การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากอุตสาหกรรมโรงงานเครื่องดื่มโดยการหมักร่วม

นางสาวราตรี ซุ่ยหิรัญ

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 FROM BEVERAGES INDUSTRY WASTE BY CO-DIGESTION

Miss Ratree Suihirun

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	การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากอุตสาหกรรมโรงงานเครื่องดื่มโดยการหมักร่วม
โดย	นางสาวราตรี ซุ่ยหิรัญ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร. สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

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

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

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

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

ราตรี ซุ่ยหิรัญ : การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากอุตสาหกรรมโรงงานเครื่องดื่มโดยการหมักร่วม (BIOGAS PRODUCTION FROM BEVERAGES INDUSTRY WASTE BY CO-DIGESTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร. สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา, 65 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 4 ชนิด ได้แก่ นม, กาแฟ, เบียร์, และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง กับหัวเชื้อจุลชีพจากฟาร์มสุกร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปริมาณหัวเชื้อจุลชีพและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของของเสียทั้ง 4 ชนิด ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ศึกษาระดับห้องปฏิบัติการแบบแบทช์ ที่อุณหภูมิแวดล้อมปกติ ปริมาตรหมัก 300 มิลลิลิตร ควบคุมน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักที่ 3 กรัมทุกอัตราส่วน โดยการเก็บปริมาณก๊าซด้วยการแทนที่น้ำและวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนการหมักของเสียกับหัวเชื้อจุลชีพที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดได้แก่ 1:5 และอัตราส่วนที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ อัตราส่วนของ นม: กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่ 2:1:1:1 ระยะเวลาในการการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 4-5 วัน ที่ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 750 มิลลิลิตร วัน ปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ12.97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5887200720 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: BIOGAS, CO-DIGESTION, BEVERAGES INDUSTRY WASTE

RATREE SUIHIRUN: BIOGAS PRODUCTION FROM BEVERAGES INDUSTRY WASTE BY CO-DIGESTION. ADVISOR: DR. SUPAWAT VIVANPATARAKIJ, Ph.D., CO-ADVISOR: FASAI WIWATWONGWANA, Ph.D., 65 pp.

Possibility of biogas production from Co-Digestion of beverage industry with inoculum from swine waste was studied in this research. Optimum ratio of inoculum and the four types of beverage waste was investigated. The experimental was done as lab scale of anaerobic fermentation by batch shaking in 300 ml volumetric flask at normal ambient temperature. Total dry substrate was under controlled at 3 g of each ratio. The produced biogas was collected and measured by water replacement and then its composition was analysed by gas chromatography.

The results showed that mixture of 1:5 of ratio between beverage industry waste and inoculum produced the highest amount of biogas. The ratio of mix wastes which produced the hightest amount of biogas was milk : coffee : beer : energy drink at 2:1:1:1 of with its digestion time of 4-5 days and 12.97% methane content.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี จากความกรุณาอย่างสูงของ ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ

อาจารย์ ดร.ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช, ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ และอาจารย์ ดร.วรพงศ์ ตั้งอิทธิพลากร ที่สละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้ออำนวยความสะดวกช่วยเหลือในการประสารงานต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันวิจัยพลังงาน ที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการวิจัย

ท้ายนี้ ขอกราบของพระคุณบิดามารดา ผู้ให้ความสนับสนุน ให้ความรัก ความเข้าใจ และกำลังใจ ในการท้าวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
บทนำ 4
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 4
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
บทที่ 2 7
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas) 7
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ 10
2.3 กระบวนการสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 14
2.4 ระบบบำบัดแบบ Covered Lagoon 20
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 25
วิธีการดำเนินการวิจัย 25
3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก 25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 27
3.3 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบทช์ 27
3.4 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.5 การเตรียมชุดการทดลอง 29
3.6 แผนการวิเคราะห์ระหว่างการหมัก.....29
3.7 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ.....30
บทที่ 4 31
4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก 31
4.2 ลักษณะสารอินทรีย์วัตถุดิบ.....31
4.3 ผลจากการศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ 34
4.3.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและร้อยละก๊าซมีเทนจากการศึกษาการใช้ปริมาณหัวเชื้อในการหมักอัตราส่วนต่างกัน 34
4.3.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันระหว่างของเสียโรงงานเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง กับหัวเชื้อจุลชีพในปริมาณที่เหมาะสม.....36
4.3.3 ปริมาณก๊าซสะสมทั้งหมดและร้อยละก๊าซมีเทน.....37
4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายค่าสภาพความเป็นด่างและ pH.....38
สรุปผลการทดลอง.....44
5.1 สรุปผลการทดลอง 44
5.2 ข้อเสนอแนะ 45
รายการอ้างอิง 46
ภาคผนวก.....47
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2- 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย 7

ตารางที่ 2- 2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์ 9

ตารางที่ 2- 3 แสดงการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร 9

ตารางที่ 3- 1 รายละเอียดการผสมวัตถุดิบในการหมักร่วมที่ใช้การทดลอง.....29

ตารางที่ 4- 1 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบหมัก 31

ตารางที่ 4- 2 ลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์.....32

ตารางที่ 4- 3 ผลการวิเคราะห์ Proximate Analysis 33

ตารางที่ 4- 4 ผลการวิเคราะห์สารประกอบของสารอินทรีย์.....33

ตารางที่ 4- 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและร้อยละก๊าซมีเทน.....38

ตารางที่ 4- 6 ปริมาณองค์ประกอบของเสียแต่ละอัตราส่วน 38

ตารางที่ 4- 7 ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์.....43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2- 1 แสดงผลอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ 12

รูปที่ 2- 2 แสดงผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการทำงานและการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 12

รูปที่ 2- 3 แสดงลักษณะการกวนผสม.....14

รูปที่ 2- 4 แผนผังกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานทดแทน.....15

รูปที่ 2- 5 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ.....16

รูปที่ 2- 6 โครงร่างของ Covered Lagoon 21

รูปที่ 2- 7 ภาพลักษณะของ Covered Lagoon.....21

รูปที่ 3- 1 ภาพตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย 26

รูปที่ 3- 2 กากของเสียจากโรงงานผลิตเครื่องทั้ง 4 ตัวอย่าง,.....26

รูปที่ 3- 3 บ่อหมักก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร.....26

รูปที่ 3- 4 ตัวอย่างชุดการทดลอง 28

รูปที่ 3- 5 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ 28

รูปที่ 4- 1 ปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมกันของกากของเสียแต่ละตัวอย่าง 35

รูปที่ 4- 2 ร้อยละก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมกันของกากของเสียแต่ละตัวอย่าง 35

รูปที่ 4- 3 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของหัวเชื้อจุลชีพกับของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 36

รูปที่ 4- 4 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของหัวเชื้อจุลชีพกับของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 37

Chulalongkorn University

รูปที่ 4- 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกัน ของ นม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:1:1:1 39

รูปที่ 4- 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกัน ของ นม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 2:1:1:1 39

รูปที่ 4- 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกัน ของ นม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:2:1:1 40

รูปที่ 4- 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกัน ของ นม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:1:2:1 41

รูปที่ 4- 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกัน ของ นม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:1:1:2 41

รูปที่ 4- 10 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างในระบบการหมักร่วมกัน 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมในประเทศมีการขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อให้เพียงพอต่อผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล่านี้ส่งผลให้ เกิดของเสียและน้ำเสียปริมาณมากเมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิต น้ำเสียเหล่านี้เป็นน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์ที่จะส่งผลให้กระทบต่อสิ่งแวดล้อม และถูกนำไปบำบัดทางชีวภาพ ในขั้นตอนต่างๆมีตะกอนน้ำเสียเกิดจำนวนมาก กระบวนการกำจัดกากตะกอนขั้นสุดท้ายที่นิยมใช้ได้แก่ การฝังกลบ และการเผา 2 วิธีเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายสูง และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Walter, 2006)

กระบวนการผลิตเครื่องดื่มส่งผลให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก ยกตัวอย่างปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ร้อยละ 65-70 มีค่าซีโอดีและบีโอดีถึง 32,000-75,000 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 124,630-182,200 มิลลิกรัม ตามลำดับ (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2005) นอกจากนี้ยังเกิดปริมาณของกากตะกอนน้ำเสียในบ่อบำบัดจำนวนมาก วิธีการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียเหล่านี้คือการฝังกลบ ซึ่งสามารถทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซอื่นๆ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Aharon Yechiel, 2016) และพบว่ากากตะกอนเหล่านี้ยังมีศักยภาพสูงในการนำไปใช้ประโยชน์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม) ซึ่งปริมาณก๊าซมีเทนในขยะ 1 ตัน สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ประมาณ 0.78 เมกะวัตต์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 6,500-10,000 MWh ของการผลิตไฟฟ้า (Aharon Yechiel, 2016)

จากการศึกษาการวิจัยการหมักร่วมกันของกากของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มกับโรงงานปุ๋ยอินทรีย์พบว่า ของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมนม สามารถทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด เมื่อเทียบกับ กาแฟ, เบียร์ และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง (วิชชุตา, 2015) ผู้วิจัยพบว่ากากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มยังมีศักยภาพที่จะสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ในด้านการผลิตเป็นพลังงานทดแทนโดยกระบวนการวิธีต่างๆ เช่น การหมักแบบไร้ออกซิเจนเพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ จึงได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักของเสียที่ได้จากเครื่องดื่ม 4 โรงงาน คือ เบียร์ นม กาแฟ และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ในอัตราส่วนที่ต่างกันโดยเชื้อจุลชีพเริ่มต้นได้จากบ่อบำบัด

น้ำเสียของฟาร์มสุกร เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากเครื่องดื่มต่างชนิดกัน ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาวิจัยที่มีจัดทำรายงานไว้พบว่าการหมักร่วมของสารอินทรีย์มากกว่า 1 ชนิด สามารถเพิ่มปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพได้ (Chitchanoke, 2011) ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มจาก 4 โรงงาน เนื่องจากเป็นกากอุตสาหกรรมที่มีค่า COD สูง (วิชชุตา, 2016) ซึ่งเป็นค่าที่บอกความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่สามารถนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักของหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นกับของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มแต่ละชนิด ที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการหมักร่วมกันจากของเสียอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มทั้งหมด 4 ตัวอย่างทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการหมักร่วม คือ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเครื่องดื่ม จำนวน 4 โรงงาน ดังนี้

1.3.1.1 ของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมโรงงานนม

1.3.1.2 ของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมโรงงานกาแฟ

1.3.1.2 ของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมโรงงานเบียร์

1.3.1.4 ของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

1.3.2 ศึกษาองค์ประกอบของเสียทั้ง 4 ตัวอย่างและหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง

1.3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand), สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity), กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่มาของเสียจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มทั้ง 4 โรงงาน เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด และเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาและวิจัยทางด้านพลังงานทดแทน

1.4.2 สามารถนำของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นการลดขยะ และมลภาวะที่จะเกิดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการการหมักแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion biochemical processes) โดยอาศัยกระบวนการให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน 2 กลุ่มหลักทำงานร่วมกัน ได้แก่ แบคทีเรียชนิดที่ไม่สร้างมีเทน (Non-methanogenic Bacteria) และแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) โดยแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มมีการทำงานร่วมกัน โดยหลังจากที่ผ่านกระบวนมาแล้วผลผลิตที่ได้จะได้ก๊าซมีเทน 50-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-40% และที่เหลือจะเป็นก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจนเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพนั้น โดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่นำไปเป็นวัตถุดิบที่จะใช้ในกระบวนการหมักที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ

David A. Till Man ได้ทำการศึกษาและพบว่าน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตโรงงานหนึ่งสามารถทำให้เกิดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2- 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

Component	Vol%
H_2	25.7
CO	1.5
CH_4	37.4
N_2	2.9

C_2^3	27.5

Component	Vol%
C_3^3	2.9
C_4^3	1.7
C_5^3	0.4
Total	100
Lower Heating Value (MJ/m3)	38.8
Lower Heating Value (Btu/ft3)	984

คมสัน หุตะแพทย์ (2556) ได้เขียนไว้ในหนังสือความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Digester Gas) โดยทั่วไปจึงหมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรียวัตถุ ประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยนของเสียประเภทอินทรีย์ทั้งหลายไปเป็นกระแสไฟฟ้า การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นการบริหารจัดการของเสียที่ควรได้รับการสนับสนุน เพราะไม่เป็นการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ส่วนการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนจะสะอาดกว่า และจากการศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่มจากบทความเรื่อง Biogas yield from carbonated soft drink sludge with some organic wastes สามารถที่จะผลิตก๊าซชีวภาพและลดก๊าซเรือนกระจกได้เช่นกัน (Department of Mechanical, 2012)

ทั้งนี้ ในก๊าซชีวภาพจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่สำหรับย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาวะไร้ออกซิเจนนอกจากจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วยังสามารถทำให้เกิดก๊าซต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-2 และก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถใช้ทดแทนก๊าซได้ตามตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2- 2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์ (FRN, 2016)

ชนิดของก๊าซ	**ปริมาณ**
มีเทน (CH_4)	50–75%
คาร์บอนไดร์ออกไซด์ (CO_2)	25–45%
น้ำ(H_2O)	2–7%
แอมโมเนีย (NH_3)	< 2%
ออกซิเจน (O_2)	< 2%
ไนโตรเจน (N_2)	< 1%
ไอโดรเจนซัลไฟด์	< 1%

ตารางที่ 2- 3 แสดงแสดงการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (Samranrit, 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เชื้อเพลิง	**ปริมาณ**	**หน่วย**
ก๊าซหุงต้ม	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)

เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในสารอินทร์และมีความสำคัญต่อการย่อยในระบบ คือแบคทีเรียจะนำคาร์บอนและไนโตรเจนไปสร้างไซโตรพลาสซึมของเซลล์ใหม่และสร้างกำบังบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ค่าอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สภาวะไร้อากาศอยู่ในช่วง 8:23 (Syaichurrozi, 2013) ถ้าอัตราส่วนสูงเกินไป ไนโตรเจนจะไม่เพียงพอเนื่องจากถูกใช้อย่างรวดเร็วจะส่งผลให้อัตราการเกิดแบคทีเรียลดน้อยลง จะส่งผลเสียต่อการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพลดน้อยลง ในทางกลับกันถ้าอัตราส่วนของ C/N สูงต่ำไปจะทำให้ไนโตรเจนมีปริมาณที่มากเกินความจำเป็นต่อการทำงานของแบคทีเรีย ทำให้เปลี่ยนรูปมาสะสมเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึงจะทำเกิดการยับยั้งการทำงานของระบบ ดังนั้นในระบบควรมีปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนในปริมาณที่เหมาะสม พบว่า มูลสัตว์ เช่น มูลสุกร มูลวัว มีค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายอยู่ที่ 24 ซึ่งการปรับอัตราส่วนของ C/N ทำได้โดยการเติมวัตถุดิบที่มีค่าอัตราส่วนที่สมดุลกันภายในระบบการย่อย หรือการเติมไนโตรเจนโดยตรงภายในระบบการหมัก

2.2.2 ปริมาณของเหลวในระบบ (Dilution)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งหากมีของแข็งน้อยหรือเจือจางเกินไปจะทำให้ของแข็งบางส่วนเกิดการตกตะกอน การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้น้อยลง แต่ถ้าของแข็งในระบบมากเกินไป ของแข็งจะอยู่กันอย่างหนาแน่นเกิดการขัดขวางการไหลขึ้นของก๊าซและทำให้การหมุนวนของของเหลวในระบบเป็นไปได้ยากจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้น้อยลง โดยความเข้มข้นของของแข็งรวมที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10-25

2.2.3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate)

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

2.2.3.1 การป้อนสารอินทรีย์ครั้งเดียว (Batch type feeding) เป็นวิธีการเติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียวลงในระบบการย่อยสลาย และปล่อยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายตัวเองด้วยแบคทีเรียที่มีในระบบนั้นๆ

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

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

2.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

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

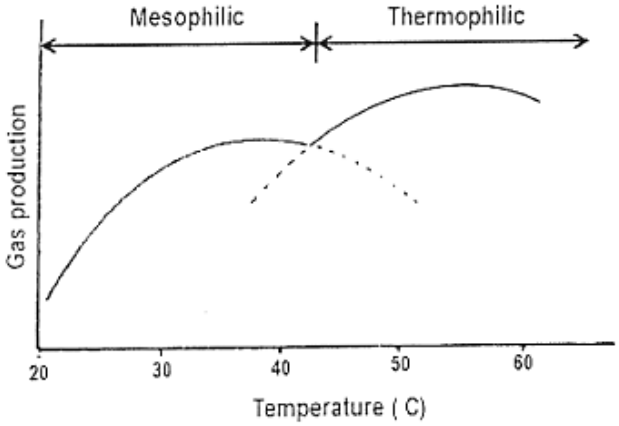
2.2.5 อุณหภูมิ (Temperature)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพที่สำคัญมากอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งส่งผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย ที่แต่ละกลุ่มแบคทีเรียต้องการระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งระดับอุณหภูมิที่แบคทีเรียแต่ละกลุ่มต้องการได้ 3 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2-1

1) Psychrophilic อุณหภูมิอยู่ช่วง 5 – 15 องศาเซลเซียส

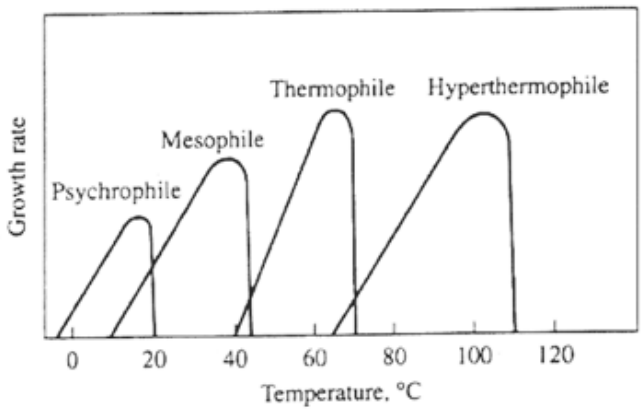
2) Mesophilic อุณหภูมิอยู่ช่วง 35 – 37 องศาเซลเซียส

3) Thermophilic อุณหภูมิอยู่ ช่วง 50 – 55 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2- 1 แสดงผลอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 2-1 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการเกิดก๊าซจะสูงขึ้นตาม หรือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจะเกิดได้ดีขึ้นมากขึ้น จนอุณหภูมิขึ้นไปที่ประมาณ 38 – 42 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจะเริ่มลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นไปอีกปฏิกิริยาของระบบจะกลับมาทางานดีขึ้นอีกครั้ง อัตราการเกิดก๊าซจะเพิ่มขึ้นไปจนอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ระบบการเกิดก๊าซจะลดลงอีกครั้ง



รูปที่ 2- 2 แสดงผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการทำงาน และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

จากรูปที่ 2-2 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะสูงขึ้นด้วย ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ ช่วง Mesophilic (35–37 องศาเซลเซียส) และ Thermophilic (50–55 องศาเซลเซียส) แต่การระบบที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะเป็น ผลเสียต่อระบบ

จะทำให้ส่วนประกอบของเซลล์ของแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะลดลงอย่างรวดเร็ว

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 พบว่าส่งผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนเนื่องจากยาทั้งสองมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย สารที่เกิดขึ้นจากระบบและได้รับจากภายนอกที่เป็นพิษและส่งผลต่อระบบ ดังนี้

2.2.6.1 แอมโมเนีย (NH_3^+) เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารจำพวกโปรตีน และ ยูเรีย ได้เป็น แอมโมเนีย (NH_3^+) และแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสามข้อ คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมด, อุณหภูมิ และค่าพีเอช การเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นทาให้แบคทีเรียเจริญได้ดี แต่ก็จะทำให้มีแอมโมเนียอิสระสูงขึ้นด้วยเช่นกัน มีผู้ศึกษาปรากฏว่าระบบหมักแบบ Thermophilic ถูกรบกวนได้ง่ายกว่าระบบหมักแบบ Mesophilic ค่าพีเอช ถ้าเพิ่มขึ้นค่าความเป็นพิษของระบบจะสูงขึ้นตามเนื่องจากอัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระกับประจุแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น

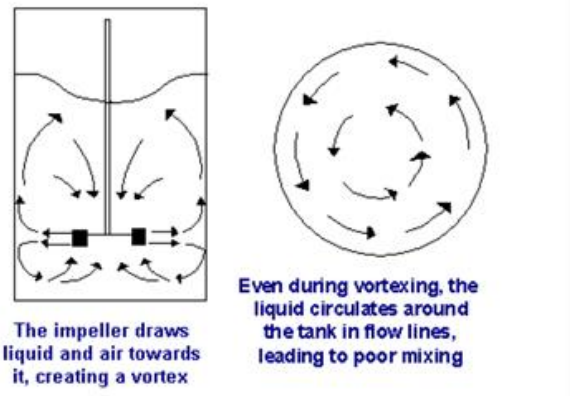
2.2.6.2 ซัลไฟด์ (Sulfide, S^{2-}) เป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยที่กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพจะเกิดปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาสร้างมีเทน (Metanogenesis) และปฏิกิริยาสร้างซัลไฟด์ (Sulfidogensis) หรือซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction) กระทำโดยจุลินทรีย์ Sulphate Reducing Bacteria (SRB)

2.2.6.3 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid : VFAs) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทีริก กรดโพรไพโอนิก กรดฟอร์มิก เป็นตัวกลางที่สำคัญในระบบหมักแบบไร้อากาศ มีความสัมพันธ์อยู่กับการใช้ไฮโดรเจนของเมททาโนเจนิกแบคทีเรีย และจะก่อให้เกิดพิษได้หากมีความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 mg/L(as acetic acid) จะมีผลต่อระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ การเพิ่มขึ้นของ VFAs จนเมททาโนเจนไม่สามารถกำจัดไฮโดรเจนและกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้ทันเกิดการสะสมตัวของกรด ค่าพีเอชลดต่าลงจนระบบผลิตก๊าซดำเนินต่อไปไม่ได้

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

2.2.7 ระยะเวลาเก็บกัก (Retention Time) คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่สารอินทรีย์อยู่ในระบบ มีความสำคัญกับการผลิตก๊าซชีวภาพกล่าวคือหากกำหนดให้ระยะเวลาเก็บนาน กรณีนี้จะต้องสร้างบ่อหมักขนาดใหญ่เพื่อทาให้ปฏิกิริยาเป็นไปอย่างช้าๆ เป็นผลให้เวลาที่ใช้ในการกักเก็บมาก ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักจึงเป็นสิ่งที่ดีที่สุด โดยระยะเวลาขึ้นกับสภาพแวดล้อมของระบบ ชนิดสารอินทรีย์ ชนิดแบคทีเรียที่ใช้เป็นสำคัญ

2.2.8 การกวนผสม (Mixing) มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์กับแบคทีเรีย เนื่องจากการกวนทำให้ของเหลวในระบบมีการหมุน-วน คลุกเคล้ากันดังแสดงในรูปที่ 2-3 ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการกวนผสม

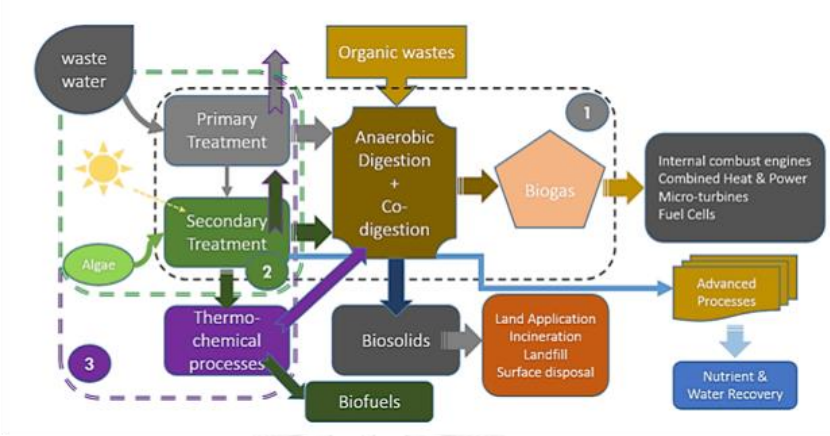


รูปที่ 2- 3 แสดงลักษณะการกวนผสม (Fuculty of agro industry rmutsv, 2013)

2.3 กระบวนการสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

กระบวนการสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพหลังจากที่ได้รับจากกระบวนการผลิตเครื่องดื่มสามารถที่จะอธิบายในรายละเอียดแต่ละขั้นตอน โดยกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ จะประกอบด้วยขั้นตอนการรับวัตถุดิบ เพื่อนำเข้ามาในกระบวนการผลิตต่อไป อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาสัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้สำหรับการผลิตก๊าซมีเทน ได้แก่ ขั้นตอนรับวัตถุดิบ ขั้นตอนการหมัก ขั้นตอนการทางเคมี ขั้นตอนการนำกากตะกอนไปจัดเก็บ ขั้นตอนการนำ

น้ำมาทำการ Recovery ระบบน้ำ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-4 แผนผังกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานทดแทน



รูปที่ 2- 4 แผนผังกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานทดแทน (Veera, 2015)

โดยทั่วไป ลักษณะของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการใหญ่ได้ดังนี้

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบน้ำจากกระบวนการแยกกากตะกอนเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับการแยกกากตะกอนออกจากน้ำที่จะต้องการนำมาบำบัดก่อนที่จะนำมาเฉพาะน้ำที่ไม่มีกากตะกอนผสมอยู่

2. การหมักและการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Process) เป็นกระบวนการการย่อยสลายทางชีววิทยาที่ใช้แบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศหลายกลุ่ม ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่และสลับซับซ้อนอันได้แก่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศคือ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) นอกจากนี้ก๊าซที่ยังได้จากกระบวนการนี้อีกคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

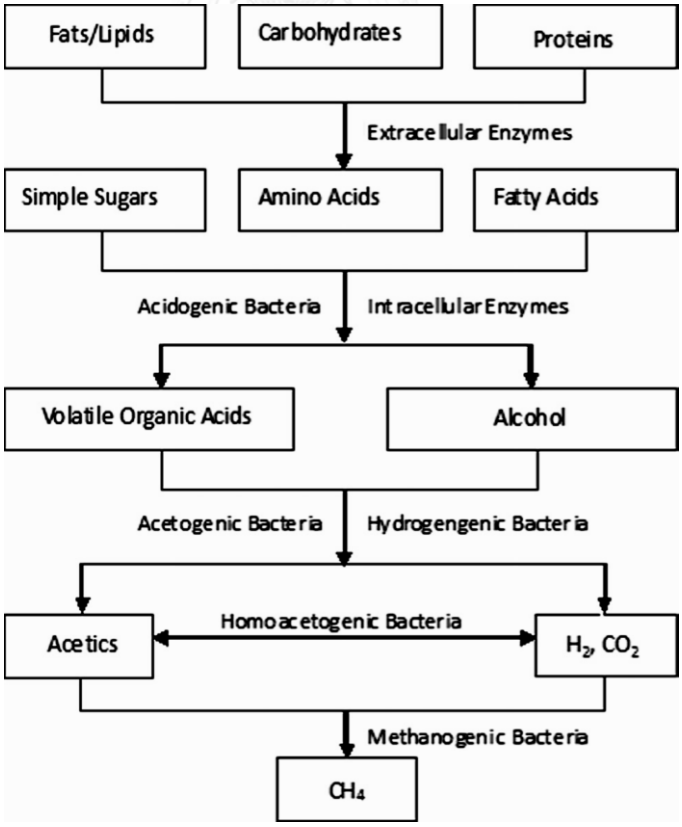
3. กระบวนการปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะปล่อยสู่ภายนอก คือกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ กากตะกอนและสิ่งที่ออกมาจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอย่างปลอดภัย

2.3.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ไร้อากาศเกิดจากการหมักสารอินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ที่ใช้ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยโดยแบคทีเรียหลายชนิดเพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 2-1 โดยแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายขนาดโมเลกุลให้เล็กลง แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2-5

ตารางที่ 2- 1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนของสารอินทรีย์แต่ละชนิด (AlvesMM, 2009)

Component	Methanogenic reaction	Biogas (lg^{-1})	CH_4 (%)
Lipids	$C_{50}H_{90}O_6 + 24.5H_2O \longrightarrow 34.75CH_4 + 15.25CO_2$	1.425	69.5
Carbohydrates	$C_6H_{10}O_5 + H_2O \longrightarrow 3CH_4 + 3CO_2$	0.830	50.0
Protein	$C_{16}H_{24}O_5N_4 + 14.5H_2O \longrightarrow 8.25CH_4 + 3.75CO_2 + 4NH_4^+ + 4HCO_3^-$	0.921	68.8



รูปที่ 2- 5 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ **(IV., 1991)**

ขั้นตอนที่ 1 Hydrolysis ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ยังอยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ ไม่สามารถจะย่อยสลายได้ทันที จำเป็นที่จะต้องมีการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กเสียก่อน โดยมีแบคทีเรียกลุ่มแรกปล่อยเอนไซม์มาช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล แบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง

ขั้นตอนที่ 2 Acidogenesis แบคทีเรียอีกกลุ่มจะทำการย่อยสลายโมเลกุลที่แตกตัวแล้วจากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ (Organic Acid) ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก (CH_3COOH) , น้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น แบคทีเรียทีกลุ่มนี้เรียกว่า Acid Forming Bacteria เป็นแบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน

ขั้นตอนที่ 3 Methanogenesis ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งเรียกว่า Methanogens หรือ Methane Forming Bacteria จะทำการเปลี่ยนกรดอะซิติก (CH_3COOH) และไฮโดรเจน (H) เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียพวกนี้เป็นชนิดที่ต้องอยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (Obligate Anaerobic Bacteria) ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะซิติกจากปฏิกิริยาก่อนหน้านี้

การย่อยสลายภายนอกเซลล์ได้แก่ขั้นตอนที่ 1 คือกระบวนการ Solubilisation หรือกระบวนการ Hydrolysis สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน ถูกแบคทีเรียย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ที่ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (Extracellular Enzyme) ให้กลายสภาพเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว (Monomer) สำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรด แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายคือแบคทีเรียจำพวกแฟคคัลเททีฟแอนด์แอร์โรบิคแบคทีเรีย (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 โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหารดังกล่าวให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก, กรดโพรไพโอนิกม กรดวาเลอริกม และกรดแลคติก, โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงสุด และมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เนื่องจากการอยู่รวมกันของแบคทีเรียหลายสปีชีส์ (Species) สำหรับแบคทีเรียในขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis) คือแบคทีเรียในกลุ่ม ของ Fermentative Bacteria หรือ Acidogens ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ได้อีกด้วย

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 หรือการเกิดกระบวนการ Acetogenesis เป็นผลอันเนื่องมาจากแบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงโดยสารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบไปด้วย กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมธานอล และเมธิลามิน แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดโพรพิออนิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารในการผลิตก๊าซมีเทนโดยตรงได้ ดังนั้นในกรณีที่กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ที่สร้างขึ้นยังอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรีย จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีอะตอมของคาร์บอนที่ลดลง เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติก ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Producing Acetogenic Bacteria) ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีในภายใต้สภาวะ Low Hydrogen Partial Pressure ดังสมการ [1] , [2]

CH_3CH_2COOH (Propionic Acid) + $\longrightarrow$ $2H_2O$ $CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$ [1]

$CH_3CH_2CH_2COOH$ (Butyric Acid) + $2H_2O$ $\longrightarrow$ $2CH_3COOH + 2H_2$ [2]

นอกจากการสร้างกรดด้วยกระบวนการทั้งสองชนิดแล้ว ยังพบว่ามีแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการ [3]

$$2CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2O \qquad [3]$$

สำหรับกระบวนการย่อยสลายที่มีการสร้างมีเทนกระบวนการนี้เกิดขึ้นเฉพาะในขั้นตอนที่ 4 เรียกว่ากระบวนการ Methanogenesis โดยที่กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซมีเทน (Methane Forming Bacteria) การเกิดก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบแรกคือเกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้มีปริมาณเป็น 70% ของก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ ยกตัวอย่างเช่นการทดลองใน Waste Water Treatment Plant; WWTp ที่ประเทศออสเตรเลียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่าร้อยละ 60 และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียประเภท Hydrogen Utilizing Methane Bacteria ดังแสดงในสมการ [4], [5]

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \text{ (Methane Forming Bacteria)} \qquad [4]$$

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \text{ (Hydrogen – Utilizing Methane Bacteria)} \qquad [5]$$

แบคทีเรียสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าสภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ทำให้ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้แคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8–7.2 และแบคทีเรียในกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate) หรือการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ใหม่จะต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน จึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อพิจารณากลุ่มของแบคทีเรียที่อยู่รวมกันในระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ พบว่ากลุ่มของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียหลักในการควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้อัตราการเติบโตช้าที่สุด และมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมของระบบมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น

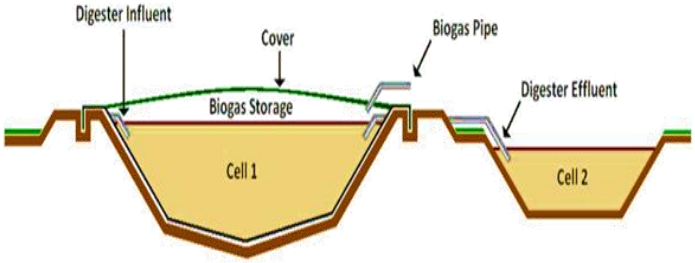
2.4 ระบบบำบัดแบบ Covered Lagoon

ระบบบำบัดแบบ Anaerobic Covered Lagoon สามารถใช้ได้กับทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ 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.– วัน เท่านั้น ในขณะที่ระบบอื่นสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 4 – 10 กก./ลบ.ม. – วัน จึงส่งผลให้การก่อสร้างระบบ Covered Lagoon ต้องการพื้นที่ในการสร้างมากกว่าในระบบอื่นๆ

การทำงานของระบบ จะพยายามออกแบบให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของบ่อแล้วผสมเข้ากับตะกอนแบคทีเรียที่ตกตะกอนอยู่บริเวณก้นบ่อ จากนั้นให้ไหลไปตามแนวยาวของบ่อ โดยระบบรวบรวมน้ำออกจะอยู่ด้านบนของบ่อในอีกฝั่งหนึ่ง อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านระบบ Anaerobic Covered Lagoon ยังสามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดต่อในระบบบำบัดขั้นหลังต่อไป แบคทีเรียในระบบ Anaerobic Covered Lagoon จะประกอบด้วยแบคทีเรียที่อยู่ในสภาวะไม่ใช้อากาศทั้งสองแบบ คือ แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน บางครั้งจะมีการสร้างกรดในปริมาณที่มากเกินไป แต่ผลกระทบเนื่องจากการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองชนิดจะไม่รุนแรงเหมือนในระบบบำบัดแบบที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง เนื่องจากบ่อที่มีขนาดใหญ่และเวลาเก็บกักน้ำที่ยาวนาน จึงทำให้แบคทีเรียในระบบมีเวลาปรับตัว อย่างไรก็ตามไม่ควรปล่อยให้ระบบอยู่ในสภาวะรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงเกินไปเป็นเวลานาน เพราะอาจทำให้ระบบอยู่ในสภาวะที่เกินความสามารถในการปรับตัวของแบคทีเรีย

การควบคุมและการดูแลรักษาระบบทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับระบบยูเอเอสบีหรือถังกรองไม่ใช้อากาศ จึงทำให้เป็นระบบที่เหมาะกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์หรือชุมชนซึ่งต้องการระบบที่ไม่สลับซับซ้อน นอกจากนี้หากไม่คิดรวมราคาที่ดิน ราคาในการก่อสร้างจะถูกกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามแม้ว่าระบบนี้จะมีเสถียรภาพและราคาไม่แพง แต่หากจะสร้างระบบเพื่อนำก๊าซมาใช้งานปริมาณก๊าซที่ได้จะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบยูเอเอสบี หรือถังกรองไร้อากาศ เนื่องจากความง่ายในการเดินระบบ จึงทำให้ผู้ดูแลระบบมักไม่ค่อยมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้บางครั้งระบบอาจอยู่ในสภาวะที่รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงหรือต่ำเกินไปทำให้ปริมาณก๊าซที่ได้ไม่แน่นอน นอกจากนี้อุณหภูมิก็จะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเช่นกัน ซึ่งค่อนข้างจะเห็นผลชัดเจนในประเทศเขตหนาว โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จะไม่ค่อยคงที่หากไม่มีการ

ติดตั้งอุปกรณ์ปรับอุณหภูมิ สำหรับประเทศไทยมีการใช้ระบบ Covered Lagoon อย่างแพร่หลายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ทั้งขนาดกลางและขนาดใหญ่ตามรูปที่ 2-6



รูปที่ 2- 6 โครงร่างของ Covered Lagoon (Chunlan Maoa et al., 2557)

เนื่องจากระบบ Anaerobic Covered Lagoon เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ง่ายในการเดินระบบ แต่มีความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างมาก ดังนั้นจึงนิยมนำไปใช้กับภาคการเกษตรเช่นในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ วัตถุประสงค์ในการใช้งานระบบ Anaerobic Covered Lagoon มีอยู่ด้วยกันสองประเด็น ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียและการนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันกลิ่นซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับบ่อแบบเปิดทั่วไป การใช้ระบบ Anaerobic Covered Lagoon จะต้องมีการจัดการน้ำเสียก่อนที่จะเข้าสู่ระบบเพื่อควบคุมประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของระบบ ดังนั้นน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจำเป็นต้องมีการกำจัดของแข็งแขวนลอย ขยะ หรือสิ่งปลอมปนอื่นๆออกก่อน รวมไปถึงการแยกระบบรวบรวมน้ำเสียออกจากระบบรวบรวมน้ำฝนด้วยตามลักษณะในรูปที่ 2-7

รูปที่ 2- 7 ภาพลักษณะของ Covered Lagoon (จันทแพน, 2014)

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิชชุตา ตุ่มทอง (2560) การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ที่อัตราส่วน 100:0, 25:75, 50:50, 75:25 และ 0:100 ใช้เวลาในการหมัก 22 วัน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน, การเกิดก๊าซชีวภาพสะสม, การเกิดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ และค่าความร้อน คือ อัตราส่วนกากตะกอนโรงปุ๋ยอินทรีย์ต่อกากอุตสาหกรรมนมที่ 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่สุดคือ กากอุตสาหกรรมนม รองลงมาคือ กากอุตสาหกรรมกาแฟ กากอุตสาหกรรมเบียร์ และกากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลังตามลำดับ

Veronica Cordoba et al (2016) ศึกษาผลของการใช้เชื้อจุลินทรีย์ต่างกันในการย่อยแบบไม่ใช้อากาศที่ทำให้เกิดปริมาณของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซชีวภาพสูงที่สุด โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ จุลินทรีย์จากกะเพาะรูเมน จุลินทรีย์จากบ่อบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร และจุลินทรีย์จากกากตะกอนบอบำบัดน้ำเสีย และใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นสารตั้งต้นในการทดลองในการทดลองระดับปฏิบัติการแบทช์

แบ่งการทดลองออกเป็น 4ชุดการทดลอง คือ การหมักโดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียวไม่มีการผสมจุลินทรีย์ (T0) น้ำเสียจากฟาร์มสุกรกับจุลินทรีย์ที่ได้จากกะเพาะรูเมน (T_1) น้ำเสียจากฟาร์มสุกรกับเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร (T_2) และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกับจุลินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอนน้ำเสียจากบ่อบำบัด (T_3) โดยกำหนดอัตราส่วนที่ 1.0:0.05ใช้อุณหภูมิที่ 35±1 °C จากการทดลองใช้เวลาในการหมัก 140 วันพบว่า การหมักโดยการจุลินทรีย์ที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร(T3) และใช้จุลินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอนบ่อบัดน้ำเสีย (T_2) ทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน(CH_4)ในปริมาณที่สูงกว่าการใช้จุลินทรีย์จากกระเพาะรูเมน (T_1) และการใช้สารต้นในการหมักเพียงอย่างเดียว (T_0) ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนดังนี้ 20384, 19005, 8417, และ 6376 มิลลิลิตร 13538, 12865,4352 และ3250 มิลลิลิตรตามลำดับ และยังพบว่าจุลินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอนน้ำเสียและจุลินทรีย์ที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร เปอร์เซ็นต์ของการกำจัดสารอินทรีย์ที่สูง (50 % ในส่วนของ VS และ COD) แต่จุลินทรีย์ที่ได้จากกะเพาะรูเมนไม่ถึง 15% จึงทำให้การเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนต่ำ

Hailin Tian และคณะ (2015) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในผลิตก๊าซชีวภาพในระบบการย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการหมักร่วมกันระหว่างเศษอาหารและมูลสุกร และเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกร โดยควบคุมสัดส่วนของแข็งทั้งหมด (TS) ต่างกัน คือ 1:0, 5:1, 3:1, 1:1,

1:3, 1:5 และ 0:1 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 15, 21, 22, 27, 49, 62 และ 61 วัน ตามลำดับ ภายใต้อุณหภูมิปานกลาง (mesophilic) คือ 35 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าการย่อยร่วมระหว่างเศษอาหารกับมูลสุกรทำให้เกิดปริมาณของก๊าซมีเทน(CH_4) มากกว่าการย่อยของเศษอาหารหรือมูลสุกรอย่างเดียวเพราะการย่อยเศษอาหารเพียงอย่างเดียวทำให้ pH ลดลง เกิดจากการเรียงตัวเป็นสายยาวของกรดไขมันที่เกิดขึ้นในอัตราส่วนที่ 1:1 ใช้เวลาในการย่อยเป็นเวลา 27 วัน ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นขึ้น(CH_4) 409.46 mL/gVS :ซึ่งเพิ่มร้อยละ 65 และร้อยละ 6 เมื่อเทียบกับการย่อยของมูลสุกรและเศษอาหารอย่างใดอย่างนึง อัตราการย่อยสลายเป็น(BDA) 85.03

Aremu, M .O.และ Agarry S. E. (2012) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักแบบชีวภาพจากมูลโคและมูลสุกร ภายใต้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27- 35 องศาเซลเซียส ควบคุมค่า pH ระหว่าง 6.2-6.8 เพื่อให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย (Kalloum slimane, 2014) ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 8% และระยะการกักเก็บ 30 วัน จากการทดลองพบว่า การย่อยสลายด้วยมูลสุกรโดยกระบวนการย่อยทางชีวภาพเกิดปริมาณแก๊สมากกว่าการหมักด้วยมูลโคคือ 4,378 mL (145.9mL day^{-1}) และ 4,140 mL (138mL day^{-1}) ตามลำดับ (Aremu, 2012)

ชิตชนก คงแดง (2554) ศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา ในการทดลองระดับปฏิบัติการแบทช์และแบบกึ่งต่อเนื่องในสภาวะต่างๆ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือน ในการทดลองแบบแบทช์ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองโดยคือ R1 ศึกษาปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 8, 12, 16, และ 20% R2 ศึกษาอัตราส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราคือ 100:0 25:75 75:25 0:100 และ R3 ศึกษาขนาดของใบยางพารา จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดของการย่อยร่วมกันระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราที่ 50:50 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 12% โดยใช้ใบยางพาราที่ทำการบดแล้ว และพบว่าเมื่อใช้ใบยางพารายอยร่วมกับมูลสุกรทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจาก 1.99 ลิตรต่อวัน เป็น 2.66 ลิตรต่อวัน ร้อยละก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจาก 41% เป็น 58% และก๊าซมีเทนเพิ่ขึ้นจาก 0.06 L/kg$TS_{removed}$ เป็น 0.38 L/kg$TS_{removed}$ แสดงว่าใบยางพาราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้เมื่อเทียบกับการใช้มูลสุกรเพียงอย่างเดียวแต่ถ้าในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย ส่งผลให้เกิดการสะสมของกรดทำให้ค่า pH ในระบบลดลง ซึ่งส่งผลเสียต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ นำสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Se-mi Continuos) คือใช้ใช้วัตถุดิบเริ่มต้นและวัตถุดิบที่ป้อนที่ 12% สัดส่วนเริ่มต้นวัตถุดิบและสัดส่วนป้อนวัตถุดิบระหว่างมูลสุกรกับใบยางพาราที่ 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ระยะเวลาการกักเก็บ 20 วัน อัตราภาระบรรทุกสารอนทรีย์ 2.56 kg COD/m^3/D ทำการป้อนทุกๆ 3 วัน ปริมาณการป้อนวัตดิบครั้งละ 0.15 กิโลกรัม ซึ่งสภาวะจากการทดลองหมัก

แบบกึ่งต่อเนื่องสามารถนำไปใช้สำหรับการหมักก๊าซชีวภาพในถัง ขนาด 200 ลิตร เพื่อใช้สำหรับภาคครัวเรือน จะทำให้ได้ก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยโดยประมา 112 ลิตร/วัน ผลได้ก๊าซมีเทน 13.53 L/g $TS_{removed}$ มีร้อยละมีเทนช่วง 62-68 สามารทดแทนการใช้ก๊าซ LPG ปริมาณ 1.55 กิโลกรัม/เดือน คิดเป็นเงิน 31 บาท/เดือน และพบว่าประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราขึ้นอยู่กับสัดส่วนของ TS วัตถุดิบเริ่มต้นและวัตถุดิบที่ทำการป้อน

ขันทอง สุนทราภา และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบก๊าซมีเทนและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออซิเจน ชีวภาพ คือเริ่มทำการทดลองหาระยะเวลาของปฏิกิริยาการสร้างกรดและปฏิกิริยาการผลิตชีวภาพที่เหมาะสม โดยการทดลองแบบแบทช์ ซึ่งใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร พบว่า เริ่มเกิดก๊าซขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 9 วัน และสภาวะคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 36 วัน จากนั้นแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ การหมักร่วมกันมูลสุกรกับเศษอาหาร และมูลสุกรกับใบปาล์ม ใช้อัตราส่วนการหมักร่วมที่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ที่ปริมาณของแข็งเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 20 ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน และถังปฏิกรณ์เมมเบรน โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียที่มากจากระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน เพราะทำให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินปฏิกิริยาการสร้างกรดและปฏิกิริยาในการผลิตก๊าซ พบว่าเมื่อใช้เศษอาหารในการย่อยร่วมกับมูลสุกรที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปริมาณของแข็ง 20% ในถังปฏิกรณ์เมมเบรน .ให้สัดส่วนองค์ประกอบก๊าซมีเทน 59.6 % และให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ 1.57±0.12 ลิตรต่อวัน และเมื่อใช้ใบปาล์มในการย่อยร่วมกับมูลสุกรในอัตราส่วนที่ 70:30 ที่ปริมาณของแข็ง 20% ในถังปฏิกรณ์เมมเบรน .ให้สัดส่วนองค์ประกอบมีเทน 60.5% และให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.86±0.11 ลิตรต่อวัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการหมักร่วมกันระหว่างของเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในอัตราส่วนของผสมที่ต่างกัน ใช้หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นจากฟาร์มสุกร ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ออกแบบการทดลองแบบแบทช์ (Batch) โดยเติมของผสมเพียงครั้งเดียว ซึ่งการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือการหาอัตราส่วนปริมาณ ของหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นที่จะนำไปใช้ในการทดลองส่วนถัดไป และส่วนที่สอง คือ การหมักร่วมกันระหว่างของเสียที่ได้จากโรงงานเครื่องดื่มพร้อมกันทั้ง 4 ตัวอย่าง ได้แก่ นม, กาแฟ, เบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด ศึกษาโดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และร้อยละของก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

3.1.1 กากของเสียจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มที่ใช้ในการทดลอง ได้มาจากโรงงานจำนวน 4 โรงงาน ดังนี้

3.1.1.1 กากของเสียจากอุตสาหกรรมนม

3.1.1.2 กากของเสียจากอุตสาหกรรมกาแฟ

3.1.1.3 กากของเสียจากอุตสาหกรรมเบียร์

3.1.1.4 กากของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

กากของเสียที่ได้จากโรงอุตสาหกรรมเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างโดยวิธีการตักจากรถดูดตะกอน ดังรูปที่ 3-1 ที่ดำเนินการเข้าไปดูดในบ่อบำบัดน้ำเสียที่โรงงานเก็บรวบรวมกากตะกอนไว้ก่อนส่งกำจัด (วิชชุตา, 2016) โดยเก็บใส่ภาชนะที่ปิดมิดชิดและเก็บรักษาในอุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส ลักษณะของเสียทั้ง 4 ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3-2

รูปที่ 3- 1 ภาพตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

รูปที่ 3- 2 กากของเสียจากโรงงานผลิตเครื่องทั้ง 4 ตัวอย่าง ได้แก่นม, กาแฟ, เบียร์, และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ตามลำดับ

3.1.2 หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น

หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาวิจัย นำมาจากฟาร์มเลี้ยงสุกรใน อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ซึ่งฟาร์มแห่งนี้มีบ่อหมักก๊าซชีวภาพลักษณะเป็น UASB (solids-Up flow Anaerobic Sludge Blanket) ที่ใช้งานอยู่จำนวน 1 บ่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3- 3 บ่อหมักก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ชุดหมักก๊าซชีวภาพ

3.2.1.1 ขวดสีชา ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2.1.2 จุกยางอุดปากขวด

3.2.1.3 ท่อนำก๊าซ

3.2.1.4 เทอร์โมมิเตอร์ 0 – 100 องศาเซลเซียส

3.2.2 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ วัดปริมาตรก๊าซที่เกิด

3.2.2.1 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

3.2.2.2 ขวดใส่น้ำขนาด 2,000 มิลลิลิตร

3.2.2.3 ท่อนำก๊าซ

3.2.2.4 บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2.3 อุปกรณ์อื่นๆ

3.2.2.1 เครื่องดูดอากาศออก

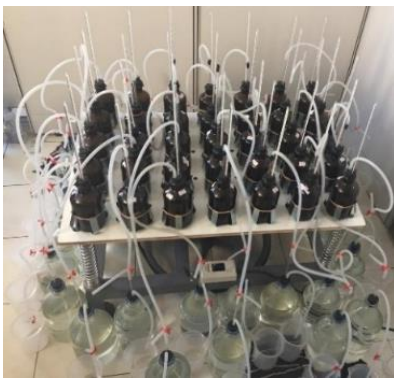
3.2.2.2 ท่อนำก๊าซชนิดสายยางซิลิโคน

3.2.2.3 ถุงเก็บก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบทช์

ชุดการทดลองจะแบ่งเป็นสองส่วนหลัก คือชุดหมักของผสมประกอบด้วยขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้สำหรับหมักของผสม โดยปริมาณที่หมักเท่ากับ 300 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกยางชนิดเจาะสองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันอากาศเข้าในขวดหมัก ช่องเจาะที่จุกยางใส่เทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิภายในขวดหมัก และใส่ท่อนำก๊าซเพื่อนำก๊าซเข้าชุดเก็บก๊าซและวัดปริมาณก๊าซจากการแทนที่น้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยที่ชุดหมักจะตั้งอยู่บนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic shaker) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3- 4 ตัวอย่างชุดการทดลอง

3.4 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ

ประกอบด้วยขวดแก้วขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่น้ำเต็มขวดปิดขวดด้วยจุกยางชนิดเจาะ สองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันก๊าซชีวภาพที่เก็บอยู่ในขวดรั่วซึมช่องเจาะที่จุกยางใส่ ท่อ 2 เส้น เส้นหนึ่งเป็นท่อนำก๊าซชีวภาพที่เกิดจากชุดหมักเข้าขวดเก็บก๊าซขนาด 2,000 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำอยู่เต็มขวด จากหลักการแทนที่น้ำเมื่อก๊าซเข้าในขวดเก็บก๊าซจะดันน้ำออกมาทางท่ออีกทาง หนึ่งลงไปในบีกเกอร์ ปริมาณน้ำที่ออกมาที่บีกเกอร์เป็นการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 3-5

รูปที่ 3- 5 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ

3.5 การเตรียมชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบแบทช์ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด การทดลองแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3- 1 รายละเอียดการผสมวัตถุดิบในการหมักร่วมที่ใช้การทดลอง

การทดลอง	วิธีการทดลอง	หมักร่วมกัน	อัตราส่วน
ส่วนที่ 1	ศึกษาหาปริมาณหัวเชื้อจุลชีพที่เหมาะสมโดยการหมักร่วมกันระหว่างของเสียแต่ละตัวอย่างกับหัวเชื้อจุลชีพ	นม+หัวเชื้อจุลชีพ กาแฟ+หัวเชื้อจุลชีพ เบียร์+หัวเชื้อจุลชีพ เครื่องดื่มบำรุงกำลัง+หัวเชื้อจุลชีพ	1:3 1:5 1:10
ส่วนที่ 2	การหมักร่วมกันระหว่างของเสียที่ได้จากโรงงานเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง กับหัวเชื้อจุลชีพในปริมาณคงที่	นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง + หัวเชื้อจุลชีพปริมาณที่เหมาะสม	1:1:1:1 1:2:1:1 1:1:2:1 1:1:1:2 2:1:1:1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6 แผนการวิเคราะห์ระหว่างการหมัก

พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ค่า pH	3 ครั้งต่อสัปดาห์	pH meter
ค่า VFA	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Titration method
ค่า ALK	3 ครั้งต่อสัปดาห์	Titration method
COD	เริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง	สภาวิจัยสภาวะสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ ทำได้โดยการใช้น้ำดันเข้าไปแทนที่ภายในขวดชุดเก็บก๊าซ เพื่อเป็นการไล่ก๊าซที่อยู่ภายในขวดย้อนกลับเข้าไปทางวาล์วตัวแรกไปยังถุงเก็บก๊าซที่เตรียมไว้ มีการให้ก๊าซที่ได้ผ่านซิลิกาเจลก่อน เพื่อเป็นการไล่ความชื้นก่อนที่ก๊าซจะเข้าภายในถุงเก็บก๊าซ และก่อนนำมาใช้เก็บตัวอย่างก๊าซ มีการไล่อากาศออกจากถุงด้วยเครื่องสูบอากาศออกจากถุง หลังจากได้ตัวอย่างก๊าซชีวภาพแล้วจึงนำหลอดเก็บก๊าซสูบก๊าซจากถุงเก็บก๊าซเพื่อฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph Shimadzu รุ่น GC-14B เพื่อหาค่าร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

ตารางที่ 4- 1 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบหมัก

วัตถุดิบหมัก	ลักษณะทางกายภาพ	การเก็บรักษา
หัวเชื้อจุลชีพ	ของเหลวสีดำข้น มีกากใย	อุณหภูมิห้อง
ของเสียจากอุตสาหกรรมนม	ลักษณะของเสียเป็นของเหลว สีขาวขุ่นมีตะกอนสีขาวผสมอยู่เล็กน้อย	0-4 องศาเซลเซียส
ของเสียจากอุตสาหกรรมกาแฟ	ตะกอนแขวนลอยในน้ำไม่แยกเฟส	0-4 องศาเซลเซียส
ของเสียจากอุตสาหกรรมเบียร์	เป็นน้ำใส สีเหลือง มีฟอง	0-4 องศาเซลเซียส
ของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	เป็นน้ำ ใส สีเหลืองส้ม มีฟองและเนื้อตะกอนเล็กน้อยลอย	0-4 องศาเซลเซียส

4.2 ลักษณะสารอินทรีย์วัตถุดิบ

ลักษณะคุณสมบัติของของเสียที่ได้จากโรงงานเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง ได้แก่ นม, กาแฟ เบียร์, เครื่องดื่มบำรุงกำลัง แสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่าของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมนมมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 74,344 มิลลิกรัมต่อลิตร 29,088, 12,400 และ 30,732 ตามลำดับ

ปริมาณของแข็งระเหยง่าย ของนมมากที่สุดเท่ากับ 69,256 มิลลิกรัมต่อลิตร กาแฟ เบียร์ เครื่องดื่มบำรุงกำลัง และหัวเชื้อจุลชีพมีค่าเท่ากับ 27,204, 6,800, 30,168 และ 40,922 ตามลำดับ ซึ่งสารอินทรีย์ที่มีปริมาณของแข็งระเหยง่ายสูง เป็นไปได้ที่จะส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพที่มาก (Nelson, 2005)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง และหัวเชื้อจุลชีพ มีค่าเท่ากับ 24.7-27.24 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซ (Kayhanian & Tchobanoglous, 2000) นอกจากนี้พบว่าค่าพีเอชของเบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลังมีสภาพเป็นกรด และหัวเชื้อจุลชีพ, นม และกาแฟ มีค่าพีเอช 7.1-7.3 อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ (Montanes, 2014)

ตารางที่ 4- 2 ลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์

รายงานการวิเคราะห์	หน่วย	หัวเชื้อจุลชีพ	ของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม			
			นม	กาแฟ	เบียร์	เครื่องดื่มบำรุงกำลัง
Total Solids	mg/L	41,556	74,344	29,088	12,400	30,732
Volatile Solids	mg/L	40,922	69,256	27,204	6,800	30,168
COD	mg/L	41.898	54,802	51,986	51,350	41,882
C:N ratio	-	24.70	25.12	25.89	26.28	27.24
pH	-	7.23	7.10	6.56	3.72	3.54
Volatile fatty acid	mg/L	215	80	87.50	Na	Na
Alkalinity	mg/L	22	150	80	32.50	135
VFA/ALK	-	9.7	0.53	1.09	-	-

*** หมายเหตุ : ค่าพีเอชเริ่มต้นของเบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลังมีค่าความเป็นกรดที่ 3.72 และ 3.54 ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ควรทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatograpy เพื่อทราบปริมาณที่แน่นอน สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์โดยวิธีการไตเตรท

ตารางที่ 4- 3 ผลการวิเคราะห์ Proximate Analysis

พารามิเตอร์	ของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม			
	นม	กาแฟ	เบียร์	เครื่องดื่มบำรุงกำลัง
Moisture (% w/w , as received)	88.57	87.67	96.60	85.45
Ash (% w/w , dry basis)	17.10	14.80	12.72	12.26
Carbon (% w/w , dry basis)	5.92	4.93	4.24	3.21
Hydrogen (% w/w , dry basis)	0.82	0.61	0.09	1.06
Nitrogen (% w/w , dry basis)	0.28	0.20	0.14	0.10

สารประกอบในของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมโรงงานทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่านมมีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับ 1.63 g/100g และกาแฟเท่ากับ 1.28 g/100g และมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 1.56, 1.28, 0.89 และ 0.63 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4-4 ซึ่งสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของไขมันและโปรตีนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ (Martinez et al., 2016)

ตารางที่ 4- 4 ผลการวิเคราะห์สารประกอบของสารอินทรีย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พารามิเตอร์	ของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม			
	นม	กาแฟ	เบียร์	เครื่องดื่มบำรุงกำลัง
Protein g/100g	1.56	1.28	0.89	0.63
Total fat g/100g	1.63	0.5	0	0

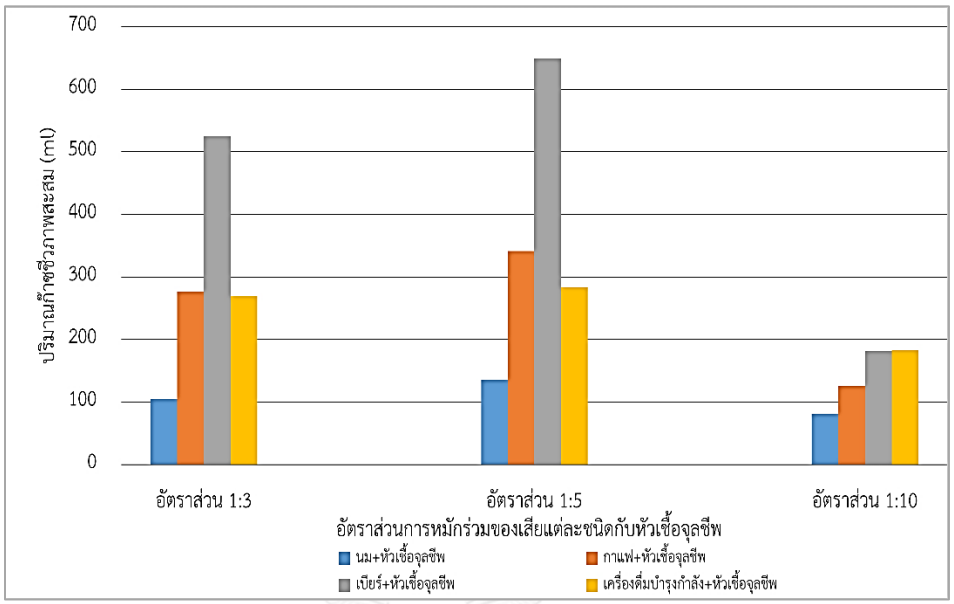
4.3 ผลจากการศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ

การศึกษาการอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยการออกแบบชุดการทดลองแบบแบทช์ แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ส่วนแรกคือ ศึกษาหาปริมาณหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ทดลองส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นการหมักร่วมกันระหว่างของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง ได้แก่ นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง กับการใช้ปริมาณหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นที่เหมาะสม ดำเนินการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง (33±3°C)

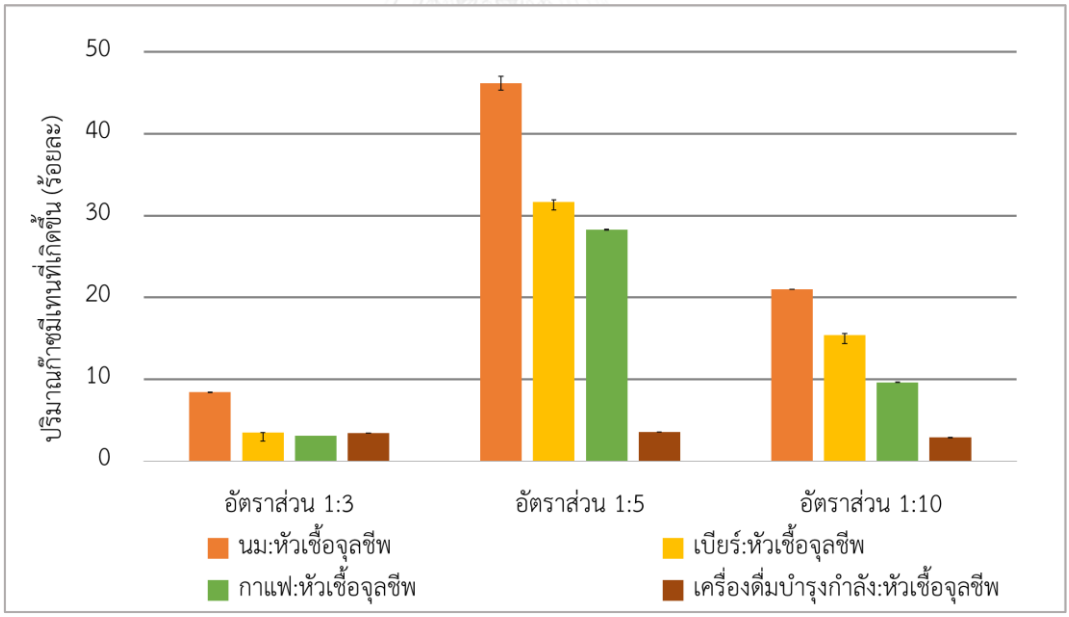
4.3.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและร้อยละก๊าซมีเทนจากการศึกษาการใช้ปริมาณหัวเชื้อในการหมักอัตราส่วนต่างกัน

ผลการทดลองผลจากการหมักร่วมกันระหว่างของเสียแต่ละตัวอย่าง (นม, กาแฟ, เบียร์, เครื่องดื่มบำรุงกำลัง) กับปริมาณหัวเชื้อจุลชีพที่อัตราส่วนต่างกันคือ 1:3, 1:5 และ1:10 พบว่าที่อัตราส่วน 1:5 ของการหมักร่วมกันระหว่างนม:หัวเชื้อจุลชีพ ทำให้เกิดปริมาณของมีเทนสูงสุดที่ 46.7 เบียร์ กาแฟ และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-1 พบว่าในอัตราส่วนที่ 1:3 และ 1:10 เกิดปริมาณก๊าซน้อย อาจเป็นเพราะสัดส่วนของสารอาหารนอ สารอาหารจึงไม่เพียงต่อการย่อยของแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จุรีย์, 2553) ที่มีการศึกษาการหมักร่วมกันระหว่างกากตะกอนดีแคนเตอร์กับมูลสุกรที่อัตราส่วน ตะกอนดีแคนเตอร์ 0.5 กิโลกรับต่อมูลสุกร 10%-50% ที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดที่อัตราส่วน พบว่าอัตราส่วนที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดคือใช้อัตราการผสมของมูลสุกรที่ 10% และพบว่าที่อัตราการผสมของมูลสุกร 50% ทำให้เกิดปริมาณกาซชีวภาพต่ำที่สุด เนื่องจากค่าพีเอชในระบบอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ (4.3-4.6) และเนื่องด้วยค่า VFA ของหัวเชื้อจุลชีพเริ่มต้น มีค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง เมื่อเทียบจากอัตราส่วนของปริมาณกรดไขมันระเหยกับค่าสภาพความเป็นด่างพบของหัวเชื้อจุลชีพมีค่าเท่ากับ 9.7 ซึ่งเป็นค่าอาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรีย เนื่องจากระบบเกิดการสะสมของไขมันระเหยมาก เป็นผลให้เกิดก๊าซมีเทนน้อย (Carneiro, 2008)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4- 1 ปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมกันของกากของเสียแต่ละตัวอย่างกับหัวเชื้อจุลชีพที่อัตราส่วนต่างกัน

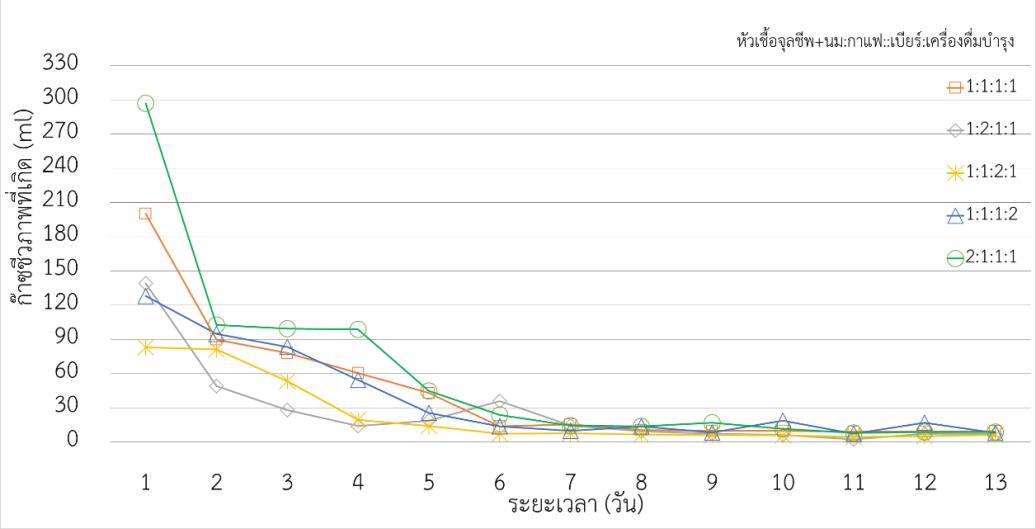


รูปที่ 4- 2 ร้อยละก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมกันของกากของเสียแต่ละตัวอย่างกับหัวเชื้อจุลชีพที่อัตราส่วนต่างกัน

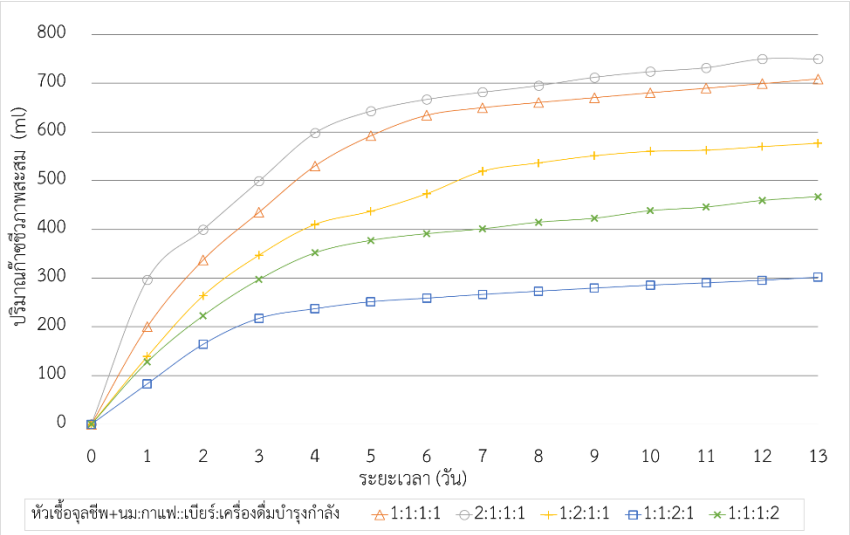
4.3.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันระหว่างของเสียโรงงานเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง กับหัวเชื้อจุลชีพในปริมาณที่เหมาะสม

การทดลองในส่วนที่สอง ทำการหมักร่วมกันของของเสียทั้ง 4 ตัวอย่างกับหัวเชื้อจุลชีพได้แก่ นม:เบียร์:กาแฟ:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ทั้งหมด 5 อัตราส่วน เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการหมักร่วมกันของของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง ทำการบันทึกปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยการแทนที่ของน้ำ และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography เพื่อหาปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อทำการหมักผ่านไป 1 วัน เนื่องจากแบคทีเรียมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูง 4- 5 วัน และหลังจากวันที่ 5 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเริ่มลดลง เนื่องจากการทดลองเป็นการเติมสารอาหารภายในระบบเพียงครั้งเดียว อาจเป็นเพราะปริมาณสารอาหารที่เริ่มลดลง จากการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วน นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง 2:1:1:1 เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ 279 มิลลิลิตรต่อวัน และที่อัตราส่วน นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง 1:1:1:1, 1:2:1:1, 1:1:1:2 และ 1:1:2:1 เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ 200, 139, 123, และ 83 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-2 และปริมาณก๊าซสะสมแสดงในรูปที่ 4-3



รูปที่ 4- 3 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อวันของหัวเชื้อจุลชีพกับของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง



รูปที่ 4- 4 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมของหัวเชื้อจุลชีพกับของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ทั้ง 4 ตัวอย่าง

4.3.3 ปริมาณก๊าซสะสมทั้งหมดและร้อยละก๊าซมีเทน

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมแต่ละอัตราส่วนจากการหมักทั้งหมด 13 วัน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วน นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง 2:1:1:1 เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดที่ 750 มิลลิลิตร อาจเป็นเพราะองค์ประกอบในนมส่วนใหญ่คือไขมันและโปรตีน และที่อัตราส่วน นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง 1:1:1:1, 1:2:1:1, 1:1:1:2 และ 1:1:2:1 เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ 709, 577, 467, และ 302 มิลลิลิตร ตามลำดับ ก๊าซมีเทนร้อยละ 12.97, 10.20, 7.36, 6.23 และ 5.50 แสดงดังตารางที่ 4-5 ซึ่งอาจจะเกิดจากปริมาณของไขมันและโปรตีนที่ต่างกันทำให้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4-6 ซึ่งสารอินทรีย์จำพวกไขมันแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของไขมัน (Asadullah , 2014) มีจำนวนคาร์บอนที่สูงกว่าโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต จึงเป็นผลให้มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่สูงกว่า (Alves, 2009)

ตารางที่ 4- 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและร้อยละก๊าซมีเทน

นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง	ปริมาณก๊าซสะสม (ml)	ร้อยละก๊าซมีเทน	ปริมาณก๊าซมีเทน (ml)
1:1:1:1	709	10.20	72.31
2:1:1:1	750	12.97	97.28
1:2:1:1	577	7.36	42.47
1:1:2:1	302	5.50	16.61
1:1:1:2	467	6.23	29.09

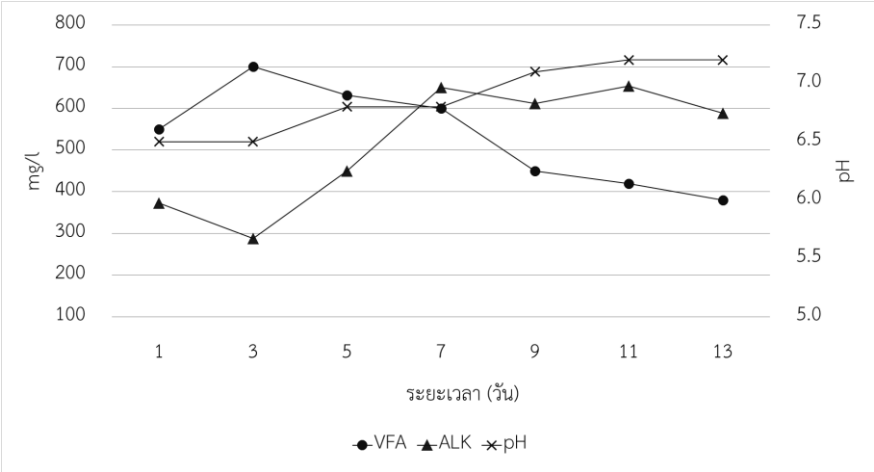
ตารางที่ 4- 6 ปริมาณองค์ประกอบของเสียแต่ละอัตราส่วน

องค์ประกอบ	อัตราส่วน (นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง)				
	1:1:1:1	2:1:1:1	1:2:1:1	1:1:2:1	1:1:1:2
โปรตีน	3.89	5.42	5.14	4.74	3.98
ไขมัน	3.76	3.37	2.63	2.13	2.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายค่าสภาพความเป็นด่างและ pH

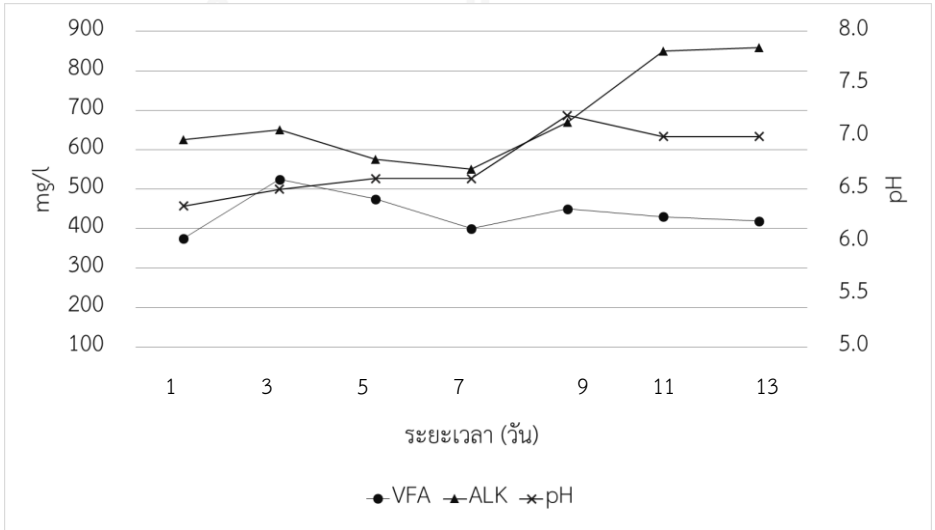
จากการทดลองพบว่าค่าของกรดไขมันระเหยง่ายในช่วงแรกของแต่ละอัตราส่วน ของการทดลองค่อยๆปรับสูงขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียเกิดปฏิริยาการสร้างกรดขึ้นภายในระบบ และค่อยลดลง ส่งผลให้ค่าสภาพความเป็นด่างและค่าพีเอชสูงขึ้น จึงทำให้ระบบเกิดความเสถียร พบว่าช่วงแรกของการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4-5 – 4-9



รูปที่ 4- 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกันของนม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:1:1:1

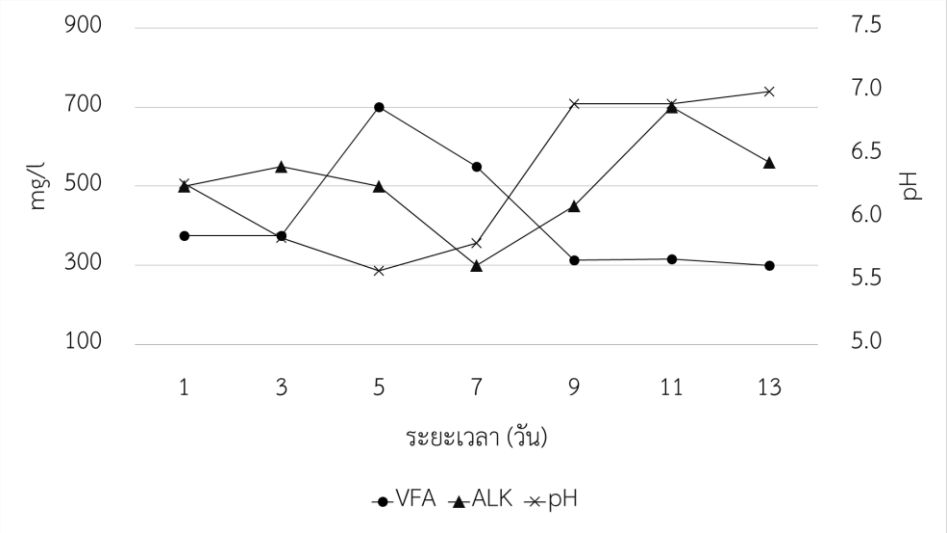
จากรูปที่ 4-5 พบว่าในช่วง 2 วันแรกของการหมักพบว่าค่าพีเอชลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากภายในระบบแบคทีเรียมีการสร้างกรดขึ้นส่งผลให้ปริมารกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้น และค่าของกรดไขมันระเหยง่ายเริ่มลดลงในวันที่ 5 ของการทดลองส่งผลให้ค่าสภาพความเป็นด่างเพิ่มขึ้นทำให้ค่าพีเอชในระบบเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ในวันที่ 9 ของการทดลอง จากการทดลองพบว่าค่า VFA และ ALK อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพคือ 380-700 mg/l as CH_3COOH และ 288-654 mg/l as $CaCO_3$ ตามลำดับ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



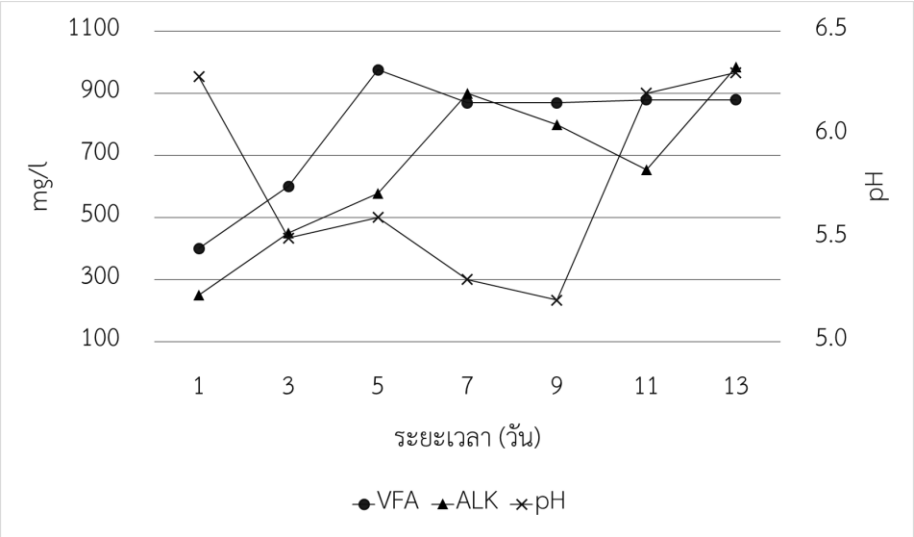
รูปที่ 4- 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกันของนม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 2:1:1:1

จากรูปที่ 4-6 ค่า VFA และ ALK ที่อัตราส่วน 2:1:1:1 อยู่ในช่วง 300-525 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2014) จากการทดลองพบว่าค่าพีเอชเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่อง และเพิ่มขึ้นในวันที่ 5 ของการหมัก ส่งผลให้ปริมาณของ alkalinity ขึ้นสูงและปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายลดลง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและ Alkalinity อยู่ในช่วง 375-525 mg/l as CH_3COOH และ 550-859 mg/l as $CaCO_3$ ตามลำดับ



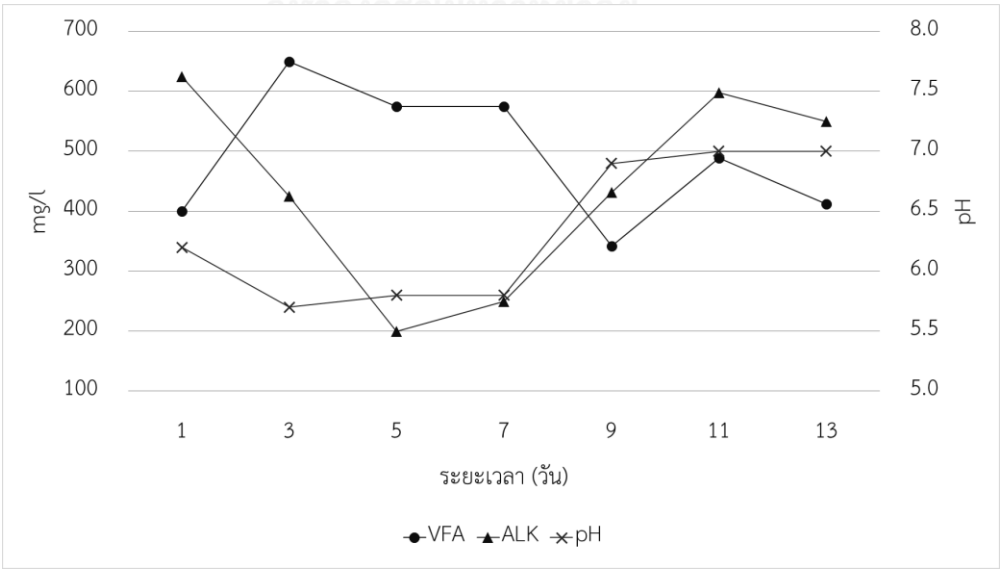
รูปที่ 4- 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกันของนม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:2:1:1

จากรูปที่ 4- 7 พบว่าในวันที่ 5 ของการทดลองมีปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มขึ้นสูง ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง และระบบเริ่มคงที่ในวันที่ 9 ของการทดลองค่ากรดไขมันระเหยง่ายลดลงและค่า alkalinity เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและ Alkalinity อยู่ในช่วง 300-700 mg/l as CH_3COOH และ 300-700 mg/l as $CaCO_3$ ตามลำดับ



รูปที่ 4- 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกันของนม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:1:2:1

จกรูปที่ 4-8 พบว่าที่อัตราส่วนการหมัก 1:1:2:1 ปริมาณกรดไขมันระเหง่ายเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 7 ของการทดลอง ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงติดต่อกันหลายวัน ซึ่งค่าพีเอชที่ลดลงต่ำสุดอยู่ที่ 5.3 อาจทำให้ส่งผลกระทบต่อการย่อยของแบคทีเรียในการสร้างก๊าซชีวภาพ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและ Alkalinity อยู่ในช่วง 400-975 mg/l as CH_3COOH และ 250-900 mg/l as $CaCO_3$ ตามลำดับ

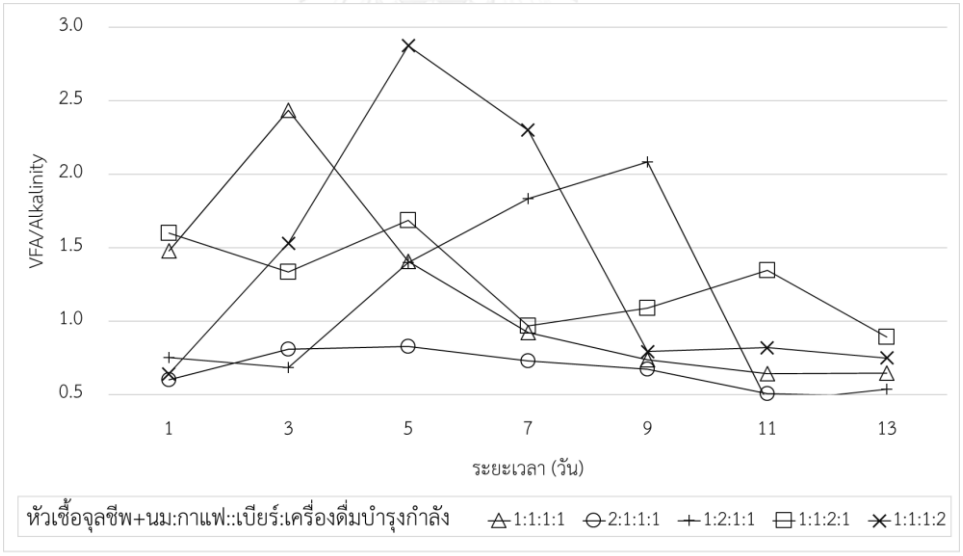


รูปที่ 4- 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA, ALK และ ค่า pH ภายในระบบจากหมักร่วมกันของนม:กาแฟ:เบียร์เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ที่อัตราส่วน 1:1:1:2

จากรูปที่ 4-9 พบว่าค่าพีเอชลดลงในช่วงวันที่ 1-5 เนื่องจากการเมขึ้นของกรดไขมันระเหยอ่างง่ายที่เพิ่มขึ้น หลังจากวันที่ 5 ค่า Alkalinity เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นและคงที่ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและ Alkalinity อยู่ในช่วง 342-625 mg/l as CH_3COOH และ 200-650 mg/l as $CaCO_3$ ตามลำดับ

4.3.4 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย/ค่าสภาพความเป็นด่าง

เมื่อพิจารณาจากค่า VFA/Alkalinity คือค่าที่บอกความเสถียรของระบบระหว่างค่ากรดกรดไขมันระเหยง่ายกับค่าสภาพคามความเป็นด่าง พบว่าแต่ละอัตราส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-2.9 แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งค่าที่เหมาะสมต่อระบบจะเกิดหลังจากการทดลองผ่านไประยะเวลา 7 วัน ที่ 0.5-0.9 ไม่เกิน 0.1 และไม่ต่ำกว่า 0.3 ซึ่งถ้าต่ำกว่า 0. 3 จะทำให้ระบบมีความเสี่ยงต่อการเพิ่มของปริมาณกรด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)



รูปที่ 4- 10 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างในระบบการหมักร่วมกันหัวเชื้อจุลชีพกับของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง

4.3.5 ประสิทธิภาพการย่อยสลายของสารอินทรีย์

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ทุกอัตราส่วนการทดลองมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงแรกของการทดลอง หลังจากนั้นเริ่มลดลงทุกอัตราส่วน โดยอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเริ่มช้าลง เนื่องจากสารอินทรีย์เหลือน้อยและย่อยสลายยาก ที่อัตราส่วน นม:กาแฟ:เบียร์:เครื่องดื่มบำรุงกำลัง 2:1:1:1 มีร้อยละการกำจัดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 69.30 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงที่สุด ที่อัตราส่วน 1:2:1:1, 1:1:1:1, 1:1:1:2 และ 1:1:2:1 เท่ากับ 55.70, 46.80, 35.20 และ 17.20 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4- 7 ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์

อัตราส่วน	COD เข้าระบบ (mg/l)	COD ออกระบบ (mg/l)	COD ที่ถูกกำจัด (mg/l)	ร้อยละ COD ที่ถูกกำจัด
2:1:1:1	17,217	5,283	11,934	69.30
1:2:1:1	9,042	4,004	5,038	55.70
1:1:1:1	12,412	6,604	5,808	46.80
1:1:1:2	14,114	9,144	4,970	35.20
1:1:2:1	13,614	11,278	2,336	17.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของการหมักร่วมกันระหว่างของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมโรงงานเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ นม, กาแฟ, เบียร์ และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง กับหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นจากฟาร์มสุกร ในชุดการทดลองแบบแบทช์ ผลการทดลองพบว่าของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง สามารถนำมาทำการหมักร่วมกันได้ โดยการทดลองไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิห้อง จากการทดลองสามารถสรุปการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการปริมาณหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง คือที่อัตราส่วน 1:5 ในทุกการทดลอง ทำให้เกิดปริมาณของก๊าซมีเทนสูงสุด ร้อยละ 46.76 ของการหมักร่วมกันระหว่างนมกับหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น

2 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลอง จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของการหมักร่วมกันของของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง กับอัตราส่วนหัวเชื้อจุลชีพที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่อัตราส่วน 2:1:1:1 ร้อยละ 12.79 เนื่องจากสัดส่วนของการผสมส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนรองลงมาคือ 1:1:1:1, 1:2:1:1, 1:1:1:2 และ 1:1:2:1 ร้อยละ 10.20, 7.36, 6.23 และ 5.50 ตามลำดับ

3 จากการศึกษางานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การหมักร่วมกันของของเสียทั้ง 4 ชนิด ร่วมกับหัวเชื้อจุลชีพ สามารถทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนขึ้นได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าของเสียบางตัวอย่างเมื่อทำการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลชีพเพียงอย่างเดียวส่งผลให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อทำการย่อยร่วมกันระหว่างของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง สามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น

4. การหมักร่วมกันระหว่างของเสียทั้ง 4 ตัวอย่าง เป็นทางออกที่ดีที่สามารถกำจัดของเสียเหล่านี้ โดยการนำมาใช้ประโยชน์ด้านการผลิตพลังงานทดแทนโดยการหมักร่วม ซึ่งสามารถช่วยในการลดการเกิดมลพิษในสภาวะแวดล้อม และเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำไปขยายผลกับการใช้งานจริงกับระบบก๊าซชีวภาพ เพื่อปรับปรุงขีดความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ

2. ควรทำการศึกษาการหมักร่วมกันระหว่างสารอินทรีย์ 2 และ 3 ชนิด เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น

3. เพิ่มสัดส่วนของของเสียแต่ละชนิดเพื่อให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นเพื่อการนำไปใช้ได้จริง

4. ศึกษาขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในแต่ละขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนขององค์ประกอบสารอินทรีย์แต่ละชนิดเพื่อให้การเกิดประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Aharon Yechiel, Y. S. (2016). Optimization of energy generation using landfill biogas. .

AlvesMM, P., SousaDZ,CavaleiroAJ,PicavetM,SmidtH,etal. (2009). Waste lipids toenergy:howtooptimizemethaneproductionfromlong-chainfatty acids (LCFA). 538–550.

Aremu, M. O. a. A. S. E. (2012). Comparison of Biogas production from Cow dung and Pig dung under Mesophilic condition.

Chitchanoke, k. (2011). *Biogas production from rubber leaves by co-digestion pig manure for household-scale.* . Princess of Songkla university,

IV., L. G. a. S. (1991). Modelling of anaerobic digestion a review., .

Kalloum slimane, S. F., Kouki Assia and Mokaddem Hamza (2014). Influence of inoculums/substrate ratios (ISRs) on the mesophilic anaerobic digestion of slaughterhouse waste in batch mode: Process stability and biogas production

Martinez, E. J., Gil, M. V., Fernandez, C., Rosas, G., Gomez, X., & Gomez, X. (2016). Anaerobic Codigestion of Sludge: Addition of Butcher's Fat Waste as a Cosubstrate for Increasing Biogas Production.

Montanes, R. (2014). Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of pH control.

Chemical Engineering Journal, 492–499.

Nelson, R. (2005). Methane Generation Of Anaerobic Digester : Considering different substrates

Walter, I., Martinez, F. and Cala, V (2006). Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agriculturaluses. Environ. Pollut.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2014).

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ส. Retrieved from http://www.induswaste.com

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ส. (2553). "คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับ

การออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ส าหรับโรงงานอุตสาหกรรม. 5-5.

จุรีย์. (2553). การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากตะกอนดีแคนเตอร์โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับมูลสุกร.

วิชชุตา. (2016). การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมโรงงานเครื่องดื่มและโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid: VFA) และค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: ALK)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

2) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

3) เตาให้ความร้อน (Hotplate)

4) บิวเรต

5) บีกเกอร์

<u>สารเคมี</u>

1) Sulfuric acid (H_2SO_4) ความเข้มข้น 0.05 N

2) Sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.05 N

<u>วิธีการ</u>

1) ตั้งตัวอย่างให้ตกตะกอนหรือ centrifuge ตัวอย่างประมาณ 5 นาที เพื่อใช้น้ำตัวอย่างเฉพาะส่วนที่ใสประมาณ 50 มิลลิลิตร

2) วัดค่าพีเอชของน้ำตัวอย่าง แล้วไทเทรตกับสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.05 N จนได้ค่าพีเอชเท่ากับ 4 บันทึกจานวนกรดที่ใช้ แล้วไทเทรตต่อจนได้ค่าพีเอชเท่ากับ 3.5

3) ต้มบน hotplate เพื่อไล่ CO_2 ให้เดือดเบาๆ ประมาณ 3 นาที แล้วทิ้งให้เย็น

4) ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.05 N จนได้ค่าพีเอชเท่ากับ 4 แล้วไทเทรตต่อจนพีเอชเท่ากับ 7 บันทึกจานวนสารละลายที่ใช้ไทเทรตจากพีเอช 4 ถึง 7

<u>วิธีการคำนวณ</u>

ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA) (mg CH_3COOH/L) =

$$\frac{(\text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ปรับ pH จาก 4-7}) \times \text{normality} \times 50 \times 1{,}000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง, mL}}$$

ค่าความเป็นด่าง (ALK) (mg $CaCO_3$/L) =

$$\frac{(\text{ปริมาณ } H_2SO_4 \text{ ที่ใช้ปรับ pH เป็น 4}) \times \text{normality} \times 50 \times 1{,}000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง, mL}}$$

ภาคผนวก ข การคำนวณอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง

การคำนวณค่าวัตถุดิบหมัก เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย โดยใช้ค่าผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์

อัตราส่วนหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น: ของเสียอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่ม การศึกษานี้ใช้น้ำหนักแห้งในการหมักที่ 3 กรัมค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถหาค่าน้ำหนักสดที่ได้จากการหมักดังนี้

1. อัตราส่วน 1:3

หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น ร้อยละ 75 คิดเป็น 0.75 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 2.25 กรัม
น้ำหนักแห้ง

ของเสียอุตสาหกรรมนม, ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ , กากอุตสาหกรรมเบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 25 คิดเป็น 0.25 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.75 กรัม
น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 41.556 กรัม จากน้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 1000 มิลลิลิตร
น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 2.25 กรัม จะได้น้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 54.14 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมนม 0.75 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 10.08 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 0.75 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 60.48 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 29.088 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 0.75 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 25.78มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 30.732 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.75 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 24.40 มิลลิลิตร

2. อัตราส่วน 1:5

หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น ร้อยละ 83 คิดเป็น 0.83 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 2.50 กรัม
น้ำหนักแห้ง

ของเสียอุตสาหกรรมนม, ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ , กากอุตสาหกรรมเบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 16.7 คิดเป็น 0.17 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.5 กรัม
น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 41.556 กรัม จากน้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 1000 มิลลิลิตร
น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 2.50 กรัม จะได้น้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 60 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมนม 0.5 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 6.72 มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 0.5 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 40.32 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 29.088 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 0.5 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 17.20 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 30.732 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.5 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 16.27 มิลลิลิตร

หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น ร้อยละ 91 คิดเป็น 0.91 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 2.73 กรัม
น้ำหนักแห้ง

ของเสียอุตสาหกรรมนม, ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ , กากอุตสาหกรรมเบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 25 คิดเป็น 0.09 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.27 กรัม
น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 41.556 กรัม จากน้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 1000 มิลลิลิตร
น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 2.73 กรัม จะได้น้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 66 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมนม 0.27 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 3.63 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 0.27 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 21.774 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 29.088 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 0.27 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 9.28 มิลลิลิตร

Chulalongkorn University

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 30.732 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.27 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 8.78 มิลลิลิตร

อัตราส่วนหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น: ของเสียอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่างการศึกษานี้ใช้น้ำหนักแห้งในการหมักที่ 3 กรัม ที่อัตราส่วนการหมักร่วมกัน 1:5 ค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถหาค่าน้ำหนักสดที่ได้จากการหมักดังนี้

1. อัตราส่วน 1:1:1:1

หัวเชื้อจุลชีพตั้งต้น ร้อยละ 83 คิดเป็น 0.83 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 2.50 กรัม น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 41.556 กรัม จากน้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 1000 มิลลิลิตร
น้ำหนักแห้งหัวเชื้อจุลชีพ 2.50 กรัม จะได้น้ำหนักหัวเชื้อจุลชีพสด 60 มิลลิลิตร

ของเสียอุตสาหกรรมนม, ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ, ของเสียอุตสาหกรรมเบียร์และของเสียเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 4.175 คิดเป็น 0.0.4175 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.125 กรัม น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมนม 0.125 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 2 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 0.125 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 10 มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 29.088 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 0.125 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 4.30 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 30.732 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.125 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 4 มิลลิลิตร

2. อัตราส่วน 1:2:1:1

ของเสียอุตสาหกรรมนม, ของเสียอุตสาหกรรมเบียร์และของเสียเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 3.34 คิดเป็น 0.0334 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.1002 กรัมน้ำหนักแห้ง

ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ ร้อยละ 6.68 คิดเป็น.0.0668 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.2004 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมนม 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1.34 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 8.08 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 30.732 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 3.26 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 29.088 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 0.2004 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 6.88 มิลลิลิตร

3. อัตราส่วน 1:1:1:2

ของเสียอุตสาหกรรมนม, ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟและของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ ร้อยละ 3.34 คิดเป็น 0.0334 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.1002 กรัมน้ำหนักแห้ง

ของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 6.68 คิดเป็น.0.0668 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.2004 กรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 8.08 มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมนม 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1.34 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 30.732 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.2004 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 6.5 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 29.088 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 3.44 มิลลิลิตร

4. อัตราส่วน 2:1:1:1

ของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง, ของเสียอุตสาหกรรมกาแฟและของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ ร้อยละ 3.34 คิดเป็น 0.0334 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.1002 กรัมน้ำหนักแห้ง

ของเสียอุตสาหกรรมนม ร้อยละ 6.68 คิดเป็น.0.0668 x 3 กรัม น้ำหนักแห้ง = 0.2004 กรัม น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งกากอุตสาหกรรมนม 74.344 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมนม 0.2004 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมนมสด 2.69 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 29.088 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมกาแฟ 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมกาแฟสด 3.45 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 12.4 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 1000 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเบียร์ 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากอุตสาหกรรมเบียร์สด 8.08 มิลลิลิตร

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 30.732 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 1000 มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักแห้งของเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 0.1002 กรัม จากน้ำหนักกากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลังสด 3.26 มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

ผลการบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันและปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

ตารางที่ ค – 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดลองการหมักร่วมกันของของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วน 1:1:1:1

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน (ml)			ค่าเฉลี่ย
1	280	250	289	200
2	142	120	150	137
3	50	88	60	78
4	91	85	46	74
5	52	35	42	43
6	25	35	45	35
7	19	10	18	16
8	11	10	11	11
9	11	9	10	10
10	11	10	9	10
11	10	9	9	9
12	9	10	9	9
13	10	10	9	10
รวม	721	681	707	703

ตารางที่ ค – 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดลองการหมักร่วมกันของของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วน 2:1:1:1

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน (ml)			ค่าเฉลี่ย
1	278	298	315	297
2	110	98	100	103
3	100	110	89	100
4	98	98	100	99
5	45	35	55	45
6	32	15	25	24
7	22	12	10	15
8	18	5	18	14
9	19	18	14	17
10	15	10	10	12
11	5	9	10	8
12	8	9	10	9
13	8	9	10	9
รวม	758	726	766	750

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค – 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดลองการหมักร่วมกันของของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วน 1:2:1:1

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน (ml)			ค่าเฉลี่ย
1	138	140	139	139
2	100	141	123	125
3	80	75	95	83
4	60	44	54	63
5	40	20	27	27
6	34	35	39	36
7	65	40	34	46
8	16	27	8	17
9	10	4	30	15
10	10	12	5	9
11	2	2	3	2
12	10	5	7	7
13	9	5	7	7
รวม	574	550	571	577

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค – 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดลองการหมักร่วมกันของของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วน 1:1:2:1

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน (ml)			ค่าเฉลี่ย
1	95	87	67	83
2	60	95	**89**	81
3	50	45	65	53
4	22	12	25	20
5	11	16	16	14
6	12	8	2	7
7	12	6	5	8
8	5	6	9	7
9	3	6	10	6
10	3	4	11	6
11	5	4	5	5
12	5	6	5	5
13	5	6	8	6
รวม	288	301	317	302

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค – 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดลองการหมักร่วมกันของของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วน 1:1:1:2

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อวัน (ml)			ค่าเฉลี่ย
1	120	100	149	128
2	98	89	98	95
3	80	90	53	74
4	49	80	35	55
5	15	45	17	26
6	10	15	16	14
7	10	15	5	10
8	12	17	12	14
9	10	8	7	8
10	8	4	35	16
11	8	2	12	7
12	8	7	26	14
13	8	8	7	8
รวม	436	480	472	467

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง ค่า C/N Ratio

การคำนวณปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงให้

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/m^3

ตัวอย่างการคำนวณ

อัตราส่วนการหมักร่วมกันของหัวเชื้อจุลชีพตั้งต้นกับของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ทั้ง 4 ตัวอย่าง

อัตราส่วน 1:1:1:1

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m^3 x 178 ml x 3.53 /100) = 277.85

อัตราส่วน 1:2:1:1

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m^3 x 280 ml x 7.13 /100) = 882.808

อัตราส่วน 1:1:1:2

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m^3 x 148 ml x 6.08/100) = 397.909

อัตราส่วน 2:2:1:1

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m^3 x 200 ml x 9.20/100) = 813.648

อัตราส่วน 2:1:1:1

Q = (55 MJ/Kg x 0.804 kg/m^3 x 271 ml x 11.06 /100) = 1,325.38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณ C/N Ratio

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

การหมักร่วมกันของของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มทั้ง 4 ตัวอย่าง (นม:กาแฟ:เบียร์: เครื่องดื่มบำรุงกำลัง)

1. อัตราส่วน 1:1:1:1

R = 2(5.92 x (100 – 88.57) + 4.30(4.93 x (100 – 87.67) + 10(4.24 x (100 – 87.67) + 4(3.21 x (100 – 85.45)/2(0.28 x (100 – 88.57) **+** 4.30(0.2 x (100 – 87.67) +10(0.14x (100 – 87.67) **+** 4(0.1 x (100 – 85.45)

= 31.56

2. อัตราส่วน 1:1:1:2

R = 1.34(5.92 x (100 – 88.57) + 6.88(4.93 x (100 – 87.67) + 10(4.24 x (100 – 87.67) + 4(3.21 x (100 – 85.45)/1.34(0.28 x (100 – 88.57) **+** 6.88(0.2 x (100 – 87.67) +10(0.14x (100 – 87.67) **+** 4(0.1 x (100 – 85.45)

= 26.05

3. อัตราส่วน 1:1:2:1

R = 1.34(5.92 x (100 – 88.57) + 3.44(4.93 x (100 – 87.67) + 8.08(4.24 x (100 – 87.67) + 6.4(3.21 x (100 – 85.45)/1.34(0.28 x (100 – 88.57) **+** 3.44(0.2 x (100 – 87.67) +8.08(0.14x (100 – 87.67) **+** 6.5(0.1 x (100 – 85.45)

= 27.60

4. อัตราส่วน 2:2:1:1

R = 2.69(5.92 x (100 – 88.57) + 3.45(4.93 x (100 – 87.67) + 8.08(4.24 x (100 – 87.67) + 3.26(3.21 x (100 – 85.45)/2.69(0.28 x (100 – 88.57) **+** 3.44(0.2 x (100 – 87.67) +8.08(0.14x (100 – 87.67) **+** 3.26(0.1 x (100 – 85.45) = 25.69

5. อัตราส่วน 2:1:1:1

R = 2.24(5.92 x (100 – 88.57) + 5.73(4.93 x (100 – 87.67) + 6.72(4.24 x (100 – 87.67) + 2.71(3.21 x (100 – 85.45)/2.24(0.28 x (100 – 88.57) **+** 5.73(0.2 x (100 – 87.67) +6.72(0.14x (100 – 87.67) **+** 2.71(0.1 x (100 – 85.45)
= 25.43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัย : นางสาวราตรี ซุ่ยหิรัญ

เกิด : วันพุธที่ 16 ตุลาคม 2534

การศึกษา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ที่อยู่ : 67/1 หมู่6 ต.แหลมใหญ่ อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม 75000

อีเมลล์ :kumiko_bom@hotmail.com

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University