

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าด้วยระบบหมัก



นางสาวอมรพรรณ แถมเงิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOGAS PRODUCTION FROM AGED MUNICIPAL SOLID WASTE
BY DIGESTION SYSTEM



Miss Amornpan Thaemngoen

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

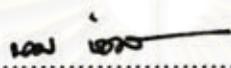
Chulalongkorn University

Academic Year 2008


Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าด้วยระบบหมัก
โดย นางสาวอมรพรรณ แฉมเงิน
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ורתัย ชาวลาภฤทธิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

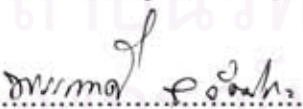
.....  คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ורתัย ชาวลาภฤทธิ)

.....  กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

.....  กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัตติกะ)

อมรพรรณ แดมเงิน : การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าด้วยระบบหมัก. (BIOGAS PRODUCTION FROM AGED MUNICIPAL SOLID WASTE BY DIGESTION SYSTEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. อรทัย ชวลาภาฤทธิ์, 114 หน้า

งานวิจัยได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าจากหลุมเทกองผสมกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ โดยใช้ถังหมักที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองหมักขยะชุมชนโดยผสมขยะที่เตรียมไว้กับหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) ที่มีความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนขยะต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เท่ากับ 60:40 โดยปริมาตรทุกชุดการทดลอง แบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทดลองที่ 1 แปรผันอัตราส่วนระหว่างขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองผสมกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ ตั้งแต่ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 การทดลองที่ 2 ปรับเปลี่ยนปริมาณของแข็งทั้งหมด 3 ค่าคือร้อยละ 3 5 และ 10 และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการให้ความร้อนขยะก่อนทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าขยะชุมชนสดอย่างเดียว (อัตราส่วน 0:1) และขยะชุมชนเก่าอย่างเดียว (อัตราส่วน 1:0) มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.18 และ 0.06 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด ตามลำดับ ใช้เวลาในการผลิตก๊าซทั้งสิ้น 30 และ 16 วันตามลำดับ ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่ากับขยะชุมชนสดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดคือ ที่อัตราส่วนขยะชุมชนเก่ากับขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.12 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ภายในเวลา 13 วัน พบว่า ซีไอดีกรองของน้ำในระบบหลังจากสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงร้อยละ 63.19 โดยมีค่าซีไอดีกรองเท่ากับ 3,136 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการศึกษาการให้ความร้อนขยะที่อัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 พบว่าการให้ความร้อนขยะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีปริมาณสูงขึ้นถึงร้อยละ 73.33

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....อมรพรรณ แดมเงิน.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....อรทัย.....
ปีการศึกษา.....2551.....

##5070642821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ANAEROBIC DIGESTION / COMPLETELY STIRRED TANK REACTOR / BIOGAS / MUNICIPAL SOLID WASTE

AMORN PAN THAEMNGOEN : BIOGAS PRODUCTION FROM AGED MUNICIPAL SOLID WASTE BY DIGESTION SYSTEM. ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 114 pp.

This research aimed to the study efficiency of biogas generation from anaerobic Municipal Solid Waste (MSW) digestion. Organic fraction of MSW from opened dump (aged MSW) and fresh MSW were mixed at various ratios and performed in batch reactors: Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). Seed from anaerobic wastewater treatment were added to MSW sample at ratio of 40% by volume of 5 liter reactor. To achieve such study, the investigation was planned into 3 experiments. The first experiment Mixture of aged MSW and fresh MSW were tested at 5 ratios from 1:0, 1:2, 1:3, 1:6 and 0:1 (by weight). Experiment 2 varied TS of mixture from 3%, 5%, and 10%. The last experiment: Mixture of MSW was heated before fermentation test.

The results showed that the maximum biogas production from mixture of fresh MSW and seed and aged MSW and seed were achieved at 0.18 and 0.06 L/gTVS respectively. The optimum ratio of aged MSW: fresh MSW of 1:3 and TS of 5% showed high biogas production of 0.12 L/gTVS. Biogas was generated within 13 day. After experiment, soluble COD was reduced 63.3%, final soluble COD was equal to 3,136 mg/L.

For the last experiment, compared to heated MSW and unheated MSW, the heated MSW increased methane composition to 73.33% of biogas.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Environmental Engineering..... Student's Signature : *Amornpan Thaemngoen*
Field of Study : Environmental Engineering.... Advisor's Signature : *Orathai Chavalparit*
Academic Year :2008.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ורתัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ และดร. วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่เอื้ออำนวยความสะดวก ช่วยเหลือด้านเอกสารและการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ธรพวงษ์ วิทิตสานต์ คุณเดชะ บุญยะชัย และคุณวรรษัญ จัคนวรรตน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณลือชา ชาวสวน บริษัท โรงงานมาลีสามพราน จำกัด (มหาชน) จังหวัดนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อมาทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณชนกพร แซ่อึ้ง นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบก๊าซ

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้ประสบความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ขยะมูลฝอย..... | 4 |
| 2.1.1 นิยามและความหมาย..... | 4 |
| 2.1.2 แหล่งกำเนิดของมูลฝอย..... | 4 |
| 2.1.3 ชนิดของมูลฝอย..... | 5 |
| 2.1.4 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย..... | 5 |
| 2.1.5 ลักษณะสมบัติของมูลฝอย..... | 6 |
| 2.1.6 ปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทย..... | 8 |
| 2.2 เทคโนโลยีในการกำจัดขยะมูลฝอย..... | 9 |
| 2.2.1 ทางเลือกสำหรับจัดการขยะชุมชน | 10 |
| 2.3 การใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน.. | 13 |
| 2.3.1 จุดเด่นของเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... | 14 |
| 2.3.2 หลักการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ | 15 |
| 2.3.3 กระบวนการทางจุลชีววิทยาของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์..... | 15 |
| 2.3.4 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์..... | 18 |
| 2.3.5 รูปแบบของระบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับของแข็ง..... | 20 |
| 2.3.6 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.3.7 การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนที่เหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพ..... | 22 |
| 2.4 ขยะชุมชนจังหวัดปราจีนบุรี..... | 23 |
| 2.4.1 ปริมาณและลักษณะขยะชุมชน..... | 23 |
| 2.4.2 การจัดการขยะในปัจจุบัน..... | 25 |
| 2.5 ก๊าซชีวภาพ..... | 27 |
| 2.5.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ..... | 28 |
| 2.5.2 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ..... | 29 |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 30 |
| 2.6.1 การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ | 30 |
| 2.6.2 การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน..... | 32 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 35 |
| 3.1 แผนการวิจัย..... | 35 |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... | 35 |
| 3.3 ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบกวนสมบูรณ์..... | 35 |
| 3.4 ระบบวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ..... | 37 |
| 3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง..... | 38 |
| 3.5.1 การเตรียมขยะ..... | 38 |
| 3.5.2 การดำเนินการทดลอง..... | 38 |
| 3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย..... | 42 |
| 3.6.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดค่าให้คงที่ในการวิจัย..... | 42 |
| 3.6.2 พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรต้นที่ทำการศึกษา | 42 |
| 3.6.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ | 42 |
| 3.7 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล..... | 43 |
| 3.7.1 การเก็บตัวอย่าง..... | 43 |
| 3.7.2 การวิเคราะห์..... | 43 |
| 3.7.3 การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบ..... | 43 |
| 3.7.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ..... | 44 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 45 |
| 4.1 องค์ประกอบและลักษณะสมบัติของขยะ..... | 45 |

| | ณ หน้า |
|---|-----------|
| 4.1.1 องค์ประกอบขยะชุมชน..... | 45 |
| 4.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของขยะ..... | 46 |
| 4.1.3 การแปรผันอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสด..... | 47 |
| 4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสดที่มีต่อการผลิต ก๊าซชีวภาพ..... | 48 |
| 4.2.1 การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสด..... | 49 |
| 4.2.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสดต่อการผลิต ก๊าซชีวภาพ..... | 50 |
| 4.3 การศึกษาผลของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 60 |
| 4.4 การศึกษาผลทำให้ความร้อนแก่ขยะก่อนทดลอง..... | 69 |
| 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของทุกชุดการทดลอง..... | 78 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... | 82 |
| 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย..... | 82 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 83 |
| รายการอ้างอิง..... | 84 |
| ภาคผนวก..... | 88 |
| ภาคผนวก ก ผลการทดลองทุกชุดการทดลอง..... | 89 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 114 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---------------|---|
| ตารางที่ 2.1 | ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในปี 2548-2549..... 8 |
| ตารางที่ 2.2 | ปริมาณและอัตราการผลิตมูลฝอยของเทศบาลในจังหวัดปราจีนบุรีปี 2548..... 23 |
| ตารางที่ 2.3 | องค์ประกอบขยะจังหวัดปราจีนบุรี..... 24 |
| ตารางที่ 2.4 | คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซชีวภาพ..... 27 |
| ตารางที่ 3.1 | วิธีวิเคราะห์และค่าในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... 41 |
| ตารางที่ 4.1 | องค์ประกอบขยะของเทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี..... 45 |
| ตารางที่ 4.2 | ลักษณะสมบัติทางเคมีของขยะชุมชนเทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ ที่ใช้ในการ ทดลอง..... 46 |
| ตารางที่ 4.3 | ลักษณะสมบัติของขยะที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน..... 47 |
| ตารางที่ 4.4 | แสดงน้ำหนักขยะที่ใช้ในการทดลองที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน..... 48 |
| ตารางที่ 4.5 | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ..... 58 |
| ตารางที่ 4.6 | องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วนผสมขยะแตกต่างกัน..... 58 |
| ตารางที่ 4.7 | เปรียบเทียบสมรรถภาพของระบบที่อัตราส่วนผสมขยะแตกต่างกัน..... 59 |
| ตารางที่ 4.8 | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ..... 67 |
| ตารางที่ 4.9 | องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... 67 |
| ตารางที่ 4.10 | เปรียบเทียบสมรรถภาพของระบบที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน..... 68 |
| ตารางที่ 4.11 | ผลการวิเคราะห์สมบัติของขยะที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส..... 69 |
| ตารางที่ 4.12 | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการ หมัก..... 75 |
| ตารางที่ 4.13 | องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการ หมัก..... 75 |
| ตารางที่ 4.14 | เปรียบเทียบสมรรถภาพของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนหมัก..... 76 |
| ตารางที่ 4.15 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยอื่น ๆ..... 80 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 Worldwide Distribution of Anaerobic Digestion Plants | 21 |
| รูปที่ 3.1 ถึงปฏิกรณ์..... | 35 |
| รูปที่ 3.2 ระบบวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ..... | 36 |
| รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 1..... | 37 |
| รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 2 | 38 |
| รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 3..... | 39 |
| รูปที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการหมักขยะชุมชนเก่า..... | 49 |
| รูปที่ 4.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการหมักขยะชุมชนสด..... | 50 |
| รูปที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 51 |
| รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรดต่างของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 51 |
| รูปที่ 4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 52 |
| รูปที่ 4.6 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 53 |
| รูปที่ 4.7 ค่าซีโอดีของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 54 |
| รูปที่ 4.8 ปริมาณกรดระเหยง่ายของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 55 |
| รูปที่ 4.9 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 56 |
| รูปที่ 4.10 อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วน ขยะ..... | 56 |
| รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการแปรผันอัตราส่วนขยะ..... | 57 |
| รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัตราส่วนผสมขยะ..... | 59 |
| รูปที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 61 |
| รูปที่ 4.14 ค่าความเป็นกรดต่างของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 61 |
| รูปที่ 4.15 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 62 |
| รูปที่ 4.16 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 62 |
| รูปที่ 4.17 ค่าซีโอดีของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 63 |
| รูปที่ 4.18 ปริมาณกรดระเหยง่ายของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 64 |
| รูปที่ 4.19 ปริมาณความเป็นกรดต่างทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 65 |
| รูปที่ 4.20 อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดของการแปรผันปริมาณ ของแข็งทั้งหมด..... | 65 |

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 4.21 | ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 66 |
| รูปที่ 4.22 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด..... | 68 |
| รูปที่ 4.23 | ค่าอุณหภูมิในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 69 |
| รูปที่ 4.24 | ค่าความเป็นกรดต่างในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 70 |
| รูปที่ 4.25 | ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 70 |
| รูปที่ 4.26 | ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน... | 71 |
| รูปที่ 4.27 | อัตราส่วนของปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดต่อของแข็งทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 71 |
| รูปที่ 4.28 | ค่าซีโอดีในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 72 |
| รูปที่ 4.29 | ปริมาณกรดระเหยง่ายในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 73 |
| รูปที่ 4.30 | ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 73 |
| รูปที่ 4.31 | อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน..... | 74 |
| รูปที่ 4.32 | เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน | 74 |
| รูปที่ 4.33 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพของของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการหมัก..... | 77 |
| รูปที่ 4.34 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสะสม..... | 78 |
| รูปที่ 4.35 | เปรียบเทียบอัตราการกำจัดของแข็งทั้งหมด..... | 79 |
| รูปที่ 4.36 | เปรียบเทียบอัตราการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมด..... | 79 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้ให้คำจำกัดความของพลังงาน คือ ความสามารถในการทำงานซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งให้อาใจให้งานได้ ได้แก่ พลังงานหมุนเวียนและพลังงานสิ้นเปลือง และให้หมายรวมถึงสิ่งให้อาใจให้งานได้ เช่น ความร้อนและไฟฟ้า เป็นต้น ปัจจุบันพบว่าการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของประชากร ทำให้มีการนำเข้าพลังงานอย่างต่อเนื่อง ทั้งน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ลิกไนต์ ไฟฟ้า โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2548) รายงานว่าในปี 2550 มีปริมาณการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น มีค่าเท่ากับ 1,004 เทียบเท่าน้ำมันดิบพันบาร์เรลต่อวัน เพื่อลดมูลค่าการนำเข้าพลังงานดังกล่าวจึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานอื่นมารองรับหรือทดแทนพลังงานที่ใช้กันอยู่

ขยะเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาก่อให้เกิดประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ โดยปริมาณขยะมูลฝอยของประเทศไทยนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปีตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นและการขยายตัวของชุมชน ปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศประมาณ 14.72 ล้านตันต่อปี หรือ 40,332 ตันต่อวัน สำหรับแนวทางการกำจัดขยะมูลฝอยที่นิยมใช้ทั่วไปมีดังนี้ คือ การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล การหมักทำปุ๋ย และการเผาโดยใช้เตาเผาขยะ แต่ละวิธีต่างมีข้อดีข้อเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) สำหรับเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะปัจจุบันมี 3 วิธีคือ เทคโนโลยีการเผาขยะมูลฝอยในเตาที่ถูกหลักสุขาภิบาล (incinerator) เทคโนโลยีการฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ (sanitary landfill) และเทคโนโลยีการหมักในถังหมักสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งเทคโนโลยีแบบที่ 2 และแบบที่ 3 จะทำให้ได้ก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 50-75 ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟจึงนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 36-39 และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ประมาณร้อยละ 1-3 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

สำหรับขยะชุมชนจากหลุมแบบเทกองเป็นการจัดการขยะอย่างไม่ถูกสุขลักษณะ ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำขยะชุมชนเก่ามาแปรรูปและกำจัดอย่างเหมาะสม โดยมีการแยกองค์ประกอบขยะมาใช้ประโยชน์ได้ ขยะที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ เศษพลาสติกและกระดาษถูกคัดแยกไปทำเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel) ส่วนขยะที่เป็นอินทรีย์สาร ได้แก่ เศษอาหาร ผักผลไม้ที่เหลือจากการคัดเลือกจึงเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม มีแนวทางหนึ่งในการจัดการขยะอินทรีย์เก่าคือนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งการศึกษานี้ได้นำขยะชุมชนเก่ามาผสมรวมกับขยะชุมชนใหม่สดใน

อัตราส่วนที่เหมาะสม และการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนการหมัก ซึ่งเป็นการนำเอาของเสียมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน โดยวิธีการทางชีวภาพภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนจะให้ผลพลอยได้ออกมาเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองและขยะชุมชนสดที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบหมักในถังปฏิกรณ์ที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์
2. เพื่อศึกษาผลของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมดของขยะและผลของการให้ความร้อนต่อขยะก่อนหมักที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดลองแบบแบตช์ (batch) โดยใช้ถังหมักที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ
2. ตัวอย่างขยะชุมชนจากเทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี โดยแยกขยะเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกอง มีอายุไม่เกิน 1 ปี เป็นขยะประเภท เศษพืช ผัก ผลไม้ หญ้าแห้ง ซึ่งมีการแยกขยะที่เป็นพลาสติก ท่อนไม้ และผ้า และ 2) ขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ โดยทดลองแปรผันอัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 5 ค่า คือ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 โดยในแต่ละชุดการทดลองจะทำการผสมขยะที่เตรียมไว้กับหัวเชื้อจุลชีพ (Seed)ที่มีความเข้มข้น 2.5 กรัม/ลิตร ที่อัตราส่วนขยะต่อหัวเชื้อจุลชีพ= 60:40 โดยปริมาตร
3. หัวเชื้อจุลชีพที่ใช้ในการทดลองมาจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแปรรูปน้ำผลไม้ที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย และปรับให้มีปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดเท่ากับ 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ทดลองแปรผันอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดของขยะ 3 ค่า คือ ร้อยละ 3 5 และ 10
5. ทดลองเปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนทำการหมักที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสกับขยะที่ไม่ผ่านความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 รู้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองโดยใช้ระบบหมักในถังปฏิกรณ์ที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์
- 2 เป็นแนวทางในการนำขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองมาใช้ประโยชน์ในการนำมาผลิตพลังงานทดแทน
- 3 นำผลการทดลองที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะมูลฝอย

2.1.1 นิยามและความหมาย

มูลฝอย หมายความว่า เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น (พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535)

ขยะมูลฝอย (Waste) หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย (Solid Waste) มีผลเสียต่อสุขภาพทางกายและจิตใจเนื่องจากความสกปรก เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ทำให้เกิดมลพิษและทัศนียภาพ

มลพิษที่เกิดจากขยะมูลฝอย (Waste Pollution) หมายถึง สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมอันเนื่องมาจากขยะมูลฝอย เช่น การทิ้งขยะลงในแหล่งน้ำและการเกิดกลิ่นเหม็นจากกองขยะ หากการจัดการมูลฝอยไม่เหมาะสมแล้วย่อมก่อให้เกิดปัญหาต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมทั้งในด้านสุขภาพอนามัยของประชาชน เกิดปัญหาภาวะมลพิษสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐกิจและสังคม (พัฒนา มูลพฤกษ์, 2546)

2.1.2 แหล่งกำเนิดมูลฝอย

แหล่งกำเนิดมูลฝอย (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2541) สามารถแบ่งได้ 5 ประเภท คือ

- 1) ที่พักอาศัย
- 2) ย่านธุรกิจการค้า ตลาดสด
- 3) ย่านอุตสาหกรรม
- 4) สถานที่ราชการ สถาบันการศึกษา
- 5) ย่านเกษตรกรรม

ซึ่งแหล่งกำเนิดแต่ละประเภท ทำให้เกิดมูลฝอยที่ต่างชนิดกัน โดยชนิดของมูลฝอยที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละแหล่งกำเนิด

2.1.3 ชนิดของมูลฝอย

การจำแนกชนิดของมูลฝอยสามารถจำแนกได้หลายวิธีการ ขึ้นอยู่กับจะใช้ปัจจัยใดเป็นเกณฑ์ในการจำแนก เช่น ถ้าจำแนกตามลักษณะของมูลฝอย ก็สามารถแบ่งมูลฝอยออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) มูลฝอยที่นำเปื้อยได้ง่าย เป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่สามารถนำเปื้อยพุงหรือเกิดการย่อยสลายโดยจุลชีพได้ง่าย คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของขยะชนิดนี้ คือ มีความชื้นสูง จะย่อยสลายและนำเปื้อยได้เร็วมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออากาศร้อนและการนำเปื้อยของขยะชนิดนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้น ขยะชนิดนี้ ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก เศษเนื้อที่เหลือทิ้งจากการเตรียมและการปรุงอาหาร ส่วนใหญ่มักจะมาจากครัวของบ้าน ภัตตาคาร โรงอาหาร ตลาด ฯลฯ

2) มูลฝอยที่นำเปื้อยได้ยากหรือไม่ได้เลย เป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ย่อยสลายด้วยจุลชีพได้ยาก ได้แก่ ขยะที่ประกอบด้วยวัสดุทั้งที่เผาไหม้ได้ เช่น กระดาษ เศษไม้ เศษผัก ขาง หนักรื่องเรือน เศษใบไม้กิ่งไม้ และพลาสติก ตลอดจนวัสดุที่ไม่เผาไหม้ เช่น แก้ว กระจก กระเบื้อง กระจกบรจุอาหาร ภาชนะอลูมิเนียม เหล็กและโลหะอื่นๆ

3) มูลฝอยอันตรายหรือสารเคมี ได้แก่ สารใดๆ ที่จะเป็นโทษต่อชีวิตมนุษย์ พืช และสัตว์ทั้งเฉียบพลัน และในระยะยาว สามารถพบได้ในหลายรูปแบบ เช่น สารเคมีอันตราย วัตถุระเบิด สารไวไฟ ซึ่งในการจัดการต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก และสารที่ต้องใช้กรรมวิธีพิเศษจึงจะทำละลายได้ เช่น พลาสติก ฟิล์มถ่ายรูป กากแร่ต่างๆ ขยะจากโรงพยาบาล เป็นต้น

2.1.4 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ในประเทศไทยตัวอย่างมูลฝอยที่สุ่มออกมา จะนำมาแยกองค์ประกอบเป็นประเภทต่างๆ 10 ประเภท (กรมอนามัย กองสุขาภิบาลชุมชนและประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ, ม.ป.ป.) ได้แก่

1. ผัก ผลไม้และเศษอาหาร หมายถึง เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหารที่เหลือจากการเตรียมการปรุง และการบริโภค (ยกเว้นเปลือกหอย กระจุก ก้างปลา ช้างข้าวโพด ก้านกระถิน) เช่น ข้าวสุก เปลือกผลไม้ เนื้อสัตว์ ฯลฯ
2. กระดาษ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเยื่อกระดาษ ตัวอย่างเช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ แมกกาซีน หนังสือต่างๆ ใบปลิว การ์ด ถุงกระดาษ กล่องกระดาษ กระดาษอัด ฯลฯ
3. พลาสติก หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก ตัวอย่างเช่น ถุงพลาสติก ภาชนะพลาสติก ของเล่นเด็กที่ทำด้วยพลาสติก ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ฯลฯ

4. ผ้า หมายถึง สิ่งทอต่างๆที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ผ้า ลินิน ผ้าไนลอน ตัวอย่างเช่น ด้าย เสื้อผ้า ผ้าเช็ดมือ ถุงเท้า ฯลฯ
5. ไม้ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ ไม้ไผ่ ฟาง หญ้า เศษไม้ รวมทั้งดอกไม้
6. ยางและหนัง หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว ตัวอย่างเช่น เครื่องหนัง รองเท้า ลูกบอลหนัง กระเป๋าหนัง ฯลฯ
7. แก้ว หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว ตัวอย่างเช่น กระจก ขวดแก้ว หลอดไฟ เครื่องแก้ว ฯลฯ
8. โลหะ หมายถึง วัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำจากโลหะ ตัวอย่างเช่น กระจังโลหะ สายไฟ Foil ภาชนะต่างๆ ตะปู ฯลฯ
9. หิน กระจก เบื้อง กระจก สัตว์ และเปลือกหอย หมายถึง เศษหิน เศษกระจก สัตว์ เปลือกหอย ตัวอย่างเช่น เซรามิก เปลือกหอย กุ้ง ปู กระจก สัตว์ ก้างปลา ฯลฯ
10. อื่นๆ หมายถึง วัสดุอื่นใดที่ไม่สามารถจัดกลุ่มเข้ากลุ่มต่างๆ ข้างต้น รวมถึง ฟัน ทρας เถ้า

2.1.5 ลักษณะสมบัติของมูลฝอย

ลักษณะมูลฝอยที่นิยมทำการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผน (กรมอนามัย กองสุขภาพชุมชนและประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ, ม.ป.ป.) ได้แก่

1. ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอย (Physical Characteristics)

1) องค์ประกอบทางด้านกายภาพ (Physical composition)

นิยมจำแนกตามชนิดของสิ่งของต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นมูลฝอยทั้งหมด โดยแบ่งเป็นมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ (Combustible) เช่น โลหะ แก้ว กระจก เบื้อง อิฐ หิน กรวด และอื่นๆ องค์ประกอบเหล่านี้จะถูกแบ่งออกตามสัดส่วนโดยน้ำหนักหรือโดยปริมาตรก็ได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วมักนิยมแบ่งตามสัดส่วนโดยน้ำหนักมากกว่า ในประเทศอุตสาหกรรมหรือประเทศที่ประชากรมีรายได้สูง มูลฝอยจากชุมชนส่วนใหญ่จะเป็นพวกเศษกระดาษและพลาสติก ในขณะที่ประเทศเกษตรกรรมหรือประเทศที่ประชากรมีรายได้ต่ำ มูลฝอยจะเป็นพวกเศษอาหารเป็นส่วนใหญ่

2) ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น ได้แก่ ค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมูลฝอย แบ่งได้เป็นความหนาแน่นปกติ (Bulk density) คือ ความหนาแน่นปกติโดยไม่มีการอัดหรือบีบมูลฝอยให้ผิดไปจากธรรมชาติ ความหนาแน่นในขณะขนส่ง (Transported density) คือ ความหนาแน่นของมูลฝอยในรถยนต์เก็บขนในขณะขนส่ง ซึ่งปกติแล้วจะถูกทำให้แน่นขึ้นเนื่องจากการสั่นสะเทือน และการอัดของพนักงานเก็บขนมูลฝอย ความหนาแน่นของมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอยด้วย เช่น

มูลฝอยที่มีพวกเศษอาหาร จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่ามูลฝอยที่มีพวกกระดาษ หรือพลาสติกมาก โดยทั่วไปมูลฝอยจากชุมชนในกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้สูง จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างน้อย คือ ประมาณ 100-170 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ปานกลาง จะมีค่าความหนาแน่น ประมาณ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ต่ำ จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างสูง ประมาณ 250-500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. ลักษณะทางเคมีของมูลฝอย (Chemical Characteristics)

1) **ความชื้น (Moisture content)** หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอย โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอยมีทั้งน้ำที่อยู่ภายในตัวของมูลฝอยเอง (Inherent water) เช่น น้ำที่อยู่ในพืช ผัก เศษอาหาร ซึ่งมีประมาณ 1/2 ถึง 2/3 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และน้ำที่ติดอยู่ภายนอก (Attached water) เช่น น้ำฝน น้ำที่ออกมาจากเศษอาหาร ซึ่งประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมด

2) **ปริมาณของแข็งรวม (Total solids)** หมายถึง ปริมาณมูลฝอยแห้งที่เหลือภายหลังจากนำน้ำออกไปหมดแล้ว

3) **ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile solids)** หมายถึง ส่วนของมูลฝอยที่สามารถติดไฟ หรือเผาไหม้ที่ความร้อนสูงให้หมดไปโดยแปลงสภาพเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ

4) **ปริมาณขี้เถ้า (Ash)** หมายถึง กากของมูลฝอยที่เหลือจากการเผาไหม้

ความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณขี้เถ้า มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน บางทีนิยมเรียกว่า “The Three Components” ถ้าทราบค่าลักษณะของมูลฝอยจำนวน 2 ค่า ในกลุ่มนี้จะสามารถหาค่าของตัวที่เหลือได้ ข้อมูลทั้ง 3 ค่าสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาประเภท เศรษฐกรรมหรือประเทศกำลังพัฒนา มีค่าความชื้นสูงกว่ามูลฝอยในกลุ่มประเทศอุตสาหกรรม สำหรับมูลฝอยในประเทศไทยมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 50-60

5) **ค่าความร้อน (Calorific value)** หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มูลฝอยซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์การพิจารณาเลือกวิธีการกำจัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการเผาว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เนื่องจากมูลฝอยมีค่าความร้อนต่ำกว่า 800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของมูลฝอยจะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาด้วย ทำให้สิ้นเปลือง นอกจากนี้ค่าความร้อนของมูลฝอยยังใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเตาเผาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

6) **องค์ประกอบด้านเคมี (Chemical composition)** ได้แก่

- ปริมาณสารไนโตรเจน (Nitrogen N)
- ปริมาณสารฟอสฟอรัส (Phosphorus P)
- ปริมาณโปแตสเซียม (Potassium K)
- ปริมาณสารคาร์บอน (Carbon C)
- ปริมาณไฮโดรเจน (Hydrogen H)

ข้อมูลองค์ประกอบด้านเคมีส่วนใหญ่จะนำมาใช้การเลือกวิธีและออกแบบระบบกำจัดมูลฝอย เช่น ใช้คำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในเตาเผา ใช้คำนวณค่าความร้อนของมูลฝอย ตลอดจนใช้คำนวณหาสัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) และปริมาณสารอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการหมักปุ๋ย เป็นต้น

7) สารเคมีเป็นพิษ เช่น โลหะหนักต่าง ๆ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการประเมินขอบเขตและความรุนแรงของภาวะการปนเปื้อนของของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

3. ลักษณะทางชีวภาพ (Biological Characteristics)

ได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (Microorganisms) ที่ปะปนอยู่ในมูลฝอย เช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและไวรัส ซึ่งบางชนิดอาจทำให้เกิดโรคได้ (Pathogenic) บางชนิดไม่ทำให้เกิดโรค (Non-pathogenic) บางชนิดเป็นตัวช่วยให้มูลฝอยเกิดการย่อยสลายได้ดี เช่น Decomposition bacteria เป็นต้น

2.1.6 ปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทย

จากรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2550 พบว่าขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยยังคงมีปริมาณสูง โดยในปี 2550 มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั่วประเทศประมาณ 14.72 ล้านตัน หรือ 40,012 ตันต่อวัน (ยังไม่รวมข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยก่อนที่จะนำมาทิ้งในถัง) เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครมีขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้ 8,532 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศ ในขณะที่ในเขตเทศบาลและเมืองพัทยา มีขยะมูลฝอยประมาณ 13,600 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 34 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศ และนอกเขตเทศบาลซึ่งครอบคลุมพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลทั้งหมดเกิดขึ้นประมาณ 18,200 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 45 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศ เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา พบว่า ขยะมูลฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียง 0.12 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 1 โดยในเขตเทศบาลมีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 5 ในขณะที่ขยะมูลฝอยนอกเขตเทศบาลลดลงกว่าร้อยละ 3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวของชุมชนซึ่งมีองค์การบริหารส่วนตำบลจำนวน 117 แห่งยกฐานะเป็นเทศบาล ดังตารางที่ 2.1 อย่างไรก็ตาม อัตราขยะมูลฝอยเฉลี่ยทั่วประเทศยังคงอยู่ที่ประมาณ 0.65 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในปี 2549 - 2550

| พื้นที่ | ปริมาณขยะมูลฝอย (ตันต่อวัน) | | เพิ่มขึ้น/ลดลง (ร้อยละ) |
|------------------------------|-----------------------------|---------|----------------------------|
| | ปี 2549 | ปี 2550 | |
| 1. กรุงเทพมหานคร* | 8,403 | 8,532 | + 1.54 |
| 2. ในเขตเทศบาล**(1,277 แห่ง) | 12,912 | 13,600 | +5.32 |
| 2.1 ภาคกลางและภาคตะวันออก | 5,619 | | |
| 2.2 ภาคเหนือ | 2,195 | | |
| 2.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ | 2,970 | | |
| 2.4 ภาคใต้ | 2,128 | | |
| 3. นอกเขตเทศบาล (6,500 แห่ง) | 18,697 | 18,200 | -2.66 |
| รวมทั้งประเทศ | 40,012 | 40,332 | +0.80 |

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนเทศบาลและองค์การบริหารส่วนตำบล

* ข้อมูลการเก็บขนขยะมูลฝอย รวบรวมจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

** เทศบาลรวมเมืองพัทยา มีเทศบาลที่ได้รับการยกฐานะจากองค์การบริหารส่วนตำบล จำนวน 117 แห่ง

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2551.

