การจัดการของเสียอินทรีย์สำหรับบ้านพักอาศัยโดยวิธีการบำบัดแบบไร้อากาศ

นางสาวภัทรา สินธุรัตน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HOUSEHOLD ORGANIC WASTE TREATMENT BY ANAEROBIC DIGESTION

Miss Patra Sindhurat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดการของเสียอินทรีย์สำหรับบ้านพักอาศัยโดยวิธีการบำบัดแบบไร้อากาศ
โดย	นางสาว ภัทรา สินธุรัตน์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาลัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ยุวรี อินนา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภัทรา สินธุรัตน์ : การจัดการของเสียอินทรีย์สำหรับบ้านพักอาศัยแบบไร้อากาศ.
(HOUSEHOLD ORGANIC WASTE TREATMENT BY ANAEROBIC DIGESTION)
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 110 หน้า.

ปัจจุบันนี้วิกฤตพลังงานและวิกฤติสภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบทั่วโลก พลังงานกำลังขาดแคลนและใกล้จะหมดลง ทุกหน่วยงานตื่นตัวค้นคว้าเพื่อหาพลังงานทดแทน งานวิจัยนี้สนใจของเสียอินทรีย์ในครัวเรือนซึ่งพบว่ายังคงมีพลังงานสะสมอยู่ ในกระบวนการกำจัดของเสียจึงสามารถผลิตพลังงานและมีผลพลอยได้ที่ใช้ประโยชน์ได้ วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาประเภทและปริมาณของของเสียอินทรีย์ในบ้าน ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการบำบัดของเสียอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน เพื่อออกแบบระบบบำบัด สร้างบ่อบำบัดและทดสอบระบบบำบัด

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ใน 1 วัน คนจะทำให้เกิดของเสียอินทรีย์ประมาณ 1.99 กก โดยเป็นเศษอาหารและเศษใบไม้ใบหญ้า 0.64 กก.อุจจาระ 0.40 กก. ปัสสาวะ 0.95 กก. จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน เลือกใช้ปัจจัยการควบคุมการรั่วซึมของอากาศ ความดัน อุณหภูมิ วิธีการคลุกเคล้าของเสีย และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของของเสีย งานวิจัยนี้ออกแบบถังบำบัดสำหรับ 5 ครัวเรือน ๆ ละ 5 คน ขนาด 47 ลบ.ม. สามารถบรรจุก๊าซชีวภาพได้ 100 ลบ.ม. ระดับน้ำเสียความลึก 3.25 เมตร ผลการทดสอบระบบด้วยการใส่ของเสีย พบว่าก๊าซชีวภาพที่ได้จุดไฟติด ได้ก๊าซเปลวไฟสีน้ำเงินและมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอ โดยเศษอาหาร และอุจจาระปัสสาวะ อย่างละ1 กิโลกรัม หมักเป็นเวลา 30 วัน ให้ก๊าซชีวภาพ 0.609 และ 0.264 ลบ.ม. ตามลำดับ วิเคราะห์ระยะเวลาคุ้มทุนของค่าก่อสร้างระบบบำบัดรวมของบ้านจำนวน 5 หลัง เทียบกับค่าแก๊สหุงต้ม 20 บาท ต่อกิโลกรัม เป็นระยะเวลา 3 ปี ครึ่ง

จากการวิจัยทำให้เกิดแนวทางการแยกของเสียอินทรีย์ตั้งแต่ในจุดเริ่มต้นบ้านพักอาศัยเป็นการแก้ปัญหาตั้งแต่ต้นทาง ของเสียอินทรีย์ในบ้านทุกชนิดสามารถนำมารวมกันเพื่อบำบัดและสร้างประโยชน์โดยแปรรูปเป็นพลังงานก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยน้ำ และกากตะกอนใช้ทำปุ๋ย นอกจากนี้ยังสามารถช่วยชะลอสภาวะโลกร้อนจากการนำก๊าซมีเทนมาใช้ได้อีกด้วย

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553 .

5274129125 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : ORGANIC WASTE / HOUSEHOLD/ TREAMENT / BIOGAS

PATRA SINDHURAT : HOUSEHOLD ORGANIC WASTE TREATMENT BY ANAEROBIC DIGESTION, ADVISOR : Assoc.Prof.Vorasun Buranakarn, Ph.D., 110 pp.

Municipal solid waste (MSW) from household today in Thailand mostly contains 60-80 percent of organic and wet waste. Only 30 percent maximum could be recycled since it is contaminated from food waste. Every house also generates waste water from septic tank, gray water from laundry and water from kitchen. Waste can be used as another source of energy. Therefore, MSW or organic waste can be treated and produced biogas in anaerobic digestion process. The study started with analysis of carbon to nitrogen ratio of household organic waste by comparing with other organic wastes such as animal manure and littering. It is found that the appropriate C/N ratio should range 20-30. The household wastes were analyzed. It contains food waste 0.583 kg., human waste 1.350 kg. and garden waste 0.057 kg. The result of study was combined waste water from toilet and kitchen with food waste, garden waste, and human waste. Household wastes were collected and digested as 4 steps as 1) Hydrolysis 2) Acidogenesis 3) Acetogenesis and 4) Methanogenesis. The organic waste treatment plant was constructed with re-enforced concrete, 47 cubic meter which suitable for 5 households (5 people each). It can be concluded that each person produces 1.99 kg. of organic, 0.64 kg of food and garden wastes, 0.4 kg of human waste, and 0.95 kg of urinal per day. The biogas output is various depending on pH, temperature, waste particle, C/N ratio, waste circulation, etc.

The 47 cubic meter organic waste treatment plant with 3.25 meter depth can produce approximately 100 cu.m. Bio methane output from 1 kg. of food waste produces 0.679 cu.m. in 30 days, while bio gas from 1 kg. of human waste produces 0.205 cu.m. in a month. Bio methane of both cases has blue frame constantly. Payback period using 20 baht per kg. of LPG is 3.5 years for a group of 5 houses. The widely applied of this research result and anaerobic household treatment process can help community to reduce curbside collection of MSW, waste water drainage, and LPG consumption. The outputs are bio methane, liquid fertilizer, and fine settlement.

Department : Architecture Student's Signature Patra Sindhurat

Field of Study : Architecture Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การจัดการของเสียอินทรีย์สำหรับบ้านพักอาศัย ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือ การให้คำปรึกษา แนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง จากท่านคณาจารย์ และบุคคลหลาย ๆ ท่าน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวขอบคุณคือ รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณาการญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้สละเวลามอบความรู้ แนวคิด การออกแบบเทคนิคประสบการณ์อันมีค่า นับเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการทำวิจัยฉบับนี้ นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากอาจารย์ท่านอื่น ๆ ได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ ในการให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางกระบวนการวางแผน การแก้ปัญหางานวิจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้น รศ.ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร และดร.ยุวรี อินนา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด รศ. ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์ ที่เป็นแรงบันดาลใจให้เกิดความมานะบากบั่นในการผ่านอุปสรรคต่าง ๆ รวมทั้งอาจารย์อีกหลาย ๆ ท่าน ตลอดเวลาที่ทำการศึกษาที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอกราบขอบคุณ ผศ.บุญมา ป้านประดิษฐ์ ที่ได้แนะนำ ถ่ายทอดความรู้และช่วยเหลือทุกประการ คุณมีชัย อุทัยพันธ์ กรรมการบริหาร บริษัท รักษ์บ้านเรา จำกัด ท่านผู้จัดการโรงแรมคำแสด จังหวัดกาญจนบุรี ผู้ประกอบการร้านอาหารน้ำเคียงดิน กรุงเทพมหานคร พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งพี่ น้อง ลูก ๆ หลาน ๆ และเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกท่าน ที่ได้คอยช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบคุณ คุณธีระศักดิ์ ชำนาญดี คุณสมหมาย ระย้าย้อย และคุณดำรงศักดิ์ ชำนาญดี ที่ได้คอยช่วยเหลือแนะนำ ดูแลระบบ ช่วยแก้ปัญหา และถ่ายทอดเทคโนโลยีต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยนี้เป็นไปได้อย่างสมบูรณ์

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย มาโดยตลอดในการจัดทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งผู้วิจัยประสบความสำเร็จตามที่ตั้งใจไว้ จึงขอยกคุณงามความดีเหล่านี้เป็นเครื่องบูชาพระคุณด้วยความเคารพและสักการะยิ่ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 น้ำเสียและวิธีการบำบัดน้ำเสียทั่วไป 4
2.1.1 คำจำกัดความของน้ำเสีย 4
2.1.2 ลักษณะที่บ่งบอกความสกปรกของน้ำเสีย 4
2.1.3 วิธีการบำบัดน้ำเสียทั่วไป และระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ในปัจจุบัน 6
2.2 ระบบสุขาภิบาลของบ้านพักอาศัย 8
2.3 วิธีการบำบัดของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัยปัจจุบัน 8
2.3.1 การทำน้ำน้ำหมักจุลินทรีย์จากขยะย่อยสลาย 9
2.3.2 การทำปุ๋ยหมัก 9
2.3.3 การใช้ไส้เดือนกำจัดขยะอินทรีย์ 9
2.3.4 บ่อเกรอะ บ่อซึม 10
2.3.5 ถังบำบัดสำเร็จรูป 11
2.4 ของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย 13

สารบัญ

หน้า

2.5 วิธีการบำบัดของเสียโดยกระบวนการย่อยสลายของเสียอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ 14
2.5.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ 15
2.5.2 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ 15
2.5.3 ความเป็นมาของการผลิตก๊าซชีวภาพ 16
2.5.4 การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย 16
2.5.5 รูปแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ 17
2.5.6 ประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซชีวภาพเทียบเท่ากับพลังงานอื่น ๆ 18
2.5.7 ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ 18
2.5.8 ขั้นตอนกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ 19
2.5.9 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ 21
2.5.10 ระบบของการหมักก๊าซชีวภาพ 25
2.5.11 ศึกษาระบบการบำบัดของเสียแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพในประเทศไทย 27
2.5.12 ศึกษา ระบบการบำบัดของเสียแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพในต่างประเทศ 34
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 52
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย 52
3.1.1 เก็บข้อมูลประเภทและปริมาณของของเสียอินทรีย์ ในบ้านพักอาศัย 52
3.1.2 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแบบไร้อากาศ เพื่อการออกแบบระบบบำบัด 52
3.1.3 ออกแบบและก่อสร้างระบบบำบัดของเสียอินทรีย์ 53
3.1.4 ทดสอบระบบบำบัด 53
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 55

สารบัญ

หน้า

4.1 ประเภทและปริมาณของของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย 55
4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบำบัดของเสียอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ 56
4.3 การออกแบบระบบบำบัดของเสียที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย 60
4.4 ทดสอบระบบบำบัดของเสียอินทรีย์ที่สร้างขึ้น 69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 85
5.1 สรุปผลการวิจัย 85
5.2 อภิปรายผลการวิจัย 85
5.3 ข้อเสนอแนะ 86
รายการอ้างอิง 88
ภาคผนวก 96
ภาคผนวก ก การเดินระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและปัญหา 97
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดระเบิดของโรงผลิตก๊าซชีวภาพ 100
ภาคผนวก ค การบำบัดน้ำเสีย.....102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างลักษณะน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย 5
ตารางที่ 2-2 แสดงขนาดของภาชนะและปริมาณไส้เดือนที่ใช้ ต่อจำนวนคนในบ้าน 10
ตารางที่ 2-3 แสดงลักษณะของตะกอนในบ่อเกรอะ 11
ตารางที่ 2-4 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ 15
ตารางที่ 2-5 ตารางแสดงก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. ทดแทนพลังงานอื่น ๆ 18
ตารางที่ 2-6 อัตราส่วน คาร์บอน ต่อ ไนโตรเจน ของวัสดุอินทรีย์ 22
ตารางที่ 2-7 แสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ 23
ตารางที่ 2-8 แสดงปริมาณของเสียที่ใส่ได้ต่อวัน ปริมาณก๊าซที่ได้ และระยะเวลาการใช้เป็นแก๊สหุงต้ม 37
ตารางที่ 2-9 แสดงจำนวนของโรงผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้สร้างตามระยะเวลาต่าง ๆ 37
ตารางที่ 4-1 ระบบการกำจัดของเสียอินทรีย์ที่มีการควบคุมตัวแปรที่แตกต่างกัน 56
ตารางที่ 4-2 การบันทึกค่าก๊าซชีวภาพ 77
ตารางที่ 4-3 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากของเสียอินทรีย์ ต่อ 1 คน และ ต่อบ้าน 1 หลัง 81
ตารางที่ 4-4 แสดงราคาบ่อบำบัดของขนาดบ้าน 1-15 หลังและมูลค่าก๊าซชีวภาพที่ได้เทียบเท่าราคาแก๊ส 20 บาท/กก 81
ตารางที่ 4-5 แสดงมูลค่าก่อสร้างบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจน 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 แผนภูมิน้ำเสียและของเสียในบ้านพักอาศัยทั่วไป 6
ภาพที่ 2-2 ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบการเกรอะและเติมอากาศ..... 12
ภาพที่ 2-3 ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ..... 12
ภาพที่ 2-4 ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบเกรอะและไม่เติมอากาศ..... 12
ภาพที่ 2-5 องค์ประกอบขยะ..... 13
ภาพที่ 2-6 ถังหมักก๊าซชีวภาพ ของ โรงแรมคำแสดรีสอร์ท จ.กาญจนบุรี
ขนาด 80 ลบ.ม..... 27
ภาพที่ 2-7 แสดงเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 28
ภาพที่ 2-8 แสดงตำแหน่งใส่อาหารในถังหมัก..... 28
ภาพที่ 2-9 แสดงการทำงานของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพของ
ผู้ประกอบการรายหนึ่ง 29
ภาพที่ 2-10 แสดงปริมาณขยะอินทรีย์ต่อก๊าซที่ได้ 29
ภาพที่ 2-11 ขยะที่เทศบาลเก็บแล้วนำมากองรวมกัน 30
ภาพที่ 2-12 ขยะพลาสติกที่แยกออกจากขยะรวม มัดเป็นก้อน ๆ..... 31
ภาพที่ 2-13 ขยะที่ผ่านการคัดวัสดุที่รีไซเคิลได้ออก..... 31
ภาพที่ 2-14 บ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจน..... 31
ภาพที่ 2-15 เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพของก๊าซชีวภาพ..... 32
ภาพที่ 2-16 เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพของก๊าซชีวภาพ วัดเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน..... 32
ภาพที่ 2-17 อาร์ดีเอฟ (RDF) หรือ ปลายน้ำที่แห้ง และ ปั่นเอาดินออกแล้ว..... 32
ภาพที่ 2-18 กองปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะ..... 33
ภาพที่ 2-19 แผนผังการจัดการเกษตรแบบพอเพียงของเกษตรกรในประเทศจีน..... 35
ภาพที่ 2-20 ฟางข้าวแห้งที่ใช้ในการทำก๊าซชีวภาพ..... 36
ภาพที่ 2-21 แสดงบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของ BSP Nepal..... 37
ภาพที่ 2-22 ภาพด้านหน้าของ Sulabh Public Toilet Complexes 38
ภาพที่ 2-23 แทงค์ผลิตก๊าซชีวภาพและที่เก็บก๊าซ 38

หน้า

ภาพที่ 2-24 ภาพระบบของ Sulabh Effluent Treatment (SET) 39
ภาพที่ 2-25 แสดงระบบการบำบัดสิ่งปฏิกูลของ Sulabh 40
ภาพที่ 2-26 โรงผลิตก๊าซชีวภาพสามารถสร้างรายได้จากการผลิตไฟฟ้าและจำหน่ายปุ๋ย 41
ภาพที่ 2-27 แสดงรูปแบบ Plug flow digester 41
ภาพที่ 2-28 แสดงชุดผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูป ราคา 500 $US รวมขนส่งและภาษี 42
ภาพที่ 2-29 หญ้า Kentucky bluegrass 43
ภาพที่ 2-30 อุปกรณ์การทดลองของระบบย่อยสลายภายใต้ภาวะแบบไร้ออกซิเจน 44
ภาพที่ 2-31 แสดงระบบถังปฏิกิริยา 45
ภาพที่ 2-32 ขั้นตอนการทำงานของระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอน 46
ภาพที่ 2-33 แผนผังการจัดการระบบหมักในห้องปฏิบัติการ 47
ภาพที่ 2-34 รูปแบบของถังหมักที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ 47
ภาพที่ 2-35 บ่อหมักแบบโดมคงที่ 48
ภาพที่ 2-36 บ่อหมักแบบ Channel Digester-Junior 49
ภาพที่ 2-37 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร 50
ภาพที่ 2-38 แสดงระบบก๊าซชีวภาพแบบ ยูเอส เอ บี 50
ภาพที่ 2-39 แสดงบ่อหมักราง (Channel Digester Tank, CD) 51
ภาพที่ 2-40 ถังหมักแบบ UASB 51
ภาพที่ 4-1 รูปตัดและภาพขยายรางน้ำยึดขอบ HDPE 62
ภาพที่ 4-2 แปลนรางน้ำยึดขอบ HDPE 63
ภาพที่ 4-3 การวางท่อ ก้นบ่อ ท่อดูดกากตะกอนทิ้งและท่อดูดหมุนเวียนในระบบ 64
ภาพที่ 4-4 การวางท่อนำก๊าซ ท่อนำของเสียเข้า และท่อระบายน้ำล้น 64
ภาพที่ 4-5 แสดงการคลุมพลาสติก HDPE 65
ภาพที่ 4-6 แสดงการเชื่อมพลาสติก HDPE 65
ภาพที่ 4-7 แสดงการพับขอบ HDPE โดยการใส่ท่อ PVC ด้านในและพับ HDPE ออก 66
ภาพที่ 4-8 แสดงการคล้อง HDPE เข้ากับตะขอ 66
ภาพที่ 4-9 แสดงการเติมน้ำในรางน้ำ ทดสอบการรั่ว 67
ภาพที่ 4-10 แสดงการเติมกากมันสำปะหลัง 67
ภาพที่ 4-11 กากมันสำปะหลัง 68

หน้า

ภาพที่ 4-12 แสดงการวัดอุณหภูมิ วันที่ 22 มีนาคม 2554 68
ภาพที่ 4-13 แสดงการวัด pH วันที่ 22 มีนาคม 2554 69
ภาพที่ 4-14 การทดสอบการทำงานของจุลินทรีย์ พบว่าเกิดฟองก๊าซทันที 70
ภาพที่ 4-15 การทดสอบก๊าซชีวภาพจากบ่อบำบัด โดยการจุดไฟและตรวจ
ความต่อเนื่อง 70
ภาพที่ 4-16 การทดสอบก๊าซชีวภาพจากบ่อบำบัด โดยการจุดไฟและตรวจ
ความต่อเนื่อง 71
ภาพที่ 4-17 บ่อบำบัดผลิตก๊าซชีวภาพ 71
ภาพที่ 4-18 การเติมจุลินทรีย์จากบ่อบำบัด เข้าสู่ถังทดลอง ขนาด 200 ลิตร 72
ภาพที่ 4-19 ปรับ pH โดยการเติมปูนขาว 72
ภาพที่ 4-20 เศษอาหารที่ใช้ในการทดลอง 73
ภาพที่ 4-21 น้ำอุจจาระปัสสาวะ และเศษอาหารปั่น 73
ภาพที่ 4-22 การเติมเศษอาหารปั่นเข้าถังหมัก 74
ภาพที่ 4-23 การเขย่าถังหมัก เพื่อคลุกเคล้าเศษอาหารเข้ากับน้ำจุลินทรีย์ 74
ภาพที่ 4-24 การตั้งค่าเครื่องนับก๊าซชีวภาพ 75
ภาพที่ 4-25 เครื่องนับก๊าซ หมายเลข 2 ใส่อุจจาระและปัสสาวะ
เครื่องนับก๊าซ หมายเลข 3 ใส่เศษอาหาร 75
ภาพที่ 4-26 แสดงการทำงานของเครื่องนับก๊าซ 76
ภาพที่ 4-27 ชุดทดลอง ถังขนาด 200 ลิตร 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 2-1 แสดงขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ 18
แผนภูมิที่ 4-1 แสดงปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มล.) ที่เกิดขึ้นต่อวัน ของ อุจจาระปัสสาวะ และเศษอาหาร ปริมาณเทียบเท่าอย่างละ 1 กก. 80
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงระยะเวลาคุ้มทุน สำหรับบ้านพักอาศัย 84
แผนภูมิที่ 5-1 แสดงแผนภูมิของน้ำเสียและการบำบัด 86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบอาคารยุคสภาวะโลกร้อนและพลังงานขาดแคลนอย่างในปัจจุบันนี้ มีการคำนึงถึงองค์รวมมากขึ้น มีการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน การนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ เริ่มมีการออกแบบเพื่อคำนึงถึงสมดุลคาร์บอน งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบอาคารยุคใหม่เพื่อช่วยลดสภาวะโลกร้อน สร้างความเย็น สร้างแหล่งพลังงานใหม่ รักษาสิ่งแวดล้อมและอยู่ได้อย่างพอเพียง โดยมุ่งเน้นการหาประโยชน์จากการของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย ทั้งขยะเศษอาหาร เศษใบไม้ใบหญ้า รวมทั้งสิ่งปฏิกูลจากส้วม จากกระบวนการกำจัดของเสียอินทรีย์จะทำให้เกิดพลังงานก๊าซชีวภาพและผลพลอยเป็นปุ๋ยและน้ำ ก๊าซชีวภาพใช้แทนแก๊สหุงต้ม ทำให้ประหยัดเงินค่าแก๊ส ค่าปุ๋ย มีน้ำรดน้ำต้นไม้ในทุกฤดู เพิ่มความชุ่มชื้นให้กับต้นไม้ซึ่งเป็นการสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อมส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอาคาร

ในสมัยก่อนความหนาแน่นของประชากรเบาบาง ขยะ ของเสียและน้ำเสีย ต่าง ๆ กระจายตัวห่าง ไม่กระทบต่อสภาพสังคมและสิ่งแวดล้อม ธรรมชาติสามารถจัดการและอยู่ได้ด้วยตัวเอง แต่ในปัจจุบันประชากรหนาแน่น เมืองหรือบริเวณที่พักอาศัยเริ่มเปลี่ยนแปลงไป รูปแบบการจัดการควรแตกต่างไปจากเดิม เริ่มตั้งแต่ระบบบำบัดของเสียจากห้องน้ำซึ่งมีผลโดยตรงกับสภาพแวดล้อมค่อนข้างมากในทุกสถานที่ พบว่าสมัยก่อนบ้านพักอาศัยใช้ระบบถังบำบัดสำเร็จรูปสามารถจัดการบำบัดสิ่งปฏิกูลและปล่อยน้ำลงสู่สภาพแวดล้อมได้ ซึ่งปัจจุบันแนวคิดนี้ไม่เพียงพอ ระบบจัดการเริ่มตั้งแต่ระบบห้องน้ำหรือระบบอุจจาระ ปัสสาวะ น้ำจากการชำระและน้ำใช้ในบ้าน ซึ่งต้องเปลี่ยนกระบวนทัศน์ใหม่ว่าเป็นทรัพยากรที่มีค่า ไม่ใช่ของเสีย และเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีต้นทุน สามารถแปรรูปเป็นเป็นปุ๋ยธรรมชาติและน้ำ ซึ่งเกี่ยวกับการออกแบบสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะในฤดูร้อนอากาศแห้งแล้ง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดออกมาสามารถหมุนเวียนกลายเป็นน้ำที่ต้นไม้นำไปใช้ สร้างสภาพแวดล้อมให้ร่มรื่น ร่มเย็น ลดอุณหภูมิอากาศรอบบ้าน เมื่อพืชเจริญเติบโตหรือต้นไม้เจริญเติบโตแล้ว จะมีประโยชน์ในการสร้างความร่มเย็นให้กับสภาพแวดล้อม พบว่าในฤดูร้อนพืชล้มลุกและต้นหญ้าที่ปกคลุมผิวดินมีอิทธิพลต่อสภาพภูมิอากาศมาก หากเปรียบเทียบระหว่างพื้นดินที่แห้งกับพื้นดินที่มีหญ้าปกคลุมและชุ่มชื่นมีการระเหยของน้ำอย่างดีอยู่ใต้ร่มเงาต้นไม้ อุณหภูมิจะต่างกันประมาณ 10 $^{\circ}$C เมื่อสภาพแวดล้อมต่างกัน ลมที่พัดผ่านเข้ามาก็พัดผ่านผิวที่เย็น จะทำให้สภาพแวดล้อมของบ้านที่อยู่บริเวณนั้นเย็น

ลง ดังนั้นถ้าเรามีน้ำใช้จากห้องน้ำและจากน้ำทิ้งสำหรับรดน้ำต้นไม้ จะทำให้สภาพแวดล้อมเย็นลงไปมาก (สุนทร บุญญาธิการ, 2552)

ปัญหาอีกประการหนึ่งจากประชากรที่เพิ่มมากขึ้นและจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ คือ ปัญหาขยะเน่าเหม็น ล้นเมือง บริเวณที่กองทิ้งขยะของเทศบาลเป็นที่รังเกียจของประชาชนที่อยู่ในละแวกใกล้เคียงทั้งทางกลิ่น ทางสายตา คุณภาพชีวิต สุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม ขยะอินทรีย์เป็นขยะที่เป็นต้นเหตุของปัญหา มีการบูดเน่าและปนเปื้อนไปกับขยะประเภทอื่นๆ ทำให้ขยะทุกประเภทสกปรกรวมกันส่งกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ไปทั่ว ปริมาณขยะประมาณ 60% ของขยะทั้งหมดเป็นขยะอินทรีย์ กรุงเทพมหานครมีขยะอินทรีย์ประมาณ 5.7 พันตันต่อวัน จากปริมาณขยะทั้งหมดกว่า 8.9 พันตันต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2552: ออนไลน์) ส่วนมากขยะถูกนำไปฝังกลบ โดยมีต้นทุนเป็นค่าขนส่งและกำจัดขยะตันละ 1 พันบาท เทศบาลหลายแห่งเมื่อเก็บรวบรวมขยะจากบ้านพักอาศัย ตลาดและชุมชนต่างๆ มารวมกันแล้ว นำขยะทั้งหมดหมักโดยการบดให้ถุงพลาสติกแตกออกแล้วหมักโดยใช้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน การทิ้งขยะสารอินทรีย์ปนกับขยะอื่นๆ จึงยากในการบำบัด แต่ละครัวเรือนมีสิ่งปฏิกูลจากส้วม เมื่อผ่านบ่อบำบัดแล้วจะปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมา ซึ่งก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออก ไซด์ 21 เท่า (Paulo Artaxo, Terje Berntsen, Richard Betts and others, 2011: online) นอกจากนี้ยังมีปัญหาการปล่อยน้ำทิ้งจากครัวลงแหล่งน้ำสาธารณะ เศษอาหารในน้ำทิ้งจึงส่งกลิ่นเหม็นเน่าออกมา ซึ่งพบว่าน้ำทิ้งยังมีค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง ทำให้เป็นปัญหากับสิ่งแวดล้อมตามมา

จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นที่มาของงานวิจัยเรื่องการจัดการของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย ซึ่งต้องการเป็นแนวทางให้เกิดแยกบำบัดขยะอินทรีย์จากครัวตั้งแต่ต้นทางในบ้านพักอาศัยแต่ละหลัง ทำให้ขยะเปียกชุมชนลดลง ลดพื้นที่การฝังกลบและลดปริมาณขยะเน่าเหม็น ขยะอื่น ๆ สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ ขยะอินทรีย์และสิ่งปฏิกูลจากส้วมเมื่อผ่านการบำบัดจะทำให้เพิ่มมูลค่า นับเป็นการจัดการแก้ปัญหาขยะเน่าเหม็นและกำจัดของเสียอินทรีย์พร้อมกับการทำให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย
2. วิเคราะห์ปัจจัยในการบำบัดของเสียอินทรีย์โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

3. ออกแบบระบบบำบัดของเสียอินทรีย์โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะกับบ้านพักอาศัย

4. ทดสอบและประเมินผลระบบบำบัดของเสียในบ้านพักอาศัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เป็นการศึกษาการกำจัดของเสียอินทรีย์ที่พบในบ้านพักอาศัย คือ ขยะเปียก จำพวกเศษอาหารจากครัว และสิ่งปฏิกูลจากส้วม โดยสิ่งที่ไม่ได้ศึกษาคือ ใบไม้ใบหญ้าจากการตัดหญ้าและจากการตัดแต่งกิ่งไม้

2. เป็นการศึกษาการหาประโยชน์จากขยะและสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ซึ่งพบว่า ของเสียอินทรีย์สามารถหมักให้เกิดก๊าซชีวภาพได้ จึงศึกษาระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ นำไปใช้ประโยชน์ได้และเป็นพลังงานทดแทน อีกทั้งยังได้ ปุ๋ยและปุ๋ยน้ำ ใช้ในสวนและเป็นการเพิ่มความชุ่มชื้นและสร้างความเย็นให้กับสิ่งแวดล้อม

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ของเสียอินทรีย์ คือ ของเสียทุกชนิดในบ้านพักอาศัยที่เป็นสารอินทรีย์ มีคุณสมบัติย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน เช่น เศษอาหาร เศษใบไม้เศษหญ้า และสิ่งปฏิกูลจากส้วม เป็นต้น

ขยะอินทรีย์ หมายถึง ขยะอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ย่อยสลายได้ ไม่รวมสิ่งปฏิกูลจากส้วม

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนในสารอินทรีย์ หากมีค่า C/N สูง จะได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูง หากค่า C/N ต่ำ จะได้ก๊าซชีวภาพน้อย อัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมคือ ประมาณ 20-30

ก๊าซชีวภาพ หรือ ไบโอก๊าซ (biogas) เป็นก๊าซที่เกิดจากจุลินทรีย์หมักย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) กระบวนการหมักนี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติตามแหล่งสารอินทรีย์ที่กองทับถม เช่น ลานหลุมขยะ กองเศษอาหาร ซากสัตว์ ผลไม้ แหล่งน้ำที่มีขยะอินทรีย์ปน เป็นต้น

พลาสติกเอชดีพีอี (HDPE) เป็นพลาสติกที่ใช้คลุมบ่อหมักก๊าซชีวภาพ เพื่อเก็บกักก๊าซ มีความเหนียว ทนทาน น้ำซึมผ่านไม่ได้ ทนสารเคมีได้ดี ทนความร้อนอุณหภูมิสูงถึง 110°C

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 น้ำเสียและวิธีการบำบัดน้ำเสียทั่วไป และระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2.1.1 คำจำกัดความของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้กิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม มีสิ่งสกปรกเจือปนมากทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อีก และมีลักษณะเป็นที่รังเกียจของคนทั่วไป เกิดมลพิษและมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไป แบ่งน้ำเสียเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1.น้ำทิ้ง (waste water) คือ น้ำเสียจากการชำระล้างหรืออาบน้ำ การติดตั้งต้องมีท่ออากาศ เพื่อระบายอากาศและเพื่อการไหลที่ดี ท่อควรมีความลาดเอียงอย่างน้อย 1:100 ควรมีจุดเปิด (Clean Out) เพื่อทำความสะอาดในกรณีเกิดการอุดตันบริเวณจุดเลี้ยวของท่อน้ำทิ้ง น้ำทิ้งจากครัวควรมีบ่อดักขยะและดักไขมัน (grease trap) ก่อนระบายสู่ทางสาธารณะ เพื่อป้องกันการอุดตัน

2. น้ำโสโครก (soil water) คือ น้ำที่มีสิ่งปฏิกูลเจือปนอยู่ เช่น น้ำจากโถส้วมที่มีปัสสาวะ อุจจาระปนอยู่ น้ำจากห้องครัวที่มีเศษอาหารปน เป็นต้น ส่วนมากท่อจะแยกออกจากน้ำทิ้ง เพื่อลดปัญหาเรื่องกลิ่น โดยน้ำโสโครก จะต้องมีการบำบัดก่อนระบายสู่สาธารณะ ตามมาตรฐาน

2.1.2 ลักษณะที่บ่งบอกความสกปรกของน้ำเสีย มี 3 ประการ คือ

1. ลักษณะทางกายภาพ (physical characteristics) น้ำเสียประกอบไปด้วย

- ของแข็งที่แขวนลอยอยู่ (suspended solids) ของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved solids) ของแข็งที่หนักและจมตัวลงเบื้องล่าง (settleable solids) เมื่อจมตัวเบื้องล่างทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน ทำให้ตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ
- กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (odor)
- สี (color)
- ความขุ่น (turbidity)
- อุณหภูมิ (temperature)

2. ลักษณะทางเคมี (chemical characteristics) ตัวบ่งชี้ที่สำคัญได้แก่

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นการวัดความเข้มข้นของธาตุไฮโดรเจนที่มีในน้ำเสีย ไม่มีหน่วย มีค่าจาก 1 ถึง 14 น้ำเสียที่เป็นกลางจะมีค่า pH เท่ากับ 7 (ระบบเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย, 2554: ออนไลน์) โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือจุลินทรีย์ในถังบำบัดจะดำรงชีพได้ดีในสภาวะเป็นกลาง คือ pH ประมาณ 6-8

สารอินทรีย์ (organic matters) ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ชิ้นเนื้อ เป็นต้น

สารอนินทรีย์ (inorganic matters) ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟอร์ คลอไรด์ อัลคาร์ไลนิตี้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น

DO (dissolved oxygen) คือ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

BOD (biological oxygen demand) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ถ้าค่า BOD สูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนมาก จึงต้องการออกซิเจนเพื่อการกำจัดสารอินทรีย์สูง

COD (chemical oxygen demand) คือ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการ ย่อยสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี มักใช้เพื่อประมาณค่า BOD โดยทั่วไปแล้ว ค่า COD : BOD ของน้ำเสียชุมชนประมาณ 2-4 เท่า

3. ลักษณะทางชีววิทยา (biological characteristics) น้ำเสียจะมีสิ่งมีชีวิตจำนวนมากปะปนอยู่ ซึ่งมีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างลักษณะน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย

พารามิเตอร์	น้ำเสียส้วม	จากห้องน้ำ		จากการซักผ้า		จากครัว	
		ตักอาบ	ฝักบัว	ด้วยมือ	ด้วยเครื่อง	ผ่านตะแกรง	ไม่ผ่านตะแกรง
pH	7.7	7.1	7.0	7.2	7.7	7.2	6.3
COD(mg/l)	1,500	230	400	200	560	960	2,900
BOD(mg/l)	700	120	260	70	150	540	1800
TKN(mg/l)	300	8	38	14	12	18	120
PO_4(mg/l)	24	6	1	10	24	13	90
SS(mg/l)	560	45	80	60	55	210	1,200
FOG(mg/l)	540	400	480	500	520	500	2,700

(กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)

2.1.3 วิธีการบำบัดน้ำเสียทั่วไป และระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ในปัจจุบัน

การบำบัดน้ำเสียเป็นกระบวนการขจัดหรือเปลี่ยนแปลงของแข็งที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียเพื่อให้ความสกปรกในน้ำลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด กรรมวิธีในการบำบัดน้ำเสีย มี 3 กระบวนการหลัก คือ

1. วิธีทางกายภาพ (physical wastewater treatment process) เป็นแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เป็นสิ่งของที่ไม่ละลายน้ำ เช่น การใช้ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสีย

2. วิธีทางเคมี (chemical wastewater treatment process) เป็นการกระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในสูง อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค ซึ่งจะใช้เมื่อน้ำเสียมีลักษณะดังต่อไปนี้

- ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป
- มีสารพิษ มีโลหะหนัก
- มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก
- มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ
- มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป
- มีเชื้อโรค

3. วิธีทางชีวภาพ (biological wastewater process) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทาง ชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย โดยสิ่งเจือปนจะถูกใช้เป็นอาหารจุลินทรีย์ ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (aerobic process) แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1.1 จุลินทรีย์อยู่ในลักษณะแขวนลอย ไม่ได้ยึดเกาะกับตัวกลาง (suspend) รูปแบบที่ใช้ คือ

- Activated Sludge
- ระบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor)
- Oxidation Ponds

1.2 จุลินทรีย์ยึดเกาะกับติดกับตัวกลาง (bacterial bed)

- ตัวกลางไม่เคลื่อนที่ (fixed bed) เช่น ระบบระบบโปรยกรอง trickling filter

- ตัวกลางที่เคลื่อนที่ (moving bed) เช่น ระบบ biological discs เป็นต้น

การทำงานของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน มีปฏิกิริยาการทำงานดังนี้

สารอินทรีย์ในน้ำเสีย + ออกซิเจน $\xrightarrow{\text{จุลินทรีย์}}$ น้ำ + คาร์บอนไดออกไซด์

2. กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic process) ระบบที่นิยมได้แก่

- ระบบบ่อหมัก (anaerobic lagoons)
- ระบบกรองโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic filters)
- บ่อเกรอะ (septic tank)

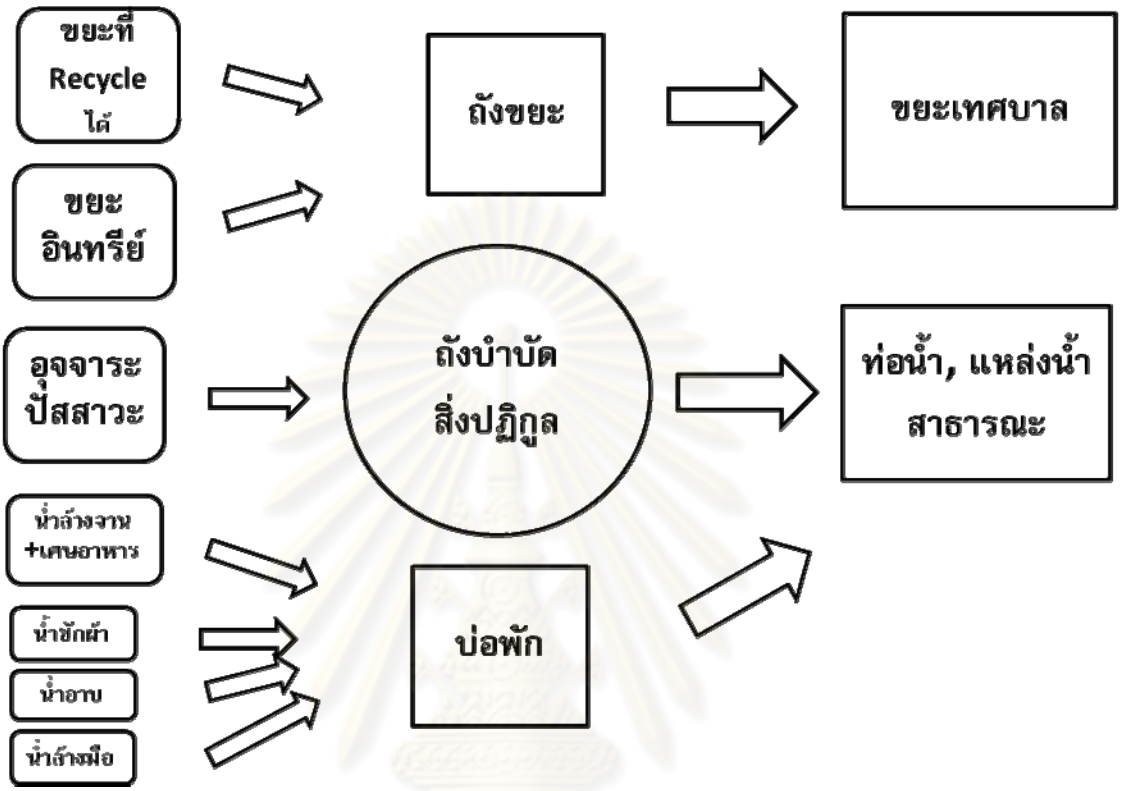
ไม่ต้องเครื่องเติมออกซิเจน แต่ต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง จึงเหมาะกับประเทศที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย ระบบนี้มีข้อดีหลายประการ ได้แก่

- สารอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายไปประมาณร้อยละ 80-90 กลายเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้มีกากตะกอนน้อย เมื่อเทียบกับระบบใช้ออกซิเจน
- สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์นำไปสร้างเซลใหม่ มีเพียงประมาณร้อยละ 50 เพราะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย
- ไม่ต้องมีเครื่องช่วยเติมอากาศ
- ได้ก๊าซมีเทนที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

บางครั้งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องใช้หลายกระบวนการแบบผสมผสานกัน เช่นใช้ทั้งกระบวนการทางเคมีและทางกายภาพร่วมกัน เรียกว่า กระบวนการทางกายภาพเคมี (physical chemical process)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ระบบสุขาภิบาลของบ้านพักอาศัย



ภาพที่ 2-1 แผนภูมิน้ำเสียและของเสียในบ้านพักอาศัยทั่วไป

จากภาพที่ 2-1 จะเห็นได้ว่า การทิ้งขยะในปัจจุบันมีการทิ้งขยะอินทรีย์ปนไปกับขยะอื่น ๆ ทำให้ เกิดการบูดเน่าเสียปนเปื้อน ทำให้ขยะดีไม่สามารถนำไปใช้ใหม่หรือรีไซเคิลได้โดยง่าย มีการทิ้งอุจจาระปัสสาวะไปกับถังบำบัดโดยไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และน้ำล้นไหลลงแหล่งน้ำสาธารณะ น้ำจากการล้างจาน น้ำซักผ้า น้ำอาบ และน้ำล้างมือไหลรวมไปยังบ่อพัก ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยที่น้ำยังมีสารอินทรีย์เจือปน ทำให้ท่อระบายน้ำเน่าเหม็น และน้ำคลองไม่ได้คุณภาพ

2.3 วิธีการบำบัดของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัยปัจจุบัน

ในอดีตใช้วิธีการ ฝัง เผา ต่อมาพัฒนามีการแยกขยะอินทรีย์เพื่อทำปุ๋ยหมัก น้ำจุลินทรีย์ ในปัจจุบันมีการใช้ไส้เดือนดินในการกำจัดของเสียอินทรีย์ สามารถใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน และตัวไส้เดือน ส่วนการบำบัดสิ่งปฏิกูล ในสมัยก่อนใช้บ่อเกรอะบ่อซึม ปัจจุบันใช้ถังบำบัดสำเร็จรูป ซึ่งมีส่วนเกรอะและส่วนกรอง อาจแยกกัน หรืออยู่ในถังเดียวกัน มีทั้งระบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ เป็นต้น

2.3.1 การทำน้ำน้ำหมักจุลินทรีย์จากขยะย่อยสลาย

น้ำหมักจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล เป็นกรด มีรสเปรี้ยว มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชู ประกอบด้วยจุลินทรีย์และสารอาหารต่างๆ ในรูปกรดอะมิโน กรดอินทรีย์ น้ำตาลกลูโคส วิตามิน เกลือแร่ ฮอร์โมนและเอ็นไซม์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นสามารถใช้เลี้ยงสัตว์ ชำระล้างคราบสกปรก ซักผ้า ล้างห้องน้ำ ดับกลิ่นในห้องน้ำและท่อระบายน้ำ มีวิธีการทำดังนี้

1. นำเศษผัก 3 กิโลกรัม มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผสมเข้ากับน้ำตาลแดง 1 กิโลกรัม ใส่ถังหมัก ขนาด 20 ลิตร ปิดฝาทิ้งไว้ 15 วัน

2. หลังจากนั้น จะเกิดน้ำสีน้ำตาลแดง ด้านบนของชิ้นผัก เติมน้ำสะอาด 5 เท่าของน้ำที่เกิดขึ้น หมักต่ออีก 45 วัน จะได้น้ำหมักจุลินทรีย์ที่เป็นหัวเชื้อ

3. จากนั้นขยายหัวเชื้อโดยการ เติมน้ำลงในถังพลาสติกครึ่งถัง ละลายน้ำตาลแดง 1 กิโลกรัมกับน้ำ หลังจากนั้นเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลง 1 ลิตร ใส่ขยะสด 3 กิโลกรัม

4. ปิดฝาหมักไว้ 7 วัน จะเกิดฝ้าสีขาวบนผิวน้ำ แสดงว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

(กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)

2.3.2 การทำปุ๋ยหมัก

1. ผสมขยะสดกับขยะแห้ง อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ให้เข้ากัน ใส่ในถังหมัก หรือกองกับพื้นโดยมีขนาด 1 ลูกบาศก์เมตรขึ้นไปจึงจะเกิดการหมัก

2. รดน้ำให้ทั่วกอง หากเป็นน้ำผสมน้ำหมักจุลินทรีย์จะทำให้การหมักย่อยสลายเร็วขึ้น ตรวจสอบความชื้นที่พอเหมาะด้วยการใช้มือกำกองปุ๋ย หากน้ำไหลออกมาตามง่ามนิ้วนิดหน่อยแสดงว่าใช้ได้ หากแฉะมากไปให้เติมขยะอินทรีย์แห้งลงไปอีก ปิดหน้ากองด้วยขยะแห้ง เช่น ใบไม้แห้ง หรือหาวัสดุมาคลุมเพื่อให้เกิดการหมัก

3. กลับกองปุ๋ยทุก 7 วัน หมักไว้เป็นเวลา 2-3 เดือน หากเกิดการหมัก กองปุ๋ยจะเกิดความร้อน ลักษณะปุ๋ยที่ได้ จะเป็นผงสีดำหรือน้ำตาลเข้ม ไม่มีกลิ่นเหม็น อาจมีรูปร่างของเศษพืชเดิมบ้าง แต่จะยุ่ยฉีกขาดได้ง่าย

(กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)

2.3.3 การใช้ไส้เดือนกำจัดขยะอินทรีย์

ในปี พ.ศ. 2523 มีการวิจัยที่สถานีทดลองโรธาม์ส ประเทศอังกฤษ ใช้ไส้เดือนดินย่อยสลาย กากเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งมูลสัตว์ต่าง ๆ ได้แก่ มูลสุกการ มูลวัว มูลม้า มูลกระต่าย ของเสียจากการเลี้ยงไก่ เป็ด เศษอาหาร เศษผัก การมช้ไส้เดือนในกระบวนการ

กำจัดของเสียอินทรีย์เหลือทิ้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการปุ๋ยมูลไส้เดือนและต้องการตัวไส้เดือนมาผลิตเป็นอาหารโปรตีนสูงสำหรับสัตว์ เช่น ไก่ ปลา หมู และสัตว์ชนิดอื่น ๆ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรตีนอาหารสัตว์ (ศูนย์สาระสนเทศไส้เดือนดิน เชียงใหม่, 2554 : ออนไลน์)

ปัจจุบันการใช้ไส้เดือนดินในการกำจัดของเสียอินทรีย์เริ่มมีการใช้ในส่วนเทศบาลและอบต. โรงงานอุตสาหกรรมที่แปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ในการฟาร์มปศุสัตว์ และการเกษตร การทำปุ๋ยหมักทั่วไปใช้เวลาและแรงงานมาก การใช้ไส้เดือนดินย่อยสลายเพื่อทำเป็นปุ๋ยหมักจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง โดยมีวิธีการ คือ ใส่ของเสียอินทรีย์ในกะบะ ไส้เดือนดินลงไป 30 วัน จะสามารถแยกมูลไส้เดือนดินไปใช้เป็นปุ๋ยได้ โดยสามารถเติมของเสียอินทรีย์ได้ทุกวัน ขนาดภาชนะและปริมาณไส้เดือนดินแสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2-2 แสดงขนาดของภาชนะและปริมาณไส้เดือนที่ใช้ ต่อจำนวนคนในบ้าน (โอเคเนชั่น, 2550)

จำนวนคนในบ้าน	ปริมาณไส้เดือนดิน (กรัม)	ขนาดภาชนะ (เซนติเมตร)
1-2 คน	500 กรัม	60 x 60 x 30
2-3 คน	1 กิโลกรัม	75 x 60 x 30
4-6 คน	1.5 กิโลกรัม	90 x 60 x 30

2.3.4 บ่อเกรอะ บ่อซึม

บ่อเกรอะมีลักษณะเป็นบ่อปิด ซึ่งน้ำซึมไม่ได้และไม่มีการเติมอากาศ ดังนั้นสภาวะในบ่อจึงเป็นแบบไร้อากาศ มักใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากส้วม แต่จะใช้บำบัดน้ำเสียจากครัวหรือน้ำเสียอื่นๆ ด้วยก็ได้ ถ้าหากสิ่งที่ไหลเข้ามาในบ่อเกรอะมีแต่อุจจาระหรือสารอินทรีย์ที่ย่อยง่าย หลังการย่อยแล้วก็จะกลายเป็นก๊าซกับน้ำและกากตะกอน (septage) ในปริมาณที่น้อยจึงทำให้บ่อไม่เต็มได้ง่าย โดยปกติอัตราการเกิดกากตะกอนประมาณ 1 ลิตร/คน/วัน แต่อาจต้องมีการสูบกากตะกอนในบ่อเกรอะ ออกเป็นครั้งคราว สิ่งที่สำคัญของบ่อเกรอะ คือ ต้องป้องกันตะกอนลอยและตะกอนจมไม่ให้ไหลไปยังบ่อเกรอะขั้นสอง เช่น ใช้แผ่นกั้นขวาง หรือท่อสามทาง โดยทั่วไปจะสร้างเป็นบ่อคอนกรีตถ้าเป็นอาคารขนาดเล็กหรือบ้านพักอาศัยนิยมสร้างโดยใช้วงขอบซีเมนต์ แต่ปัจจุบันมีการสร้างถังเกรอะสำเร็จรูปจำหน่ายโดยใช้หลักการเดียวกัน

น้ำส่วนที่ล้นออกมาจากบ่อที่เกรอะ จะเข้าไปในบ่อซึม แล้วน้ำจะกระจายตัวซึมออกไปตามดินโดยรอบ ข้อเสียของบ่อเกรอะบ่อซึมคือ ความสกปรก จะกระจาย มาตามดินได้

ต้องตั้งอยู่ห่างจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค ในกรณีที่มีน้ำใต้ดินสูงจะใช้บ่อเกรอะและบ่อซึมไม่ได้เพราะน้ำในบ่อซึมจะไม่สามารถซึมออกไปในดินได้ และเมื่อถึงเวลาเต็มจะต้องมีการดูดสิ่งปฏิกูลจากบ่อเกรอะ

ตารางที่ 2-3 แสดงลักษณะของตะกอนในบ่อเกรอะ

พารามิเตอร์	**ความเข้มข้น (มก./ล.)**	
	ค่าโดยทั่วไป (1)	**ค่าโดยทั่วไป** (2)
1. ค่า BOD	6,000	5,000
2. ค่าของแข็งทั้งหมด (total solid : TS)	40,000	40,000
3. ค่าของแข็งแขวนลอย (suspended solids : SS)	15,000	20,000
4. ค่าไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น (TKN)	700	1,200
5. ค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย (NH_3)	400	350
6. ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	250	250
7.ค่าไขมัน (grease)	8000	-

(กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)

บ่อเกรอะที่รับเฉพาะน้ำเสียจากส้วมของบ้านพักอาศัย คำนวณขนาดได้จากสูตร

1. กรณี จำนวนคนน้อยกว่า 5 คน ให้ใช้ปริมาตรบ่อขนาดตั้งแต่ 1.5 ลูกบาศก์เมตรขึ้นไป
2. กรณี จำนวนคนตั้งแต่ 5 คนขึ้นไป

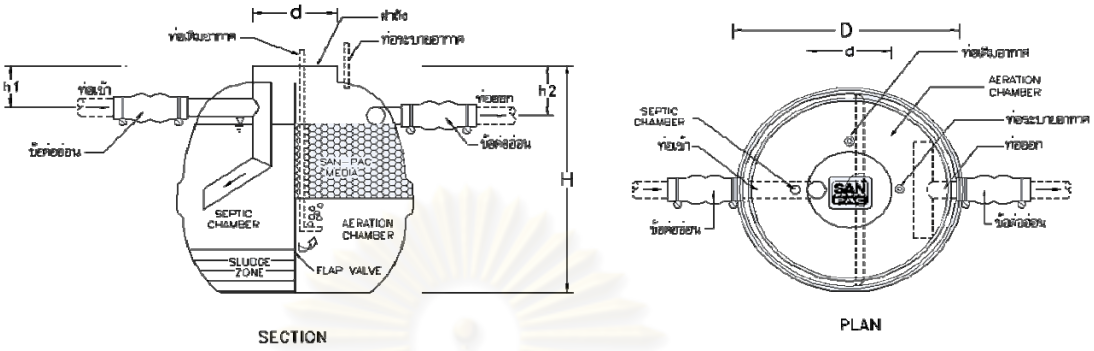
ปริมาตรบ่อ (ลูกบาศก์เมตร) = 1.5 + 0.1 คูณด้วย (จำนวน -5)

2.3.5 ถังบำบัดสำเร็จรูป

ในปัจจุบันนิยมใช้ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป ในการใช้บำบัดน้ำเสียทั่วไป เพราะติดตั้ง สะดวกสามารถแก้ปัญหา เรื่องน้ำใต้ดิน เรื่องสิ่งปฏิกูลเต็มบ่อออกไปได้ ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป มีส่วนประกอบคือ มีตัวถังทำจากไฟเบอร์กลาส หรือวัสดุอื่นที่คงทน ภายใน จะมีระบบการย่อยสลาย สิ่งปฏิกูล และระบบระบายน้ำทิ้งอยู่ในถังเดียวกัน ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป มีขายทั่วไป ขนาดขึ้นอยู่กับจำนวนผู้พักอาศัยในบ้าน ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการทำบ่อเกรอะบ่อซึม

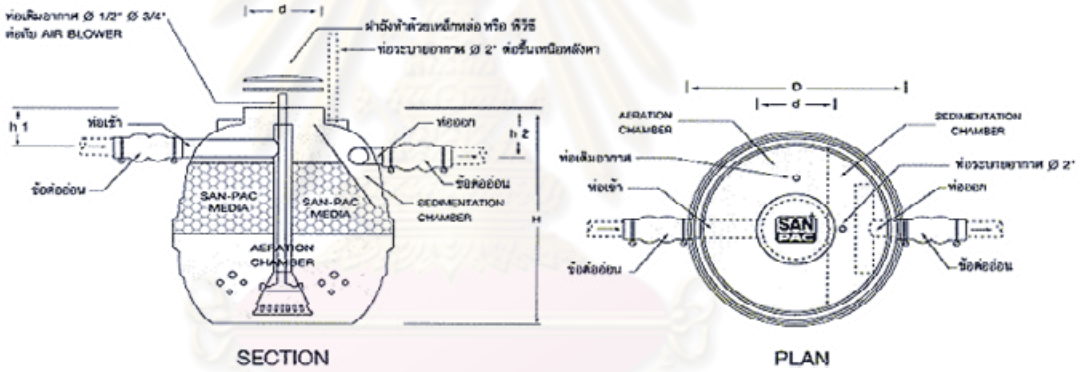
ถังบำบัดสำเร็จรูปที่ใช้ทั่วไป มีทั้งแบบถังเกรอะ ถังกรอง และรวมถังเกรอะและถังกรองไว้ในถังเดียวกัน โดยมีทั้งแบบที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ

1) ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบการเกรอะ (septic) และเติมอากาศ (aeration) ค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศสูง และประสิทธิภาพสูง



ภาพที่ 2-2 ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบการเกรอะและเติมอากาศ (แซนโพรดักส์, 2554 : ออนไลน์)

2) ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ (aeration) ใช้เป็นถังบำบัดน้ำเสียต่อจากถังการเกรอะ



ภาพที่ 2-3 ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ (แซน โพรดักส์, 2554 : ออนไลน์)

3) ถังบำบัดสำเร็จรูปรวมการเกรอะและกรองแบบไม่เติมอากาศ

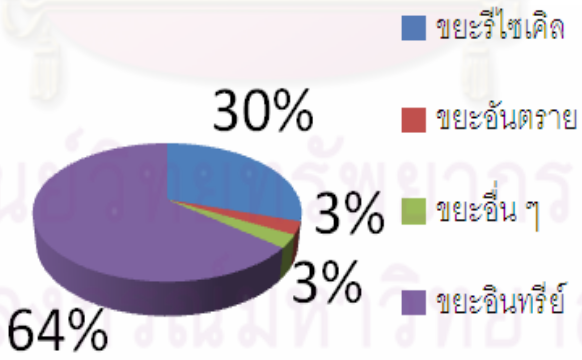
ภาพที่ 2-4 ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบเกรอะและไม่เติมอากาศ (กระบี่โปรเอ็นจิเนียริ่ง, 2553: ออนไลน์)

ถังบำบัดน้ำเสียรวมชนิดไร้อากาศ นำส่วนเกรอะและส่วนกรองมาไว้รวมกัน การทำงาน อาศัยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ โดยน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ จะไหลลงสู่ถัง ส่วนแรกจะทำหน้าที่แยกตะกอนหนัก น้ำใส และตะกอนเบาออกจากกัน เฉพาะส่วนน้ำใสเท่านั้นที่จะไหลไปยังส่วนกรองไร้อากาศ ซึ่งจะมีจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน อยู่ส่วนล่างของถัง ลอยอยู่ตามช่องว่างและเกาะอยู่ที่ผิวของตัวกลางพลาสติกทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่วนที่เหลืออีกครั้ง ได้น้ำทิ้งชุมชนไหลออกส่วนบนของถังลงสู่ท่อระบายน้ำ สะดวก ประหยัดเนื้อที่ ด้วยสองหน้าที่ในถังเดียว

ถังบำบัดสำหรับบ้านพักอาศัยในปัจจุบันนี้นิยมใช้ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบไร้อากาศ เนื่องจากราคาพอเหมาะและการดูแลรักษาต่ำ ผลลัพธ์ที่ออกมาคือ น้ำ กลิ่น และ ก๊าซที่ปล่อยทิ้งลอยสู่ชั้นบรรยากาศ งานวิจัยนี้จึงเกิดแนวคิดในการใช้เพิ่มมูลค่าจากการบำบัดของเสียอินทรีย์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ย น้ำรดน้ำต้นไม้ และผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นการสร้างแหล่งพลังงานจากของเสียที่ทิ้งแล้ว ได้ทั้งประโยชน์และการกำจัดของเสียในเวลาเดียวกัน

2.4 ของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย

เชาวน์ นกอยู่ (2552) ได้รวบรวมข้อมูลจากขยะเทศบาลไว้ดังนี้ อัตราส่วนของขยะอินทรีย์จะมีค่าประมาณ 64 % ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือหากคิดเป็นขยะต่อคนหนึ่งคน จะได้ประมาณ 1 กิโลกรัม ต่อคน ต่อวัน ซึ่งคิดเป็นขยะอินทรีย์ 0.64 กิโลกรัม ต่อคนต่อวัน



ภาพที่ 2-5 องค์ประกอบขยะ

จากการเก็บข้อมูลจากการตัดหญ้า (บุญเสริม สรรเสริญรักขวา, **สัมภาษณ์**. 5 มีนาคม 2554) พบว่า พื้นที่สนามหญ้า และต้นไม้ในบ้าน 300 ตารางเมตร ตัดหญ้าและเล็มใบไม้ได้ประมาณ 30 กก. โดยตัดทุก 3 สัปดาห์ คำนวณได้ว่า ปริมาณเศษหญ้าและใบไม้ที่ได้ต่อวันจากพื้นที่หญ้า 1 ตารางเมตร ประมาณ 4.76 กรัม

สิ่งปฏิกูลจากส้วม องค์การอนามัยโลก ได้เก็บสถิติไว้ดังนี้ (กองช่างสุขาภิบาล, 2550 อ้างถึงใน องค์การอนามัยโลก) ผู้ที่อยู่ในประเทศกำลังพัฒนาจะถ่ายอุจจาระวันละ 200 ถึง 600 กรัม (น้ำหนักเปียก) และในผู้ใหญ่จะถ่ายปัสสาวะประมาณวันละ 0.6 ถึง 1.3 ลิตร พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสิ่งปฏิกูลมีดังนี้

1. บุคคลที่นิยมรับประทานอาหารซึ่งมีโปรตีนสูงและอาศัยอยู่ในเขตเมืองหนาว จะขับถ่ายอุจจาระประมาณ 120 กรัมต่อคนต่อวัน และขับถ่ายปัสสาวะประมาณ 1.2 ลิตรต่อคนต่อวัน

2. บุคคลที่นิยมรับประทานอาหารพวกพืชผักและอาศัยอยู่ในเขตเมืองร้อน จะขับถ่ายอุจจาระประมาณ 400 กรัมต่อคนต่อวัน และขับถ่ายปัสสาวะประมาณ 1.0 ลิตรต่อคนต่อวัน

ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก จึงมีสิ่งปฏิกูลต่อคนวัน การถ่ายอุจจาระของมนุษย์วันละ 200 - 600 กรัม (น้ำหนักเปียก) และปัสสาวะประมาณวันละ 0.6 -1.3 ลิตร ค่าเฉลี่ยอุจจาระ 400 กรัม และปัสสาวะ 950 กรัม

จำนวนครั้งในการปัสสาวะ สุขนิสัยในการขับถ่ายปัสสาวะในแต่ละคนแตกต่างกัน ส่วนใหญ่ขับถ่ายประมาณวันละ 4- 6 ครั้ง (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2554) ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้ง 5 ครั้งต่อวัน จึงมีการกดน้ำชำระประมาณ 50 ลิตร ต่อวัน

2.5 วิธีการบำบัดของเสียโดยกระบวนการย่อยสลายของเสียอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ

เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ และอื่น ๆ รวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ ส่วนมากใช้เป็นการบำบัดในระบบใหญ่ เช่น โรงบำบัดขยะของเทศบาลเพื่อใช้ในการผลิตกระไฟฟ้า หรือใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ ต่าง ๆ เช่น ฟาร์มสุกร ฟาร์มโค-กระบือ เป็นต้น จะใช้มูลสัตว์หมักแบบไร้อากาศเพื่อแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวนบริเวณข้างเคียง มีผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพใช้แทนแก๊สในครัวเรือน ในบางแห่ง ต่อท่อแก๊สส่งกระจายแจกจ่ายทั่วทั้งหมู่บ้าน งานวิจัยนี้สนใจการบำบัดของเสียแบบไร้อากาศ เนื่องจากได้ผลประโยชน์จากการบำบัดของเสียในคราวเดียวกัน มีรายละเอียดสำคัญดังนี้

2.5.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2-4 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซ	เปอร์เซ็นต์
มีเทน (CH_4)	50-70 %
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	30-40 %
ไฮโดรเจน (H_2)	5-10 %
ไนโตรเจน (N_2)	1-2 %
ไอน้ำ (H_2O)	0.3 %
ไฮโดรเจนซัลไฟต์ (H_2S)	เล็กน้อย
แอมโมเนีย(NH_3),	เล็กน้อย

ก๊าซชีวภาพ น้ำหนักเบากว่าอากาศ 20 % ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี มีส่วนประกอบเป็นก๊าซมีเทน จึงจุดติดไฟได้จึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี มี เปลวไฟมีสีฟ้าเหมือนก๊าซแอลพีจี มีอุณหภูมิติดไฟที่ประมาณ 700 °C สามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานหมุนเวียน เพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ ส่วนก๊าซอื่นๆ คือแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่ปริมาณ ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) ในสารอินทรีย์ตั้งต้น

C, H, O, N, S ⟶ CH4 + CO2 + NH3 + H2S + H2O

2.5.2 **คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ**

ค่าความร้อนประมาณ	21	MJ/m^3 (ที่ปริมาณมีเทน 60 %)
ความเร็วเปลวไฟ	25	cm/s
อัตรา A/F ในทางทฤษฎี	6.19	m^3a/m^3g
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650	°C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH4	600	°C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6	kJ/m^3 - °C
ความหนาแน่น (P)	1.15	kg/m^3

(มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551)

2.5.3 **ความเป็นมาของการผลิตก๊าซชีวภาพ**

- มีหลักฐานปรากฏว่าประเทศอัสซีเรีย ใช้ก๊าซชีวภาพให้ความร้อนกับน้ำอาบระหว่าง 10th century BC และในเปอร์เซีย ระหว่าง the 16th century AD (พุทธศตวรรษที่ 21)

- พ.ศ. 2173 แจน แบบทิทา แวน เฮลมอนท์ (Jan Baptita Van Helmont) ค้นพบก๊าซชีวภาพ เกิดขึ้นจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์

- พ.ศ. 2351 เซอร์ ฮัมฟรี เดวี (Sir Humphrey Davy) พบว่า ในบ่อปุ๋ยคอกมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น

- พ.ศ. 2383 ประเทศนิวซีแลนด์ สร้างถังหมักที่เมือง Otago

- พ.ศ. 2402 ประเทศอินเดียได้มีการสร้างถังหมักในสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digestion (AD) plant) ขึ้นเป็นครั้งแรก ที่เมืองบอมเบย์

- พ.ศ.2448 ประเทศอังกฤษคิดค้นถังบำบัดสิ่งปฏิกูลผลิตก๊าซ แล้วนำก๊าซไปจุดไฟส่องสว่างตามถนน

- พ.ศ.2450 ประเทศเยอรมนีออกสิทธิบัตรสำหรับถังหมักก๊าซชีวภาพ

- พ.ศ. 2473 การหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ เริ่มแพร่หลาย นักวิชาการ ได้มีการวิจัยค้นคว้าและพบจุลินทรีย์ที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาและมีการศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้

2.5.4 การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

- ประเทศไทยมีการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพมานานกว่า 20 ปีแล้ว แต่ในระยะแรกจำกัดอยู่ในระดับครัวเรือนหรือเกษตรกรรายย่อย

- พ.ศ. 2531 มีการจัดตั้ง "โครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน" โดยคณะทำงานของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมกับกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยการสนับสนุนจากองค์การ GTZ (Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit) ประเทศเยอรมนี เพื่อศึกษาปัญหาปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพให้มีความเหมาะสมในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมากขึ้น

- พ.ศ. 2534 จัดตั้งหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สังกัดสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อดำเนินการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพต่อเนื่องจากโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน

- พ.ศ. 2538 จัดตั้ง "โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ระยะที่ 1" โดยกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ หรือ สพช.

- พ.ศ. 2551 หน่วยบริการก๊าซชีวภาพได้รับการจัดตั้งเป็น "สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีได้พระราชทานชื่อหน่วยงานใหม่ เป็น "สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" ซึ่งได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพต่อเนื่องมาจนปัจจุบัน

2.5.5 **รูปแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ**

แบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพการทำงานได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ดังนี้

1. บ่อหมักช้า หรือบ่อหมักของแข็ง โดยทั่วไป มี 3 แบบ คือ
   - แบบยอดโดม (fixed dome digester)
   - แบบฝาครอบลอย (floating drum digester) หรือแบบอินเดีย (Indian digester)
   - แบบพลาสติกคลุมราง หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (plug flow digester)
   - แบบถุงทรงกระบอก (bag digester) ทำจาก PVC

2. บ่อหมักเร็ว หรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก คือ

- แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic filter, AF) ตัวกลางที่ใช้ทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลางที่ถูกตรึงอยู่

- แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ upflow anaerobic sludge blanker) ใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมักเป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ลักษณะการทำงานของบ่อหมักเกิดขึ้นโดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ตะกอนส่วนที่เบาจะลอยตัวไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อ ตะกอนส่วนที่หนักจะจมลงก้นบ่อ

2.5.6 **ประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซชีวภาพเทียบเท่ากับพลังงานอื่น ๆ**

ตารางที่ 2-5 แสดงก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. สามารถทดแทนพลังงานอื่น ๆ ได้ดังนี้

เชื้อเพลิง	**ปริมาณ**	**หน่วย**

ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60	ลิตร
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
ไฟฟ้า	1.20	กิโลวัตต์ ชั่วโมง

หรือ ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

1. ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลลอรี่ ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 ^{o}C เดือดได้
2. ใช้กับตะเกียงก๊าซขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง
3. ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง
4. ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

(กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553)

2.5.7 ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ

เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ผลที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายส่วนใหญ่ คือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน ขั้นตอนการย่อยสลาย สารอินทรีย์ดังกล่าวแสดงดังภาพ

แผนภูมิ 2-1 แสดงขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ในสภาวะไร้อากาศหรือไร้ออกซิเจน สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ชนิดสร้างกรด หลั่งออกมานอกเซลล์ กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโนและกรดไขมัน เป็นต้น

หลังจากนั้น สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจะถูกจุลินทรีย์ดังกล่าวดูดซึมเข้าสู่เซลล์และหลั่งเอนไซม์เพื่อย่อยสลาย สารอินทรีย์ภายในเซลล์ให้กลายเป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนขับออกมานอกเซล จากนั้น จุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนจะย่อยสลายและเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้เป็น ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ ซึ่งรวมเรียกว่าก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำ สามารถอธิบายขั้นตอนโดยละเอียด ได้ดังนี้

2.5.8 **ขั้นตอนกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ** แบ่งเป็น 4 ขั้นดังนี้

1. **กระบวนการไฮโดรลิซิส** (hydrolysis) หรือ กระบวนการ solubilisation คือ การย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน ให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) ซึ่งจะเป็นสารตั้งต้น สำหรับกระบวนการสร้างกรดในขั้นตอนที่ 2

จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายคือจุลินทรีย์กลุ่มแฟคคัลเททีฟแอนด์แอร์โรบิคจุลินทรีย์ (facultative anaerobic bacteria) แบ่งได้ตามชนิดของ เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คือ cellulytic, lipolytic และ proteolytic ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์ ชนิดของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยา การทำงานของเอนไซม์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข็มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของสารเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น จากการศึกษากระบวนการแตกสลายโพลีเมอร์จากของเสียหลายๆประเภท พบว่าการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกันจะได้ผลดีมากกว่าการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์เพียงชนิดเดียว

2. **แอซิดิฟิเคชั่น** หรือ แอซิโดเจเนซิส (acidification/ acidogenesis) คือการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (monomer) ให้เป็น กรดระเหยง่ายหรือกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (propionic acid) กรดวาเลอริก (valeric acid) และกรดแลคติก (lactic acid) โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงสุด และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นตอนนี้จุลินทรีย์สร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เป็นผลจากการอยู่รวมกันของจุลินทรีย์หลายสปีชีส์ สำหรับจุลินทรีย์ในขั้นตอนการสร้างกรด คือจุลินทรีย์ในกลุ่มที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้อีกด้วย

3. **อะซิโตเจเนซิส** (acetogenesis) คือ การเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเทตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน การเกิดกระบวนการนี้ เป็นผลการที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนต้องการอาหาร ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมธานอล และเมธิลา

มิน เป็นต้น แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยง่ายที่มี คาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดโพรพิออนิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารในการผลิตก๊าซมีเทนโดยตรงได้ ดังนั้นในกรณีที่กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid) ที่สร้างขึ้น ยังอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม จุลินทรีย์ต้องย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มี อะตอมของคาร์บอนที่ลดลงเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ จุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อย สลายกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติก ได้แก่ จุลินทรีย์ที่สร้างไฮโดรเจน (hydrogen producing acetogenic bacteria) ผลผลิตที่ได้ ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการ

CH_3CH_2COOH (Propionic Acid) + $2H_2O$ $\longrightarrow$ $CH_3COOH + CO2 + 3H_2$

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

$2CO_2 + 4H_2$ $\longrightarrow$ $CH_3COOH + 2H_2O$

4. **เมทาโนเจเนซิส** หรือ เมทาไนเซชั่น (methanogenesis/ methanization) กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ที่เกิดจากขั้นตอนการ สร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (methane forming bacteria) โดยแบ่งได้ 2 แบบ

1. การเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ได้ 70% ของก๊าซมีเทนทั้งหมด

CH_3COOH $\longrightarrow$ $CH_4 + CO_2$ (Methane Forming Bacteria)

2. การรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์ประเภท hydrogen – utilizing methane bacteria ดังสมการ

$CO_2 + 4H_2$ $\longrightarrow$ $CH_4 + 2H_2O$ (Hydrogen – Utilizing Methane Bacteria)

จุลินทรีย์สร้างมีเทน แบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามลักษณะทางเซลล์วิทยา ดังนี้

1. Rod-shaped Bacteria
   - Non-sporulating, Methanobacterium
   - Sporulating, Methanobacillus

2. Spherical
   - Sarcinae, Methanosarcina
   - Not in Sarcinal groups, Methanococcus

2.5.9 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่าง ๆที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.อุณหภูมิในถังย่อยสลาย (operating temperature) จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการย่อยสลายดังนี้ (สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

ก) การย่อยแบบไซโครฟิลิค (psychrophilic digestion) อุณหภูมิ 10 - 20 ^{o}C ระยะเวลาการกักเก็บมากกว่า 100 วัน

ข) การย่อยแบบเมโซฟิลิค (mesophilic) อุณหภูมิ 20 - 35 ^{o}C ระยะเวลาการกักเก็บมากกว่า 20 วัน

ค) การย่อยแบบเทอร์โมฟิลิค (thermophilic) อุณหภูมิ 50 - 60 ^{o}C ระยะเวลาการกักเก็บมากกว่า 8 วัน

จุลินทรีย์เมโซฟิลิคมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิค และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิค ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิคจะเสถียรกว่า

ในโรงผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กจะไม่ใช้การย่อยสลายแบบเทอร์โมฟิลิค เนื่องจากต้องควบคุมอุณหภูมิให้สูงถึง 50 - 60 ^{o}C ทำให้ต้องออกแบบระบบที่ซับซ้อนมากขึ้นและการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า ในยุโรปโรงผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ จะนำก๊าซชีวภาพที่ได้ประมาณ 20-30 % ให้ความร้อนกับโรงผลิตก๊าซชีวภาพ (สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH value) ช่วง pH ที่เหมาะสมที่สุดที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่า pH ในถังหมักจะขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักในช่วงแรกจุลินทรีย์ที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5 จุลินทรีย์จะตาย หาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการจะไม่เจริญเติบโต ความเข้มข้นของ NH_4 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบการหมักมีความเสถียร pH จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8

จุลินทรีย์สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ค่อนข้างมาก ทำให้ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดนี้แคบ โดยสามารถ เจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8 – 7.2 พบว่ากลุ่มของจุลินทรีย์สร้างมีเทน จะเป็นกลุ่มที่ควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากอัตราการเติบโตช้าที่สุดและมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมของระบบมากกว่า จุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์สร้างมีเทน สามารถอยู่ได้โดยไม่มีอาหารเพิ่มเติมได้นานเป็นเดือน

3.อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ของของเสียอินทรีย์ อัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมกับการหมักแบบไร้อากาศจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20-30

ตารางที่ 2-6 อัตราส่วน คาร์บอน ต่อ ไนโตรเจน ของวัสดุอินทรีย์

ชนิดของสารอินทรีย์	**อัตราส่วน C/N**
มูลคน	8
มูลเป็ด	8
มูลไก่	10
มูลแพะ	12
มูลหมู	18
มูลวัวควาย	24
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	25
ใบไม้ใบหญ้าแห้ง (ความชื้น 13%) (บดินทร์ ลือเลิศยศ และอรรถพล อ่างคำ, 2540)	33
มูลช้าง	43
ใบไม้ใบหญ้าสด (ความชื้น 77.5%) (บดินทร์ ลือเลิศยศ และอรรถพล อ่างคำ, 2540)	57
ต้นข้าวโพดแห้ง	60
ฟางข้าว	70
ขี้เลื่อย	200-400
พีชตระกูลถั่ว	13-25
ขยะมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือน (นิติ เหมพัฒน์ จรีรัตน์ สกุลรัตน์ และจรงค์ มุสิกะวงศ์, 2552)	20-40

คมสัน หุตะแพทย์ (2551) พบว่าถ้า อัตราส่วน C/N สูงมากๆ จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจะใช้ไนโตรเจนสร้างโปรตีนให้ตัวเอง และจะไม่ใช้กับคาร์บอนในการสร้างก๊าซมีเทน ทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราส่วน C/N ต่ำมาก ๆ ไนโตรเจนจะมากกว่าคาร์บอน และจะสะสมในรูปของแอมโมเนีย ทำให้ค่า pH สูงขึ้น และเริ่มเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจะลดลง ทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำ

จากตาราง จะเห็นว่ามูลวัวควาย มีค่า C/N เฉลี่ยอยู่ที่ 24 จึงเหมาะในการหมักก๊าซชีวภาพ ในขณะที่มูลคน มีค่า C/N เฉลี่ยเพียง 8 หมายถึงมีคาร์บอนน้อยกว่าไนโตรเจน จึงต้องใส่วัสดุที่มีค่า C/N สูง เพื่อเฉลี่ยให้ค่า C/N อยู่ในระดับที่ต้องการ มีตัวอย่าง บ่อหมักก๊าซชีวภาพในประเทศจีน จะใส่ฟางข้างไว้ด้านล่าง แล้วเททับด้วยมูลคน ในประเทศเนปาลจะใส่มูลช้างผสมกับมูลคน เพื่อปรับค่า C/N จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควาย มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง การผสมสารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับสารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เป็นการปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ตั้งต้นทำให้ได้ก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2-7 แสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของมูลสัตว์	**ปริมาตรแก๊สชีวภาพ (m^3) ต่อจำนวน กก.ของ มูลสัตว์**
วัว ควาย	0.023 - 0.040
หมู	0.040 - 0.059
ไก่	0.065 - 0.116
มนุษย์	0.020 - 0.028

(Updated Guidebook on Biogas Development, cited in FAO, 1996)

4. **ความเข้มข้นของวัสดุหมัก** มูลสัตว์ โดยเฉพาะมูลวัวควายสด จะต้องผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 แต่ถ้าเป็นมูลแห้ง จะต้องเพิ่มปริมาณน้ำ เพื่อให้วัสดุหมักมีความเข้มข้นตามต้องการ เช่น 1:1.25 หรือ 1:2 ต้องระวังไม่ให้จางเกินไป เพราะเนื้อของมูลสัตว์จะจมลงก้นถัง ถ้าเติมน้ำน้อยไป มูลจะเหนียวมาก และขัดขวางการไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นในส่วนล่างของถังหมัก ทำให้ผลิตก๊าซได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

5. **ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ** (loading) คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งมากเกินไป จะทำให้ค่าความเป็นกรดสูงเกินไป ระบบอาจจะล้มเหลว เนื่องจากจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจะตายหมด เนื่องจากในช่วงแรกจะมีการสร้างกรด หากกรดมากเกินไปจะต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าใส่ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อย ก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

6. **ระยะเวลาการหมัก** (retention time) ขึ้นอยู่กับปัจจัยค่าของแข็งที่ละลายในของเสียเหลว (TSC) อุณหภูมิ ขนาด รูปแบบของระบบหมัก และปริมาณของของอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บจะเป็นสิ่งแสดงระยะเวลาที่จุลินทรีย์จะมีชีวิตอยู่โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากหมายถึงระยะเวลาที่จุลินทรีย์ย่อยอาหารและยังไม่ตายจากการขาดอาหาร หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับจุลินทรีย์ที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ และจุลินทรีย์จะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลงไป ทำให้จุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ทำการย่อยสลายไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลง หากระยะเวลากักเก็บนานเกินไปตะกอนของสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแล้วจะสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน อวัสดา ฉลามุวัฒน์ (2544) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร พบว่า ประสิทธิภาพของการกำจัดอินทรียสารเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาในการเก็บกักนานขึ้น

7. **ปริมาณของแข็ง** (total solid content, TSC) ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ (solid content) ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับคือ

- ปริมาณของแข็งสูง (high-solid) TSC สูงกว่า ~ 20%
- ปริมาณของแข็งต่ำ (how-solid) TSC ต่ำกว่า ~ 15%

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมของเสียอินทรีย์ที่มีปริมาณของแข็งสูง จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน แต่พื้นที่ที่ใช้จะน้อยกว่า ในทางตรงกันข้าม ถังหมักแบบเติมของเสียอินทรีย์ที่มีปริมาณของแข็งต่ำ จะสามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปได้และจะใช้พลังงานน้อยกว่าการสูบตะกอน แต่พื้นที่ที่ใช้จะมากกว่าและการที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ดีขึ้น การที่จุลินทรีย์สามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงจะช่วยให้การย่อยสลายและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

8. **การคลุกเคล้า** (mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญเพราะจะทำให้จุลินทรีย์สัมผัสกับของเสียอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดตันตามท่อต่าง ๆ

9. **สารอาหาร** (nutrient) สารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต คือ คาร์บอนไฮโดรเจนเป็นหลัก และอื่น ๆ เช่น ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม

เป็นต้น และธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม และนิเกิลเป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่พอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

10. **สารยับยั้งและสารพิษ** (inhibiting and toxic materials) เช่น กรดไขมันที่ระเหยได้ ไฮโดรเจน แอมโมเนีย ธาตุอิออนของ สารพิษ โลหะหนัก สารทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้าง และยาปฏิชีวนะ จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของจุลินทรีย์ได้

ธาตุอิออนในปริมาณน้อย เช่น โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แอมโมเนียม เป็นต้น รวมทั้งโลหะหนักบางประเภท เช่น ทองแดง นิเกิล โครเมียม สังกะสี ตะกั่ว และอื่นๆ ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

11. **ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง** หรือ อัลคาลินิตี้ (alkalinity) ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)

2.5.10 **ระบบของการหมักก๊าซชีวภาพ** แบ่งตามแบบการวิธีเติมสารตั้งต้น คือ

- **แบบเติมครั้งคราว** (batch operation) เป็นการเติมสารอินทรียครั้งเดียวเมื่อย่อยสลายหมดจึงเปิดถ่ายตะกอนออกและเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซต่ำ ปริมาณก๊าซไม่คงที่

- **แบบกึ่งต่อเนื่อง** (semi - continuous operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เป็นประจำ วันเว้นวัน หรือวันเว้น สองวัน ขึ้นอยู่กับสภาพสารอินทรีย์และขนาดของบ่อหมัก ผลที่ได้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบเติมครั้งคราวประมาณก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่

- **แบบต่อเนื่อง** (continuous operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าและถ่ายสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกอยู่ตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงสุด เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม ประมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา

ระบบของการหมักก๊าซชีวภาพสำหรับสารตั้งต้นที่เป็นของแข็ง (สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549)

1. ระบบหมักแห้งแบบต่อเนื่อง (Dry continuous digestion) ขยะอินทรีย์ซึ่งมีอัตราส่วนที่เป็นของแข็งร้อยละ 20-40 ที่ผ่านการคัดแยกแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีทั้งระบบกวนผสมและระบบปล๊กโฟล สำหรับระบบจะมีการนำส่วนที่ย่อยสลายบางส่วนกลับมาผสมใหม่เพื่อปรับระบบใหม่เหมาะสม ทั้งระบบกวนผสมและระบบปล๊กโฟลมักจะทำในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก (50 - 55 °C) เพื่อเติมน้ำให้น้อยที่สุด

2. ระบบหมักแห้งแบบแบตช์ (Dry batch digestion) ระบบนี้จะใช้หลักการเดียวกับการฝังกลบแต่ใช้เวลาสั้นกว่าการฝังกลบ ขยะที่นำเข้าหมักในถังหมักจะถูกผสมกับสารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วจากอีกถังหนึ่งเพื่อปรับสภาพ หลังจากนั้นจึงปิดถังหมักและปล่อยให้เกิดการย่อยสลายตามถังธรรมชาติ ในช่วงนี้น้ำชะขยะ (leachate) ที่เกิดขึ้นจะถูกหมุนเวียนไปรักษาระดับความชื้นและกระจายไปทั่ว เมื่อขยะถูกย่อยสลายแล้ว จึงเปิดถังเพื่อเอาสิ่งที่เหลือจากการย่อยสลายออกแล้วเติมขยะเข้าไปใหม่

3. กระบวนการลีช-เบด (Leach-bed process) กระบวนการนี้มีหลักการคล้ายคลึงกับการหมักแห้งแบบแบตช์ แต่จะต่างกันที่ด้านล่างของถังจะมีการแลกเปลี่ยนระหว่างสารจากแบตช์เก่าและแบตช์ใหม่ เพื่อให้การเดินระบบเริ่มต้นทำได้ง่ายและระบายกรดระเหยได้ในถังหมักแบบเก่า หลังจากนั้นเมื่อถึงขั้นตอนการเกิดมีเทน (methanogenesis) ถังหมักจะถูกแยกออกจากกันแล้วนำไปต่อกับถังใหม่ต่อไป หลักการนี้อาจเรียกว่า Sequential batch anaerobic composting (SEBAC)

4. การหมักเปียกแบบต่อเนื่อง (Wet continuous digestion) ระบบนี้ขยะจะถูกป้อนในรูปที่เป็นของเหลวข้น (slurry) โดยมีอัตราส่วนของแข็งประมาณ ร้อยละ 10 ถังหมักอาจมีรูปแบบเป็นถังกวนคล้ายกับระบบหมักมูลสัตว์ ในขั้นตอนการเตรียมสารป้อนเข้าถัง สารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วจะถูกกรองอัดเพื่อแยกเอาส่วนของเหลวกลับไปใช้ใหม่ ระบบนี้อาจนำไปใช้หมักขยะร่วมกับมูลสัตว์ ซึ่งนิยมทำในประเทศเดนมาร์ก

2.5.11 ศึกษาระบบการบำบัดของเสียแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพในประเทศไทย

1) คำแสด รีสอร์ท จ. กาญจนบุรี

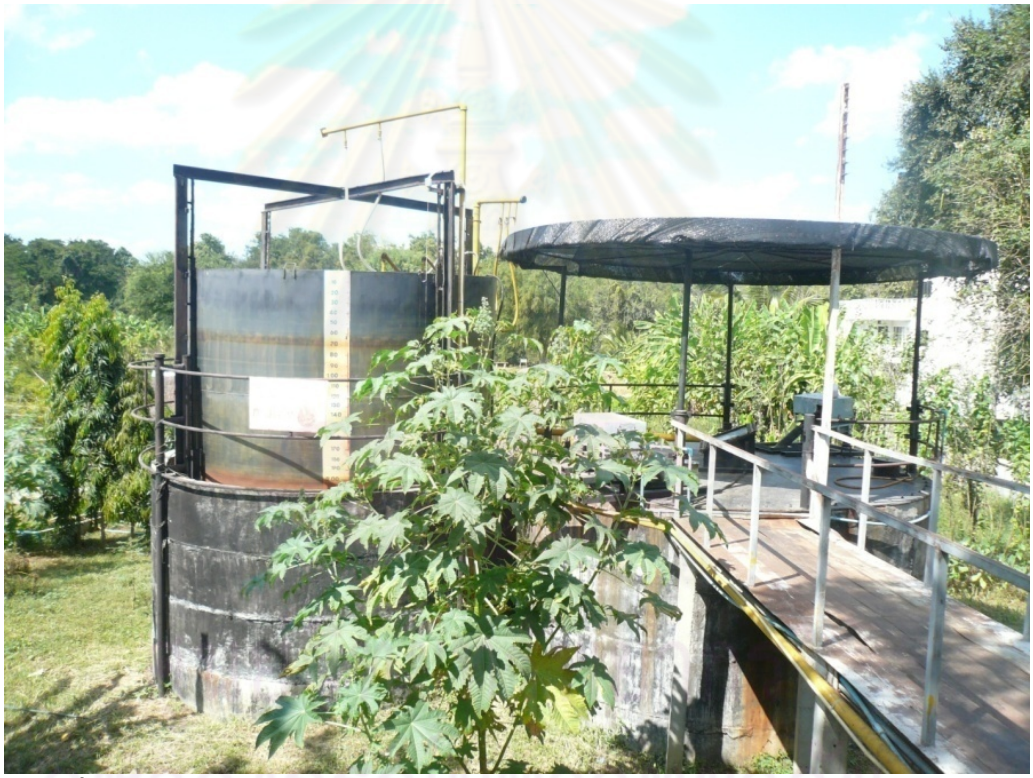
ยุทธการ มากพันธ์ (2552) ผู้จัดการคำแสด รีสอร์ท ได้ให้สัมภาษณ์ว่า คำแสด รีสอร์ท เป็นโรงแรมขนาด 120 ห้องพัก รองรับแขกได้ 400 คน ขยะเปียกส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารจากโรงครัว ประมาณ 220-350 กิโลกรัม/วัน การกำจัดขยะเศษอาหารโดยใช้ระบบหมักแก๊สชีวภาพแบบถังกวนลอยผสม ขนาดปริมาตร 80 ลบ.ม. สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 35 ลบ.ม./วัน

โดยมีศักยภาพสูงสุด 100 ลบ./วัน นำก๊าซชีวภาพไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มได้ 40 กก./วัน ได้ผลพลอยได้เป็นกากตะกอนเปียก และปุ๋ยน้ำนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับต้นไม้ในรีสอร์ท

ประโยชน์ที่ได้รับ

- ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะ ลดภาระในการจัดหาที่ทิ้งขยะ
- ลดปัญหารื่องกลิ่นและแมงรบกวน
- ลดการใช้ปุ๋ยเคมีในรีสอร์ท
- ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(ยุทธการ มากพันธุ์. **สัมภาษณ์**. 7 มกราคม 2552)



ภาพที่ 2-6 ถังหมักก๊าซชีวภาพ ของ โรงแรมคำแสดรีสอร์ท จ.กาญจนบุรี ขนาด 80 ลบ.ม.

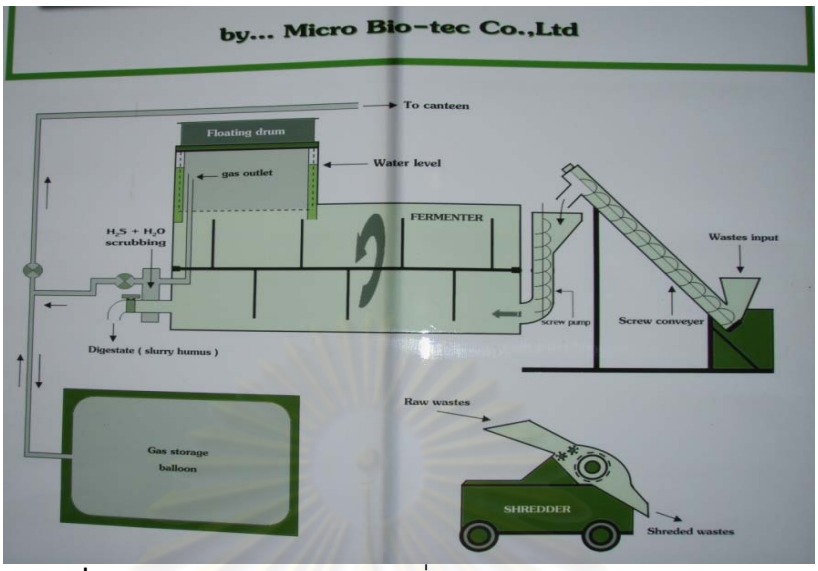
2) ระบบหมักก๊าซชีวภาพของ บริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง

เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ (แมคโครไบโอเทค, 2553) ได้รับรางวัลเทคโนโลยีเครื่องจักรกลยอดเยี่ยมประจำปี 2550 สามารถผลิตปุ๋ยหมักน้ำหมักชีวภาพ และผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ โดยใส่วัสดุทางการเกษตร พืชเหลือใช้ หรือขยะอินทรีย์ต่าง ๆ สามารถเวลาการทำปุ๋ยหมัก ไม่ต้องใช้พื้นที่และแรงงานมาก ลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตปุ๋ยหมัก

สามารถเติมขยะอินทรีย์ได้ 500 กิโลกรัม ต่อวัน ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 40 ลบ.ม. ผลิตปุ๋ยหมักได้ 101 กก./วัน ลักษณะการเติมเป็นแบบสกรูหมุนนำขยะเข้าสู่ภายใน มีหลายขนาด สามารถเคลื่อนย้ายได้ ติดตั้งได้ง่าย

ภาพที่ 2-7 แสดงเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

ภาพที่ 2-8 แสดงตำแหน่งใส่อาหารในถังหมัก



ภาพที่ 2-9 แสดงการทำงานของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ของผู้ประกอบการรายหนึ่ง

ภาพที่ 2-10 แสดงปริมาณขยะอินทรีย์ต่อก๊าซที่ได้

3) ระบบกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลท่าโขลง อ.เมือง จ.ปทุมธานี

มีชัย อุทัยพัฒน์ (2554) กล่าวว่าระบบกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลท่าโขลง อ.เมือง จ.ปทุมธานี เป็นการจัดการขยะชุมชน จากเทศบาล มีจำนวนบ่อหมักแก๊สชีวภาพ 50 บ่อ ปัจจุบันใช้จริงเพียง 35 บ่อ/วัน แต่ละบ่อสามารถรองรับได้ 150 ตันขยะ แต่ละวันจะได้แก๊ส 10,000 ลบ.ม.ของแก๊ส การลงทุน 180 ล้าน จำนวน 50 บ่อ และวางแผนลงทุน ชุดแก๊สซิไฟเออร์ 70 ล้าน

บริเวณขอบบ่อ เป็นน้ำเพื่อการไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปได้ ผ้าใบที่คลุมเป็น พีวีซี ทาด้วยอีพอกซี บ่อมีขนาด 8x12x2.5 ลบ.ม. 250 ลบ.ม.แก๊ส/วัน เทียบเท่ากับน้ำมัน 180 ลิตร การหมัก ใส่ขยะลงบ่อ คลุมผ้า พีวีซี ในระยะเวลา 1 คืน จะเริ่มได้แก๊ส ระยะเวลาการหมักแต่ละบ่อ (retentime) เท่ากับ 90 วัน บ่อหมัก ต้องมีอย่างน้อย 2 บ่อ เพื่อการเปิดถ่ายกากออก และต้องเปิดตอนไม่มีแสง มิฉะนั้นจุลินทรีย์จะตาย ทำให้ต้องรีบปิดบ่อก่อนที่จะสว่าง

น้ำที่ได้จะเป็นน้ำสีเขียวดำ ๆ เป็นน้ำปุ๋ย ประเภทเดียวกับน้ำ อีเอ็ม เชื้อยังเจริญอยู่ได้ไม่เกิน 7 วัน หากต้องการเลี้ยงเชื้อต่อให้ใส่โมลาส อัตราส่วนระหว่าง ขยะตั้งต้น ต่อน้ำปุ๋ย = 5 : 1 สมมุติว่า ใส่ขยะ 1 ตัน ในบ่อ เมื่อหมักแล้ว จะได้

- น้ำปุ๋ยประมาณ 200 ลิตร
- ปลายน้ำ คือ กากตะกอนปน พลาสติก RDF คือ ปลายน้ำที่แห้ง และปั่นเอาดินออกแล้ว จะเหลือเป็นพลาสติกที่มีสัดส่วนเป็นส่วนใหญ่และปุ๋ยอินทรีย์เป็นสัดส่วนน้อย
- ปุ๋ยที่ได้มีสารอินทรียประมาณ 67 % ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 20 %

(มีชัย อุทัยพัฒน์, **สัมภาษณ์**, 54 กุมภาพันธ์ 2552)

ภาพที่ 2-11 ขยะที่เทศบาลเก็บแล้วนำมากองรวมกัน

ภาพที่ 2-12 ขยะพลาสติกที่แยกออกจากขยะรวม มัดเป็นก้อน ๆ

ภาพที่ 2-13 ขยะที่ผ่านการคัดวัสดุที่รีไซเคิลได้ออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2-14 บ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

ภาพที่ 2-15 เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพของก๊าซชีวภาพ

ภาพที่ 2-16 เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพของก๊าซชีวภาพ วัดเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน

ภาพที่ 2-17 อาร์ดีเอฟ (RDF) หรือ ปลายน้ำที่แห้ง และ ปั่นเอาดินออกแล้ว

ภาพที่ 2-18 กองปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะ

4) โครงการสาธารณสุขรวมใจ รณรงค์ลดโลกร้อน ด้วยการสุขาภิบาลอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

กระทรวงสาธารณสุข มีแนวคิดใหม่ว่า สิ่งปฏิกูล คือ ทรัพยากรที่มีคุณค่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้งาน ผลทำให้ก๊าซเรือนกระจกจากของเสียจากภาครัฐลดลง

กรมอนามัยได้เปิดโครงการ “สาธารณสุขรวมใจ รณรงค์ลดโลกร้อน ด้วยการสุขาภิบาลอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม” ขึ้น เพื่อวางแผนการจัดเก็บสิ่งปฏิกูลในโรงพยาบาลอย่างเป็นระบบ และไม่ปลดปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

จากการสำรวจสถานการณ์การจัดการสิ่งปฏิกูล ปี 2551 โดยกรมอนามัย พบว่ามี สิ่งปฏิกูลที่ไม่ได้ดำเนินการบำบัดถึงร้อยละ 79.5 คำนวณเชิงปริมาณจะได้สิ่งปฏิกูลหลายล้านลูกบาศก์เมตร หากปล่อยให้อุจจาระและปัสสาวะย่อยสลายในภาวะไม่มีออกซิเจน ในถังเกรอะ จะเกิดก๊าซมีเทนร้อยละ 50-80 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5 -20 ที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น ซึ่งก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน โครงการนี้ต้องการนำก๊าซมีเทนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อนหรือไฟฟ้าก็จะทำให้ช่วยลดภาวะโลกร้อน และประหยัดการใช้พลังงานประเภทฟอสซิล ลดการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม และหยุดการแพร่กระจายของเชื้อโรค เป็นการควบคุมกำจัดที่ต้นเหตุของโรคง การนำสิ่งปฏิกูลไปผลิตก๊าซชีวภาพ หรือหมักในระบบปิดไม่ใช้ออกซิเจนอย่างน้อย 28 วัน เชื้อโรคและไข่พยาธิจะตายหมด ได้กากตะกอนเป็นปุ๋ยซึ่งมีคุณค่าที่

เหมาะสมกับพืช ทำให้สิ่งแวดล้อมสะอาดขึ้น (ฝ่ายวารสาร สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ, เดลินิวส์, 2553: ออนไลน์)

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งปฏิกูลในโรงพยาบาลทั่วประเทศ เนื่องจากโรงพยาบาลมีของเสียจำนวนมาก โดยเป็นเศษอาหารจากตึกผู้ป่วย โรงอาหาร จากร้านอาหาร สิ่งปฏิกูลจากส้วมและน้ำเสีย มูลฝอยติดเชื้อ หรือการใช้สารเคมี เป็นโครงการต้นแบบที่จะขยายผลสู่ท้องถิ่น

เกณฑ์มาตรฐาน 5 ข้อในการรณรงค์ให้โรงพยาบาลและสถานีอนามัย ในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขทั่วประเทศ เป็นหน่วยงานลดโลกร้อน ได้แก่

1.จัดการขยะและใช้ประโยชน์จากขยะ

2. ลดการใช้พลังงานทั่วไป และหันมาใช้พลังงานชีวมวลกันมากขึ้น

3. จัดการสิ่งแวดล้อมภายในโรงพยาบาลและสถานีอนามัย ที่มีความเหมาะสม

4. มีส้วมที่ถูกสุขลักษณะ ส่งเสริมการใช้น้ำหมักชีวภาพเข้ามาช่วยทำความสะอาด

5. อาหารที่บริโภคในโรงพยาบาลจะต้องเป็นอาหารที่ปลอดสารพิษ ส่งเสริมให้บริโภคผักบ้าน และอาหารพื้นเมือง

กระทรวงสาธารณสุขแจ้งว่าเป้าหมายภายในปี 2553 จะพัฒนาโรงพยาบาลและสถานีอนามัยอย่างน้อย 84 แห่งทั่วประเทศ เป็น กรีน แอนด์คลีน ในปี 2554 อย่างน้อยทุกอำเภอจะต้อง มีโรงพยาบาลอย่างน้อย 1 แห่ง และสถานีอนามัยอย่างน้อย 1 แห่ง ที่เข้าเกณฑ์ และในปี 2555 ทุกโรงพยาบาลและสถานีอนามัยในสังกัดจะต้องเข้าโครงการนี้

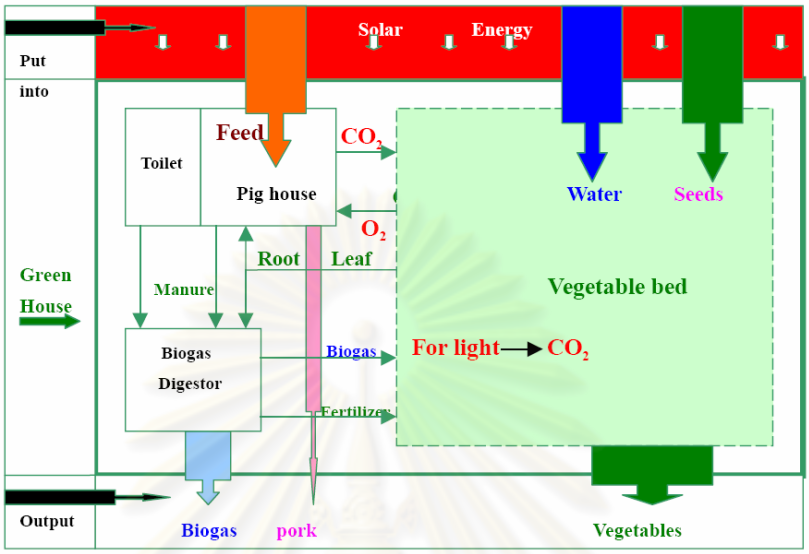
(ฝ่ายวารสาร สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ, เดลินิวส์, 2553: ออนไลน์)

2.5.12 ศึกษา ระบบการบำบัดของเสียแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพในต่างประเทศ

1) การจัดการเศรษฐกิจพอเพียง ของเกษตรกรในประเทศจีน

ประเทศจีนมีการใช้ก๊าซชีวภาพมานานแล้ว และพัฒนาเป็นสเกลใหญ่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 จากเดิมที่มีการใช้พื้นที่บริเวณรอบบ้าน มาเป็นการใช้พื้นที่ที่ใหญ่ขึ้น เป็นนโยบายพัฒนาด้าน เศรษฐกิจพอเพียง โดยส่งเสริมการใช้ของเสียอินทรีย์ให้เป็นประโยชน์ และผสมผสาม

กับการเกษตรและปศุสัตว์ โดยมีรูปแบบ เล้าหมู + เรือนเพาะชำ + ห้องน้ำ + ถังหมักก๊าซชีวภาพ และอาจมีใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วย ทั้งหมดทำในบริเวณบ้านของเกษตรกร



ภาพที่ 2-19 แผนผังการจัดการเกษตรแบบพอเพียงของเกษตรกรในประเทศจีน (Ecological Sanitation Research, 2010 : online)

โดยทั่วไปจะมีพื้นที่เรือนเพาะชำ 0.5-1.0 mu (1 mu = 667 ตร.ม.) ขนาดของถังหมักก๊าซชีวภาพประมาณ 8 -12 ลบ.ม. และเล้าหมูที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีพื้นที่ประมาณ 20 ตร.ม. สิ่งปฏิกูลจากคนและสัตว์ จะต่อตรงไปยังถังหมักก๊าซชีวภาพใต้ดิน ถังหมักก๊าซชีวภาพจะให้แสงสว่าง ให้เชื้อเพลิง และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปุ๋ยให้กับผักและผลไม้ในเรือนเพาะชำ สุกรและเรือนเพาะชำถูกสร้างไว้ด้วยกัน สามารถอยู่ได้กันอย่างพึ่งพาโดยออกซิเจนจากพืช สุกรจะนำไปใช้ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากสุกร พืชจะดูดไปใช้ประโยชน์ สุกรและพืชผัก จะสามารถอยู่ในสภาวะอากาศที่อบอุ่นในฤดูหนาวและให้ผลิตผลดี พืชผัก ผลไม้ต่าง ๆ สามารถปลูกได้ไม่ต้องซื้อปุ๋ย

เรือนเพาะชำจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ แสงสว่างและปุ๋ยจากถังหมักก๊าซชีวภาพ เกษตรกรสามารถใช้พลังงานสะอาด และผลิตผลทางการเกษตร ทำให้เพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร และมีชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีมลพิษ (Ecological Sanitation Research, 2010: online)

2) การแปรรูปฟางข้าวที่เหลือทิ้งเป็นก๊าซชีวภาพ ประเทศจีน

ประเทศจีนผลิตข้าวได้เป็นอันดับหนึ่งของโลก มีผลพลอยได้เป็นฟางข้าว ประมาณ 230 ล้านตัน จึงมีแนวคิดที่จะนำฟางข้าวเป็นวัตถุดิบในการทำก๊าซชีวภาพ เนื่องจากฟางข้าวเป็น ชีวมวลที่มีโครงสร้างทางเคมีซับซ้อน จุลินทรีย์ย่อยสลายฟางข้าวได้ยาก นักวิจัยชาว

จีน จึงทดลองเตรียมวัตถุดิบโดยการนำฟางข้าวมาย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อทำให้โครงสร้างสั้นลง หลังจากนั้นจึงส่งเข้ากระบวนการ ปัจจุบันมีโรงงานทั้งหมด 3 แห่ง ที่ใช้กระบวนการนี้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ภาพที่ 2-20 ฟางข้าวแห้งที่ใช้ในการทำก๊าซชีวภาพ

(Classified Thai, 2010: online)

การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้พันธะทางเคมีระหว่างลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นโคสารประกอบเคมีเชิงซ้อนของผนังเซลพืช แยกจากกัน ลิกนิกเดิมมีน้ำหนักโมเลกุลใหญ่ และมีโครงสร้างสามมิติ เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ โมเลกุลจะมีขนาดเล็กลง ขณะที่โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น

ผลการตรวจสอบพบว่า ฟางข้าวที่เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6% ช่วยให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่ม 27.3 - 64.5% ก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะกระบวนการเติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยย่อยสลายทางชีวภาพ โดยเซลลูโลสเสื่อมสภาพลง 16.4% เซลลูโลส 36.8% และลิกนิน 28.4% ขณะที่ได้สารละลายในน้ำเพิ่มขึ้น 122.5% (Classified Thai, 2010: online)

3) ก๊าซชีวภาพของ BSP-Nepal (Biogas Partnership Nepal)

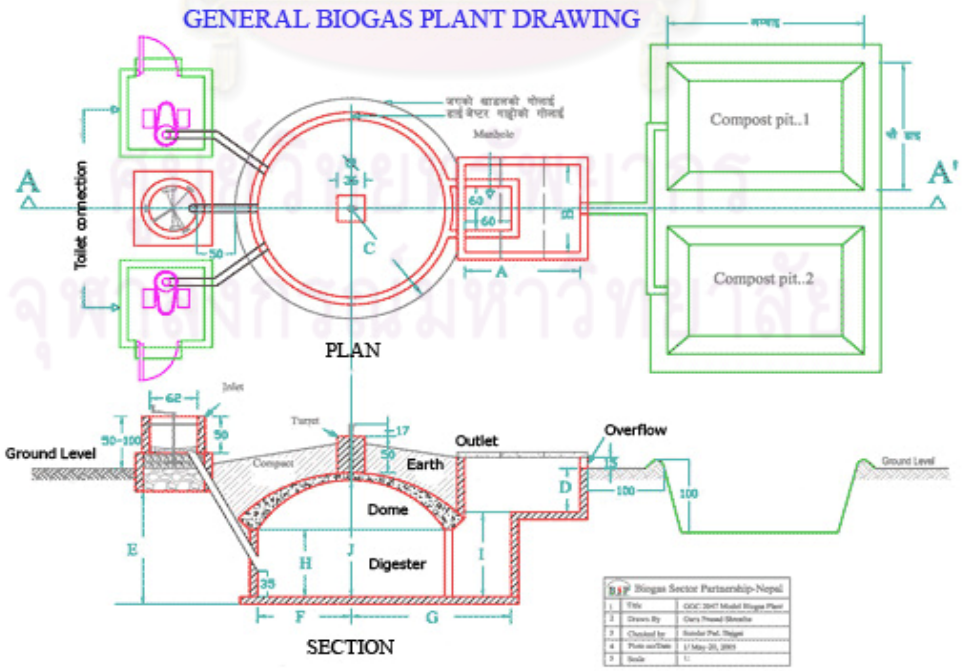
ใช้แบบ Fixed Dome ขนาด 2, 4, 6, 8 ลบ.ม. วัตถุดิบ : มูลโค-กระบือ และสิ่งขับถ่ายจากมนุษย์ ออกแบบสำหรับครัวเรือน สามารถประหยัด ฟืน ได้ 335,344 ตัน/ปี ประหยัดน้ำมันก๊าดได้ 5,365,258 ลิตร/ปี ผลิตปุ๋ยได้ 285,041 ตัน/ปี

ตารางที่ 2-8 แสดงปริมาณของเสียที่ใส่ได้ต่อวัน ปริมาณก๊าซที่ได้ และระยะเวลาการใช้เป็นแก๊สหุงต้ม (BSP Nepal, 2011)

ขนาด (ลบ.ม.)	การใส่มูลสัตว์เริ่มแรก (กก.)	ปริมาณมูลสัตว์ (6-7.5 กก.มูลสัตว์/ลบ.ม.)	จำนวนวัว (12 กก. มูลสัตว์/ตัว)	น้ำที่เติมต่อวัน (ลิตร)	ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ต่อวัน (ลิตร) (40 ลิตร/กก.มูลสัตว์	ระยะเวลาที่หุงต้มได้ (400 ลิตร/ชั่วโมง)
4	2,025	24-30	2-3	24-30	960	2:24
6	2,900	36-45	3-4	36-45	1,440	3:36
8	3,930	48-60	4-5	48-60	1,920	4:48
10	4,490	60-75	5-6	60-75	2,400	6:00

ตารางที่ 2-9 จำนวนของโรงผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้สร้างตามระยะเวลาต่าง ๆ (BSP Nepal, 2011)

	ระยะที่ 1 (พ.ศ. 2535-2536)	ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2536-2540)	ระยะที่ 3 (พ.ศ. 2540-2546)	ระยะที่ 4 (พ.ศ. 2546-2552)	รวมทั้งสิ้น
จำนวนโรงผลิตก๊าซชีวภาพ	6,824	13,375	91,196	94,425	205,820



ภาพที่ 2-21 แสดงบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของ BSP Nepal (BSP Nepal, 2011)

4) **ห้องน้ำสาธารณะผลิตก๊าซชีวภาพ ของ** Sulabh Public Toilet Complexes **ประเทศอินเดีย**

ภาพที่ 2-22 ภาพด้านหน้าของ Sulabh Public Toilet Complexes

(Sulabh International Social Service Organsation, 2010 : online)

ภาพที่ 2-23 แทงค์ผลิตก๊าซชีวภาพและที่เก็บก๊าซ

(Sulabh International Social Service Organsation, 2010 : online)

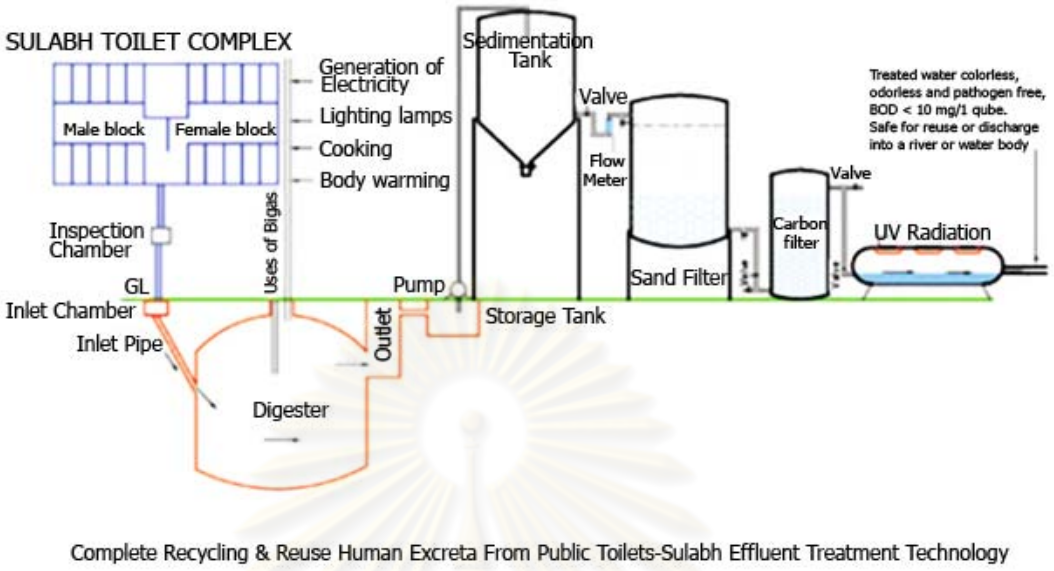
ระบบของ Sulabh Effluent Treatment (SET)

ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลจากส้วมสาธารณะโดยวิธีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจาก องค์การ Sulabh ต้องดูแลรักษาห้องน้ำสาธารณะมากกว่า 6,000 แห่ง ทั่วทั้งประเทศอินเดีย จึงคิดค้นห้องน้ำที่ผลิตก๊าซชีวภาพ ความต้องการเบื้องต้นคือ ต้องการให้น้ำล้นจากการบำบัดสิ่งปฏิกูลจากส้วมไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ปราศจากเชื้อโรค เทคโนโลยีนี้มีการกรองผ่าน activated charcoal ตามด้วยรังสียูวี สามารถลดค่า BOD จาก ประมาณ 200 mg/l เป็นน้อยกว่า 10 mg/l ซึ่งปลอดภัยสำหรับการเกษตรกรรม การทำสวน หรือปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำต่าง ๆ หรือแม้แต่ใช้เป็นน้ำสำหรับทำความสะอาดพื้นห้องน้ำสาธารณะได้ด้วย

Sulabh International Social Service Organization เป็นผู้จัดหาส้วมให้กับชาวอินเดียที่ขาดแคลนเกือบ 730 ล้านคน โดยเป้าหมายการพัฒนาปี 2000 กำหนดไว้ว่าภายในปี พ.ศ. 2558 จะต้องลดภาวะขาดแคลนส้วมลงเหลือครึ่งหนึ่ง และจัดหาส้วมให้เพียงพอสำหรับทุกคนภายในปี พ.ศ. 2568 (ผู้จัดการออนไลน์, 2550: ออนไลน์) บินดิชวาร ปาธัค ผู้ก่อตั้งองค์การ กล่าวว่า อินเดียร่วมผลักดันให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวด้วยระบบส้วม ที่จะแยกอุจจาระลงในบ่อก๊าซชีวภาพ แล้วนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารหรือผลิตไฟฟ้า และเปลี่ยนปัสสาวะให้เป็นปุ๋ย (Sulabh International Social Service Organsation, 2010: online)

ภาพที่ 2-24 ภาพระบบของ Sulabh Effluent Treatment (SET)

(Sulabh International Social Service Organsation, 2010 : online)



ภาพที่ 2-25 แสดงระบบการบำบัดสิ่งปฏิกูลของ Sulabh

(Sulabh International Social Service Organsation, 2010 : online)

ประเทศอินเดีย มีการส่งเสริม และให้เงินช่วยเหลือ การสร้างห้องส้วมต่อกับถังหมักก๊าซชีวภาพ ให้เงินช่วยเหลือ 500 Rs./ แห่ง ในปี พ.ศ. 2547-2548 (Rural Development and Panchayati Raj Department, 2010: online)

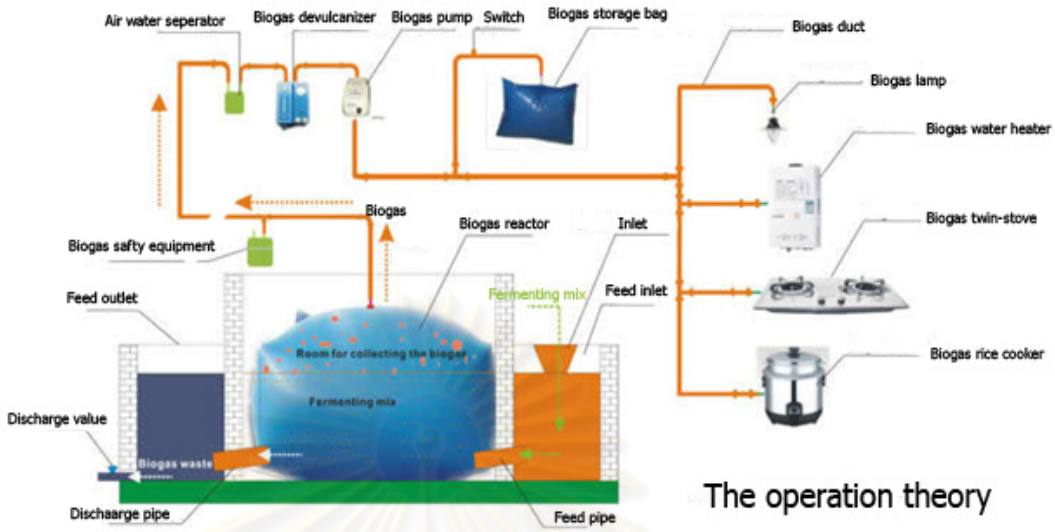
5) ก๊าซชีวภาพในประเทศออสเตรเลีย

Biogas Australia Pty Ltd (2011) ก่อตั้งเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน ได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปี พ.ศ.2522 โดยเป็นผู้ริเริ่มโรงงานพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย เวียดนาม กัมพูชา สาว และอินเดีย Biogas Australia Pty Ltd เชื่อว่าการทำพลังงานหมุนเวียนให้ประสบความสำเร็จในรูปธุรกิจ โรงงานจะต้องดูแลรักษาง่าย ใช้ทุนหมุนเวียนต่ำ และต้องมีรายได้เสริมจากการผลิตหรือลดค่าใช้จ่ายโดยรวม เหมาะสำหรับการหมักสารอินทรีย์ที่ผสมกับมูลสัตว์และฟางข้าว โดยมีของแข็งที่ละลายน้ำได้รวม 8-12 % ปลอดภัยเนื่องจาก เก็บก๊าซชีวภาพแรงดันต่ำ ต้นทุนต่ำ การก่อสร้างแบบถังเดียวลดค่าใช้จ่ายได้ 15 % ใช้พื้นที่น้อย ประหยัดพื้นที่ 30 %

ภาพที่ 2-26 โรงผลิตก๊าซชีวภาพสามารถสร้างรายได้จากการผลิตไฟฟ้าและจำหน่ายปุ๋ย (Biogas Australia Pty Ltd, 2011)

ส่วนมากเกษตรกรจะมีสระน้ำหรือบ่อน้ำอยู่ที่ฟาร์ม ซึ่งเป็นที่ที่ใช้เป็นบ่อหมักได้ จึงเป็นการลดต้นทุน ใช้รูปแบบ Plug flow didester โดยเทพื้นคอนกรีต ใช้พลาสติก HDPE คลุมราง

ภาพที่ 2-27 แสดงรูปแบบ Plug flow digester (Biogas Australia Pty Ltd, 2011)



ภาพที่ 2-28 แสดงชุดผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูป ราคา 500 $US รวมขนส่งและภาษี (Biogas Australia Pty Ltd, 2011)

หากของเสียอินทรีย์เป็นมูลสุกร จะมีค่า C/N ต่ำกว่า มูลโค-กระบือ แก้ปัญหาโดยการใส่กากเศษที่เหลือทางการเกษตร เช่น ข้าวสาลี ฟางข้าวบาร์เล่ย์ เป็นต้น การผสมระหว่างฟางและมูลสัตว์จึงเป็นสารตั้งต้นที่ดีในกระบวนการหมัก การจัดการฟางโดยการหมักให้เปื่อยยุ่ยก่อนเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยปกติมูลสัตว์มี ค่าของแข็ง 4-22 % จึงต้องผสมน้ำให้เหลือ 4-8 % จะทำให้ปั๊มทำงานได้

6) รถไฟใช้แก๊สชีวภาพ ผลิตจากของเสียในครัวเรือน อุตสาหกรรมผลิตอาหารและจากฟาร์มสัตว์เลี้ยง ในประเทศสวีเดน

รถไฟใช้ก๊าซชีวภาพวิ่งเชื่อมระหว่างเมือง Linkoping และเมือง Vastervik เสร็จสิ้นในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2539 ระยะทางประมาณ 80 กม.วิ่งด้วยความเร็ว 130 กม./ชม.ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซชีวภาพ ผลิตจากของเสียอินทรีย์ในครัวเรือน จากอุตสาหกรรมผลิตอาหารและจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีทั้งฟาร์มสุกร ฟาร์มโค ในปี พ.ศ. 2545 รถบรรทุกของเมือง Linkoping เลิกใช้น้ำมันดีเซลโดยสิ้นเชิง

ประเทศสวีเดนกำหนดเป้าหมายว่า ปี พ.ศ. 2558 จะใช้พลังงานทดแทนน้ำมันให้ได้ทั้งหมดมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง การสร้างแรงจูงใจให้ชาวสวีเดนหันมาสนใจพลังงานทางเลือกส่วนหนึ่งคือ การไม่ต้องจ่ายค่าทางด่วนในเมือง Stockholm จอดรถฟรี และภาษีเก็บรถยนต์ถูก (Biopact team, 2007: online)

7) บริษัท Salzburg AG ประเทศออสเตรีย ผลิตแก๊สชีวภาพจากหญ้า Kentucky bluegrass

ภาพที่ 2-29 หญ้า Kentucky bluegrass (Metaefficient, 2007: online)

บริษัท Salzburg AG. ประเทศออสเตรีย ผลิต “biomethane” เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ และเปิดปั๊มแก๊สที่เมือง Eugendorf ประเทศออสเตรีย เป็นส่วนผสมของ CO2-neutral biogas 20 % และ ก๊าซธรรมชาติ 80 % โดยผลิตจากการหมักหญ้า *Poa pratensis* ที่ปลูกเป็นทุ่งหญ้า เป็นหญ้าที่รู้จักกันในชื่อ Kentucky bluegrass นับเป็นเชื้อเพลิงเซลลูโลส (Cellulosic biofuel) อย่างแท้จริง ในราคาที่แข่งขันกับน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะได้ ในปี พ.ศ. 2551 ได้ผลิตแก๊สสำหรับปั๊มแก๊สอีก 14 แห่ง จะเห็นได้ว่า Cellulose biofuel ไม่ได้ผลิตมาจากน้ำตาลหรือแป้งซึ่งสามารถเกิดก๊าซมีเทนได้โดยง่าย แต่ผลิตจากหญ้าซึ่งมีเซลลูโลสสูง ผลผลิตที่ได้

หญ้า 1 เฮกเตอร์ ได้ก๊าซมีเทนบริสุทธ์ 2,900 – 5,400 ลูกบาศก์เมตร ต่อปี เพียงพอต่อ การใช้รถ 40,000 – 60,000 กิโลเมตร โดยหญ้า 1 เอเคอร์ ใช้ขับรถได้ 10,000 -15,000 ไมล์ (Metaefficient, 2007: online)

8) ค่ายผู้อพยพจากแผ่นดินไหวในประเทศเฮติ ผลิตก๊าซชีวภาพจากอุจจาระปัสสาวะ

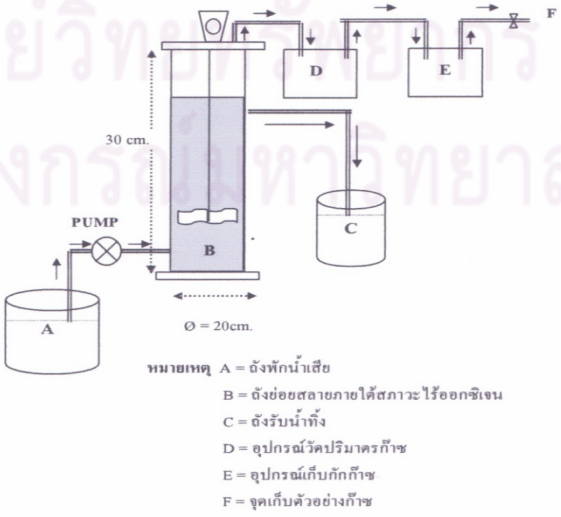
หลังจากเกิดแผ่นดินไหวครั้งรุนแรงในประเทศเฮติเดือนมกราคม 2553 ประชาชนหลายล้านคนไร้ที่อยู่อาศัย เกิดปัญหาขาดแคลนระบบสุขาภิบาลซึ่งเป็นปัญหาหลักด้านสุขภาพของประชาชน จึงมีการเสนอให้ใช้ก๊าซชีวภาพจากของเสียมนุษย์เป็นทางเลือกใหม่ของผู้พักอาศัยในแคมป์เคนูย์แคมป์ กรุงปอร์โตแปรงซ์ ประเทศเฮติ ทำให้ห้องส้วมที่นี่ต่างจากที่อื่นคือมีก๊าซชีวภาพและปุ๋ยใช้ ก๊าซชีวภาพที่นี่สามารถนำมาใช้ทำอาหารและปุ๋ยช่วยในการเพาะปลูกพืชสวน

ครัว ปัญหาหลักที่พบคือ ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานที่ได้มาจากอุจจาระ ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากในการยอมรับการนำมาใช้ (VoiceTV, 2553: ออนไลน์)

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า การหมักสารอินทรีย์ที่มีไฟเบอร์สูง ได้แก่ หญ้า ฟาง เป็นต้น สามารถทำได้และเกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณที่ใช้งานได้ การหมักอุจจาระปัสสาวะของคนเป็นสิ่งที่หลายประเทศมีแนวคิดตรงกัน ในการนำของเสียที่ทิ้งไป กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

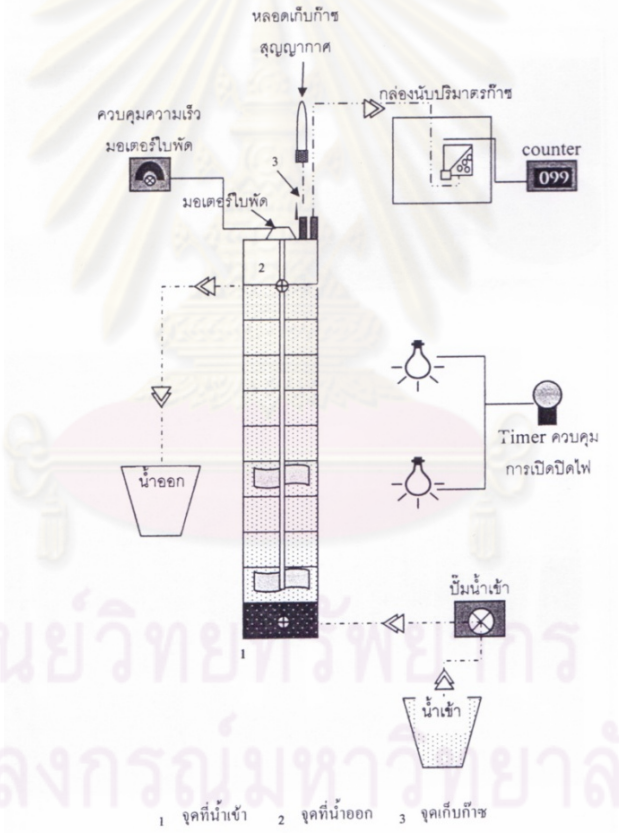
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุดารัตน์ ภักดี (2551) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วและน้ำเสียจากโรงงานวุ้นเส้นโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เป็นการศึกษาการปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายกากถั่วและน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ในระดับห้องปฏิบัติการ ใช้ถังปฏิกิริยาแบบขั้นตอนเดียวอัตราสูง ปริมาตร 6.5 ลิตร มีการกวนอย่างสมบูรณ์ เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 kg-COD/m^3-d มีประสิทธิผลในการบำบัดค่า ซีโอดี และของแข็งที่แขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 88.82 - 95.12 และ 74.07- 96.04 ตามลำดับ โดยเมื่ออัตราบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ประสิทธภาพในการบำบัดมีแนวโน้มลดลงทั้ง 4 ระบบ ในขณ้ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเฉลี่ยนอยู่ในช่วง 0.0043-0.0909 l/g COD ที่ถูกกำจัด ที่สภาวะอุณภูมิและความดันมาตรฐาน ในแต่ละวันอัตราการเกิดก๊าซมีความสม่ำเสมอ ที่อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 8.0 มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพทั้งหมดและก๊าซมีเทนสูงสุด ซึ่งมีก๊าซมีเทนสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 50.64



ภาพที่ 2-30 อุปกรณ์การทดลองของระบบย่อยสลายภายใต้ภาวะแบบไร้ออกซิเจน

เกื้อกูล บุญยี่ (2552) ศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้น้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูป น้ำเสียมีค่า COD ประมาณ 4,400 mg/l และปริมาณคลอไรด์ 7,250 mg/l โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ ขนาด 10 ลิตร โดยกำหนดอัตราภาระบรรทุกของระบบให้มีค่า 0.40, 0.59, 0.80 และ 1.0 kg COD/m^3.day ซึ่งอัตราภาระบรรทุกขอบงระบบจะถูกควบคุมด้วยอัตราการไหลที่ 0.82, 1.22, 1.64 และ 2.05 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 4.4, 5.5, 7.4 และ 11 วัน ผลการวิจัยพบว่าที่อัตราบรรทุก 0.4, 0.59, 0.80 และ 1.0 kg COD/m^3.day สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.54, .55, 0.47 และ 0.52 m^3/kg COD ที่ถูกกำจัดตามลำดับ(ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง) โดยมีก๊าซมีเทนร้อยละ 70, 62, 41 และ 34 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในระบบร้อยละ 89, 73, 66 และ 62



ภาพที่ 2-31 แสดงระบบถังปฏิกิริยาที่ใช้งานวิจัยกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้น้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูป

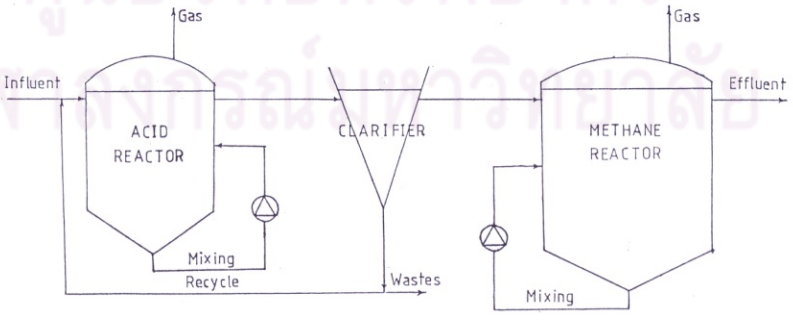
เป็นถังหมักแบบไร้อากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว สูง 0.75 เมตร ภายในประกอบไปด้วย ใบพัดกวนผสมแบบทั่วถึง ด้วยใบพัด 2 ใบ ต่อ 1 ถัง ควบคุมการกวนผสมด้วยมอเตอร์ใบพัดที่สามารถปรับระดับได้ ในช่วงความเร็ว 0-125 รอบ ต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วนิดา สืบสายพรหม (2553) ศึกษาการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเลี้ยงสุกร เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบเก็บก๊าซชีวภาพ (gas collection system) ทีใช้ ใช้วิธีการแทนที่น้ำ ใช้ถังบรรจุน้ำดื่มขนาดความจุ 20 ลิตร วางแนวนอน ด้านปากขวดปิดด้วยจุกยาง เจาะรูยางเพื่อใส่แท่งแก้ว 3 ท่าง ขนาดเส้นผ่านศูนยกลาง 0.4 เซ็นติเมตรแท่งหนึ่ง ต่อกับสายยางที่นำก๊าซออกมาจากถังหมักโดยงอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วให้ปลายของแท่งแก้วด้านบนแตะกับถังน้ำ อีกแท่งหนึ่งต่อเขากับสายยาง งอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วให้ปลายของแท่งแก้วแตะส่วนล่างของถังน้ำ เพื่อนำน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซชีวภาพออกจากระบบเก็บก๊าซชีวภาพ ใช้ถังรองรับน้ำส่วนนี้ไว้แล้วใช้กระบอกตวง (cylinder) ตวงปริมาตรน้ำที่รองรับได้ ปริมาตรน้ำส่วนนี้คือ ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น จะทำการวัดปริมาตรก๊าซชีวาภพที่เกิดขึ้นต่อวันและแก้วแท่งสุดท้ายสำหรับปลดปล่อยก๊าซชีวภาพออกจากถังน้ำ เมื่อเติมน้ำกลับเข้าสู่ระบบ

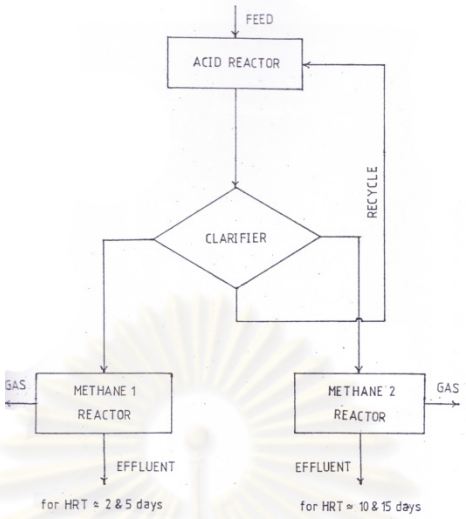
ผลการศึกษาการจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรแบบระเหยไอเย็นจากน้ำ (evaporative cooling system) ร่วมกับการใช้ส้วมน้ำเพื่ผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า การเสริมจุลินทรีย์ EM มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณของก๊าซชีวภาพ โดยมีผลให้ค่าเฉลี่ยจำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านานกว่ากลุ่มท่ำม่มีการเสริมจุลินทรีย์ EM ลงในส้วมน้ำ เท่ากับ 214.5 ชั่วโมง และ 136 ชั่วโมง ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน 50.90 และ 59.10 ตามลำดับ

สมชาย เจียมธีรสกุล (2530) ศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการไร้อากาศสองขั้นตอน พบว่าประสิทธิภาพส่วนรวมของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนสูงกว่าการหมักแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียว ได้ปริมาณก๊าซต่อน้ำหนักของของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไปอยู่ระหว่าง 0.052-0.228 ลิตร/กรัม และมีองค์ประกอบก๊าซชีวภาพอยู่ประมาณ 58.98-66.91 %



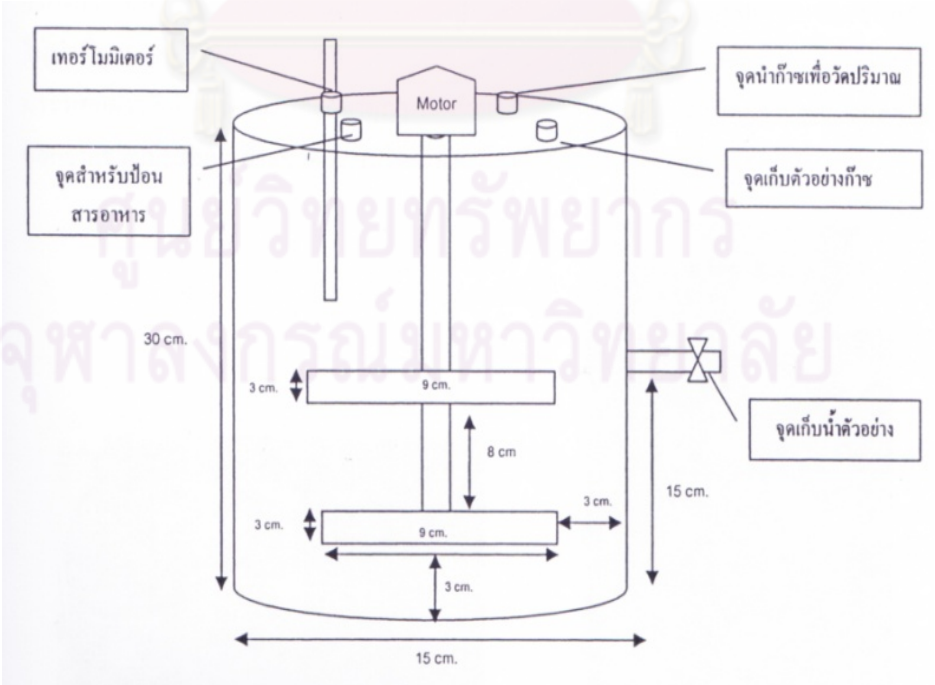
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอน

ภาพที่ 2-32 ขั้นตอนการทำงานของระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอน



ภาพที่ 2-33 แผนผังการจัดการระบบหมักในห้องปฏิบัติการ

อมรพรรณ แถมเงิน (2551) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมเก่าด้วยระบบหมักในห้องปฏิบัติการ พบว่า ขยะอินทรีย์ชุมชนสดและขยะอินทรีย์ชุมชนเก่า มีการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 0.18 และ 0.06 ลิตรต่อกรัมของของแข็งระเหยทั้งหมด พบว่าการให้ความร้อนกับขยะที่อุณหภูมิ 70 °C ที่อัตราส่วนผสมขยะชุมชนเก่าต่อขยะชุมชนสด เท่ากับ 1:3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 ทำให้มีเทนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพสูงขึ้นถึงร้อยละ 73.33



ภาพที่ 2-34 รูปแบบของถังหมักที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

สถาบันวิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2550) ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง-ใหญ่ และขนาดเล็กที่มีสัตว์เลี้ยงไม่เกิน 500 ตัว โดยการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อนส่งเสริมการนุรักษ์พลังงานสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ซึ่งเริ่มโครงการตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2538 เป้าหมายเพื่อรองรับสุกรประมาณ 4 ล้านตัว โดยใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้อากาศในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ ใช้พลังงานก๊าซชีวภาพทดแทนพลังงานจากก๊าซเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้า

รูปแบบบ่อหมัก สำหรับฟาร์มขนาดเล็กที่มีสัตว์เลี้ยงไม่เกิน 500 ตัว

1.แบบโดมคงที่ (fixed dome) เป็นระบบไดนามิก คือเมื่อเกิดก๊าซ จะมีแรงดันผลักมูลสัตว์และน้ำด้านล่างให้ทะลักไปเก็บไว้ที่บ่อล้น น้ำในบ่อจะไหลย้อนกลับเข้าบ่อและผลักก๊าซให้สามารถนำไปใช้ได้อีกตลอดเวลา

ภาพที่ 2-35 บ่อหมักแบบโดมคงที่ (สถาบันวิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2550)

2. Channel Digester-Junior เป็นระบบบ่อหมักช้าแบบรางรุ่นเล็กแบบไดนามิก เหมือนบ่อโดมคงที่ แต่ออกแบบให้ก่อสร้างง่าย ซ่อมแซมง่าย ใช้หลักการไหลแบบทางเดียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมัก

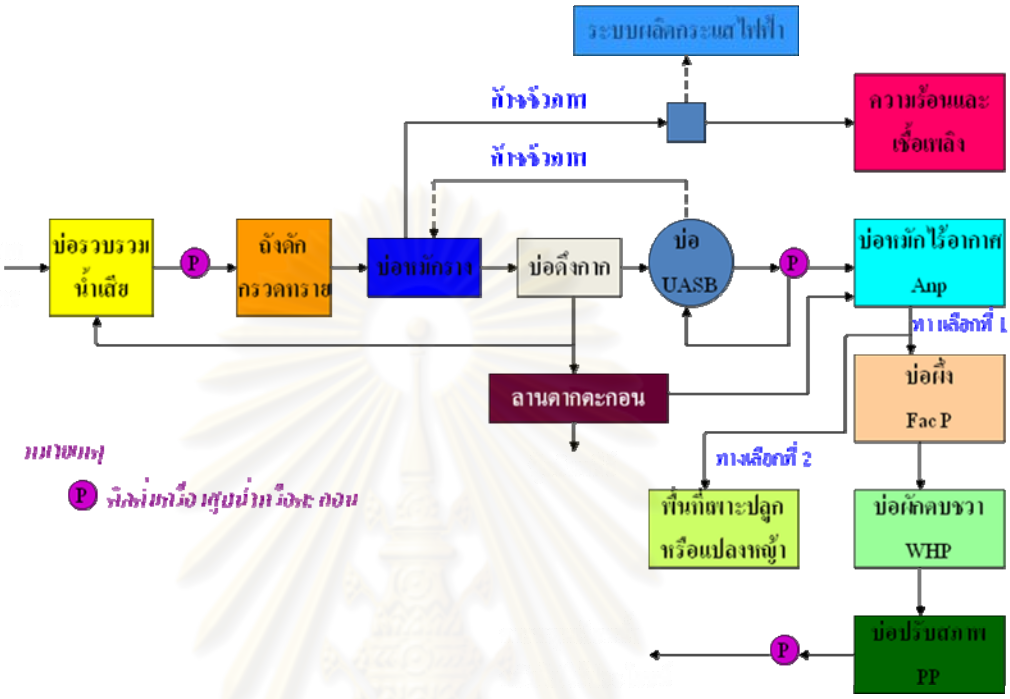
ภาพที่ 2-36 บ่อหมักแบบ Channel Digester-Junior

(สถาบันวิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2550)

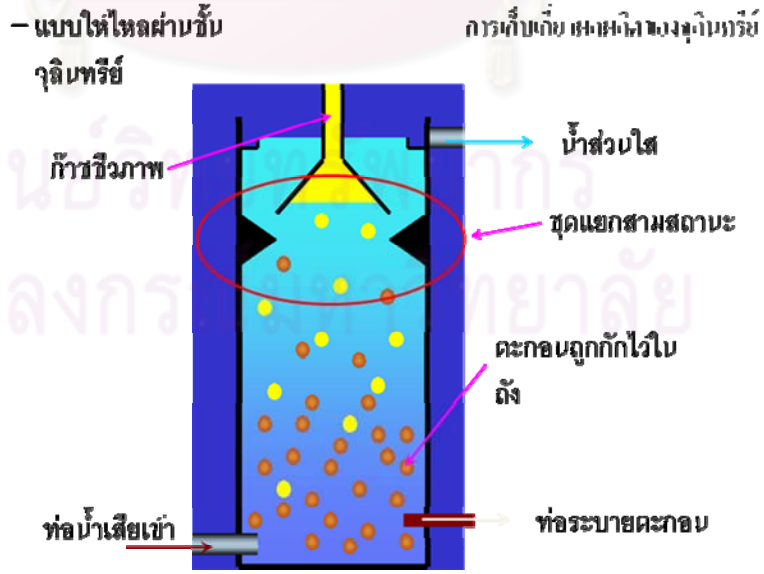
โดยเฉลี่ยระบบนี้จะให้ก๊าซชีวภาพ 0.1 ลบ.ม. ต่อของเสียจากสุกร 1 ตัว ต่อวัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบของระบบบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับฟาร์มขนาดกลาง-ใหญ่



ภาพที่ 2-37 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร
(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549)



ภาพที่ 2-38 แสดงระบบก๊าซชีวภาพแบบ ยูเอส เอ บี
(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549)

ภาพที่ 2-39 แสดงบ่อหมักราง (Channel Digester Tank, CD)

(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549 : ออนไลน์)

ภาพที่ 2-40 ถังหมักแบบ UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket)

(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549 : ออนไลน์)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการกำจัดของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย โดยจะนำของเสียอินทรีย์ทุกชนิดที่พบในบ้านพักอาศัยมาบำบัดรวมกัน และใช้ประโยชน์จากผลที่ได้จากการบำบัด วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มจากการเก็บข้อมูลประเภทและปริมาณของของเสียอินทรีย์ ในบ้านพักอาศัย เพื่อหาปริมาณของเสียทั้งหมดที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เก็บข้อมูลปัจจัยและวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการบำบัด โดยใช้การศึกษา ทฤษฎี กรณีศึกษาตัวอย่าง งานวิจัย รวมทั้งการสัมภาษณ์ การดูงาน จากนั้นจึง ออกแบบและก่อสร้างระบบบำบัดของเสียอินทรีย์ นำของเสียเติมในระบบเพื่อทดสอบระบบบำบัด ทดสอบก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการจุดไฟ ต่อจากนั้นนำน้ำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการหมักย่อยสลาย แบ่งออกมาเติมในถังทดลองขนาด 200 ลิตร เพื่อทดลองหมักและเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยละเอียด เมื่อได้ปริมาณก๊าซชีวภาพแล้วนำมาคิดมูลค่า เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนมูลค่าก่อสร้างบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเทียบกับราคาแก๊สหุงต้มกิโลกรัมละ 20 บาท โดยสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 เก็บข้อมูลประเภทและปริมาณของของเสียอินทรีย์ ในบ้านพักอาศัย

และปริมาณน้ำล้างชำระต่าง ๆ ที่ต้องการใส่ในระบบบำบัดของเสีย ได้แก่

- เศษอาหาร
- เศษใบไม้ใบหญ้าจากสวน
- สิ่งปฏิกูลจากส้วม

รวมทั้งปริมาณน้ำชำระที่จะเข้าสู่ระบบบำบัด

- ปริมาณน้ำจากโถชำระ
- ปริมาณน้ำล้างจาน

3.1.2 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแบบไร้อากาศ เพื่อการออกแบบระบบบำบัด

โดยศึกษา ทฤษฎี กรณีศึกษาตัวอย่าง งานวิจัย รวมทั้งการสัมภาษณ์ การดูงาน เพื่อการออกแบบ

- ขนาดปริมาตรถังบำบัดที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย
- รูปแบบการบำบัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- รูปแบบท่อเติมของเสีย ท่อดูดกากตะกอน ท่อดูดหมุนเวียนของเหลวภายในระบบ ท่อนำก๊าซชีวภาพออก

- วิธีการเติมของเสีย และวิธีการคลุกเคล้าของเหลวภายในถังหมักย่อยสลาย

- วิธีการควบคุมอุณหภูมิ

- วิธีการปรับ pH

3.1.3 **ออกแบบและก่อสร้างระบบบำบัดของเสียอินทรีย์**

1. ขั้นตอนการออกแบบ
2. ขั้นตอนการก่อสร้างบ่อบำบัดของเสียอินทรีย์ และการเดินระบบ

1) ปรับพื้น ขุดดิน

2) เทพื้นคอนกรีตผสมน้ำยากันซึม ผูกเหล็ก RB 6 มม. # 0.20 เมตร

3) ใช้ วอเตอร์สต็อป กันน้ำซึมที่ขอบด้านล่าง เทคอนกรีตแนวตั้งให้ต่อเนื่องจนเสร็จ เพื่อให้ปูนเป็นเนื้อเดียวกัน ฉาบผิวภายในเรียบและขัดมัน

4) เทรางน้ำคอนกรีตขอบสูงกว่าระดับผิวดิน 0.5 เมตร รางน้ำสูง 0.6 เมตร สำหรับติดตั้งตะขอสำหรับยึดผ้า HDPE

5) เติมน้ำให้เต็มบ่อ และรางน้ำ ทิ้งไว้ 7 วัน เพื่อทดสอบการรั่ว และเพื่อละลายความเป็นด่างออกจากพื้นผิวรอบบ่อ หลังจากนั้นสูบน้ำออก

6) ติดตั้งท่อเติมของเสีย ท่อน้ำล้น ท่อระบายอากาศ ท่อดูดกากตะกอนหมุนเวียน ติดตั้งปั๊มหอยโข่ง 2 นิ้ว 2 แรงม้า ดูดกากตะกอนหมุนเวียน และปั๊มไดโว่ 2 นิ้ว 1.5 แรงม้า เพื่อกวนน้ำภายในบ่อ

7) คลุมผ้า HDPE โดยยึดร้อยเชือกผ่านรูและยึดกับตะขอรางน้ำ

8) เติมน้ำใส่รางน้ำ เพื่อให้ถังบำบัดจะเป็นระบบปิด อากาศภายนอกไม่สามารถถ่ายเทเข้าออกได้

9) ใส่จุลินทรีย์ ในเวลากลางคืน ปรับ pH ของของเหลวในบ่อ ให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2

10) วัด COD และ pH เริ่มต้น

3.1.4 **ทดสอบระบบบำบัด**

1) ทดสอบระบบบำบัด และการติดไฟ โดยการเติม กากมันสำปะหลัง 30 กิโลกรัม คลุกเคล้าของเสียให้เข้ากับน้ำจุลินทรีย์ภายในบ่อ กวนให้เข้ากันด้วย ปั้มดูดกากตะกอนหมุนเวียน และไดโว่ที่กวนของเสียให้หมุนเวียนที่ก้นบ่อ สังเกตการเกิดก๊าซภายในบ่อ โดยดูจากพลาสติก

HDPE หากจุลินทรีย์อยู่ในสภาวะปกติ จะสามารถสร้างก๊าซให้เห็นอย่างชัดเจน ภายในระยะเวลา 30-60 นาที

2) ทดลองระบบเล็ก ขนาด 200 ลิตร เพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้

โดยทดลองหมัก เศษอาหาร 0.9 กก. และอุจจาระ 0.3 กก. รวมกับปัสสาวะ 0.6 กก. มีขั้นตอนดังนี้

ก) ถ่ายน้ำจุลินทรีย์ จากบ่อบำบัด ใส่ในถังหมัก ขนาด 200 ลิตร 2 ถัง

ข) ติดตั้งระบบตรวจวัดก๊าซ ใช้เครื่องนับก๊าซ (gas counter) โดยแต่ละครั้งที่วัด จะได้ปริมาตรก๊าซ 120 มิลลิลิตร โดยเครื่องนับก๊าซจะมีท่อสายยางเล็ก ๆ ต่อจากถังหมักขนาด 200 ลิตร ก๊าซจะไหลมาตามท่อเข้าสู่กล่องพลาสติกสี่เหลี่ยมใต้น้ำ เมื่อก๊าซเต็ม กล่องจะพลิกหงายออกนับเป็น 1 ครั้ง

ค) เติมสารตั้งต้นที่กล่าวมาทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เศษอาหาร และอุจจาระปัสสาวะ โดยเติมน้ำ อัตราส่วน 1 : 1 ปั่นให้ละเอียด หลังจากนั้นใส่ลงในถังทดลอง ปิดป้ายให้ชัดเจน

- เศษอาหารใช้ 0.9 กก. มีข้าวเป็นองค์ประกอบประมาณ 75 % ส่วนที่เหลือประมาณ 25 % เป็นขนม เศษผัก เศษเนื้อหมู และ น้ำแกง

- สิ่งปฏิกูลใช้ 0.9 กก. มีอุจจาระประมาณ 0.3 กก. ปัสสาวะประมาณ 0.6 กก.

ง) เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ทุก 1 วัน เป็นเวลา 30 วัน

3) วิเคราะห์จุดคุ้มทุนมูลค่าก่อสร้างบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจน เทียบกับราคาแก๊สหุงต้มกิโลกรัมละ 20 บาท

โดยคำนวณจากราคาค่าก่อสร้างของบ้านขนาด 1-15 หลัง หลังจากนั้นคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลอง สำหรับบ้านขนาด 1-15 หลัง ในระยะเวลา 1, 3 และ 5 ปี เพื่อหาระยะเวลาคุ้มทุนค่าก่อสร้าง โดยเทียบกับมูลค่าก๊าซชีวภาพที่เทียบเท่าราคาแก๊สหุงต้มกิโลกรัมละ 20 บาท (ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. เทียบเท่า แก๊สหุงต้ม 0.46 กิโลกรัม)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล จะเป็นการแสดงผลการวิจัย เริ่มตั้งแต่การรวบรวมข้อมูลประเภทและปริมาณของของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย เพื่อหาปริมาณของของเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ หลังจากนั้นเป็นผลการรวบรวมข้อมูลการบำบัดแบบไร้อากาศจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพล นำมาออกแบบระบบ สร้างและทดลองเก็บข้อมูลก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองระบบเล็ก หลังจากนั้นเป็นผลการวิเคราะห์ ขนาดของถังบำบัดที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย

4.1 ประเภทและปริมาณของของเสียอินทรีย์ในบ้านพักอาศัย สามารถ จำแนกได้ดังนี้

สถิติปริมาณขยะอินทรีย์ ขยะอินทรีย์มีประมาณ 64 % ของขยะทั้งหมด คน 1 คน ทำให้เกิดขยะวันละ 1 กิโลกรัม ซึ่งจะเป็นขยะอินทรีย์ ประมาณ 0.64 กิโลกรัม

ข้อมูลจากการตัดหญ้า พบว่า พื้นที่สนามหญ้าและต้นไม้ในบ้าน 300 ตารางเมตร ตัดหญ้าและเล็มใบไม้ ได้ประมาณ 30 กก./ 3 สัปดาห์ คำนวณได้ว่า ปริมาณเศษหญ้าและใบไม้ที่ได้ต่อวัน จากพื้นที่หญ้า 1 ตารางเมตร ประมาณ 4.76 กรัม การนำตัวเลขไปใช้ในการคำนวณเลือกใช้บ้านที่มีผู้อยู่อาศัย 5 คน มีพื้นที่สนาม 60 ตารางเมตร จะตัดเศษหญ้าและใบไม้ได้ 285.6 กรัม และคิดเป็น 57 กรัม ต่อคนต่อวัน

ขยะอินทรีย์ ต่อคนต่อวัน ประมาณ 0.640 กก. เป็นเศษใบไม้ใบหญ้าประมาณ 0.057 กรัม เหลือเป็นปริมาณขยะเศษอาหารประมาณ 0.583 กก.

สิ่งปฏิกูลจากส้วม

ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก จึงมีสิ่งปฏิกูลต่อคนวัน การถ่ายอุจจาระของมนุษย์วันละ 200 - 600 กรัม (น้ำหนักเปียก) และปัสสาวะประมาณวันละ 0.6 -1.3 ลิตร เลือกใช้ค่าเฉลี่ยอุจจาระ 400 กรัม และปัสสาวะ 950 กรัม ในการคำนวณ

น้ำชำระจากโถชักโครก

- น้ำชำระ ปัจจุบัน รุ่นประหยัดน้ำ ออกใหม่ 3-6 ลิตร รุ่นทั่วๆ ไป 6-8 ลิตร รุ่นเก่า 10 -15 ลิตร คิดปริมาณน้ำที่ใช้ชักโครก 1 ครั้ง เฉลี่ยประมาณ 10 ลิตร ต่อ 1 ครั้ง
- จำนวนครั้งในการปัสสาวะ ส่วนใหญ่ขับถ่ายประมาณวันละ 4- 6 ครั้ง ใช้ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้ง 5 ครั้ง ต่อวัน จึงมีการกดน้ำชำระประมาณ 50 ลิตร ต่อวัน

น้ำล้างจาน

- น้ำล้างจาน เฉลี่ย คนละ 10 ลิตร ต่อคนต่อวัน จากการทดลองล้างจาน

4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบำบัดของเสียอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 4-1 ระบบการกำจัดของเสียอินทรีย์ที่มีการควบคุมตัวแปรที่แตกต่างกัน

	การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต							**คุณภาพแก๊ส**
โครงการ	**ประเภทถังหมัก**	**ชนิดสารตั้งต้น**	**วิธีการเติม**	**การคลุกเคล้า**	**อุณหภูมิ**	**การรั่วซึมของอากาศ**	**ปริมาณก๊าซ (ลบ.ม.)/วัตถุดิบ 1 ลบ.ม.**	
ถังบำบัดแบบไร้อากาศทั่วไป	-	อุจจาระ ปัสสาวะ	ไหลไปตามท่อ	ไม่มี	ไม่ได้ควบคุม	ไม่ได้ควบคุม	ไม่ได้ก๊าซชีวภาพ	-
คำแสดรีสอร์ท จังหวัดกาญจนบุรี	Floating drum 80 ลบ.ม.	เศษอาหารจากห้องครัว	N/A	N/A	ไม่ได้ควบคุม	ไม่ได้ควบคุม	35 ลบ.ม./220-350 กิโลกรัม/วัน	N/A
เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพรายหนึ่ง	N/A	ขยะเศษอาหาร	Screw Press	N/A	ไม่ได้ควบคุม	ไม่ได้ควบคุม	40 ลบ.ม./ขยะเศษอาหาร 500 กก./วัน	N/A

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

	การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต							**คุณภาพแก๊ส**
ระบบกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลท่าโขลง	N/A	ขยะที่คัดแยกพลาสติก กระดาษ ขวดออกแล้ว	เป็น batch เติมครั้งเดียว	N/A	ไม่ได้ควบคุม	ควบคุม	48 ลบ.ม. / ขยะ 1 ตัน	มีเทน 52-62 %, CO_2 30-48 %
Eco-agricultural model **ประเทศจีน**	ถังขนาด 8 ลบ.ม	มูลสุกร อุจจาระคน และเศษอาหาร	ไหลไปตามท่อ	N/A	ไม่ได้ควบคุม	ไม่ได้ควบคุม	0.15-0.25 ลบ.ม.	N/A
บริษัท Salzburg AG. **ประเทศออสเตรีย**	N/A	หญ้า Poa pratensis (หรือ Kentucky bluegrass)	N/A	N/A	ควบคุม	ควบคุม	หญ้า 1 เฮกเตอร์ ได้ก๊าซมีเทนบริสุทธ์ 2,900 – 5,400 ลูกบาศก์เมตร ต่อปี	N/A
Sulabh Organization, India	N/A	อุจจาระ ปัสสาวะคน จากห้องน้ำสาธารณะ	ไหลไปตามท่อ	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

	การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต							คุณภาพแก๊ส
รถไฟใช้ก๊าซชีวภาพประเทศสวีเดน	N/A	ของเหลือจากอุตสาหกรรมผลิตอาหารมูลสัตว์จากฟาร์ม	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ค่ายผู้อพยพประเทศเฮติ	N/A	อุจจาระปัสสาวะคน	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
โครงการรณรงค์ให้โรงพยาบาลเป็นหน่วยงานลดโลกร้อน	N/A	อุจจาระปัสสาวะคนจากห้องน้ำ	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ก๊าซชีวภาพประเทศออสเตรเลีย	Plug flow	มูลสัตว์ฟางข้าว	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
BSP Nepal	Fixed dome ขนาด 4,6,8,10 ลบ.ม.	มูลสัตว์อุจจาระปัสสาวะคน	N/A	N/A	N/A	N/A	40 ลิตร/1 กก.มูลสัตว์	N/A

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการรวบรวมข้อมูลสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. **ชนิดของสารตั้งต้นและอัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน**(C/N Ratio) ชนิดของเสียอินทรีย์ที่ใช้มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทน อุจจาระคนมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำประมาณ 8 การผสมรวมกับสารตั้งต้นอื่น ๆ เช่น เศษอาหาร เศษใบไม้ เศษกากวัสดุทางการเกษตร ฟางข้าว ต่าง ๆ ซึ่งมีค่า C/N มากกว่า 60 เป็นการเพิ่มค่า C/N ของของเหลวในระบบหมัก ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพขึ้นได้ ทั้งนี้ค่า C/N ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-30

การผสมเศษวัสดุทางการเกษตรเช่น ฟางข้าว เข้าสู่ระบบ ควรหมักภายนอกให้ย่อยสลายให้โมเลกุลเล็กลง เพื่อจุลินทรีย์จะทำได้รวดเร็วมากขึ้น

แนวโน้มการใช้อุจจาระปัสสาวะจากห้องส้วม เป็นแนวคิดที่แพร่หลายและเริ่มมานานแล้วในหลายพื้นที่ เช่น เกษตรกรชาวจีนที่มีการทำปศุสัตว์และเกษตรกรรมในครัวเรือน จะมีถังหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยผสมของเสียอินทรีย์ทุกชนิดในครัวเรือน คือ มูลสัตว์ เศษอาหาร เศษกากวัสดุทางการเกษตรและอุจจาระปัสสาวะจากส้วม ซึ่งระบบที่มีการผสมของเสียอินทรีย์นี้พบได้ทั่วไปในแถบยุโรป ประเทศเฮติ และอื่นๆ โดยในประเทศไทยเริ่มคำนึงถึงโดยมีโครงการจากกระทรวงสาธารณะสุขรณรงค์ให้โรงพยาบาลและสถานีอนามัยเป็นหน่วยงานลดโลกร้อน โดยรวมของเสียอินทรีย์จากโรงอาหาร ร้านอาหาร เศษอาหารจากตึกผู้ป่วย มูลฝอยติดเชื้อ และต่อส้วมเข้ากับระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน และนำก๊าซชีวภาพมาใช้ ไม่ปล่อยทิ้งไปสู่ชั้นบรรยากาศ

2.**การควบคุมการรั่วซึมของอากาศ** ระบบขนาดเล็กคำนึงถึงการควบคุมการรั่วซึมอากาศน้อย การผลิตขนาดใหญ่มีการควบคุมอากาศระหว่างการเติมสารตั้งต้นและคลุกเคล้าไปพร้อมกัน จะทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้มากกว่าระบบที่ไม่ได้ควบคุมอากาศ

3.**อุณหภูมิในการเดินระบบ** พบว่าระบบบำบัดหลายแห่งไม่ควบคุมอุณหภูมิในการเดินระบบ ปล่อยให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ และระบบอยู่ในพื้นที่เขตร้อนทำให้มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิเหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์เมโซฟิลิค คือประมาณ 20-45 °C จากการให้ความร้อนต่อถังหมักจะเป็นการเพิ่มต้นทุนในการจัดการ โรงงานก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ในยุโรปผลิตไฟฟ้าหรือผลิตก๊าซสำหรับเติมรถยนต์ จะให้ความร้อนกับระบบและใส่ฉนวนรอบถังเพื่อช่วยให้จุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนทำงานได้ดี และเนื่องจากเป็นประเทศเมืองหนาวหากอากาศเย็นจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการทำงานลดลงและหากต่ำกว่า 10 °C จุลินทรีย์จะไม่ทำงาน

4.3 การออกแบบระบบบำบัดของเสียที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย

ออกแบบบ่อบำบัดแบบพลาสติกคลุมราง (Plug flow digestor) เนื่องจากสามารถใช้เป็นทั้งถังหมักและถังเก็บก๊าซในชุดเดียวกัน จะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าแยกเป็น 2 ถัง การเติมอาหารใช้วิธีแบบต่อเนื่อง (continuous operation)

4.3.1 ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดของเสีย คือ

1. **ชนิดของสารตั้งต้น** เนื่องจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ และงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการกำจัดของเสียอินทรีย์ทุกชนิดภายในบ้าน จึงออกแบบให้ผสมของเสียอินทรีย์ทุกชนิดในบ้านพักอาศัย แต่ในการทดลองชุดเล็กเพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากสารตั้งต้นสามารถทำการทดลองได้ในส่วนของ อุจจาระปัสสาวะคนและเศษอาหาร

2. **การควบคุมการรั่วซึมของอากาศและการคลุกเคล้าให้เข้ากัน** ออกแบบให้การเติมมีอากาศเข้าน้อยที่สุด โดยใช้ปั๊มดูดตะกอนจากก้นบ่อขึ้นมาตามท่อและผลักสารตั้งต้นเข้าสู่ตัวบ่อบำบัด และปลายท่อลงบ่อ ออกแบบให้เป็นรูปตัวยูเพื่อป้องกันอากาศจากภายนอก เป็นการหมุนวนของเสียเหลวคลุกเคล้าให้เข้ากับจุลินทรีย์และเข้ากันทั้งบ่อ

3. **อุณหภูมิ** ออกแบบให้บ่อบำบัดฝังดินเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งหากสร้างเป็นถังลอยจะสัมผัสอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำในเวลากลางคืน ทำให้จุลินทรีย์ทำงานไม่ต่อเนื่อง อีกประการหนึ่งในระหว่างกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ จะเกิดความร้อนขึ้น การฝังบ่อบำบัดลงในดินจะช่วยในการควบคุมอุณหภูมิได้ และออกแบบให้มีความลึกของระดับน้ำ 3.25 เมตร เพื่อให้เกิดความดันสูงบริเวณก้นบ่อ เกิดแรงดันบรรยากาศจะไล่ฟองอากาศที่เจือปนในของเสียเหลวออกไป และแรงดันมีผลทำให้อุณหภูมิของของเสียเหลวสูงขึ้น

4. **ความเป็นกรดเป็นด่าง** (pH) ควบคุมให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2

5. **ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ** ไม่เกิน 1 % ของปริมาตรบ่อ คือ ไม่เกิน 470 กก.

6. **ระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในระบบ** ใช้ระยะเวลา 30 วัน

4.3.2 การก่อสร้างบ่อบำบัด

งานวิจัยนี้ต้องการหมักย่อยสลายของเสียอินทรีย์ในบ้าน จากข้อมูลพบว่า คน 1 คน จะทำให้เกิดของเสียอินทรีย์ 1.99 กก. (โดยเป็นเศษอาหาร 0.583 กก. เศษใบไม้ใบหญ้า 0.057 กก. อุจจาระ 0.400 กก. ปัสสาวะ 0.950 กก.) ส่วนที่เหลือเป็นน้ำล้างจาน 10 กก. น้ำชำระ 50 กก. เนื่องจากพบว่าคน 1 คน ให้ของเสียค่อนข้างน้อย การก่อสร้างถังบำบัดจึงรวมกลุ่มบำบัดของเสียจากบ้าน 5 หลัง เพื่อให้มีปริมาณของเสียเพียงพอต่อการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ จำนวนวันสำหรับการย่อยสลายของเสียใช้ 30 วัน เนื่องจากมีเศษอาหารและใบไม้ใบหญ้า มีไฟเบอร์ จะใช้เวลาย่อยสลายนานถึง 30 วันโดยมีการคำนวณขนาดของบ่อบำบัดดังนี้

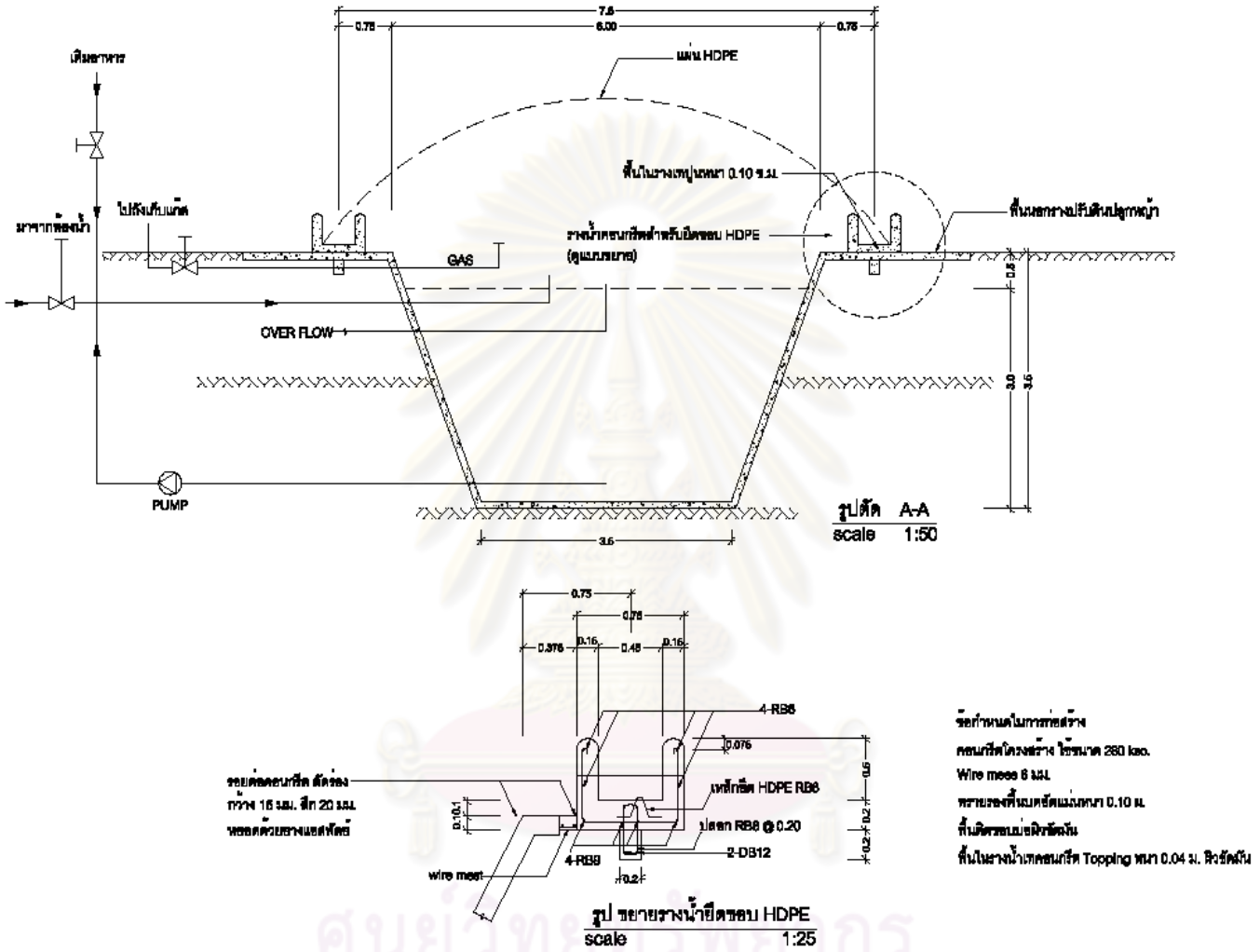
ปริมาตรบ่อบำบัด = ปริมาณของเสียที่เข้าสู่ระบบต่อวัน x 30 วัน x 5 คน/1 หลัง x จำนวนหลัง

ปริมาตรบ่อบำบัด สำหรับบ้าน 5 หลัง ผู้อยู่อาศัย 5 คน = 61.99 ลิตร x 30 วัน x 5 คน x 5 หลัง

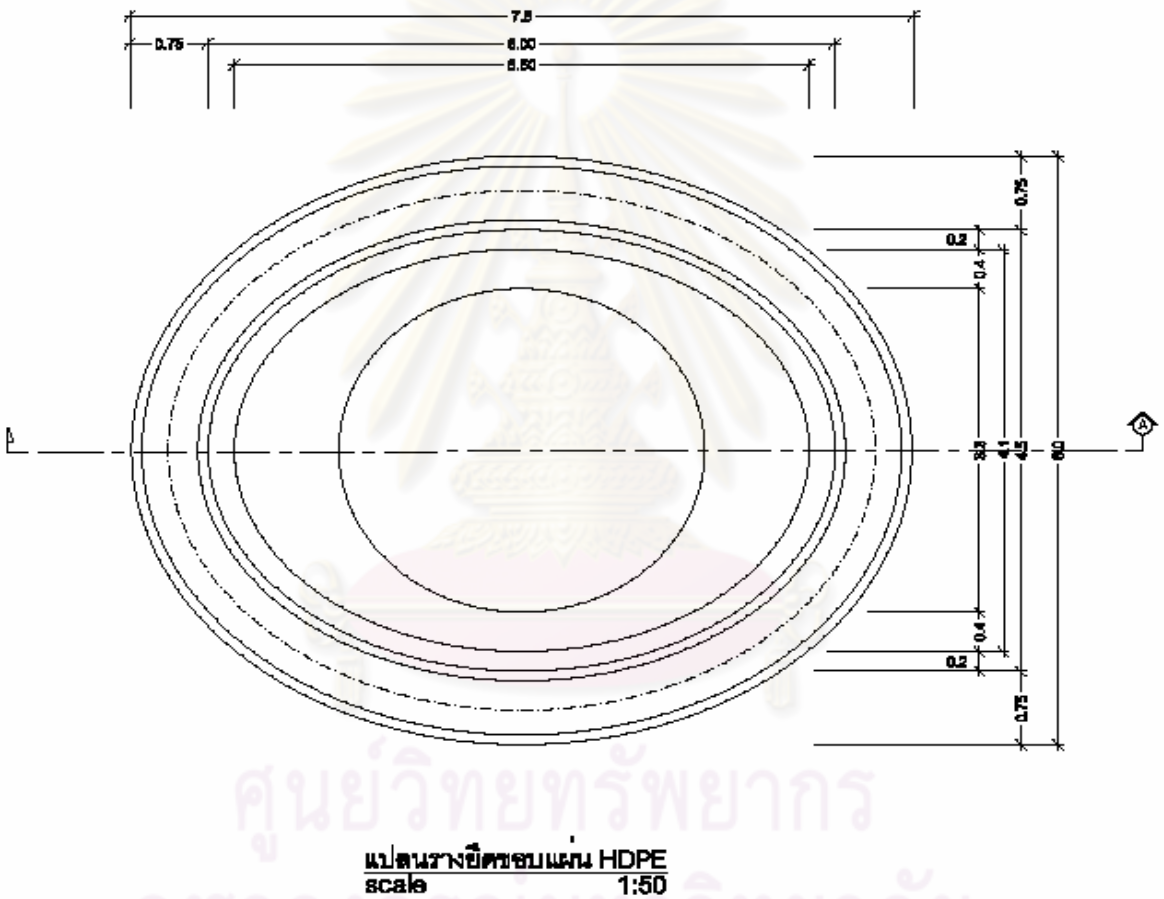
= 46.49 ลบ.ม.

งานวิจัยนี้จึงออกแบบบ่อบำบัดขนาดความจุปริมาตร 47 ลบ.ม. สำหรับบ้าน 5 หลัง หลังละ 5 คน ความลึกของน้ำเสียภายใน 3.25 เมตร เป็นบ่อปูนซีเมนต์รูปวงรี 1 ถัง ฐานแคบ เส้นผ่านศูนย์กลางวงรีปากบ่อ ประมาณ 6 เมตร และ 4.5 เมตร มีผ้า HDPE คลุมด้านบนของถังหมักเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพ ปริมาตร 50 ลบ.ม. สามารถรองรับก๊าซชีวภาพ ได้ 100 ลบ.ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



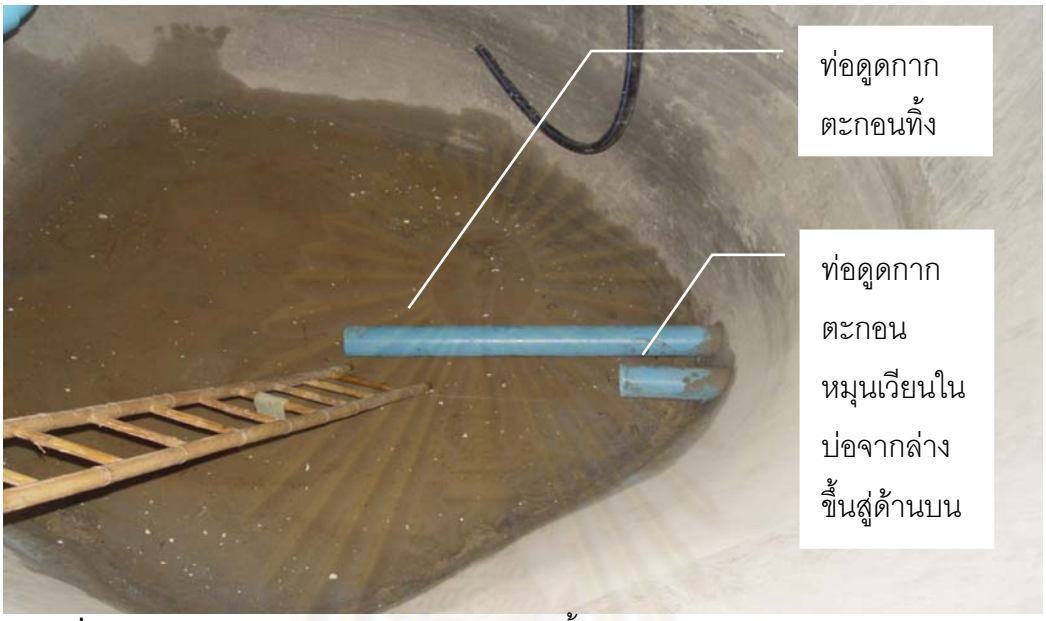
ภาพที่ 4-1 รูปตัดและภาพขยายรางน้ำยึดขอบ HDPE



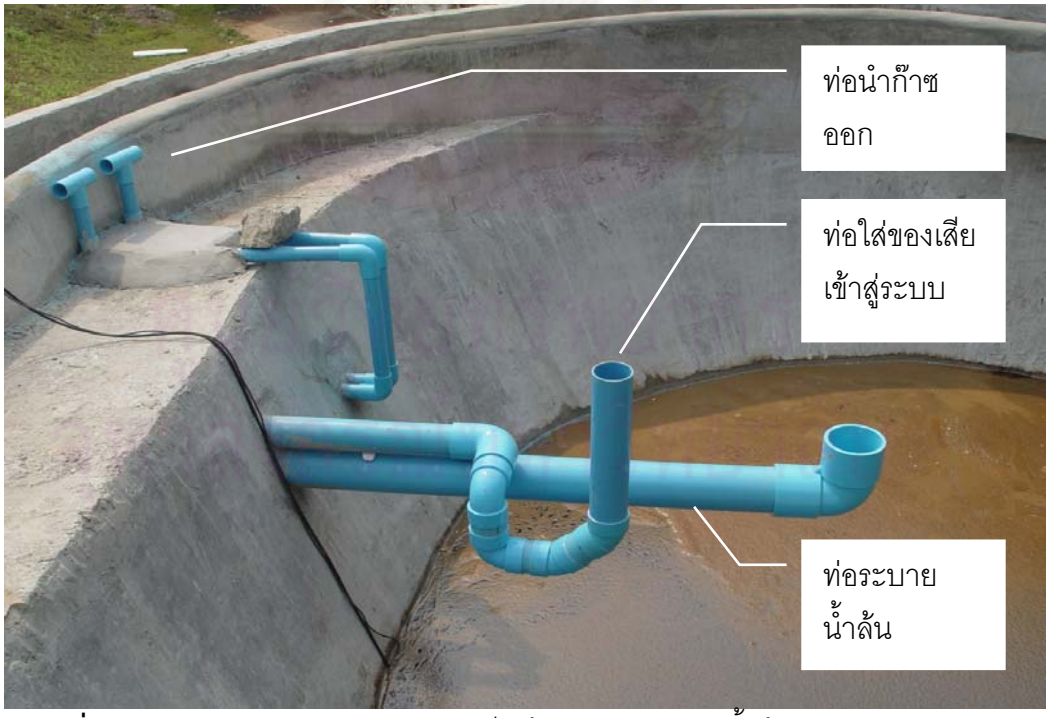
ภาพที่ 4-2 แปลนรางน้ำยึดขอบ HDPE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยวิธีการก่อสร้าง แสดงดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 4-3 การวางท่อ ก้นบ่อ ท่อดูดกากตะกอนทิ้งและท่อดูดหมุนเวียนในระบบ



ภาพที่ 4-4 การวางท่อนำก๊าซ ท่อนำของเสียเข้า และท่อระบายน้ำล้น

ภาพที่ 4-5 แสดงการคลุมพลาสติก HDPE

ภาพที่ 4-6 แสดงการเชื่อมพลาสติก HDPE

ภาพที่ 4-7 แสดงการพับขอบ HDPE โดยการใส่ท่อ PVC ด้านในและพับ HDPE ออก

ภาพที่ 4-8 แสดงการคล้อง HDPE เข้ากับตะขอ

ภาพที่ 4-9 แสดงการเติมน้ำในรางน้ำ ทดสอบการรั่ว

ภาพที่ 4-10 แสดงการเติมกากมันสำปะหลัง

ภาพที่ 4-11 กากมันสำปะหลัง

ภาพที่ 4-12 แสดงการวัดอุณหภูมิ วันที่ 22 มีนาคม 2554

ภาพที่ 4-13 แสดงการวัด pH วันที่ 22 มีนาคม 2554

4.4 ทดสอบระบบบำบัดของเสียอินทรีย์ที่สร้างขึ้น

1) การทดสอบระบบถังบำบัดสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

ผลการทดสอบระบบบำบัดที่สร้างขึ้นใหม่ หลังจากเติมจุลินทรีย์ ปรับ pH อยู่ในช่วง 6.8-7.2 แล้ว ตักน้ำจุลินทรีย์จากบ่อ ทดลองเติมกรดอะซิติกซึ่งจุลินทรีย์เมทาโนโจนจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทน พบว่าเกิดฟองก๊าซขึ้นทันที แสดงว่าจุลินทรีย์ในบ่อ แข็งแรง อยู่ในสภาพปกติพร้อมจะทำงาน จากนั้นเติมกากมันสำปะหลัง 30 กิโลกรัม เปิดปั๊มดูดหมุนเวียนในระบบจากด้านล่างและผลักอาหารเข้าสู่ระบบจากด้านบน ปลายท่อที่อยู่ด้านใน มีลักษณะโค้งเป็นรูปตัวยู จึงเป็นตัวกันอากาศไม่ให้เข้าสู่ถังบำบัด ท่อของเสียเข้าปลายท่ออยู่บริเวณช่องว่างอากาศด้านบน เพื่อส่งของเสียอินทรีย์กระจายไปทั่วบริเวณผิวหน้า และเดินปั๊มไดโว่ก้นบ่อ ซึ่งติดตั้งห่างจากขอบด้านล่างประมาณ 1 ฟุต จะทำให้ตะกอนหมุนเวียน ในแนวราบ ทำให้เกิดการคลุกเคล้าของอาหารหรือของเสียทั่วทั้งบ่อ เดินปั๊มประมาณ ครึ่งถึง 1 ชั่วโมง พบว่าได้ก๊าซชีวภาพเต็มบ่อ ลักษณะก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นของการหมักเล็กน้อย ทดสอบจุดไฟติด ได้เปลวไฟสีน้ำเงินและต่อเนื่องสม่ำเสมอ

ภาพที่ 4-14 การทดสอบการทำงานของจุลินทรีย์ พบว่าเกิดฟองก๊าซทันที

ภาพที่ 4-15 การทดสอบก๊าซชีวภาพจากบ่อบำบัด โดยการจุดไฟและตรวจความต่อเนื่อง

ภาพที่ 4-16 การทดสอบก๊าซชีวภาพจากบ่อบำบัด โดยการจุดไฟและตรวจความต่อเนื่อง

ภาพที่ 4-17 บ่อบำบัดผลิตก๊าซชีวภาพ

2) **ทดลองระบบเล็ก เพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้** จากการทดลองหมัก เศษอาหาร 0.9 กก. และอุจจาระ 0.3 กก. รวมกับปัสสาวะ 0.6 กก.

ภาพที่ 4-18 การเติมจุลินทรีย์จากบ่อบำบัด เข้าสู่ถังทดลอง ขนาด 200 ลิตร

ภาพที่ 4-19 ปรับ pH โดยการเติมปูนขาว

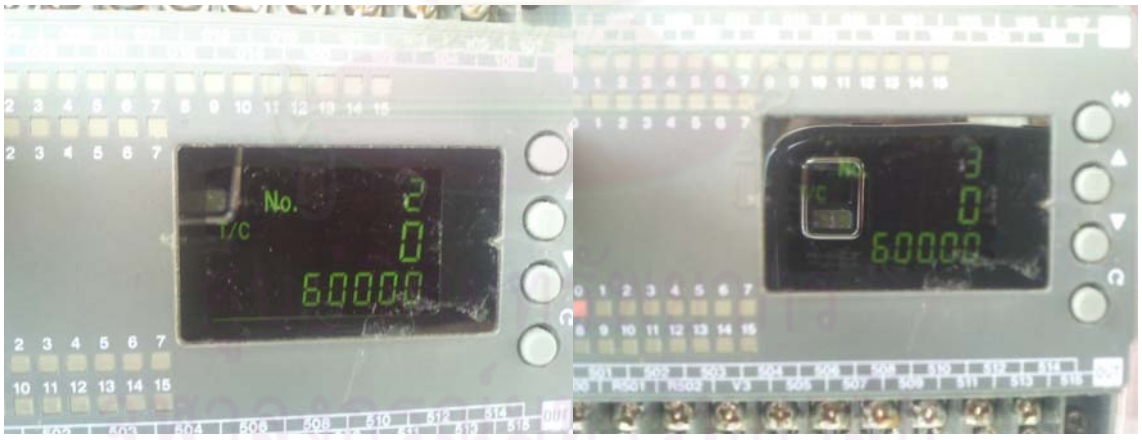
ภาพที่ 4-20 เศษอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 4-21 น้ำอุจจาระปัสสาวะ และเศษอาหารปั่น

ภาพที่ 4-22 การเติมเศษอาหารปั่นเข้าถังหมัก

ภาพที่ 4-23 การเขย่าถังหมัก เพื่อคลุกเคล้าเศษอาหารเข้ากับน้ำจุลินทรีย์

ภาพที่ 4-24 การตั้งค่าเครื่องนับก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 4-25 เครื่องนับก๊าซ หมายเลข 2 ใส่อุจจาระและปัสสาวะ เครื่องนับก๊าซ หมายเลข 3 ใส่เศษอาหาร

ภาพที่ 4-26 แสดงการทำงานของเครื่องนับก๊าซ ก๊าซจะค่อย ๆ ไหลดันเข้ามาใต้น้ำ เข้าสู่กล่องใสรูปสี่เหลี่ยม เมื่อก๊าซไหลเข้ามามากขึ้น กล่องใสรูปสี่เหลี่ยมจะค่อย ๆ ยกตัวสูงขึ้น และหงายไปในที่สุด เครื่องนับก๊าซจะนับเป็น 1 ครั้ง ปริมาตร 120 มิลลิลิตร

ภาพที่ 4-27 ชุดทดลอง ถังขนาด 200 ลิตร

ตารางที่ 4-2 การบันทึกค่าก๊าซชีวภาพ

ที่	ว/ด/ป	เครื่องเบอร์ 2 เติมอุจจาระปัสสาวะ 0.9 กก.					เครื่องเบอร์ 3 เติมเศษอาหาร 0.9 กก.			
		T อากาศ (°C)	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซต่อวัน	เทียบเป็นของเสีย 1 กก.	ปริมาตรก๊าซ (มล.)/วัน/ 1 กก.ของเสีย	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซต่อวัน	เทียบเป็นของเสีย 1 กก.	ปริมาตรก๊าซ (มล.)/วัน/ 1 กก.ของเสีย
1	25 มี.ค. 54	24.40	99	99	110	13,200	328	328	364	43,733
2	26 มี.ค. 54	22.90	221	122	136	16,267	515	187	208	24,933
3	27 มี.ค. 54	22.05	326	105	117	14,000	648	133	148	17,733
4	28 มี.ค. 54	18.25	417	91	101	12,133	717	69	77	9,200
5	29 มี.ค. 54	16.95	425	8	9	1,067	729	12	13	1,600
6	30 มี.ค. 54	17.10	445	20	22	2,667	760	31	34	4,133
7	31 มี.ค. 54	21.90	513	68	76	9,067	863	103	114	13,733
8	1 เม.ย. 54	26.15	596	83	92	11,067	1,044	181	201	24,133
9	2 เม.ย. 54	26.55	671	75	83	10,000	1,279	235	261	31,333
10	3 เม.ย. 54	27.40	729	58	64	7,733	1,493	214	238	28,533
11	4 เม.ย. 54	27.50	775	46	51	6,133	1,715	222	247	29,600
12	5 เม.ย. 54	27.05	839	64	71	8,533	1,933	218	242	29,067

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

วันที่	วัน เดือน ปี	เครื่องเบอร์ 2 เติมอุจจาระปัสสาวะ 0.9 กก.					เครื่องเบอร์ 3 เติมเศษอาหาร 0.9 กก.			
		T อากาศ (°C)	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซต่อวัน	เทียบเป็นของเสีย 1 กก.	ปริมาตรก๊าซ (มล.)/วัน/ 1 กก.ของเสีย	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซต่อวัน	เทียบเป็นของเสีย 1 กก.	ปริมาตรก๊าซ (มล.)/วัน/ 1 กก.ของเสีย
13	6 เม.ย. 54	29.30	915	76	84	10,133	2,153	220	244	29,333
14	7 เม.ย.54	26.95	989	74	82	9,867	2,399	246	273	32,800
15	8 เม.ย. 54	27.05	1,062	73	81	9,733	2,598	199	221	26,533
16	9 เม.ย. 54	26.30	1,125	63	70	8,400	2,693	95	106	12,667
17	10 เม.ย. 54	27.10	1,256	131	146	17,467	2,828	135	150	18,000
18	11 เม.ย. 54	26.60	1,342	86	96	11,467	2,919	91	101	12,133
19	12 เม.ย. 54	27.35	1,400	58	64	7,733	3,042	123	137	16,400
20	13 เม.ย.54	26.70	1,420	20	22	2,667	3,141	99	110	13,200
21	14 เม.ย. 54	26.05	1,431	11	12	1,467	3,239	98	109	13,067
22	15 เม.ย. 54	27.15	1,454	23	26	3,067	3,350	111	123	14,800
23	16 เม.ย. 54	28.35	1,491	37	41	4,933	3,531	181	201	24,133
24	17 เม.ย. 54	28.25	1,511	20	22	2,667	3,718	187	208	24,933
25	18 เม.ย. 54	28.20	1,533	22	24	2,933	3,938	220	244	29,333

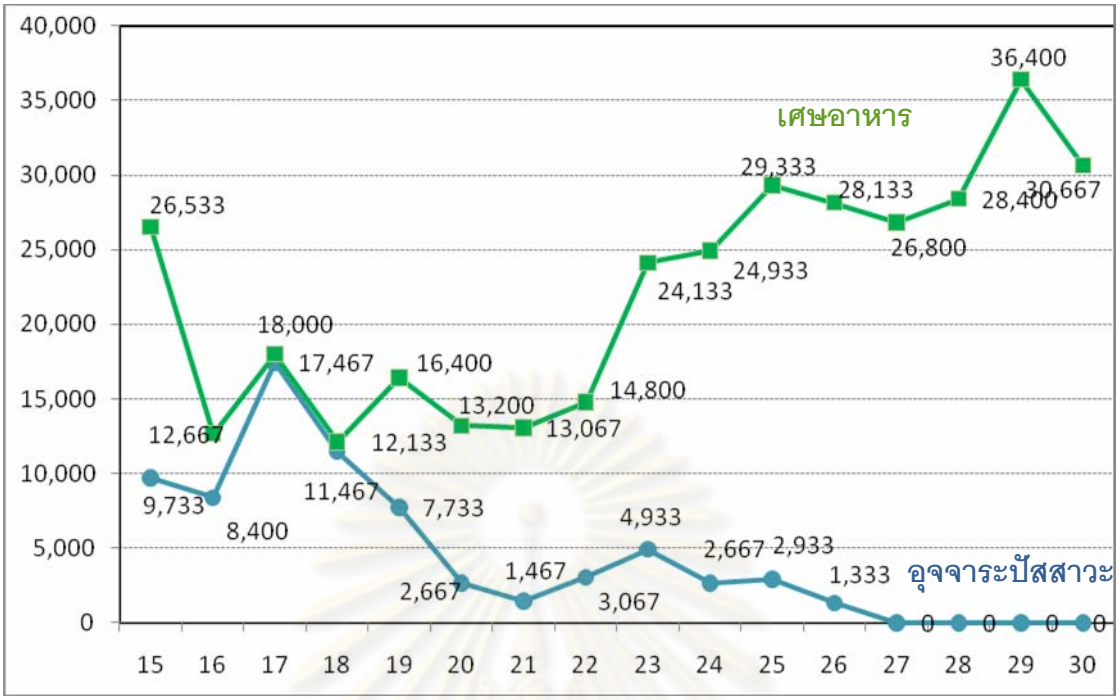
ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

วันที่	วัน เดือน ปี	เครื่องเบอร์ 2 เติมอุจจาระปัสสาวะ 0.9 กก.					เครื่องเบอร์ 3 เติมเศษอาหาร 0.9 กก.			
		T อากาศ (°C)	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ ต่อวัน	เทียบเป็นของเสีย 1 กก.	ปริมาตรก๊าซ (มล.)/วัน/ 1 กก.ของเสีย	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ	จำนวนครั้งของเครื่องนับก๊าซ ต่อวัน	เทียบเป็นของเสีย 1 กก.	ปริมาตรก๊าซ (มล.)/วัน/ 1 กก.ของเสีย
26	19 เม.ย. 54	27.40	1,543	10	11	1,333	4,119	181	201	24,133
27	20 เม.ย. 54	27.10	1,543	0	0	0	4,250	131	146	17,467
28	21 เม.ย.54	28.10	1,543	0	0	0	4,483	233	259	31,067
29	22 เม.ย. 54	28.45	1,543	0	0	0	4,776	293	326	39,067
30	23 เม.ย. 54	27.05	1,543	0	0	0	5,096	320	356	42,667
	รวม					205,733				679,467

น้ำอุจจาระปัสสาวะ ที่ผสมน้ำ 1:1 วัด pH เริ่มต้นของของเสียรวมกับน้ำจุลินทรีย์ = 6.8 COD = 3,150 COD สุดท้าย = 1,100

เศษอาหาร ที่ผสมน้ำ 1:1 วัด pH เริ่มต้นของของเสียรวมกับน้ำจุลินทรีย์ = 6.9 COD = 3,550 COD สุดท้าย = 800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-1 แสดงปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มล.) ที่เกิดขึ้นต่อวัน ของ อุจจาระปัสสาวะ และเศษอาหาร ปริมาณเทียบเท่าอย่างละ 1 กก.

จากผลการทดลอง การหมักอุจจาระ 0.3 กก. ปัสสาวะ 0.6 กก. และเศษอาหาร 0.9 กก. เทียบเป็นอย่างละ 1 กก. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น 30 วัน สรุปรวมได้ดังนี้

อุจจาระ ปัสสาวะ 1 กก. จะได้ก๊าซ 205,733 มิลลิลิตร หรือ 0.205 ลบ.ม.

เศษอาหาร 1 กก. จะได้ก๊าซ 679,467 มิลลิลิตร หรือ 0.679 ลบ.ม.

การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้

จากผลการทดลองข้อ 1 คน 1 คน จะทำให้เกิด เศษอาหาร วันละ 0.583 กก. เศษใบไม้ใบหญ้า 0.057 กก. และ อุจจาระปัสสาวะ 1.350 กก. สามารถคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพได้ดังนี้ตาราง โดยใช้ ค่า หญ้า 1 กก. สามารถผลิตก๊าซชีวภาพ 0.2 ลบ.ม. (สมหมาย ระย้าย้อย, 2554)

ตารางที่ 4-3 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากของเสียอินทรีย์ ต่อ 1 คน และ ต่อบ้าน 1 หลัง

จำนวน	ปริมาณ	เศษอาหาร	เศษใบไม้ใบหญ้า	อุจจาระปัสสาวะ	รวมก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม.) ต่อวัน
คน 1 คน	ของเสียอินทรีย์ (กก.)	0.583	0.057	1.350	0.643
	ก๊าซที่ได้ (ลบ.ม.)	0.354	0.0114	0.278	
บ้าน 1 หลัง	ของเสียอินทรีย์ (กก.)	2.915	0.285	6.750	3.217
	ก๊าซที่ได้ (ลบ.ม.)	1.769	0.057	1.391	

นำปริมาณก๊าซที่ได้ คำนวณหา การใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนก๊าซหุงต้ม และทดแทนไฟฟ้าโดย ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. ทดแทนแก๊สหุงต้ม ได้ 0.46 กก. ทดแทนไฟฟ้าได้ 1.2 กก.วัตต์ชั่วโมง

3) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนมูลค่าก่อสร้างเทียบกับราคาแก๊สหุงต้มกก.ละ 20 บาท

1. การคำนวณการก่อสร้างบ่อบำบัด

ตารางที่ 4-4 แสดงราคาบ่อบำบัดของขนาดบ้าน 1-15 หลังและมูลค่าก๊าซชีวภาพที่ได้เทียบเท่าราคาแก๊ส 20 บาท/กก.

จำนวนบ้าน (หลัง)	ราคาบ่อบำบัด(บาท)	มูลค่าก๊าซชีวภาพเทียบเท่าราคาแก๊ส 20 บาท ต่อ กก. (บาท)					
		1 ปี	2 ปี	3 ปี	4 ปี	5 ปี	6 ปี
1	124,342	10,802	21,605	32,407	43,209	54,012	64,814
2	152,248	21,605	43,209	64,814	86,419	108,024	129,628
3	165,533	32,407	64,814	97,221	129,628	162,036	194,443
4	171,471	43,209	86,419	129,628	172,838	216,047	259,257
5	179,471	54,012	108,024	162,036	216,047	270,059	324,071
6	205,910	64,814	129,628	194,443	259,257	324,071	388,885
7	214,073	75,617	151,233	226,850	302,466	378,083	453,699
8	225,879	86,419	172,838	259,257	345,676	432,095	518,514

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

จำนวนบ้าน (หลัง)	ราคาบ่อบำบัด(บ.)	มูลค่าก๊าซชีวภาพเทียบเท่าราคาแก๊ส 20 บาท ต่อ กก. (บาท)					
9	231,993	97,221	194,443	291,664	388,885	486,107	583,328
10	245,999	108,024	216,047	324,071	432,095	540,118	648,142
11	250,756	118,826	237,652	356,478	475,304	594,130	712,956
12	259,990	129,628	259,257	388,885	518,514	648,142	777,770
13	265,454	140,431	280,862	421,292	561,723	702,154	842,585
14	273,846	151,233	302,466	453,699	604,933	756,166	907,399
15	279,999	162,036	324,071	486,107	648,142	810,178	972,213

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

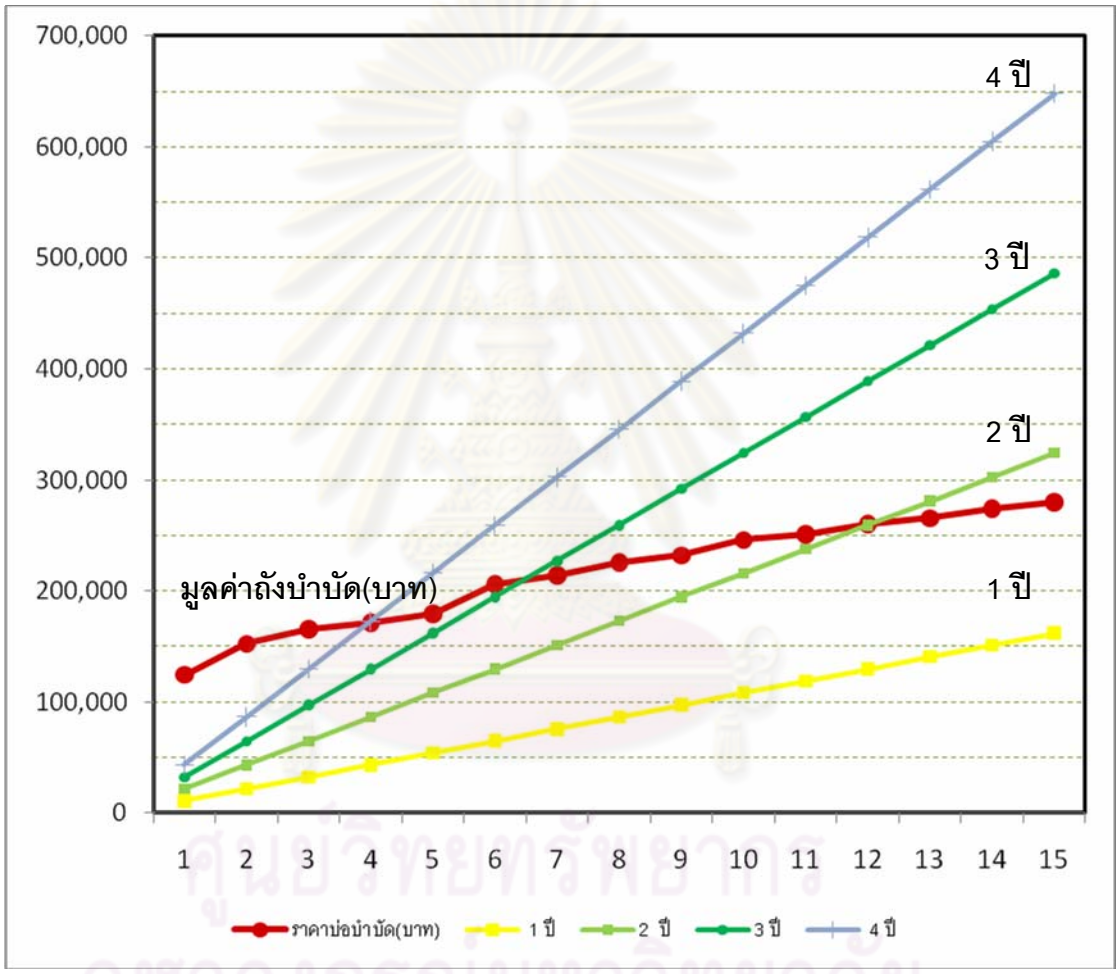
ตารางที่ 4-5 แสดงมูลค่าก่อสร้างบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

จำนวนบ้าน (หลัง)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ขนาดถังที่ต้องการ (ลบ.ม.)	9.3	18.6	27.9	37.2	46.5	55.8	65	75	84	93	102	112	120	130	139.5
ปริมาตรที่สร้างได้ (ลบ.ม.)	10	18.5	28	37.5	47	55.6	65	76	84	98	102.5	112	120	130	140
ความลึก	2.5	2.5	2.5	2.5	3.25	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4	4	4	4	3.5
พื้นที่คอนกรีต (ตร.ม.)	22.2	35.9	46.25	57.5	40.8	74	80.15	89.6	94	105	108.8	116	119.75	126	131
ค่า คอนกรีตเสริมเหล็ก (1000 บาท/ตร.ม.)	22,200	35,900	46,250	57,500	40,800	74,000	80,150	89,600	94,000	105,000	108,800	116,000	119,750	126,000	131,000
ค่า HDPE (ราคาเหมาขนาดเล็ก)	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
ค่า มอเตอร์ (บาท)	30,000	30,000	30,000	30,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
ค่าจุลินทรีย์ (บาท)	2,142	3,963	5,998	8,033	10,671	11,910	13,923	16,279	17,993	20,999	21,956	23,990	25,704	27,846	28,999
ค่าผู้ดูแลระบบ (บาท)	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
รวมทั้งหมด (บาท)	**124,342**	**139,863**	**152,248**	**165,533**	**171,471**	**205,910**	**214,073**	**225,879**	**231,993**	**245,999**	**250,756**	**259,990**	**265,454**	**273,846**	**279,999**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การวิเคราะห์ จุดคุ้มทุน

วิเคราะห์มูลค้าก๊าซชีวภาพที่ได้เทียบเท่าแก๊สหุงต้ม 20 บาท ต่อ กก. สามารถคำนวณ จุดคุ้มทุนได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-2 แสดงระยะเวลาคุ้มทุน สำหรับบ้านพักอาศัย

ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การลงทุนสร้างบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ หากสร้างโดยรวมกลุ่มบ้านเป็นจำนวน 4 หลัง สามารถคืนทุนค่าแก๊สหุงต้มที่ราคา 20 บาท/กก. ได้ ในเวลาประมาณ 4 ปี บ้าน 5 หลัง ใช้เวลาคืนทุน 3.5 ปี บ้าน 6.5 หลัง ใช้เวลาคืนทุน 3 ปี และ บ้าน 12 หลัง ใช้เวลาคืนทุน 2 ปี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ปริมาณของเสียอินทรีย์ที่ออกแบบให้เข้าสู่ระบบบำบัดประมาณ 61.99 ลิตร/คน/วัน เกิดจาก อุจจาระ 400 กรัม ปัสสาวะ 950 กรัม เศษอาหาร 0.583 กก. ใบไม้ใบหญ้า 0.057 กก. น้ำชำระจากส้วม 50 ลิตร และน้ำจากการล้างจาน 10 ลิตร

2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่ามีดังนี้ คือ ชนิดของสารตั้งต้น อัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจน การควบคุมการรั่วซึมของอากาศ การคลุกเคล้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ ระยะเวลาเก็บกัก

3. ลักษณะของบ่อบำบัดที่ออกแบบและก่อสร้างในงานวิจัยนี้ เป็นแบบพลาสติกคลุมราง (Plug flow digester) เติมของเสียอินทรีย์แบบต่อเนื่อง ขนาดความจุปริมาตร 47 ลบ.ม. ความลึกของน้ำเสีย 3.25 เมตร เป็นบ่อปูนซีเมนต์รูปวงรี 1 ถัง ใช้พลาสติก HDPE คลุมด้านบนของถังบำบัดเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพ สามารถรองรับก๊าซชีวภาพ ได้ 100 ลบ.ม.

4. การทดสอบระบบ จากการทดลองระบบเล็กเพื่อเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพพบว่า เศษอาหาร 1 กก. ได้ก๊าซชีวภาพ 0.679 ลบ.ม. อุจจาระปัสสาวะ 1 กก. ได้ก๊าซชีวภาพ 0.205 ลบ.ม. การลงทุนสร้างบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ ควรรวมเป็นกลุ่ม โดยบ้านจำนวน 4 หลัง สามารถคืนทุนค่าแก๊สหุงต้มที่ราคา 20 บาท/กก. ได้ ในเวลาประมาณ 4 ปี บ้าน 5 หลัง 6.5 หลัง และบ้าน 12 หลัง ใช้เวลาคืนทุน 3.5 ปี 3 ปี และ 2 ปี ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบบ้านในยุคสภาวะโลกร้อนและวิกฤตพลังงานอย่างในปัจจุบัน นอกจากต้องคำนึงถึงการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานในอาคารแล้ว ควรคำนึงถึงการนำธรรมชาติทุกอย่างรอบ ๆ ตัว รวมทั้งของเสียต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

จากแนวคิดการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ทำให้สามารถออกแบบแผนภูมิน้ำเสียในบ้านพักอาศัยได้ดังนี้

แผนภูมิ 5-1 แสดงแผนภูมิของน้ำเสียและการบำบัด

งานวิจัยนี้ต้องการเป็นแนวทางในการนำของเสียอินทรีย์มากำจัดและใช้ประโยชน์ในขณะเดียวกัน จากระบบเดิมที่บ้านทั่วไป มีการทิ้งเศษอาหารจากครัว ทิ้งเศษใบไม้ใบหญ้าจากสวนในบ้าน ทิ้งอุจจาระปัสสาวะ รวมทั้งทิ้งน้ำใช้ โดยต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊สหุงต้ม ซื้อน้ำรดน้ำต้นไม้ ซื้อปุ๋ยใส่ต้นไม้ มาเป็นบ้านในยุคใหม่ที่ใช้ของเสียเป็นทรัพยากรที่มีค่า มีการบำบัดของเสียอินทรีย์ทุกประเภทในบ้านรวมกัน ทำให้ได้ก๊าซธรรมชาติมาใช้แทนก๊าซหุงต้มในครัว กากตะกอนใช้ทำปุ๋ย และน้ำล้นใช้เป็นปุ๋ยน้ำ น้ำใช้ต่าง ๆ เช่น น้ำซักผ้า น้ำอาบ น้ำล้างมือ เป็นต้น นำมาบำบัดรวมกันได้น้ำกลับมาเป็นน้ำใช้ หรือสามารถผ่านเครื่องกรองแบบฆ่าเชื้อโรคเพื่อใช้เป็นน้ำดื่ม ในโลกอนาคตต่อไปสภาวะอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงรุนแรงมากขึ้น การหมุนเวียนน้ำจะกลายเป็นเรื่องจำเป็น การมีน้ำรดน้ำต้นไม้เป็นการเพิ่มความเย็นให้กับสภาพแวดล้อม อาคารที่ตั้งอยู่ในที่สภาพแวดล้อมเย็นจะประหยัดพลังงานในอาคารและช่วยลดโลกร้อนได้มากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ทำการทดลอง หาปริมาณก๊าซชีวภาพของ อุจจาระปัสสาวะ และเศษอาหาร ในงานวิจัยครั้งต่อไป อาจทดลอง รวมอุจจาระปัสสาวะและเศษอาหาร ให้เป็นสารตั้งต้นเดียวกันในการหมักย่อยสลายเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเป็นการเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนของสารตั้งต้นรวมในระบบ ซึ่งอาจมีผลให้อัตราการสร้างก๊าซมีเทน แตกต่างการการแยกทดลองได้

2. จากการทดลอง หาปริมาณก๊าซชีวภาพของเศษอาหาร พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บกัก 30 วัน ยังคงมีปริมาณก๊าซชีวภาพในปริมาณสูง การทดลองครั้งต่อไป อาจใช้ระยะเวลานานมากกว่า 30 วัน เพื่อเก็บปริมาณก๊าซ์ที่เกิดขึ้นจนกระทั่งจุลินทรีย์ย่อยสลายเศษอาหารจนหมด

3. ถังหมักก๊าซชีวภาพ สำหรับครัวเรือนขนาดใหญ่ อาจดัดแปลงจากถังบำบัดสำเร็จรูปที่ขายทั่วไปตามท้องตลาดได้ โดยการควบคุมอากาศไม่ให้เข้าสู่ตัวถัง ด้วยการแก้ไขตำแหน่งที่อากาศสามารถเข้าสู่ถังได้ คือ ท่อนำสิ่งปฏิกูลจากส้วมเข้าสู่ตัวถัง ท่อน้ำล้น และท่อระบายอากาศ เมื่อไม่มีอากาศรั่วเข้าไปได้ การหมักจะเกิดสมบูรณ์ ได้ก๊าซมีเทน สามารถจุดไฟติดนำไปใช้เป็นแก๊สหุงต้มในครัวเรือนได้ แต่ทั้งนี้ ต้องควบคุมการใช้น้ำชำระให้มีปริมาณน้อยที่สุด อาจใช้เป็นส้วมแบบใช้น้ำราด และต้องไม่รวมน้ำล้างจานและน้ำใช้อื่น ๆ

4. ในอนาคตน้ำทิ้งจากครัวเรือนที่นำมาบำบัดเพื่อใช้เป็นน้ำรดน้ำต้นไม้ อาจเป็นตัวกำหนดปริมาณพื้นที่ปลูกต้นไม้ เพื่อการสมดุลกับน้ำใช้และจำนวนผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน

5. การออกแบบการนำน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ในบ้าน เพื่อบำบัดรวมในบ่อบำบัดไร้อากาศ สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรคำนึงถึง คือ สารยับยั้งการเกิดก๊าซชีวภาพและสารพิษ เช่น ผงซักฟอก ซึ่งอาจมี โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) ซึ่งทำให้จุลินทรีย์ตาย ในขณะที่น้ำยาล้างจานทั่วไปไม่มีสารตัวนี้ จึงสามารถนำน้ำล้างจานเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศได้ ส่วนน้ำจากห้องน้ำ หากเป็นน้ำจากการขัดห้องน้ำ ที่ใช้น้ำยาขัดล้างพื้นหรือขัดโถส้วม ไม่สามารถนำน้ำล้างลงบ่อบำบัดได้ หากต้องการนำน้ำจากการล้างการขัดลงบ่อบำบัดจึงต้องคำนึงถึงส่วนประกอบของน้ำยาที่ใช้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กระบี่โปรเอ็นจิเนียริ่ง. **ถังบำบัด**. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.krabi-pro. com/ndex.php?lay=show&ac=article&Id=5328719 [2554, มกราคม 28].

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. **การออกแบบระบบท่ออาคารและสิ่งแวดล้อม เล่ม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 3. นนทบุรี. สำนักพิมพ์ เอส.อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์, 2549.

เกื้อกูล บุญยี่. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้น้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูป**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

ขันทอง สุนทราภา. **การจัดการเทคโนโลยีในฟาร์มสุกรเพื่อประสิทธิภาพระบบแก๊สชีวภาพ**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

คมชัดลึก. **เทคโนประดิษฐ์-ญี่ปุ่นหมักนมหมดอายุเป็นก๊าซเชื้อเพลิง**. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://news.sanook.com/technology/technology_265672.php [2553, เมษายน 5]

คมสัน หุตะแพทย์. **ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ ในถังมหัศจรรย์เปลี่ยนขยะเป็นก๊าซชีวภาพ 6-14**. กรุงเทพมหานคร: สำนักออฟเซ็ท ครีเอชั่น, 2551.

ช่างสุขาภิบาล, กอง. ศูนย์ข้อมูลข่าวสารเมืองพัทยา. **การจัดการสิ่งปฏิกูล**. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://info.pattaya.go.th/km/sanitarywork/. [2554, มกราคม 25]

เชาวน์ นกอยู่. **การพัฒนาโครงการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน**. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://cid237eaf1ca0fb41f.spaces.live.com/blog/fakehandlerpage.aspx?sa=596564653 [2554, มกราคม 28]

แซน โพรดักส์. **ผลิตภัณฑ์แซนแพ็ครักสิ่งแวดล้อม**. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: http://www.sanproducts.co.th/viewdetail.php?products=5 [2554, มกราคม 30]

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2552: สถานการณ์กากของเสียและสารอันตราย**. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/public/News/GetNewsThai.cfm?task=lt2009&id=16172 [2554, กุมภาพันธ์ 8]

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. **ก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์**. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2553. เอกสารเผยแพร่.

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. **ระบบบำบัดน้ำเสีย**. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#. [2554, มกราคม 2]

นิติ เหมพัฒน์, จรีรัตน์ สกุลรัตน์ และจรงค์ มุสิกะวงศ์. **การใช้ลังโฟมในการหมักมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนและใบไม้แห้ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.

บดินทร์ ลือเลิศยศ และอรรถพล อ่างคำ. **การจัดการเศษกิ่งไม้ใบไม้และเศษหญ้าในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540.

บ้านและสวน. **ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่**. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: http://www.no vabizz.com/CDC/System/Onsite_Treatment.htm= [2554, มกราคม 5]

บุญมา ป้านประดิษฐ์ และคนอื่น ๆ. **ถังหมักมหัศจรรย์ เปลี่ยนขยะเป็นก๊าซชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เกษตรธรรมชาติ, 2551.

บุญเสริม สรรเสริญรักขวา. ช่างตัดหญ้า. **สัมภาษณ์**, 5 มีนาคม 2554.

ปตท. **ความแตกต่างระหว่าง NGV กับ LPG**. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://pttweb2.pttplc.com/webngv/TH/kw_df.aspx[2554, กุมภาพันธ์ 9]

ผู้จัดการ, นิตยสาร. **ขยะอินทรีย์ จัดการดี ๆ คือเงิน** [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.gotomanager.com/news/details.aspx?id=82140[2553, สิงหาคม 31]

ผู้จัดการออนไลน์ : **กูรูโรตีชี้ อุจจาระ – ปัสสาวะ สามารถกู้โลกใบนี้ได้**. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://entertainment.goosiam.com/hotnews/html/0006280.html [2553, มกราคม 20]

ฝ่ายวารสาร สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ. **อุจจาระคนไทยคือทรัพยากร**. เดลินิวส์. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://social.kru.ac.th/users/rjlk/weblog/314d3/[2553, ธันวาคม 3]

พลาพร สมพรบรรจง. **กลยุทธ์การบริหารจัดการขยะมูลฝอย กรณีศึกษา เทศบาลเมืองท่าโขลง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

พลังงาน, กระทรวง. **กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานลั่นเดินหน้าโครงการพลิกขยะอินทรีย์ เป็นพลังงานทดแทน มีความคุ้มค่ารอบด้านช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และคุ้มค่าต่อการลงทุน**. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา: http://www.thaipr.net/nc/readnews.aspx?newsid=AF197D01142DD C78249BAD9ED4347FF3 [2553, สิงหาคม 12]

พลังงาน, กระทรวง. **พลังงานชีวมวล : ก๊าซชีวภาพ**. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www .dmf.go.th/dmfweb/index.php?option=comcontent&view=article&id=41&Itemid=89&lang=en&limitstart=3 [2553, พฤษภาคม 3]

พลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, มูลนิธิ. **ก๊าซชีวภาพ: ลักษณะสมบัติของก๊าซชีวภาพ**. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&mid=cMS7s93gtBdrFxPI&doc=D3WECAvwtJ4ZOeN0[2553, พฤศจิกายน 25]

พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, สำนักงาน. **การออกแบบและก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพ** (Biogas : Design and Construction Small Digester). กรุงเทพมหานคร, 2544.

มหาวิทยาลัยมหิดล. การสวนปัสสาวะ: **การประเมินเกี่ยวกับการขับถ่ายปัสสาวะ**. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: http://student.mahidol.ac.th/~u4909156/ site/site2.htm. [2554, มีนาคม 8]

มีชัย อุทัยพัฒน์. กรรมการบริหาร บริษัท รักบ้านเรา จำกัด. **สัมภาษณ์**. [2554 กุมภาพันธ์ 27].

มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม. **ถังหมักแบบไร้อากาศ**. พลังงานขยะ [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.efe.or.th/home.php?ds= preview&back =content&mid=QaThskHyxen7t4f1&doc=Jj2bGrxNqdVEeHX4 [2553, สิงหาคม 31]

แมคโครไบโอเทค. **เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ คาวเทค**. เอกสารเผยแพร่นิทรรศการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วิทยาเขตรังสิต. 20 สิงหาคม 2552.

ยุทธการ มากพันธุ์. ผู้จัดการคำแสด รีสอร์ท. **สัมภาษณ์**, 7 มกราคม 2552.

ระบบเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. คุณสมบัติของน้ำเสีย. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: http://teenet.tei.or.th/DatabaseGIS/wastewater_characteristics.html [2554, มีนาคม 5]

วนิดา สืบสายพรหม. **การจัดการส้วมน้ำภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553.

วิจัยพลังงาน, สถาบัน. **พลังงานทดแทน**. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยพลังงาน, 2549.

วิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, สถาบัน. **การดูแลรักษาระบบก๊าซชีวภาพ เพิ่มผลกำไร ลดปัญหามลพิษและโลกร้อน ระบบ MC-UASB**. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.

วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีแพร่. **การนำเศษอาหารมาหมักเป็นก๊าซชีวภาพ**. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://www.organicthailand.com/webboard.php?id=443708&cat_w=1278&lang=th [2553, สิงหาคม 7]

วิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, สถาบัน. **โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก**. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.

ศูนย์สาระสนเทศไส้เดือนดิน เชียงใหม่. **การผลิตปุ๋ยหมักจากมูลไส้เดือนดิน**. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา : http://www.maejoearthworm.org/m7.htm [2554, มีนาคม 13]

ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กรม. **การใช้ประโยชน์จากขยะย่อยสลาย**. กรุงเทพมหานคร: ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554. เอกสารเผยแพร่.

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. **โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์**. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา: http://www.ist.cmu.ac.th/riseat/enet/btc/documents.php [2554, มีนาคม 15]

สถานเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. **ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร แบบ MC-UASB#1**. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา: http://www.ist.cmu.ac.th/riseat/enet/btc/documents.php [2554, มีนาคม 22]

สมชาย เจียมธีรสกุล. **การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศสองขั้นตอน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

สมหมาย ระย้าย้อย. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **สัมภาษณ์**, 18 มีนาคม 2554.

สุชาย สุนทราภา. ผู้จัดการออนไลน์. คอลัมน์สายตรงสุขภาพกับศิริราช : **ช่วยด้วยปัสสาวะไม่ออก**. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.saha.ac.th/forums/viewtopic.p hp?f=5&t=32[2554, มกราคม 28]

สุดารัตน์ ภักดี. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลืองและน้ำเสียจากโรงงานวุ้นเส้นโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.

สุนทร บุญญาธิการ. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จีเอ็ม แม็ก มีเดีย, 2545.

สุนทร บุญญาธิการ. **บ้านชีวาทิตย์ บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สุนทร บุญญาธิการ. **มนุษย์ ที่อยู่อาศัย และสิ่งแวดล้อม : แนวคิดในการออกแบบอาคารในทศวรรษ 2010 ในวารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์**. 2552. ปีที่ 15 ฉบับที่ 58 : 48-51.

สุพินดา ธุระเจน. **การเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักเศษผักและผลไม้ไร้อากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

หนังสือพิมพ์ข่าวสดรายวัน. **บำบัดน้ำเสีย** [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.khaosod.co.th/view_news.php?newsid=TURONWIzVXdNakk0TVRJMU13PT0=&sectionid=TURNeE1RPT0=&day=TWpBeE1DMHhNaTB5T0E9PQ== [2553, ธันวาคม 28]

อรพรรณ แถมเงิน. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าด้วยระบบหมัก**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

อวัสดา ฉลานุวัฒน์. **อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรียสารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2544.

อาควา นิชิฮารา. **ถังบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก**. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://goodtank.aqua.co.th/?page_id=9[2553, ธันวาคม 13]

โอเคเนชั่น. **บทบาทของไส้เดือนดินต่อการกำจัดขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://www.oknation.net/blog/print.php?id=100050 [2554, กุมภาพันธ์ 28]

โอเคเนชั่น. **ระเบิดโรงงานแป้งมัน**. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: http://www.oknation.net/blog/print.php?id=693133 [2554, เมษายน 8]

ภาษาอังกฤษ

Biogas Australia Pty Ltd. 2011. **Biogas Australia**. [Online]. Australia. Available from: http://www.biogasaustralia.com.au/index.html [2011, February 15]

Biogas Production. [Online]. India. 2003. Available from : http://www.habmigern.info/biogas/methane-digester.html [2010, June 2]

Biopact team. **Salzburg AG opens biomethane gas stations in Austria : driving on pure grass**. 2007. [Online]. Available from: http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/11/salzburg-ag-opens-biomethane-gas.html [2010, June 1]

BSP Nepal. **Biogas Technology and Design**. [Online]. 2011. Nepal. Available from: http://www.bspnepal.org.np/biogas-design [2011, February 20]

CDC, ระบบสุขาภิบาล. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.novabizz.com/CDC/System21.htm [2553, พฤศจิกายน, 29]

Classified Thai, **จีนแปรรูปฟางข้าวเหลือทิ้งเป็นไบโอแก๊ส**. [Online]. ประเทศไทย. 2553. Available from: http://www.classifiedthai.com/content.php?article=8340 [2010, พฤษภาคม 2]

Demetriades Pauline. **Thermal pre-treatment of cellulose rich biomass for biogas production**. Bachelor of Science. Dept. of Microbiology, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Saint Louis University, Madrid, Spain, 2008.

E-paper'Blog. **Typical Biogas Technology in Germany and the Reference**. [Online]. Germany. 2010. Available from: http://www.iee.com.ru/typical-biogas-technology-in-germany-and-the-reference/ [2010, June 2]

Justin. Biomethane : **A Fuel From Pure Grass**. Metaeffiecient The Guide To Highly Efficient Things. [Online]. Austria. 2007. Available from: http://www.metaefficient.com/renewable-power/first-biomethane-gas-station-opens-in-austria.html [2010, June 1]

Metaefficient : the Guilde to Highly Efficient Things. **Biiomethane: A Fuel From Pure Grass**. [Online]. Austria. 2007. Available from: http://www.metaefficient.com/renewable-power/first-biomethane-gas-station-opens-in-austria.html [2010, February 2].

Paulo Artaxo, Terje Berntsen, Richard Betts and others. **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. [Online]. Available from: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf [2011, January 12]

Rural Development and Panchayati Raj Department, Goverment of Rajasthan, **Biogas Development**. Online]. India. Available from : http://rdprd.gov.in/PDF/BIOGAS%20DEVELOPMENT.pdf [2010, March 21]

Sulabh International Social Service Organsation. **Sulabh Effluent Treatment (SET) System**. Online]. India. Available from : http://www.sulabhinternational.org/st/sulabh_effluent_treatment_system.php [2010, March 17]

Sustainable Development Department(SD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **A system approach to biogas technology**. [Online]. 1997. Available from : http://www.fao.org/sd/Egdirect/Egre0022.htm [2011, January 15]

Stockholm Environment Institute, Ecological Sanitation Research, **Biogas Technology and Ecological Environment Development in Rural areas of China**. [Online]. Sweden. Available from : http://www.ecosanres.org/pdf_files/Nanning_PDFs/Eng/Wang%20Mengjie%2012_C19.pdf [2010, December 11]

Thailand Energy and Environment Network, **ฐานข้อมูลเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ**. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา : http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas02.php#04 [2553, พฤศจิกายน, 29]

The University of Adelaide, Australia. BeginnersGuide to Biogas : **A Brief History of Biogas**. [Online]. Available from : http://www.adelaide.edu.au/biogas/history/ [2010, November 15]

Updated Guidebook on Biogas Development, 1984. cited in Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Sustainable Development Department (SD). A system approach to biogas technology : **Biogas technology: a training manual for extension**. [Online].1996. Available from : http://www.fao.org/sd/EGdirect/EGre0022.htm [2011, January 6]

VoiceTV. Green Voice: **ค่ายในเฮติโชว์พลังงานทางเลือกจากอุจจาระ**. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา : http://archive.voicetv.co.th/content/10148/GreenVoice [2554, กุมภาพันธ์ 21]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การเดินระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ แสดงวันที่เดินระบบ การจัดการ ปัญหา และการแก้ไข

วันที่	การจัดการ	ปัญหา	การแก้ไข
25 มกราคม 54	เริ่มก่อสร้างบ่อบำบัด วางโครงเหล็ก ทะยอยเทคอนกรีต		
15 กุมภาพันธ์ 54	เช็คขอบ เพื่อวางเหล็กตะขอที่รางน้ำ		
22 กุมภาพันธ์ 54	ฉาบเรียบภายใน		
25 กุมภาพันธ์ 54	ใส่น้ำเต็มบ่อ เพื่อทดสอบการรั่ว ทิ้งไว้ 7 วัน		
3 มีนาคม 54	ต่อท่อดูดตะกอน ท่อหมุนเวียนของเหลว ท่ออากาศ ท่อน้ำล้น ท่อเติมอาหาร		
5 มีนาคม 54	ติดตั้งมอเตอร์ 2 ตัว ไดโวที่ก้นบ่อเพื่อคนตะกอนก้นบ่อ และปั๊มดูดหมุนเวียนคลุกเคล้าทั้งบ่อ (recirculate)		
9 มีนาคม 54 กลางคืน	ใส่จุลินทรีย์ 10 ลบ.ม. ลงในบ่อ เติมกากมันสำปะหลัง 5 กก.(แป้ง 25-30 % กาก 70-75 %) เติมกากน้ำตาล 2 ลิตร โดยผสมน้ำ 150 ลิตร เปิดไดโวและปั๊ม recirculate ครึ่งชั่วโมง		
10 มีนาคม 54	คลุมผ้าใบ อัดลม ทดสอบการรั่วของผ้าใบ และรางน้ำ	พบว่าผ้าใบไม่รั่ว แต่รางน้ำรั่ว	เทปูนซีเมนต์รางน้ำ ฉาบใหม่
15 มีนาคม 54	ทดสอบรางน้ำ พบว่าไม่รั่ว		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่	การจัดการ	ปัญหา	การแก้ไข
16 มีนาคม 54 กลางคืน	เติมจุลินทรีย์ครั้งที่ 2 10 ลบ.ม. pH 6.78	วัด pH ของน้ำจุลินทรีย์เมื่อเติมในบ่อได้ 8.6 pH สูงไป จุลินทรีย์จะตาย สาเหตุเกิดจาก ขั้นตอนเติมน้ำเปล่า แช่ในบ่อไม่นานพอ ทำให้ความเป็นด่างจากบ่อปูนซีเมนต์ยังคงมีอยู่มาก	เติม กรดอะซิติก pH 2 8 ลิตร ผสมน้ำ 150 ลิตร วัด pH ได้ 7.2
17 มีนาคม 54	ใส่ถังขนาด 200 ลิตร เพื่อใช้การซ่อมผ้าใบ		
18 มีนาคม 54	เติมมันสำปะหลัง เปอร์เซ็นต์แป้ง 25-30 % เปอร์เซ็นต์กาก 70-75% 5 กก. เติม กากน้ำตาล 2 ลิตร โดยผสมน้ำ 150 ลิตร เปิดไดโว และ ปั้ม recirculate เพื่อกวนของเสียและให้เข้ากับจุลินทรีย์ แก๊สขึ้นมาทันที เห็นความแตกต่างในเวลา 5-10 นาที		
22 มีนาคม 54	เติมน้ำจากสระน้ำเพื่อเพิ่มปริมาตร วัด pH ของของเหลวในบ่อได้ 6.44 จึงกลับไปวัด pH ของน้ำสระที่นำมาเติมได้ 6.56	pH ต่ำเกินไป จุลินทรีย์จะตายทดสอบการจุดไฟ พบว่าจุดไฟติด แต่ได้เปลวไฟสีส้ม และไม่ต่อเนื่อง	เติมปูนขาว 50 กิโลกรัม
23 มีนาคม 54	เติมกากมันสำปะหลัง 30 กก. วัด pH 6.78 อุณหภูมิ 27.5 °C พบว่าก๊าซที่ได้จุดไฟติดและได้เปลวไฟสีน้ำเงินต่อเนื่อง		

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดระเบิดของโรงผลิตก๊าซชีวภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดระเบิดของโรงผลิตก๊าซชีวภาพ

กรณีศึกษา	:	โรงงานผลิตแป้งมัน บริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด
สถานที่	:	ถนนสายชัยภูมิ-สีคิ้ว ต.ละหาน อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ
เหตุเกิดวันที่	:	25 กุมภาพันธ์ 2554
จำนวนคนงาน	:	100 คน
จำนวนผู้เสียหาย	:	ผู้ได้รับบาดเจ็บ 30 คน เสียชีวิต 8 คน
เหตุการณ์	:	เกิดจากการระเบิดของท่อส่งก๊าซชีวภาพ

สาเหตุเนื่องจาก

1. สาเหตุการระเบิดเกิดจากผ้ายางพลาสติกที่คลุมบ่อและท่อส่งแก๊สชีวภาพ เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เองเกิดการฉีกขาด เนื่องจากมีลมกระโชกแรงจนแก๊สพัดเข้ามาภายในโรงงานที่อยู่ห่างออกไปประมาณ 50-100 เมตร จนเกิดระเบิดขึ้นมา (โอเคเนชั่น, 2554 :ออนไลน์)

2. อาจจะมีการรั่วไหลของแก๊สที่รุนแรงมีปริมาณมากในบริเวณที่เป็นจุดอับ อากาศไม่ถ่ายเท ทำให้แก๊สปริมาณมากอัดแน่นอยู่ในบริเวณนั้น เมื่อมาเจอกับประกายไฟที่อาจจะเกิดจากการโทรออกหรือรับสายโทรศัพท์มือถือ ตลอดจนการเสียบปลั๊กซึ่งเกิดประกายไฟ หรือสะเก็ดไฟจากการเผา เป็นชนวนทำให้บริเวณนั้นเกิดระเบิดขึ้นได้ทันที โดยจะลุกลามจากถังหนึ่งไปอีกถังหนึ่ง ส่วนที่เกิดเหตุเพลิงไหม้เป็นเวลานานอาจเกิดจากมีเชื้อเพลิงอย่างอื่น เช่น พลาสติก เศษไม้ ปะปนมาด้วย (โอเคเนชั่น, 2554 :ออนไลน์)

3. อาจเกิดจากการปรับสัดส่วนของก๊าซเทนของก๊าซชีวภาพ โดยปกติต้องเติมก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ แต่เนื่องจากมีราคาแพงจึงใช้การเติมก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่ช่วยให้ไฟติดเมื่อการการรั่ว จึงมีการระเบิดได้ (สมหมาย ระย้าย้อย, 2554)

4. ก๊าซมีเทน เป็นส่วนประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลจะกระจายตัวขึ้นสู่บรรยากาศโดยรวดเร็ว (ปตท, 2551 : ออนไลน์) จึงไม่เกิดการระเบิดได้โดยง่าย

ภาคผนวก ค
การบำบัดน้ำเสีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้
(กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)

1. **การบำบัดขั้นต้น** (preliminary treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ ตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด ถังดักกรวดทราย ถังตกตะกอนเบื้องต้น (และเครื่องกำจัดไขฝ้า การบำบัดน้ำเสียขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 50 - 70 และกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้ ร้อยละ 25 - 40

2. **การบำบัดขั้นที่สอง** (secondary treatment) เป็นการบำบัดทางชีวภาพ ใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว แต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กและสารอินทรีย์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำเหลือค้างอยู่ หลักการจะเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ละแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้ง โดยใช้ถังตกตะกอนทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น หลังจากนั้นจึงผ่านเข้าระบบฆ่าเชื้อโรค และระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือนำกลับไป ใช้ประโยชน์ใหม่ การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของ บีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80

3. **การบำบัดขั้นสูง** (advance treatment หรือ tertiary treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สี สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก และอื่นๆ ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดโดยกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และช่วยป้องกันการเติบโตผิดปกติของสาหร่ายที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำเน่า กระบวนการบำบัดขั้นสูง ได้แก่

- การกำจัดฟอสฟอรัส ซึ่งมีทั้งแบบใช้กระบวนการทางเคมีและแบบใช้กระบวนการทางชีวภาพ
- การกำจัดไนโตรเจน ซึ่งมีทั้งแบบใช้กระบวนการทางเคมีและแบบใช้กระบวนการทางชีวภาพ โดยวิธีการทางชีวภาพนั้นจะมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนเทรต ที่เกิดขึ้นในสภาวะแบบใช้ออกซิเจน หรือที่เรียกว่า กระบวนการไนทริฟิเคชั่น (nitrification) และขั้นตอนการเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจน หรือที่เรียกว่า กระบวนการดีไนทริฟิเคชั่น (denitrification)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนร่วมกันโดยกระบวนการทางชีวภาพ เป็นการใช้ทั้งกระบวนการแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชันร่วมกับกระบวนการจับใช้ฟอสฟอรัส ซึ่งต้องมีการใช้กระบวนการแบบไม่ใช้อากาศต่อด้วยกระบวนการใช้อากาศ ทั้งนี้จะต้องดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ

- การกรอง (filtration)

- การดูดติดผิว (absorption) เป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสียโดยการดูดติดบนพื้นผิวของของแข็ง รวมถึงการกำจัดกลิ่นหรือก๊าซที่เกิดขึ้น

ระบบบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment system) อาจแบ่งออกได้เป็น 5 แบบ ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ เป็นต้น

1. **ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร** (Stabilization Pond) อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบ คือ

- บ่อแอนแอโรบิก (anaerobic pond) ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงโดยบำบัดแบบไร้อากาศ หลังจากนั้นจะระบายต่อไปยังบ่อแฟคคัลเททีฟ

- บ่อแฟคคัลเททีฟ (facultative pond) นิยมใช้มากที่สุด ภายในบ่อมีลักษณะการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิก ได้รับออกซิเจนจากการถ่ายเทอากาศที่บริเวณผิวน้ำและจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนแอโรบิคเนื่องจากแสงแดดจะส่องไม่ถึงจึงมีปริมาณออกซิเจนต่ำและเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจนจึงทำงานเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิดก๊าซลอยขึ้นมา แต่ก๊าซต่าง ๆ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนบริเวณบ่อส่วนบนทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น จะเกิดปัญหาเมื่อปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป เมื่อถึงเวลากลางคืนสาหร่ายจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้เกิดสภาวะกรด และปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำลง ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้นได้

- บ่อแอโรบิก (aerobic pond) เป็นบ่อที่มีจุลินทรีย์และสาหร่ายอยู่ทั่วไป มีความลึกไม่มากนักเพื่อให้ออกซิเจนกระจายได้ทั่วทั้งบ่อ ออกซิเจนในบ่อได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการเติมอากาศที่ผิวหน้า และแสงแดดที่ส่องเข้าไปได้ทั่วทั้งบ่อสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ หากทำบ่อ

หลายบ่อต่อเนื่องกัน บ่อสุดท้ายจะเป็นบ่อบ่ม (maturation pond) มีความลึกไม่มากและแสงแดดส่องถึงก้นบ่อ ใช้รองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว เพื่อฟอกน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำดีขึ้นและอาศัยแสงแดดทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. **ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ** (Aerated Lagoon หรือ AL) ใช้การเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่น เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์แบบต้องการออกซิเจนในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการกวนให้ทั่วถึง บ่อประเภทนี้สามารถลดค่าบีโอดี ได้ร้อยละ 80-95 การออกแบบบ่อ ออกแบบบ่อให้มีความลึก ประมาณ 2-6 เมตร ระยะเวลา 3-10 วัน และส่งไปยังบ่อบ่ม เพื่อตกตะกอนและปรับสภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

3.**ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์** (Constructed Wetland) ใช้กระบวนการทางธรรมชาติ เป็นระบบบำบัดในขั้นที่ 2 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย และลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ มี 2 ประเภทได้แก่

3.1 แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับบึงธรรมชาติ

- ส่วนแรก ปลูกพืชสูงโผล่พ้นน้ำ รากเกาะดิน เช่น กก แฝก ธูปฤาษี เพื่อช่วยในการกรองและตกตะกอนของสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ ทำให้กำจัดสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ได้บางส่วน

- ส่วนที่สอง ปลูกพืชชนิดลอยอยู่บริเวณบนผิวน้ำ เช่น จอก แหน บัว สาหร่าย จอกแหน แสงแดดส่องถึงทำให้มีสาหร่ายเจริญเติบโตเป็นการเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เป็นการลดค่าบีโอดีในน้ำเสีย และยังเกิดสภาพไนตริฟิเคชั่น หรือการจับไนโตรเจนโดยออกซิเจนด้วย

- ส่วนที่สาม มีการปลูกพืชในลักษณะเดียวกับส่วนแรก เพื่อช่วยกรองสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่ และทำให้เกิดสภาพดิไนตริฟิเคชั่น หรือกระบวนการปล่อยก๊าซไนโตรเจน เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลง สามารถลดสารประกอบไนโตรเจนได้

3.2 แบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) จะใช้ชั้นดินปนทรายสำหรับปลูกพืชน้ำและชั้นหินรองก้นบ่อเพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสีย ในบางประเทศใช้ระบบนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเกรอะ และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบ่อปรับเสถียร ระบบแอกติเวเต็ดจ์สลัดจ์ ระบบอาร์บีซี หรือใช้น้ำที่ระบายออกจากอาคารดักน้ำเสีย (CSO) เป็นต้น พืชที่ปลูกในระบบ จะเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย ทำให้ด้านล่างมีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน และยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยจะมีตัวกลาง (media) เป็นที่สำหรับให้รากของพืชยึดเกาะ ช่วยให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าระบบและช่วยรวบรวมน้ำทิ้งก่อนระบายออก เป็นที่สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และสำหรับใช้กรองสารแขวนลอยต่าง ๆ

4. **ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์** (Activated Sludge Process) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา โดยใช้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนเป็นหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาเป็นหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completly Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไป ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (aeration tank) และถังตกตะกอน (sedimentation tank) น้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีตะกอนอยู่จำนวนมาก จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำใส ตะกอนตกอยู่ในถังอีกใบและจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และส่วนตะกอนส่วนเกิน จะต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์รูปแบบต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completly Mixed Activated Sludge: CMAS) จะมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนให้น้ำและสลัดจ์ที่อยู่ในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งถัง สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (shock load) ได้ดี เนื่องจากน้ำเสียจะกระจายไปทั่วถึง ออกซิเจนกระจายตัวสม่ำเสมอทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ทั่วตลอดทั้งถัง (uniform population)

4.2 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge; CSAS) แบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถังอิสระจากกัน ได้แก่ ถังสัมผัส (contact tank) และถังย่อยสลาย (stabilization tank) จะมีการนำตะกอนจากขั้นสองกลับมาเติมอากาศใหม่ในถังย่อยสลายและจะถูกส่งต่อมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัสเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ความเข้มข้นของตะกอนจะลดลง น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะไหลไปยังถังตกตะกอนขั้นที่สองเพื่อแยกตะกอนกับส่วนน้ำใส ซึ่งจะถูกระบายออกจากระบบ ตะกอนที่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังย่อยสลายอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปทิ้ง ทำให้บ่อเติมอากาศมีขนาดเล็กกว่าบ่อเติมอากาศของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ทั่วไป

4.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นระบบแอกทิเวเต็ดจ์สลัดจ์ประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (fill-and-draw Activated Sludge) การเติมอากาศ และการตกตะกอน (sedimentation) จะอยู่ภายในถังใบเดียวกัน โดยการเดินระบบ 1 รอบการทำงาน จะมี 5 ช่วง ดังนี้

1) ช่วงเติมน้ำเสีย (fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ
2) ช่วงทำปฏิกิริยา (react) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD)
3) ช่วงตกตะกอน (settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังปฏิกิริยา
4) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (draw) ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด
5) ช่วงพักระบบ (idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่

4.4 ระบบบำบัดน้ำเสียคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) ใช้จุลินทรีย์พวกที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนก่อนที่จะถูกแยกออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีการตกตะกอน รูปแบบของถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรีหรือวงกลม

ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (plug flow) ของถังเติมอากาศ และรูปแบบการกวนที่ใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน รูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า แอน็อกซิก (anoxic zone) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^{2-}) ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (*Nitrosomonas Spp.* และ *Nitrobactor Spp.)* ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้

5.ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor ; RBC) น้ำเสียจะไหลผ่านตัวกลางลักษณะทรงกระบอกซึ่งวางจุ่มอยู่ในถังบำบัด เมื่อตัวกลางทรงกระบอกหมุนอย่างช้าๆ ขึ้นพ้นน้ำและสัมผัสอากาศ จุลินทรีย์ที่ติดอยู่กับตัวกลางจะใช้ออกซิเจนจากอากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สัมผัสติดตัวกลางขึ้นมา และเมื่อหมุนจมลงก็จะนำน้ำเสียขึ้นมาบำบัดใหม่สลับกันเช่นนี้ตลอดเวลา เมื่อจำนวนจุลินทรีย์ยึดเกาะแผ่นจานหมุนหนามากขึ้น จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์บางส่วน หลุดลอกจากแผ่นจานเนื่องจากแรงเฉือนของการหมุน เป็นการรักษาความหนาของแผ่นตะกอนจุลินทรีย์ให้ค่อนข้างคงที่โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยที่ไหลออกจากถังปฏิกิริยา จะเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบนี้มีคุณภาพดีขึ้น

การบำบัดกากตะกอนหรือสลัดจ์ (sludge treatment)

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีกากตะกอนจุลินทรีย์หรือเรียกว่าสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการกินสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบำบัดกากตะกอนเหล่านั้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของกากตะกอน การเพิ่มภาวะมลพิษ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย นอกจากนี้การลดปริมาตรของกากตะกอนโดยการกำจัดน้ำออกจากกากตะกอนช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ทั้งนี้ในการบำบัดกากตะกอนประกอบด้วยกระบวนการหลัก ๆ ได้แก่

1. การทำข้น (thickener) ใช้ถังทำข้นทำให้เกิดการตกตะกอนและใช้กลไกการลอยตัว

2. การทำให้กากตะกอนคงตัว (stabilization) ใช้กระบวนการใช้อากาศ หรือไร้อากาศเพื่อลดสารอินทรีย์ในกากตะกอน ทำให้สามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น

3. การปรับสภาพกากตะกอน (conditioning) เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดิน เป็นต้น

4. การรีดน้ำ (dewatering) เพื่อลดปริมาณกากตะกอนลง ก่อนที่จะทิ้งโดยการฝังกลบ การเผา หรืออื่น ๆ เพื่อความสะดวกในการขนส่ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสูญญากาศ (vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (filter press) หรือเครื่องกรองหมุนเหวี่ยง (centrifuge) และการทำลานตากตะกอน (sludge drying bed)

การกำจัดกากตะกอน (sludge disposal)

หลังจากกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้ไม่มีกลิ่นเหม็น มีปริมาตรลดลง และมีความคงตัว เพื่อความสะดวกในการขนส่งแล้ว ขั้นต่อมาคือ การนำกากตะกอนไปกำจัด ในปัจจุบันใช้วิธีการต่าง ๆ ดังนี้

- การฝังกลบ (landfill) เป็นการนำกากตะกอนมาฝังและกลบด้วยชั้นดิน
- การหมักทำปุ๋ย (composting) : เป็นการนำกากตะกอนมาหมักต่อเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย เนื่องจากในกากตะกอนยังมีแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ คงเหลืออยู่
- การเผา (incineration) : เป็นการนำกากตะกอนที่ใกล้แห้งมาเผา เนื่องจากไม่สามารถใช้ทำปุ๋ยได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

1. **ประวัติส่วนตัว**

วัน เดือน ปี เกิด	22 กรกฎาคม 2514
ที่อยู่ปัจจุบัน	67/30 หมู่บ้านเมืองเอก 2 ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
	Email : patrakha@hotmail.com

2. **ประวัติการศึกษา**

พ.ศ. 2552	กำลังศึกษา ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2540	ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีระบบสารสนเทศ สถาบันพัฒนบริหารศาสตร์
พ.ศ. 2532	ระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2529	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา พญาไท
พ.ศ. 2526	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

3. **ประสบการณ์การทำงาน**

พ.ศ. 2541-2543	ผู้จัดการฝ่ายขาย บริษัท จีฟ โปรดักท์ เซ็นเตอร์ จำกัด
พ.ศ. 2540-2541	ผู้ประสานงานโครงการ บริษัท ดี.ซี.เอ็ม. 2000 จำกัด
พ.ศ. 2536-2540	ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและควบคุมคุณภาพ หจก.ไทยอะโกรฟู้ดส์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย