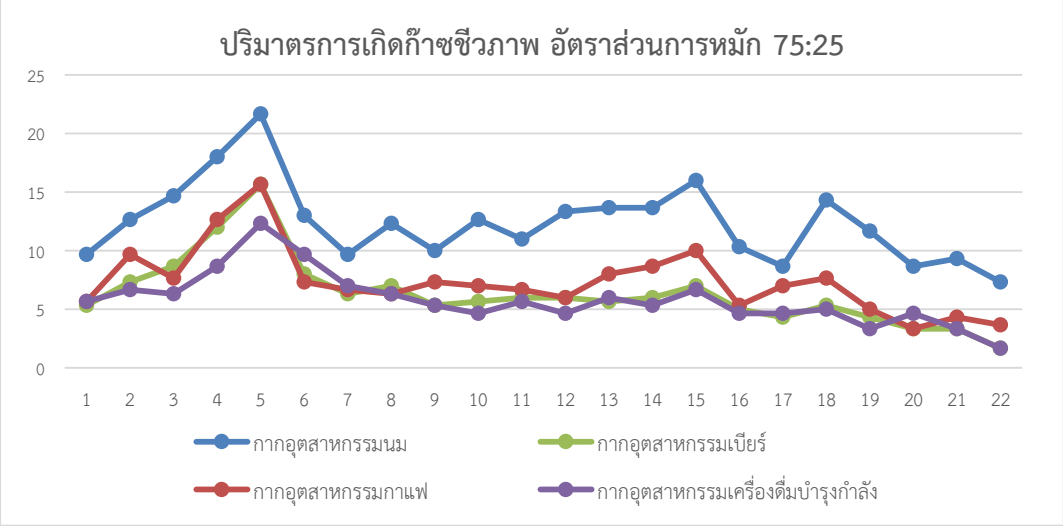
รูปที่ 54 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังอัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 54 มีปริมาตรก๊าซเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองพบว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดต่อวันนับจนการทดลองสิ้นสุดลงที่ 22 วัน อยู่ที่ 3.04, 3.04 และ 3.40 มิลลิลิตรตามลำดับการทดลอง

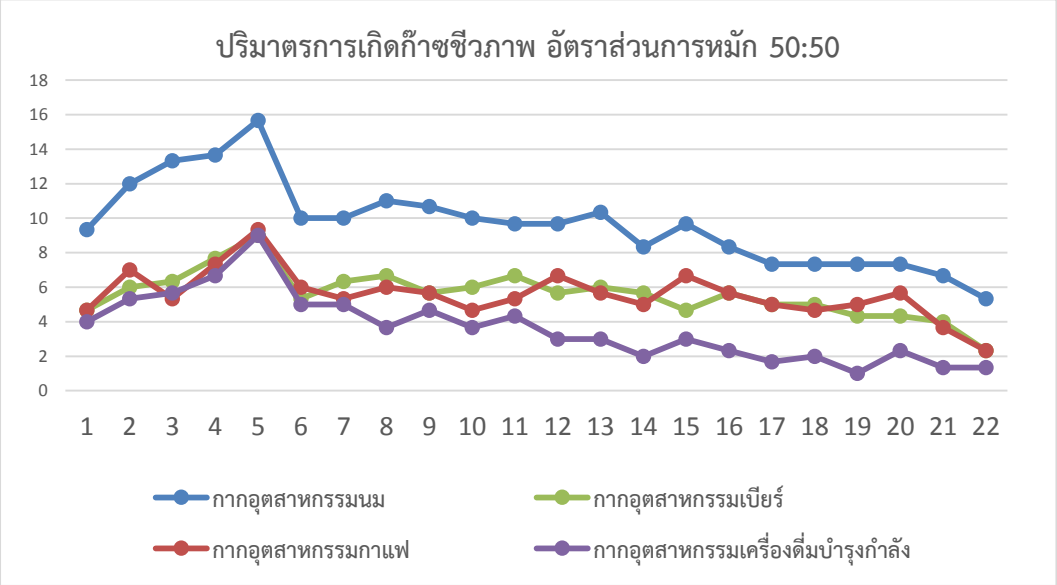


รูปที่ 55 สรุปปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันตามอัตราส่วนต่างๆ

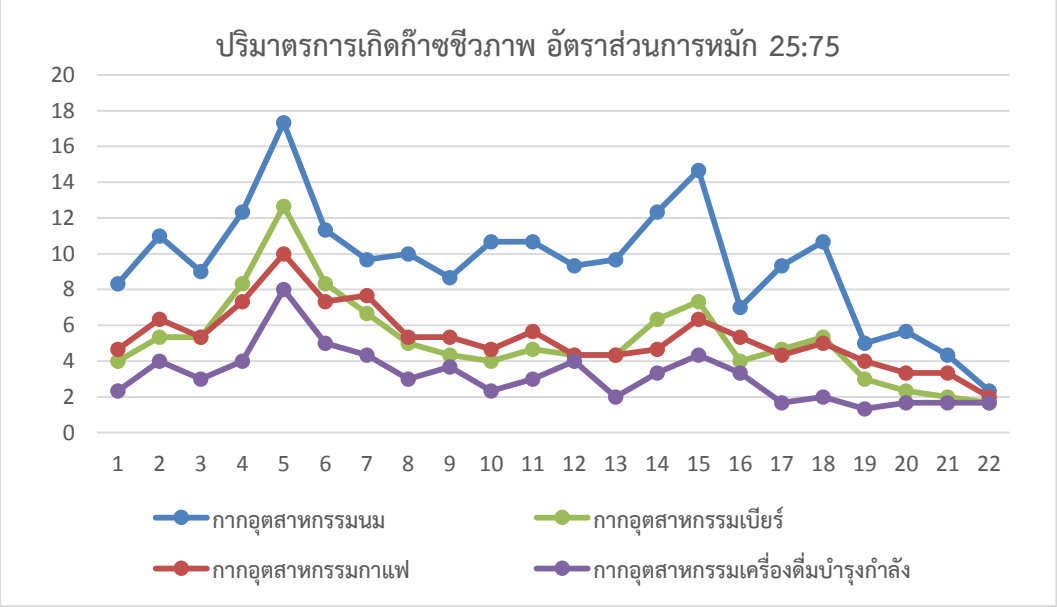
(ก) ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันอัตราส่วนการหมัก 100



(ข) ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันอัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม 75:25



(ค) ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันอัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม 50:50

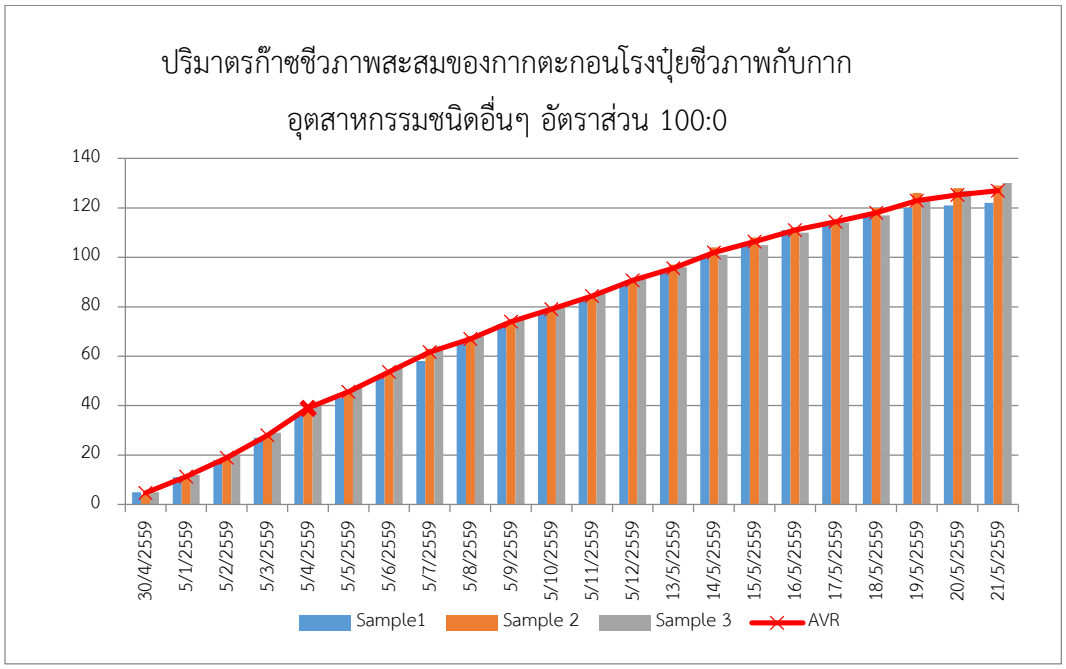


(ง) ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันอัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม 25:75

4.1.6 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจากการหมัก

จากการทดลองทำการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมจำนวน 4 ชนิดทั้งหมด 5 อัตราส่วนทำการทดลองทั้งสิ้น 3 ครั้ง โดยควบคุมน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบในการหมักมีค่าเท่ากัน พบว่าปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพของแต่ละวันจะมีลักษณะลดลงเรื่อยๆ ทุกอัตราส่วน โดยผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 การทดลอง เมื่อร่วมปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดในแต่ละวันจะได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมดังรูปที่ 56-72

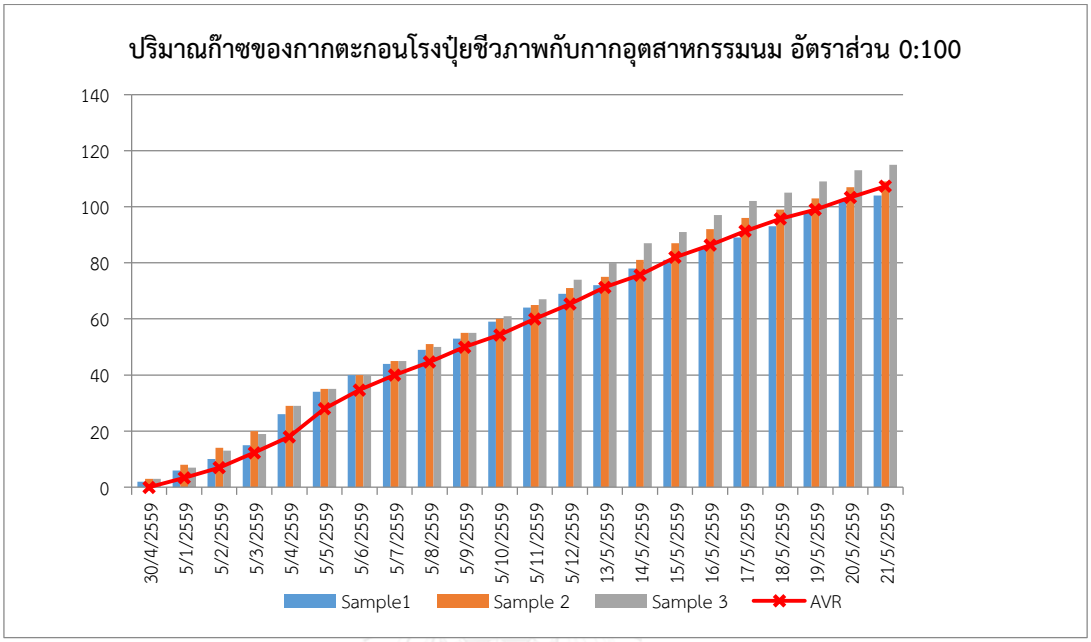
4.1.6.1 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ อัตราส่วน 100:0



รูปที่ 56 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ อัตราส่วน 100:0

จากรูปที่ 56 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 122 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 129 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 130 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 127 มิลลิลิตร

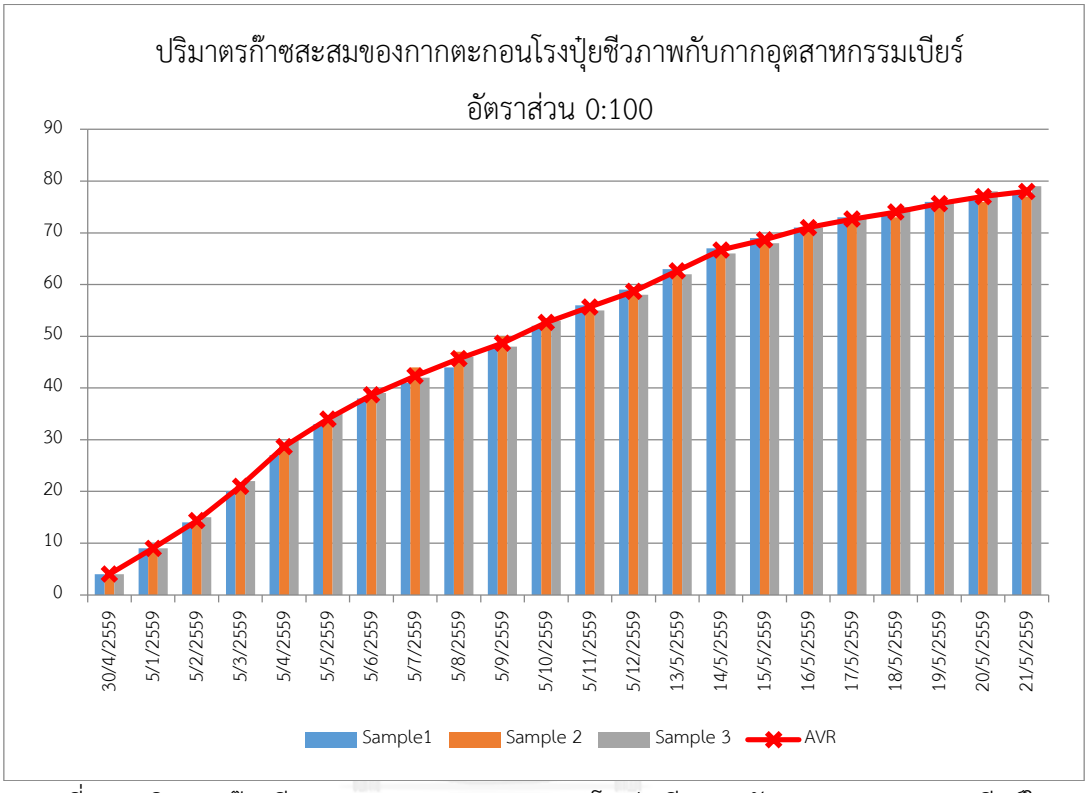
4.1.6.2 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 0:100



รูปที่ 57 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนมใน อัตราส่วน 0:100

จากรูปที่ 57 เป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งที่ 1 จะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงแรกค่อนข้างรวดเร็วกว่าการทดลองอื่น แต่จะเกิดก๊าซชีวภาพช้าลงในเวลาต่อมา ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 114 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 109 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 115 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 112.66 มิลลิลิตร

4.1.6.3 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 0:100

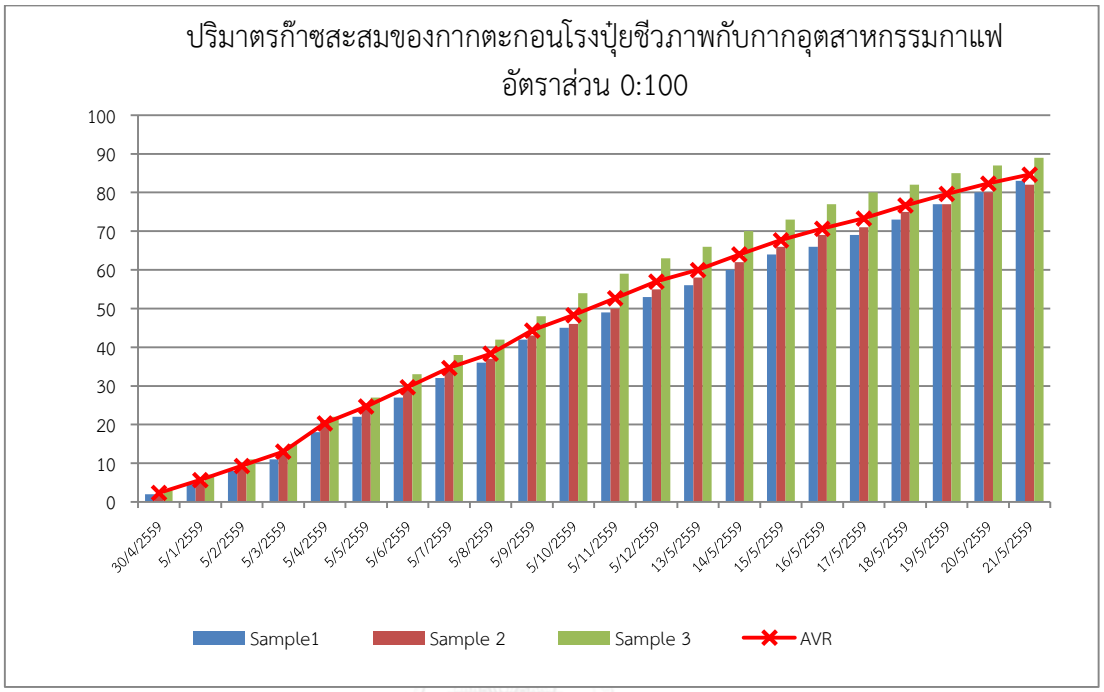


รูปที่ 58 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ใน อัตราส่วน 0:100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 58 เป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 78 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 77 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 79 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 78 มิลลิลิตร

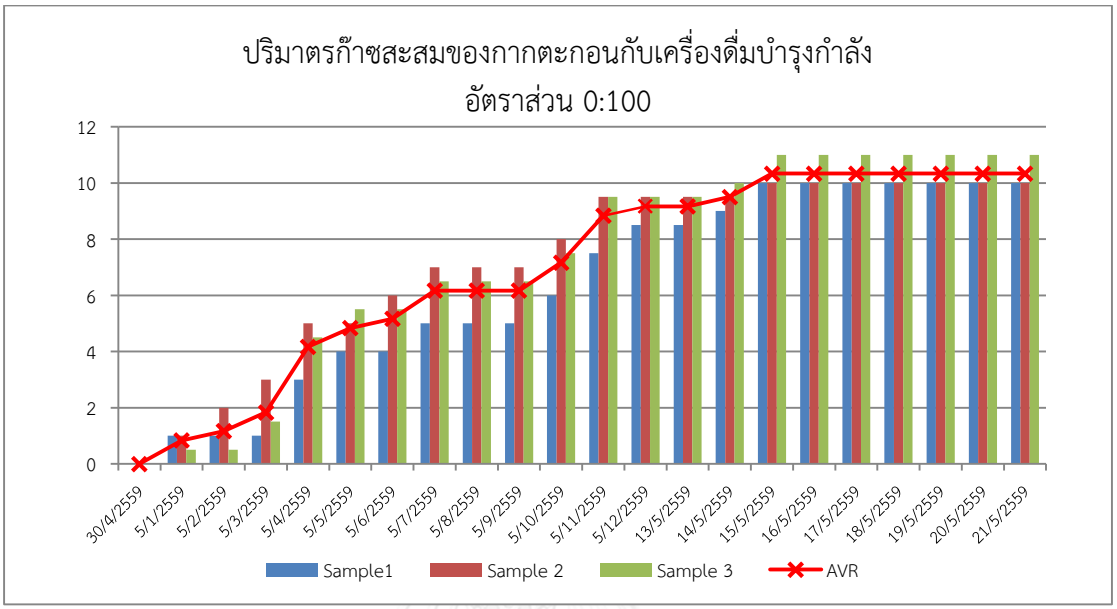
4.1.6.4 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0:100



รูปที่ 59 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟใน อัตราส่วน 0:100

จารูปที่ 59 เป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรก๊าซสะสมมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งที่ 3 มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงกว่าการทดลองอื่นเล็กน้อย โดยการทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 83 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 82 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 89 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 84.66 มิลลิลิตร

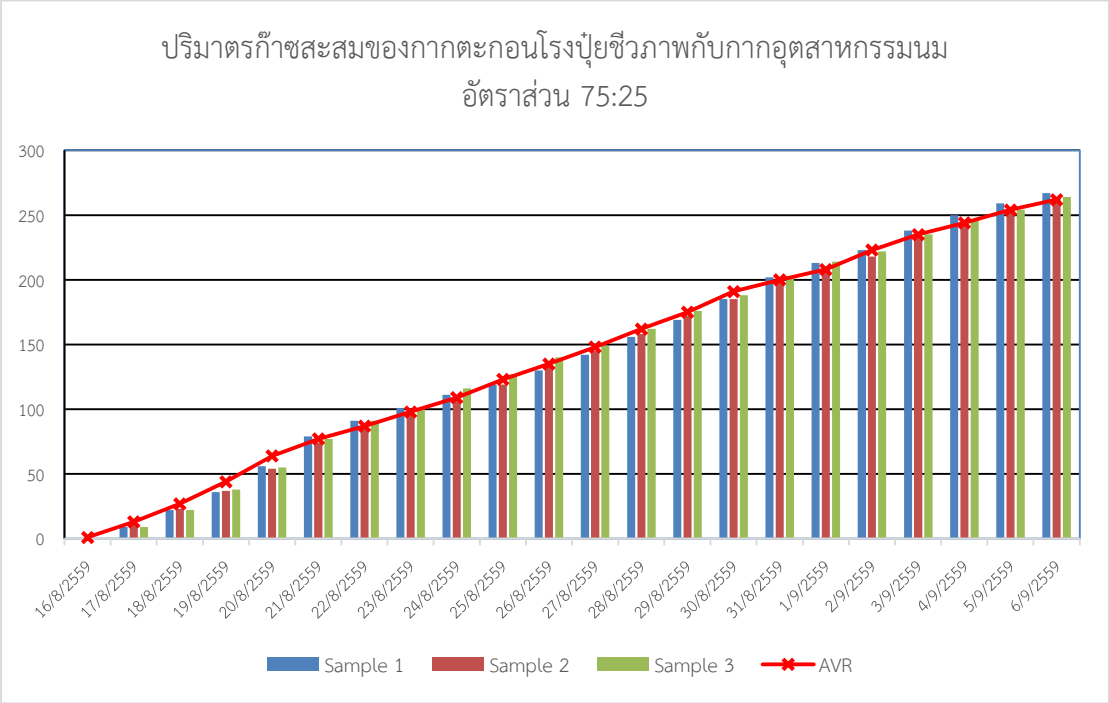
4.1.6.5 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100



รูปที่ 60 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 0:100

จากรูปที่ 60 เป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน และไม่สม่ำเสมอในทุกๆวัน โดยช่วงแรกจะเกิดก๊าซชีวภาพปริมาตรน้อยและค่อยๆเพิ่มขึ้น ซึ่งการทดลองครั้งที่ 1 จะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงแรกค่อนข้างรวดเร็วกว่าการทดลองอื่น แต่จะเกิดก๊าซชีวภาพช้าลงในเวลาต่อมา ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 10 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 10 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 11 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 10.33 มิลลิลิตร

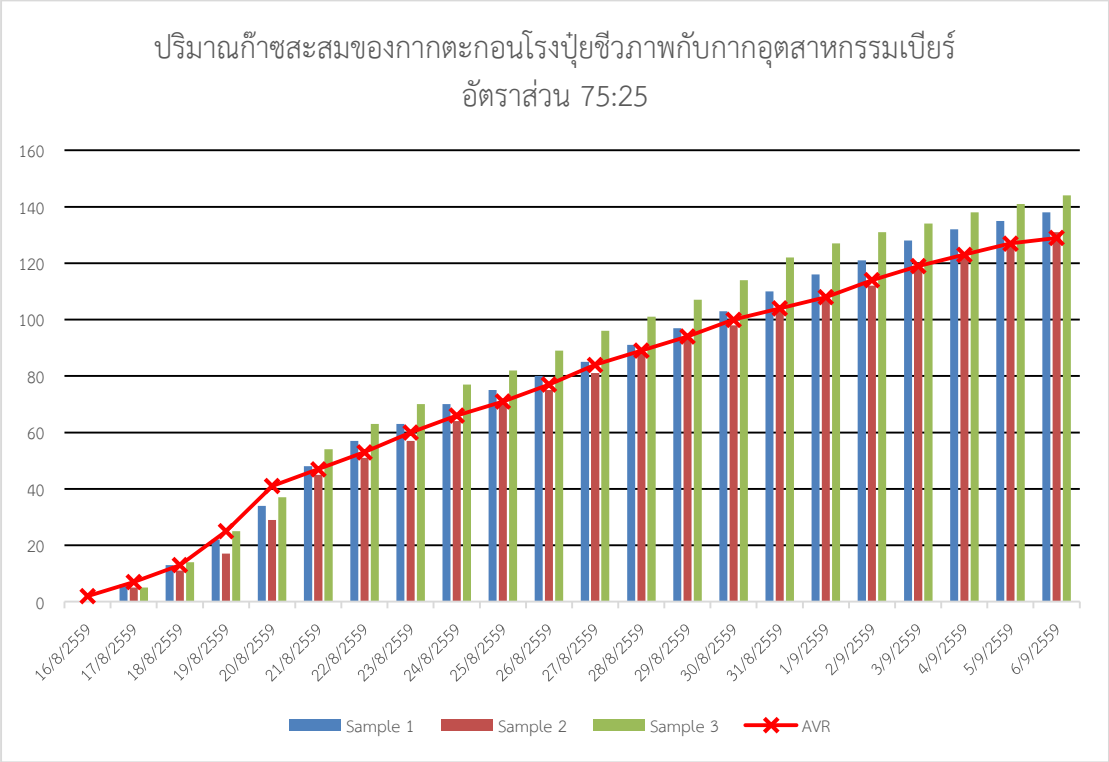
4.1.6.6 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25



รูปที่ 61 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 61 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 275 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 272 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 270 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 272.3 มิลลิลิตร

4.1.6.7 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25

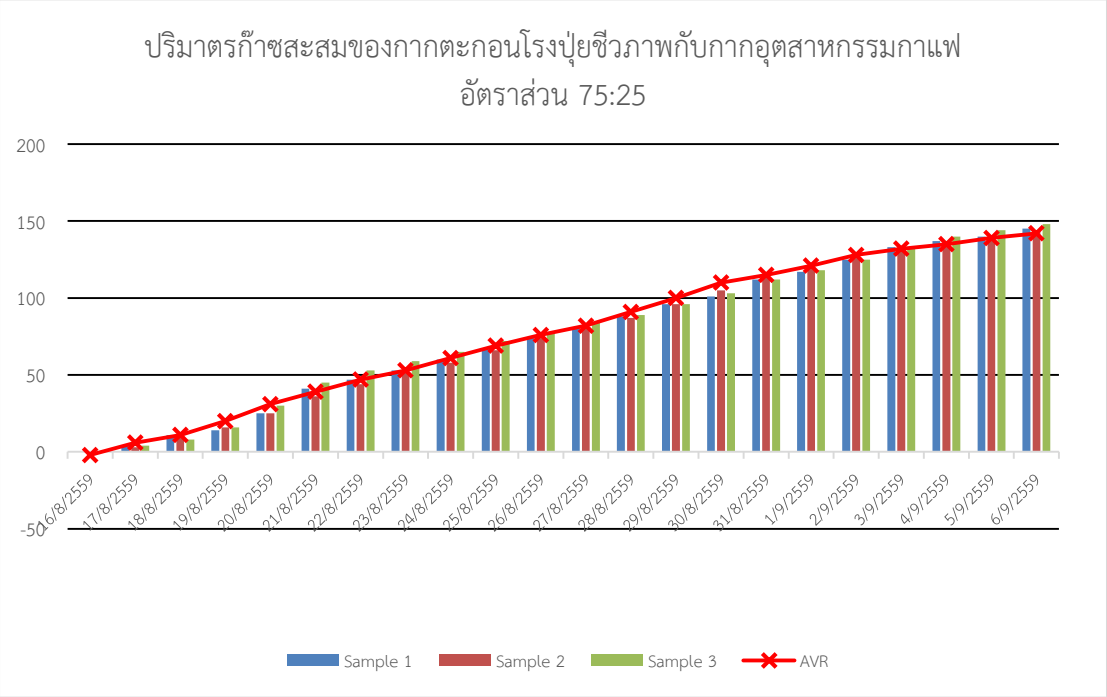


รูปที่ 62 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 62 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 140 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 133 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 145 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 139.33 มิลลิลิตร

4.1.6.8 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25

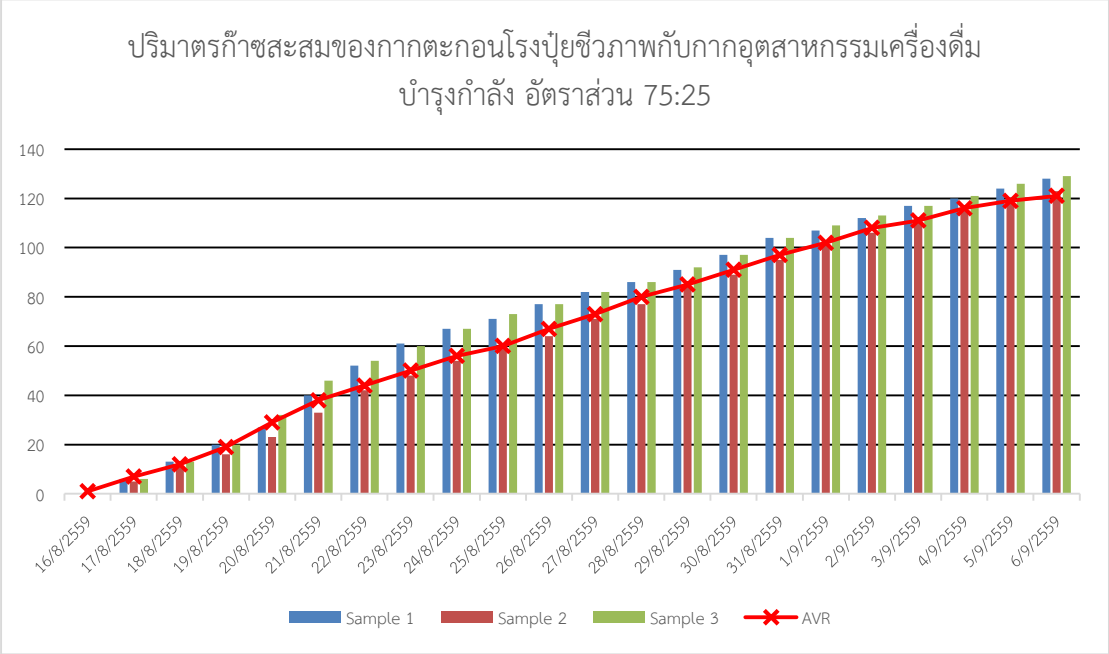


รูปที่ 63 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 63 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีลักษณะแนวโน้มของการเกิดก๊าซชีวภาพค่อยๆ เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 162 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 164 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 159 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 161.66 มิลลิลิตร

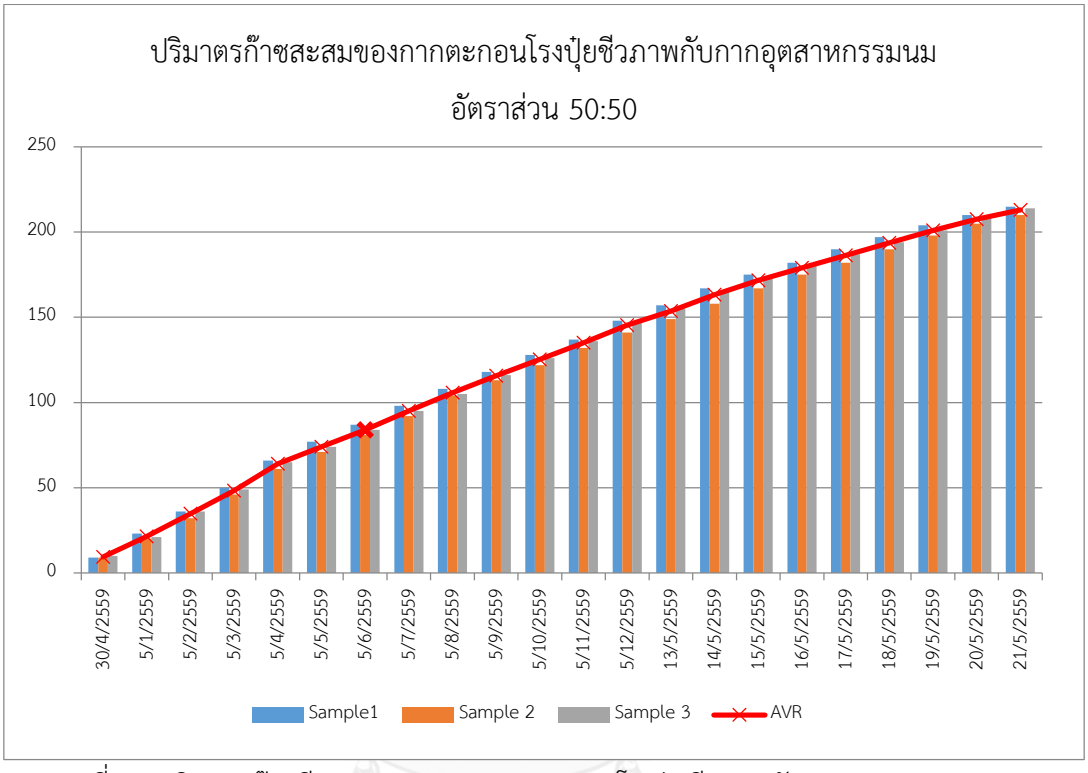
4.1.6.9 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25



รูปที่ 64 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 64 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม จะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 130 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 125 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 130 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 128.39 มิลลิลิตร

4.1.6.10 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50

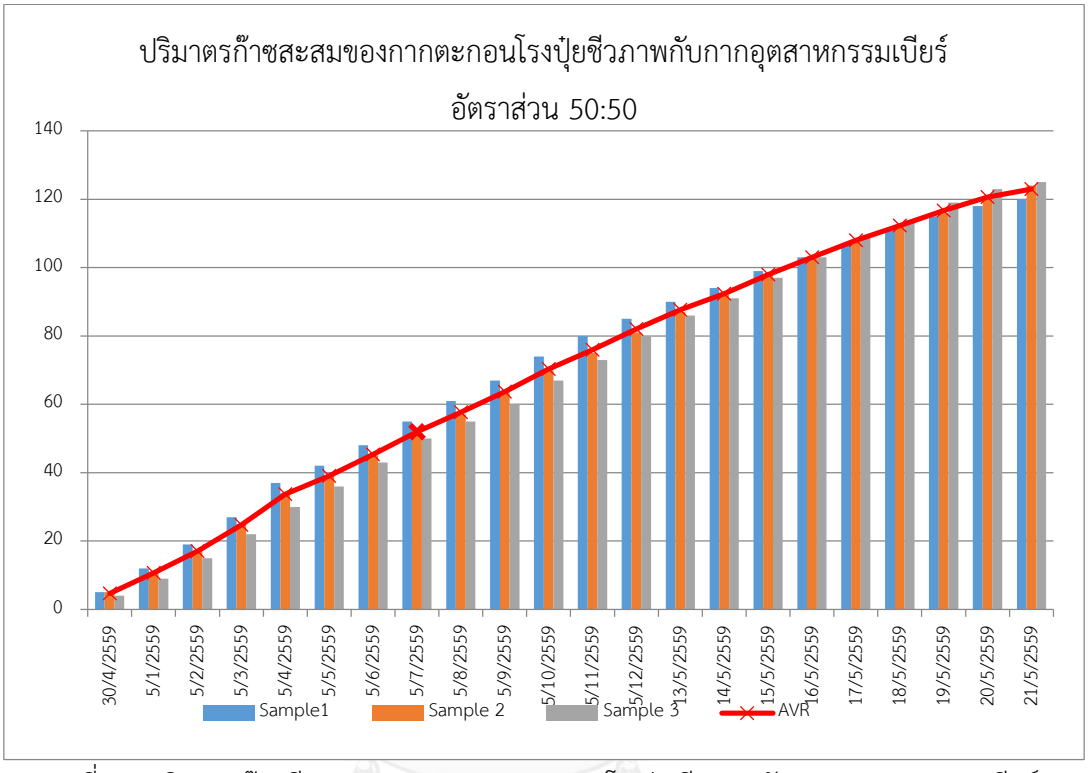


รูปที่ 65 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 65 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 215 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 210 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 214 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 213 มิลลิลิตร

4.1.6.11 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50

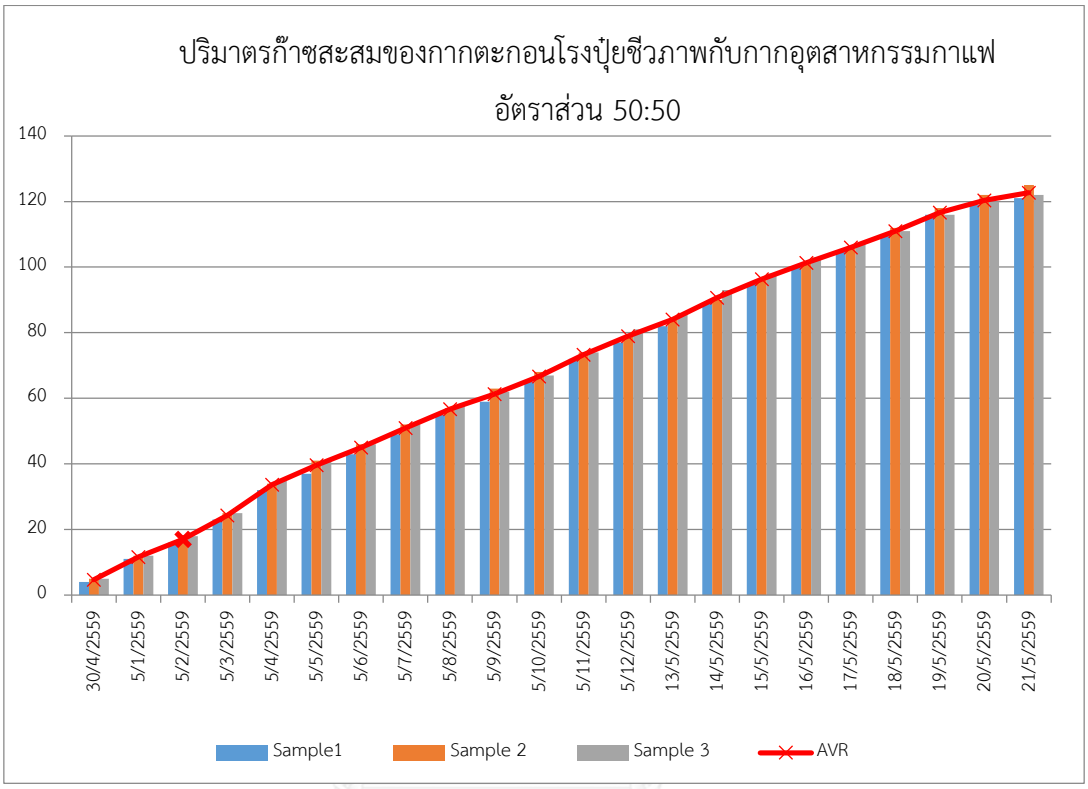


รูปที่ 66 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 50:50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 66 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม จะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งที่ 1 จะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพช่วงแรกค่อนข้างรวดเร็วกว่าการทดลองอื่นๆ แต่จะเกิดก๊าซชีวภาพช้าลงในเวลาต่อมา ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 120 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 124 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 125 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 123 มิลลิลิตร

4.1.6.12 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50

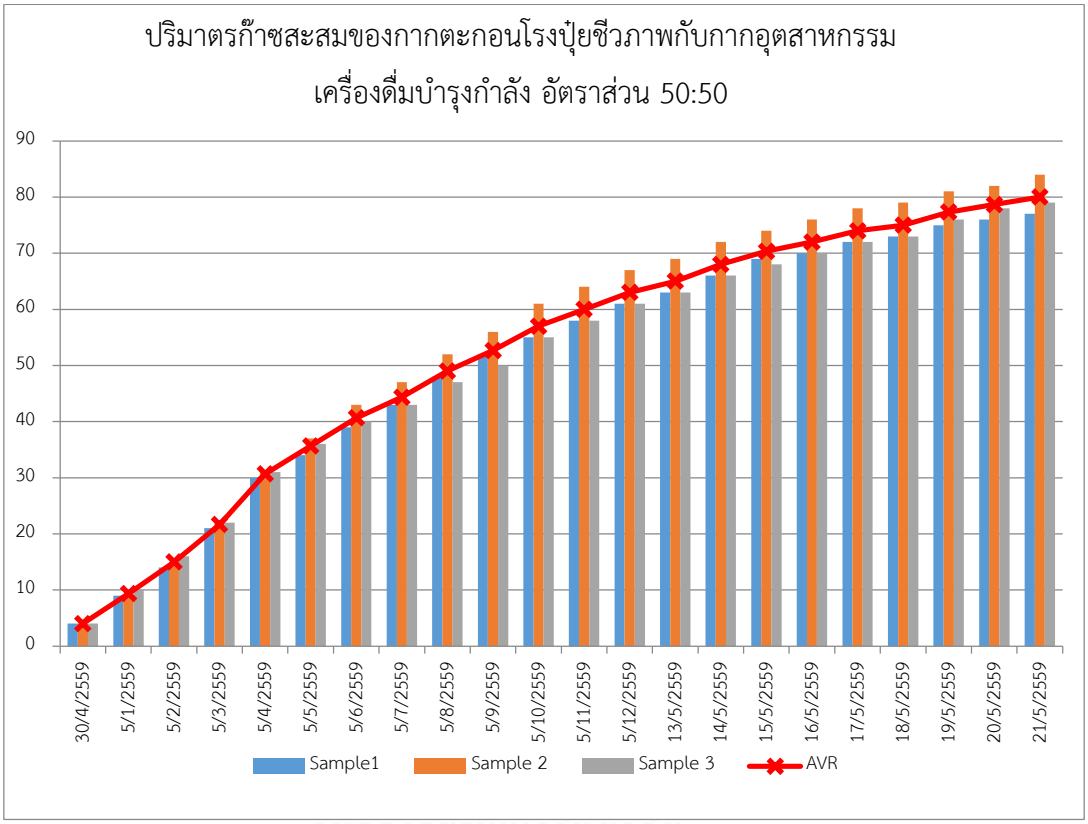


รูปที่ 67 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 67 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 121 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 125 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 122 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 122.6 มิลลิลิตร

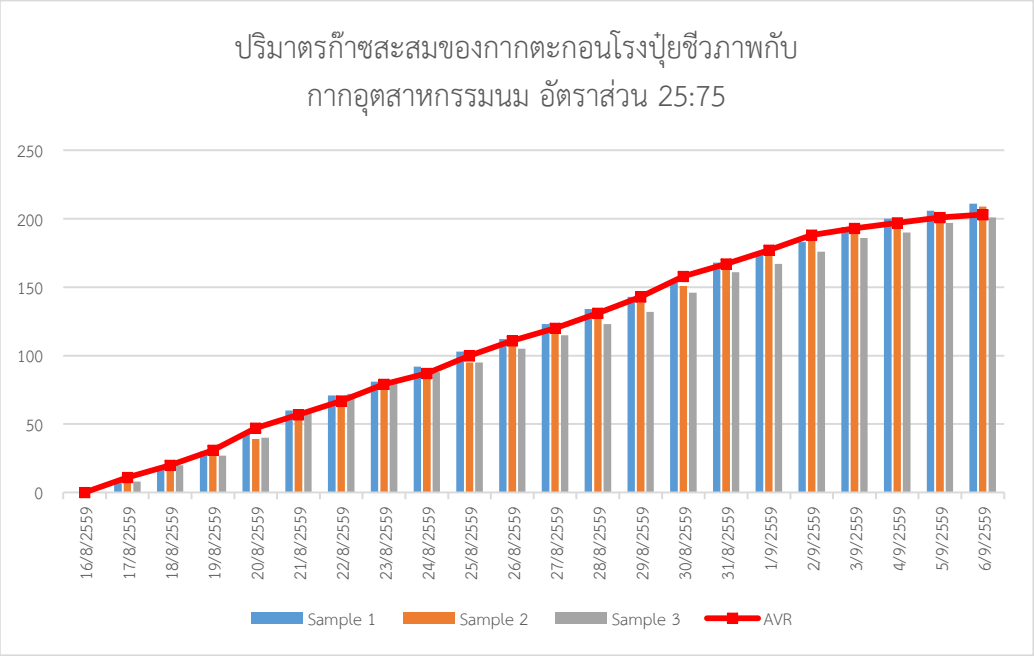
4.1.6.13 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50



รูปที่ 68 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม เครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50

จากรูปที่ 68 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม จะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 77 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 84 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 79 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 80 มิลลิลิตร

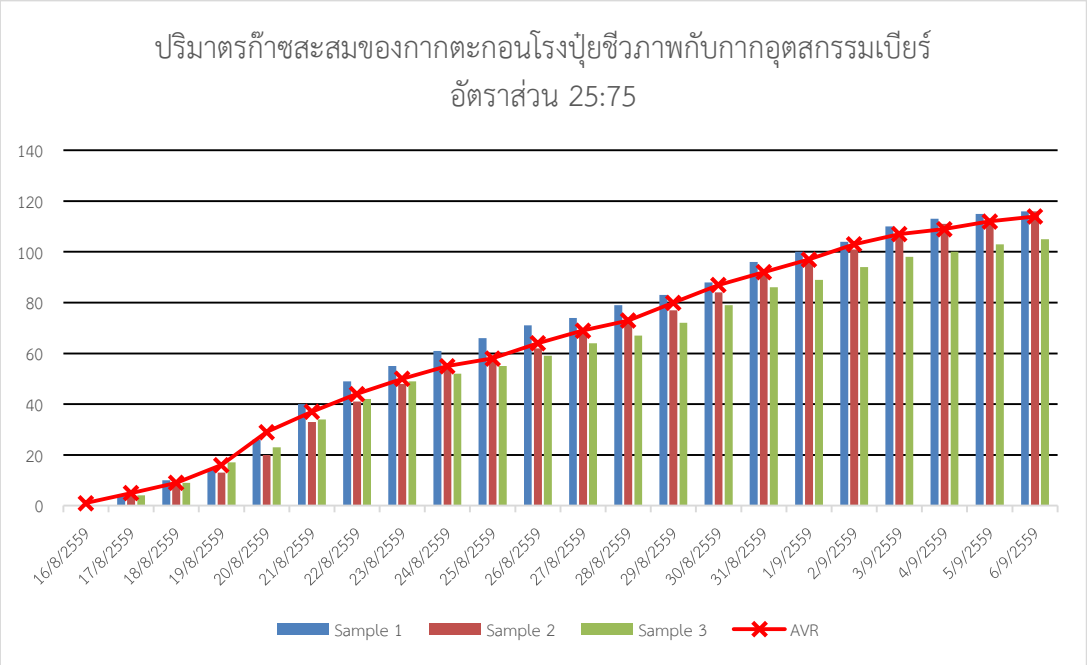
4.1.6.14 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 69 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 69 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม จะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งที่ 1 จะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพช่วงแรกค่อนข้างรวดเร็วกว่าการทดลองอื่นๆ แต่จะเกิดก๊าซชีวภาพช้าลงในเวลาต่อมา ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 214 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 211 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 203 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 209.33 มิลลิลิตร

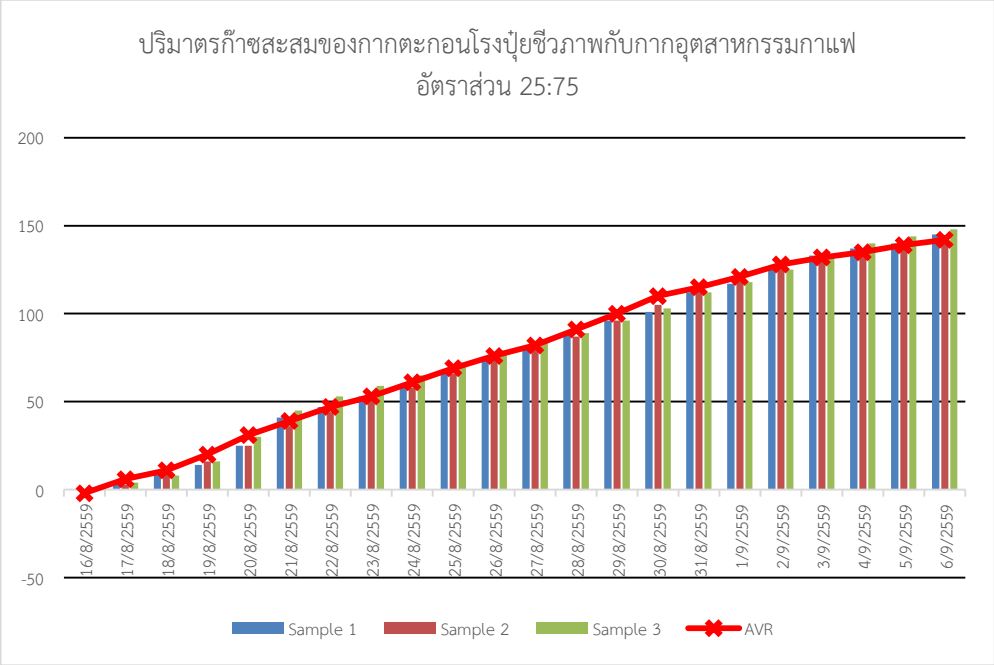
4.1.6.15 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 70 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 70 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม จะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งที่ 1 จะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพช่วงแรกค่อนข้างรวดเร็วกว่าการทดลองอื่นๆ แต่จะเกิดก๊าซชีวภาพช้าลงในเวลาต่อมา ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 117 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 118 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 107 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 114 มิลลิลิตร

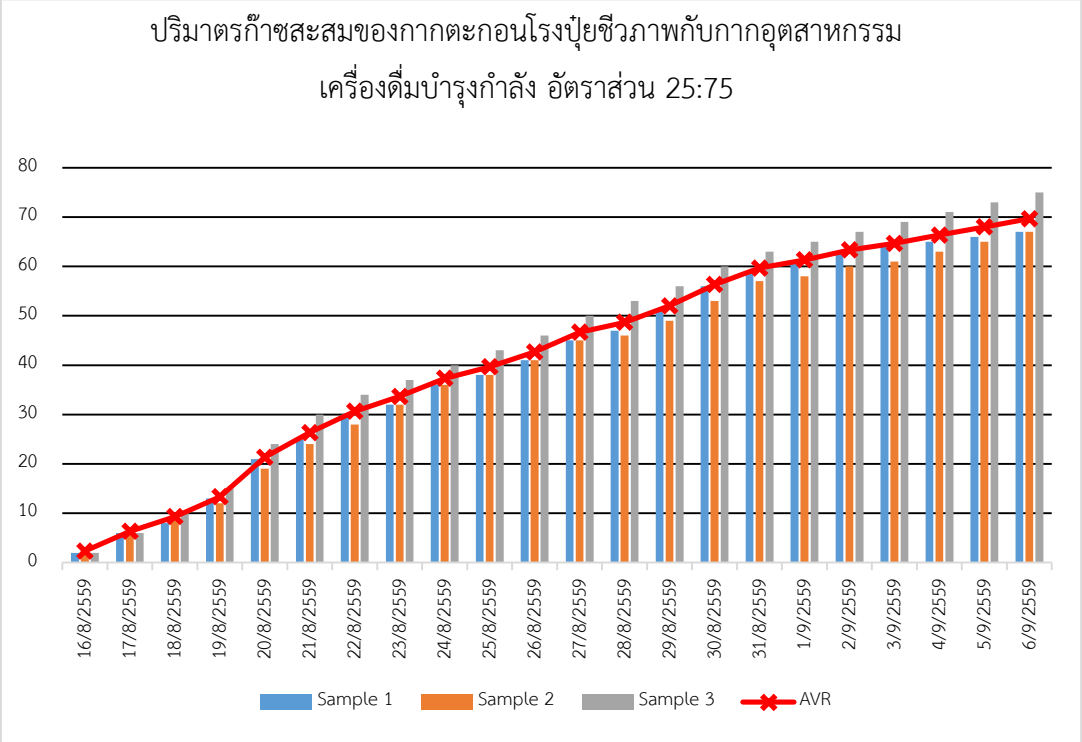
4.1.6.16 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75



รูปที่ 71 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 71 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน ปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยการทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 119 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 114 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 117 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 116.66 มิลลิลิตร

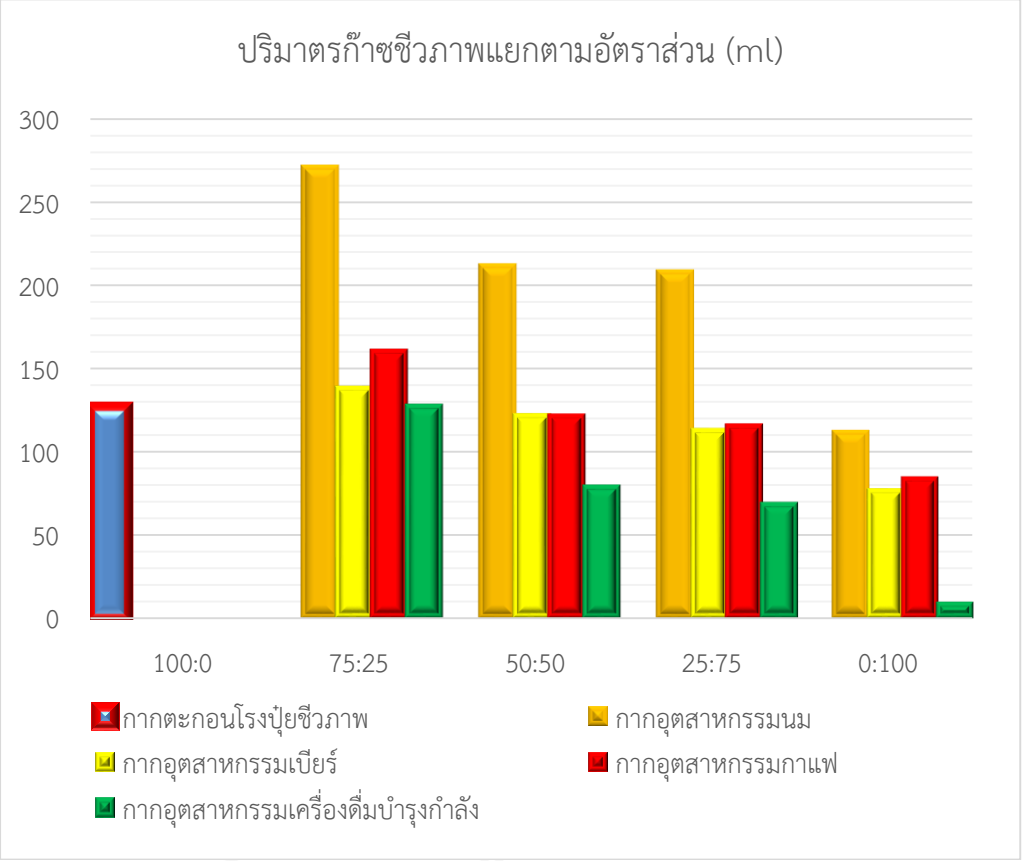
4.1.6.17 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังอัตราส่วน 25:75



รูปที่ 72 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม เครื่องดื่มบำรุงกำลังอัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 72 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน เมื่อรวมกันเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม จะได้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละอัตราส่วนหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่า การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน โดยปริมาตรก๊าซสะสมจะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมจนสิ้นสุดการทดลองดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 67 มิลลิลิตร การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 67 มิลลิลิตร และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 75 มิลลิลิตร ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 69.66 มิลลิลิตร

4.1.6.18 สรุปปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมตามอัตราส่วนต่างๆ



Chulalongkorn University

รูปที่ 73 สรุปปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมตามอัตราส่วนต่างๆ

4.1.7 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

เมื่อเก็บก๊าซชีวภาพจากการทดลองใส่ถุงเก็บก๊าซแล้ว จึงนำก๊าซชีวภาพที่ได้เข้าเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ Gas Chromatography Shimadzu รุ่น GC – 14B เพื่อหาองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากก๊าซที่ได้จากการทดลอง โดยการทดลองทั้ง 2 ครั้งเก็บก๊าซชีวภาพเมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้ง 22 วัน องค์ประกอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์)

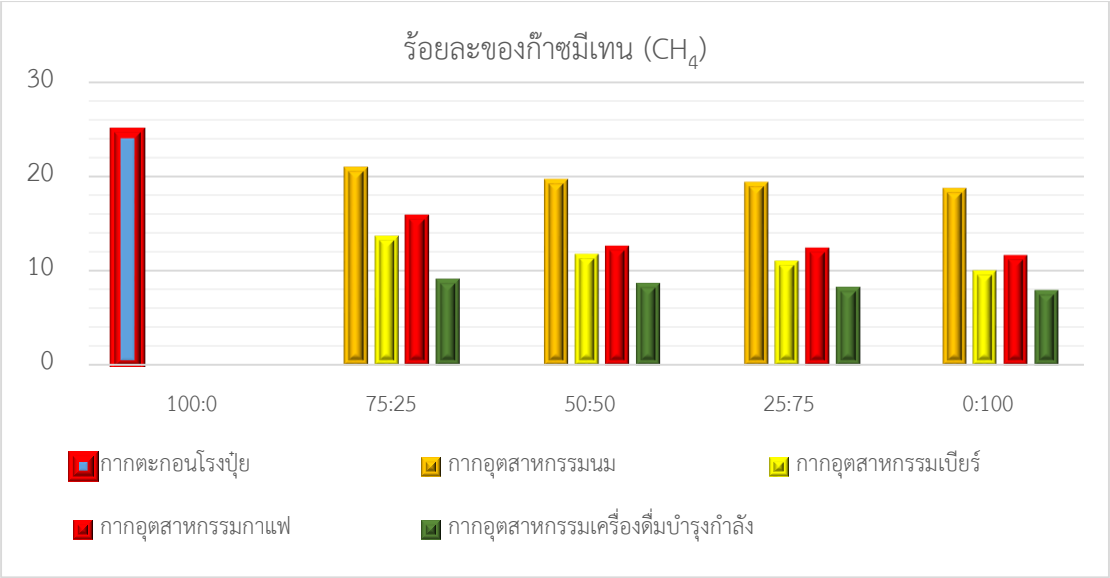
อัตราส่วนหมัก	ชนิดตัวอย่าง	CH4 (%)	CO2 (%)	ก๊าซชนิดอื่นๆ (%)
100 : 0	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์	24.59	5.36	70.05
75 : 25	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	20.99	5.03	73.98
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	13.64	1.15	85.21
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	15.89	2.11	82
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	9.09	0.81	90.1
50 : 50	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	19.68	4.98	75.34
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	11.73	1.08	87.19
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	12.61	1.28	86.11
	กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	8.67	0.76	90.57
25 : 75	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	19.37	4.67	75.96
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	11.02	0.92	88.06
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	12.42	1.22	86.36
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	8.27	0.5	91.23

ตารางที่ 10 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์)

อัตราส่วนหมัก	ชนิดตัวอย่าง	CH4 (%)	CO2 (%)	ก๊าซชนิดอื่นๆ (%)
0 : 100	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	18.74	4.33	76.93
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	10	0.88	89.12
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	11.61	1	87.39
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	7.91	0.42	91.67

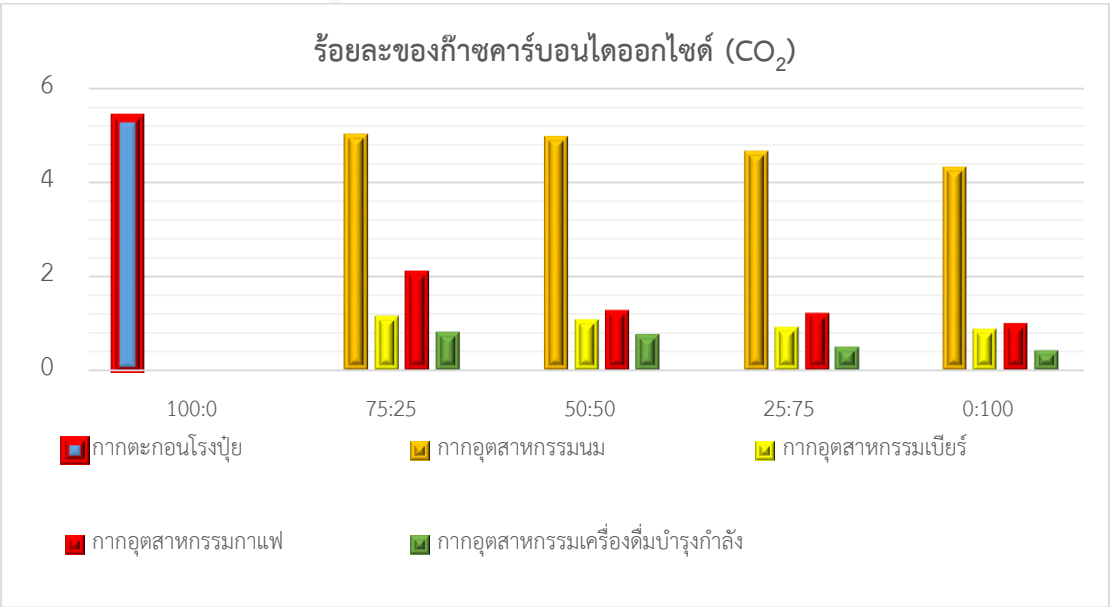
จากตารางที่ 10 พบว่าร้อยละองค์ประกอบของค่ามีเทน (CH_4) สูงสุดคือ กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพผสมกับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆในอันตราส่วน 100:0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 24.59 โดยปริมาตร 1 หน่วย ค่าต่ำสุดคือ กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพผสมกากกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังในอัตราส่วน 100:0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.91 โดยปริมาตร 1 หน่วย และร้อยละองค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์ (CH4) สูงสุดคือ กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพผสมกับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ ในอันตราส่วน 100:0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.36 โดยปริมาตร 1 หน่วย ค่าต่ำสุดคือ กากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพผสมกากกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังในอัตราส่วน 100:0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.42 โดยปริมาตร 1 หน่วย เช่นเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 74 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซชีวภาพมีเทน ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 74 พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพค่าร้อยละของมีเทน ของกากอุตสาหกรรมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพตามอัตราส่วนต่างๆ โดยอัตราส่วนที่ให้มีเทนมากสุด คือ กากอุตสาหกรรมนม 75:25 และลดลงเมื่อเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของการผสมกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพลงไป โดยเรียงลำดับค่าองค์ประกอบก๊าซมีเทนจากมากไปน้อย ตามอัตราส่วนได้แก่ 75:25, 50:50, 25:75 ตามลำดับ ซึ่งกากอุตสาหกรรมที่ให้มีเทนเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ กากอุตสาหกรรมนม, กากอุตสาหกรรมกาแฟ, กากอุตสาหกรรมเบียร์และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง



รูปที่ 75 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซชีวภาพคาร์บอนไดออกไซด์ ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 75 พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพค่าร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ ของกากอุตสาหกรรมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพตามอัตราส่วนต่างๆ โดยอัตราส่วนที่ให้คาร์บอนไดออกไซด์มากสุดคือ 75:25 และลดลงเมื่อเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของการผสมกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพลงไป โดยเรียงลำดับค่าองค์ประกอบของก๊าซ ที่มีปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์จากมากไปน้อย ตามอัตราส่วน ได้แก่ 75:25, 50:50, 25:75 ตามลำดับ ซึ่งกากอุตสาหกรรมที่มีคาร์บอนไดออกไซด์เรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ กากอุตสาหกรรมนม, กากอุตสาหกรรมกาแฟ, กากอุตสาหกรรมเบียร์และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

4.2 ผลการเปรียบเทียบ

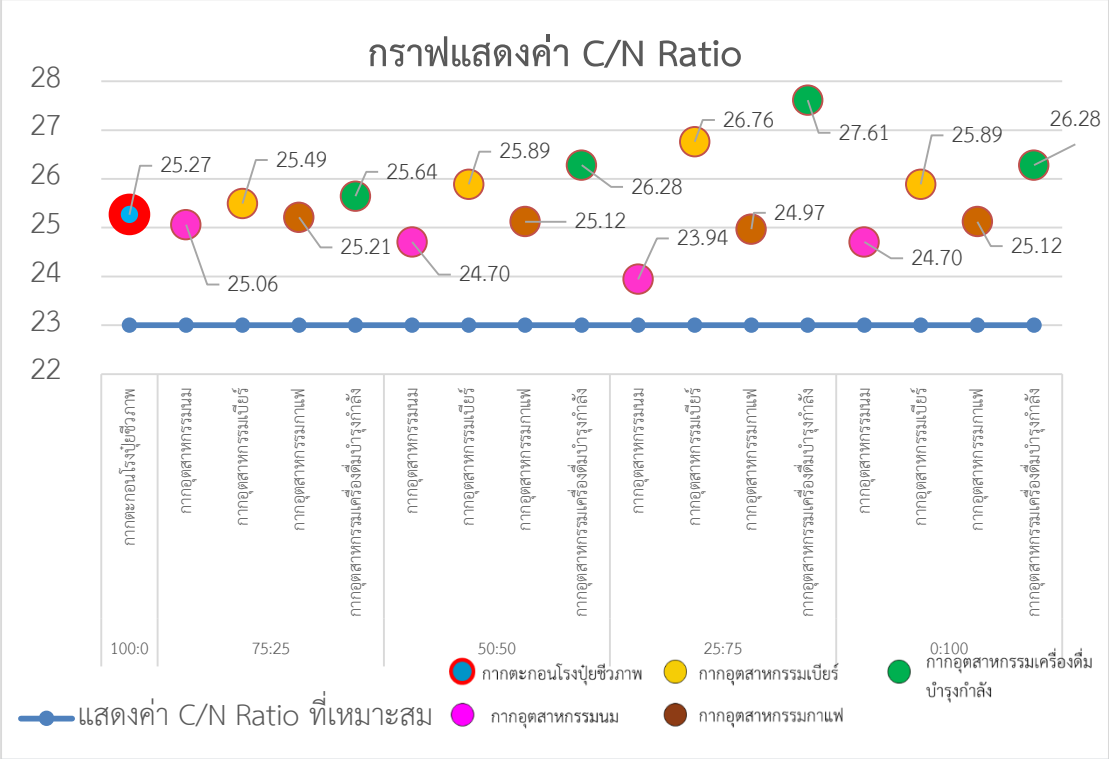
4.2.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้จากการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้จากการคำนวณสารประกอบอินทรีย์ของวัตถุดิบหมัก

อัตราส่วนหมัก	ชนิดตัวอย่าง	C/N Ratio
100 : 0	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์	25.27
75 : 25	กากอุตสาหกรรมนม	25.06
	กากอุตสาหกรรมเบียร์	25.49
	กากอุตสาหกรรมกาแฟ	25.21
	กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	25.64
50 : 50	กากอุตสาหกรรมนม	24.70
	กากอุตสาหกรรมเบียร์	25.88
	กากอุตสาหกรรมกาแฟ	25.12
	กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	26.28
25 : 75	กากอุตสาหกรรมนม	23.94
	กากอุตสาหกรรมเบียร์	26.76
	กากอุตสาหกรรมกาแฟ	24.97
	กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	27.61

ตารางที่ 11 (ต่อ) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้จากการคำนวณสารประกอบอินทรีย์ของวัตถุดิบหมัก

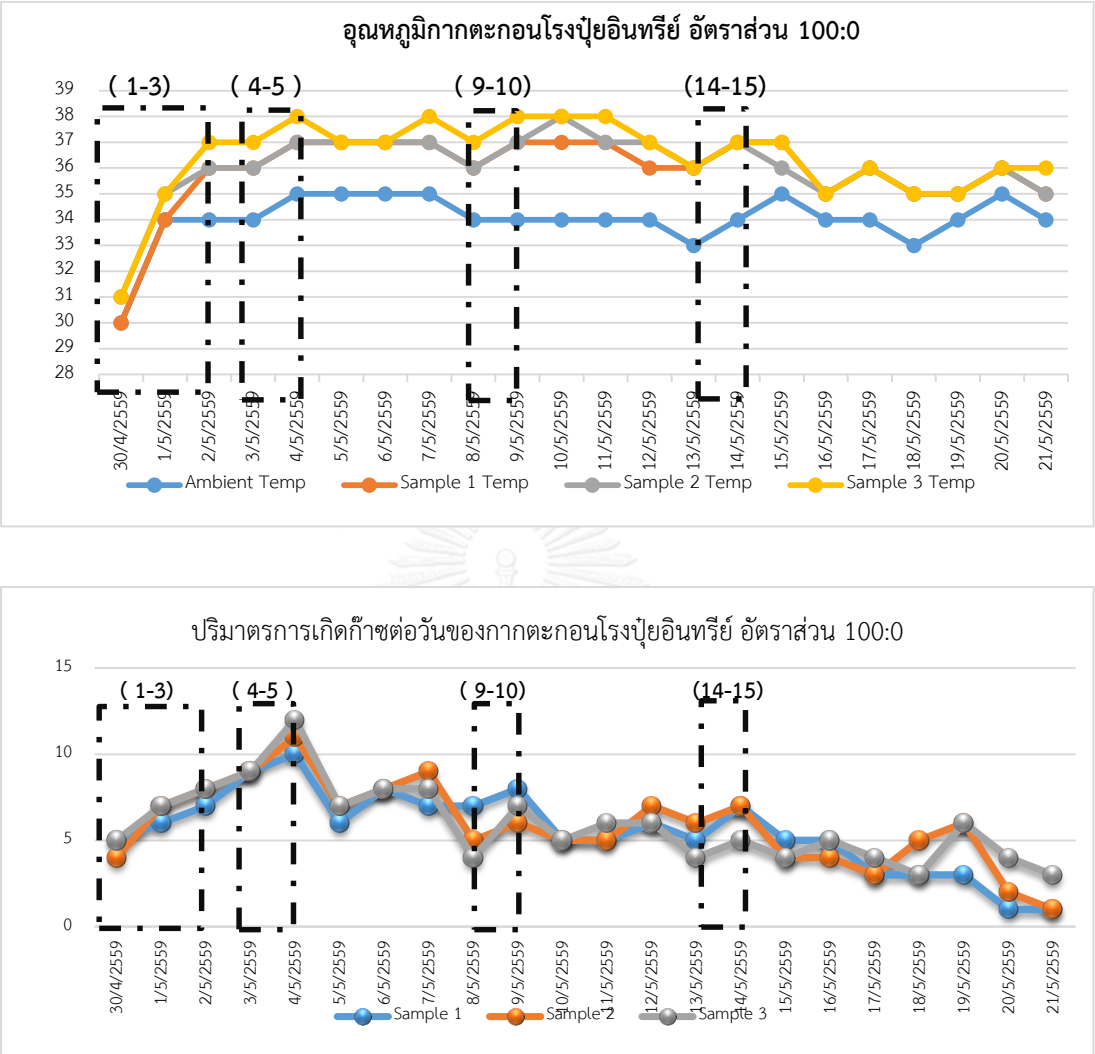
อัตราส่วนหมัก	ชนิดตัวอย่าง	C/N Ratio
0 : 100	กากอุตสาหกรรมนม	24.7
	กากอุตสาหกรรมเบียร์	25.89
	กากอุตสาหกรรมกาแฟ	25.12
	กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	26.28



รูปที่ 76 แสดงค่า C/N Ratio

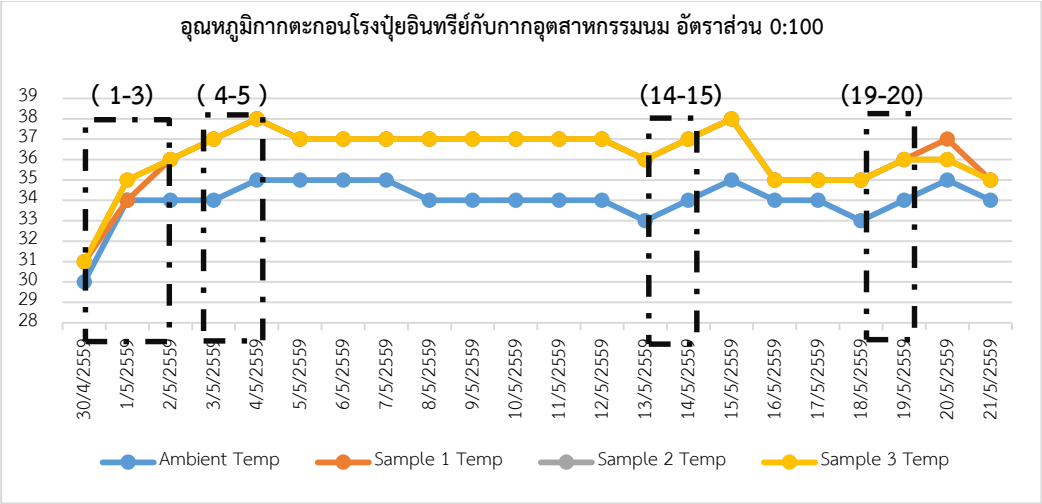
จากรูปที่ 76 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 23.94 – 27.61 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีคือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8 – 30[12] แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือ ประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูก Methanogen นำไปใช้เสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหาก pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียได้

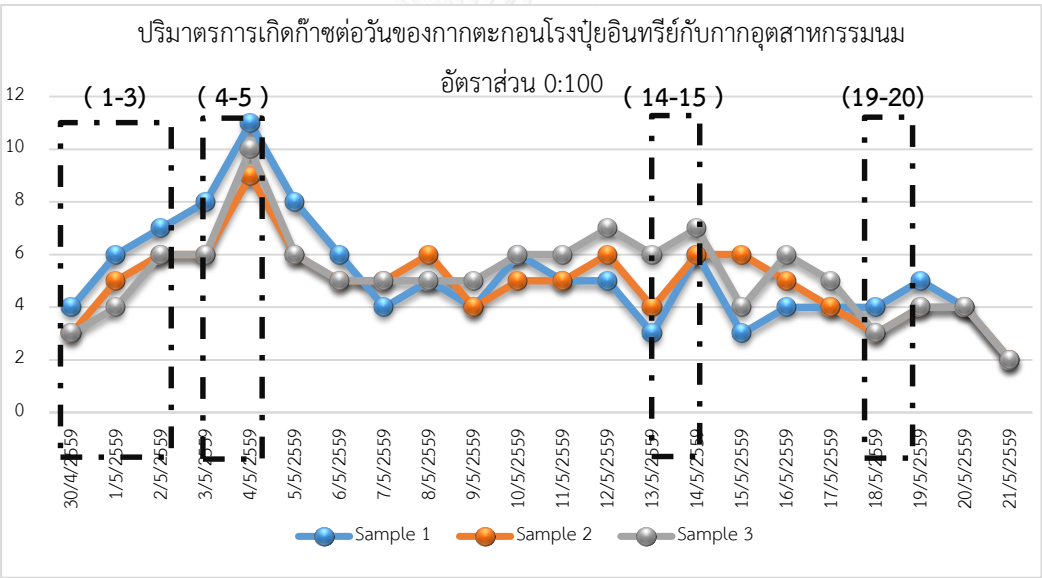
4.2.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิกับปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน



รูปที่ 77 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ อัตราส่วน 100:0

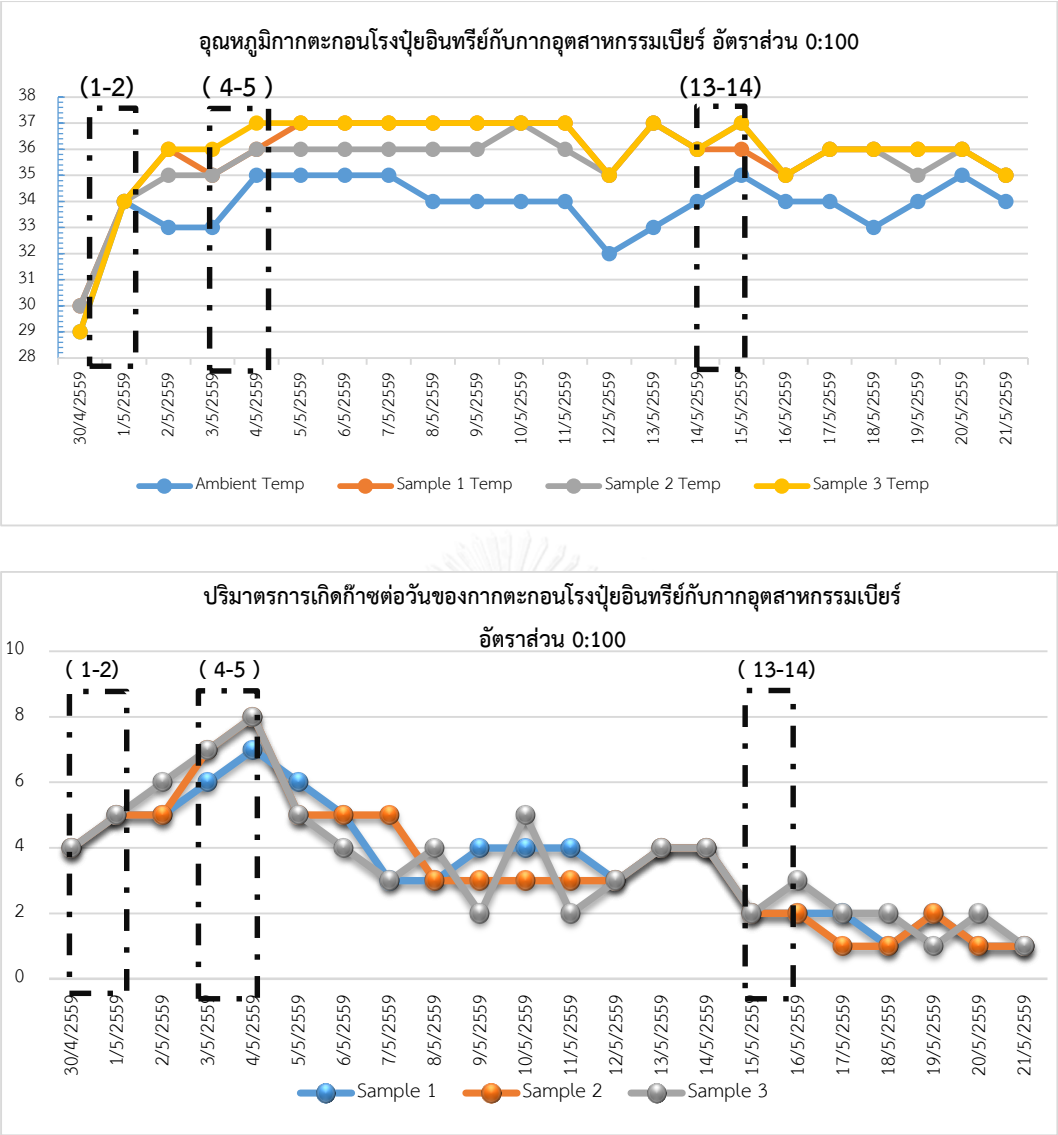
จากรูปที่ 77 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ 100:0 พบว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกัน คือ (1-3), (4-5), (9-10), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี





รูปที่ 78 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 100:0

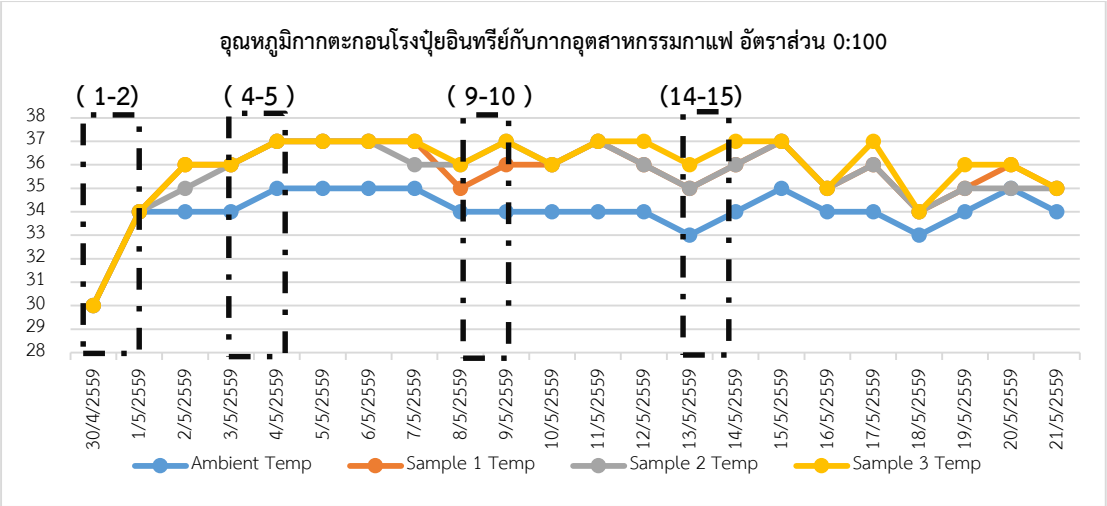
จากรูปที่ 78 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม 100:0 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-3), (4-5), (14-15), (19-20) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี

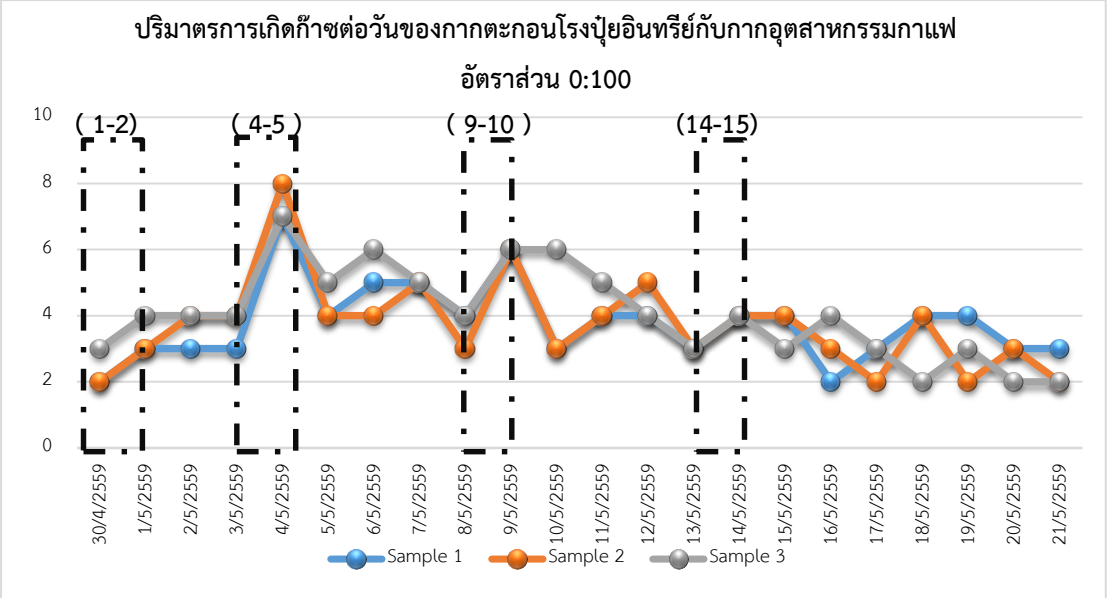


รูปที่ 79 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ

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

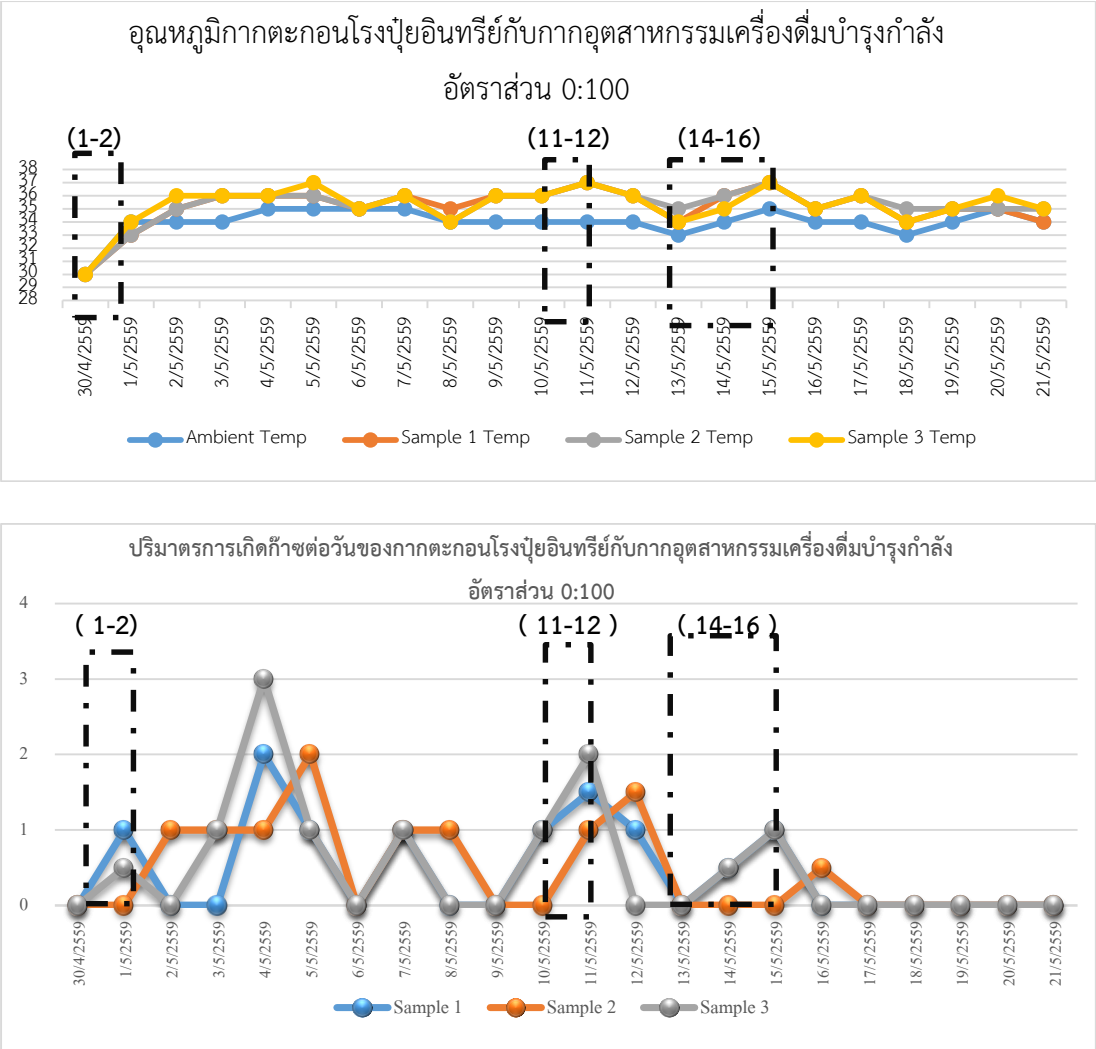
จากรูปที่ 79 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ 100:0 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ(1-2), (4-5), (13-14) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี





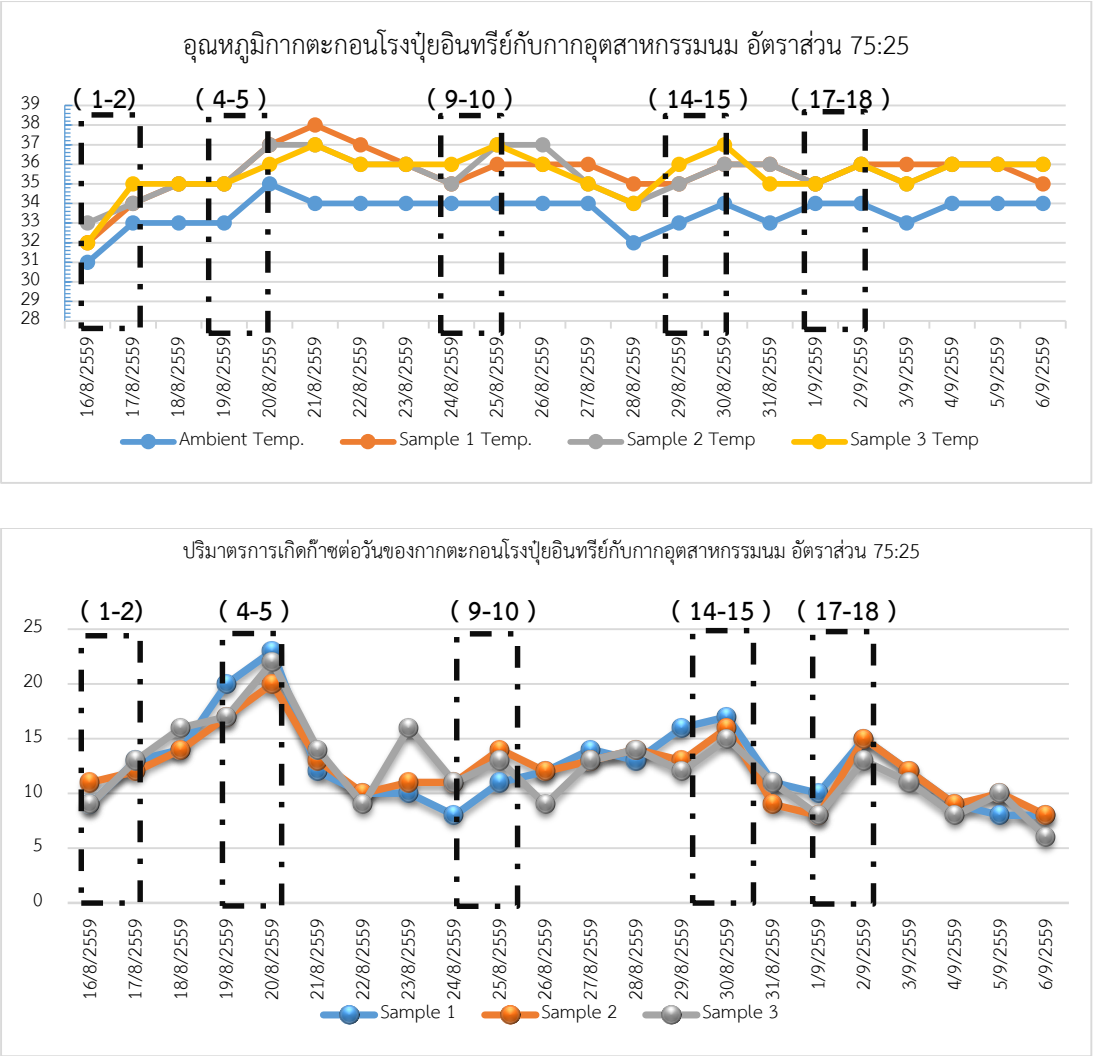
รูปที่ 80 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 0:100

จากรูปที่ 80 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ 0:100 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (9-10), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี



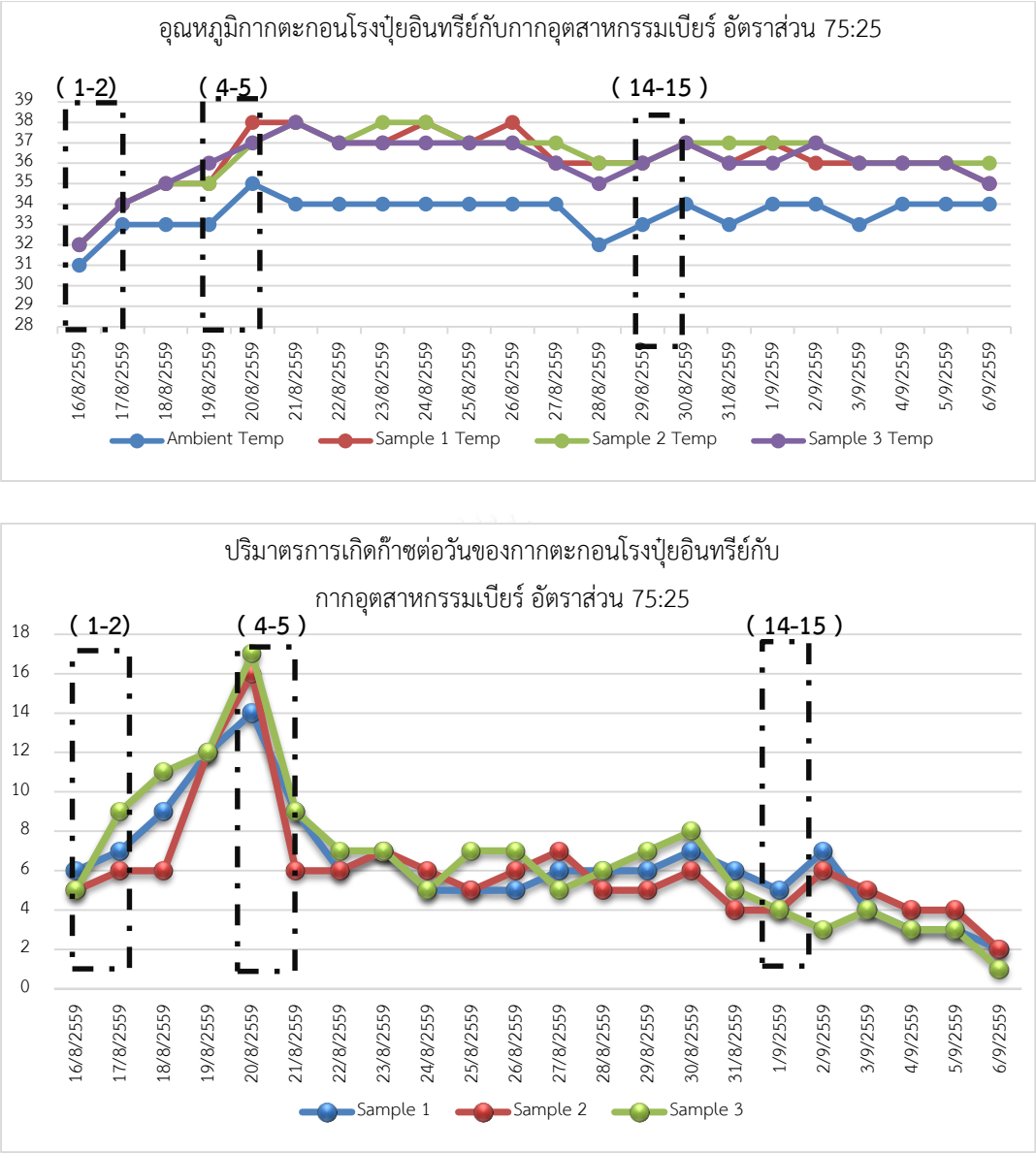
รูปที่ 81 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 100:0

จากรูปที่ 81 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 100:0 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (11-12), (14-16) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี



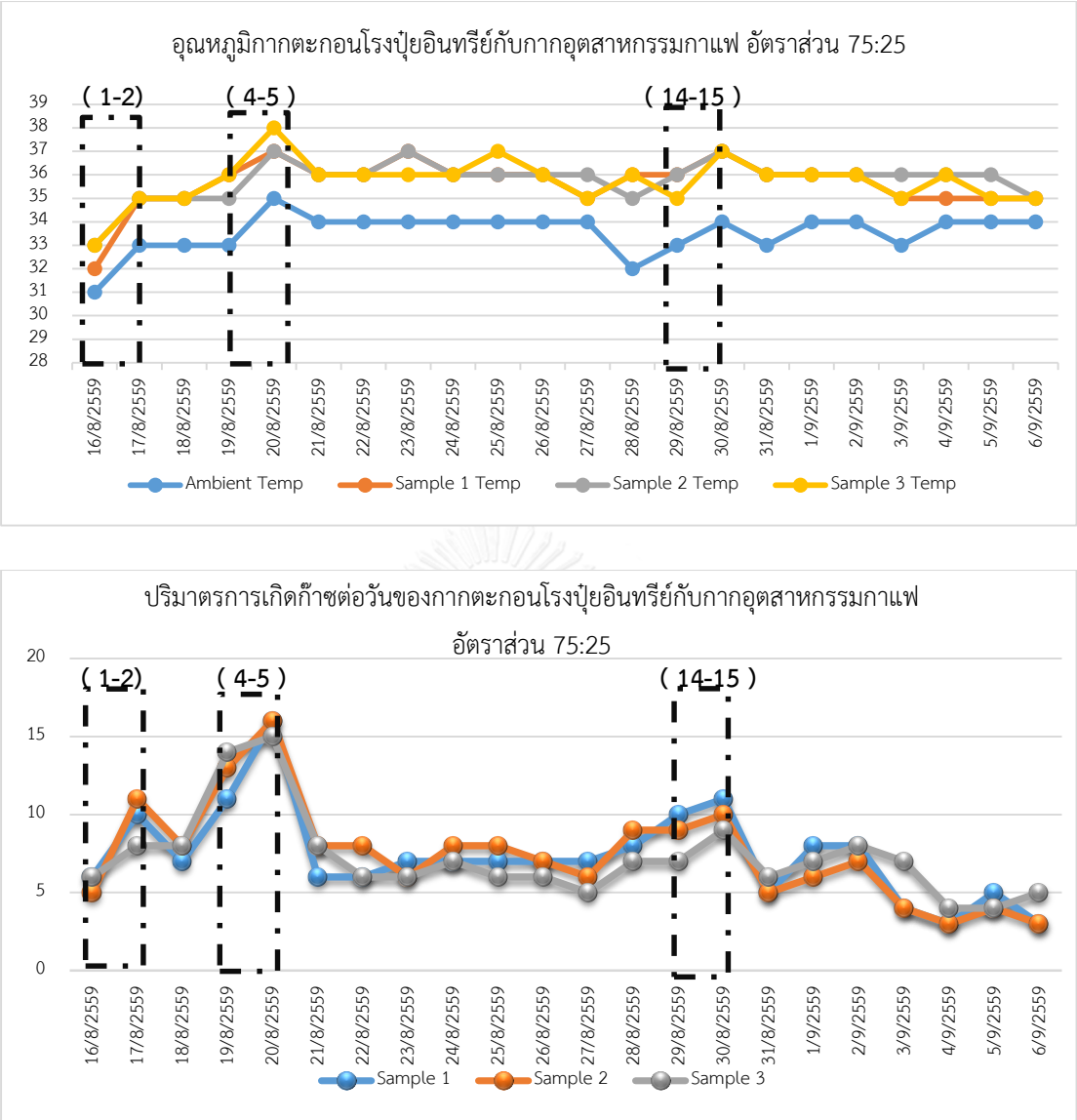
รูปที่ 82 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 82 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม 75:25 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (9-10), (14-15), (17-18) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี



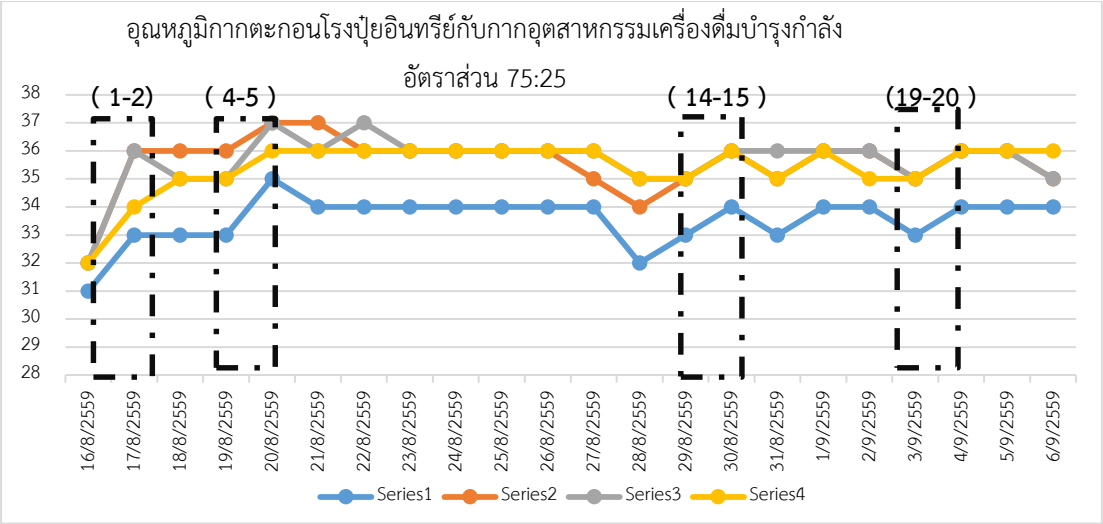
รูปที่ 83 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 75:25

จากรูปที่ 83 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมเบียร์ 75:25 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้ง แสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี



รูปที่ 84 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 75:25

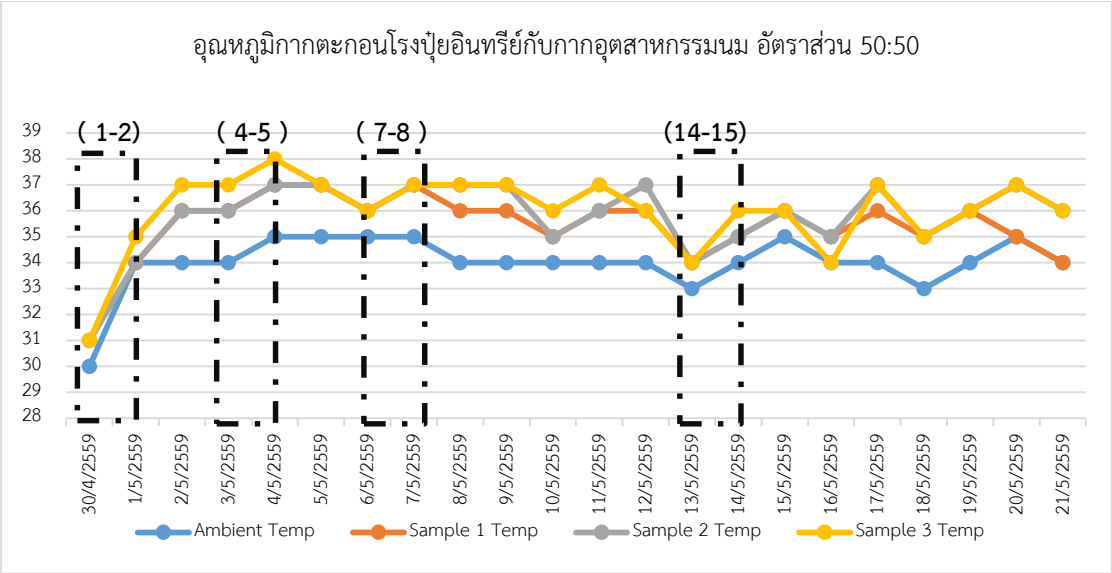
จากรูปที่ 84 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ 75:25 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี

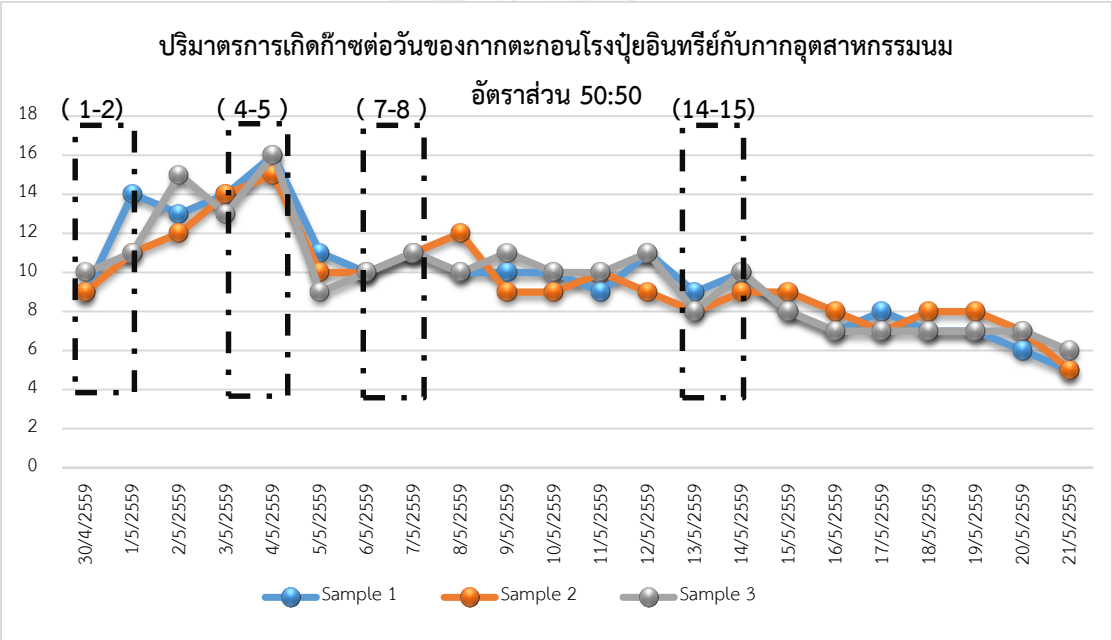


รูปที่ 85 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 75:25

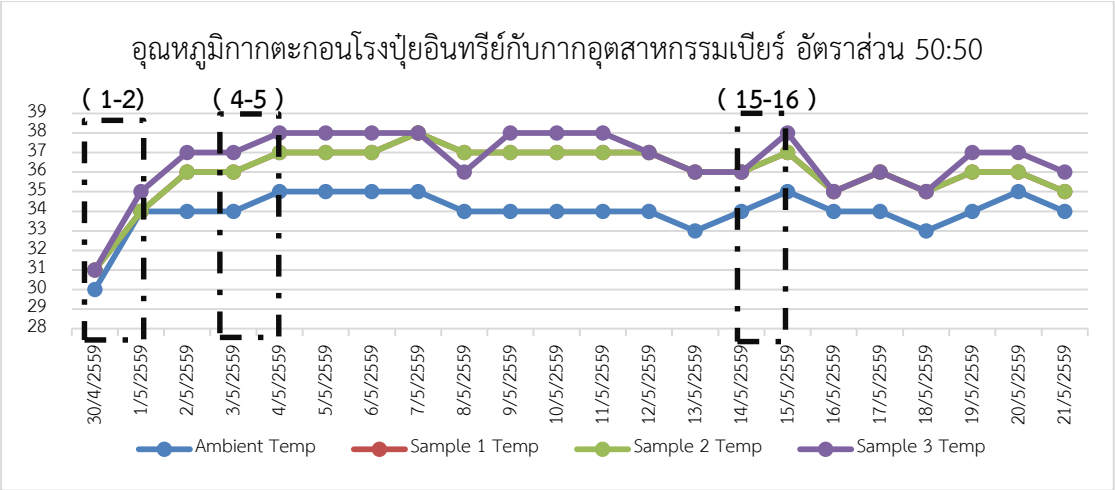
จากรูปที่ 85 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 75:25 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (14-15), (19-20) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี

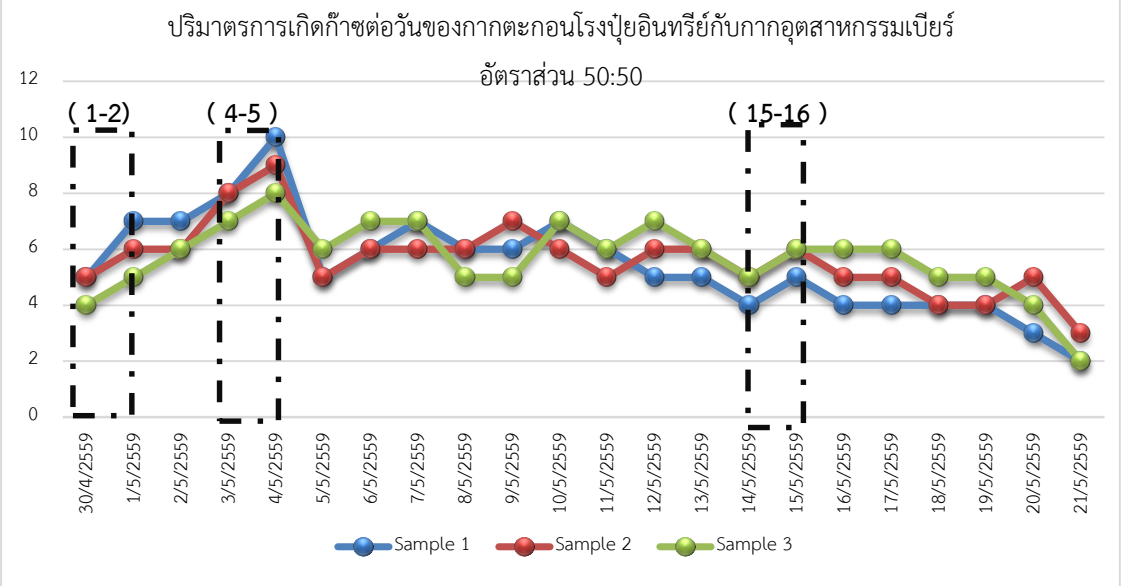




รูปที่ 86 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 50:50

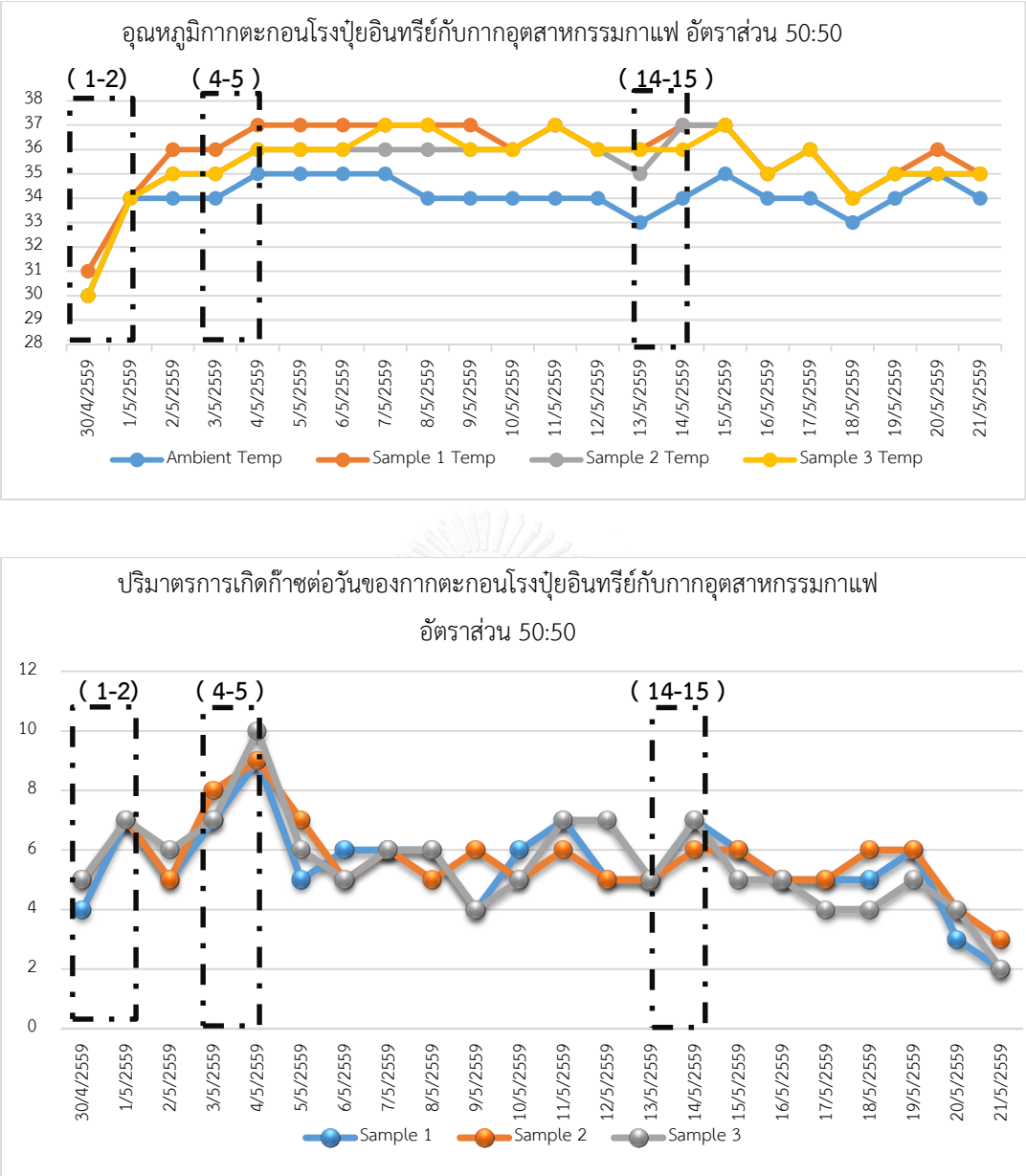
จากรูปที่ 86 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม 50:50 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (7-8), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี





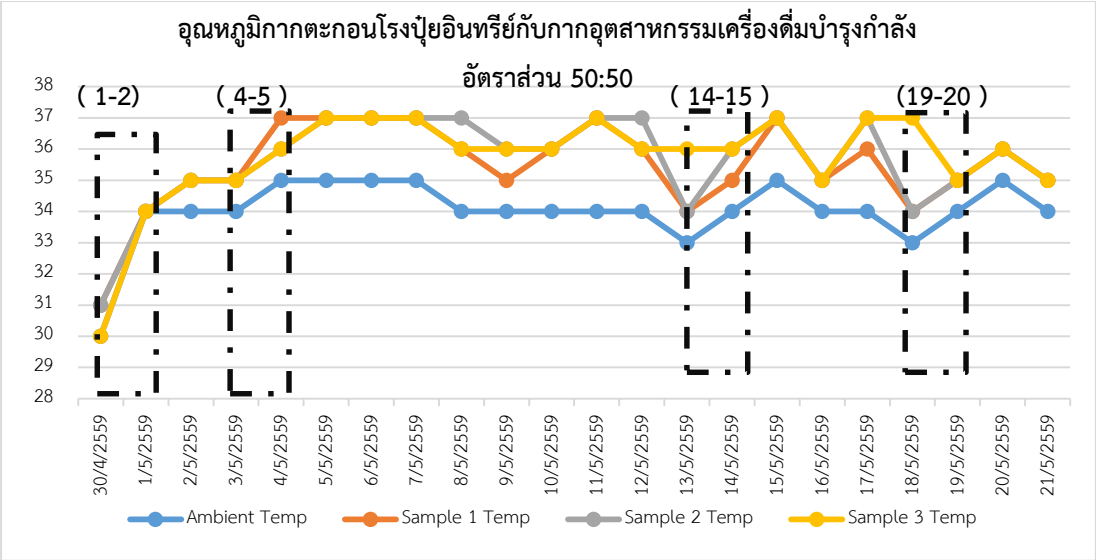
รูปที่ 87 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์อัตราส่วน 50:50

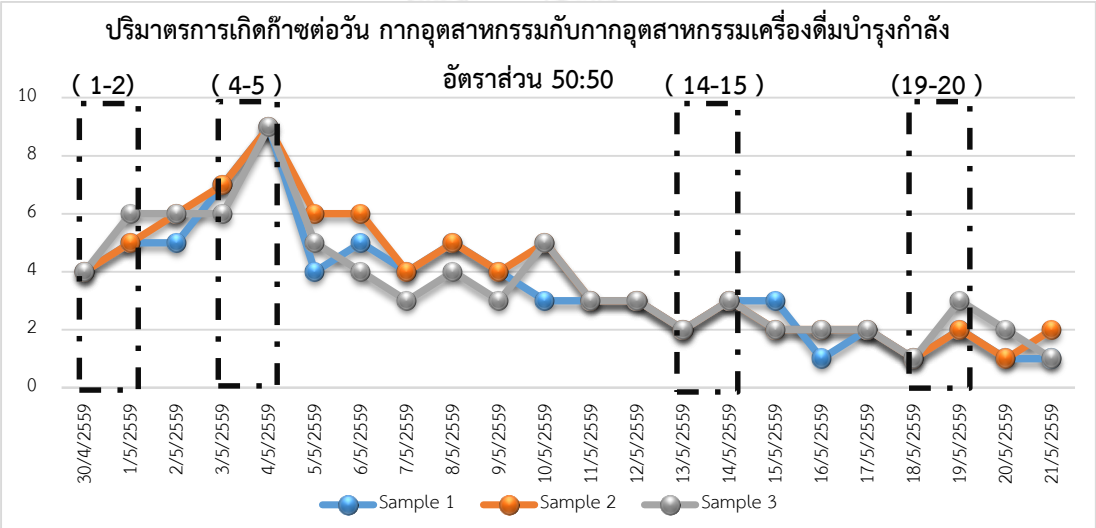
จากรูปที่ 87 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ 50:50 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (15-16) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้ง แสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี



รูปที่ 88 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 50:50

จากรูปที่ 88 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ 50:50 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี

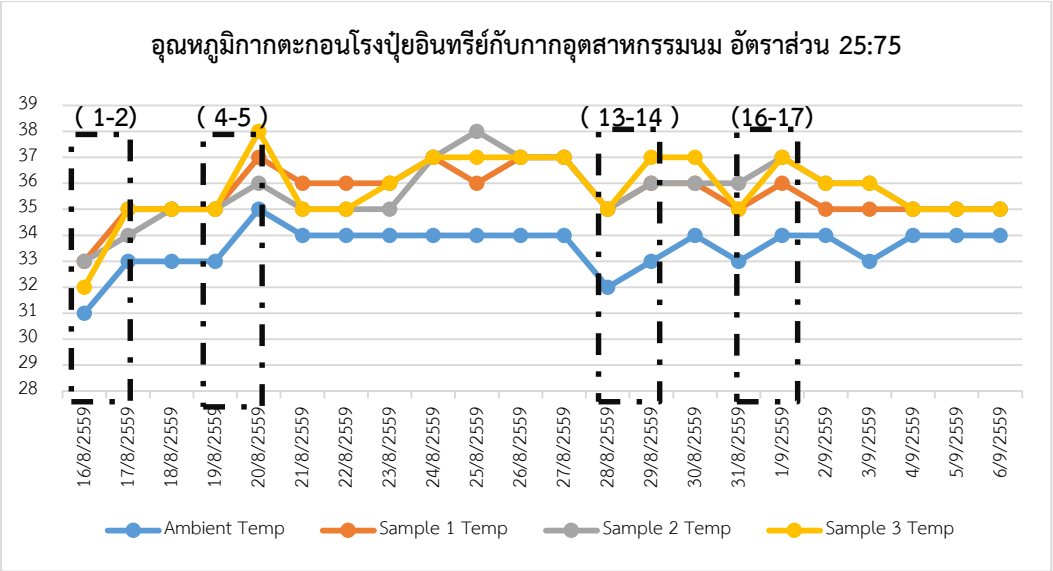


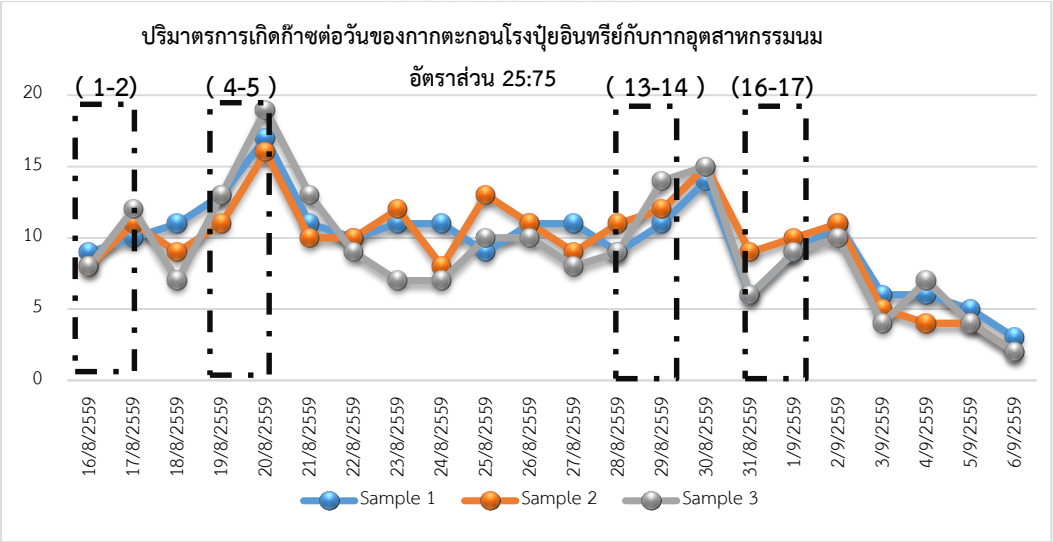


รูปที่ 89 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 50:50

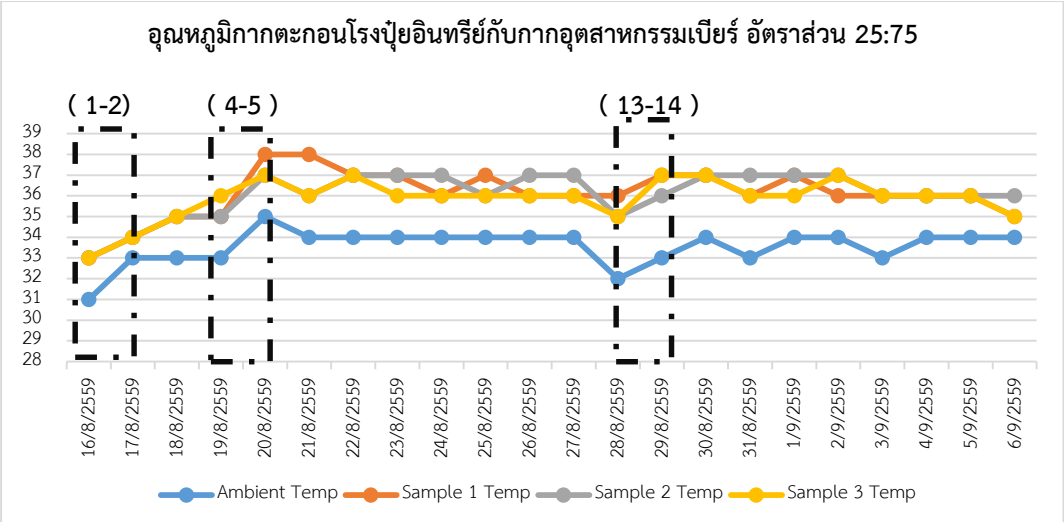
จากรูปที่ 89 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 50:50 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (14-15), (19-20) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี

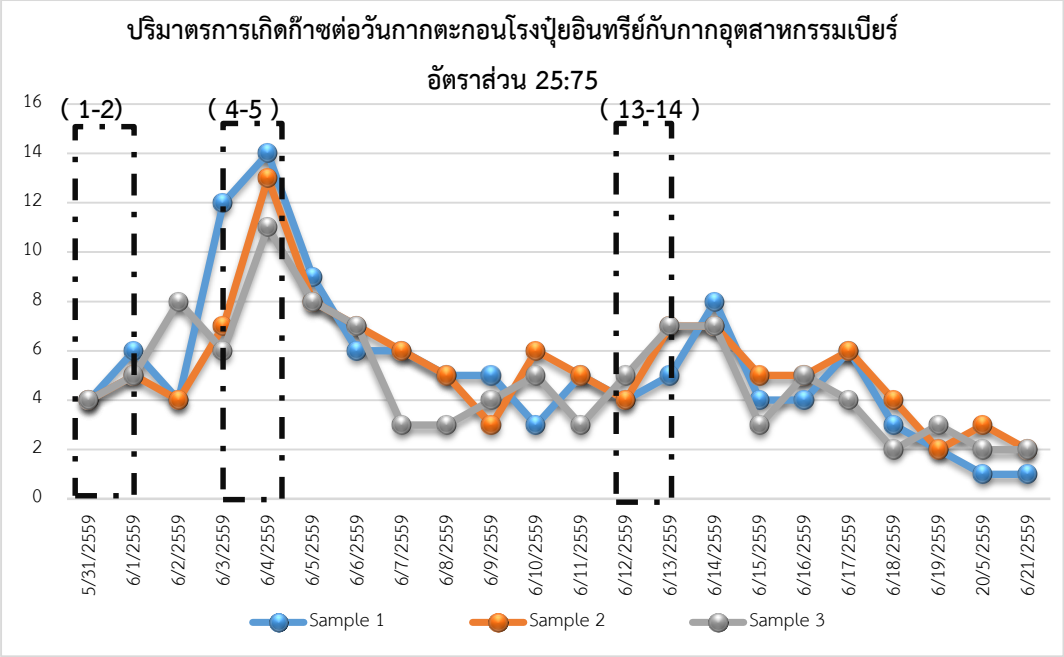




รูปที่ 90 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม อัตราส่วน 25:75

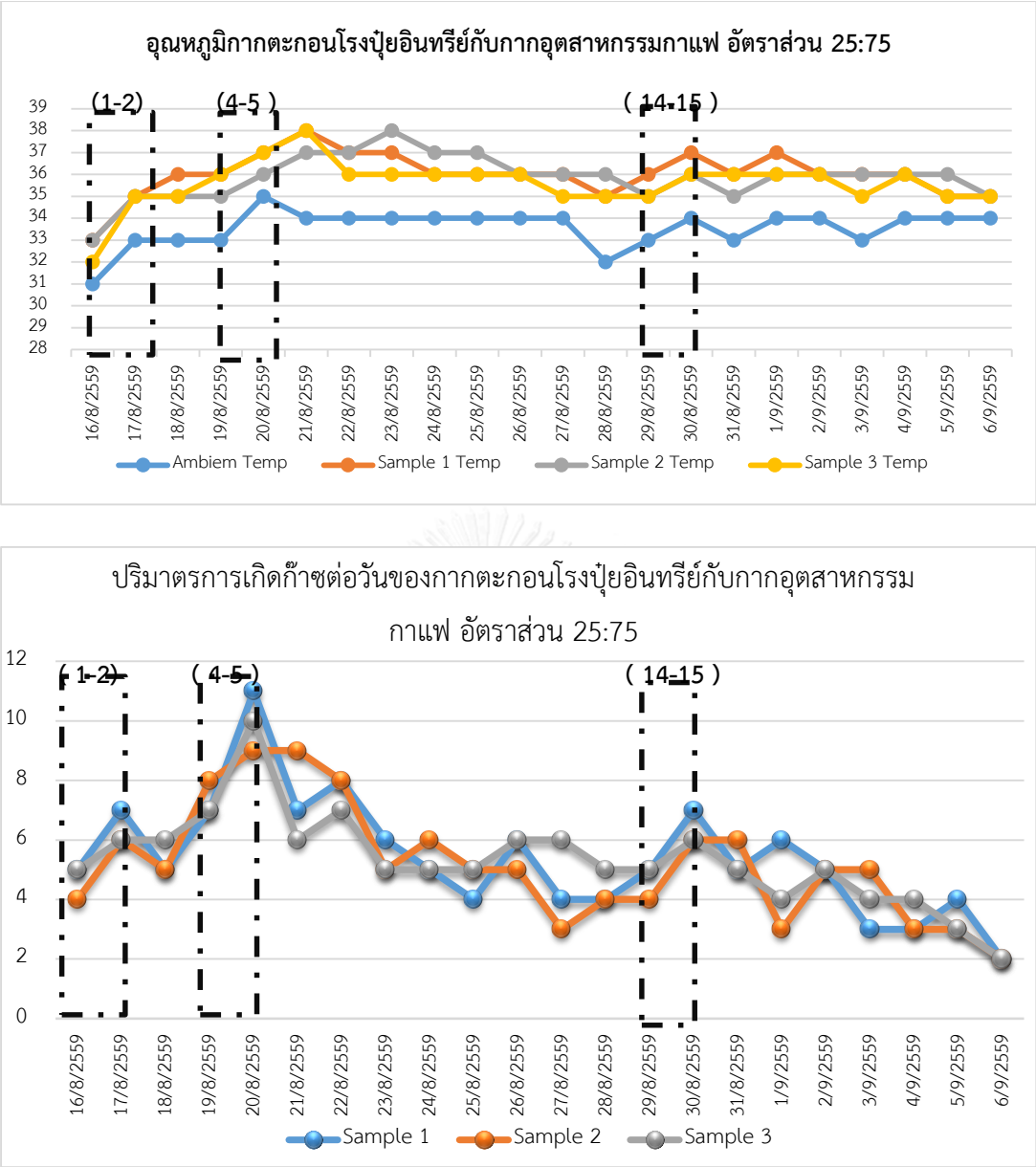
จากรูปที่ 90 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนม 25:75 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (13-14), (16-17) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี





รูปที่ 91 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ อัตราส่วน 25:75

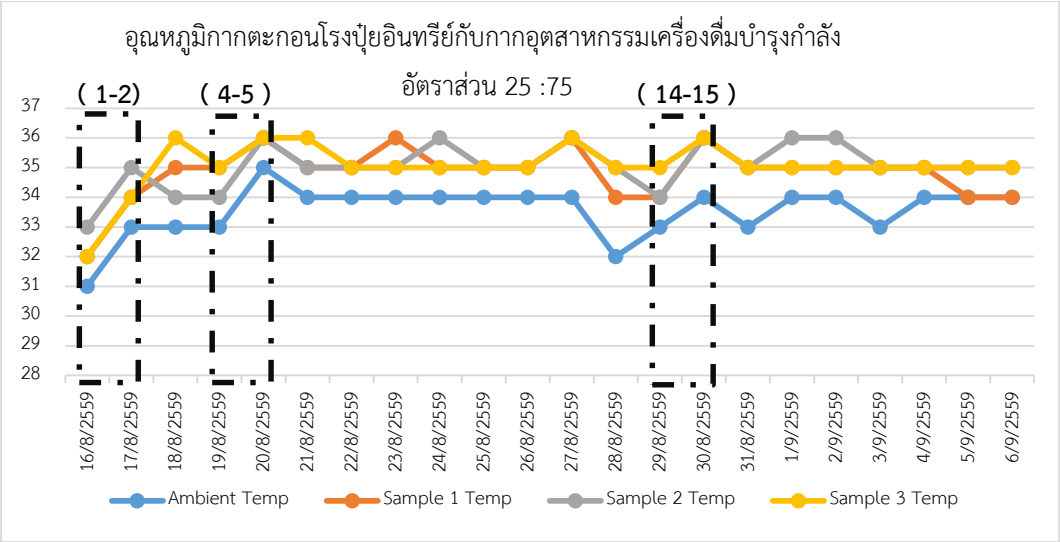
จากรูปที่ 91 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์ 25:75 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (13-14) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี

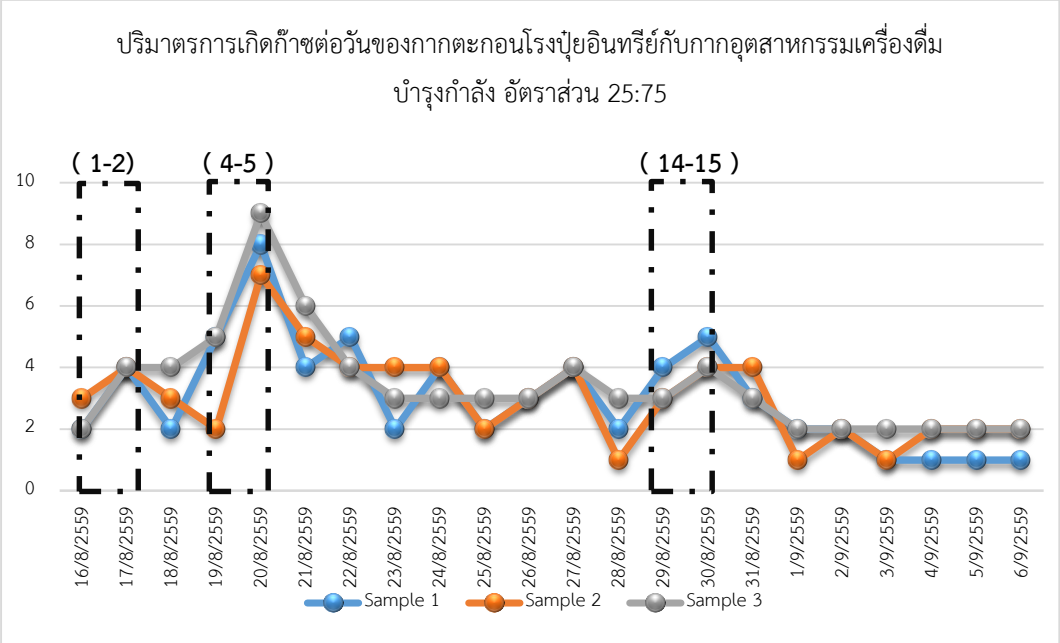


รูปที่ 92 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ

(ก)อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 92 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ 25:75 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี





รูปที่ 93 เปรียบเทียบปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน กับอุณหภูมิ
(ก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และ (ข) ปริมาตรการเกิดก๊าซต่อวันของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง อัตราส่วน 25:75

จากรูปที่ 93 ที่อัตราส่วนการหมักของกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 25:75 จะเห็นว่าการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกันคือ (1-2), (4-5), (11-12), (14-15) ของการทดลอง ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ครั้งแสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดี

การเปรียบเทียบอุณหภูมิกับปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซของการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงเดียวกัน แสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพสัมพันธ์กับอุณหภูมิการหมัก แต่ในการเกิดปฏิกิริยายังมีปัจจัยอื่น ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาตรก๊าซ เช่น สารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในระบบ, ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ในระบบ, สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา เป็นต้น

4.2.2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และความร้อนที่ได้

ตารางที่ 12 แสดงปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทนและค่าความร้อนที่ได้

อัตราส่วนหมัก	ชนิดตัวอย่าง	ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพ (ml)	CH4 (%)	ค่าความร้อน (จูล)
100 : 0	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์	127	24.59	1386.112
75 : 25	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	272	20.99	2530.923
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	139	13.64	840.479
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	162	15.89	1141.134
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	128	9.09	515.788
50 : 50	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	213	19.68	1860.548
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	123	11.73	640.382
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	123	12.61	688.425
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	80	8.67	307.854

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 13 (ต่อ) แสดงปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพ , ก๊าซมีเทนและค่าความร้อนที่ได้

อัตราส่วนหมัก	ชนิดตัวอย่าง	ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพ (ml)	CH4 (%)	ค่าความร้อน (จูล)
25 : 75	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	209	19.37	1794.625
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	114	11.02	556.908
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	117	12.42	644.177
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	70	8.27	256.626
0 : 100	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมนม	113	18.74	939.905
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเบียร์	78	10	346.203
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมกาแฟ	85	11.61	438.013
	กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	10	7.91	35.108

จากตารางที่ 13 พบว่าอัตราส่วนหมักที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมที่ 75:25 รองลงมาคือ 50:50 และ 25:75 ตามลำดับ ส่วนกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่นำมาหมักร่วมกับกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ และให้ก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด คือ กากอุตสาหกรรมนม รองลงมาคือ กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์ และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังตามลำดับ โดยค่าความร้อยที่ได้ สอดคล้องกับปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งอัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมนมที่ 75:25 ให้ค่าความร้อน 2530.925 จูล รองลงมาคือ 50:50 ให้ค่าความร้อน 180.548 จูล และ 25:75 ให้ค่าความร้อน 1794.625 จูล ตามลำดับ

4.3 การคำนวณความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการวิจัยสามารถประเมินความต้องการทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการนำพลังงานจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยจากการทดลองโดยใช้ปริมาตรการหมักที่ประมาณ 300 มิลลิลิตรโดยพิจารณาเทียบเคียงกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์[13] พบว่าการหมักโดยการใช้กากอุตสาหกรรมที่ใช้แล้วทำให้เกิดก๊าซมีเทนสูงสุด ได้แก่ กากอุตสาหกรรมนม กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์ และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ตามลำดับ

โดยจากผลการทดลองด้วยการนำกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพอุตสาหกรรมมาหมักร่วมกับกากโรงงานผลิตเครื่องดื่มสามารถใช้เป็นสรุปผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ให้ตั้งข้อสมมติของโครงการประเมินผลตอบแทนทางการเงิน ผู้ประเมินกำหนดสมมติฐานจากข้อมูลโดยพิจารณาจาก 2 ทางเลือก ดังนี้

4.3.1 ทางเลือกที่ 1 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์จากโครงการที่โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพมีการติดตั้งระบบ Covered Lagoon ระบบเดิมแล้ว

4.3.2 ทางเลือกที่ 2 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์จากโครงการที่โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่ไม่มีการติดตั้งระบบ Covered Lagoon

การประเมินวิเคราะห์ผลตอบแทนและการประมาณการเพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานโดยให้ดำเนินการตั้งสมมติฐานการดำเนินโครงการของทั้ง 2 ทางเลือก ดังนี้

1) การดำเนินการโครงการคิดระยะเวลาในการดำเนินการทั้งหมด 10 ปี เนื่องจากอายุการใช้งานของอุปกรณ์ทั้งหมด
2) การคำนวณค่าเสื่อมราคาทรัพย์สินใช้วิธีคิดแบบเส้นตรง (Straight Line)
3) กำลังการผลิตของโครงการที่คาดว่าจะผลิตออกมาได้ เท่ากับ 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือ 90,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน โดยมีวันทำงาน 300 วันต่อปี กำหนดให้มีกำลังการผลิตก๊าซชีวภาพ 100% ตั้งแต่ปีแรกที่ดำเนินการ
4) ต้นทุนเริ่มต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นค่าที่ได้จากการประมาณการของโครงการ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operation Cost) มีรายละเอียดดังนี้ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น ประกอบด้วย
    ก. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพจำนวน 1 บ่อ ขนาดบ่อกำลังการผลิต 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 1,365,000 บาท ซึ่งมีรายละเอียดตามตารางที่ 13 ดังนี้

ตารางที่ 13 ประมาณการค่าใช้จ่ายสำหรับการก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

รายละเอียดในก่อสร้าง	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าวัสดุก่อสร้าง (ปูนซีเมนต์,หิน,ทราย)	1,350,000
ค่าวัสดุอุปกรณ์	30,000
ค่าแรง	100,000
รวมค่าใช้จ่ายในก่อสร้าง	**1,365,000**

ข. ค่าใช้จ่ายในการปูผืนพลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) เพื่อคลุมบ่อในการกักเก็บก๊าซ 1 ผืนๆ ละ 50,000 บาท

ค. ค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 100 กิโลวัตต์ จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 320,000 บาท รวมเป็นจำนวนเงิน 320,000 บาท

ง. ค่าระบบและอุปกรณ์ในการส่งก๊าซ จำนวนเงิน 30,000 บาท

จ. ค่าติดตั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ และระบบควบคุมไฟฟ้า เป็นจำนวนเงิน 30,000 บาท

ฉ. ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินการ (ค่าTest Run ระบบ) เป็นจานวนเงิน 5,000 บาท

5) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ประกอบด้วย

ก. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาบ่อหมัก 50,000 บาทต่อปี

ข. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 84,000 บาทต่อปี

ค. ค่าแรงงานดูแลระบบ 2 คน (9,000 บาทต่อคนต่อเดือน) 216,000 บาทต่อปี

ง. ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด 36,000 บาทต่อปี

4.3.3 ผลตอบแทนของการผลิตก๊าซชีวภาพ ผลตอบแทนการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ผลตอบแทนจากพลังงาน ได้แก่ ผลตอบแทนจากการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยระบบก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากบ่อหมัก ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เมตร จะได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งสามารถจะทดแทนพลังงานได้ ดังนี้ ผลิตกระแสไฟฟ้า 300 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน แต่ทั้งนี้จากการวิจัยและทดลองพบว่าหากนำกากอุตสาหกรรมไปหมักร่วมกับกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพผลิตเครื่องดื่ม ผลปรากฏว่าจะทำให้ก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 46.69% ซึ่งหมายความว่าจะทำให้ได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 367 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 440 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพภายในฟาร์มมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่เมื่อมีการ

ผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองจากก๊าซชีวภาพ ทางโรงปุ๋ยจะประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับการประหยัดค่าไฟฟ้าที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามตารางที่ 14 ดังนี้

ตารางที่ 14 ประมาณการค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ตามทางเลือก

การประเมินทางเลือก	**ศักยภาพ**	**เงินลงทุน (บาท)**	**ระยะเวลาคืนทุน (ปี)**	**IRR (%)**
1.**ทางเลือกที่ 1** การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแบบมี Covered Lagoon ระเดิมอยู่แล้ว	ผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 42,021 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี	386,000	1.87	52%
2.**ทางเลือกที่ 2** การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแบบ*ไม่มี* Covered Lagoon	ผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 42,021 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี	2,652,000	11.1	4%

จากสมมติฐานราคาค่าไฟฟ้าราคา 2.60 บาทต่อ KWh โดยคิดที่นำก๊าซชีวภาพมาผลิตกระแสไฟฟ้าที่ร้อยละ 0.5 = 440x0.5x2.6x30 เท่ากับ 17,160 บาทต่อเดือน ดังนั้น ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 17,160 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็นเงิน205,920 บาทต่อปี

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการนำกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมกับกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มหากมีการติดตั้งระบบ Covered Lagoon และนำกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพอุตสาหกรรมหมักร่วมกับกากอุตสาหกรรมนม ที่อัตราส่วนผสม 75:25 คือ สัดส่วนที่จะทำให้ได้ก๊าซชีวภาพมากที่สุดจากการดำเนินการวิจัย จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้และใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นประมาณ 386,000 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุน (Pay-back Period) ใช้ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี 8 เดือน และได้ค่า IRR (Internal Return Rate) [14]ที่ประมาณร้อยละ 52 หากยังไม่มีระบบ Covered Lagoon ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 11 ปี และมีค่า IRR อยู่ที่ประมาณร้อยละ 4 ดังนั้นหากโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่ไม่มี Covered Lagoon อาจจะต้องเพิ่มปริมาตรอัตราส่วนผสมจนทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพเต็มกำลังการผลิตที่ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้สมมุติฐานการผลิตที่ประมาณ 367 ลูกบาศก์เมตรต่อวันเท่านั้น ซึ่งหากผลิตได้เต็มกำลังการผลิตจะทำให้ผลการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 1,200 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน หรือคิดเป็นค่าประหยัดพลังงานไฟฟ้าประมาณ 46,800 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 561,000 บาทต่อปี

บทที่ 5

สรุปผลวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลวิจัย

จากการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เมื่อพิจารณาการหมักร่วมโดยเติมกากอุตสาหกรรมเข้าไปในระบบ โดยปรับปริมาตรสัดส่วนภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน ค่าน้ำหนักแห้งรวมของทุกอัตราส่วนเท่ากันที่ 2 กรัม พบว่าอัตราส่วนหมักที่ต่างกันส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพ อัตราการเกิดก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าความร้อนที่ได้แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาอัตราส่วนทั้ง 5 อัตราส่วนหมักได้ดังนี้

5.1.1 ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน จากการศึกษาพบว่าปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีปริมาตรการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ค่าปริมาตรการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆ ทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลองอัตราส่วนที่มีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันสูง คือ อัตราส่วนหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่เกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ กากอุตสาหกรรมนม กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง รองลงมาคืออัตราส่วน 50:50 โดยกากอุตสาหกรรมที่เกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ กากอุตสาหกรรมนม กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง เช่นเดียวกัน

5.1.2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลอง จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่ได้ปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ อัตราส่วนหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม 75:25 ซึ่งกากอุตสาหกรรมนมมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ 272 มิลลิลิตร มากที่สุด รองลงมาคือ กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์ และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง มีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ 162 139 และ 128 มิลลิลิตรตามลำดับ

5.1.3 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพและค่าความร้อน จากการทดลองพบว่า เมื่อผสมกากอุตสาหกรรมลงไปในการหมักก๊าซชีวภาพของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ ทำให้องค์ประกอบก๊าซ

ชีวภาพ (มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์) ลดลง แต่เมื่อคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักระหว่างกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพกับกากอุตสาหกรรม พบว่าให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นกว่าการหมักก๊าซชีวภาพ โดยกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งอัตราส่วนที่ให้ผลดีที่สุดคือ 75:25 รองลงมาคือ 50:50 และ 25:75 กากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่นำมาหมักร่วมกับกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ คือ กากอุตสาหกรรมนม รองลงมาคือ กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์ และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังตามลำดับ

5.1.4 จากผลที่ได้ทั้งหมดจากการทดลองพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการการหมักร่วมกากตะกอนวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่ม ทั้งการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน, ก๊าซชีวภาพสะสม, องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ และค่าความร้อน คือ อัตราส่วนกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพต่อกากอุตสาหกรรมที่ 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่สุดคือ กากอุตสาหกรรมนม รองลงมาคือ กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์ และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังตามลำดับ

ดังนั้น การเติมกากอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัตถุดิบในการหมักร่วมกับกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ประเภทลากูนของโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ส่งผลให้ก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพลดลงและเป็นการปรับปรุงค่าความร้อนจากการผลิตก๊าซชีวภาพให้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการหมักร่วมทำให้มีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการปรับอัตราส่วนการหมักให้มีความหลากหลาย โดยใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับอัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพต่อกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มที่ 75:25

5.2.2 ควรมีการนำไปขยายผลโดยการใช้งานจริงกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ เพื่อปรับปรุงขีดความสามารถในการผลิตก๊าซชีภาพ

5.2.3 ควรวิเคราะห์ค่า COD ของวัตถุดิบหมักก่อนทำการทดลอง

5.2.4 ควรนำกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพไปตรวจสอบองค์ประกอบของกากตะกอนโรงปุ๋ยชีวภาพ BOD COD ก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

5.2.5 ในการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ ควรนำผลตอบแทนที่ได้ จากค่ากำจัดกาก อุตสาหกรรม และผลจากการลดต้นทุนการผลิต จากกากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ย มาพิจารณาร่วมด้วย

5.2.6 การคำนวณปริมาณความร้อนควรพิจารณาเหมือนก๊าซธรรมชาติ โดยคำนวณค่าปริมาณความร้อนต่อหน่วยที่ใช้เป็นปริมาตร คือ ลบ.ม หรือ ลบ.ฟุต ซึ่งนิยมบอกที่ค่า STP (25 °C, 1 atm) จะทำให้หน่วยเป็น SCM, Nm^3 หรือ SCF สำหรับค่าความร้อน (เชื้อเพลิง) นิยมใช้หน่วยเป็นค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง (high heating value) โดยใช้เป็นหน่วยความร้อนสากล Btu/ft^3 โดย Btu นั้นจะอ้างอิง 1 ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐานที่อุณหภูมิ 60 °F และความดัน 30 นิ้วปรอท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. ธีระศักดิ์ เสภากล่อม, ก๊าซชีวภาพ พลังงานทดแทนจากสิ่งปฏิกูล. 2548.
2. Lehigh University, U., *ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTE FOR BIOGAS PRODUCTION* 2010, Energy Systems Engineering Institute.
3. นายสรศักดิ์ ท่าใหญ่, การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรโดยการหมักร่วมกับผักตบชวา. 2556.
4. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานในเครื่องผลิตปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด. 2551: กรุงเทพมหานคร. p. 4-41, 4-47.
5. INDIA., D.o.M.E.M., *BIOGAS YIELD FROM CARBONATE SOFT DRINK SLUDGE WITH SOME ORGANIC WASTES* 2012.
6. THAILAND., S.o.B.I.o.S.N.R., *LABORATORY SCALE EXPERIMENTS FOR BIOGAS PRODUCTION FROM CASSAVA TUBER*. 2007.
7. Association, E.B., *BIOGAS SOLUTION FOR FOOD AND BEVERAGE INDUSTRYGBE* 2013.
8. GERMANY., B.U.o.T., *PERSPECTIVE METHODS OF SEWAGE SLUDGE UTILISATION FOR ENERGY PRODUCTION* 2011.
9. AUSTRALIA., T.U.o.W.A., *RELATIONSHIP BETWEEN WASTEWATER SLUDGE QUALITY AND ENERGY PRODUCTION POTENTIAL* 2013.
10. Department of Technology, M.o.T.C.E., Peninlsula : USA., *TREATMENT OF SOFTDRINK INDUSTRY WASTEWATER BIOREACTOR USING AN INTEGRATED ANAEROBIC/AEROBIC MEMBRANE.* 2014.
11. นายสาววราพรรณ จันทแพน and สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, *Covered Langoon* ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในฟาร์มสุกร. 2557.
12. อรทัย วรรคาวิสันต์, การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์. 2553, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ. p. 50.
13. Stephen A. Ross and R.W. Westerfield, *Coporate Finance*. 2014, Singapore: Mc Graw Hill Education.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้ง และการคำนวณอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ERC-S-L...002

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

รายงานผลวิเคราะห์

เจ้าของตัวอย่าง : น.ส.วิรยุดา คุมเกษ
ที่อยู่ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประเภทตัวอย่าง : .....
รหัสงานวิเคราะห์ : C 0235a
วันที่ส่งตัวอย่าง : 19 เมษายน 2559
วันที่ออกผลวิเคราะห์ : 27 เมษายน 2559

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลวิเคราะห์					วิธีวิเคราะห์
		1	2	3	4	5	
Total Solids	mg/l	187,564	74,344	29,088	32,732	12,400	Total Solids Dried at 103-105 °C 2540 B
Volatile Solids	mg/l	55,548	69,036	27,304	30,168	6,800	Fixed and Volatile Solids ignited at 550 °C

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

หมายเหตุ : รายงานฉบับนี้ขอสงวนให้เฉพาะตัวอย่างที่ส่งตรวจเท่านั้น ห้ามนำไปใช้อ้างอิงเพื่อการค้าหรือโฆษณาสินค้า การคัดลอกหรือสำเนารายงานผลวิเคราะห์ไปลงพิมพ์ส่วนหรือทั้งหมดต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้บริหารของสถาบันฯ

1 : กากตะกอนโรงฟอก 2 : กากอุตสาหกรรมยาง
3 : กากอุตสาหกรรมกาแฟ 4 : กากอุตสาหกรรมเครื่องเติมบำรุงกำลัง
5 : กากอุตสาหกรรมเบียร์

(ดร.ศิริการ ตำรงศิริ)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการ
28 / เม.ย. / 59

(นางอารีรา รัตนวรรณศิริ)
ผู้วิเคราะห์
27 / เม.ย. / 59

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันยรัตน์ ...
รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
27 / เม.ย. / 59

<u>การคำนวณค่าวัตถุดิบหมัก เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย โดยใช้ค่าผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์</u>

อัตราส่วน กากตะกอนโรงปุ๋ย : กากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม การศึกษานี้ใช้น้ำหนักแห้งในการหมักที่ 2 กรัมค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถหาค่าน้ำหนักสดที่ได้จากการหมักดังนี้

1. อัตราส่วน 100 : 0

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ร้อยละ 100 คิดเป็น 1 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 2 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 2 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 18.593 มิลลิลิตร

2. อัตราส่วน 75 : 25

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ร้อยละ 75 คิดเป็น 0.75 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

กากอุตสาหกรรมนม, กากอุตสาหกรรมเบียร์ , กากอุตสาหกรรมกาแฟและกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 25 คิดเป็น 0.25 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 0.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 1.5 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 13.945 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 0.5 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 6.726 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 0.5 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 40.323 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 0.5 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 17.190 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.5 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 16.270 มิลลิลิตร

3. อัตราส่วน 50 : 50

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ร้อยละ 50 คิดเป็น 0.5 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

กากอุตสาหกรรมนม, กากอุตสาหกรรมเบียร์ , กากอุตสาหกรรมกาแฟและกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 50 คิดเป็น 0.5 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 1 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 9.279 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 1 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 13.451 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 1 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 80.645 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 1 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 34.379 มิลลิลิตร

Chulalongkorn University

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 1 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 32.540 มิลลิลิตร

4. อัตราส่วน 25 : 75

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ร้อยละ 25 คิดเป็น 0.25 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 0.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

กากอุตสาหกรรมนม, กากอุตสาหกรรมเบียร์ , กากอุตสาหกรรมกาแฟและกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 75 คิดเป็น 0.75 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ 0.5 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนโรงปุ๋ย ฯ สด 4.648 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 1.5 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 20.177 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 1.5 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 120.968 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 1.5 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 51.568 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 1.5 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 48.809 มิลลิลิตร

Chulalongkorn University

5. อัตราส่วน 0 : 100

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ร้อยละ 0 คิดเป็น 0 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 0 กรัมน้ำหนักแห้ง

กากอุตสาหกรรมนม, กากอุตสาหกรรมเบียร์ , กากอุตสาหกรรมกาแฟและกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 100 คิดเป็น 1 x 2 กรัมน้ำหนักแห้ง = 2 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 2 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 26.901 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเบียร์ 2 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 161.290 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 74.344 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมกาแฟ 2 กรัมจากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 68.757 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 107.564 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 2 กรัมจากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 65.079 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข
ผลการบันทึกอุณหภูมิภายในขวดหมักและสิ่งแวดล้อมภายนอก ระหว่างการทดลองการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข – 1 อุณหภูมิภายในขวดหมักและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก ในการทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์กับกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม 100:0, 50:50 และ 0:100 อัตราส่วนละ 3 ชุดการทดลอง และค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน

ชุดการทดลอง 1 .1

วันที่	อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)														
		อัตราส่วน 100:0			อัตราส่วน 0:100											
		กากตะกอนโรงปุ๋ยฯ			กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	29	30	31	31	31	31	31	30	30	29	30	30	30	30	30	30
1/5/2559	34	34	35	35	34	35	35	34	34	34	34	34	34	33	33	34
2/5/2559	33	36	36	37	36	36	36	36	35	36	36	35	36	35	35	36
3/5/2559	33	36	36	37	37	37	37	35	35	36	36	36	36	36	36	36
4/5/2559	35	37	37	38	38	38	38	36	36	37	37	37	37	36	36	36
5/5/2559	35	37	37	37	37	37	37	37	36	37	37	37	37	36	36	37
6/5/2559	35	37	37	37	37	37	37	37	36	37	37	37	37	35	35	35
7/5/2559	35	37	37	38	37	37	37	37	36	37	37	36	37	36	36	36
8/5/2559	34	36	36	37	37	37	37	37	36	37	35	36	36	35	34	34
9/5/2559	34	37	37	38	37	37	37	37	36	37	36	37	37	36	36	36
10/5/2559	34	37	38	38	37	37	37	37	37	37	36	36	36	36	36	36
11/5/2559	34	37	37	38	37	37	37	37	36	37	37	37	37	37	37	37
12/5/2559	32	36	37	37	37	37	37	35	35	35	36	36	37	36	36	36
13/5/2559	33	36	36	36	36	36	36	37	37	37	35	35	36	34	35	34
14/5/2559	34	37	37	37	37	37	37	36	36	36	36	36	37	36	36	35
15/5/2559	35	37	36	37	38	38	38	36	37	37	37	37	37	37	37	37
16/5/2559	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
17/5/2559	34	36	36	36	35	35	35	36	36	36	36	36	37	36	36	36
18/5/2559	33	35	35	35	35	35	35	36	36	36	34	34	34	34	35	34
19/5/2559	34	35	35	35	36	36	36	36	35	36	35	35	36	35	35	35
20/5/2559	35	36	36	36	37	36	36	36	36	36	36	35	36	35	35	36
21/5/2559	34	35	35	36	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34	35	35
Average		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	35	31	31

ชุดการทดลอง 1.2

วันที่	อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)											
		อัตราส่วน 50:50											
		กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	30	31	31	31	31	31	31	31	30	30	31	31	30
1/5/2559	34	34	34	35	34	34	35	34	34	34	34	34	34
2/5/2559	34	36	36	37	36	36	37	36	35	35	35	35	35
3/5/2559	34	36	36	37	36	36	37	36	35	35	35	35	35
4/5/2559	35	37	37	38	37	37	38	37	36	36	37	36	36
5/5/2559	35	37	37	37	37	37	38	37	36	36	37	37	37
6/5/2559	35	36	36	36	37	37	38	37	36	36	37	37	37
7/5/2559	35	37	37	37	38	38	38	37	36	37	37	37	37
8/5/2559	34	36	37	37	37	37	36	37	36	37	36	37	36
9/5/2559	34	36	37	37	37	37	38	37	36	36	35	36	36
10/5/2559	34	35	35	36	37	37	38	36	36	36	36	36	36
12/5/2559	34	36	37	36	37	35	37	36	36	36	36	36	36
13/5/2559	33	34	34	34	36	37	36	35	35	36	34	36	36
14/5/2559	34	35	35	36	36	36	36	37	36	36	35	36	36
15/5/2559	35	36	36	36	37	37	38	37	37	37	37	37	37
16/5/2559	34	35	35	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35
17/5/2559	34	36	37	37	36	36	36	36	36	36	36	37	37
18/5/2559	33	35	35	35	35	36	35	34	34	34	34	37	37
19/5/2559	34	36	36	36	36	35	37	35	35	35	35	35	35
20/5/2559	35	35	37	37	36	36	37	35	35	35	36	36	36
21/5/2559	34	34	36	36	35	35	36	35	35	35	35	35	35
Average		34	36	37	36	37	35	37	36	36	36	36	36

ตารางที่ ข – 2 อุณหภูมิภายในขวดหมักและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก ในการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ
กับกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม 75:25 และ 25:75 อัตราส่วนละ 3 ชุดการทดลอง และค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน

ชุดการทดลอง 2.1

วันที่	อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)											
		อัตราส่วน 75:25											
		กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
16/8/2559	31	32	33	32	32	32	32	32	33	33	32	32	32
17/8/2559	33	34	34	35	34	34	34	35	35	35	36	36	34
18/8/2559	33	35	35	35	35	35	35	35	35	35	36	35	35
19/8/2559	33	35	35	35	35	35	36	36	35	36	36	35	35
20/8/2559	35	37	37	36	38	37	37	37	37	38	37	37	36
21/8/2559	34	38	37	37	38	38	38	36	36	36	37	36	36
22/8/2559	34	37	36	36	37	37	37	36	36	36	36	37	36
23/8/2559	34	36	36	36	37	38	37	37	37	36	36	36	36
24/8/2559	34	35	35	36	38	38	37	36	36	36	36	36	36
25/8/2559	34	36	37	37	37	37	37	36	36	37	36	36	36
26/8/2559	34	36	37	36	38	37	37	36	36	36	36	36	36
27/8/2559	32	35	34	34	36	36	35	36	35	36	34	35	35
28/8/2559	33	35	35	36	36	36	36	36	36	35	35	35	35
29/8/2559	34	36	36	37	37	37	37	37	37	37	36	36	36
30/8/2559	33	36	36	35	36	37	36	36	36	36	35	36	35
1/9/2559	34	35	35	35	37	37	36	36	36	36	36	36	36
2/9/2559	34	36	36	36	36	37	37	36	36	36	36	36	35
3/9/2559	33	36	35	35	36	36	36	35	36	35	35	35	35
4/9/2559	34	36	36	36	36	36	36	35	36	36	36	36	36
5/9/2559	34	36	36	36	36	36	36	35	36	35	36	36	36
6/9/2559	34	35	36	36	35	36	35	35	35	35	35	35	36
Average		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

ชุดการทดลอง 2.2

วันที่	อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในขวด (องศาเซลเซียส)											
		อัตราส่วน 25:75											
		กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
16/8/2559	31	33	33	32	33	33	33	33	33	32	32	33	32
17/8/2559	33	35	34	35	34	34	34	35	35	35	34	35	34
18/8/2559	33	35	35	35	35	35	35	36	35	35	35	34	36
19/8/2559	33	35	35	35	35	35	36	36	35	36	35	34	35
20/8/2559	35	37	36	38	38	37	37	37	36	37	36	36	36
21/8/2559	34	36	35	35	38	36	36	38	37	38	35	35	36
22/8/2559	34	36	35	35	37	37	37	37	37	36	35	35	35
23/8/2559	34	36	35	36	37	37	36	37	38	36	36	35	35
24/8/2559	34	37	37	37	36	37	36	36	37	36	35	36	35
25/8/2559	34	36	38	37	37	36	36	36	37	36	35	35	35
26/8/2559	34	37	37	37	36	37	36	36	36	36	35	35	35
27/8/2559	32	35	35	35	36	35	35	35	36	35	34	35	35
28/8/2559	33	36	36	37	37	36	37	36	35	35	34	34	35
29/8/2559	34	36	36	37	37	37	37	37	36	36	36	36	36
30/8/2559	33	35	36	35	36	37	36	36	35	36	35	35	35
1/9/2559	34	36	37	37	37	37	36	37	36	36	35	36	35
2/9/2559	34	35	36	36	36	37	37	36	36	36	35	36	35
3/9/2559	33	35	36	36	36	36	36	36	36	35	35	35	35
4/9/2559	34	35	35	35	36	36	36	36	36	36	35	35	35
5/9/2559	34	35	35	35	36	36	36	35	36	35	34	35	35
6/9/2559	34	35	35	35	35	36	35	35	35	35	34	35	35
Average		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	35	35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

ผลการบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันและปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

ตารางที่ ค – 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ในการทดลองครั้งที่ 1 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม 100 : 0 , 50 : 50 และ 0 : 100 อัตราส่วนละ 3 ชุดการทดลอง และค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน

ชุดการทดลอง 1.1.1 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)														
	อัตราส่วน 100 : 0			อัตราส่วน 0 : 100											
	กากตะกอนโรงปุ๋ยฯ			กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	5	4	5	4	3	3	4	4	4	2	2	3	0	0	0
1/5/2559	6	7	7	6	5	4	5	5	5	3	3	4	1	1	0.5
2/5/2559	7	8	8	7	6	6	5	5	6	3	4	4	0	1	0
3/5/2559	9	9	9	8	6	6	6	7	7	3	4	4	0	1	1
4/5/2559	10	11	12	11	9	10	7	8	8	7	8	7	2	2	3
5/5/2559	6	7	7	8	6	6	6	5	5	4	4	5	1	0	1
6/5/2559	8	8	8	6	5	5	5	5	4	5	4	6	0	1	0
7/5/2559	7	9	8	4	5	5	3	5	3	5	5	5	1	1	1
8/5/2559	7	5	4	5	6	5	3	3	4	4	3	4	0	0	0
9/5/2559	8	6	7	4	4	5	4	3	2	6	6	6	0	0	0
10/5/2559	5	5	5	6	5	6	4	3	5	3	3	6	1	1	1
11/5/2559	5	5	6	5	5	6	4	3	2	4	4	5	1.5	1.5	2
12/5/2559	6	7	6	5	6	7	3	3	3	4	5	4	1	0	0
13/5/2559	5	6	4	3	4	6	4	4	4	3	3	3	0	0	0
14/5/2559	7	7	5	6	6	7	4	4	4	4	4	4	0.5	0	0.5
15/5/2559	5	4	4	3	6	4	2	2	2	4	4	3	1	0.5	1
16/5/2559	5	4	5	4	5	6	2	2	3	2	3	4	0	0	0
17/5/2559	3	3	4	4	4	5	2	1	2	3	2	3	0	0	0
18/5/2559	3	5	3	4	3	3	1	1	2	4	4	2	0	0	0
19/5/2559	3	6	6	5	4	4	2	2	1	4	2	3	0	0	0
20/5/2559	1	2	4	4	4	4	1	1	2	3	3	2	0	0	0
21/5/2559	1	1	3	2	2	2	1	1	1	3	2	2	0	0	0

ชุดการทดลอง 1.1.2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)														
	อัตราส่วน 100 : 0			อัตราส่วน 0 : 100											
	กากตะกอนโรงปุ๋ยฯ			กาก อุตสาหกรรมนม			กาก อุตสาหกรรมเบียร์			กาก อุตสาหกรรมกาแฟ			กาก อุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	5	4	5	4	3	3	4	4	4	2	2	3	0	0	0
1/5/2559	11	11	12	10	8	7	9	9	9	5	5	7	1	1	0.5
2/5/2559	18	19	20	17	14	13	14	14	15	8	9	11	1	2	0.5
3/5/2559	27	28	29	25	20	19	20	21	22	11	13	15	1	3	1.5
4/5/2559	37	39	41	36	29	29	27	29	30	18	21	22	3	5	4.5
5/5/2559	43	46	48	44	35	35	33	34	35	22	25	27	4	5	5.5
6/5/2559	51	54	56	50	40	40	38	39	39	27	29	33	4	6	5.5
7/5/2559	58	63	64	54	45	45	41	44	42	32	34	38	5	7	6.5
8/5/2559	65	68	68	59	51	50	44	47	46	36	37	42	5	7	6.5
9/5/2559	73	74	75	63	55	55	48	50	48	42	43	48	5	7	6.5
10/5/2559	78	79	80	69	60	61	52	53	53	45	46	54	6	8	7.5
11/5/2559	83	84	86	74	65	67	56	56	55	49	50	59	7.5	9.5	9.5
12/5/2559	89	91	92	79	71	74	59	59	58	53	55	63	8.5	9.5	9.5
13/5/2559	94	97	96	82	75	80	63	63	62	56	58	66	8.5	9.5	9.5
14/5/2559	101	104	101	88	81	87	67	67	66	60	62	70	9	9.5	10
15/5/2559	106	108	105	91	87	91	69	69	68	64	66	73	10	10	11
16/5/2559	111	112	110	95	92	97	71	71	71	66	69	77	10	10	11
17/5/2559	114	115	114	99	96	102	73	72	73	69	71	80	10	10	11
18/5/2559	117	120	117	103	99	105	74	73	75	73	75	82	10	10	11
19/5/2559	120	126	123	108	103	109	76	75	76	77	77	85	10	10	11
20/5/2559	121	128	127	112	107	113	77	76	78	80	80	87	10	10	11
21/5/2559	122	129	130	114	109	115	78	77	79	83	82	89	10	10	11

ชุดการทดลอง 1.2.1 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)											
	อัตราส่วน 50 : 50											
	กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	9	9	10	5	5	4	4	5	5	4	4	4
1/5/2559	14	11	11	7	6	5	7	7	7	5	5	6
2/5/2559	13	12	15	7	6	6	5	5	6	5	6	6
3/5/2559	14	14	13	8	8	7	7	8	7	7	7	6
4/5/2559	16	15	16	10	9	8	9	9	10	9	9	9
5/5/2559	11	10	9	5	5	6	5	7	6	4	6	5
6/5/2559	10	10	10	6	6	7	6	5	5	5	6	4
7/5/2559	11	11	11	7	6	7	6	6	6	4	4	3
8/5/2559	10	12	10	6	6	5	6	5	6	5	5	4
9/5/2559	10	9	11	6	7	5	4	6	4	4	4	3
10/5/2559	10	9	10	7	6	7	6	5	5	3	5	5
11/5/2559	9	10	10	6	5	6	7	6	7	3	3	3
12/5/2559	11	9	11	5	6	7	5	5	7	3	3	3
13/5/2559	9	8	8	5	6	6	5	5	5	2	2	2
14/5/2559	10	9	10	4	5	5	7	6	7	3	3	3
15/5/2559	8	9	8	5	6	6	6	6	5	3	2	2
16/5/2559	7	8	7	4	5	6	5	5	5	1	2	2
17/5/2559	8	7	7	4	5	6	5	5	4	2	2	2
18/5/2559	7	8	7	4	4	5	5	6	4	1	1	1
19/5/2559	7	8	7	4	4	5	6	6	5	2	2	3
20/5/2559	6	7	7	3	5	4	3	4	4	1	1	2
21/5/2559	5	5	6	2	3	2	2	3	2	1	2	1

ชุดการทดลอง 1.2.2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)											
	อัตราส่วน 50 : 50											
	กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	9	9	10	5	5	4	4	5	5	4	4	4
1/5/2559	23	20	21	12	11	9	11	12	12	9	9	10
2/5/2559	36	32	36	19	17	15	16	17	18	14	15	16
3/5/2559	50	46	49	27	25	22	23	25	25	21	22	22
4/5/2559	66	61	65	37	34	30	32	34	35	30	31	31
5/5/2559	77	71	74	42	39	36	37	41	41	34	37	36
6/5/2559	87	81	84	48	45	43	43	46	46	39	43	40
7/5/2559	98	92	95	55	51	50	49	52	52	43	47	43
8/5/2559	108	104	105	61	57	55	55	57	58	48	52	47
9/5/2559	118	113	116	67	64	60	59	63	62	52	56	50
10/5/2559	128	122	126	74	70	67	65	68	67	55	61	55
11/5/2559	137	132	136	80	75	73	72	74	74	58	64	58
12/5/2559	148	141	147	85	81	80	77	79	81	61	67	61
13/5/2559	157	149	155	90	87	86	82	84	86	63	69	63
14/5/2559	167	158	165	94	92	91	89	90	93	66	72	66
15/5/2559	175	167	173	99	98	97	95	96	98	69	74	68
16/5/2559	182	175	180	103	103	103	100	101	103	70	76	70
17/5/2559	190	182	187	107	108	109	105	106	107	72	78	72
18/5/2559	197	190	194	111	112	114	110	112	111	73	79	73
19/5/2559	204	198	201	115	116	119	116	118	116	75	81	76
20/5/2559	210	205	208	118	121	123	119	122	120	76	82	78
21/5/2559	215	210	214	120	124	125	121	125	122	77	84	79

ตารางที่ ค – 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ในการทดลองครั้งที่ 2 อัตราส่วนการหมักกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพกับกากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม 75 : 25 และ 25 : 75 อัตราส่วนละ 3 ชุดการทดลอง และค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน

ชุดการทดลอง 2.1.1 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)											
	อัตราส่วน 75 : 25											
	กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	9	11	9	6	5	5	6	5	6	6	5	6
1/5/2559	13	12	13	7	6	9	10	11	8	7	6	7
2/5/2559	14	14	16	9	6	11	7	8	8	7	5	7
3/5/2559	20	17	17	12	12	12	11	13	14	7	7	12
4/5/2559	23	20	22	14	16	17	16	16	15	13	10	14
5/5/2559	12	13	14	9	6	9	6	8	8	12	9	8
6/5/2559	10	10	9	6	6	7	6	8	6	9	6	6
7/5/2559	10	11	16	7	7	7	7	6	6	6	6	7
8/5/2559	8	11	11	5	6	5	7	8	7	4	6	6
9/5/2559	11	14	13	5	5	7	7	8	6	6	4	4
10/5/2559	12	12	9	5	6	7	7	7	6	5	7	5
11/5/2559	14	13	13	6	7	5	7	6	5	4	6	4
12/5/2559	13	14	14	6	5	6	8	9	7	5	7	6
13/5/2559	16	13	12	6	5	7	10	9	7	6	5	5
14/5/2559	17	16	15	7	6	8	11	10	9	7	6	7
15/5/2559	11	9	11	6	4	5	5	5	6	3	6	5
16/5/2559	10	8	8	5	4	4	8	6	7	5	5	4
17/5/2559	15	15	13	7	6	3	8	7	8	5	6	4
18/5/2559	12	12	11	4	5	4	4	4	7	3	3	4
19/5/2559	9	9	8	3	4	3	3	3	4	4	5	5
20/5/2559	8	10	10	3	4	3	5	4	4	4	3	3
21/5/2559	8	8	6	2	2	1	3	3	5	2	2	1

ชุดการทดลอง 2.1.2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)											
	อัตราส่วน 75 : 25											
	กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	9	11	9	6	5	5	6	5	6	6	5	6
1/5/2559	22	23	22	13	11	14	16	16	14	13	11	13
2/5/2559	36	37	38	22	17	25	23	24	22	20	16	20
3/5/2559	56	54	55	34	29	37	34	37	36	27	23	32
4/5/2559	79	74	77	48	45	54	50	53	51	40	33	46
5/5/2559	91	87	91	57	51	63	56	61	59	52	42	54
6/5/2559	101	97	100	63	57	70	62	69	65	61	48	60
7/5/2559	111	108	116	70	64	77	69	75	71	67	54	67
8/5/2559	119	119	127	75	70	82	76	83	78	71	60	73
9/5/2559	130	133	140	80	75	89	83	91	84	77	64	77
10/5/2559	142	145	149	85	81	96	90	98	90	82	71	82
11/5/2559	156	158	162	91	88	101	97	104	95	86	77	86
12/5/2559	169	172	176	97	93	107	105	113	102	91	84	92
13/5/2559	185	185	188	103	98	114	115	122	109	97	89	97
14/5/2559	202	201	203	110	104	122	126	132	118	104	95	104
15/5/2559	213	210	214	116	108	127	131	137	124	107	101	109
16/5/2559	223	218	222	121	112	131	139	143	131	112	106	113
17/5/2559	238	233	235	128	118	134	147	150	139	117	112	117
18/5/2559	250	245	246	132	123	138	151	154	146	120	115	121
19/5/2559	259	254	254	135	127	141	154	157	150	124	120	126
20/5/2559	267	264	264	138	131	144	159	161	154	128	123	129
21/5/2559	275	272	270	140	133	145	162	164	159	130	125	130

ชุดการทดลอง 2.2.1 ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (มิลลิลิตร)											
	อัตราส่วน 25 : 75											
	กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	9	8	8	4	4	4	5	4	5	2	3	2
1/5/2559	10	11	12	6	5	5	7	6	6	4	4	4
2/5/2559	11	9	7	4	4	8	5	5	6	2	3	4
3/5/2559	13	11	13	12	7	6	7	8	7	5	2	5
4/5/2559	17	16	19	14	13	11	11	9	10	8	7	9
5/5/2559	11	10	13	9	8	8	7	9	6	4	5	6
6/5/2559	10	10	9	6	7	7	8	8	7	5	4	4
7/5/2559	11	12	7	6	6	3	6	5	5	2	4	3
8/5/2559	11	8	7	5	5	3	5	6	5	4	4	3
9/5/2559	9	13	10	5	3	4	4	5	5	2	2	3
10/5/2559	11	11	10	3	6	5	6	5	6	3	3	3
11/5/2559	11	9	8	5	5	3	4	3	6	4	4	4
12/5/2559	9	11	9	4	4	5	4	4	5	2	1	3
13/5/2559	11	12	14	5	7	7	5	4	5	4	3	3
14/5/2559	14	15	15	8	7	7	7	6	6	5	4	4
15/5/2559	6	9	6	4	5	3	5	6	5	3	4	3
16/5/2559	9	10	9	4	5	5	6	3	4	2	1	2
17/5/2559	11	11	10	6	6	4	5	5	5	2	2	2
18/5/2559	6	5	4	3	4	2	3	5	4	1	1	2
19/5/2559	6	4	7	2	2	3	3	3	4	1	2	2
20/5/2559	5	4	4	1	3	2	4	3	3	1	2	2
21/5/2559	3	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2

ชุดการทดลอง 2.1.2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม

วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)											
	อัตราส่วน 25 : 75											
	กากอุตสาหกรรมนม			กากอุตสาหกรรมเบียร์			กากอุตสาหกรรมกาแฟ			กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
30/4/2559	9	8	8	4	4	4	5	4	5	2	3	2
1/5/2559	19	19	20	10	9	9	12	10	11	6	7	6
2/5/2559	30	28	27	14	13	17	17	15	17	8	10	10
3/5/2559	43	39	40	26	20	23	24	23	24	13	12	15
4/5/2559	60	55	59	40	33	34	35	32	34	21	19	24
5/5/2559	71	65	72	49	41	42	42	41	40	25	24	30
6/5/2559	81	75	81	55	48	49	50	49	47	30	28	34
7/5/2559	92	87	88	61	54	52	56	54	52	32	32	37
8/5/2559	103	95	95	66	59	55	61	60	57	36	36	40
9/5/2559	112	108	105	71	62	59	65	65	62	38	38	43
10/5/2559	123	119	115	74	68	64	71	70	68	41	41	46
11/5/2559	134	128	123	79	73	67	75	73	74	45	45	50
12/5/2559	143	139	132	83	77	72	79	77	79	47	46	53
13/5/2559	154	151	146	88	84	79	84	81	84	51	49	56
14/5/2559	168	166	161	96	91	86	91	87	90	56	53	60
15/5/2559	174	175	167	100	96	89	96	93	95	59	57	63
16/5/2559	183	185	176	104	101	94	102	96	99	61	58	65
17/5/2559	194	196	186	110	107	98	107	101	104	63	60	67
18/5/2559	200	201	190	113	111	100	110	106	108	64	61	69
19/5/2559	206	205	197	115	113	103	113	109	112	65	63	71
20/5/2559	211	209	201	116	116	105	117	112	115	66	65	73
21/5/2559	214	211	203	117	118	107	119	114	117	67	67	75

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ผลวิเคราะห์ องค์ประกอบสารอินทรีย์ของวัตถุดิบหมัก การคำนวณค่าความร้อน การคำนวณ C/N Ratio การคำนวณหา Oxygen และการเขียนสูตรอย่างง่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อลูกค้า / บริษัท น.ส.วิชุดา คุ่มทอง

รายงานการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ชนิดตัวอย่าง	CH_4 (%)	CO_2 (%)	Bal (%)
กากละคอน	24.59	5.36	70.05
ดาวยาว	7.91	0.42	91.67
กากเฟ	11.61	1.00	87.39
เนียร์	10	0.88	89.12
นม	18.74	4.33	76.93
กากละคอน+ดาวยาว	8.67	0.76	90.57
กากละคอน+ดาวยาว 75:25	9.09	0.81	90.10
กากละคอน+ดาวยาว 25:75	8.27	0.5	91.23

ชื่อลูกค้า / บริษัท น.ส.วิชุดา คุ่มทอง ส่งตัวอย่าง วันที่ 9 กันยายน 2559
ทดสอบตัวอย่างก๊าซชีวภาพ วันที่ 9 กันยายน 2559

หมายเหตุ

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

ผู้รับตัวอย่าง

นางสาวนันทยา คล้ายยินทร์

ผู้ทดสอบ

นางสาวสุพรรณ

ห้องปฏิบัติการ Ecowaste นางสาวนันทยา คล้ายยินทร์
โทร. 02-470-7400-1, 02-470-7450-2
โทรสาร 02-452-3466

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

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อลูกค้า / บริษัท น.ส.วิชุตา ดุ่มทอง

รายงานการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ชนิดตัวอย่าง	CH_4 (%)	$C0_2$ (%)	Bal (%)
กากตะกอน+กาแฟ 50:50	12.61	1.28	86.11
กากตะกอน+กาแฟ 75:25	15.89	2.11	82.00
กากตะกอน+กาแฟ 25:75	12.42	1.22	86.36
กากตะกอน+เบียร์ 50:50	11.73	1.08	87.19
กากตะกอน+เบียร์ 75:25	13.64	1.15	85.21
กากตะกอน+เบียร์ 25:75	11.02	0.92	88.06
กากตะกอน+นม 50:50	19.68	4.98	75.34
กากตะกอน+นม 75:25	20.99	5.03	73.95
กากตะกอน+นม 25:75	19.37	4.67	75.96

ชื่อลูกค้า / บริษัท น.ส.วิชุตา ดุ่มทอง **ส่งตัวอย่าง** วันที่ 9 กันยายน 2559
ทดสอบตัวอย่างก๊าซชีวภาพ วันที่ 9 กันยายน 2559

หมายเหตุ

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

ผู้รับตัวอย่าง

นางสาวนันทยา คล้ายอินทร์

ผู้ทดสอบ

นางสาวสุพรรณา

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ
49 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

แบบที่ 2017/11/018

หน่วยบริการกลางเพื่อการวิเคราะห์กระบวนการและสิ่งแวดล้อม

ใบแจ้งผลการวิเคราะห์และทดสอบ

ตัวอย่างที่ทดสอบ : กากตะกอน เบียร์ กาแฟ นม และเครื่องดื่มชูกำลัง

ให้แก่ : คุณ วิชชุดา ตุ่มทอง

วันที่รับตัวอย่าง : 16 พฤศจิกายน 2559

วันที่ทำการวิเคราะห์ : 18 – 24 พฤศจิกายน 2559

วันที่รายงานผล : 25 พฤศจิกายน 2559

วิธีการวิเคราะห์ : **The American Society for Testing and Materials, 1997.**

ผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง	กากตะกอน	กากเครื่องดื่ม	กากกาแฟ	กากเบียร์	กากนม
1. Moisture (% w/w, as received)	76.20	85.45	87.67	96.60	88.57
2. Total Solids (% w/w, dry basis)	14.55	23.80	12.33	3.40	11.43
3. Ash (% w/w, dry basis)	27.71	12.26	14.80	12.72	17.10
4. Carbon (%w/w, dry basis)	31.08	3.21	4.93	4.24	5.92
5. Hydrogen (%w/w, dry basis)	4.38	1.06	0.61	0.09	0.82
6. Nitrogen (%w/w, dry basis)	1.23	0.1	0.20	0.14	0.28

* N.D. = non detected

(นายภานุ พลายบัว)
ผู้วิเคราะห์

(นางสาวอรพรรณ นาสะกาด)
ผู้วิเคราะห์

(นายสรเสกข์ กุลมัย)
ผู้วิเคราะห์

(ผศ.สุชาดา ไชยสวัสดิ์)
ผู้จัดการหน่วยบริการกลางฯ

(ดร. ธรรเมท นหรัตน์)
ผู้อำนวยการสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

รายงานนี้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายงานนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น
หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ แม้จะผลิตโดยบริษัทเดียวกัน

<u>การคำนวณปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงให้</u>

จากสูตร H = Q/M

H = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นปริมาณความร้อนต่อมวล (มีเทน = 55 MJ/kg)

Q = ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงนั้นให้ออกมา มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรี (kcal) จูล (J) หรือ กิโลจูล (kJ)

M = มวลของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นกรัม (g) หรือ กิโลกรัม(kg)

จากสูตร D = M/V

V = ปริมาตรของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ ลูกบาศก์เมตร

D = ความหนาแน่นก๊าซมีเทน ที่ 33 องศาเซลเซียส = 0.804 kg/m3

ตัวอย่างการคำนวณ

อัตราส่วน 100 : 0

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 127 ml x 24.59/100) = 1386.112 J

อัตราส่วน 75 : 25

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 272 ml x 20.99/100) = 2530.923 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 139 ml x 13.64/100) = 840.479 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 162 ml x 15.89/100) = 1141.134 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 128 ml x 9.09/100) = 515.788 J

อัตราส่วน 50 : 50

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 213 ml x 19.68/100) = 1860.548 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 123 ml x 11.73/100) = 640.382 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 123 ml x 12.61/100) = 688.425 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 80 ml x 8.67/100) = 307.854 J

อัตราส่วน 25 : 75

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 209 ml x 19.37/100) = 1794.625 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 114 ml x 11.02/100) = 556.908 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 117 ml x 12.42/100) = 644.177 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 70 ml x 8.27/100) = 256.626 J

อัตราส่วน 0 : 100

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 113 ml x 18.74/100) = 939.905 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 78 ml x 10/100) = 346.203 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 85 ml x 11.61/100) = 438.013 J

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m3 x 10 ml x 7.91/100) = 35.108 J

<u>การคำนวณ C/N Ratio</u>

จากสูตร $$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)}$$

R = C/N Ratio

Q_n = น้ำหนักเปียกของวัตถุดิบหมัก N_n = nitrogen (%)

C_n = Carbon (%) M_n = moisture content (%) of material

อัตราส่วน 100 : 0

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

$$R = 18.594\,(31.08\,(100 - 76.20) / 18.594\,(1.23\,(100 - 76.20) = 25.268$$

อัตราส่วน 75 : 25

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

$$R = \frac{13.945(31.08 \times (100 - 76.2) + 6.726(5.92 \times (100 - 88.57)}{13{,}945(1.23 \times (100 - 76.2) + 6.726(0.28 \times (100 - 88.57)} = 25.062$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

$$R = \frac{13.945(31.08 \times (100 - 76.2) + 40.323(4.24 \times (100 - 96.6)}{13{,}945(1.23 \times (100 - 76.2) + 40{,}323(0.14 \times (100 - 96.6)} = 25.493$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

$$R = \frac{13.945(31.08 \times (100 - 76.2) + 17.19(4.93 \times (100 - 87.67)}{13{,}945(1.23 \times (100 - 76.2) + 17.19(0.2 \times (100 - 87.67)} = 25.210$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

$$R = \frac{13.945(31.08 \times (100 - 76.2) + 16.27(3.21 \times (100 - 85.45)}{13{,}945(1.23 \times (100 - 76.2) + 16.27(0.1 \times (100 - 85.45)} = 25.64$$

อัตราส่วน 50 : 50

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

$$R = \frac{9.279(31.08 \times (100 - 76.2) + 13.451(5.92 \times (100 - 88.57)}{9.279(1.23 \times (100 - 76.2) + 13.451(0.28 \times (100 - 88.57)} = 24.704$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

$$R = \frac{9.279(31.08 \times (100 - 76.2) + 80.645(4.24 \times (100 - 96.6)}{9.279(1.23 \times (100 - 76.2) + 80.645(0.14 \times (100 - 96.6)} = 25.888$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

$$R = \frac{9.279(31.08 \times (100 - 76.2) + 34.379(4.93 \times (100 - 87.67)}{9.279(1.23 \times (100 - 76.2) + 34.379(0.2 \times (100 - 87.67)} = 25.121$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

$$R = \frac{9.279(31.08 \times (100 - 76.2) + 32.54(3.21 \times (100 - 85.45)}{9.279(1.23 \times (100 - 76.2) + 32.54(0.1x (100 - 85.45)} = 26.280$$

อัตราส่วน 25 : 75

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

$$R = \frac{4.648(31.08 \times (100 - 76.2) + 20.177(5.92x\ (100 - 88.57)}{4.648(1.23 \times (100 - 76.2) + 20.177(0.28 \times (100 - 88.57)} = 23.940$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

$$R = \frac{4.648(31.08 \times (100 - 76.2) + 120.968(4.24 \times (100 - 96.6)}{4.648(1.23 \times (100 - 76.2) + 120.968(0.0.14 \times (100 - 96.6)} = 26.760$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

$$R = \frac{4.648(31.08 \times (100 - 76.2) + 51.568(4.93 \times (100 - 87.67)}{4.648(1.23 \times (100 - 76.2) + 51.568(0.2 \times (100 - 87.67)} = 24.969$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

$$R = \frac{4.648(31.08 \times (100 - 76.2) + 48.809(3.21 \times (100 - 85.45)}{4.648(1.23 \times (100 - 76.2) + 48.809(0.1 \times (100 - 85.45)} = 27.611$$

อัตราส่วน 0 : 100

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมนม

$$R = \frac{26.901(5.92 \times (100 - 88.57)}{26.901(0.28 \times (100 - 88.57)} = 24.704$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเบียร์

$$R = \frac{161.29(4.24 \times (100 - 96.6)}{161.29(0.14 \times (100 - 96.6)} = 25.888$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมกาแฟ

$$R = \frac{68.757(4.93 \times (100 - 87.67)}{68.757(0.2 \times (100 - 87.67)} = 25.121$$

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ กับ กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

$$R = \frac{65.079(3.21 \times (100 - 85.45)}{65.079(0.1 \times (100 - 85.45)} = 26.280$$

<u>การคำนวณหา Oxygen</u>

จากสูตร $$Ox_{ad} = 100 - A_{ad} - C_{ad} - H_{ad} - N_{ad} - S_{ad}$$

A = Ash , weight %

M = Moisture , weight %

H = Hydrogen , weight %

C = Carbon , weight %

N = Nitrogen , weight %

S = Sulfur , weight %

Ox = Oxygen , weight %

ad = as – determined from analysis sample

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

Ox = 100 – 27.71 – 31.08 - 4.38 – 1.23 = 35.6

กากอุตสาหกรรมนม

Ox = 100 – 17.10 – 5.92 - 0.82 - 0.28 = 75.88

กากอุตสาหกรรมเบียร์

Ox = 100 – 12.72 – 4.24 – 0.09 - 0.14 = 82.81

กากอุตสาหกรรมกาแฟ

Ox = 100 – 14.80 - 4.93 – 0.61 - 0.20 = 79.46

กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

Ox = 100 – 12.26 – 3.21 -1.06 - 0.1 = 83.37

<u>การเขียนสูตรอย่างง่าย</u>

กากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

C : H : O : N = 31.08/12 : 4.38/1 : 35.6/16 : 1.23/14

$=CH_{1.69}O_{0.86}N_{0.0335}$

กากอุตสาหกรรมนม

C : H : O : N = 5.92/12 : 0.82/1 : 75.88/16 : 0.28/14

$=CH_{1.67}O_{20.30}N_{0.0408}$

กากอุตสาหกรรมเบียร์

C : H : O : N = 4.24/12 : 0.09/1 : 82.81/16 : 0.14/14

$=CH_{0.25}O_{14.8}N_{0.0285}$

กากอุตสาหกรรมกาแฟ

C : H : O : N = 4.93/12 : 1.06/1 : 79.46/16 : 0.20/14

$=CH_{1.48}O_{14.37}N_{0.0341}$

กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

C : H : O : N = 3.21/12 : 1.06/1 : 83.37/16 : 0.1/14

$=CH_{3.97}O_{19.52}N_{0.0262}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ
การคำนวณความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)</u>

หมายถึง อัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบัน ของกระแส เงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ ประหยัดพลังงาน ตลอดอายุ โครงการ

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

n = อายุของโครงการ(ปี)

ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_o = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ(total investment)

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัย : นางสาววิชชุตา ตุ่มทอง

เกิด : วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2530

การศึกษา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2552

อาชีพ : พนักงานเอกชน บริษัท แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

ที่อยู่ : 55 หมู่ 14 ซ.สมุทรสิริวัฒน์ 5 ต.บางพลีใหญ่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540

อีเมลล์ : Vitchuta08@gmail.com

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University