2.2 เทคโนโลยีในการกำจัดขยะมูลฝอย

การกำจัดขยะมูลฝอย มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกสุขลักษณะ ซึ่งมีหลายวิธีให้ปฏิบัติกันตามความเหมาะสมตามคุณสมบัติและองค์ประกอบของขยะมูลฝอยกับแต่ละพื้นที่ ได้แก่ การนำขยะสดไปเลี้ยงสัตว์ การถมบùnที่ลุ่ม การทำปุ๋ยหมัก การนำขยะไปทิ้งทะเล การเผาในเตาเผา การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล การรณรงค์ลดปริมาณขยะมูลฝอย (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ศูนย์พัฒนาทรัพยากรการศึกษา, ม.ป.ป.) ซึ่งในปัจจุบันไม่ได้มองแค่การกำจัดเท่านั้น สามารถนำผลพลอยได้จากเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยแบบต่างๆ มาผลิตเป็นพลังงานได้อีกด้วย (จินตนา อุบลวัฒน์ และไชยวัฒน์ ผลลาภ, 2547)

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะในปัจจุบัน สรุปได้ 3 วิธีหลัก (จินตนา อุบลวัฒน์ และไชยวัฒน์ ผลลาภ, 2547) คือ

- 1) เทคโนโลยีการเผาขยะมูลฝอยในเตาเผาที่ถูกหลักสุขาภิบาล (incinerator)
- 2) เทคโนโลยีการฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ (sanitary landfill)
- 3) เทคโนโลยีการหมักในถังหมักสภาพไร้อากาศ (anaerobic fermentation)

เทคโนโลยีแบบที่หนึ่งจะได้รับความร้อนนำมาผลิตไอน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ส่วนเทคโนโลยีแบบที่ 2 และแบบที่ 3 จะได้ก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตพลังงานจากขยะ ได้แก่ gasification & melting system เป็นการเผาที่อุณหภูมิสูง 1,300-1,400 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ได้สามารถนำไปใช้กับหม้อไอน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ส่วนขยะอัดก้อน (Refuse Derived

Fuel, RDF) เป็นการเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงโดยนำขยะมาอัดให้เป็นก้อนขนาดที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

2.2.1 ทางเลือกสำหรับการจัดการขยะชุมชน

สำหรับเมืองขนาดเล็กที่มีปริมาณขยะต่ำกว่า 100 ตัน/วัน สามารถนำเทคโนโลยีมารวมกันได้เป็นทางเลือกต่างๆ ดังนี้ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2005)

- 1) การผลิตขยะเชื้อเพลิง และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ
- 2) ถังหมักแบบไร้อากาศ การทำปุ๋ยอินทรีย์ และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ
- 3) การฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ และผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ
- 4) เตาเผาขยะเพื่อผลิตไฟฟ้า และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

โดยที่ทางเลือกที่ 1 และ 2 นั้น มีเงื่อนไขว่า จะต้องแยกขยะที่แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะการแยกขยะอินทรีย์ พืชเศษอาหารออกจากขยะอื่นๆ และขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ เนื่องจากถ้าทิ้งขยะทุกประเภทรวมกันแล้วบรรทุกรวมกันเพื่อมาทำการคัดแยกที่ศูนย์กำจัดขยะนั้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกต่ำมาก และขยะบางประเภท เช่น กระดาษ หรือบรรจุภัณฑ์บางอย่างอาจไม่สามารถนำไปรีไซเคิลต่อได้เลย ซึ่งถ้าประชาชนและหน่วยงานต่างๆ ในชุมชนนั้นๆ ไม่สามารถทำได้ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการดำเนินการตามทางเลือกทั้ง 2 ทางนี้ต่ำเกินไป และคงจะต้องหันมาใช้ทางเลือกที่ 3 นั่นคือนำทุกอย่างมาทิ้งรวมกันในหลุมฝังกลบ ส่วนทางเลือกที่ 4 นั้นไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพราะปริมาณขยะมีน้อยเกินไปที่จะลงทุนทำระบบนี้

ทางเลือกที่ 1 การผลิตขยะเชื้อเพลิงและการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

การนำขยะมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง เป็นการสร้างแหล่งพลังงานที่เกิดขึ้นใหม่ได้อย่างต่อเนื่องใช้แล้วไม่หมดไปทราบที่ยังมีขยะเข้ามาให้กำจัดอยู่ ส่วนขยะที่เหลือซึ่งไม่สามารถเผาไหม้ได้ก็จะถูกส่งไปกำจัดยังหลุมฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

เนื่องจากขยะชุมชนมีองค์ประกอบที่หลากหลาย การที่จะนำส่วนที่สามารถทำเป็นเชื้อเพลิงได้ (วัสดุที่เผาไหม้ได้) ไปเข้าระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะนั้น จำเป็นต้องมีการคัดแยกขยะเสียก่อน ดังนั้นปัจจัยที่จะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือการคัดแยกที่ดีตั้งแต่ต้นทาง เพราะหากปล่อยให้ประชาชนทิ้งขยะทุกประเภทรวมกันหมด แล้วมาเข้าระบบการคัดแยกที่ปลายทางนั้นจะต้องลงทุนกับระบบคัดแยกที่ซับซ้อนด้วยงบประมาณที่สูง และต้องใช้แรงงานคนในการคัดแยกเป็นจำนวนมาก อีกทั้งโอกาสที่จะเกิดการปะปนกันระหว่างประเภทก็เป็นไปได้มาก ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

จากขยะที่ได้รับมาทั้งหมดประมาณ 65 ตัน/วัน จะพยายามนำส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้แต่รีไซเคิลได้ออกจากระบบก่อน ได้แก่ โลหะ และแก้ว ส่วนหนึ่งของโลหะและแก้วประมาณร้อยละ 50 จะถูกรีไซเคิลกลับไปใช้ใหม่ ประมาณ 2.3 ตันต่อวัน

สำหรับขยะที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ เศษอาหาร ใบไม้ วัชพืช เศษผ้า ลังทอ ยางและหนัง รวมถึงกระดาษและพลาสติก จะส่งไปยังระบบคัดแยกก่อนเข้าเครื่องผลิตขยะเชื้อเพลิง ซึ่งคาดว่าจะมีไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งที่สามารส่งเข้าเครื่องได้ประมาณ 28.6 ตัน/วัน ส่วนที่เหลือที่ใช้ไม่ได้ จะถูกส่งไปกำจัดที่หลุมฝังกลบรวมกับขยะอื่นๆ ทั้งหมด เช่น หิน กระจก กระจก เศษดินต่างๆ รวมมีขยะลงหลุมฝังกลบขนาด 50 ไร่ เป็นปริมาณ 34.1 ตัน/วัน ซึ่งจะใช้ไปได้ประมาณ 20 ปี

ผลที่ได้รับจากระบบก็คือ ขยะเชื้อเพลิงปริมาณ 28.6 ตัน/วัน ซึ่งสามารถส่งไปขายเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม นับเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนอีกรูปแบบหนึ่ง ส่วนวัสดุที่สามารถนำกลับไปเข้ากระบวนการรีไซเคิลได้นั้น จะช่วยลดอัตราการใช้ทรัพยากรใหม่ และประหยัดพลังงานในการผลิตโลหะและแก้ว สุดท้ายขยะที่เหลือทั้งหมดก็ได้รับการกำจัดอย่างถูกหลักสุขาภิบาลในหลุมฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ อย่างไรก็ตามเตาเผาที่จะป้อนเชื้อเพลิงขยะจำเป็นต้องมีการออกแบบเผื่อ (เช่น ระบบเผาไหม้ และระบบป้อนเชื้อเพลิง) ให้สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติดังกล่าวได้ หรือสามารถเผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ปัจจุบัน เช่น ถ่านหิน หรือชีวมวลได้

ทางเลือกที่ 2 ถังหมักแบบไร้อากาศ การทำปุ๋ยอินทรีย์ และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

ทางเลือกนี้ต้องอาศัยปัจจัยเพื่อความสำเร็จเช่นเดียวกับทางเลือกแรก คือ การคัดแยกที่ดีตั้งแต่ต้นทาง โดยทางเลือกที่ 2 นี้ แม้จะมีความสลับซับซ้อนอยู่บ้างเพราะใช้เทคโนโลยีการจัดขยะหลายรูปแบบผสมผสานกัน แต่จะเป็นการนำขยะเหลือใช้มาสร้างประโยชน์ให้ได้มากที่สุดตามความเป็นไปได้ของขยะแต่ละประเภท

ระบบดังกล่าว เป็นการนำขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหารที่มีสัดส่วนสูงถึงประมาณร้อยละ 25 มาทำการย่อยสลายในระบบปิดที่ควบคุมได้ แทนการปล่อยให้เกิดการหมักและย่อยสลายตามธรรมชาติในหลุมฝังกลบ และได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า โดยได้ตั้งสมมติฐานว่าจะมีเศษอาหารจำนวนหนึ่ง ประมาณร้อยละ 25 ไม่สามารถส่งเข้าไปหมักในถังหมักได้ ทำให้มีขยะประเภทเศษอาหารป้อนเข้าถังหมักประมาณ 12.2 ตันต่อวัน ผลิตก๊าซชีวภาพได้ ประมาณ 1,800 – 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 150 กิโลวัตต์ เพื่อขายไฟฟ้า เข้าระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคผ่านโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer, VSPP)

เศษอาหารที่นำเข้าถังหมักไม่ได้ และกากตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ออกมาจากถังหมัก สามารถนำไปผสมกับขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก เช่น ใบไม้ วัชพืช เพื่อผลิตปุ๋ยหมักหรือสารปรับปรุงดินได้ โดยสร้างโรงผลิตปุ๋ยหมักอินทรีย์ใน

บริเวณใกล้เคียง ซึ่งสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์หรือสารปรับปรุงดินได้ประมาณ 20 ตันต่อวัน ขยะส่วนที่สามารถส่งไปรีไซเคิลได้ ประมาณร้อยละ 50 ของขยะประเภท แก้ว กระดาษ โลหะ และ ร้อยละ 25 ของขยะพลาสติก รวมเป็นปริมาณ 8.5 ตันต่อวัน จะส่งต่อไปยังวงจรของการรีไซเคิล สาเหตุที่คาดการณ์สัดส่วนของขยะประเภทพลาสติกที่นำไปรีไซเคิลต่ำกว่าวัสดุอื่น เนื่องจากขยะพลาสติกมักจะเป็นถุงพลาสติกเป็นส่วนมาก ซึ่งมีความเป็นไปได้ต่ำมากในการนำกลับมาใช้ซ้ำหรือนำไปรีไซเคิล การนำวัสดุเก่ากลับไปเข้าวงจรรีไซเคิลเพื่อผลิตวัสดุชิ้นนั้นจะช่วยลดปริมาณทรัพยากรใหม่ที่จะต้องใช้ และช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานในการหลอมวัสดุใหม่ได้มาก

นอกเหนือจากนี้คือ หิน กระจก เบื้อง กระจก ยาง หนังสติ๊ก เศษดินต่างๆ ซึ่งเป็นวัสดุที่ย่อยสลายไม่ได้ รีไซเคิลไม่ได้ และนำไปใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้อีกแล้ว จะถูกนำไปกำจัดถาวรในหลุมฝังกลบ ดังนั้นหลุมฝังกลบนี้จึงจะไม่มีการเกิดการหมักย่อยเพิ่มเติมเพราะจะมีสารอินทรีย์ปนอยู่น้อยมาก ทำให้ไม่มีน้ำชะขยะมากเท่ากับหลุมฝังกลบทั่วไป ไม่มีกลิ่นเน่าเสีย และไม่เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค หลุมฝังกลบนี้จะมีขนาด 40 ไร่สำหรับการใช้งานในเวลา 20 ปี

ทางเลือกที่ 3 การฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะและผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ

ทางเลือกสำหรับกรณีที่ประชาชนในเขตเทศบาลไม่สามารถทำการแยกขยะก่อนทิ้ง และทิ้งขยะอย่างถูกวิธีได้ วิธีการกำจัดขยะที่มีต้นทุนต่ำที่สุดคือการนำขยะทุกประเภทเข้าหลุมฝังกลบ เนื่องจากหลุมฝังกลบนี้จะมีสัดส่วนของขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ประมาณร้อยละ 50 จากขยะเศษอาหาร กระดาษ ใบไม้ และวัชพืช ซึ่งแม้จะมีระยะเวลาในการย่อยสลายที่แตกต่างกันแต่ก็จะเกิดปฏิกิริยาการหมักย่อยภายในหลุมฝังกลบ และสามารถนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นออกมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบหลุมสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ ควบคุมไปกับการออกแบบและวางระบบท่อเพื่อดูดก๊าซออกมาใช้ โดยมีระบบบำบัดน้ำชะขยะที่เกิดขึ้น ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถสร้างระบบผลิตไฟฟ้าประมาณ 200 กิโลวัตต์

หลุมฝังกลบของทางเลือกนี้จะต้องมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับทางเลือกอื่นๆ โดยมีขนาดประมาณ 90 ไร่สำหรับ 20 ปี

ทางเลือกที่ 4 เตาเผาขยะเพื่อผลิตไฟฟ้า และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

สำหรับกรณีที่ประชาชนในเขตเทศบาลไม่สามารถทำการแยกขยะก่อนทิ้ง และทิ้งขยะอย่างถูกวิธีได้ วิธีการหนึ่งก็คือการสร้างโรงไฟฟ้าที่สามารถเผาขยะรวมได้ โดยคัดวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ และวัสดุที่ระเบิดได้ออก เช่น กระป๋องสเปรย์ แก้ว โลหะ หิน กระจก เบื้อง กระจก เศษดินต่างๆ รวมเป็นปริมาณ 7.8 ตันต่อวัน เพื่อนำไปฝังกลบ ขยะที่เหลือทั้งหมดจะถูกลำเลียงไปเผาไหม้อย่างถูกวิธีในโรงเผาขยะที่ได้มาตรฐาน โดยความร้อนจากการเผาไหม้จะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ตั้งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ประมาณ 0.6 เมกะวัตต์ และได้ซื้อถ่านจากการเผาไหม้ราว 8.8 ตันต่อวัน จะนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบเช่นกัน

หลุมฝังกลบของทางเลือกนี้จะมีขนาดเล็กที่สุด เนื่องจากวัสดุส่วนมากถูกเผารวมกันไปหมด ทำให้สามารถใช้หลุมฝังกลบขยะขนาด 25 ไร่ สำหรับระยะเวลา 20 ปี อย่างไรก็ตาม แม้ทางเลือกนี้จะมีความยืดหยุ่นสูงเพราะไม่ต้องการการคัดแยกที่ซับซ้อน และสามารถเผาวัสดุเหลือใช้หลายอย่างได้พร้อมกันหมด หากแต่ปริมาณขยะของพื้นที่ที่ทำการศึกษายังมีปริมาณค่อนข้างน้อยที่จะทำให้โรงไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากขนาดโรงไฟฟ้าตามปริมาณขยะที่ป้อนมีขนาดเล็ก และไม่ใช่นิวเคลียร์ที่ใช้งานกันทั่วไป ทำให้มีเงินลงทุนสูงเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ และยากที่จะคุ้มทุน ดังนั้นทางเลือกในการกำจัดขยะโดยการเผาทำลาย ด้วยการใส่เตาเผาขยะอย่างเดียวโดยไม่มีการผลิตไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ ดังตัวอย่างของโรงเผาขยะขนาดเล็กที่เกาะสมุย ซึ่งทำการเผาขยะประมาณ 70 ตันต่อวัน แต่ไม่มีการนำพลังงานความร้อนที่ได้มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า

การเลือกใช้เทคโนโลยีในการกำจัดขยะมูลฝอยขึ้นกับคุณสมบัติและองค์ประกอบของขยะในแต่ละจังหวัด และควรพิจารณาข้อดีข้อเสียของเทคโนโลยี ความคุ้มค่าในการลงทุน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคนในชุมชน

2.3 การใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน

โดยทั่วไปสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], ม.ป.ป.) ประกอบด้วย

1. การบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment/Front-end Treatment) ประกอบด้วยการคัดแยก (Sorting) ขยะมูลฝอยอินทรีย์จากขยะมูลฝอยรวม หรือการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ และลดขนาด (Size Reduction) ของขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย และเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอ (Homogeneity) ของสารอินทรีย์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed Substrate) รวมทั้งเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบ ซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดขั้นต้นสำหรับเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

(1) Dry Separation Process ซึ่งมักจะใช้ Rotary Screen เป็นอุปกรณ์สำคัญในการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ และใช้ Shredder ในการบดย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้มีขนาดเหมาะสำหรับการย่อยสลาย

(2) Wet Separation Process จะใช้หลักการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะมูลฝอยอินทรีย์โดยวิธีการจม-ลอย (Sink-Float Separation) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์สำคัญที่เรียกว่า Pulper ทำหน้าที่ในการคัดแยกและบดย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์

2. การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เป็นขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์สำหรับนำไปใช้เป็นพลังงาน และเพื่อทำให้ขยะมูลฝอยอินทรีย์

ถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น ปราศจากเชื้อโรคและเมล็ดวัชพืช โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน ซึ่งขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทหลักๆ คือ Dry Digestion Process และ Wet Digestion Process ซึ่งมีการควบคุมการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content) ให้เป็นประมาณร้อยละ 20-40 และน้อยกว่าร้อยละ 20 ตามลำดับ

3. การบำบัดขั้นหลัง (Post-treatment) ส่วนใหญ่จะเป็นขั้นตอนการจัดการกากตะกอนจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้มีความคงตัวมากขึ้น เช่น การนำไปหมักโดยใช้ระบบหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ รวมทั้งการคัดแยกเอาสิ่งปะปนต่างๆ เช่น เศษพลาสติกและเศษโลหะออกจากปุ๋ยหมัก โดยใช้ตะแกรงร่อน ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมัก ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืช เช่น การอบเพื่อฆ่าเชื้อโรคและลดความชื้น เป็นต้น

2.3.1 จุดเด่นของเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], ม.ป.ป.)

1. ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการของเสีย

- เป็นเทคโนโลยีการบำบัดขยะมูลฝอยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- สามารถแก้ปัญหากลิ่นเหม็น สัตว์พาหะนำโรคที่เกิดจากการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักวิชาการ
- เป็นการหมุนเวียนขยะมูลฝอยอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ในรูปของสารปรับสภาพดิน
- ลดการใช้พื้นที่ในการกำจัดขยะมูลฝอย เมื่อเทียบกับระบบฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และระบบหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศแบบดั้งเดิม (Conventional Aerobic Composting)
- สามารถใช้บำบัดขยะมูลฝอยอินทรีย์ในที่ซึ่งการฝังกลบขยะมูลฝอยอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลไม่เป็นที่ยอมรับ
- สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะต้องกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย
- สามารถหมักร่วมกับของเสียอินทรีย์ประเภทอื่น (Co-digestion) เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ต่างๆ และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

2. ทางด้านพลังงาน

- เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดขยะมูลฝอยซึ่งสามารถให้พลังงานสุทธิ (Net Energy Producer)
- มีศักยภาพในการผลิตพลังงานจาก “ขยะเปียก” ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการเผาเพื่อผลิตพลังงาน มีศักยภาพที่จะได้รับผลตอบแทนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์สูง

โดยเฉพาะเมื่อพลังงานชนิดอื่นมีราคาสูง และรัฐมีมาตรการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

2.3.2 หลักการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic Environment) จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Microorganism) จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายให้กลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ อาศัยหลักการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนดังกล่าว โดยเป็นกระบวนการหมักขยะอินทรีย์ในถังปิดสนิทที่มีแบคทีเรียซึ่งไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายขยะอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ (ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์) และได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นสารปรับสภาพดิน (Soil Conditioner) หรือปุ๋ยอินทรีย์

2.3.3 กระบวนการทางจุลชีววิทยาของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

กระบวนการทางจุลชีววิทยาของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์มีความสลับซับซ้อนและเกิดจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 4 ขั้นตอน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ดังนี้

1) ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้กลายเป็นสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว เช่น การย่อยสลายแป้งให้อยู่ในรูปของน้ำตาล การย่อยสลายไขมันให้อยู่ในรูปของกรดไขมัน และการย่อยสลายโปรตีนให้อยู่ในรูปของกรดอะมิโน เป็นต้น ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายดังกล่าว

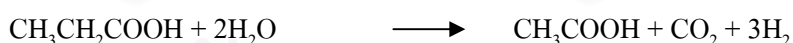
2) การสร้างกรดไขมัน (Acidogenesis)

การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวให้กลายเป็นกรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ผลผลิตของขั้นที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดบิวไทริก กรดโพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสับสเตรท และความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อย

สลายกลายเป็นอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ความดันของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นกรดบิวไทริกและกรดโพรไพโอนิกเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิธี Embden-Meyerhof ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลต่ำ หากไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลสูงผลผลิตที่ได้ คือกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหยคือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ จึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดบิวไทริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซิโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionicbacterium ที่ผลิตกรดโพรไพโอนิก และกรดอะซิติกจากกรดแลกติก

3) การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

การเปลี่ยนกรดระเหยง่ายให้กลายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน แบคทีเรียอะซิโตนิก (แบคทีเรียสร้างอะซิเตต) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนในการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสารตั้งต้นเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรตในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโตนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศสำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ตามลำดับ



ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซี่ยลสูง

แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้อาหารสามารถซึมเข้าไป

ใช้ได้ ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

- แบคทีเรียผลิตอะซิเตอย่างเคียว (Homoacetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน) ผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ได้แก่ *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium aceticum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโทโทรฟิก (autotrophic) คือ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน และก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก



อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้ โดยการหมักน้ำตาลดั่งสมการ



แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส *Clostridium* พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมันระเหยทั่วไป (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ

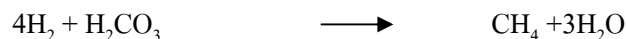
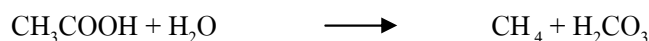
- แบคทีเรียที่สร้างอะซิเตที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (H_2 -Producing Acetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญเพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตามแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นจะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

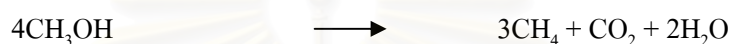
การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียสร้างกรด

4) การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน



กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดไขมันระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อน จึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรตอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก (HCOOH)



2.3.4 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ (สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา), 2551)

1 อุณหภูมิในการเดินระบบ (Temperature)

โดยทั่วไปแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methane Bacteria) จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ ช่วงอุณหภูมิระดับกลางประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการผลิตก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่สำหรับประเทศไทย การเดินระบบที่อุณหภูมิสูงกว่า 30-35 องศาเซลเซียส จะต้องใช้พลังงานจากภายนอกเพื่อให้ความร้อนกับถังหมัก ดังนั้นการเดินระบบที่อุณหภูมิระดับกลางจึงถือได้ว่าเป็นหนทางที่จะได้พลังงานสุทธิมากกว่าการเดินระบบที่อุณหภูมิสูง

2 พีเอช (pH)

ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.6-7.8 โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะอยู่ในช่วง 6.8-7.2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) บางตำราให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.5 (Tchobanoglous, Theisen and Vigil, 1993) ในกรณีที่ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ลดลงได้ โดยหากค่าพีเอชต่ำกว่า 6.6 ก็จะมีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน และหากค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5 ก็จะถือว่าถึงปฏิกรณ์นั้นล้มเหลว

3 ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic Loading)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องควบคุมให้เหมาะสม เนื่องจากหากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยเกินไปก็จะทำให้ไม่เพียงพอต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ และทำให้ถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ในขณะที่หากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรตระเห่ง่าย ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชลดลงและยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน

4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้ทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ต่างๆ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะอยู่ในช่วง 8-23 อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราส่วนดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่กรณี

5 ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมัก (Retention Time)

ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมักจะขึ้นกับอุณหภูมิในการเดินระบบ ชนิด ลักษณะสมบัติและปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ นอกจากนี้ยังขึ้นกับต้นทุนประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน เนื่องจากทุกลูกบาศก์เมตรที่เพิ่มขึ้นของถังหมักจะหมายถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้น หากทำการออกแบบถังหมักให้มีระยะเวลาพักสั้นเกินไปก็จะไม่เพียงพอสำหรับการทำงานของแบคทีเรียในการผลิตก๊าซมีเทน และทำให้แบคทีเรียถูกชะล้างออกจากกระบวนเร็วเกินไป ในขณะที่การออกแบบให้ถังหมักมีระยะเวลาเก็บกักมากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสมกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วที่บริเวณก้นถังซึ่งจะระบายออกจากถังได้ยาก รวมทั้งทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น

6 สารอาหาร (Nutrient)

แบคทีเรียต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโตที่นอกเหนือจากคาร์บอนและไฮโดรเจน ได้แก่ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอื่นๆ ที่จำเป็นในปริมาณน้อย เช่น เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังสแตน และนิกเกิล เป็นต้น ซึ่งขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้สมดุลและเพียงพออยู่แล้ว

7 สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Inhibitory Factors)

โลหะหนัก สารพิษ และสารปฏิชีวนะต่างๆ รวมทั้งสารทำความสะอาดต่างๆ สามารถยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนของแบคทีเรียได้

8 การผสม (Mixing)

การผสมสารอินทรีย์ภายในถังหมักมีความสำคัญมากเนื่องจากจะทำให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง เพื่อกระตุ้นการเกิดก๊าซชีวภาพและเพื่อลดการตกตะกอนของของแข็งบริเวณก้นถัง รวมทั้งเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนลอย (Scum) บริเวณส่วนบนของถัง

2.3.5 รูปแบบของระบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับของแข็ง (จุพาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันวิจัยพลังงาน, 2549)

1. ระบบหมักแห้งแบบต่อเนื่อง (Dry Continuous Digestion)

ขยะอินทรีย์ซึ่งมีอัตราส่วนที่เป็นของแข็งร้อยละ 20-40 ที่ผ่านการคัดแยกแล้วจะถูกป้อนเข้าระบบหมักอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีทั้งระบบที่มีการกวนผสมและระบบปลั๊กโฟล สำหรับระบบปลั๊กโฟลจะมีการรีไซเคิลสารบางส่วนที่ถูกย่อยสลายแล้ว กลับมาผสมกับขยะอินทรีย์ที่นำเข้าระบบเพื่อปรับสภาพให้เหมาะสม ทั้งระบบกวนผสมและระบบปลั๊กโฟลมักจะทำในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก (50-55 องศาเซลเซียส) เพื่อเติมน้ำผสมให้น้อยที่สุด

2. ระบบหมักแห้งแบบแบตช์ (Dry Batch Digestion)

ระบบนี้จะใช้หลักการเช่นเดียวกับการฝังกลบแต่ใช้เวลาสั้นกว่าการฝังกลบ ขยะที่นำเข้ามาหมักในถังปฏิกรณ์จะถูกผสมกับสารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วจากอีกถังหนึ่งเพื่อปรับสภาพ หลังจากนั้นจึงปิดถังปฏิกรณ์และปล่อยให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ ในช่วงนี้น้ำชะขยะ (leachate) ที่เกิดขึ้นจะถูกหมุนเวียนไปรักษาระดับความชื้นและกระจายสารที่ละลายน้ำได้และแบคทีเรียย่อยมีเทน เมื่อสารถูกย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงเปิดถังปฏิกรณ์เพื่อเอาสารที่เหลือจากการย่อยสลายออกแล้วเติมขยะเข้าไปใหม่ ข้อดีของระบบทำได้ง่าย สำหรับข้อเสียคือเป็นระบบแบตช์และจะต้องมีกระบวนการบำบัดสารผลิตภัณฑ์ที่ออกจากระบบอีกครั้งหนึ่ง

3. กระบวนการลีช-เบด (Leach-Bed Processes)

กระบวนการนี้มีหลักการคล้ายคลึงกับการหมักแห้งแบบแบตช์ แต่จะต่างกันที่ด้านล่างของถังจะมีการแลกเปลี่ยนระหว่างสารจากแบตช์เก่าและแบตช์ใหม่ เพื่อให้การเดินระบบเริ่มต้นทำได้ง่ายและระบายกรดระเหยได้ในถังหมักแบตช์เก่า หลังจากนั้นเมื่อถึงขั้นตอนการเกิดมีเทน (methanogenesis) ถังหมักจะถูกแยกออกจากกันแล้วนำไปต่อกับถังใหม่ต่อไป หลักการนี้อาจเรียกว่า “Sequential Batch Anaerobic Composting” (SEBAC)

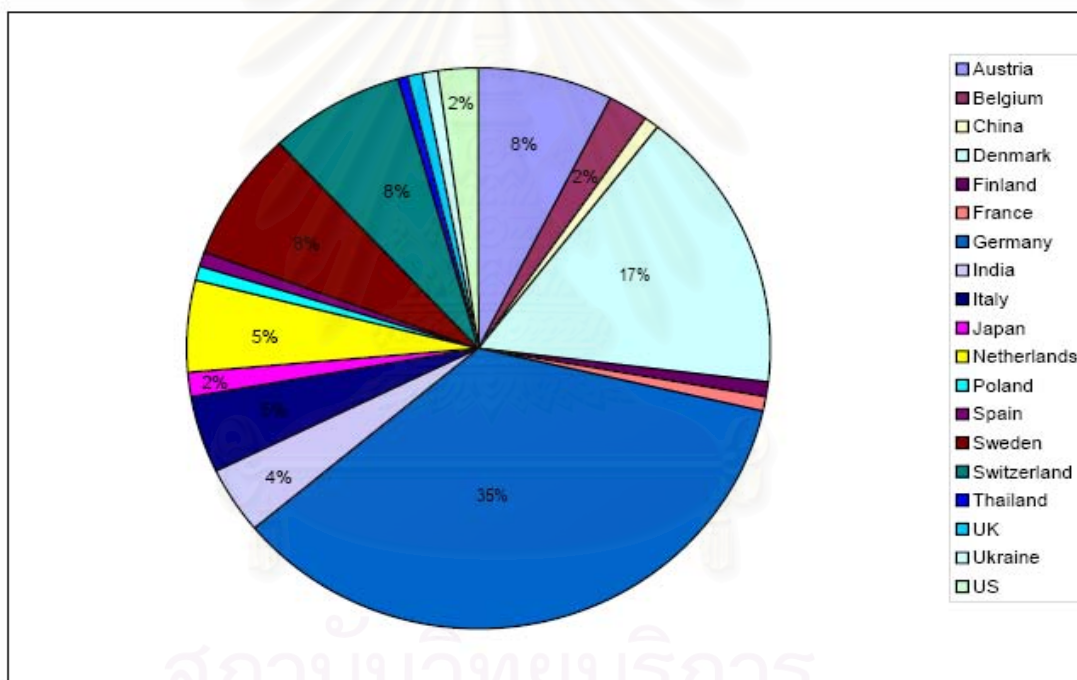
4. การหมักเปียกแบบต่อเนื่อง (Wet Continuous Digestion)

ระบบนี้ขยะจะถูกป้อนในรูปที่เป็นของเหลวข้น (slurry) โดยมีอัตราส่วนของแข็งประมาณร้อยละ 10 ถังปฏิกรณ์อาจมีรูปแบบเป็นถังกวนคล้ายกับระบบหมักมูลสัตว์ ในขั้นตอนการเตรียมสารป้อนเข้าถัง สารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วจะถูกกรองอัดเพื่อแยกเอาส่วนของเหลวกลับไปใช้ใหม่ ระบบนี้อาจนำไปใช้หมักขยะร่วมกับมูลสัตว์ ซึ่งนิยมทำในประเทศเดนมาร์ก

5. การหมักเปียกแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Wet Digestion)

ระบบนี้จะแยกขั้นตอนไฮโดรไลติกและขั้นตอนการหมักกรดออกจากขั้นตอนการเกิดมีเทน ซึ่งระบบนี้มักจะใช้กับอุตสาหกรรม เช่น ระบบ Anaerobic filter และระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

The Biogasworks (1998) อ้างถึงใน Shefali Verma, 2002 แสดงให้เห็นว่ามีแหล่งที่ใช้ระบบการหมักย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 130 แห่งมีความสามารถในการรองรับของเสีย 500 – 300,000 ตันต่อปีและมีการบำบัดที่แตกต่างกันตามของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 3.1 ให้เห็นการนำกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพมาใช้ จะเห็นได้ว่าการนำเทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้มากที่สุด ในยุโรปร้อยละ 91 เอเชียร้อยละ 7 สหรัฐอเมริกามีเล็กน้อยเพียงร้อยละ 2 เยอรมันจะเป็นผู้นำในการใช้เทคโนโลยีการนี้มีถึงร้อยละ 35 รองลงมาคือ เดนมาร์กร้อยละ 16 สวีเดน สวิตเซอร์แลนด์ และออสเตรเลีย ร้อยละ 8



ที่มา : Adapted from www.biogasworks.com อ้างถึงใน Shefali Verma, 2002

รูปที่ 2.1 Worldwide Distribution of Anaerobic Digestion Plants

2.3.6 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)

ระบบถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ใช้อากาศ (Completely Stirred Tank Reactor) เป็นการเรียกตามลักษณะของสารที่อยู่ภายในถังซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) ถังปฏิกรณ์แบบนี้ถือเป็นถังปฏิกรณ์อุดมคติ (Ideal Reactor) แบบหนึ่งและเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่เก่าแก่ที่สุดประเภทหนึ่งด้วย โดยถังกวนสมบูรณ์นี้ถูกพัฒนาขึ้นมาจาก

ถังย่อยสลัดจ์ซึ่งเป็น Conventional Anaerobic Digester ที่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการกวนผสมไม่ดี ทำให้ระยะเวลาย่อยสลายยาวนาน จึงได้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันของสารอาหารในน้ำเสียและจากถังย่อยสลัดจ์ (Septic Tank) โดยมีการติดตั้งใบกวน เช่น แบบใบพาย (Paddle) แบบสกรู (Screw) หรือ ใช้ Gas Diffuser ในการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารในถังปฏิกรณ์มีการสัมผัสกันมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีขึ้น

ถังปฏิกรณ์แบบนี้ระยะเวลาที่เก็บของแข็ง (Solid Retention Time) เท่ากับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time) ทำให้ถังปฏิกรณ์จะมีขนาดใหญ่หากของเสียหรือน้ำเสียที่เป็นวัตถุดิบย่อยสลายได้ยากใช้เวลานาน ถึงความสมบูรณ์นี้จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (High Concentration) มีสารแขวนลอยสูง หรือแม้กระทั่งมีสารพิษปนอยู่ (Toxic Wastewater) ทั้งนี้เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการกวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจางทันที จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น

2.3.7 การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนที่เหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพ

กากตะกอนที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบสำคัญคือ ฮิวมัส (Humus) ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุที่คงสภาพ และยากต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืช ทำให้ดินร่วนซุย ช่วยส่งเสริมการทำงานของรากพืชในการดูดซึมน้ำและอาหาร อีกทั้งช่วยป้องกันการพังทลายของหน้าดิน ดังนั้น จึงเหมาะที่จะนำกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการเพาะปลูกพืช (สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา), 2551) สารปรับสภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถใช้ร่วมกันหรือทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อลดปริมาณสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในผลผลิตทางการเกษตรและพื้นที่เพาะปลูก ในขณะที่ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นแหล่งพลังงานสะอาดสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งจะช่วยลดมลพิษทางอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานโดยการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้มีเทนที่ได้กลับคืนโดยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะช่วยลดปริมาณมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยแบบกองทิ้งกลางแจ้ง การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกอันเนื่องมาจากก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548)

2.4 ขยะชุมชนจังหวัดปราจีนบุรี

2.4.1 ปริมาณและลักษณะขยะชุมชน

จังหวัดปราจีนบุรีมีส่วนราชการส่วนท้องถิ่นในระดับเทศบาลทั้งหมด 12 แห่ง ประกอบด้วย เทศบาลเมือง 1 แห่ง และเทศบาลตำบล 11 แห่ง จากข้อมูลการสำรวจปริมาณมูลฝอย คาดว่ามีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นในเขตเทศบาลประมาณวันละ 67.6 ตัน เป็นมูลฝอยในเขตเทศบาลเมืองประมาณ 25 ตันต่อวัน และที่เหลือเกิดขึ้นในเขตเทศบาลตำบลประมาณ 42.6 ตันต่อวัน และเมื่อนำปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นมาคำนวณหาอัตราการผลิตมูลฝอย พบว่าภาพรวมของเทศบาลในจังหวัดปราจีนบุรีมีอัตราการผลิตมูลฝอย 0.68 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยในเขตเทศบาลเมืองมีอัตราการผลิตมูลฝอย 1.19 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน และในเขตเทศบาลตำบลมีอัตราการผลิตมูลฝอยเฉลี่ย 0.55 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ดังตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นปริมาณและอัตราการผลิตมูลฝอยของเทศบาลในจังหวัดปราจีนบุรีปี 2548 และแสดงให้เห็นองค์ประกอบต่างๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและอัตราการผลิตมูลฝอยของเทศบาลในจังหวัดปราจีนบุรีปี 2548

| เทศบาล | ประชากร (คน) | | | ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน) | อัตราการผลิตมูลฝอย (กก./คน-วัน) |
|----------------|--------------|------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | ทะเบียนราษฎร | ประชากรแฝง | รวม | | |
| ทม.ปราจีนบุรี | 20,948 | - | 20,948 | 25 | 1.19 |
| ทต.สระบัว | 1,798 | 500 | 2,298 | 1 | 0.43 |
| ทต.ศรีมหาโพธิ์ | 3,386 | 20,000 | 23,386 | 7 | 0.29 |
| ทต.เมืองเก่า | 5,239 | 1,000 | 6,239 | 5 | 0.8 |
| ทต.ประจันตคาม | 4,837 | 500 | 5,337 | 4 | 0.74 |
| ทต.บ้านสร้าง | 3,145 | 20 | 3,165 | 2 | 0.63 |
| ทต.บ้านนาปรือ | 2,163 | - | 2,163 | 2 | 0.92 |
| ทม.นาดี | 7,446 | 8 | 7,454 | 2 | 0.27 |
| ทต.โคกมะกอก | 2,011 | - | 2,011 | 0.6 | 0.3 |
| ทต.โคกปีบ | 6,075 | 300 | 6,375 | 5 | 0.78 |
| ทต.กรอกสมบูรณ์ | 3,035 | 1,500 | 4,535 | 4 | 0.88 |
| ทต.กบินทร์ | 4,527 | 10,000 | 14,527 | 10 | 0.69 |
| รวม | 64,610 | 33,828 | 98,438 | 67.6 | 0.68 |

ที่มา: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7, 2548

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบขยะจังหวัดปราจีนบุรี

| ชื่อเทศบาล | องค์ประกอบของขยะมูลฝอย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | | | | | | | จำนวน ครัวเรือน (ครอบครัว) | ประชากร (คน) | ปริมาณขยะ มูลฝอย (ตัน/วัน) | อัตราการเกิด ขยะ (กก./คน/ วัน) |
|----------------|---|--------|---------|------|-------|----------|------|-----------|-------------------|-------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | เศษ อาหาร | กระดาษ | พลาสติก | แก้ว | โลหะ | ยาง/หนัง | ผ้า | ไม้/ใบไม้ | หิน/ กระเบื้อง | อื่นๆ | | | | |
| ทม.ปราจีนบุรี | 72.19 | 4.36 | 16.39 | 0.47 | 0.52 | 1.05 | 2.38 | 0.44 | - | 2.20 | 6,212 | 21,125 | 22.82 | 1.08 |
| ทต.สระบัว | 30.00 | 50.00 | 5.00 | 5.00 | 4.00 | 5.00 | 1.00 | - | - | - | 446 | 3,584 | 2.19 | 0.61 |
| ทต.กบินทร์ | 30.00 | 11.83 | 24.85 | 4.73 | 8.87 | 2.36 | 1.18 | 11.24 | 2.94 | 2.00 | 1,217 | 4,579 | 6.64 | 1.45 |
| ทต.ประจันตคาม | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,605 | 5,346 | 5.03 | 0.94 |
| ทต.บ้านนาปรือ | 20.00 | 20.00 | 12.00 | 4.00 | 8.00 | 4.00 | 4.00 | 12.00 | 8.00 | 8.00 | 466 | 2,142 | 1.31 | 0.61 |
| ทต.บ้านสร้าง | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,070 | 3,213 | 1.93 | 0.60 |
| ทต.โลกปี่บ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,131 | 6,167 | 3.89 | 0.63 |
| ทต.โคกมะกอก | 30.00 | 20.00 | 10.00 | 2.00 | 10.00 | 10.00 | 2.00 | 2.00 | 4.00 | 10.00 | 452 | 2,033 | 1.24 | 0.61 |
| ทต.เมืองเก่า | 15.50 | 15.00 | 15.30 | 3.00 | 15.20 | 12.50 | 3.00 | 14.00 | 6.00 | 0.50 | 1,959 | 7,663 | 4.60 | 0.60 |
| ทต.นาดี | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,828 | 7,664 | 4.68 | 0.61 |
| ทต.กรอกสมบูรณ์ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 793 | 2,989 | 2.51 | 0.84 |
| ทต.ศรีมหาโพธิ์ | 30.00 | 15.00 | 35.00 | 3.00 | 3.00 | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 0.00 | 5.00 | 1,291 | 3,005 | 3.01 | 1.00 |
| เฉลี่ย | 32.53 | 19.46 | 16.93 | 3.17 | 7.08 | 5.27 | 2.22 | 6.38 | 2.99 | 3.96 | 20,470 | 69,510 | 59.82 | 0.86 |

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2546

2.4.2 การจัดการขยะในปัจจุบัน

จังหวัดปราจีนบุรีตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย มีพื้นที่ทั้งหมด 4,762.362 ตารางกิโลเมตร หรือ 2,976,476 ไร่ (ศูนย์ปฏิบัติการจังหวัดปราจีนบุรี, กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร, 2551) แบ่งส่วนราชการส่วนภูมิภาค เป็น 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองปราจีนบุรี อำเภอกบินทร์บุรี อำเภอนาคี อำเภอประจันตคาม อำเภอศรีมหาโพธิ์ อำเภอศรีมโหสถ แบ่งเป็น 64 ตำบล 708 หมู่บ้าน การแบ่งส่วนราชการส่วนท้องถิ่นประกอบด้วยองค์การบริหารส่วนจังหวัด 1 แห่ง เทศบาลเมือง 1 แห่ง เทศบาลตำบล 11 แห่ง และองค์การบริหารส่วนตำบล 57 แห่ง มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 453,819 คน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7, 2548)

2.4.2.1 ระบบเก็บรวบรวมและเก็บขนมูลฝอย

การเก็บรวบรวมมูลฝอยในเขตเทศบาลของจังหวัดปราจีนบุรี เทศบาลจะรับผิดชอบดำเนินการเก็บรวบรวมและเก็บขนมูลฝอยเอง โดยเทศบาลจัดหาภาชนะรองรับมูลฝอย พบว่าท้องถิ่นส่วนใหญ่ จำนวน 10 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 83 มีการจัดวางแบบถังเดียวและถังขยะ 2 ใบ แยกเป็นขยะแห้งและขยะเปียก พบว่า เทศบาล 11 แห่ง หรือร้อยละ 92 ของเทศบาลทั้งหมดในจังหวัดปราจีนบุรีที่มีภาชนะรองรับมูลฝอยเพียงพอ มีเพียงเทศบาล 1 แห่งที่มีภาชนะรองรับมูลฝอยให้กับประชาชนไม่เพียงพอ

สำหรับการเก็บขนมูลฝอยของเทศบาลในจังหวัดปราจีนบุรีใช้รถเก็บขนมูลฝอยชนิดอัดท้ายมากที่สุดคือ 13 คัน รองลงมาเป็นรถเก็บขนมูลฝอยชนิดเปิดข้างท้ายจำนวน 10 คัน มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 1-15 ปี ให้บริการเก็บขนมูลฝอยวันละ 1-4 เที่ยว จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บขนมูลฝอยพบว่ารถเก็บขนมูลฝอยเพียงพอสำหรับให้บริการเก็บขนมูลฝอยภายในเขตเทศบาลสามารถเก็บขนมูลฝอยได้ 66.6 ตันต่อวันหรือคิดเป็นร้อยละ 98 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น และจากการสำรวจจำนวนครัวเรือนที่ได้รับบริการเก็บขนมูลฝอยพบว่า มีจำนวน 16,498 ครัวเรือน หรือคิดเป็นร้อยละ 87.85 ของจำนวนครัวเรือนในเขตเทศบาล

2.4.2.2 การกำจัดมูลฝอย

1) สถานที่กำจัดมูลฝอย จังหวัดปราจีนบุรียังไม่มีสถานที่กำจัดมูลฝอยรวม จากการสำรวจพบว่า เทศบาล จำนวน 11 แห่ง หรือร้อยละ 92 มีพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยเป็นของตนเอง มีเทศบาล 1 แห่งหรือร้อยละ 8 ไม่มีพื้นที่กำจัดขยะเป็นของตนเอง โดยพบว่า เทศบาลนำขยะไปกำจัดในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปราจีนบุรี ขนาดพื้นที่ของสถานที่กำจัดมูลฝอยมีพื้นที่ตั้งแต่ 4-109.99 ไร่ มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 1-19 ปี พื้นที่กำจัดขยะตั้งอยู่ห่างชุมชน 0.05-10 กิโลเมตร โดยเฉพาะพื้นที่ของเทศบาลเมืองปราจีนบุรี เทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ เทศบาลตำบลโคกมะกอก

และเทศบาลตำบลกบินทร์ มีพื้นที่อยู่ใกล้กับชุมชนมากซึ่งหากขาดมาตรการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อม อาจส่งผลกระทบต่อชุมชนได้

2) วิธีการกำจัดมูลฝอย จากการสำรวจข้อมูลพบว่าปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นในเขตเทศบาลของจังหวัดปราจีนบุรีประมาณ วันละ 67.6 ตัน สามารถเก็บขนและนำมากำจัดได้ประมาณวันละ 66.6 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 98 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยกำจัดมูลฝอยอย่างถูกต้องหลักสุขาภิบาล ประมาณ 27 ตันต่อวัน ซึ่งจังหวัดปราจีนบุรีมีระบบกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกต้องหลักสุขาภิบาลเพียง 1 แห่ง ได้แก่ เทศบาลเมืองปราจีนบุรี โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (เคมิ) ในการก่อสร้างระบบกำจัดมูลฝอยสำหรับมูลฝอยส่วนที่เหลืออีกประมาณ 39.6 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 59 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาล กำจัดแบบไม่ถูกต้องหลักสุขาภิบาล เช่น วิธีการกองบนพื้น กองบนพื้นแล้วเผาหรือฝังในหลุม และไถกลบเป็นครั้งคราว ขาดมาตรการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อม ทำให้มีโอกาสส่งผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง เช่น การปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และน้ำผิวดินการแพร่กระจายของพาหะนำโรคต่างๆ เป็นต้น ซึ่งมีสาเหตุจากข้อจำกัดต่างๆ ของเทศบาล ไม่ว่าจะเป็นความไม่พร้อมด้านบุคลากร งบประมาณ เครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การกำจัดมูลฝอยของเทศบาล ไม่ถูกต้องหลักสุขาภิบาล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง และส่งผลให้เกิดปัญหาการร้องเรียนและต่อต้านการกำจัดมูลฝอยในพื้นที่

3) ผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการสำรวจติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสถานที่กำจัดมูลฝอยของเทศบาล ในจังหวัดปราจีนบุรี สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) กลิ่นและแมลง:สถานที่กำจัดมูลฝอยของเทศบาลส่วนใหญ่มีปัญหาเรื่องกลิ่นและแมลงวัน ทั้งนี้เนื่องจากเทศบาลโดยส่วนใหญ่ไม่มีเครื่องจักรใช้สำหรับการกลบทับมูลฝอยเป็นประจำที่สถานที่กำจัดมูลฝอย จะมีการว่าจ้างเอกชนมาไถกลบมูลฝอยประมาณปีละ 1-2 ครั้ง เท่านั้น ซึ่งทำให้บริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยเป็นแหล่งเพาะพันธุ์แมลงวันหรือพาหะนำโรคต่างๆ และส่งผลกระทบต่อเรื่องกลิ่นเหม็น รวมทั้งควันไฟจากการเผามูลฝอย แต่เนื่องจากสถานที่กำจัดมูลฝอยส่วนใหญ่ตั้งอยู่ห่างไกลจากชุมชน ปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนจึงค่อนข้างน้อย

(2) คนคัดแยกขยะ:มีสถานที่กำจัดมูลฝอยจำนวน 2 แห่ง (ทต.ปราจีนบุรี ทต.ศรีมหาโพธิ์ ทต.เมืองเก่า ทต.ประจันตคาม ทต.นาดี และทต.กบินทร์) ที่มีประชาชนเข้ามาคัดแยกมูลฝอยในสถานที่กำจัดมูลฝอย โดยแต่ละแห่งจะมีจำนวนคนคัดแยกขยะไม่เท่ากันตั้งแต่ 4-10 คน ตามปริมาณมูลฝอยที่เทศบาลเก็บขนมากำจัดในสถานที่กำจัดมูลฝอย ซึ่งประชาชนเหล่านี้ อาจได้รับผลกระทบจากการคัดแยกมูลฝอยในสถานที่กำจัดมูลฝอยได้ เนื่องจากเทศบาลยังไม่มีเครื่องจักรคัดแยก มูลฝอยที่เป็นอันตราย เช่น ขยะอันตราย และขยะติดเชื้อ ประกอบกับการคัดแยกมูลฝอยของประชาชนไม่มีอุปกรณ์ป้องกันความพิษจากขยะอันตรายเหล่านี้

(3) การร้องเรียน: ในจังหวัดปราจีนบุรีมีเทศบาลจำนวน 3 แห่ง (ทม.ปราจีนบุรี ทต.ศรีมหาโพธิ์ และทต.กบินทร์) ที่มีเรื่องร้องเรียนเกี่ยวกับการกำจัดมูลฝอย เป็นปัญหาจากผลกระทบจากการดำเนินงานกำจัดมูลฝอย เช่น ปัญหากลิ่นเหม็น แผลงวันควันไฟ และขยะปลิวเป็นต้น สำหรับการแก้ไขปัญหาของเทศบาลนั้น เป็นการแก้ไขปัญหาระยะสั้นเท่านั้น เช่น การปรับปรุงสถานที่กำจัดมูลฝอย โดยการกลบทับมูลฝอยเป็นครั้งคราว การฉีดพ่นยาฆ่าแมลง และจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ส่วนการหาพื้นที่กำจัดแห่งใหม่ ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชนและประชาชนยอมรับนั้น การดำเนินการยังไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจาก สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตชุมชน ไม่สามารถนำมาใช้เป็นพื้นที่กำจัดมูลฝอย

(4) น้ำชะมูลฝอย : การกำจัดมูลฝอยของเทศบาลส่วนใหญ่ ยกเว้นของเทศบาลเมืองปราจีนบุรี กำจัดมูลฝอยโดยวิธีกองบนพื้น กองบนพื้นแล้วเผา ไถกลบเป็นครั้งคราว โดยขาดมาตรการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน เป็นต้น

2.5 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่เกิดจากผลของการหมักย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ อุจจาระคน น้ำทิ้งอุตสาหกรรม ฯลฯ โดยการย่อยของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งในสภาวะไร้ออกซิเจน ก๊าซที่ได้จะเป็นก๊าซผสมของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการติดไฟได้ และจึงนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้ม ให้แสงสว่างและขับเคลื่อนเครื่องยนต์ได้ (เสาวลักษณ์ ภูมิวิสนะ, 2535) โดยที่องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 28-38 ก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น ประมาณร้อยละ 2 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549) ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ นอกจากนี้ผลพลอยได้จากวัตถุที่ระบายออกจากบ่อหมักสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ด้วย ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซชีวภาพ

| คุณสมบัติ | มีเทน | คาร์บอนไดออกไซด์ | ไฮโดรเจนซัลไฟด์ |
|---|---|--|------------------------------|
| สถานะ : | ก๊าซ | ของเหลว | ก๊าซและของเหลวภายใต้ความร้อน |
| สี : | ไม่มีสี | ไม่มีสี | ไม่มีสี |
| กลิ่น : | ไม่มีกลิ่น | ไม่มีกลิ่น | ก๊าซไข่น้ำ |
| น้ำหนักโมเลกุล : | 16.04 | 44.01 | 34.04 |
| จุดเดือด (องศาเซลเซียส) : | -161.5 | -79 | -60.2 |
| จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส) : | -182 | -70 | -85.7 |
| ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1) | 0.466 | 1.101 | 1.45 |
| ความดันไอ (มม.ปรอท) : | - | 569 ที่ -82 องศาเซลเซียส | - |
| ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1) : | - | 1.5 | 1.21 |
| ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มิลลิลิตร) : | 0.0035* (17 องศาเซลเซียส) | 0.145** (25 องศาเซลเซียส) | 0.25*** (40 องศาเซลเซียส) |
| ค่าพีเอช : | - | - | 4.5 ที่ 20 องศาเซลเซียส |
| ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ : | สารนี้สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์และอีเธอร์ | ละลายได้ไฮโดรคาร์บอน, ตัวทำละลายอินทรีย์ | สารนี้ไวต่อความชื้น |

ที่มา : ปรับปรุงจาก กรมควบคุมมลพิษ ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2551

* ** *** wikipedia, 2009

2.5.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (ที่ 0°C ความดัน 1 บรรยากาศ)

- ปริมาณ CH₄ : 65-70 %
- ปริมาณ CO₂ : 30-35 %
- ปริมาณ H₂S : 1,000 ppm
- ค่าความร้อนทางต่ำ : 24.48 MJ/m³
- ความเร็วเปลวไฟ : 25 cm/s
- อัตรา A/F ในทางทฤษฎี : 6.19 m³ a/m³ g

- อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ : 650 ° C
- ค่าความจุความร้อน (C_p) : 1.6 kJ/m³ · ° C
- ความหนาแน่น (p) : 1.15 kg/m³

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีค่าความร้อนเทียบเท่า : ทดแทน

| | | |
|------------------|------|--------------------|
| ก๊าซหุงต้ม (LPG) | 0.46 | กิโลกรัม |
| น้ำมันเบนซิน | 0.67 | ลิตร |
| น้ำมันดีเซล | 0.60 | ลิตร |
| น้ำมันเตา | 0.55 | ลิตร |
| ฟืนไม้ | 1.50 | กิโลกรัม |
| ไฟฟ้า | 1.20 | กิโลวัตต์- ชั่วโมง |

2.5.2 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

ปริมาณและคุณภาพก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับประเภท ลักษณะสมบัติของของเสียที่บำบัด นอกจากนี้ยังขึ้นกับการควบคุมสภาพแวดล้อมและปัจจัยในการหมัก ได้แก่ ระดับอุณหภูมิที่เดินระบบ พีเอช ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณแบคทีเรียในระบบ ระยะเวลาเก็บกัก ปริมาณสารยับยั้งแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน และการผสมคลุกเคล้า

โดยทั่วไปการใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะมูลฝอยอินทรีย์ 1 ตัน จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 100-200 ลูกบาศก์เมตร ก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 55-70 และมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งพลังงานประมาณร้อยละ 20-40 ของพลังงานของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ จะถูกนำมาใช้ในระบบทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน และจะมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือประมาณ 75-150 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันขยะ ที่สามารถส่งออกไปจำหน่ายได้

โดยหากระบบมีขนาดใหญ่ ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า ความร้อน โดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) กังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม แต่หากระบบมีขนาดเล็กก็อาจนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลแปลง หรือใช้ผลิตความร้อนสำหรับฟาร์มปศุสัตว์ต่างๆ สำหรับระบบที่มีขนาดเล็ก ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำมาใช้สำหรับตะเกียงก๊าซ (Biogas Lamp) หรือเตาหุงต้มก็ได้

การนำก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะสามารถลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 0.6 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าในประเทศต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานของระบบ

ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายการนำพลังงานทางเลือกเข้ามาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน (กัลยา คงอนุมัติ และ เพ็ญประภา สุวรรณะ, 2551)

ปัจจุบันในประเทศไทยได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาใช้ในการบำบัดและผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชน เช่น โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานจังหวัดระยอง ของเทศบาลนครระยอง และโครงการศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวม จังหวัดชลบุรี ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ

อรอนงค์ ศิวินิล (2541) ได้ทำการวิจัยศึกษาก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี นอกจากการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซแล้วยังศึกษาลักษณะและช่วงเวลาการเกิดก๊าซ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 การทดสอบชนิดและปริมาณก๊าซที่เกิดจากการหมักขยะสด โดยใช้ขยะจากตลาดอมรพันธ์ข้างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในอัตราส่วนของเศษผัก:เศษผลไม้:เศษอาหาร เท่ากับ 1:1:1 หมักในขวดโหลแก้วและวัดปริมาณก๊าซด้วยวิธีการแทนที่น้ำ ผลการศึกษาพบว่า (1) ขยะสดสามารถปลดปล่อยก๊าซเฉลี่ย 0.086 ลิตรต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม และการปลดปล่อยก๊าซเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดในวันที่ 3 แล้วลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลฟังก์ชัน และ (2) ชนิดของก๊าซที่ตรวจพบโดยวิธีเคมีคุณภาพ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองที่ 2 การวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ เป็นการประยุกต์การทดสอบเบื้องต้นในการศึกษาขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมিরะหว่างการหมักขยะที่เวลา 7.00 น. เป็นดัชนีบ่งชี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ได้สูงที่สุด การทดลองที่ 3 การหาสัดส่วนของก๊าซ เป็นการทดลองซ้ำการทดลองที่ 2 แต่วัดปริมาณก๊าซโดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ และหาสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิดโดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ผลการศึกษาพบว่า (1) ขยะสามารถปลดปล่อยปริมาณก๊าซเฉลี่ย 0.104 ลิตรต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม และการปลดปล่อยก๊าซจะเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงถึงระดับสูงสุดภายในวันที่ 2 แล้วลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลฟังก์ชัน (2) ก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักมีค่าอยู่ คือร้อยละ 60.46-89.07 โดยปริมาตร ก๊าซอื่นๆ เช่นกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้พบรองลงมา คือ ร้อยละ 4.12- 5.14 โดยปริมาตร ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบร้อยละ 0.96-15.35 โดยปริมาตร ก๊าซแอมโมเนียพบร้อยละ 0.0-22.35 โดยปริมาตร และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.01-2.06 โดยปริมาตร

Gomez et al. (2006) ทำการทดลองหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยใช้สัลดจ์ขึ้นต้นร่วมกับขยะชุมชนในส่วนที่เป็นผักและผลไม้ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอัตราการกวนผสมและอัตราการระเหิดอินทรีย์ การทดลองนี้กระทำภายใต้สภาวะมีโซฟิลิก เตรียมขยะให้มีความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 สภาวะการกวนผสมแบ่งเป็น 3 ช่วงเริ่มต้นที่การกวนเร็ว กำหนดให้มีความเร็วรอบเท่ากับ 200 รอบต่อนาที ต่อมาการกวนช้า กำหนดความเร็วรอบอยู่ที่ 80 รอบต่อนาที และหยุดกวน ผลปรากฏว่าในช่วงรอบกวนช้าสามารถรับอัตราการระเหิดอินทรีย์ได้สูงและเกิดก๊าซชีวภาพสูง และสำหรับการหมักร่วมกันระหว่างสัลดจ์และขยะชุมชนในส่วนที่เป็นผักและผลไม้จะทำให้เกิดก๊าซได้ดีกว่าการหมักด้วยสัลดจ์เพียงอย่างเดียว แต่ผลการเกิดของทั้งสองแบบก็อยู่ในช่วง 0.6-0.8 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายในช่วงกวนเร็วและเกิดในช่วง 0.4-0.6 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายในช่วงที่สอง

Elango et al. (2007) ทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยชุมชนร่วมกับน้ำเสียชุมชน โดยใช้หัวเชื้อจากระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ทดลองแบบแบตช์ ในอุณหภูมิห้อง ประมาณ 26 ถึง 36 องศาเซลเซียส โดยขยะที่นำมาทดลองคัดแยกเฉพาะขยะอินทรีย์และย่อยให้มีขนาด 2-4 มิลลิเมตร เก็บไว้ในถังพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง น้ำเสียนำมาจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ส่วนหัวเชื้อนำมาจากบ่อเกรอะ จะใช้น้ำเสียผสมกับเศษขยะที่เตรียมไว้ ซึ่งจะอยู่ในรูปของเหลวขึ้น ทำการทดลองในถังแบตช์ขนาด 5 ลิตรดำเนินการแบบกึ่งต่อเนื่องมีการให้อาหารทุกวัน โดยมีระยะเวลาการเก็บกักน้ำ 25 วัน แปรผันค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 6 ค่า คือ 0.5 1.0 2.3 2.9 3.5 และ 4.3 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุดอยู่ที่ 0.36 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อวัน ซึ่งเกิดมากที่สุดสำหรับค่าอัตราการระเหิดอินทรีย์ 2.9 กิโลกรัมของของแข็งระเหยง่ายต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งก็มีความสามารถในการลดปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ค่าซีไอดี ได้สูงสุด มีค่าการลดร้อยละ 87.6 88.1 และ 89.3 ตามลำดับ คุณภาพของก๊าซชีวภาพในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมีก๊าซมีเทนเท่ากับ ร้อยละ 68-72

Fernandez, Perez and Romero. (2008) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสับสเตรตในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของขยะอินทรีย์ชุมชน โดยในการศึกษานี้ได้แปรผันค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด 2 ค่า คือ ร้อยละ 20 และ 30 ทดลองในถังปฏิกรณ์แบบแบตช์ปริมาตรถึง 2 ลิตร ปริมาตรการหมักจริง 1.7 ลิตร ในระยะเวลาในการทดลอง 85-95 วัน ประสิทธิภาพการทำงานพบว่า ความเข้มข้นของของแข็งร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่า ในช่วงการเริ่มต้นระบบจะสิ้นสุดอยู่ที่ 14 วัน และการกำจัดดีไอซีอยู่ที่ร้อยละ 67.53 ในการเริ่มต้นระบบของถังที่มีค่าของแข็ง

ทั้งหมดร้อยละ 30 ลึกลงใน 28 วัน มีการกำจัดดีไอซีร้อยละ 49.18 การเกิดมีเทนในช่วงสร้างมีเทนในถังที่มีค่าของแข็งทั้งหมดร้อยละ 20 และ 30 มีค่าเท่ากับ 7.01 และ 5.53 ลิตรตามลำดับ

Forster-Carneiro, Perez and Romero (2008) ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงอุณหภูมิสูง (55 องศาเซลเซียส) ของขยะอินทรีย์จากมูลฝอยชุมชน ซึ่งในการทดลอง จะทำการแปรผันขยะที่นำมาทดลองเป็น 3 ถัง คือ เศษอาหารขนาด 2-6 มิลลิเมตร ขยะอินทรีย์จากขยะชุมชน ขนาด 30 มิลลิเมตร และขยะอินทรีย์จากขยะชุมชน ขนาด 2-6 มิลลิเมตร ทั้งหมดทำการทดลองในสภาวะแห้ง (ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 20) ใส่หัวเชื้อในระบบร้อยละ 30 ของปริมาตรถังหมัก ดำเนินการเป็นเวลา 90 วัน ในขั้นตอนเริ่มต้นระบบจะเกิดในช่วง 2 ถึง 10 วัน มีการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (6N NaOH) ให้มีค่าพีเอชอยู่ที่ประมาณ 8.5 หลังจากวันที่ 10 พีเอชค่อนข้างคงที่ก็ไม่มีการเติมอีก ผลการศึกษาปรากฏว่า เศษอาหารซึ่งมีการย่อยสลายน้อยที่สุด (การกำจัดของแข็งระเหยง่าย เป็นร้อยละ 32.4) มีการผลิตมีเทนมากที่สุด คิดเป็น 0.18 ลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ในทางตรงกันข้ามเศษชิ้นส่วนของขยะชุมชนแสดงค่าการย่อยสลายมากที่สุด (การกำจัดของแข็งระเหยง่าย เป็นร้อยละ 73.7) ผลิตมีเทน คิดเป็น 0.05 ลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย

2.6.2 การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

อาริยา วิรัชวรกุล (2546) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ที่มีการควบคุมอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วยถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ นำเศษอาหารจากโรงอาหารบดละเอียดด้วยเครื่องบดปั่นเง็องจางให้ได้ของเหลวที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 4 กำหนดค่า HRT ของถังหมักก๊าซอยู่ที่ 35 30 25 และ 20 วัน ซึ่งคิดเป็นอัตราการระสารถอินทรีย์เป็น 5.77 6.39 8.30 และ 10.27 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน เมื่อวิเคราะห์สารละลายเศษอาหารพบว่ามีอัตราส่วน BOD : N : P ของสารละลายเศษอาหารมีค่าประมาณ 100 : 4.54 : 0.71 เป็นอัตราส่วนที่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารต่างๆ เพิ่มเนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างมีเทนต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราร้อยละ 11 และ 2 ของปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่ ตามลำดับ เมื่อดำเนินระบบพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีระยะเวลาเก็บกักน้ำ

มากขึ้น โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 20 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 54.35 ลิตรต่อวัน มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 61.26

ชลิดา อุตะเกา (2549) ได้ศึกษาศึกษภาพของขยะผักผลไม้ในการผลิตมีเทนแบบไร้ออกซิเจน เป็นการทดลองแบบแบตช์ โดยใช้เศษผักผลไม้ที่เป็นองค์ประกอบของกากเหลือทิ้งมากที่สุดในตลาดสด จำนวน 15 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม ผักบุ้ง ถั่วฝักยาว กะหล่ำปลี ผักคะเจด ผักกาดขาว กะหล่ำดอก ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง มะเขือเทศ สับปะรด แดง โม มะละกอ ถั่วฝัก และมันสำปะหลัง โดยควบคุมองค์ประกอบตั้งต้นของระบบให้เหมือนกัน น้ำหนักผักผลไม้ที่ทดลอง ปริมาณ 100 กรัม ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 25 วัน ที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27 องศาเซลเซียส พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณลิกนิน เซลลูโลส อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ คือ 7.25 – 9.16 นอกจากนี้ปริมาณลิกนินรวมกับเซลลูโลสควรมีค่ารวมกันน้อยกว่าร้อยละ 60 ผลจากการศึกษา ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน ผักที่ถูกย่อยสลายได้ในปริมาณมากและรวดเร็ว ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดหอม ถั่วฝักยาว และมะเขือเทศ โดยมีปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนสะสม 25 วัน สูงมากกว่าผักชนิดอื่นๆ มีปริมาณเท่ากับ 482.45 418.13 322.64 และ 313.11 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อนำปริมาณมีเทนที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับปริมาณที่ได้จากการคำนวณจาก สมการเคมีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ในสารอินทรีย์เมื่อนำมาทำการฝังกลบ พบว่า ผักคะน้าและมะเขือเทศ มีร้อยละของปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนสะสมที่ 25 วัน เปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการคำนวณสูงกว่าร้อยละ 40 คือ 51.88 และ 44.88 ตามลำดับ ผักคะน้ามีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงที่สุด ภายใต้ช่วงเวลาที่ทำการทดลองเท่ากับ 25 วัน สามารถผลิตก๊าซได้สูงมากกว่า ร้อยละ 50 เทียบกับปริมาณก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายแบบสมบูรณ์ของสารอินทรีย์จากการคำนวณ

อวิศา ฉลานวิวัฒน์ (2545) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก อัตราการระสารอินทรีย์ ความถี่ในการเติมของเหลวต่อประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สาร และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในการย่อยสลายเศษอาหารด้วยระบบถังหมักไร้อากาศ โดยศึกษาการย่อยสลายของเศษอาหาร ที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 4 ในถังหมักปริมาตร 9.63 ลิตร จำนวน 4 ถัง โดยกำหนดสภาวะต่างๆ กัน คือ ทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 10, 15, 20 และ 25 วัน ซึ่งเทียบได้กับ อัตราการระสารอินทรีย์ 14.10, 9.40, 7.05 และ 5.58 กรัมซีไอต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และ อัตราการระสารอินทรีย์ 14.95, 9.97, 7.47 และ 5.92 กรัมซีไอต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วันต่อครั้ง ผลการศึกษา

พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาเก็บกักมากขึ้น (อัตราการระ
สารอินทรีย์น้อยลง) และความถี่ในการเติมของเหลวมากขึ้น ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน (อัตราการระ
สารอินทรีย์ 7.05 กรัมซีไอต่อลิตรต่อวัน) และมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง มีปริมาณ
ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 2.60 ลิตรต่อวัน โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนร้อยละ 60.56 และมี
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ของแฉ่งทั้งหมด ของแฉ่งระเหยทั้งหมดและ VFA เท่ากับร้อยละ
56.48, 52.39, 70.38 และ 27.03 ตามลำดับ

งานวิจัยครั้งนี้ได้นำข้อมูลของ Forster-Carneiro, Perez and Romero (2008) และ Elango et al. (2007) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน โดยการทำให้ขยะมีขนาด 2 มิลลิเมตร เนื่องจากการย่อยขนาดจะช่วยเพิ่มโอกาสการผสมสารอินทรีย์ภายในถังหมักมีความสำคัญมากเนื่องจากจะทำให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองและขยะชุมชนสดจากระบบเก็บขนขยะด้วยระบบหมัก ในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองแบบแบตช์ (Batch) ในระบบถังกวนสมบูรณ์ โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

การทดลองที่ 1 แปรผันอัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 5 ค่า คือ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 โดยในแต่ละชุดการทดลองจะทำการผสมขยะที่เตรียมไว้กับหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) ที่มีความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนขยะต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 60:40 โดยปริมาตร แล้วพิจารณาอัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ

การทดลองที่ 2 นำค่าอัตราส่วนผสมของขยะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 แล้วทดลองต่อโดยแปรผันค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด 3 ค่า คือ ร้อยละ 3 5 และ 10

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่ขยะ โดยเปรียบเทียบขยะที่ผ่านการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนทำการหมักที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสกับขยะที่ไม่ผ่านความร้อน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

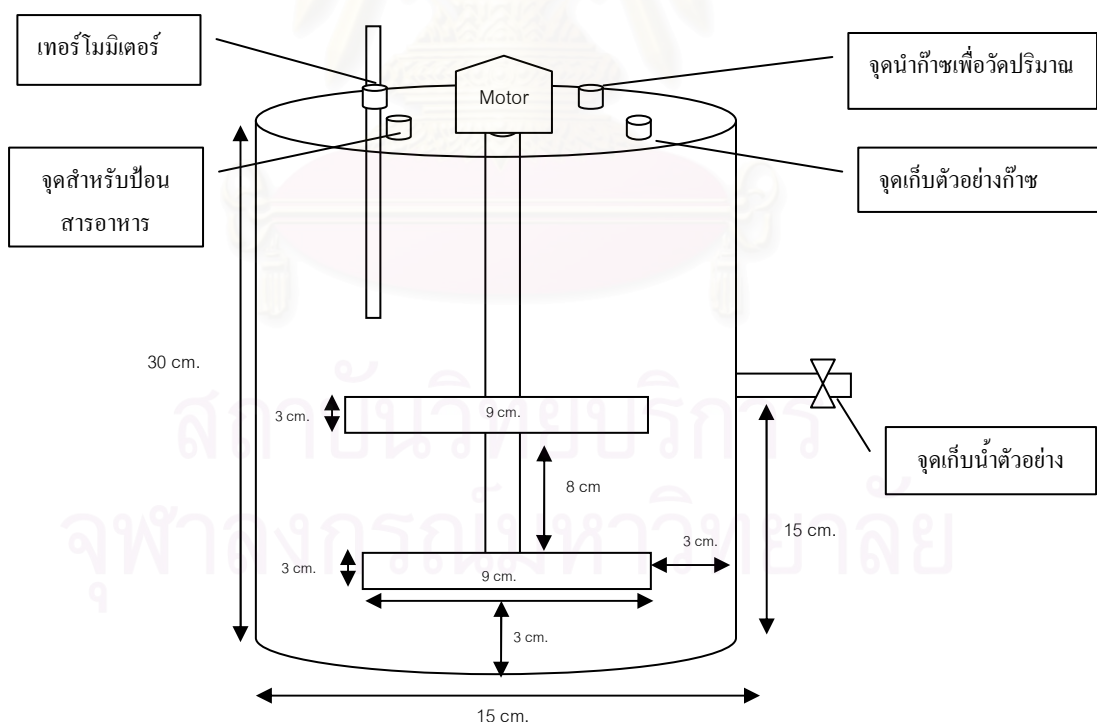
1. ถังหมักแบบไร้ออกซิเจน ขนาด 5 ลิตร
2. เครื่องวัดก๊าซ ใช้หลักการแทนที่น้ำ
3. ถังเก็บตัวอย่างก๊าซ
4. เครื่องปั่นละเอียด
5. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
6. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (GC)

3.3 ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบกวนสมบูรณ์

ตัวถังทำด้วยพลาสติกอะคริลิกใส มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ฝาปิดมีประเก็นยางเพื่อป้องกันก๊าซรั่วซึมออกมา ยึดติดฝากับตัวถังด้วยนอต ถังมีปริมาตรในการ

หมัก 5 ลิตร ภายในถังมีใบพัดควมเป็นประกอบเป็นรูปกากบาท เพื่อใช้กวนขยและเชื้อจุลชีพให้มีการผสมกันอย่างทั่วถึง ใบพัดควมจะถูกควบคุมการทำงานด้วยมอเตอร์ที่เปิดทำงานตลอดเวลาการทดลอง ด้านบนของถังเจาะเป็นช่อง 4 ช่อง ช่องที่ 1 เสียบสายขงซิลิโคนแล้วต่อออกนอกถังเพื่อวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นวัดโดยการแทนที่น้ำ ช่องที่ 2 ต่อสายขงซิลิโคนแบบมีฝาปิดเพื่อเป็นช่องสำหรับเติมสารอาหารให้ระบบการหมัก ช่องที่ 3 เสียบเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิภายในระบบ และช่องที่ 4 จุดสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำไปวิเคราะห์ห้องค้ประกอบก๊าซ บริเวณข้างถังหมักมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ก่อนที่จะนำถังหมักไปใช้ในการทดลองจะต้องมีการตรวจสอบรอยรั่วบริเวณรอยต่อให้ดีก่อนเพื่อไม่ให้ก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ระบบได้ โดยการใช้น้ำสบู่ทาบริเวณรอยต่อต่างๆ จากนั้นเป่าลมเข้าสู่ถังหมัก หากมีรอยรั่วฟองสบู่จะขยายขึ้นให้ดูรอยรั่วโดยใช้กาวซิลิโคน และทำการตรวจสอบซ้ำอีก 2-3 ครั้ง รูปแบบของถังหมักแสดงดังรูปที่ 3.1





รูปที่ 3.1 ถึงปฏิบัติการ

3.4 ระบบวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

ประกอบขึ้นด้วยขวดพลาสติกขนาด 6 ลิตรและ 1 ลิตร ฝาขวดเจาะรู 3 รู สำหรับใส่สายยางซิลิโคน และอุดรูด้วยกาวซิลิโคนจนหนาแน่น ไม่ให้มีรอยรั่วของน้ำออกมา รูที่ 1 ต่อสายยางซิลิโคนเข้ากับสายยางที่นำก๊าซชีวภาพมาจากถังหมัก รูที่ 2 ต่อสายยางซิลิโคนเพื่อเป็นช่องทางที่จะให้น้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซไหลออกจากระบบ สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้โดยใช้กระบอกตวงวัดปริมาตรน้ำที่ออกมาทุกๆ วัน ส่วนรูที่ 3 ใช้สายยางที่มีฝาปิดต่อไว้เพื่อปล่อยก๊าซออกจากขวดเมื่อเติมน้ำเข้าสู่ขวด ระบบวัดปริมาณก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.5.1 การเตรียมขยะ

1. ตัวอย่างขยะชุมชนจากเทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี โดยแยกขยะเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกอง มีอายุไม่เกิน 1 ปี เป็นขยะประเภท เศษพืช ผัก ผลไม้ หญ้าแห้ง ซึ่งมีการแยกขยะที่เป็นพลาสติก ท่อนไม้ และผ้า และ 2) ขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ ขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองจะนำมาจากกองขยะที่กองไว้ไม่เกิน 1 ปี จากนั้นสุมตักขยะขึ้นมาจากกองสุมกองไว้แล้วแบ่งขยะออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) เลือกส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันสองส่วนนำมารวมกัน จากนั้นคัดเลือกส่วนที่เป็นพลาสติก ท่อนไม้ เศษผ้า ออก คัดแยกเลือกเฉพาะส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ ใบไม้/กิ่งไม้ เศษพืช ผักและผลไม้ ออกมาใช้ ในการทดลอง ส่วนขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะจะใช้วิธีเดียวกับการสุมตัวอย่างขยะเก่าโดยทำการแบ่งขยะออกเป็น 4 ส่วน เลือกส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันสองส่วนนำมารวมกัน คัดเลือกเฉพาะส่วนที่เป็นเศษพืช ผักและผลไม้ เศษอาหารมาใช้ในการทดลอง

2. แบ่งขยะที่คัดแยกมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขยะเบื้องต้นก่อนการทดลอง ได้แก่ ความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยทั้งหมด ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน

3. ปั่นขยะให้ละเอียดมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร

4. นำขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสดที่ผ่านการบดย่อยขนาดแล้ว มาผสมในอัตราส่วนระหว่างขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ โดยแปรผันค่า 5 ค่า คือ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 แล้ววิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขยะแต่ละอัตราส่วนผสม

3.5.2 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

การทดลองที่ 1 แปรผันอัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 5 ค่า คือ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1

การทดลองที่ 2 นำค่าอัตราส่วนผสมของขยะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 แล้วทดลองต่อโดยแปรผันค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด 3 ค่า คือ ร้อยละ 3 5 และ 10

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่ขยะโดยเปรียบเทียบขยะที่ผ่านการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนทำการหมักที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสกับขยะที่ไม่ผ่านความร้อนซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินการทดลองดังนี้

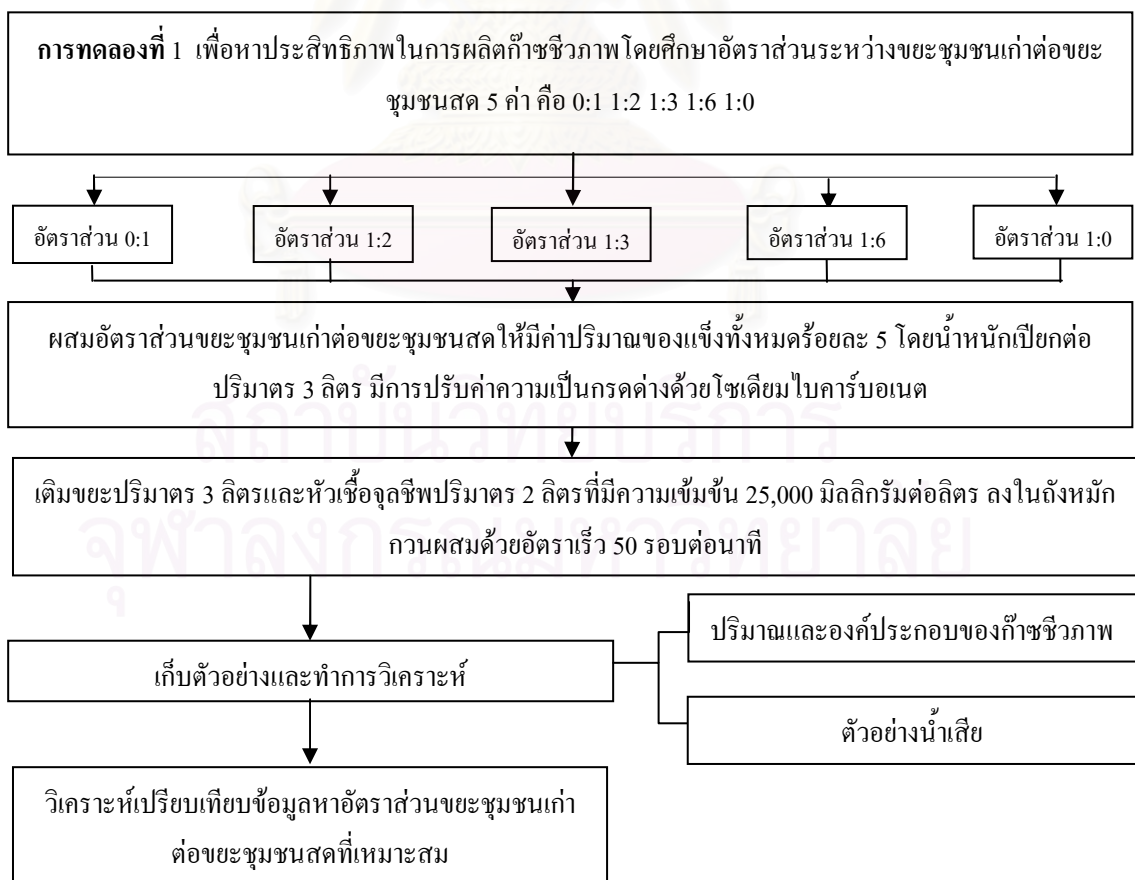
การทดลองที่ 1 การแปรผันอัตราส่วนผสมของขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด

ช่วงการเริ่มต้นระบบ

เริ่มต้นโดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีค่าความเข้มข้น 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาตรการหมัก นำขยะที่เตรียมไว้โดยแปรผันอัตราส่วนของขยะชุมชนแก่จากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากกรรไกรเก็บขยะ 5 ค่า คือ อัตราส่วน 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 ทำให้มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 เทผสมลงในถังปฏิกรณ์ เติมน้ำจนได้ปริมาตรการหมัก 5 ลิตร ในขั้นตอนการเตรียมขยะมีการปรับค่าความเป็นกรดต่างโดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ปิดฝาถังหมักให้แน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้ วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ขณะเริ่มระบบ

ช่วงเดินระบบ

ดำเนินการระบบไปจนกว่าปริมาณการเกิดก๊าซลดลงจนกระทั่งไม่เกิดก๊าซเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สัปดาห์ละ 3 วัน



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 1

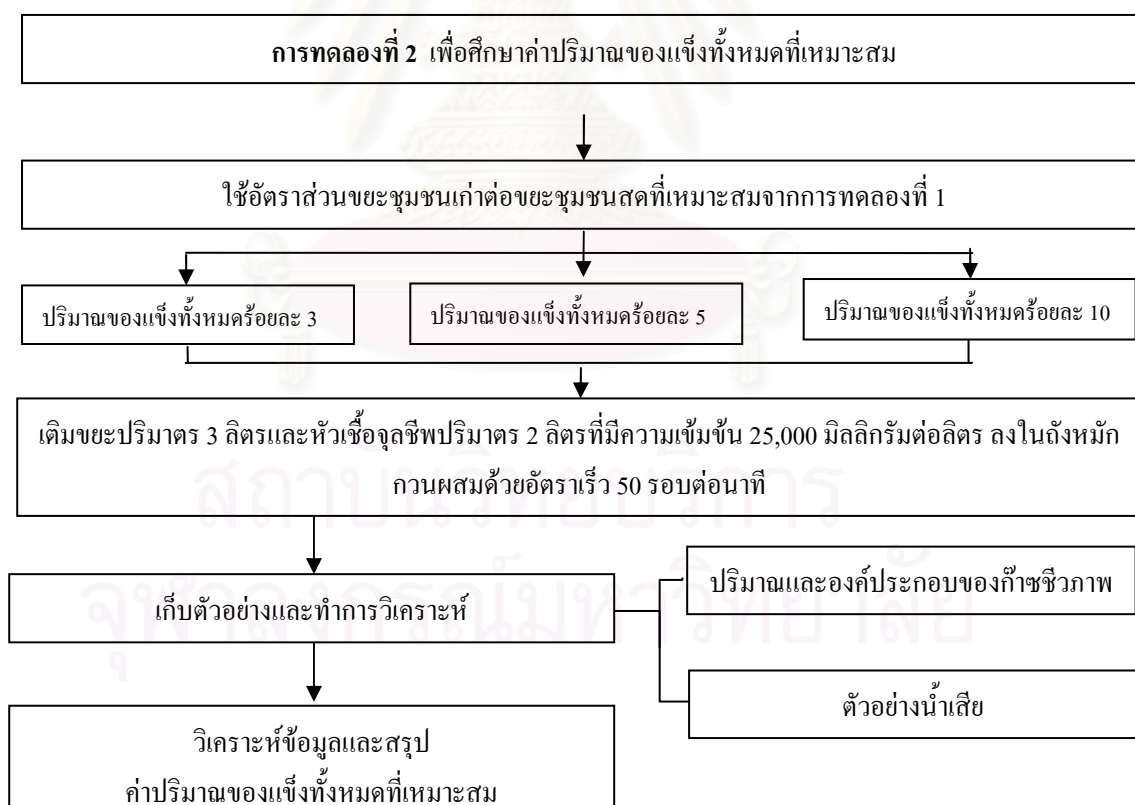
การทดลองที่ 2 การแปรผันค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด

ช่วงการเริ่มต้นระบบ

เริ่มต้น โดยการเติมหัวเชื้อจุลชีพที่มีความเข้มข้น 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาตรการหมัก จากนั้นนำขยะในอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากกรณีเก็บขนขยะที่เหมาะสมที่สุดจากช่วงการทดลองที่ 1 มาทำการแปรผันค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็น 3 ค่า คือ ร้อยละ 3 5 และ 10 เติมน้ำจนได้ปริมาตรการหมัก 5 ลิตร ในขั้นตอนการเตรียมขยะมีการปรับค่าความเป็นกรดต่าง โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปิดฝาถังปฏิกรณ์ให้แน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้ วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ขณะเริ่มระบบ

ช่วงเดินระบบ

ดำเนินการระบบไปจนกว่าปริมาตรการเกิดก๊าซลดลงจนกระทั่งไม่เกิดก๊าซเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สัปดาห์ละ 3 วัน



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 2

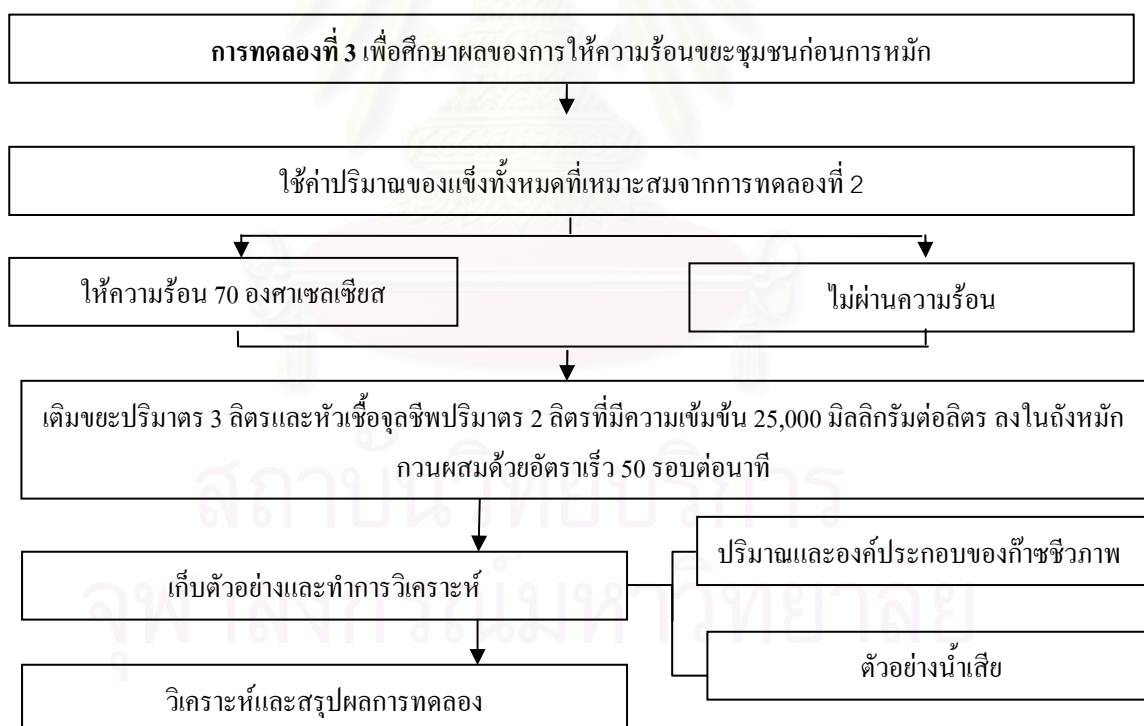
การทดลองที่ 3 การให้ความร้อนแก่ขยะที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสก่อนทำการหมัก

ช่วงการเริ่มต้นระบบ

เริ่มต้นมีการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนนำขยะมาป้อน โดยนำขยะใส่ถาดคลุมด้วย foil นำไปใส่ในตู้อบปรับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (Appels , 2008) แล้วจึงป้อนขยะให้มีขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วผสมขยะให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมตามการทดลองช่วงที่ 1 และผสมให้ได้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองช่วงที่ 2 มาทำการทดลองต่อโดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีค่าความเข้มข้น 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตรลงในถังปฏิกรณ์ปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาตรการหมัก นำขยะที่เตรียมไว้ปริมาตร 3 ลิตรเติมลงไปจนถึงปฏิกรณ์จนได้ปริมาตรการหมัก 5 ลิตร ในขั้นตอนการเตรียมขยะมีการปรับค่าความเป็นกรดต่างโดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตปิดฝาถังปฏิกรณ์ให้แน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้ วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ขณะเริ่มระบบ

ช่วงเดินระบบ

ดำเนินระบบไปจนกว่าปริมาตรการเกิดก๊าซลดลงจนกระทั่งไม่เกิดก๊าซเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สัปดาห์ละ 3 วัน



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 3

3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

3.6.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้คงที่ในการวิจัย ได้แก่

- หัวเชื้อจุลชีพจากถังย่อยสลัดจ์แบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าความเข้มข้น 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรร้อยละ 40 ของปริมาตรการหมัก
- ถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร
- อัตราการกวนของใบพัด กำหนดให้มีความเร็ว 50 รอบต่อนาที

3.6.2 พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรต้นที่ทำการศึกษา ได้แก่

- อัตราส่วนระหว่างขยะชุมชนแก่จากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะโดยแปรผันค่า 5 ค่า คือ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1
- อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อน้ำ 3 ค่า คือ ร้อยละ 3 5 และ 10
- อุณหภูมิการให้ความร้อนแก่ขยะ คือ 70 องศาเซลเซียส และไม่ผ่านการให้ความร้อน

3.6.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่

- วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขยะ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดของแข็งระเหยทั้งหมด ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน
- อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
- ค่าความเป็นกรดด่าง
- ค่าซีไอดี
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด
- ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด
- ปริมาณกรดระเหยง่าย
- ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด
- ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด
- องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

3.7 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล

3.7.1 การเก็บตัวอย่าง

- เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ โดยใช้ถุงเก็บก๊าซต่อกับจุดเก็บตัวอย่างก๊าซ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี
- เก็บตัวอย่างขยะจากจุดเก็บตัวอย่างด้านข้างถังปฏิกรณ์ ทำการเก็บประมาณ 50 มิลลิลิตร ต่อครั้งการวิเคราะห์

3.7.2 การวิเคราะห์

นำตัวอย่างที่เก็บมาทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการและความถี่ในการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ | ความถี่ในการวิเคราะห์ |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| อุณหภูมิ | เทอร์โมมิเตอร์ | ทุกวัน |
| ค่าพีเอช | เครื่องวัดพีเอช | สัปดาห์ละ 3 วัน |
| ค่าซีไอดี | วิธีรีฟลักซ์แบบปิด* | สัปดาห์ละ 3 วัน |
| ปริมาณของแข็งทั้งหมด | อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส* | สัปดาห์ละ 3 วัน |
| ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด | เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส* | สัปดาห์ละ 3 วัน |
| ปริมาณกรดระเหยง่าย | วิธีไทเทรต* | สัปดาห์ละ 3 วัน |
| ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด | วิธีไทเทรต* | สัปดาห์ละ 3 วัน |
| ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม | การแทนที่น้ำ | ทุกวัน |
| องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ | เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี | 2 ครั้ง |

*วิธีและเทคนิคในการวิเคราะห์ คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (อรทัย ชาวลาภฤทธิ, 2545)

3.7.3 การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบ

เมื่อก๊าซเกิดขึ้นจะไหลออกมาทางสายยางซิลิโคนไปแทนที่น้ำในขวดพลาสติก ทำให้น้ำไหลออกมาภายนอกระบบ นำน้ำที่ออกมาขึ้นไปหาปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยใช้กระบอกตวงวัดปริมาตรอ่านค่าปริมาณน้ำ ทำให้ทราบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

3.7.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

หลังจากเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพใส่ถุงเก็บก๊าซ นำไปฉีดวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี เพื่อวิเคราะห์หาร้อยละองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซอื่นๆ การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-2014 SHIMADZU Thermal conductivity Detector (TCD)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 องค์ประกอบและลักษณะสมบัติของขยะ

4.1.1 องค์ประกอบขยะชุมชน

การวิจัยนี้ใช้ขยะจากเทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี แบ่งขยะออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ 1) ขยะชุมชนเก่าจะใช้ตัวแทนขยะเก่าที่มีการเทกองไว้ที่หลุมขยะของเทศบาลที่มีการเทกองทิ้งไว้มีอายุไม่เกิน 1 ปี และ 2) ขยะชุมชนสดได้ใช้ขยะจากรถเก็บขนขยะของเทศบาลที่มาเทกองที่หลุมฝังกลบเป็นตัวแทนขยะชุมชนสด โดยองค์ประกอบขยะจากทั้ง 2 ประเภทแสดงดังตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของขยะชุมชนสดที่พบมากที่สุด ได้แก่ เศษอาหาร ผัก ผลไม้ คิดเป็นร้อยละ 43.24 รองลงมาคือ พลาสติก ร้อยละ 24.32 ตามด้วย ใบไม้/กิ่งไม้ กระจาด และ โฟม คิดเป็นร้อยละ 21.62 8.11 และ 2.70 ตามลำดับ ส่วนขยะชุมชนเก่าอายุไม่เกิน 1 ปีได้ทดลองเก็บตัวอย่างแยกวิเคราะห์เป็น 2 ชุด คือ ขยะที่มีอายุไม่เกิน 6 เดือนและขยะที่มีอายุไม่เกิน 1 ปี พบว่าขยะเก่าที่มีอายุมากขึ้นจะมีปริมาณพลาสติกเพิ่มมากขึ้นและเศษใบไม้/กิ่งไม้รวมทั้งกระจาดลดลง ซึ่งการทดลองนี้จะใช้ขยะเก่าที่มีอายุไม่เกิน 1 ปี ซึ่งมีองค์ประกอบของพลาสติกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50.91 รองลงมาคือ ขยะอื่นๆ เช่น ฟูน ถ้ำ ใบไม้/กิ่งไม้ และกระจาด คิดเป็นร้อยละ 40.00 5.45 และ 3.64 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบขยะของเทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี

| องค์ประกอบขยะ | ร้อยละของขยะ | | |
|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| | ขยะชุมชนสด | ขยะชุมชนเก่า 6 เดือน | ขยะชุมชนเก่า 1 ปี |
| เศษอาหาร ผัก ผลไม้ | 43.24 | - | - |
| ใบไม้/กิ่งไม้ | 21.62 | 12.50 | 5.45 |
| พลาสติก | 24.32 | 31.25 | 50.91 |
| กระจาด | 8.11 | 12.50 | 3.64 |
| โฟม | 2.70 | - | - |
| ผ้า | - | 6.25 | - |
| ขยะอื่นๆ เช่น ฟูน ถ้ำ | - | 37.50 | 40.00 |

4.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของขยะ

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขยะชุมชนเก่าที่เก็บตัวอย่างมาจากหลุมขยะแบบเทกองที่มีอายุไม่เกิน 1 ปีและขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ โดยจะมีการคัดแยกขยะส่วนที่เป็นพลาสติก เหล็ก ท่อนไม้ ออกจากตัวอย่างขยะที่จะใช้ทดลองซึ่งจะเป็นเศษขยะที่มีลักษณะชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กเป็นสีดำ ประกอบด้วย เศษใบไม้ เศษเปลือกผลไม้ ไม่มีกลิ่นเหม็น มาใช้ในการหมัก สำหรับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะจะเลือกเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้ ได้แก่ เศษผัก ผลไม้ ใบไม้ เศษอาหารมาใช้ในการหมัก โดยเก็บตัวอย่างมาเพียงครั้งเดียวตลอดการทดลอง

เมื่อนำขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองและขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะที่คัดแยกแล้ว มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพบว่ามีความชื้นร้อยละ 16.19 และ 81.64 ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 83.81 และ 18.36 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ ร้อยละ 58.61 และ 76.70 ปริมาณเถ้าร้อยละ 25.20 และ 23.30 ปริมาณคาร์บอนร้อยละ 32.56 และ 42.6 ปริมาณไนโตรเจน ร้อยละ 2.40 และ 3.25 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของขยะชุมชนเทศบาลตำบลศรีมหาโพธิ์ ที่ใช้ในการทดลอง

| ลักษณะทางเคมี | ร้อยละ | |
|------------------------|--------------|------------|
| | ขยะชุมชนเก่า | ขยะชุมชนสด |
| ปริมาณความชื้น | 16.19 | 81.64 |
| ปริมาณของแข็งทั้งหมด | 83.81 | 18.36 |
| ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ | 58.61 | 76.70 |
| ปริมาณเถ้า | 25.20 | 23.30 |
| ปริมาณคาร์บอน | 32.56 | 42.60 |
| ปริมาณไนโตรเจน | 2.40 | 3.25 |

เมื่อนำขยะชุมชนเก่าจากหลุมฝังกลบและขยะชุมชนสดที่คัดแยกแล้วมาผ่านการบดละเอียด และนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด เท่ากับ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเริ่มต้นก่อนทดลอง พบว่า ขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองมีค่าความชื้นต่ำกว่าขยะชุมชนสด โดยที่อัตราส่วน 1:0 ขยะชุมชนเก่าจากหลุมเทกองมีค่าความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 13.85 ที่อัตราส่วน 1:2 1:3 และ 1:6 มีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 58.11 64.41 และ 77.00 ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วน 0:1 ซึ่งเป็นขยะชุมชนสดล้วน มีค่าความชื้นมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 92.24 ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่าอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด

เท่ากับ 1:0 ซึ่งก็คือขยะชุมชนเก่าล้วนมีค่าสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 86.15 และมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงตามอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 คิดเป็นร้อยละ 41.89 35.59 23.00 และ 7.76 ตามลำดับ สำหรับปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าแปรผันตามปริมาณของแข็งทั้งหมด ดังตารางที่ 4.3 โดยหากเทียบปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดกับปริมาณของแข็งทั้งหมดแล้วพบว่าค่าปริมาณของแข็งระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของขยะชุมชนสด โดยอัตราส่วน 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ ร้อยละ 40.99 45.29 45.55 51.74 และ 76.93 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติของขยะที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน

| อัตราส่วน ขยะชุมชน เก่า:สด | ความชื้น (%) | ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%) | ปริมาณของแข็งระเหย ทั้งหมด(%) |
|----------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1:0 | 13.85 | 86.15 | 35.31 |
| 1:2 | 58.11 | 41.89 | 18.97 |
| 1:3 | 64.41 | 35.59 | 16.17 |
| 1:6 | 77.00 | 23.00 | 11.90 |
| 0:1 | 92.24 | 7.76 | 5.97 |

4.1.3 การแปรผันอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสด

จากการแปรผันอัตราส่วนของขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ 5 คำ คือ อัตราส่วน 1:0 1:2 1:3 1:6 0:1 โดยกำหนดให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 สามารถคำนวณปริมาณขยะคิดเป็นน้ำหนักที่ใช้ในการทดลองได้ดังต่อไปนี้

ตัวอย่าง การคำนวณน้ำหนักขยะที่ใช้ในระบบ

ระบบต้องการขยะชุมชนที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 หมายถึง

น้ำ 100 มิลลิกรัม มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 5 มิลลิกรัม

น้ำ 1 ลิตร เท่ากับ 10^6 มิลลิกรัม มีปริมาณของแข็งทั้งหมด $\frac{5 \times 10^6}{100}$ มิลลิกรัมต่อลิตร

เพราะฉะนั้นในระบบจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ดังนั้น ปริมาณขยะที่ใช้ในการหมักร้อยละ 60 ของปริมาตรถึง 5 ลิตร ต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมด $3 \times 50,000 = 150,000$ มิลลิกรัม

ขยะอัตราส่วนผสม 1:0 มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 86.15 หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมด 86.15 มิลลิกรัม ได้จากขยะ 100 มิลลิกรัม ต้องการปริมาณของแข็งทั้งหมด 150,000 มิลลิกรัม ได้จากขยะ $\frac{150,000 \times 100}{86.15}$ มิลลิกรัม ได้จากขยะ 174,114 มิลลิกรัม

ดังนั้น สำหรับอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสด เท่ากับ 1:0 ต้องใช้ขยะจริงทั้งหมดประมาณ 175 กรัม

สำหรับน้ำหนักที่ใช้ในการหมักสามารถคำนวณได้จากปริมาณของแข็งทั้งหมดของแต่ละอัตราส่วนผสมของขยะ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักขยะที่ใช้ในการทดลองที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน

| อัตราส่วนผสม ขยะชุมชน เก่าต่อสด (น้ำหนักเปียก) | น้ำหนักขยะ ที่ใช้ในการ ทดลอง (กรัม) | น้ำหนักขยะเปียกที่ ใช้ในการทดลอง (กรัม) | | น้ำหนักขยะแห้งที่ ใช้ในการทดลอง (กรัม) | | อัตราส่วนผสม ขยะชุมชน เก่าต่อสด (น้ำหนักแห้ง) |
|---|--|---|--------------------|--|--------------------|--|
| | | ขยะ ชุมชน เก่า | ขยะ ชุมชน สด | ขยะ ชุมชน เก่า | ขยะ ชุมชน สด | |
| 1:0 | 175 | 175 | 0 | 151 | 0 | 1:0 |
| 1:2 | 360 | 120 | 240 | 103 | 19 | 1:0.2 |
| 1:3 | 422 | 106 | 317 | 91 | 25 | 1:0.3 |
| 1:6 | 653 | 93 | 560 | 80 | 43 | 1:0.5 |
| 0:1 | 2000 | 0 | 2000 | 0 | 155 | 0:1 |

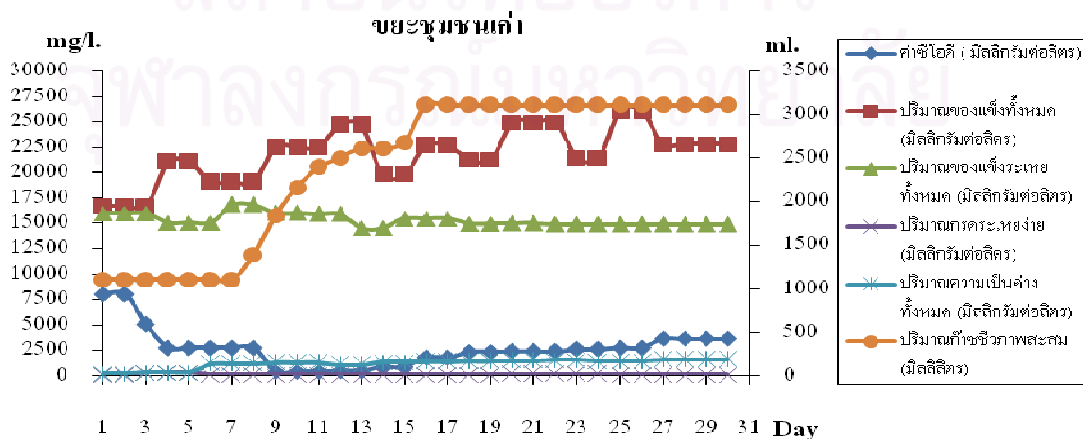
4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสดที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การศึกษาทดลองโดยใช้ถังหมักที่มีการกวนแบบสมบูรณ์ โดยทดลองแบบเบดซ์โดยนำอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสดที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ตั้งแต่ 1:0 ถึง 0:1 โดยการชั่งน้ำหนักเปียกแล้วเตรียมให้มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 5 ตวงปริมาตร 3 ลิตร ใส่ลงในถังหมัก แล้วเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีค่าปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดร้อยละ 2.5 ปริมาตร 2 ลิตร ลงในถังหมัก ปิดถังและเปิดเครื่องกวนตลอดเวลา เก็บตัวอย่างขยะจากระบบสัปดาห์ละ 3 วันเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นปัจจัยเกี่ยวข้องกับการเดินระบบ

4.2.1 การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสด

4.2.1.1 การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่า

จากการทดลองนำขยะชุมชนเก่ามาทำการหมักเพื่อศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นจากการที่สารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบเกิดการย่อยสลายเป็นกรดระเหยได้ ซึ่งเป็นสับสเตรทของแบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซมีเทน โดยพารามิเตอร์แสดงการทำงานของระบบ ดังรูปที่ 4.1 ค่าซีไอดีเริ่มต้นเท่ากับ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าลดลงเนื่องจากการย่อยสลาย กลายเป็นกรดระเหยง่ายและถูกนำไปใช้ทันทีโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน สอดคล้องกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ หากพิจารณาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดที่มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 16,674 และ 15,956 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอนเนต แอมโมเนียม จึงทำให้มีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากขยะชุมชนเก่ามีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายน้อยจึงมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเพียงเล็กน้อย และการที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในระบบได้ทั้งที่มีปริมาณของแข็งระเหยน้อยนั้นเนื่องมาจากการเติมผสมหัวเชื้อจุลชีพลงในระบบทำให้เกิดการย่อยสลายของเซลล์ส่งผลให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นได้ในระบบ เมื่อดำเนินระบบไปจะพบว่าก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 7 ของการเดินระบบและสูงสุดในวันที่ 16 คิดเป็นปริมาณก๊าซสะสมเท่ากับ 3,103 มิลลิลิตร (อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.06 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายเริ่มต้น) ปริมาณความเป็นด่างสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องมาจากเมื่อในระบบเกิดการย่อยสลายเกิดเป็นกรดระเหยง่าย คาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย กรดระเหยง่ายจะถูกใช้ไปเป็นสารอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนทำให้แอมโมเนียเหลือมากขึ้นและเมื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดจึงเพิ่มขึ้น

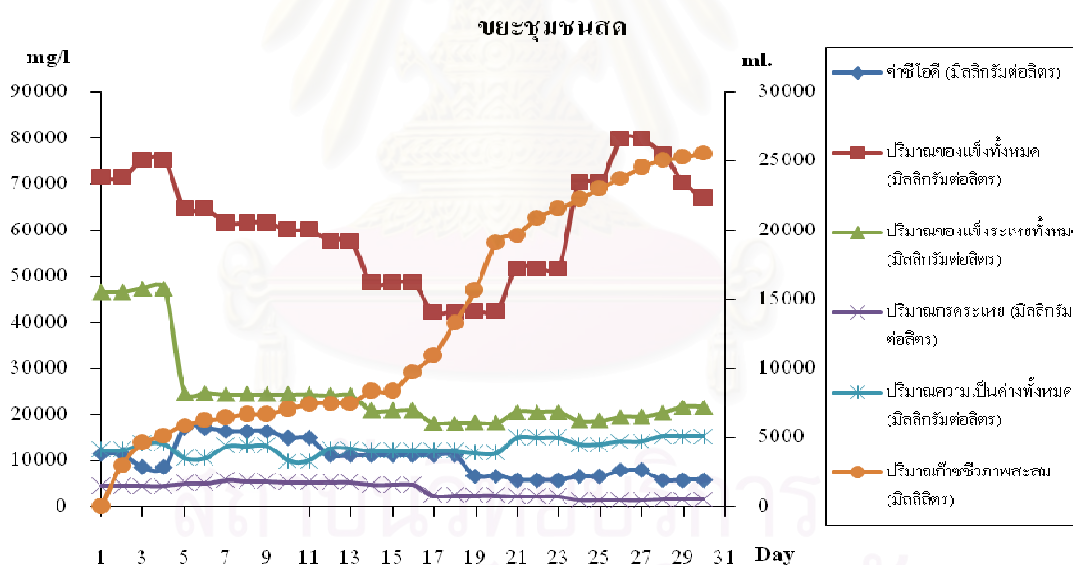


รูปที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการหมักขยะชุมชนเก่า

4.2.1.2 การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนสด

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของขยะชุมชนสดสามารถเห็นได้ชัดเจนกว่าขยะชุมชนเก่าทั้งนี้เนื่องจากขยะชุมชนสดมีส่วนที่สามารถย่อยสลายง่ายมากกว่าชุมชนเก่าเพราะมีเศษผัก ผลไม้ที่สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายกว่าในปริมาณที่มากกว่า โดยจะพบว่าในช่วงแรกปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยง่ายมีปริมาณที่ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 5 ของการเดินระบบและมีค่าค่อนข้างคงที่หลังจากนั้นในขณะที่ค่าซีโอดีมีปริมาณเริ่มต้นเท่ากับ 11,520 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นและปริมาณกรดระเหยก็สูงขึ้นด้วยเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์กลายเป็นกรดระเหยมากขึ้น กรดระเหยนี้เองจะไปเป็นสารอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนเนื่องจากการใช้กรดระเหยและมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่องทำให้ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดจึงมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

ขยะชุมชนสดมีการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างช้าๆ ในตอนเดินระบบ และเพิ่มอย่างรวดเร็วในวันที่ 15 หลังจากเดินระบบ จนมีก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดในวันที่ 30 เท่ากับ 25,624 ลิตร คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.18 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายเริ่มต้น



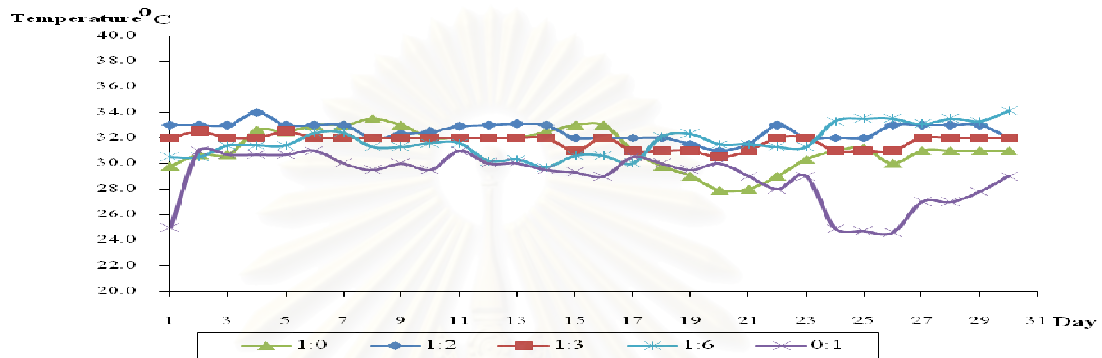
รูปที่ 4.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการหมักขยะชุมชนสด

4.2.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การทดลองนี้จะนำขยะชุมชนเก่าแบบเทกองกับขยะชุมชนสดที่อัตราส่วนผสมต่างกัน คือ 1:2 1:3 และ 1:6 และนำมาเปรียบเทียบกับขยะชุมชนเก่าและขยะชุมชนสดอย่างเดียวได้ผลดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิ

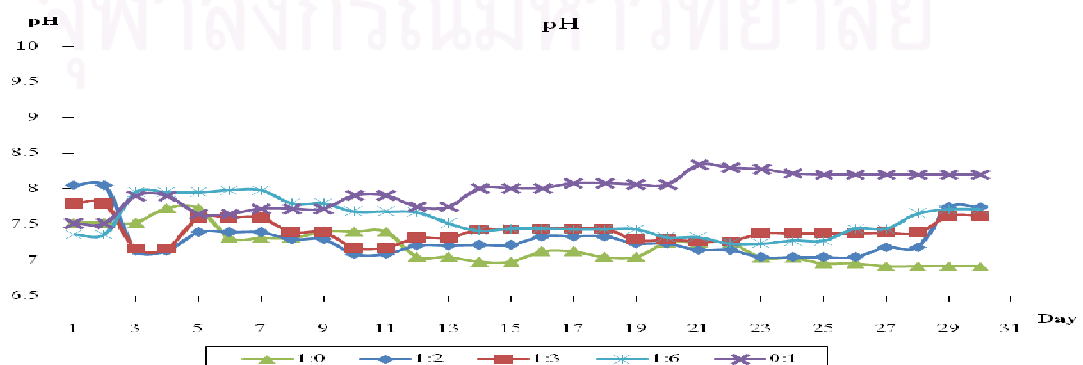
อุณหภูมิของชุดทดลองทั้ง 5 อัตราส่วนอยู่ในระหว่าง 24 ถึง 33 องศาเซลเซียส จัดว่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิระดับกลาง (Mesophelic Temperature) ซึ่งแบคทีเรียผลิตมีเทนจะทำงานได้ดี ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งพบว่าที่อัตราส่วน 0:1 มีอุณหภูมิต่ำกว่าอัตราส่วนอื่นๆ เนื่องจากเริ่มทำการทดลองไม่พร้อมกันทุกชุด โดยที่อัตราส่วน 0:1 ทำการทดลองในช่วงที่อุณหภูมิก๊าซต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ



รูปที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

2) ค่าความเป็นกรดต่าง

ค่าความเป็นกรดต่างทั้ง 5 อัตราส่วน อยู่ในช่วง 6.9 - 8.2 ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งในการเดินระบบทางชีวภาพจะต้องควบคุมค่าความเป็นกรดต่างให้อยู่ในช่วง 6.6 - 7.8 โดยอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:2 1:3 1:6 และ 1:0 มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมอยู่แล้ว อัตราส่วน 1:2 ค่าเริ่มต้นสูงกว่าอัตราส่วนอื่น โดยเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 8.05 แต่มีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเดินระบบ ที่อัตราส่วน 0:1 (ขยะชุมชนสดล้วน) จะเห็นว่ามีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่าอัตราส่วนอื่นทั้งนี้เนื่องมาจากองค์ประกอบขยะเป็นสารอินทรีย์ปริมาณมากที่ย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนได้ง่าย ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเปลี่ยนเป็นคาร์บอนเนตและไบคาร์บอนเนตทำให้ความเป็นกรดต่างของระบบสูงขึ้น รวมทั้งจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนทำงานได้ดี ดึงกรดระเหยไปใช้ได้และระบบปรับสมดุลทำให้มีค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้น

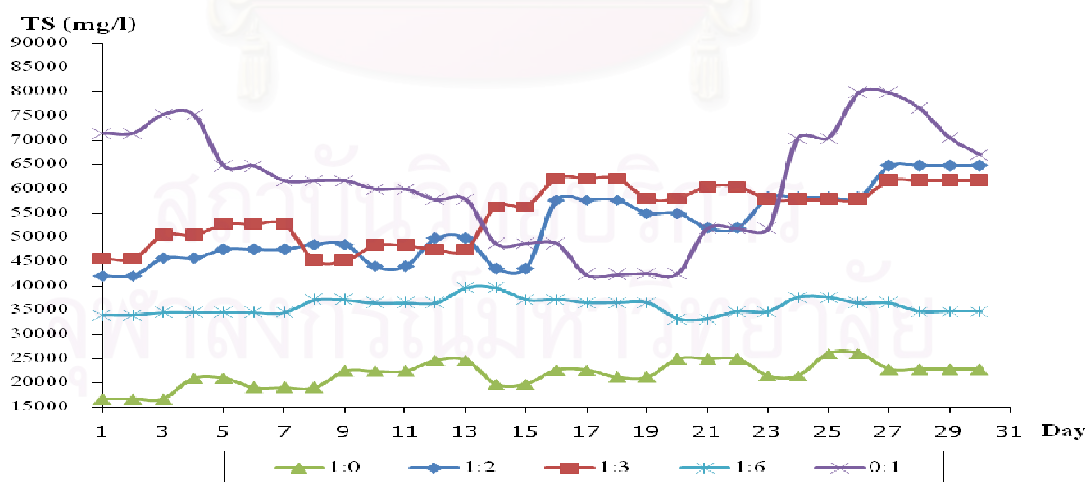


รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรดต่างของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

3) ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ที่อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 16,674 42,128 45,589 33,980 และ 71,450 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการประกอบขยะที่อยู่ในอัตราส่วนผสม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการทดลองของอาริยา วิรัชวรกุล (2546) ที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของสารละลายเศษอาหารอยู่ในช่วง 26,000 – 48,240 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน 1:0 1:2 1:3 และ 1:6 ซึ่งมีส่วนผสมของขยะเก่ามาก มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 22,783 64,783 61,716 และ 34,756 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.6 53.8 35.4 และ 3.3 ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าขยะที่มีส่วนผสมของขยะเก่ามากจะมีผลทำให้ค่าของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างหลังการทดลองสูงขึ้นด้วย สำหรับอัตราส่วนผสมขยะ 0:1 (ขยะสดล้วน) เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเท่ากับ 67,033 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 6.2

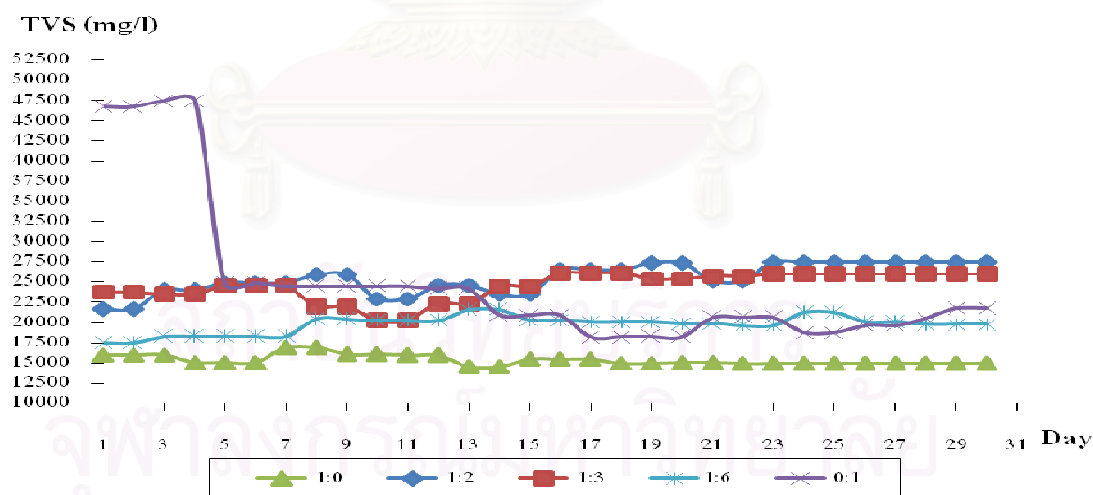
การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดอาจเนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอนเนต แอมโมเนียม ซึ่งมีผลทำให้ค่าพีเอชของระบบสูงขึ้นด้วย ส่วนที่อัตราส่วน 0:1 (ขยะสดล้วน) ปริมาณของแข็งมีแนวโน้มที่ลดลงในช่วงแรกของการเดินระบบเนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์กลายเป็นกรดระเหยง่ายซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไม่สามารถวิเคราะห์เป็นค่าของแข็งทั้งหมดได้ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.5 ที่มีค่ากรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงในช่วงท้ายของการเดินระบบเนื่องจากถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน



รูปที่ 4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

4) ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด

จากกราฟรูปที่ 4.6 พบว่าที่อัตราส่วน 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 มีค่าปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 15,956 21,650 23,767 17,450 และ 46,700 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับอัตราส่วนผสมขยะ 1:2 1:3 และ 1:6 มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 27,483 25,983 และ 19,767 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.9 9.3 และ 13.3 ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วน 1:0 มีค่าของแข็งระเหยทั้งหมดลดลงเล็กน้อยเนื่องจากมีเฉพาะขยะชุมชนเก่าซึ่งจะมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้น้อยเนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ส่วนที่อัตราส่วน 0:1 พบว่า ค่าของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าลดลงมากในวันที่ 5 ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนค่าซีไอดี เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเท่ากับ 21,700 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นการลดลงร้อยละ 53.5 อาจเนื่องจากองค์ประกอบของขยะสดเป็นผักและผลไม้ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 5 วันสารอินทรีย์ดังกล่าวจึงถูกย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนจนกลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ค่าของแข็งระเหยลดลง จากการวิเคราะห์ของชลิดา อุตะภา (2548) แสดงแนวโน้มว่าผักและผลไม้ที่มีปริมาณของแข็งที่ย่อยสลายได้ง่ายมากกว่าปริมาณของแข็งที่ย่อยสลายได้ยากจะสามารถถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้อากาศได้ดีกว่าผักและผลไม้ที่มีปริมาณของแข็งที่ย่อยสลายได้ง่ายน้อยกว่าปริมาณของแข็งที่ย่อยสลายได้ยาก

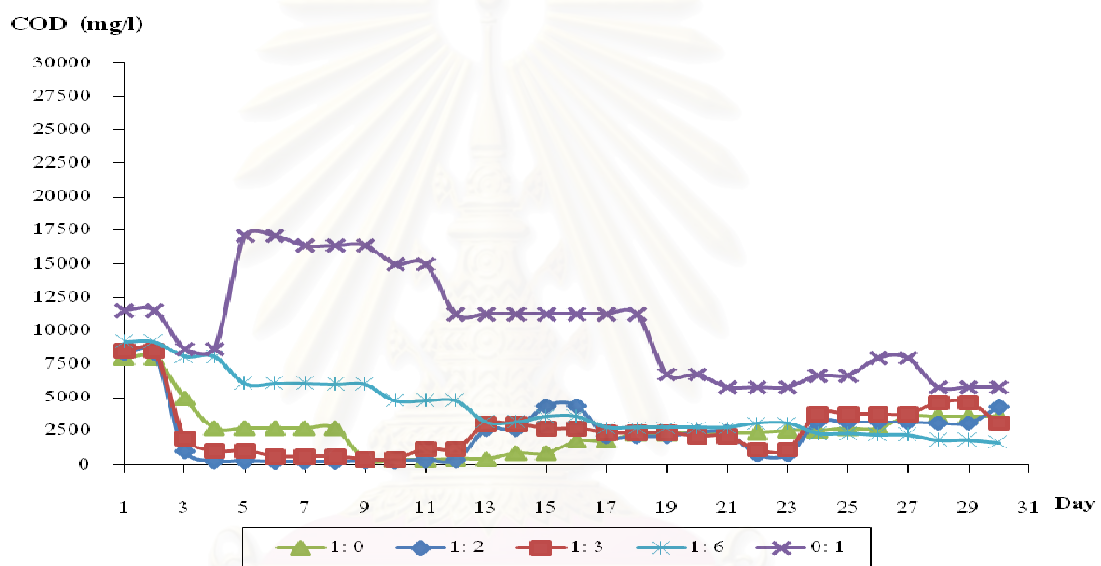


รูปที่ 4.6 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

5) ค่าซีไอดีกรอง

ค่าซีไอดีกรองเริ่มต้นของแต่ละอัตราส่วนขยะมีค่าแตกต่างกันคือ ที่อัตราส่วน 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 มีค่าซีไอดีเริ่มต้น เท่ากับ 8,000 8,356 8,520 9,200 และ 11,520 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเดินระบบครบ 30 วัน พบว่าอัตราส่วนผสมขยะต่างๆ มีแนวโน้มของค่าซีไอดีลดลง ค่าซีไอดี

สุดท้ายของแต่ละอัตราส่วนขยะเท่ากับ 3,600 4,312 3,136 1,655 และ 5,820 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในถังหมักถูกกำจัดไป เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 มีประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 55.00 48.40 63.19 82.01 และ 49.48 ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราส่วนขยะ 1:6 มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีสูงสุด ส่วนอัตราส่วน 0:1 พบว่าค่าชีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นในวันที่ 4 เนื่องจากขยะสดมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ซึ่งละลายน้ำได้ดี ทำให้ค่าชีโอดีของน้ำเพิ่มสูงขึ้น แต่ที่อัตราส่วน 1:0 ถึง 1:3 ซึ่งมีอัตราส่วนขยะสดต่ำค่าชีโอดีมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 3 ของการทดลอง ส่วนที่อัตราส่วน 1:6 ซึ่งมีอัตราส่วนของขยะสดสูงพบว่าค่าชีโอดีมีแนวโน้มลดลงสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.7

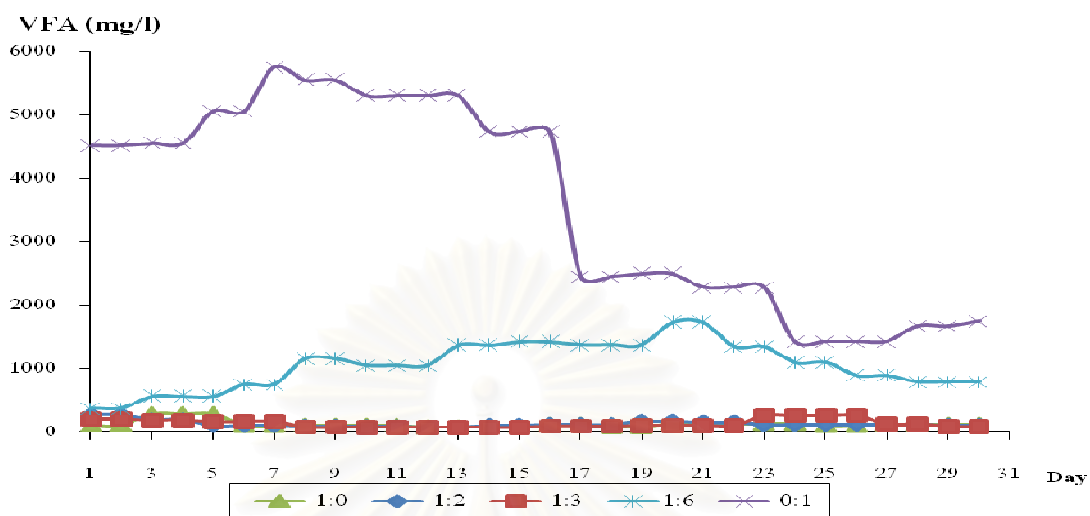


รูปที่ 4.7 ค่าชีโอดีกรองของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

6) ปริมาณกรดระเหยง่าย

ค่ากรดระเหยง่ายสำหรับอัตราส่วนผสมขยะ 1:2 1:3 และ 0:1 ในช่วงแรกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามเวลา โดยจะมีค่าค่อนข้างคงที่มีค่าอยู่ระหว่าง 72 – 163 และ 108 - 281 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.8 ส่วนที่อัตราส่วน 0:1 (ขยะสด) มีช่วงค่าปริมาณกรดระเหยง่ายสูงขึ้นและลดลงในตอนท้ายของการทดลอง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 4,517 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย จากนั้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 1,750 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับอัตราส่วน 1:6 มีช่วงค่าปริมาณกรดระเหยง่ายมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 375 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของการเดินระบบ การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดระเหยง่ายเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดระเหยง่ายทำให้มีปริมาณกรดระเหยง่ายสูงขึ้น ส่วนการที่ปริมาณกรดระเหยง่ายลดลงเนื่องจากกรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นในถังหมักจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เพื่อผลิตมีเทน

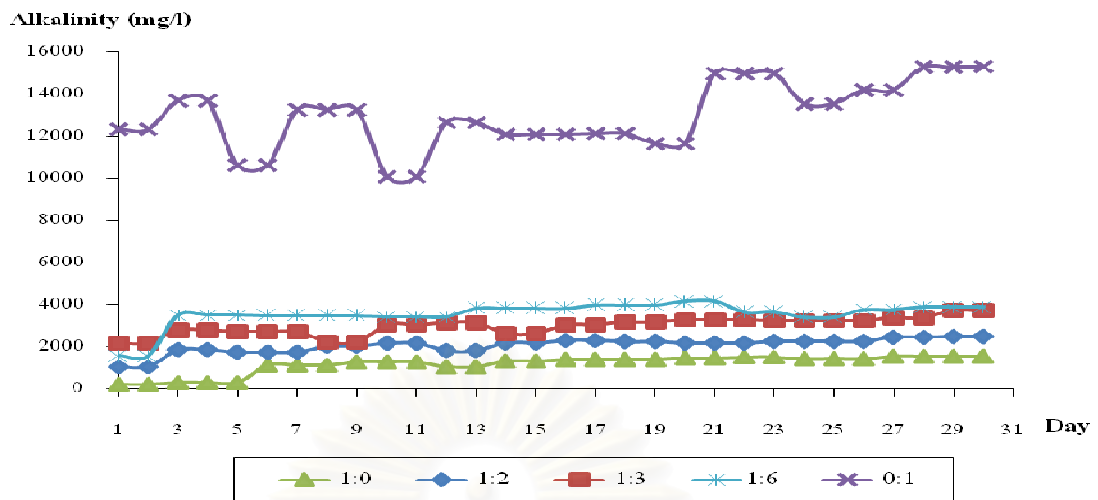
ทำให้ปริมาณกรดระเหยง่ายลดลง สอดคล้องกับปริมาณค่าของแข็งระเหยทั้งหมดที่อัตราส่วน 0:1 มีแนวโน้มลดลงมากเช่นกันหลังจากหมักวันที่ 5



รูปที่ 4.8 ปริมาณกรดระเหยง่ายของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

7) ปริมาณความเป็นต่างทั้งหมด

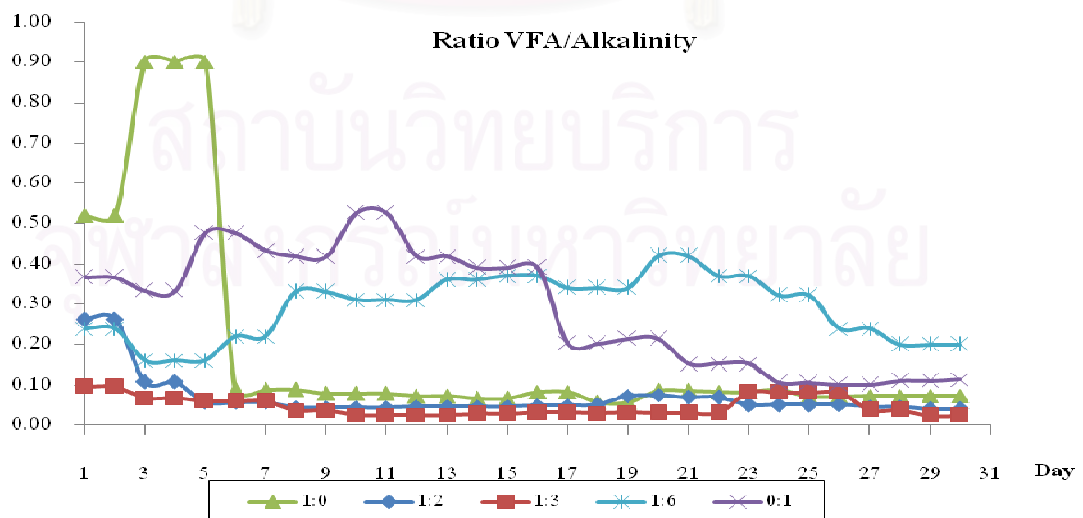
ปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเดินระบบโดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนขยะสูงขึ้นค่าความเป็นต่างของระบบจะสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.9 ที่อัตราส่วน 1:0 มีค่าปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดต่ำที่สุดจากทั้ง 5 อัตราส่วน โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 208 มิลลิกรัมต่อลิตร จนสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 1,550 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วน 1:2 1:3 และ 1:6 มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1,056 2,180 และ 1,575 มิลลิกรัมต่อลิตร จนสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 2,475 3,750 และ 3,890 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วน 0:1 มีค่าปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดสูงที่สุดจากทั้ง 5 อัตราส่วน มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 12,339 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 15,333 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเมื่อในระบบเกิดการย่อยสลายเกิดเป็นกรดระเหยง่าย คาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย จากนั้นกรดระเหยจะถูกใช้ไปเป็นสารอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนทำให้แอมโมเนียเหลือมากขึ้นและเมื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดจึงเพิ่มขึ้น (Raynal et al.,1998 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546) ซึ่งอัตราส่วน 0:1 มีค่าปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดสูงที่สุดจากทั้ง 5 อัตราส่วนก็สอดคล้องกับค่าซีโอดีที่ลดลงเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าลดลงเช่นกัน เนื่องจากการกลายเป็นกรดระเหยง่ายและถูกใช้เป็นอาหารของแบคทีเรียและค่าปริมาณกรดระเหยที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการกลายเป็นสภาพดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 4.9 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

8) อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด

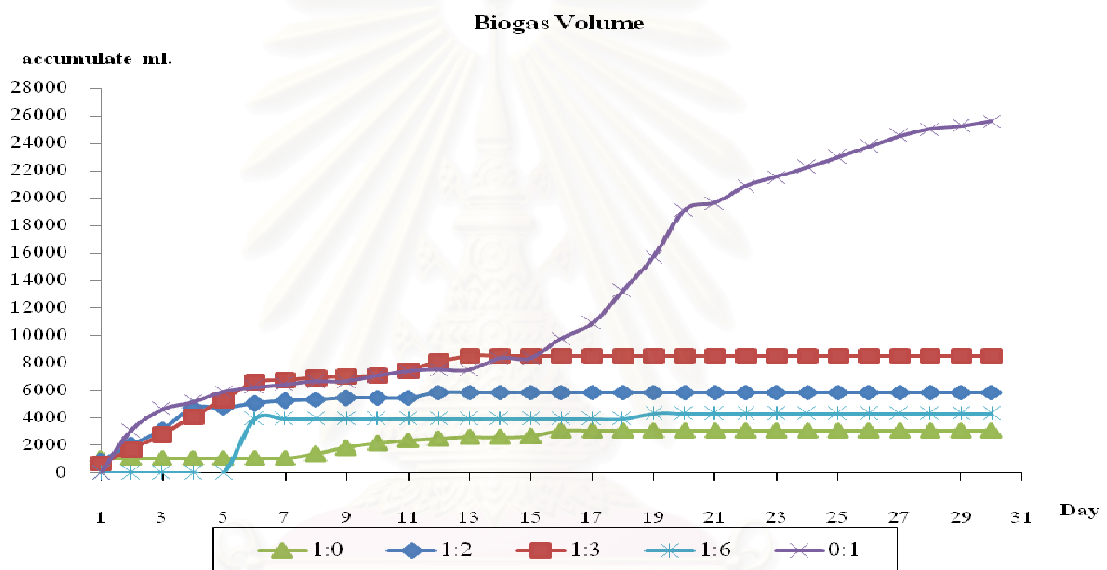
จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงความสมดุลของของระบบ พบว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดระเหยง่ายต่อปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.02 – 0.9 โดยขยะที่มีอัตราส่วนผสมขยะชุมชนสดมากจะมีแนวโน้มอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดสูงกว่าขยะที่มีอัตราส่วนผสมขยะเก่ามาก การทดลองมีปริมาณกรดระเหยง่ายทำให้อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดมีค่าเกินกว่า 0.8 หากค่าที่ได้มีค่ามากกว่า 0.8 จะทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจากพิษของกรดอินทรีย์ สำหรับอัตราส่วน 0:1 มีอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดสูงเป็นอันดับรองลงมามีค่าสูงสุดเท่า 0.53 ตามด้วยอัตราส่วนขยะ 1:6 1:2 และ 1:3 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.42 0.26 และ 0.1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

9) ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด

อัตราส่วนขยะที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมโดยที่ อัตราส่วนผสมขยะที่ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 3,103 5,885 8,551 4,350 และ 25,624 มิลลิลิตรตามลำดับ จำนวนวันที่ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้จะไม่เท่ากัน คือ อัตราส่วน 1:0 ใช้เวลาผลิต 16 วัน อัตราส่วน 1:2 ใช้เวลาผลิต 12 วัน อัตราส่วน 1:3 ใช้เวลาผลิต 13 วัน อัตราส่วน 1:6 ใช้เวลาผลิต 19 วัน อัตราส่วน 0:1 ใช้เวลาผลิต 30 วัน ดังรูปที่ 4.9 หากคิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเมื่อเทียบกับของแข็งระเหยทั้งหมดเริ่มต้นของแต่ละอัตราส่วนขยะ พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.06 0.09 0.12 0.08 และ 0.18 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการแปรผันอัตราส่วนขยะ

การคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ

ทุกการทดลองได้ใช้ขยะปริมาตรร้อยละ 60 ของปริมาตรการหมักผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ร้อยละ 40 โดยปริมาตรการหมัก ซึ่งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพของขยะและส่วนของหัวเชื้อจุลินทรีย์เอง ดังนั้นการคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดจากขยะที่มีส่วนผสมแตกต่างกันจะนำค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวเชื้อจุลินทรีย์มาหักออกเพื่อหาค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอย่างเดียว ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ

| ชุดการทดลอง | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพรวม (ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด เริ่มต้น) | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ (ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด เริ่มต้น) |
|------------------------------|---|--|
| หัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างเดียว | 0.016 | - |
| อัตราส่วนขยะ 1:0 | 0.06 | $0.06 - 0.016 = 0.044$ |
| อัตราส่วนขยะ 1:2 | 0.09 | $0.09 - 0.016 = 0.074$ |
| อัตราส่วนขยะ 1:3 | 0.12 | $0.12 - 0.016 = 0.104$ |
| อัตราส่วนขยะ 1:6 | 0.08 | $0.08 - 0.016 = 0.064$ |
| อัตราส่วนขยะ 0:1 | 0.18 | $0.18 - 0.016 = 0.164$ |

10) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีโดยหาสัดส่วนของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซอื่นๆ พบว่าเกือบทุกชุดการทดลองจะมีค่าอัตราส่วนของก๊าซมีเทนสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แต่ในภาพรวมอาจกล่าวได้ว่าอัตราส่วนก๊าซมีเทนยังมีค่าต่ำซึ่งยังไม่สามารถนำก๊าซชีวภาพจากระบบเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ พบว่า อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:0 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน ร้อยละ 12.69 อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:2 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน ร้อยละ 24.49 อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:3 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุด ร้อยละ 37.55 อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:6 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน ร้อยละ 46.02 อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 0:1 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุด ร้อยละ 49.99 ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วนผสมขยะแตกต่างกัน

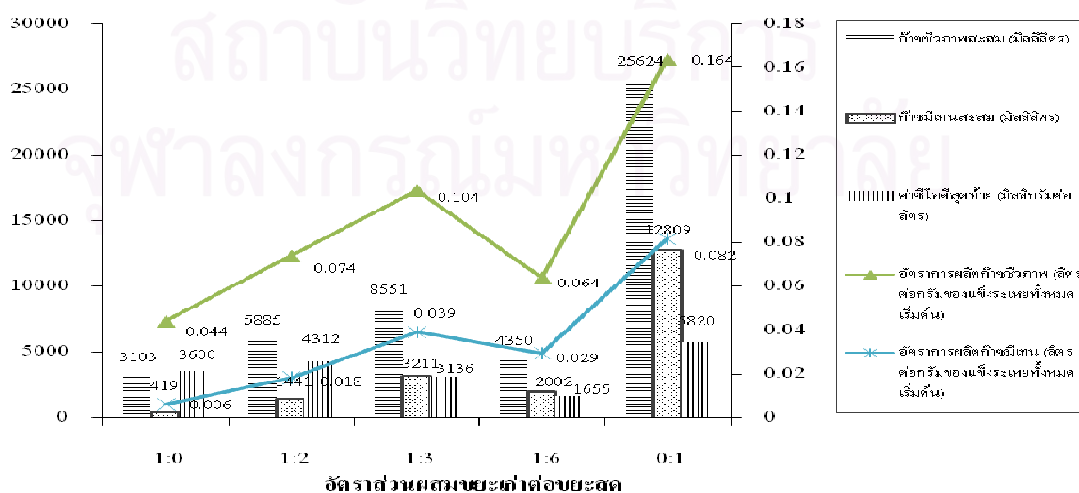
| องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ | อัตราส่วนของขยะชุมชนแก่จากหลุมแบบเทกองต่อ ขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ | | | | |
|-------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| ก๊าซมีเทน (ร้อยละ) | 12.69 | 24.49 | 37.55 | 46.02 | 49.9 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ) | 5.80 | 11.11 | 12.80 | - | 23.02 |
| ก๊าซอื่น ๆ (ร้อยละ) | 81.51 | 64.40 | 49.65 | 53.98 | 27.08 |

11) เปรียบเทียบสมรรถภาพของระบบที่อัตราส่วนผสมขยะต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยของอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน (1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1) พบว่าที่อัตราส่วน 0:1 มีค่าสูงสุดและมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงสุดร้อยละ 49.99 ดังตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบสมรรถภาพของระบบที่อัตราส่วนผสมขยะแตกต่างกัน

| พารามิเตอร์ | อัตราส่วนของขยะชุมชนแก่จากหลุมแบบเทกองต่อ ขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะ | | | | |
|--|---|----------------|----------------|---------------|-------------|
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| ค่าของแข็งทั้งหมด | | | | | |
| ○ ก่อนการทดลอง (กรัม) | 16.7 | 42.1 | 45.6 | 34.0 | 71.5 |
| ○ สิ้นสุดการทดลอง (กรัม) | 22.8 | 64.8 | 61.7 | 34.8 | 67.0 |
| ○ การเปลี่ยนแปลง (%) | เพิ่มขึ้น 36.52 | เพิ่มขึ้น 53.9 | เพิ่มขึ้น 35.3 | เพิ่มขึ้น 2.4 | ลดลง 6.3 |
| ค่าซีโอดี | | | | | |
| ○ ก่อนการทดลอง (กรัม/ลิตร) | 8 | 8.4 | 8.5 | 9.2 | 11.5 |
| ○ สิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ลิตร) | 3.6 | 4.3 | 3.1 | 1.7 | 5.9 |
| ○ การเปลี่ยนแปลง (%) | ลดลง 55 | ลดลง 48.8 | ลดลง 63.5 | ลดลง 81.5 | ลดลง 48.7 |
| อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด | | | | | |
| | 0.07 - 0.52 | 0.04 - 0.26 | 0.02 - 0.10 | 0.20 - 0.24 | 0.11 - 0.37 |
| อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (L/g TVS) | | | | | |
| | 0.044 | 0.074 | 0.104 | 0.064 | 0.164 |
| อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (L/g TVS) | | | | | |
| | 0.006 | 0.018 | 0.039 | 0.029 | 0.082 |
| Methane (%) | | | | | |
| | 12.69 | 24.49 | 37.55 | 46.02 | 49.99 |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร) | | | | | |
| | 3,103 | 5,885 | 8,551 | 4,350 | 25,624 |



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัตราส่วนผสมขยะ

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ที่อัตราส่วน 0:1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 25,624 มิลลิลิตร คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเท่ากับ 0.164 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด มีก๊าซมีเทนสูงสุดในวันสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 49.99 สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของขยะถูกย่อยสลายให้ก๊าซมีเทนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่อัตราส่วนอื่นๆ

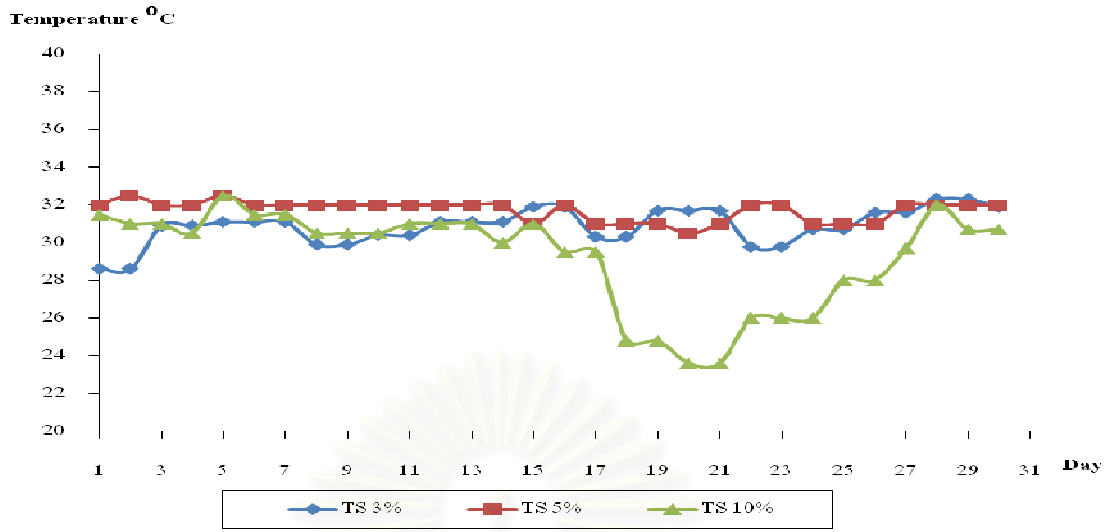
สำหรับการทดลองต่อในชุดการทดลองที่ 2 ได้เลือกอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากกรดเก็บขนขยะเท่ากับ 1:3 เนื่องจากสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้เท่ากับ 8,551 มิลลิลิตร คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเท่ากับ 0.104 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด มีก๊าซมีเทนสูงสุดร้อยละ 37.55 คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.039 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด และผลของค่าซีไอดีที่สุดท้ายมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วน 0:1 จึงเป็นเหตุผลในการเลือกอัตราส่วนผสมขยะเพื่อนำมาทดลองต่อไป อีกทั้งระยะเวลาที่สั้นที่สุดในการผลิตก๊าซเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่นำมาใช้เลือกอัตราส่วนผสมขยะ แม้ว่าอัตราส่วน 1:3 จะไม่ได้ใช้เวลาที่สั้นที่สุดซึ่งใช้เวลา 13 วันมากกว่าอัตราส่วน 1:2 เพียงวันเดียวซึ่งใช้เวลาสั้นที่สุด 12 วัน แต่ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสำหรับอัตราส่วน 1:3 มีปริมาณมากกว่าอัตราส่วน 1:2 และมีระยะเวลาที่สั้นกว่าอัตราส่วน 0:1

4.3 การศึกษาผลของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

จากการทดลองชุดที่ 1 ทดลองเพื่อหาอัตราส่วนของขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากกรดเก็บขนขยะ ได้เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนของขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากกรดเก็บขนขยะ เท่ากับ 1:3 มาดำเนินการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 3 5 และ 10 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นปัจจัยเกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้มีดังนี้

1) อุณหภูมิ

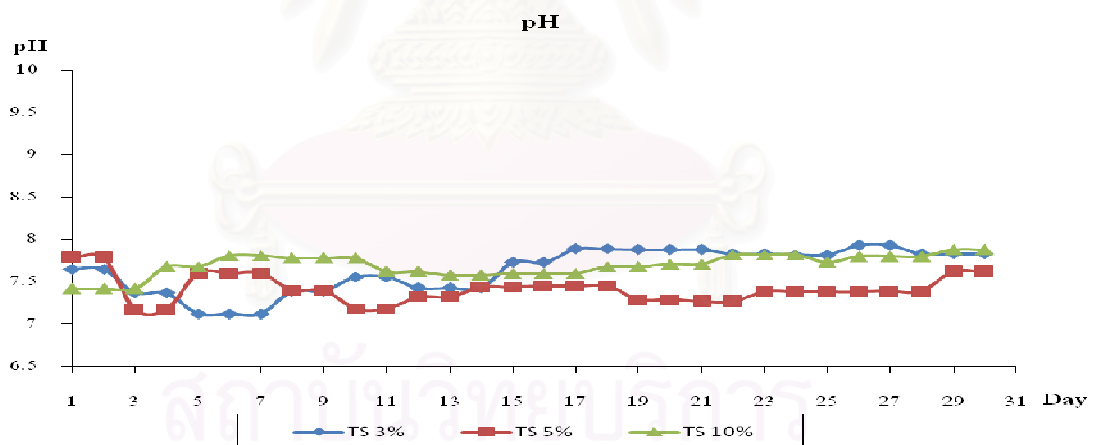
พบว่าอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ 3 ตั้งอยู่ในช่วง 24 ถึง 33 องศาเซลเซียส จัดว่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิระดับกลาง ซึ่งแบคทีเรียผลิตมีเทนจะทำงานได้ดี และเหมาะสมกับประเทศไทยจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้ความร้อนกับถังหมัก จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าช่วงวันที่ 17 ถึงวันที่ 28 มีอุณหภูมิลดลง เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิภายนอกถังปฏิกรณ์



รูปที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

2) ค่าความเป็นกรดต่าง

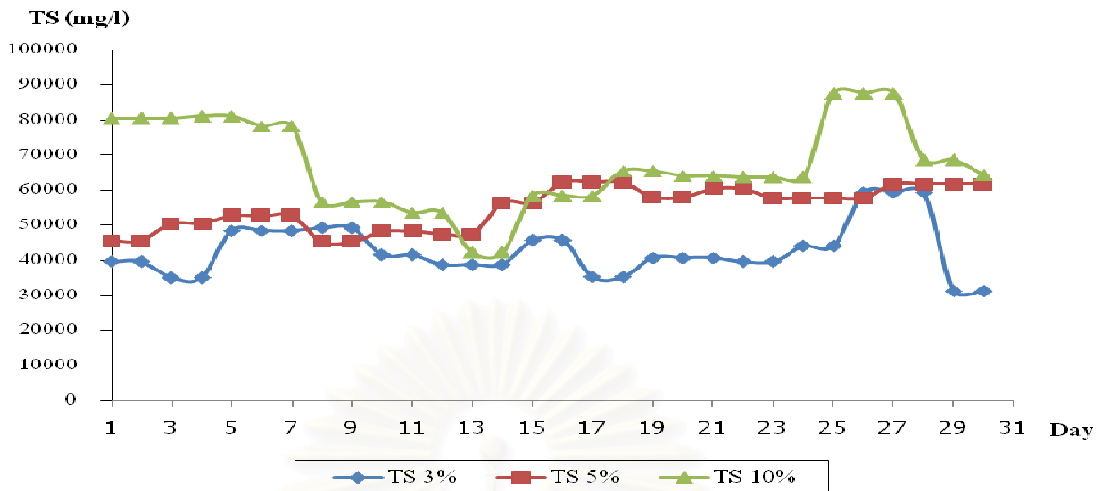
ทั้ง 3 ถังมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 7.1 - 7.8 ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินระบบโดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับด้วยสารเคมี โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6 - 7.8 (สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา), 2551)



รูปที่ 4.14 ค่าความเป็นกรดต่างของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

3) ปริมาณของแข็งทั้งหมด

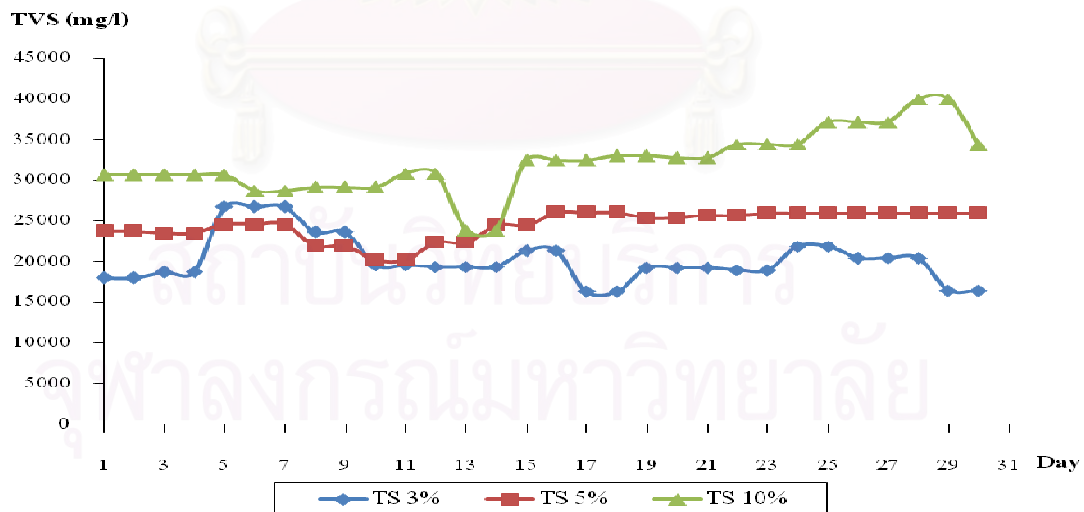
ถังหมักที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 5 และ 10 มีค่าของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 39,640 45,589 และ 80,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ 31,275 61,717 และ 64,300 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถังหมักที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 และ 10 มีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนถังหมักที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

4) ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด

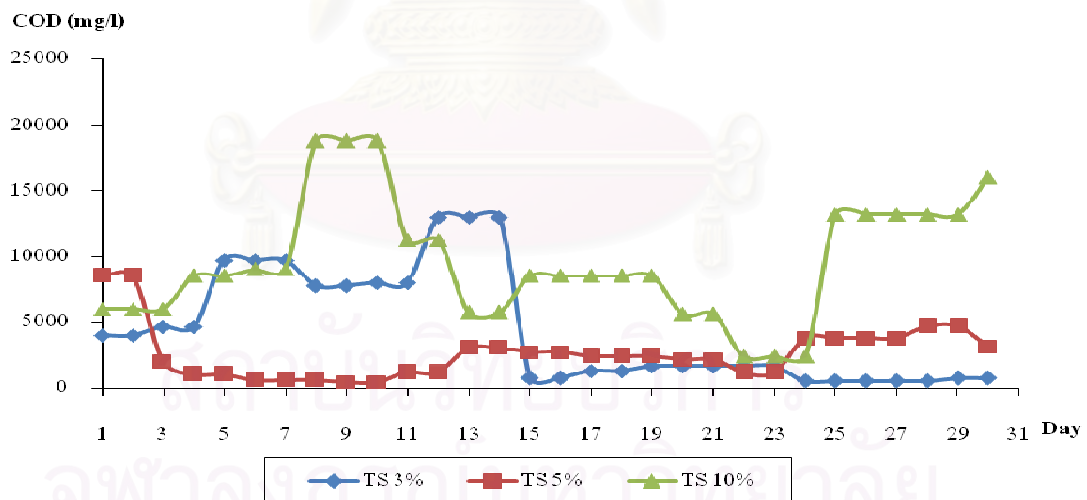
จากกราฟรูปที่ 4.16 พบว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 5 และ 10 มีค่าปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 18,000 23,767 และ 30,683 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระบบเช่นเดียวกับค่าของแข็งทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 มีค่าลดลงเป็น 16,440 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนถังที่ของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 และ 10 มีค่าของแข็งระเหยทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 25,983 และ 34,350 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

5) ค่าซีโอดีกรอง

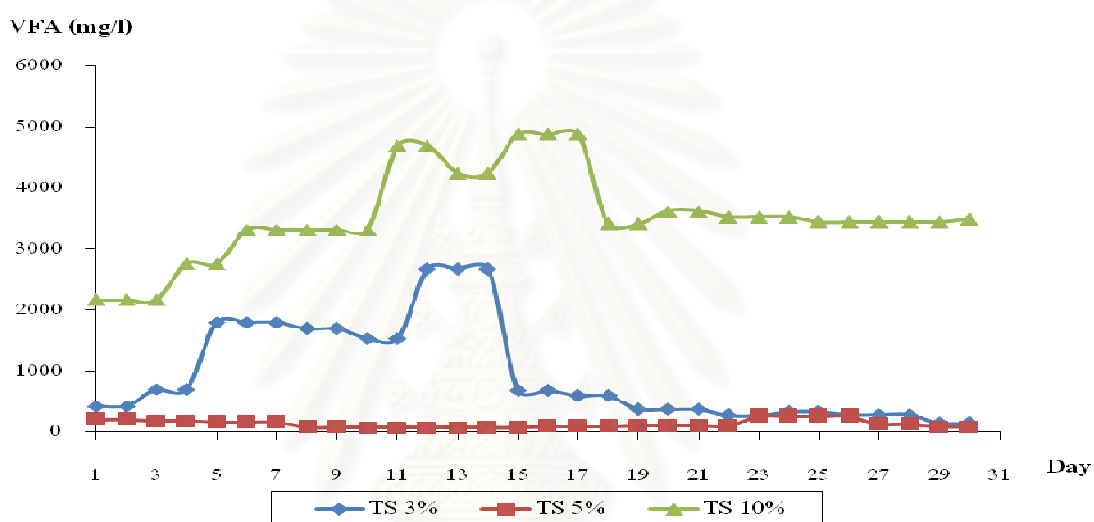
ค่าซีโอดีกรองเริ่มต้นของแต่ละถังมีค่าแตกต่างกัน คือ ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 5 และ 10 มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 4,000 8,520 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเดินระบบพบว่าค่าซีโอดีกรองของตัวอย่างน้ำในแต่ละถังมีค่าแปรปรวนในแต่ละวัน โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นลงตามปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่สะสมในระบบ ดังรูปที่ 4.17 ในวันสุดท้ายพบว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 10 มีค่าซีโอดีสุดท้ายสูงที่สุด รองลงมาคือ ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 และ 3 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของค่าซีโอดีกรองในน้ำจากระบบเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะเห็นได้ว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 10 มีค่าซีโอดีในน้ำสูงขึ้นซึ่งบ่งชี้ว่ายังคงมีสารอินทรีย์ละลายน้ำเหลืออยู่มาก และเมื่อพิจารณาค่ากรดระเหยง่ายก็พบว่ามีค่าสูงขึ้นเช่นกัน และมีค่าอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดค่อนข้างสูงด้วย แสดงว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 10 มีสถานะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 และร้อยละ 3 พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าซีโอดีในน้ำลดลงมาก เนื่องจากอยู่ในสถานะที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน(สุพินดา ฐระเจน, 2544) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดระเหยง่ายที่ลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.17 ค่าซีโอดีของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

6) ปริมาณกรดระเหยง่าย

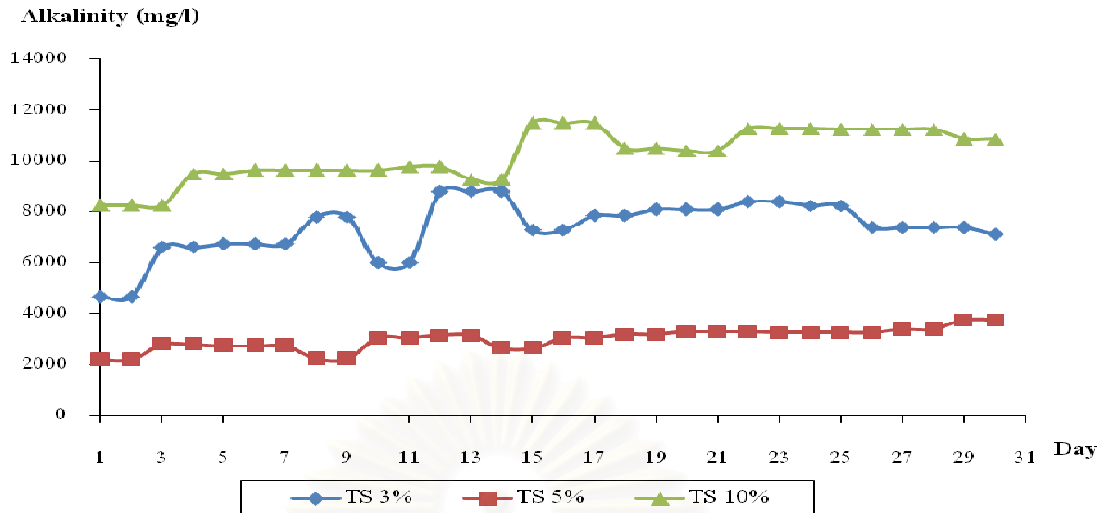
รูปที่ 4.18 ดังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 10 มีปริมาณกรดระเหยง่ายสะสมในระบบมากที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์เริ่มต้นสูงในระบบทำให้มีแนวโน้มกรดระเหยง่ายสะสมในระบบสูงขึ้นในช่วง 18 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงในระบบตามลำดับ ส่วนถึงที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 และร้อยละ 3 พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าปริมาณกรดระเหยง่ายลดลงมาก เนื่องจากอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน(สุพิณฑา ชูระเจน, 2544) ทำให้ในระบบมีค่าปริมาณกรดระเหยง่ายลดลง



รูปที่ 4.18 ปริมาณกรดระเหยง่ายของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

7) ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด

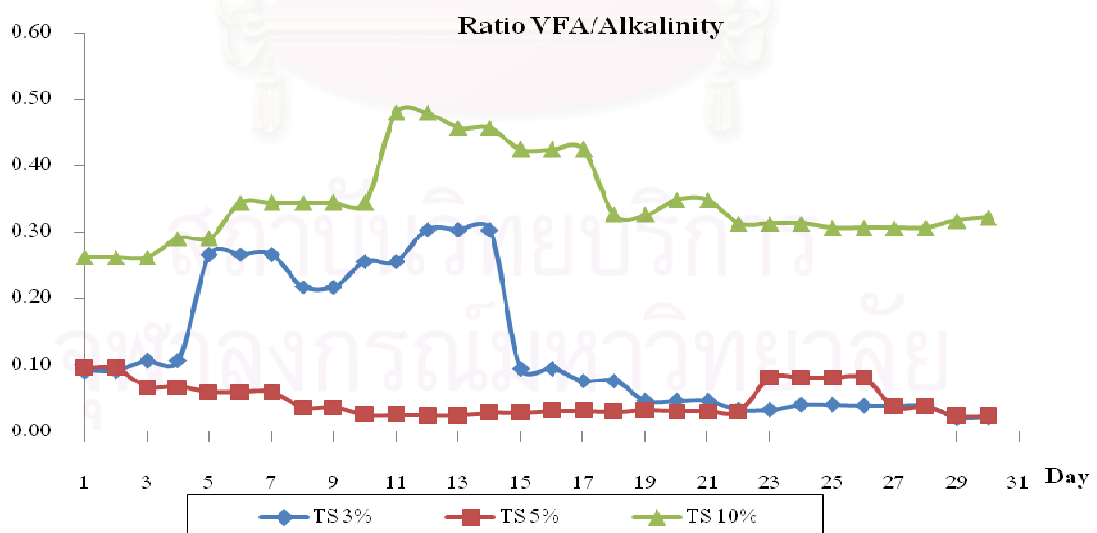
เมื่อเดินระบบพบว่าความเป็นด่างทั้งหมดของทุกการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นดังรูปที่ 4.19 โดยถึงที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 และ 10 มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 4,650 และ 8,267 มิลลิกรัมต่อลิตร จนสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 7,111 และ 10,875 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีค่าต่ำกว่าถึงอื่นๆ โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 2,180 มิลลิกรัมต่อลิตร จนสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 3,750 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.19 ปริมาณความเป็นกรดต่างทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

8) อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด

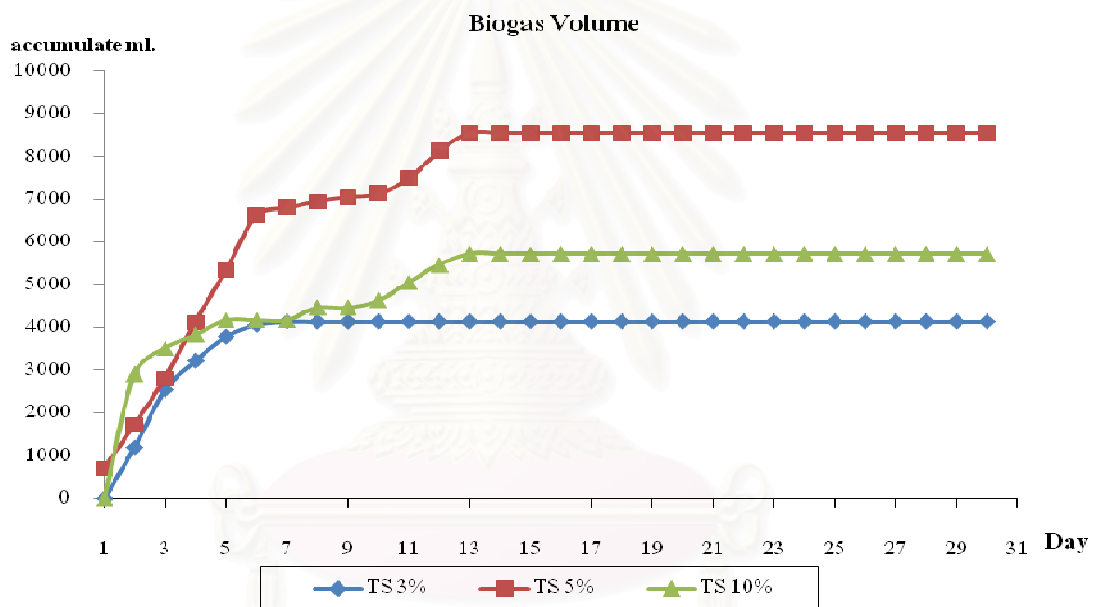
อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด ของถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 10 มีค่ามากที่สุด อยู่ในช่วง 0.26 – 0.48 ซึ่งหากมีค่าสูงกว่า 0.4 จะมีผลทำให้อัตราการผลิต ก๊าซชีวภาพของระบบลดลง ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 และ 5 มีค่าลดลงมาคืออยู่ในช่วง 0.02 – 0.27 และ 0.02 – 0.10 ตามลำดับ บ่งชี้ว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีสถานะเหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด



รูปที่ 4.20 อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด
ของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

9) ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด

ปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม โดยถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 8,551 มิลลิลิตร ส่วนถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 และ 10 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมต่ำกว่าเท่ากับ 4,135 และ 5,730 มิลลิลิตรตามลำดับ ดังรูปที่ 4.21 เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด พบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 5 และ 10 มีค่าเท่ากับ 0.08 0.12 และ 0.06 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด ส่วนจำนวนวันที่ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้แตกต่างกันตามปริมาณสารอินทรีย์เริ่มต้นในระบบ คือ ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ใช้เวลาผลิต 7 วัน ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 และ 10 ใช้เวลาผลิตนานกว่าเท่ากับ 13 วัน



รูปที่ 4.21 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

การคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ

สำหรับทุกการทดลองได้ใช้ขยะปริมาตรร้อยละ 60 ของปริมาตรหมักผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 40 โดยปริมาตร ดังนั้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพของขยะและส่วนของหัวเชื้อจุลินทรีย์เอง ดังนั้นการคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดจากขยะเพียงอย่างเดียว จะนำค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวเชื้อจุลินทรีย์มาหักออกจากค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถัง ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ

| ชุดการทดลอง | อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพรวม (ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด เริ่มต้น) | อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากขยะ (ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด เริ่มต้น) |
|---|---|--|
| หัวเชื้อจุลินทรีย์ | 0.016 | - |
| ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 3 | 0.08 | $0.08 - 0.016 = 0.064$ |
| ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 5 | 0.12 | $0.12 - 0.016 = 0.104$ |
| ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 10 | 0.06 | $0.06 - 0.016 = 0.044$ |

10) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี พบว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีปริมาณก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 37.55 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 และ 10 ที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 18.18 และ 28.87 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามในถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ยังคงมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่ต่ำกว่าที่จะสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

| องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ | การแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
|-------------------------------|-------------------------------|----------|-----------|
| | ร้อยละ 3 | ร้อยละ 5 | ร้อยละ 10 |
| ก๊าซมีเทน (ร้อยละ) | 18.18 | 37.55 | 28.87 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ) | 41.34 | 12.80 | - |
| ก๊าซอื่น ๆ (ร้อยละ) | 40.48 | 49.65 | 71.13 |

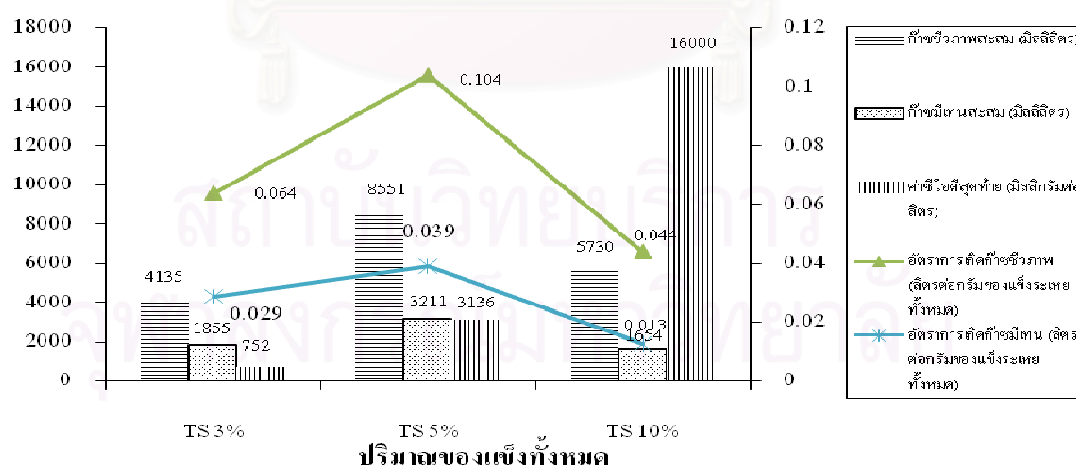
11) เปรียบเทียบสมรรถภาพของระบบที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยของถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน (ร้อยละ 3 ร้อยละ 5 และ ร้อยละ 10) พบว่าถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีค่าสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าซีไอดีกรองของน้ำในระบบเมื่อ

สิ้นสุดการทดลองที่มีค่าลดลงมากที่สุด (ร้อยละ 63.3) และค่าของแข็งทั้งหมดที่มีค่าสูงขึ้นมาที่สุด (ร้อยละ 35.4) บ่งชี้ว่าสารอินทรีย์ละลายถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพได้สูงสุด สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดที่มีค่าต่ำสุดของการทดลอง ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบสมรรถภาพของระบบที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน

| พารามิเตอร์ | การแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
|--|-------------------------------|----------------|---------------|
| | ร้อยละ 3 | ร้อยละ 5 | ร้อยละ 10 |
| ค่าของแข็งทั้งหมด | | | |
| ○ ก่อนการทดลอง (กรัม) | 39.6 | 45.6 | 80.5 |
| ○ สิ้นสุดการทดลอง (กรัม) | 32.3 | 61.7 | 64.3 |
| ○ การเปลี่ยนแปลง (%) | ลดลง 21.1 | เพิ่มขึ้น 35.4 | ลดลง 20.1 |
| ค่าซีไอดี | | | |
| ○ ก่อนการทดลอง (กรัม/ลิตร) | 4 | 8.5 | 6.0 |
| ○ สิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ลิตร) | 7.5 | 3.1 | 15 |
| ○ การเปลี่ยนแปลง (%) | ลดลง 81.2 | ลดลง 63.3 | เพิ่มขึ้น 150 |
| อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด | 0.02-0.27 | 0.02-0.10 | 0.21-0.48 |
| อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (L/g TVS) | 0.064 | 0.104 | 0.044 |
| อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (L/g TVS) | 0.012 | 0.039 | 0.013 |
| Methane (%) | 18.18 | 37.55 | 28.87 |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิเมตร) | 4,135 | 8,551 | 5,730 |



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปรผันปริมาณของแข็งทั้งหมด

จากประสิทธิภาพข้างต้น พบว่า ถังที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ ถังที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 เนื่องจากมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด มีอัตราการผลิตก๊าซต่อของแข็ง

ระเหยสูงที่สุด และมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงที่สุด (ร้อยละ 37.55) ประกอบกับมีค่าซีไอดีกรองของน้ำในระบบมีแนวโน้มลดลงต่ำสุด จึงพิจารณาคัดเลือกอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากกรებიบนขยะ เท่ากับ 1:3 ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 5 มาดำเนินการศึกษาผลการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนทดลองเพื่อหาแนวทางการเพิ่มองค์ประกอบก๊าซมีเทนให้สูงขึ้น

4.4 การศึกษาผลการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้น จึงกำหนดค่าอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองต่อขยะชุมชนสดจากกรებიบนขยะ เท่ากับ 1:3 และปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 5 ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ มาทำการทดลองศึกษาผลการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนทดลอง โดยเตรียมขยะที่อัตราส่วนที่ต้องการแล้วนำขยะมาผ่านการให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ก่อนหมักได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของขยะ ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งพบว่าขยะเริ่มต้นมีความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 72.32 ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 27.68 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด ร้อยละ 71.60

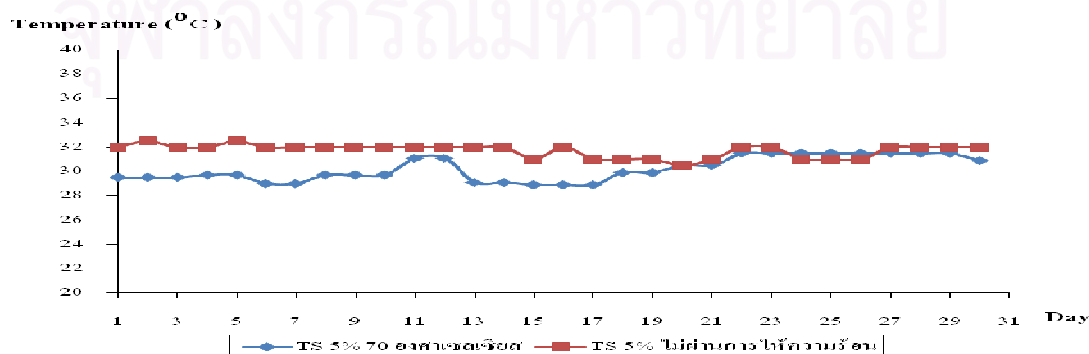
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์สมบัติของขยะที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส

| ลักษณะทางเคมี | ร้อยละ |
|---------------------------|--------|
| ปริมาณความชื้น | 72.32 |
| ปริมาณของแข็งทั้งหมด | 27.68 |
| ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด | 19.82 |

เมื่อดำเนินการทดลองสามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ผลดังนี้

1) อุณหภูมิ

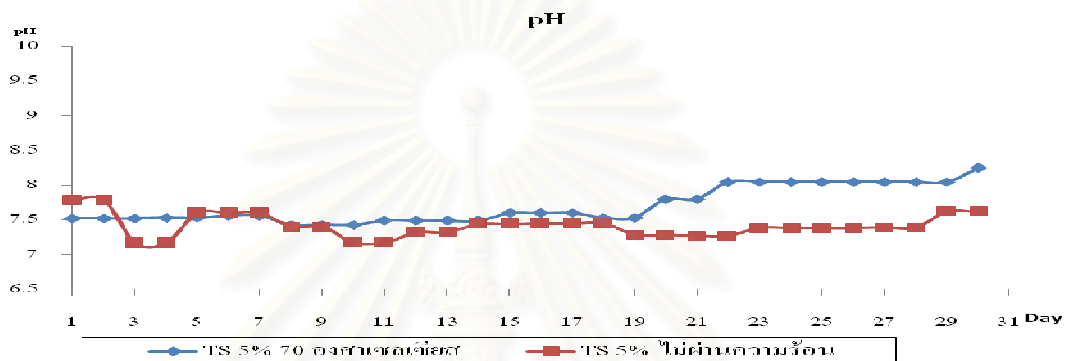
พบว่าอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ 2 ถังอยู่ในช่วง 24 ถึง 33 องศาเซลเซียส โดยถังที่มีการให้ความร้อนก่อนการหมักมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ช้ากว่าถังที่ไม่มีการให้ความร้อนก่อนการหมัก



รูปที่ 4.23 ค่าอุณหภูมิในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

2) ค่าความเป็นกรดต่าง

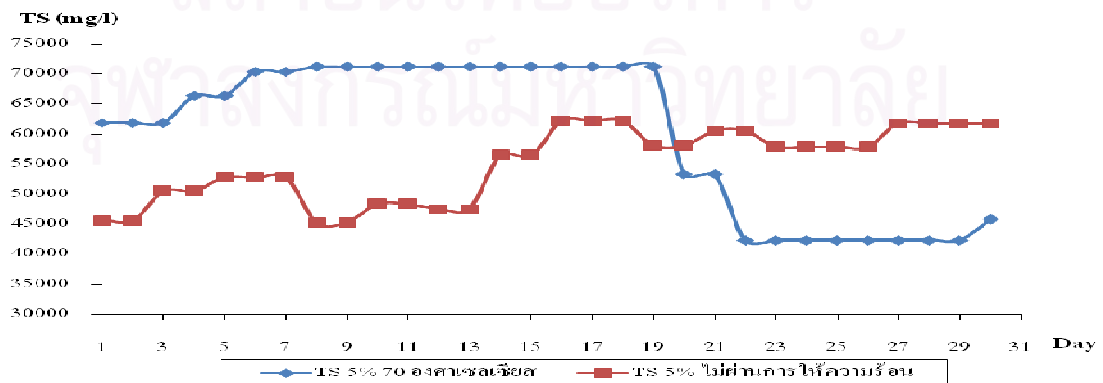
ทั้ง 2 ถังมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 7.1 - 7.8 ดังรูปที่ 4.24 เริ่มต้นถังที่ไม่ให้ความร้อนก่อนการหมักมีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่า แต่เมื่อดำเนินระบบพบว่า ถังที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของสมชาย (2530) ที่พบว่าค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลงในทางเพิ่มขึ้น ทั้งที่ไม่มีการเติมสารเคมีเพื่อปรับค่าความเป็นกรดต่าง ซึ่งสาเหตุมาจาก สารอาหารถูกย่อยสลาย ทำให้เกิดสภาพเป็นด่างเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด



รูปที่ 4.24 ค่าความเป็นกรดต่างในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

3) ปริมาณของแข็งทั้งหมด

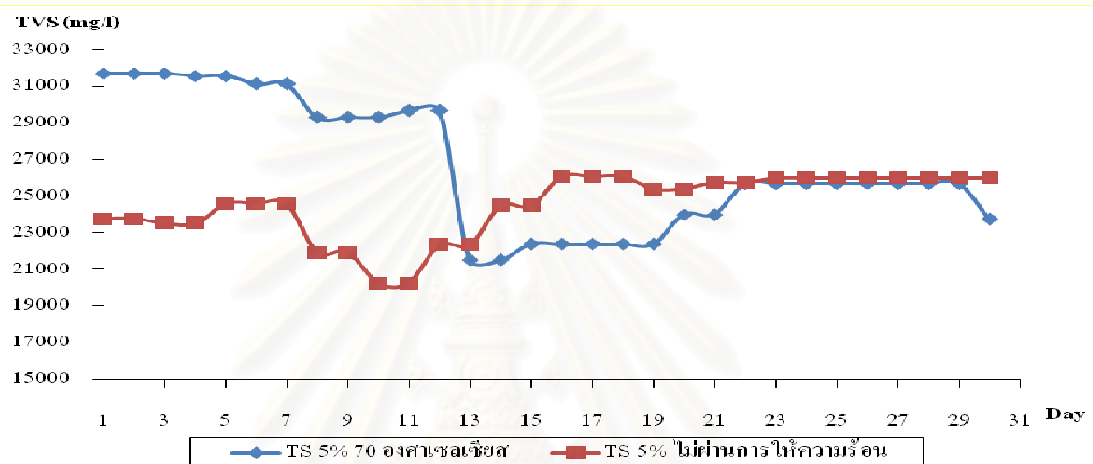
ปริมาณของแข็งทั้งหมดของถังที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นสูงกว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 61,850 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะมีค่าลดลงจนสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 45,750 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 26 อาจเนื่องจากการให้ความร้อนช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็ก และถูกย่อยสลายเป็นสารสารอนินทรีย์ ได้ดีขึ้น ส่วนถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นหลังสิ้นสุดการทดลอง ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

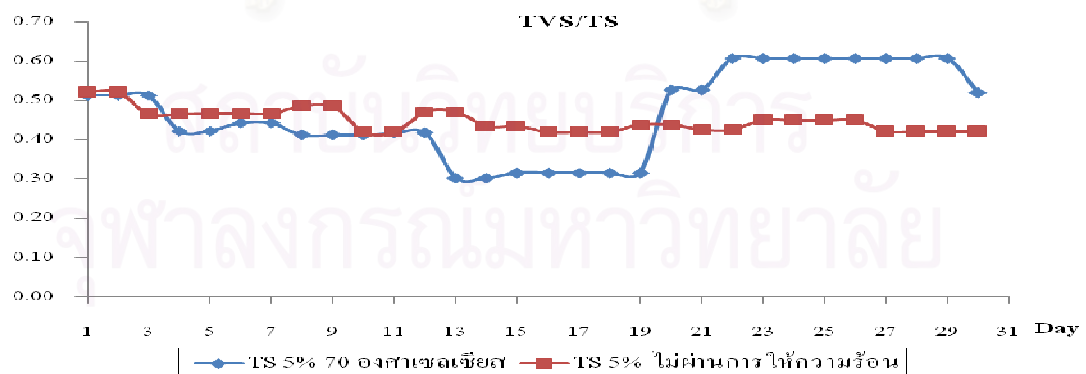
4) ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด

การทดลองพบว่า การให้ความร้อนขยะมีผลให้ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นกว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 31,700 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มลดลงจนถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 23,750 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 25 สำหรับถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 23,767 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าของแข็งระเหยทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.26 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

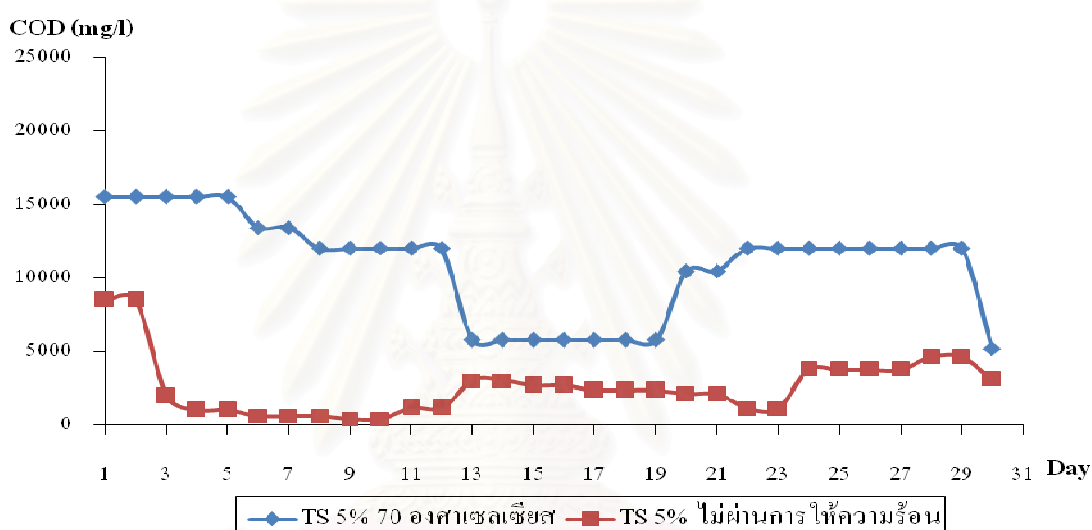
เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดกับของแข็งทั้งหมด พบว่า ถังที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าสูงขึ้นหลังสิ้นสุดการทดลอง อาจเนื่องจากการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ในระบบเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.27 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดต่อของแข็งทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

5) ค่าซีโอดีกรอง

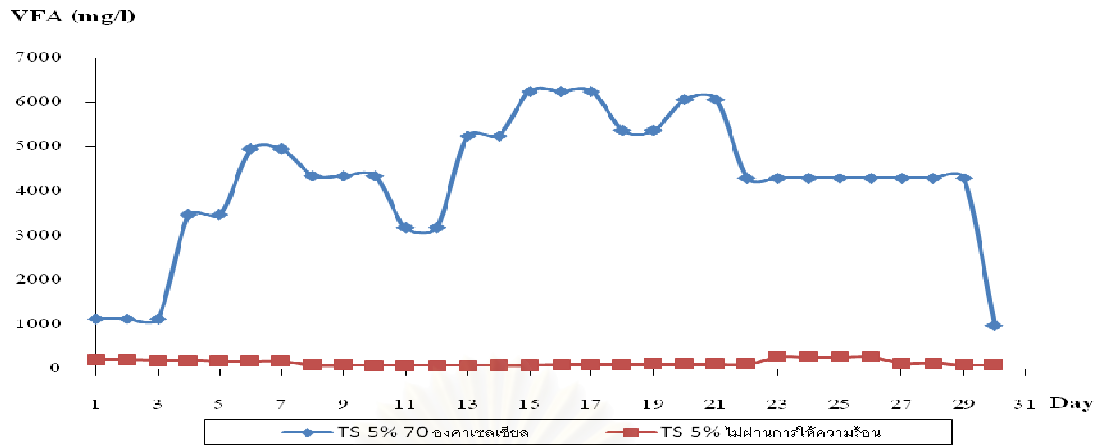
การให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ค่าซีโอดีกรองเริ่มต้นสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 15,520 และ 8,520 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อเดินระบบพบว่า ถังที่ผ่านการให้ความร้อน มีค่าซีโอดีสูง หลังจากการหมักได้ 30 วัน ลดลงเหลือ 5,239 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในถังหมักถูกกำจัดได้สูงถึงร้อยละ 66.24 ซึ่งขยะที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าเล็กน้อย (63.19%) การให้ความร้อนกับขยะก่อนหมักอาจมีผลทำให้สารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ยากในขยะอยู่ในสภาพที่จุลชีพนำไปใช้ได้มากขึ้น โดยจะทำลายชั้นเนื้อเยื่อและผนังเซลล์ทำให้เกิดสารละลายในน้ำมากขึ้น ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ค่าซีโอดีในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

6) ปริมาณกรดระเหยง่าย

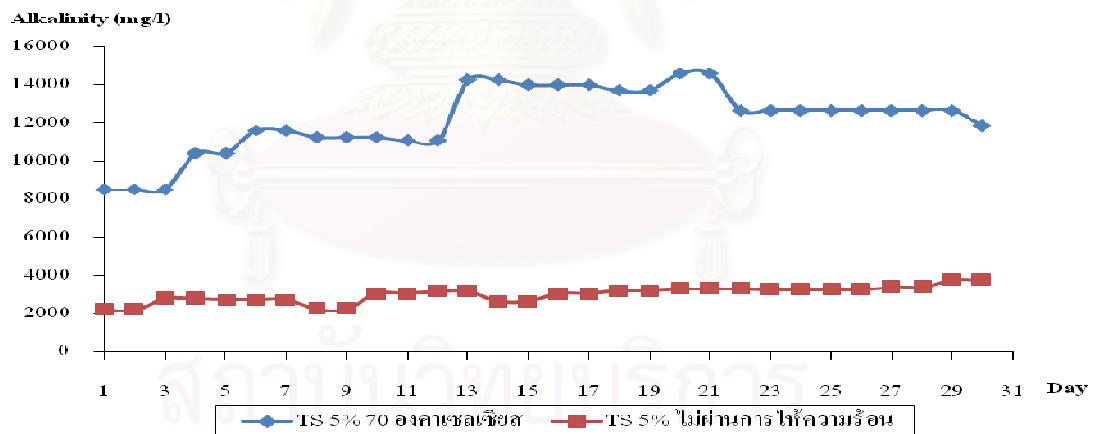
ปริมาณกรดระเหยง่ายของถังที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส มีค่าที่สูงกว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1,125 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และลดลงในวันที่ 21 ของการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าสูงอยู่ที่ 983 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 208 มิลลิกรัมต่อลิตร และสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 87.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.29 ปริมาณกรดระเหยง่ายในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

7) ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด

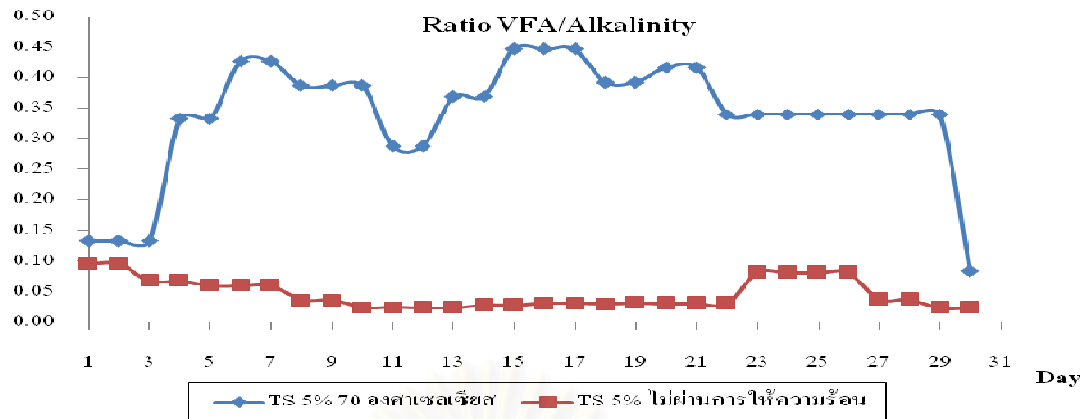
ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดของถังที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส มีค่าที่สูงกว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 8,500 มิลลิกรัมต่อลิตรและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าอยู่ที่ 11,833 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 2,189 มิลลิกรัมต่อลิตร และสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 3,750 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.30 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

8) อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด

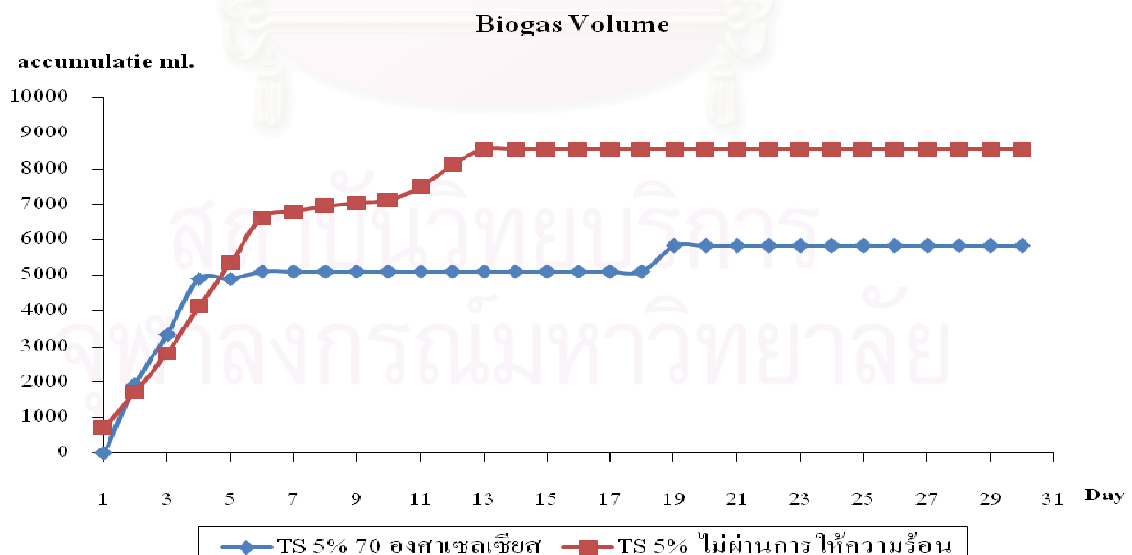
ถังที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียสก่อนการหมักมีอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด มากกว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าระหว่าง 0.14 - 0.43 ซึ่งหากมีค่าสูงกว่า 0.4 อาจมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียเมทาโนเจน ทำให้มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยในระบบมากสอดคล้องกับรูปที่ 4.31 มีสภาพกรดน้อยกว่า



รูปที่ 4.31 อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

9) ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด

จากรูปที่ 4.32 เห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมดของถังที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 5,845 มิลลิลิตร ในเวลา 4 วัน ซึ่งต่ำกว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่มีปริมาณเท่ากับ 8,551 มิลลิลิตร ซึ่งใช้เวลาทั้งหมดในการผลิตก๊าซเท่ากับ 13 วัน ส่วน หากพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและถังที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.12 และ 0.06 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด ตามลำดับ



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดในระบบของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน

การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพจากขยะ

การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพจากขยะ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการหมัก

| ชุดการทดลอง | อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพรวม (ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด เริ่มต้น) | อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากขยะ (ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมด เริ่มต้น) |
|---|---|--|
| หัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างเดียว | 0.016 | - |
| ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | 0.06 | $0.06 - 0.016 = 0.044$ |
| ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 ไม่ผ่านการให้ความร้อน | 0.12 | $0.12 - 0.016 = 0.104$ |

10) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟีโดยหาสัดส่วนของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซอื่นๆ พบว่าถังที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุดร้อยละ 73.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 43.24 และก๊าซอื่นๆ ร้อยละ 41.14 ถังที่ไม่ให้ความร้อนก่อนการหมักมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุดร้อยละ 37.55 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 12.80 และก๊าซอื่นๆ ร้อยละ 62.45

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการหมัก

| องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ | ถังผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
|-------------------------------|--|-----------------------------|
| ก๊าซมีเทน (ร้อยละ) | 73.3 | 37.55 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ) | - | 12.80 |
| ก๊าซอื่น ๆ (ร้อยละ) | 26.7 | 49.65 |

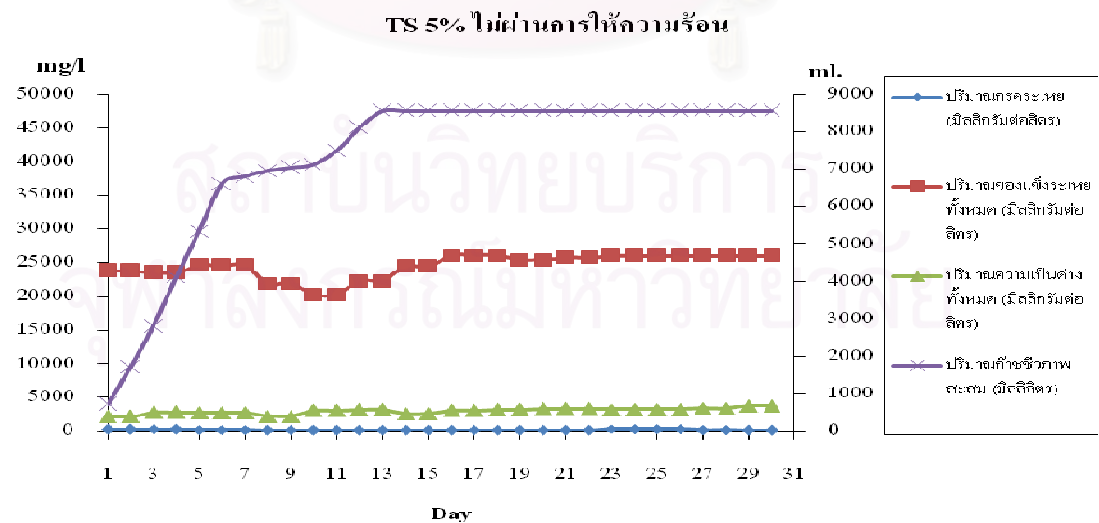
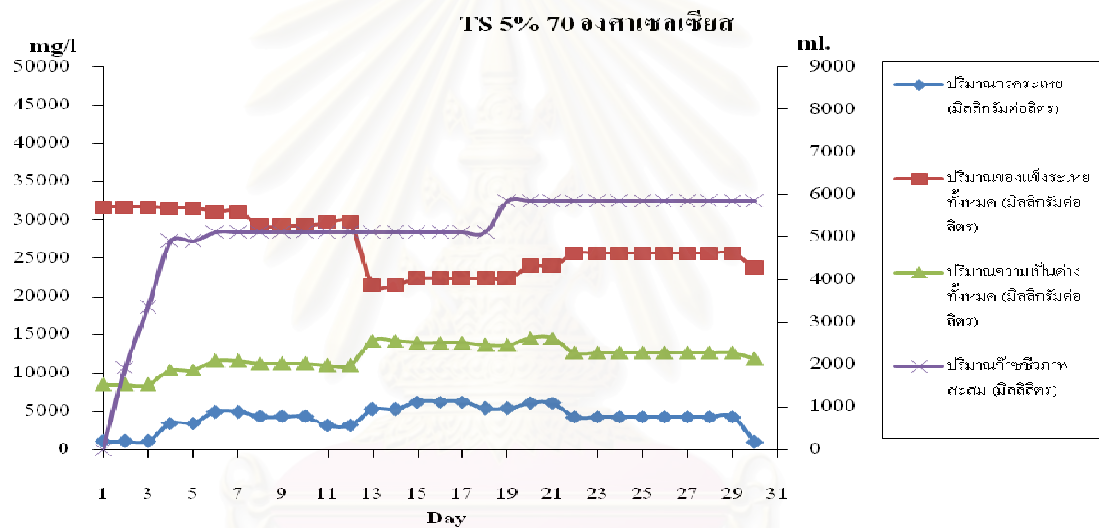
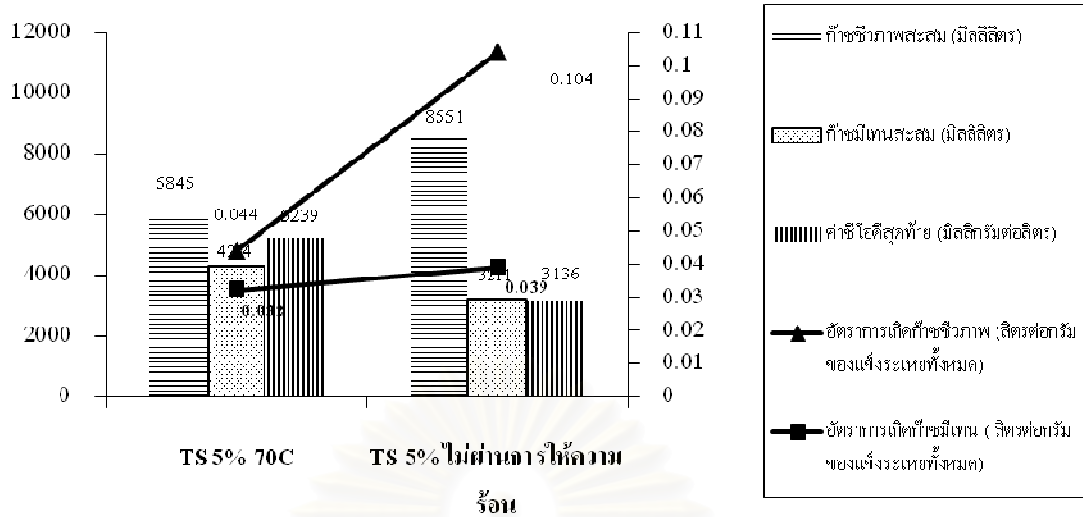
11) เปรียบเทียบสมรรถภาพของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนหมัก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนหมัก พบว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าถังที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนหมัก แต่มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากัน ดังตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบสมรรถภาพของถังที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนหมัก

| พารามิเตอร์ | ถังที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนหมัก | ถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนหมัก |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| ค่าของแข็งทั้งหมด | | |
| ○ ก่อนการทดลอง (กรัม) | 61.9 | 45.6 |
| ○ สิ้นสุดการทดลอง (กรัม) | 45.8 | 61.7 |
| ○ การเปลี่ยนแปลง (%) | ลดลง 26.0 | เพิ่มขึ้น 35.3 |
| ค่าซีไอดี | | |
| ○ ก่อนการทดลอง (กรัม/ลิตร) | 15.5 | 8.5 |
| ○ สิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ลิตร) | 5.2 | 3.1 |
| ○ การเปลี่ยนแปลง (%) | ลดลง 66.2 | ลดลง 63.2 |
| อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด | 0.08-0.13 | 0.02-0.10 |
| อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (L/g TVS) | 0.044 | 0.104 |
| อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (L/g TVS) | 0.032 | 0.039 |
| Methane (%) | 73.3 | 37.55 |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร) | 5,845 | 8,551 |

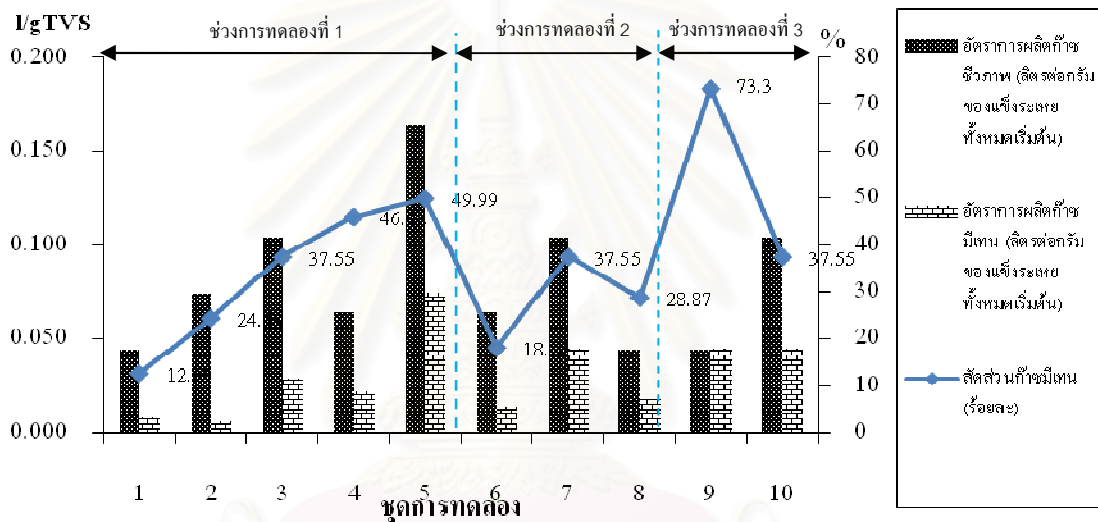
จากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนจะมีปริมาณก๊าซสะสมสูงที่สุด แต่เมื่อคูค้ำร่อยละการเกิดก้ำซมีเทนแล้ว พบว่าถังที่มีการผ่านความร้อนก่อนหมักให้ปริมาณก้ำซมีเทนสูงกว่าโดยคิดเป็นปริมาณจากปริมาณก้ำซสะสมแล้วจะมีก้ำซมีเทน เท่ากับ 4,284 มิลลิลิตร ซึ่งมากกว่าถังที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีปริมาณเท่ากับ 3,212 มิลลิลิตร จะเห็นได้ว่า การให้ความร้อนขะก่อนการหมักเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเพิ่มองค์ประกอบของก้ำซมีเทน เป็นการทำลายพันธะเคมีผนังเซลล์หรือเนื้อเยื่อ ทำให้ละลายได้ง่ายขึ้น (L.Appels et al., 2008) โดยที่ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้วิเคราะห์ พบว่า เมื่อค่าปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าลดลงทำให้ค่าปริมาณกรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและกรดระเหยง่ายลดลงเมื่อมีก้ำซชีวภาพเกิดขึ้นเนื่องจากกรดระเหยง่ายซึ่งเป็นสับเตรตให้แบคทีเรียใช้ในการผลิตก้ำซมีเทนและเนื่องจากเมื่อในระบบเกิดการย่อยสลายเกิดเป็นกรดระเหยง่ายและแอมโมเนีย จากนั้นกรดระเหยจะถูกใช้ไปเป็นสารอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างก้ำซมีเทนทำให้แอมโมเนียเหลือมากขึ้นและเมื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดจึงเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของของถึงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการหมัก

4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของทุกชุดการทดลอง

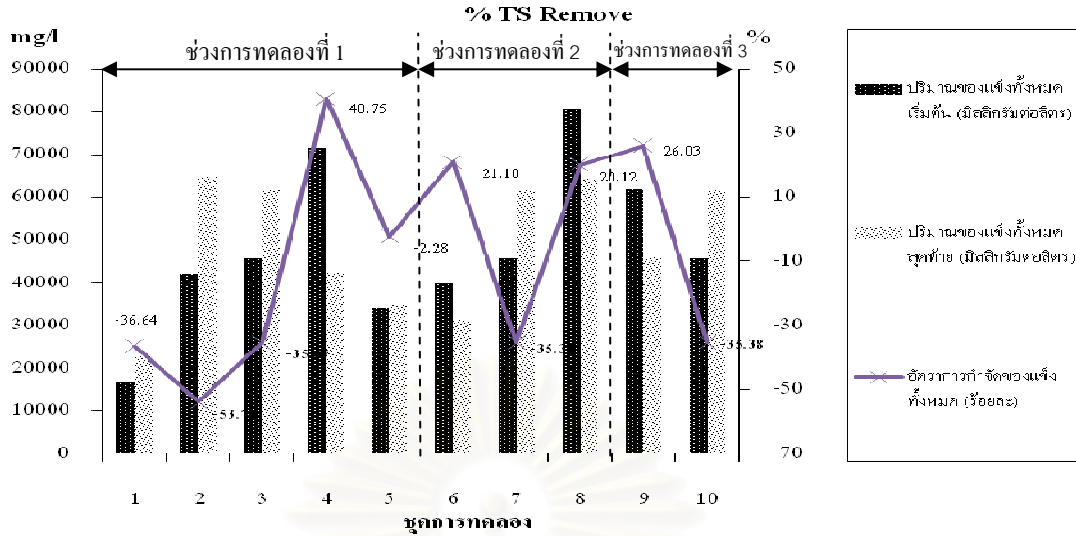
จากผลการทดลองข้างต้นทำให้พบว่าถึงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ถึงที่มีการให้ความร้อนแก่ขยะก่อนการหมัก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:3 โดยใช้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 พบว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 5,845 มิลลิลิตร โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบของร้อยละ 73.3 คิดเป็นปริมาณเท่ากับ 4,284 มิลลิลิตร หรืออัตราการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.032 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยทั้งหมดเริ่มต้น และมีอัตราการกำจัดของแข็งทั้งหมดและอัตราการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดสูง เท่ากับร้อยละ 26.03 และ 25.08 ตามลำดับ ดังกราฟรูปที่ 4.34 ถึง 4.36



| | |
|---|---|
| 1 = อัตราส่วนขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:0 | 2 = อัตราส่วนขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:2 |
| 3 = อัตราส่วนขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:3 | 4 = อัตราส่วนขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 1:6 |
| 5 = อัตราส่วนขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด 0:1 | 6 = TS 3% 7 = TS 5% 8 = TS 10% |
| 9 = TS 5% 70 องศาเซลเซียส | 10 = TS 5% ไม่ผ่านการให้ความร้อน |

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 3, 7, 10 คือชุดการทดลองเดียวกัน

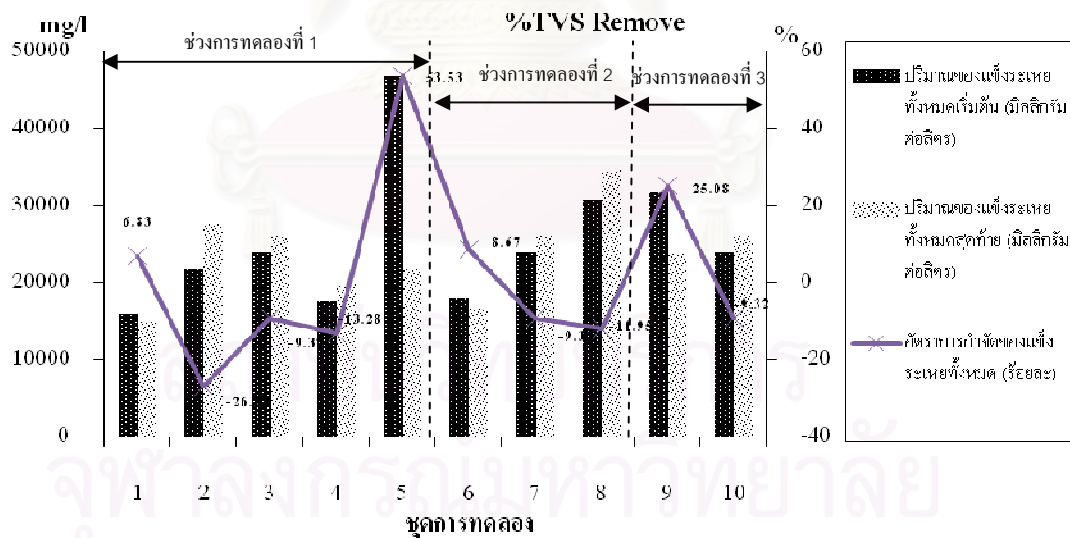
รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสะสม



- 1 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:0
- 2 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:2
- 3 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:3
- 4 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:6
- 5 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 0:1
- 6 = TS 3%
- 7 = TS 5%
- 8 = TS 10%
- 9 = TS 5% 70 องศาเซลเซียส
- 10 = TS 5% ไม่ผ่านการให้ความร้อน

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 3, 7, 10 คือชุดการทดลองเดียวกัน

รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดของแข็งทั้งหมด



- 1 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:0
- 2 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:2
- 3 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:3
- 4 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 1:6
- 5 = อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด 0:1
- 6 = TS 3%
- 7 = TS 5%
- 8 = TS 10%
- 9 = TS 5% 70 องศาเซลเซียส
- 10 = TS 5% ไม่ผ่านการให้ความร้อน

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 3, 7, 10 คือชุดการทดลองเดียวกัน

รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบอัตราการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมด

เมื่อเทียบประสิทธิภาพของการทดลองกับงานวิจัยอื่นๆ สามารถแสดงให้เห็นได้ดังตารางที่

4.15

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยอื่น ๆ

| งานวิจัย | สภาวะการทดลอง | ปริมาณก๊าซเฉลี่ย | องค์ประกอบก๊าซ |
|-----------------------------------|--|---|------------------------|
| งานวิจัยครั้งนี้ | การทดลองแบบแบคซ์ ในถังกวน สมบูรณ์ หมักด้วยขยะชุมชน อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะ ชุมชนสด 1:3 TS=5% ให้ความ ร้อนก่อนทดลอง 70°C | 0.044 l biogas/gTVS 0.032 l methane/gTVS | |
| | อัตราส่วนขยะชุมชนเก่าต่อขยะ ชุมชนสด 1:3 TS=5% ไม่ผ่านการ ให้ความร้อนก่อนทดลอง 70°C | 0.104 l biogas/gTVS 0.039 l methane/gTVS | |
| | ขยะชุมชนสดที่ TS=5% | 0.164 l biogas/gTVS 0.082 l methane/gTVS | |
| Gomez et al. (2006) | การทดลองต่อเนื่อง ภายใต้การ เปลี่ยนแปลงอัตราการกวนผสม และอัตราการระสารอินทรีย์ หมัก โดยใช้สัลดัจขึ้นดิน และ ขยะ ชุมชนในส่วนที่เป็นผักและผลไม้ TS = 6% | 0.6 – 0.8 l/gTVS | - |
| Elango et al. (2007) | การทดลองแบบแบคซ์ หมักโดย ใช้ขยะชุมชนร่วมกับน้ำเสียชุมชน แปรผันค่าอัตราการระสรรทุก สารอินทรีย์ | 0.36 l methane/gTVS | - |
| Fernandez et al. (2008) | การทดลองแบบแบคซ์ หมักโดย ใช้ขยะอินทรีย์ชุมชน โดยแปรผัน - TS 20% - TS 30% | 0.5 l methane/day 0.2 l methane/day | |
| Forster-Carneiro et al. (2008) | การทดลองแบบแบคซ์ หมักโดย ใช้ขยะอินทรีย์ชุมชนแปรผันขนาด เป็น 3 ชุดการทดลอง TS = 20% | 0.05-0.18 l methane/gTVS | |
| อาริยา (2546) | การทดลองต่อเนื่อง มีการกวน ผสมอย่างสมบูรณ์ หมักโดยใช้เศษ อาหาร TS= 4% | 54.35 l/day | ก๊าซมีเทน ร้อยละ 61.26 |

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยอื่น ๆ (ต่อ)

| งานวิจัย | สภาวะการทดลอง | ปริมาณก๊าซเฉลี่ย | องค์ประกอบก๊าซ |
|----------------|--|-------------------------------|---|
| อวิศดา (2545) | ระบบดึงหมักไร้อากาศ หมักจากเศษอาหาร TS = 4% | 2.6 l/day | ก๊าซมีเทน ร้อยละ 60.59 |
| อรอนงค์ (2541) | ทดลองในแปลงทดลองคอนกรีต หมักด้วยขยะชุมชน แยกพลาสติกออก | 0.104 ลิตรต่อกรัม น้ำหนักแห้ง | ก๊าซมีเทน ร้อยละ 60.46 -89.07 โดยปริมาตร กรดระเหยง่ายร้อยละ 4.12 - 5.14 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ร้อยละ 0.96 - 15.35 ก๊าซแอมโมเนีย ร้อยละ 0 - 22.35 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 0.01 - 2.0 |

สำหรับก๊าซมีเทนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์และสามารถเผาไหม้ได้จะต้องมีองค์ประกอบอยู่ในช่วงร้อยละ 60 – 70 (Igoni, 2008) ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นทำให้พบว่า การให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ก่อนการหมักส่งผลให้ก๊าซชีวภาพที่ได้มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้น มีประสิทธิภาพมากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ หากนำขยะน้ำหนักเปียก 1 กิโลกรัมมาทำการผลิตก๊าซชีวภาพจะสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 20.76 ลิตร

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากการนำขยะเก่าจากหลุมฝังกลบแบบเทกองมาผสมกับขยะชุมชนสดเพื่อหาอัตราส่วนขยะเก่าต่อขยะสดที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดเริ่มต้น และการให้ความร้อนกับขยะก่อนทดลองที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนผสม สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การศึกษาขยะชุมชนเก่าจากหลุมฝังกลบแบบเทกอง และขยะชุมชนสดที่ผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียร้อยละ 60:40 และปรับให้มีค่าของแฉะทั้งหมดเริ่มต้นร้อยละ 5 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 0.06 และ 0.18 ลิตรต่อกรัมของแฉะระเหยทั้งหมดเริ่มต้น ตามลำดับ

2) จากผลการศึกษาการนำขยะชุมชนเก่าจากหลุมฝังกลบแบบเทกองมาผสมกับขยะชุมชนสด โดยแปรผันอัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะด้วยอัตราส่วนแตกต่างกัน คือ 1:2 1:3 และ 1:6 พบว่าที่อัตราส่วน 1:3 มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.104 ลิตรต่อกรัมของแฉะระเหยทั้งหมด มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 37.55 โดยใช้เวลาในการผลิตก๊าซ 13 วัน และมีค่าซีโอดีกรองสุดท้ายลดลงเท่ากับ ร้อยละ 63.3 เหลือซีโอดีในน้ำหลังการทดลองเท่ากับ 3,136 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วน 0:1 เป็น 2 เท่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดในเวลาสั้นลง ค่าพีเอชของระบบค่อนข้างคงที่

3) การศึกษาผลของความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดเริ่มต้นที่มีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยนำอัตราส่วนขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 มาทำการทดลอง โดยแปรผันปริมาณของแฉะทั้งหมดร้อยละ 3 5 และ 10 สรุปได้ว่าที่ค่าปริมาณของแฉะทั้งหมดร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพดีที่สุด โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.104 ลิตรต่อกรัมของแฉะระเหยทั้งหมด มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 37.55

4) อัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดจากรถเก็บขนขยะเท่ากับ 1:3 ที่มีปริมาณของแฉะทั้งหมดร้อยละ 5 เมื่อนำมาให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีก่อนการหมัก พบว่าการให้ความร้อนขยะก่อนหมักมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 0.044 ลิตรต่อกรัมของแฉะระเหยทั้งหมด โดยถึงปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนมีก๊าซมีเทนเป็นร้อยละ 73.3 และยังช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพลงได้เพียง 7 วันเท่านั้น

นอกจากนี้การใช้ชุมชนเก่ายังช่วยลดปัญหามลพิษของขยะที่เทกอง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานและพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืนต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าแบบเทกองผสมกับขยะชุมชนสด โดยใช้ระบบถังหมักที่มีการกวนแบบสมบูรณ์แบบต่อเนื่องเพื่อคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระยะยาว

2. ศึกษาผลการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมขยะชุมชนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน เพื่อคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพ

3. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อการใช้งานจริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัลยา คงอนุมัติ และ เพ็ญประภา สุวรรณะ. 2551. การจัดการขยะกับภาวะโลกร้อน. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์[Online]. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. แหล่งที่มา: <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=634>[29 พฤศจิกายน 2551]
- จินตนา อุบลวัฒน์ และ ไชยวัฒน์ ผลลาภ. 2547. เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศไทย. วารสารพลังงาน 5: 36-58.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันวิจัยพลังงาน. 2549. พลังงานทดแทน[Online]. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยพลังงาน. แหล่งที่มา: <http://www.teenet.chula.ac.th/sustainable/detail8-2.asp?ID=830>[25 เมษายน 2551]
- ชลิดา อุตะเกา. 2549. ศักยภาพของขยะผักผลไม้ในการผลิตมีเทนแบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. 2547. การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill). กรุงเทพมหานคร.
- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 2. กรุงเทพมหานคร.
- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. 2551. ร่างรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2550. กรุงเทพมหานคร.
- ชเรศ ศรีสถิตย์. 2541. เอกสารคำสอน วิชา Solid Waste Technology รหัส 2107 442. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). ม.ป.ป. เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน[Online]. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน(พพ.). แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=454>[10 เมษายน 2551]
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์

- การศึกษาและจัดการผลิตพลังงานไฟฟ้าความร้อนจากขยะชุมชน[Online]. กรุงเทพมหานคร : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. แหล่งที่มา: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib10440.pdf>[20พฤศจิกายน 2551]
- พัฒนา มูลพฤกษ์. 2546. อนามัยสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : ชิกม่า ดีไซน์กราฟฟิค.
- มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ม.ป.ป. ขยะมูลฝอยและการกำจัด [online]. มหาสารคาม: ศูนย์พัฒนาทรัพยากรการศึกษา. แหล่งที่มา: <http://wbc.msu.ac.th/ge/0299101/tarapron/tarapron06-5.html> [10 พฤศจิกายน 2551]
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. 2549. ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ[Online]. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แหล่งที่มา: <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php>[30 เมษายน 2551]
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2005. Options for Waste Management in Community[Online] กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: http://www.efc.or.th/old/index.php?option=com_content&task=view&id=174&Itemid=44&PHPSESSID=16494f0b662873f167d1e4f725748ce9[17 พฤศจิกายน 2551]
- ศูนย์ปฏิบัติการจังหวัดปราจีนบุรี. 2551. จังหวัดปราจีนบุรี กลุ่มเรื่องที่ 1 ที่ตั้ง ขนาด[online]. ปราจีนบุรี: กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร. แหล่งที่มา: <http://www.poc.prachinonline.com/web/topic/db1.php>[25 พฤศจิกายน 2551]
- สมชาย เข็มธีรสกุล. 2530. การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศสองขั้นตอน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สาธารณสุข, กระทรวง. กรมอนามัย กองสุขาภิบาลชุมชนและประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ. ม.ป.ป. การจัดการมูลฝอย[Online]. นนทบุรี: กองสุขาภิบาลชุมชนและประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ. แหล่งที่มา: <http://san.anamai.moph.go.th/santext/20077201724461.pdf> [26 กรกฎาคม 2551]
- สุพินดา ธุระเจน. 2544. การเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักเศษผักและผลไม้ไร้อากาศแบบแห้งที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา). 2551. หลักการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ [Online]. นครราชสีมา: ศูนย์วิชาการและบริการ ข้อมูลพลังงานภูมิภาคที่ 5. แหล่งที่มา: www.region5.m-energy.go.th/document/51/waste/03.2.doc[9 พฤษภาคม 2551]

- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7 สระบุรี. 2548. การจัดการขยะมูลฝอยจังหวัดปราจีนบุรี [Online]. สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7 สระบุรี. แหล่งที่มา: http://www.envi7.com/data/bin_2548_pajen.pdf [25 พฤศจิกายน 2551]
- เสาวลักษณ์ ภูมิวิสนะ. 2535. แนวคิดในการวางแผนการวิจัยด้านพลังงานทดแทน : ก๊าซชีวภาพ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: จุฬาทอง.
- อรอนงค์ พิวนิล. 2541. การศึกษาก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ใครงการสหวิทยาการ ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อาริยา วิรัชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อวิศดา ฉลานวัฒน์. 2545. อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจาก เศษอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, วิทยาศาสตร์(เทคโนโลยีชีวภาพ) บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภาษาอังกฤษ

- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J., and Dewil, R. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science 34 : 755–781.
- Elango, D., Pulikesi M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V., and Sivanesan, S. 2007. Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage. Journal of Hazardous Materials 141 : 301–304.
- Fernandez, J., Perez M., and Romero, L.,I. 2008. Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). Bioresource Technology 99: 6075–6080.
- Forster-Carneiro, T., Perez M., and Romero, L., I. 2008. Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of municipal solid waste. Bioresource Technology 99 : 6763–6770.
- Gomez, X., Cuetos, M., J., Cara, J., Moran, A., and Garcia, A.I. 2006. Technical Note Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes Conditions for mixing and evaluation of the

- organic loading rate. Renewable Energy 31 : 2017–2024.
- Igoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Eze, C.L., Ogaji, S.O.T., and Probert, S.D. 2008. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid – waste. Applied Energy 85 430–438.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S.A. 1993. Integrated Solid Waste Management. Newyork: McGraw-Hill.
- Verma, S. 2002. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. Columbia University.
- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, and P.J., Jones, D.L. 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology 99 : 7928-7940.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลองทุกชุดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ค่าอุณหภูมิของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | | | | |
|--------|--------------------------------------|-------|-------|------|-------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด | | | | |
| | 1 : 0 | 1 : 2 | 1 : 3 | 1:6 | 0 : 1 |
| 1 | 29.8 | 33.0 | 32.0 | 30.5 | 25.0 |
| 2 | 30.7 | 33.0 | 32.5 | 30.5 | 31.0 |
| 3 | 30.7 | 33.0 | 32.0 | 31.4 | 30.7 |
| 4 | 32.6 | 34.0 | 32.0 | 31.4 | 30.7 |
| 5 | 32.5 | 33.0 | 32.5 | 31.4 | 30.7 |
| 6 | 33.0 | 33.0 | 32.0 | 32.4 | 31.0 |
| 7 | 33.0 | 33.0 | 32.0 | 32.4 | 30.0 |
| 8 | 33.5 | 32.0 | 32.0 | 31.3 | 29.5 |
| 9 | 33.0 | 32.3 | 32.0 | 31.3 | 30.0 |
| 10 | 32.0 | 32.5 | 32.0 | 31.6 | 29.5 |
| 11 | 32.0 | 32.9 | 32.0 | 31.6 | 31.0 |
| 12 | 32.0 | 33.0 | 32.0 | 30.2 | 30.0 |
| 13 | 32.0 | 33.1 | 32.0 | 30.3 | 30.0 |
| 14 | 32.5 | 33.0 | 32.0 | 29.7 | 29.5 |
| 15 | 33.0 | 32.0 | 31.0 | 30.6 | 29.3 |
| 16 | 33.0 | 32.0 | 32.0 | 30.6 | 29.0 |
| 17 | 31.0 | 32.0 | 31.0 | 30.0 | 30.5 |
| 18 | 29.8 | 32.0 | 31.0 | 32.1 | 30.0 |
| 19 | 29.0 | 31.5 | 31.0 | 32.3 | 29.5 |
| 20 | 27.9 | 31.0 | 30.5 | 31.5 | 30.0 |
| 21 | 28.0 | 31.5 | 31.0 | 31.5 | 29.0 |
| 22 | 29.0 | 33.0 | 32.0 | 31.3 | 28.0 |
| 23 | 30.3 | 32.0 | 32.0 | 31.3 | 29.0 |
| 24 | 31.0 | 32.0 | 31.0 | 33.3 | 24.9 |
| 25 | 31.2 | 32.0 | 31.0 | 33.5 | 24.7 |
| 26 | 30.0 | 33.0 | 31.0 | 33.5 | 24.6 |
| 27 | 31.0 | 33.0 | 32.0 | 33.1 | 27.0 |
| 28 | 31.0 | 33.0 | 32.0 | 33.5 | 27.0 |
| 29 | 31.0 | 33.0 | 32.0 | 33.3 | 27.8 |
| 30 | 31.0 | 32.0 | 32.0 | 34.1 | 29.0 |

ตารางที่ ก-2 ค่าความเป็นกรดต่างของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ค่าความเป็นกรดต่าง | | | | |
|--------|--------------------------------------|------|------|------|------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุมชนเกาต่อขยะชุมชนสด | | | | |
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| 1 | 7.53 | 8.05 | 7.79 | 7.37 | 7.52 |
| 2 | 7.53 | 8.05 | 7.79 | 7.37 | 7.52 |
| 3 | 7.53 | 7.14 | 7.17 | 7.95 | 7.90 |
| 4 | 7.73 | 7.14 | 7.17 | 7.95 | 7.90 |
| 5 | 7.73 | 7.40 | 7.60 | 7.95 | 7.65 |
| 6 | 7.32 | 7.40 | 7.60 | 7.98 | 7.65 |
| 7 | 7.32 | 7.40 | 7.60 | 7.98 | 7.72 |
| 8 | 7.32 | 7.30 | 7.40 | 7.79 | 7.72 |
| 9 | 7.41 | 7.30 | 7.40 | 7.79 | 7.72 |
| 10 | 7.41 | 7.09 | 7.18 | 7.68 | 7.91 |
| 11 | 7.41 | 7.09 | 7.18 | 7.68 | 7.91 |
| 12 | 7.05 | 7.21 | 7.32 | 7.67 | 7.75 |
| 13 | 7.05 | 7.21 | 7.32 | 7.52 | 7.75 |
| 14 | 6.98 | 7.22 | 7.44 | 7.42 | 8.01 |
| 15 | 6.98 | 7.22 | 7.44 | 7.45 | 8.01 |
| 16 | 7.13 | 7.34 | 7.45 | 7.45 | 8.01 |
| 17 | 7.13 | 7.34 | 7.45 | 7.44 | 8.08 |
| 18 | 7.05 | 7.34 | 7.45 | 7.44 | 8.08 |
| 19 | 7.05 | 7.24 | 7.29 | 7.44 | 8.06 |
| 20 | 7.25 | 7.24 | 7.29 | 7.33 | 8.06 |
| 21 | 7.25 | 7.15 | 7.27 | 7.33 | 8.34 |
| 22 | 7.25 | 7.15 | 7.27 | 7.24 | 8.30 |
| 23 | 7.04 | 7.05 | 7.38 | 7.24 | 8.28 |
| 24 | 7.04 | 7.05 | 7.38 | 7.28 | 8.22 |
| 25 | 6.96 | 7.05 | 7.38 | 7.28 | 8.20 |
| 26 | 6.96 | 7.05 | 7.38 | 7.45 | 8.20 |
| 27 | 6.92 | 7.19 | 7.39 | 7.45 | 8.20 |
| 28 | 6.92 | 7.19 | 7.39 | 7.65 | 8.20 |
| 29 | 6.92 | 7.74 | 7.62 | 7.71 | 8.20 |
| 30 | 6.92 | 7.74 | 7.62 | 7.71 | 8.20 |

ตารางที่ ก-3 ค่าซีไอของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | |
|--------|--------------------------------------|------|--------|------|-------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด | | | | |
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| 1 | 8000 | 8356 | 8520 | 9200 | 11520 |
| 2 | 8000 | 8356 | 8520 | 9200 | 11520 |
| 3 | 5000 | 1000 | 2000 | 8080 | 8653 |
| 4 | 2716 | 310 | 1047.6 | 8080 | 8653 |
| 5 | 2716 | 310 | 1047.6 | 6080 | 17120 |
| 6 | 2716 | 272 | 620.8 | 6080 | 17120 |
| 7 | 2716 | 272 | 620.8 | 6080 | 16400 |
| 8 | 2716 | 272 | 620.8 | 6000 | 16400 |
| 9 | 388 | 314 | 431.2 | 6000 | 16400 |
| 10 | 388 | 314 | 431.2 | 4800 | 15000 |
| 11 | 388 | 360 | 1200 | 4800 | 15000 |
| 12 | 470 | 360 | 1200 | 4800 | 11280 |
| 13 | 470 | 2660 | 3040 | 3200 | 11280 |
| 14 | 880 | 2660 | 3040 | 3200 | 11280 |
| 15 | 880 | 4423 | 2716 | 3600 | 11280 |
| 16 | 1792 | 4423 | 2716 | 3600 | 11280 |
| 17 | 1792 | 2160 | 2400 | 2800 | 11280 |
| 18 | 2328 | 2160 | 2400 | 2800 | 11280 |
| 19 | 2328 | 2160 | 2400 | 2800 | 6768 |
| 20 | 2400 | 2400 | 2160 | 2800 | 6768 |
| 21 | 2400 | 2400 | 2160 | 2800 | 5820 |
| 22 | 2400 | 776 | 1164 | 3104 | 5820 |
| 23 | 2560 | 776 | 1164 | 3104 | 5820 |
| 24 | 2560 | 3200 | 3800 | 2328 | 6667 |
| 25 | 2716 | 3200 | 3800 | 2328 | 6667 |
| 26 | 2716 | 3200 | 3800 | 2245 | 8000 |
| 27 | 3600 | 3200 | 3800 | 2245 | 8000 |
| 28 | 3600 | 3136 | 4664 | 1870 | 5820 |
| 29 | 3600 | 3136 | 4664 | 1870 | 5820 |
| 30 | 3600 | 4312 | 3136 | 1655 | 5820 |

ตารางที่ ก-4 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | |
|--------|---|-------|-------|-------|-------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด | | | | |
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| 1 | 16673 | 42128 | 45589 | 33980 | 71450 |
| 2 | 16673 | 42128 | 45589 | 33980 | 71450 |
| 3 | 16673 | 45724 | 50467 | 34520 | 75283 |
| 4 | 20989 | 45724 | 50467 | 34520 | 75283 |
| 5 | 20989 | 47500 | 52711 | 34520 | 64700 |
| 6 | 19055 | 47500 | 52711 | 34520 | 64700 |
| 7 | 19055 | 47500 | 52711 | 34520 | 61650 |
| 8 | 19055 | 48500 | 45233 | 37100 | 61650 |
| 9 | 22444 | 48500 | 45233 | 37100 | 61650 |
| 10 | 22444 | 44011 | 48278 | 36483 | 60000 |
| 11 | 22444 | 44011 | 48278 | 36483 | 60000 |
| 12 | 24644 | 49833 | 47478 | 36483 | 57783 |
| 13 | 24644 | 49833 | 47478 | 39600 | 57783 |
| 14 | 19789 | 43589 | 56356 | 39600 | 48633 |
| 15 | 19789 | 43589 | 56356 | 37183 | 48633 |
| 16 | 22647 | 57717 | 62133 | 37183 | 48633 |
| 17 | 22647 | 57717 | 62133 | 36567 | 42333 |
| 18 | 21233 | 57717 | 62133 | 36567 | 42333 |
| 19 | 21233 | 54950 | 58017 | 36567 | 42533 |
| 20 | 24933 | 54950 | 58017 | 33233 | 42533 |
| 21 | 24933 | 51950 | 60483 | 33233 | 51792 |
| 22 | 24933 | 51950 | 60483 | 34750 | 51792 |
| 23 | 21467 | 58250 | 57783 | 34750 | 51792 |
| 24 | 21467 | 58250 | 57783 | 37650 | 70416 |
| 25 | 26033 | 58250 | 57783 | 37650 | 70416 |
| 26 | 26033 | 58250 | 57783 | 36500 | 79800 |
| 27 | 22783 | 64783 | 61717 | 36500 | 79800 |
| 28 | 22783 | 64783 | 61717 | 34756 | 76625 |
| 29 | 22783 | 64783 | 61717 | 34756 | 70533 |
| 30 | 22783 | 64783 | 61717 | 34756 | 67033 |

ตารางที่ ก-5 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด | | | | |
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| 1 | 15956 | 21650 | 23767 | 17450 | 46700 |
| 2 | 15956 | 21650 | 23767 | 17450 | 46700 |
| 3 | 15956 | 23987 | 23511 | 18240 | 47466 |
| 4 | 15033 | 23987 | 23511 | 18240 | 47466 |
| 5 | 15033 | 24911 | 24589 | 18240 | 24817 |
| 6 | 15033 | 24911 | 24589 | 18240 | 24817 |
| 7 | 16833 | 24911 | 24589 | 18240 | 24467 |
| 8 | 16833 | 25933 | 21944 | 20450 | 24467 |
| 9 | 16000 | 25933 | 21944 | 20450 | 24467 |
| 10 | 16000 | 22933 | 20250 | 20217 | 24467 |
| 11 | 15900 | 22933 | 20250 | 20217 | 24467 |
| 12 | 15900 | 24589 | 22322 | 20217 | 24183 |
| 13 | 14522 | 24589 | 22322 | 21567 | 24183 |
| 14 | 14522 | 23467 | 24467 | 21567 | 20917 |
| 15 | 15467 | 23467 | 24467 | 20267 | 20917 |
| 16 | 15467 | 26550 | 26067 | 20267 | 20917 |
| 17 | 15467 | 26550 | 26067 | 20050 | 18200 |
| 18 | 14933 | 26550 | 26067 | 20050 | 18200 |
| 19 | 14933 | 27350 | 25400 | 20050 | 18250 |
| 20 | 15000 | 27350 | 25400 | 19850 | 18250 |
| 21 | 15000 | 25167 | 25717 | 19850 | 20642 |
| 22 | 14867 | 25167 | 25717 | 19600 | 20642 |
| 23 | 14867 | 27483 | 25983 | 19600 | 20642 |
| 24 | 14867 | 27483 | 25983 | 21183 | 18717 |
| 25 | 14867 | 27483 | 25983 | 21183 | 18717 |
| 26 | 14867 | 27483 | 25983 | 20045 | 19600 |
| 27 | 14867 | 27483 | 25983 | 20045 | 19600 |
| 28 | 14867 | 27483 | 25983 | 19767 | 20475 |
| 29 | 14867 | 27483 | 25983 | 19767 | 21700 |
| 30 | 14867 | 27483 | 25983 | 19767 | 21700 |

ตารางที่ ก - 6 ปริมาณครุระเหยของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณครุระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | |
|--------|-----------------------------------|-----|-----|------|------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุนนเก้ดอขยะชุนนสด | | | | |
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| 1 | 108 | 278 | 208 | 375 | 4517 |
| 2 | 108 | 278 | 208 | 375 | 4517 |
| 3 | 281 | 200 | 188 | 563 | 4550 |
| 4 | 281 | 200 | 188 | 563 | 4550 |
| 5 | 281 | 100 | 163 | 563 | 5063 |
| 6 | 100 | 100 | 163 | 750 | 5063 |
| 7 | 100 | 100 | 163 | 750 | 5750 |
| 8 | 100 | 88 | 81 | 1150 | 5550 |
| 9 | 100 | 88 | 81 | 1150 | 5550 |
| 10 | 100 | 94 | 75 | 1050 | 5302 |
| 11 | 100 | 94 | 75 | 1050 | 5302 |
| 12 | 75 | 83 | 75 | 1050 | 5303 |
| 13 | 75 | 83 | 75 | 1367 | 5303 |
| 14 | 88 | 100 | 73 | 1367 | 4736 |
| 15 | 88 | 100 | 73 | 1417 | 4736 |
| 16 | 114 | 113 | 94 | 1417 | 4736 |
| 17 | 114 | 113 | 94 | 1375 | 2450 |
| 18 | 79 | 113 | 94 | 1375 | 2450 |
| 19 | 79 | 163 | 100 | 1375 | 2500 |
| 20 | 125 | 163 | 100 | 1733 | 2500 |
| 21 | 125 | 150 | 100 | 1733 | 2283 |
| 22 | 125 | 150 | 100 | 1350 | 2283 |
| 23 | 125 | 113 | 263 | 1350 | 2283 |
| 24 | 125 | 113 | 263 | 1100 | 1425 |
| 25 | 100 | 113 | 263 | 1100 | 1425 |
| 26 | 100 | 113 | 263 | 890 | 1425 |
| 27 | 113 | 113 | 125 | 890 | 1425 |
| 28 | 113 | 113 | 125 | 790 | 1675 |
| 29 | 113 | 100 | 88 | 790 | 1675 |
| 30 | 113 | 100 | 88 | 790 | 1750 |

ตารางที่ ก - 7 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | |
|--------|--|------|------|------|-------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด | | | | |
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| 1 | 208 | 1056 | 2181 | 1575 | 12339 |
| 2 | 208 | 1056 | 2181 | 1575 | 12339 |
| 3 | 313 | 1863 | 2788 | 3500 | 13700 |
| 4 | 313 | 1863 | 2788 | 3500 | 13700 |
| 5 | 313 | 1750 | 2725 | 3500 | 10650 |
| 6 | 1138 | 1750 | 2725 | 3475 | 10650 |
| 7 | 1138 | 1750 | 2725 | 3475 | 13273 |
| 8 | 1138 | 2031 | 2225 | 3475 | 13273 |
| 9 | 1275 | 2031 | 2225 | 3475 | 13273 |
| 10 | 1275 | 2175 | 3050 | 3433 | 10083 |
| 11 | 1275 | 2175 | 3050 | 3433 | 10083 |
| 12 | 1042 | 1823 | 3150 | 3433 | 12658 |
| 13 | 1042 | 1823 | 3150 | 3833 | 12658 |
| 14 | 1313 | 2188 | 2630 | 3833 | 12111 |
| 15 | 1313 | 2188 | 2630 | 3833 | 12111 |
| 16 | 1386 | 2313 | 3050 | 3833 | 12111 |
| 17 | 1386 | 2313 | 3050 | 4000 | 12150 |
| 18 | 1395 | 2244 | 3188 | 4000 | 12150 |
| 19 | 1395 | 2244 | 3188 | 4000 | 11667 |
| 20 | 1463 | 2180 | 3280 | 4167 | 11667 |
| 21 | 1463 | 2180 | 3280 | 4167 | 15000 |
| 22 | 1525 | 2180 | 3280 | 3650 | 15000 |
| 23 | 1525 | 2238 | 3250 | 3650 | 15000 |
| 24 | 1420 | 2238 | 3250 | 3400 | 13550 |
| 25 | 1420 | 2238 | 3250 | 3400 | 13550 |
| 26 | 1420 | 2238 | 3250 | 3780 | 14200 |
| 27 | 1550 | 2450 | 3375 | 3780 | 14200 |
| 28 | 1550 | 2450 | 3375 | 3890 | 15300 |
| 29 | 1550 | 2475 | 3750 | 3890 | 15300 |
| 30 | 1550 | 2475 | 3750 | 3890 | 15333 |

ตารางที่ ก-8 ปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วนขยะที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิเมตร) | | | | |
|--------|--------------------------------------|------|------|------|------|
| | อัตราส่วนผสมขยะชุมชนแก่ต่อขยะชุมชนสด | | | | |
| | 1:0 | 1:2 | 1:3 | 1:6 | 0:1 |
| 1 | 1105 | 870 | 715 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1190 | 1010 | 0 | 3060 |
| 3 | 0 | 1118 | 1085 | 0 | 1590 |
| 4 | 0 | 1600 | 1315 | 0 | 520 |
| 5 | 0 | 0 | 1210 | 0 | 750 |
| 6 | 0 | 319 | 1280 | 3945 | 340 |
| 7 | 0 | 168 | 186 | 0 | 220 |
| 8 | 282 | 100 | 155 | 0 | 225 |
| 9 | 454 | 90 | 86 | 0 | 0 |
| 10 | 320 | 50 | 80 | 0 | 365 |
| 11 | 230 | 0 | 360 | 0 | 345 |
| 12 | 110 | 380 | 626 | 0 | 110 |
| 13 | 110 | 0 | 440 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 845 |
| 15 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 422 | 0 | 0 | 0 | 1426 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1130 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2350 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 405 | 2465 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3435 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 520 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1230 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 640 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 725 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 725 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 783 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 755 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 510 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 215 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 345 |

ตารางที่ ก-9 ค่าอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | | |
|--------|-------------------------|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 28.6 | 32.0 | 31.5 |
| 2 | 28.6 | 32.5 | 31.0 |
| 3 | 30.9 | 32.0 | 31.0 |
| 4 | 30.9 | 32.0 | 30.5 |
| 5 | 31.1 | 32.5 | 32.5 |
| 6 | 31.1 | 32.0 | 31.5 |
| 7 | 31.1 | 32.0 | 31.5 |
| 8 | 29.9 | 32.0 | 30.5 |
| 9 | 29.9 | 32.0 | 30.5 |
| 10 | 30.4 | 32.0 | 30.5 |
| 11 | 30.4 | 32.0 | 31.0 |
| 12 | 31.1 | 32.0 | 31.0 |
| 13 | 31.1 | 32.0 | 31.0 |
| 14 | 31.1 | 32.0 | 30.0 |
| 15 | 31.9 | 31.0 | 31.0 |
| 16 | 31.9 | 32.0 | 29.5 |
| 17 | 30.3 | 31.0 | 29.5 |
| 18 | 30.3 | 31.0 | 24.8 |
| 19 | 31.7 | 31.0 | 24.8 |
| 20 | 31.7 | 30.5 | 23.6 |
| 21 | 31.7 | 31.0 | 23.6 |
| 22 | 29.8 | 32.0 | 26.0 |
| 23 | 29.8 | 32.0 | 26.0 |
| 24 | 30.7 | 31.0 | 26.0 |
| 25 | 30.7 | 31.0 | 28.0 |
| 26 | 31.6 | 31.0 | 28.0 |
| 27 | 31.6 | 32.0 | 29.7 |
| 28 | 32.3 | 32.0 | 32.0 |
| 29 | 32.3 | 32.0 | 30.7 |
| 30 | 31.9 | 32.0 | 30.7 |

ตารางที่ ก-10 ค่าความเป็นกรดต่างของถึงปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ค่าความเป็นกรดต่าง | | |
|--------|----------------------|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 7.65 | 7.79 | 7.42 |
| 2 | 7.65 | 7.79 | 7.42 |
| 3 | 7.37 | 7.17 | 7.42 |
| 4 | 7.37 | 7.17 | 7.68 |
| 5 | 7.12 | 7.60 | 7.68 |
| 6 | 7.12 | 7.60 | 7.81 |
| 7 | 7.12 | 7.60 | 7.81 |
| 8 | 7.39 | 7.40 | 7.78 |
| 9 | 7.39 | 7.40 | 7.78 |
| 10 | 7.56 | 7.18 | 7.78 |
| 11 | 7.56 | 7.18 | 7.62 |
| 12 | 7.43 | 7.32 | 7.62 |
| 13 | 7.43 | 7.32 | 7.58 |
| 14 | 7.43 | 7.44 | 7.58 |
| 15 | 7.73 | 7.44 | 7.60 |
| 16 | 7.73 | 7.45 | 7.60 |
| 17 | 7.89 | 7.45 | 7.60 |
| 18 | 7.89 | 7.45 | 7.68 |
| 19 | 7.88 | 7.29 | 7.68 |
| 20 | 7.88 | 7.29 | 7.71 |
| 21 | 7.88 | 7.27 | 7.71 |
| 22 | 7.83 | 7.27 | 7.82 |
| 23 | 7.83 | 7.38 | 7.82 |
| 24 | 7.82 | 7.38 | 7.82 |
| 25 | 7.82 | 7.38 | 7.73 |
| 26 | 7.93 | 7.38 | 7.80 |
| 27 | 7.93 | 7.39 | 7.80 |
| 28 | 7.83 | 7.39 | 7.80 |
| 29 | 7.83 | 7.62 | 7.88 |
| 30 | 7.83 | 7.62 | 7.88 |

ตารางที่ ก-11 ค่าซีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | |
|--------|------------------------------|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 4000 | 8520 | 6000 |
| 2 | 4000 | 8520 | 6000 |
| 3 | 4655 | 2000 | 6000 |
| 4 | 4655 | 1048 | 8536 |
| 5 | 9700 | 1048 | 8536 |
| 6 | 9700 | 621 | 9024 |
| 7 | 9700 | 621 | 9024 |
| 8 | 7760 | 621 | 18800 |
| 9 | 7760 | 431 | 18800 |
| 10 | 8000 | 431 | 18800 |
| 11 | 8000 | 1200 | 11280 |
| 12 | 13000 | 1200 | 11280 |
| 13 | 13000 | 3040 | 5760 |
| 14 | 13000 | 3040 | 5760 |
| 15 | 776 | 2716 | 8536 |
| 16 | 776 | 2716 | 8536 |
| 17 | 1306 | 2400 | 8536 |
| 18 | 1306 | 2400 | 8536 |
| 19 | 1637 | 2400 | 8536 |
| 20 | 1637 | 2160 | 5600 |
| 21 | 1637 | 2160 | 5600 |
| 22 | 1637 | 1164 | 2400 |
| 23 | 1637 | 1164 | 2400 |
| 24 | 549 | 3800 | 2400 |
| 25 | 549 | 3800 | 13200 |
| 26 | 549 | 3800 | 13200 |
| 27 | 549 | 3800 | 13200 |
| 28 | 549 | 4664 | 13200 |
| 29 | 752 | 4664 | 13200 |
| 30 | 752 | 3136 | 16000 |

ตารางที่ ก-12 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | |
|--------|---|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 39640 | 45589 | 80500 |
| 2 | 39640 | 45589 | 80500 |
| 3 | 35000 | 50467 | 80500 |
| 4 | 35000 | 50467 | 81117 |
| 5 | 48425 | 52711 | 81117 |
| 6 | 48425 | 52711 | 78367 |
| 7 | 48425 | 52711 | 78367 |
| 8 | 49256.82 | 45233 | 56583 |
| 9 | 49256.82 | 45233 | 56583 |
| 10 | 41450 | 48278 | 56583 |
| 11 | 41450 | 48278 | 53583 |
| 12 | 38850 | 47478 | 53583 |
| 13 | 38850 | 47478 | 42233 |
| 14 | 38850 | 56356 | 42233 |
| 15 | 45725 | 56356 | 58442 |
| 16 | 45725 | 62133 | 58442 |
| 17 | 35150 | 62133 | 58442 |
| 18 | 35150 | 62133 | 65475 |
| 19 | 40675 | 58017 | 65475 |
| 20 | 40675 | 58017 | 64050 |
| 21 | 40675 | 60483 | 64050 |
| 22 | 39575 | 60483 | 63675 |
| 23 | 39575 | 57783 | 63675 |
| 24 | 44075 | 57783 | 63675 |
| 25 | 44075 | 57783 | 87650 |
| 26 | 59375 | 57783 | 87650 |
| 27 | 59375 | 61717 | 87650 |
| 28 | 59375 | 61717 | 68675 |
| 29 | 31275 | 61717 | 68675 |
| 30 | 31275 | 61717 | 64300 |

ตารางที่ ก-13 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | |
|--------|--|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 18000 | 23767 | 30683 |
| 2 | 18000 | 23767 | 30683 |
| 3 | 18725 | 23511 | 30683 |
| 4 | 18725 | 23511 | 30683 |
| 5 | 26775 | 24589 | 30683 |
| 6 | 26775 | 24589 | 28717 |
| 7 | 26775 | 24589 | 28717 |
| 8 | 23630 | 21944 | 29183 |
| 9 | 23630 | 21944 | 29183 |
| 10 | 19600 | 20250 | 29183 |
| 11 | 19600 | 20250 | 30850 |
| 12 | 19375 | 22322 | 30850 |
| 13 | 19375 | 22322 | 23883 |
| 14 | 19375 | 24467 | 23883 |
| 15 | 21350 | 24467 | 32475 |
| 16 | 21350 | 26067 | 32475 |
| 17 | 16300 | 26067 | 32475 |
| 18 | 16300 | 26067 | 33025 |
| 19 | 19250 | 25400 | 33025 |
| 20 | 19250 | 25400 | 32800 |
| 21 | 19250 | 25717 | 32800 |
| 22 | 18950 | 25717 | 34450 |
| 23 | 18950 | 25983 | 34450 |
| 24 | 21875 | 25983 | 34450 |
| 25 | 21875 | 25983 | 37150 |
| 26 | 20475 | 25983 | 37150 |
| 27 | 20475 | 25983 | 37150 |
| 28 | 20475 | 25983 | 40000 |
| 29 | 16440 | 25983 | 40000 |
| 30 | 16440 | 25983 | 34350 |

ตารางที่ ก - 14 ปริมาณกระดาษของของถึงปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณกระดาษ (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | |
|--------|---------------------------------|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 425 | 208 | 2167 |
| 2 | 425 | 208 | 2167 |
| 3 | 700 | 188 | 2167 |
| 4 | 700 | 188 | 2763 |
| 5 | 1800 | 163 | 2763 |
| 6 | 1800 | 163 | 3321 |
| 7 | 1800 | 163 | 3321 |
| 8 | 1700 | 81.3 | 3321 |
| 9 | 1700 | 81.3 | 3321 |
| 10 | 1536 | 75.0 | 3321 |
| 11 | 1536 | 75.0 | 4696 |
| 12 | 2675 | 75.0 | 4696 |
| 13 | 2675 | 75.0 | 4250 |
| 14 | 2675 | 72.9 | 4250 |
| 15 | 687 | 72.9 | 4883 |
| 16 | 687 | 93.8 | 4883 |
| 17 | 600 | 93.8 | 4883 |
| 18 | 600 | 93.8 | 3425 |
| 19 | 375 | 100 | 3425 |
| 20 | 375 | 100 | 3625 |
| 21 | 375 | 100 | 3625 |
| 22 | 275 | 100 | 3528 |
| 23 | 275 | 263 | 3528 |
| 24 | 333 | 263 | 3528 |
| 25 | 333 | 263 | 3450 |
| 26 | 288 | 263 | 3450 |
| 27 | 288 | 125 | 3450 |
| 28 | 288 | 125 | 3450 |
| 29 | 153 | 87.5 | 3450 |
| 30 | 153 | 87.5 | 3500 |

ตารางที่ ก - 15 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | |
|--------|--|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 4650 | 2181 | 8267 |
| 2 | 4650 | 2181 | 8267 |
| 3 | 6600 | 2788 | 8267 |
| 4 | 6600 | 2788 | 9500 |
| 5 | 6750 | 2725 | 9500 |
| 6 | 6750 | 2725 | 9643 |
| 7 | 6750 | 2725 | 9643 |
| 8 | 7800 | 2225 | 9643 |
| 9 | 7800 | 2225 | 9643 |
| 10 | 6000 | 3050 | 9643 |
| 11 | 6000 | 3050 | 9786 |
| 12 | 8800 | 3150 | 9786 |
| 13 | 8800 | 3150 | 9292 |
| 14 | 8800 | 2630 | 9292 |
| 15 | 7275 | 2630 | 11500 |
| 16 | 7275 | 3050 | 11500 |
| 17 | 7850 | 3050 | 11500 |
| 18 | 7850 | 3188 | 10500 |
| 19 | 8100 | 3188 | 10500 |
| 20 | 8100 | 3280 | 10400 |
| 21 | 8100 | 3280 | 10400 |
| 22 | 8400 | 3280 | 11278 |
| 23 | 8400 | 3250 | 11278 |
| 24 | 8250 | 3250 | 11278 |
| 25 | 8250 | 3250 | 11250 |
| 26 | 7390 | 3250 | 11250 |
| 27 | 7390 | 3375 | 11250 |
| 28 | 7390 | 3375 | 11250 |
| 29 | 7390 | 3750 | 10875 |
| 30 | 7111 | 3750 | 10875 |

ตารางที่ ก-16 ปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

| วันที่ | ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิตร) | | |
|--------|----------------------------|-------|--------|
| | ปริมาณของแข็งทั้งหมด | | |
| | TS 3% | TS 5% | TS 10% |
| 1 | 0 | 715 | 0 |
| 2 | 1200 | 1010 | 2920 |
| 3 | 1340 | 1085 | 595 |
| 4 | 680 | 1315 | 320 |
| 5 | 570 | 1210 | 340 |
| 6 | 280 | 1280 | 0 |
| 7 | 65 | 186 | 0 |
| 8 | 0 | 155 | 295 |
| 9 | 0 | 86 | 0 |
| 10 | 0 | 80 | 160 |
| 11 | 0 | 360 | 425 |
| 12 | 0 | 626 | 410 |
| 13 | 0 | 440 | 265 |
| 14 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 0 |

ตารางที่ ก-17 ค่าอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน

ก่อนการหมัก

| วันที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 29.5 | 32.0 |
| 2 | 29.5 | 32.5 |
| 3 | 29.5 | 32.0 |
| 4 | 29.7 | 32.0 |
| 5 | 29.7 | 32.5 |
| 6 | 29.0 | 32.0 |
| 7 | 29.0 | 32.0 |
| 8 | 29.7 | 32.0 |
| 9 | 29.7 | 32.0 |
| 10 | 29.7 | 32.0 |
| 11 | 31.1 | 32.0 |
| 12 | 31.1 | 32.0 |
| 13 | 29.1 | 32.0 |
| 14 | 29.1 | 32.0 |
| 15 | 28.9 | 31.0 |
| 16 | 28.9 | 32.0 |
| 17 | 28.9 | 31.0 |
| 18 | 29.9 | 31.0 |
| 19 | 29.9 | 31.0 |
| 20 | 30.5 | 30.5 |
| 21 | 30.5 | 31.0 |
| 22 | 31.5 | 32.0 |
| 23 | 31.5 | 32.0 |
| 24 | 31.5 | 31.0 |
| 25 | 31.5 | 31.0 |
| 26 | 31.5 | 31.0 |
| 27 | 31.5 | 32.0 |
| 28 | 31.5 | 32.0 |
| 29 | 31.5 | 32.0 |
| 30 | 30.9 | 32.0 |

ตารางที่ ก-18 ค่าความเป็นกรดต่างของถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน
ก่อนการหมัก

| วันที่ | ค่าความเป็นกรดต่าง | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 7.52 | 7.79 |
| 2 | 7.52 | 7.79 |
| 3 | 7.52 | 7.17 |
| 4 | 7.53 | 7.17 |
| 5 | 7.53 | 7.60 |
| 6 | 7.56 | 7.60 |
| 7 | 7.56 | 7.60 |
| 8 | 7.43 | 7.40 |
| 9 | 7.43 | 7.40 |
| 10 | 7.43 | 7.18 |
| 11 | 7.49 | 7.18 |
| 12 | 7.49 | 7.32 |
| 13 | 7.49 | 7.32 |
| 14 | 7.49 | 7.44 |
| 15 | 7.60 | 7.44 |
| 16 | 7.60 | 7.45 |
| 17 | 7.60 | 7.45 |
| 18 | 7.53 | 7.45 |
| 19 | 7.53 | 7.29 |
| 20 | 7.80 | 7.29 |
| 21 | 7.80 | 7.27 |
| 22 | 8.05 | 7.27 |
| 23 | 8.05 | 7.38 |
| 24 | 8.05 | 7.38 |
| 25 | 8.05 | 7.38 |
| 26 | 8.05 | 7.38 |
| 27 | 8.05 | 7.39 |
| 28 | 8.05 | 7.39 |
| 29 | 8.05 | 7.62 |
| 30 | 8.25 | 7.62 |

ตารางที่ ก-19 ค่าซีไอดีของถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน
ก่อนการหมัก

| วันที่ | ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 15520 | 8520 |
| 2 | 15520 | 8520 |
| 3 | 15520 | 2000 |
| 4 | 15520 | 1048 |
| 5 | 15520 | 1048 |
| 6 | 22000 | 621 |
| 7 | 22000 | 621 |
| 8 | 12000 | 621 |
| 9 | 12000 | 431 |
| 10 | 12000 | 431 |
| 11 | 12000 | 1200 |
| 12 | 12000 | 1200 |
| 13 | 5799 | 3040 |
| 14 | 5799 | 3040 |
| 15 | 5799 | 2716 |
| 16 | 5799 | 2716 |
| 17 | 5799 | 2400 |
| 18 | 5799 | 2400 |
| 19 | 5799 | 2400 |
| 20 | 10506 | 2160 |
| 21 | 10506 | 2160 |
| 22 | 12000 | 1164 |
| 23 | 12000 | 1164 |
| 24 | 12000 | 3800 |
| 25 | 12000 | 3800 |
| 26 | 12000 | 3800 |
| 27 | 12000 | 3800 |
| 28 | 12000 | 4664 |
| 29 | 12000 | 4664 |
| 30 | 5239 | 3136 |

ตารางที่ ก-20 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนก่อนการหมัก

| วันที่ | ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 61850 | 45589 |
| 2 | 61850 | 45589 |
| 3 | 61850 | 50467 |
| 4 | 66300 | 50467 |
| 5 | 66300 | 52711 |
| 6 | 70325 | 52711 |
| 7 | 70325 | 52711 |
| 8 | 71150 | 45233 |
| 9 | 71150 | 45233 |
| 10 | 71150 | 48278 |
| 11 | 71150 | 48278 |
| 12 | 71150 | 47478 |
| 13 | 71150 | 47478 |
| 14 | 71150 | 56356 |
| 15 | 71150 | 56356 |
| 16 | 71150 | 62133 |
| 17 | 71150 | 62133 |
| 18 | 71150 | 62133 |
| 19 | 71150 | 58017 |
| 20 | 53250 | 58017 |
| 21 | 53250 | 60483 |
| 22 | 42275 | 60483 |
| 23 | 42275 | 57783 |
| 24 | 42275 | 57783 |
| 25 | 42275 | 57783 |
| 26 | 42275 | 57783 |
| 27 | 42275 | 61717 |
| 28 | 42275 | 61717 |
| 29 | 42275 | 61717 |
| 30 | 45750 | 61717 |

ตารางที่ ก-21 ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนก่อนการหมัก

| วันที่ | ค่าปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 31700 | 23767 |
| 2 | 31700 | 23767 |
| 3 | 31700 | 23511 |
| 4 | 27975 | 23511 |
| 5 | 27975 | 24589 |
| 6 | 31125 | 24589 |
| 7 | 31125 | 24589 |
| 8 | 29300 | 21944 |
| 9 | 29300 | 21944 |
| 10 | 29300 | 20250 |
| 11 | 29675 | 20250 |
| 12 | 29675 | 22322 |
| 13 | 21500 | 22322 |
| 14 | 21500 | 24467 |
| 15 | 22375 | 24467 |
| 16 | 22375 | 26067 |
| 17 | 22375 | 26067 |
| 18 | 22375 | 26067 |
| 19 | 22375 | 25400 |
| 20 | 28000 | 25400 |
| 21 | 28000 | 25717 |
| 22 | 25678 | 25717 |
| 23 | 25678 | 25983 |
| 24 | 25678 | 25983 |
| 25 | 25678 | 25983 |
| 26 | 25678 | 25983 |
| 27 | 25678 | 25983 |
| 28 | 25678 | 25983 |
| 29 | 25678 | 25983 |
| 30 | 23750 | 25983 |

ตารางที่ ก – 22 ปริมาณกระดาษของของถึงปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน
ก่อนการหมัก

| วันที่ | กระดาษ (มิลลิกรัมต่อลิตร) | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถึงปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถึงปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 1125 | 208 |
| 2 | 1125 | 208 |
| 3 | 1125 | 188 |
| 4 | 3467 | 188 |
| 5 | 3467 | 163 |
| 6 | 4950 | 163 |
| 7 | 4950 | 163 |
| 8 | 4350 | 81.3 |
| 9 | 4350 | 81.3 |
| 10 | 4350 | 75.0 |
| 11 | 3179 | 75.0 |
| 12 | 3179 | 75.0 |
| 13 | 5250 | 75.0 |
| 14 | 5250 | 72.9 |
| 15 | 6250 | 72.9 |
| 16 | 6250 | 93.8 |
| 17 | 6250 | 93.8 |
| 18 | 5375 | 93.8 |
| 19 | 5375 | 100 |
| 20 | 6075 | 100 |
| 21 | 6075 | 100 |
| 22 | 4303 | 100 |
| 23 | 4303 | 263 |
| 24 | 4303 | 263 |
| 25 | 4303 | 263 |
| 26 | 4303 | 263 |
| 27 | 4303 | 125 |
| 28 | 4303 | 125 |
| 29 | 4303 | 87.5 |
| 30 | 983 | 87.5 |

ตารางที่ ก – 23 ปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนก่อนการหมัก

| วันที่ | ความเป็นต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 8500 | 2181 |
| 2 | 8500 | 2181 |
| 3 | 8500 | 2788 |
| 4 | 10400 | 2788 |
| 5 | 10400 | 2725 |
| 6 | 11600 | 2725 |
| 7 | 11600 | 2725 |
| 8 | 11250 | 2225 |
| 9 | 11250 | 2225 |
| 10 | 11250 | 3050 |
| 11 | 11071 | 3050 |
| 12 | 11071 | 3150 |
| 13 | 14250 | 3150 |
| 14 | 14250 | 2630 |
| 15 | 14000 | 2630 |
| 16 | 14000 | 3050 |
| 17 | 14000 | 3050 |
| 18 | 13695 | 3188 |
| 19 | 13695 | 3188 |
| 20 | 14600 | 3280 |
| 21 | 14600 | 3280 |
| 22 | 12655 | 3280 |
| 23 | 12655 | 3250 |
| 24 | 12655 | 3250 |
| 25 | 12655 | 3250 |
| 26 | 12655 | 3250 |
| 27 | 12655 | 3375 |
| 28 | 12655 | 3375 |
| 29 | 12655 | 3750 |
| 30 | 11833 | 3750 |

ตารางที่ ก-24 ปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนก่อนการหมัก

| วันที่ | ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร) | |
|--------|---|------------------------------------|
| | ถังปฏิกรณ์ที่ผ่านการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส | ถังปฏิกรณ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน |
| 1 | 0 | 715 |
| 2 | 1935 | 1010 |
| 3 | 1405 | 1085 |
| 4 | 1560 | 1315 |
| 5 | 0 | 1210 |
| 6 | 205 | 1280 |
| 7 | 0 | 186 |
| 8 | 0 | 155 |
| 9 | 0 | 86 |
| 10 | 0 | 80 |
| 11 | 0 | 360 |
| 12 | 0 | 626 |
| 13 | 0 | 440 |
| 14 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 |
| 29 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 0 |

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอมรพรรณ แถมเงิน เกิดเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2526 สถานที่เกิด จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปี พ.ศ. 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2550



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย