

การวิเคราะห์การใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
จากฟาร์มสุกร

นางสาวกมลชนก สนิททรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ANALYSIS OF ORGANIC UTILIZATION OF BIOGAS SYSTEM
FROM PIG FARM

Miss Kamonchanok Sanitsup

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จากฟาร์มสุกร
โดย	นางสาวกมลชนก สนิททรัพย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. จักรกริสน์ เนื่องจำนงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. จักรกริสน์ เนื่องจำนงค์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีณย์ เตชะเสน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ณัฐสิทธิ์ เกียรวิวัฒน์ชัย)

กมลชนก สนิททรัพย์ : การวิเคราะห์การใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร. (ANALYSIS OF ORGANIC UTILIZATION OF BIOGAS SYSTEM FROM PIG FARM) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์, อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. น.สพ. ดร. จักรกริสน์ เนื่องจำนงค์, 155 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการใช้สารอินทรีย์ และศึกษาการปล่อยสารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยสมดุลมวลของชีโอดีจากฟาร์มสุกรแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี โดยจะเก็บข้อมูลจากการออกแบบและการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพตามทฤษฎีและจากการสำรวจภาคสนามจริง เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด 1,554 ตัวอย่าง เป็นระยะเวลา 9 เดือน นำมาวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า ระบบจริงมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายดีกว่าชีโอดีทั้งหมด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 80.55 % ชีโอดีละลาย 85.59 % เมื่อพิจารณาจากค่าอัตราส่วนชีโอดีละลายต่อชีโอดีในน้ำเสียที่เข้าระบบพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.27 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่เข้าระบบนั้น ชีโอดีจะอยู่ในรูปของแข็งมากกว่าในรูปของสารละลาย จากนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างสมดุลมวลของชีโอดีเพื่อประเมินการปล่อยสารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 สถานะ พบว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีการปล่อยสารอินทรีย์ในสถานะของเหลวเท่ากับ 418.90 กก.ชีโอดี/วัน สถานะของแข็งเท่ากับ 679.79 กก.ชีโอดี/วัน และสถานะก๊าซ โดยเป็นก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบจริงเท่ากับ 1,459.38 ลบ.ม./วัน เมื่อใช้ค่าร้อยละของมีเทนเท่ากับ 53 จะได้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากระบบจริงเท่ากับ 773.47 ลบ.ม./วัน และมีปริมาณสารอินทรีย์ที่คงค้างอยู่ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,868.83 กก.ชีโอดี/วัน ระบบจะต้องระมัดระวังการจัดการของแข็งเนื่องจากระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งโดยการตกตะกอนค่อนข้างสูง คิดเป็น 82.73%

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2555..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

##5270205421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIOGAS SYSTEM / ORGANIC / PIG FARM

KAMONCHANOK SANITSUP : ANALYSIS OF ORGANIC UTILIZATION OF
 BIOGAS SYSTEM FROM PIG FARM. ADVISOR : ASST.PROF. PICHAYA
 RACHDAWONG, Ph.D., CO-ADVISOR : ASSOC.PROF. CHACKRIT
 NUENGJAMNONG, D.Tech. Sc., 155 pp.

This study focused on pig farm biogas system performance with respect to COD removal efficiency and emissions of organics. An investigation of COD mass balance for a biogas system in a pig farm in Ratchaburi province was conducted. The data of the biogas system was collected. The 1,554 actual wastewater samples from biogas system, were collected over a 9 month period. Important parameters for wastewater were analyzed for performance evaluation. From the analysis, COD and sCOD removal efficiencies of the system were good. The average removal efficiencies of COD and soluble COD (sCOD) were 80.55% and 85.59%, respectively. The ratio of sCOD to COD of the influent was 0.27, indicating that the COD of incoming wastewater COD was mostly in solid form. Then, the mass balance of COD was computed to estimate emissions of organic in three phases: liquid, solid, and gas. From the analysis, organics coming out in liquid phase was around 418.90 kg COD/day. Solid phase accounted for 679.79 kg COD/day of the system output. For the output in gas phase, actual biogas production was 1459.38 m³/ day. Using 53 percent methane, the methane gas generated by the system would be 773.47 m³/ day. The amount of organic matter remained in the biogas system was 1868.83 kg COD /day. Solid management for the system must be carefully exercised since the biogas system is very effective for solid removal through sedimentation. The solid removal efficiency was 82.73%.

Department : Environmental Engineering.....

Student's Signature.....

Field of Study : Environmental Engineering

Advisor's Signature.....

Academic Year : 2012.....

Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. จักรกริสน์ เนื่องจำนงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นทั้งในเชิงวิชาการ กระบวนการคิดต่างๆ รวมไปถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีณย์ เตชะเสน และ ดร.ณัฐสิทธิ์ เจียรวัฒน์ชัย ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

กราบขอบพระคุณ ฟาร์มสุกรตัวอย่าง อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพและตัวอย่างน้ำเสียจากระบบมาใช้ในการงานวิจัย

กราบขอบพระคุณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้เงินทุนสนับสนุนทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รุ่นที่ 17 ครั้งที่ 1/2555 ภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2554 กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

กราบขอบพระคุณ น.สพ. ต่อศักดิ์ ธรรม โภคิน ที่กรุณาติดต่อประสานเรื่องฟาร์มสุกรตัวอย่าง ให้ผู้ทำวิทยานิพนธ์สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลและตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อมาใช้ในการงานวิจัยนี้

กราบขอบพระคุณ คณาจารย์ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ด้านต่างๆ แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อนและรุ่นพี่ นิสิตปริญญาโททุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจเสมอมา

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ฟาร์มสุกร.....	4
2.1.1 การแบ่งขนาดฟาร์มสุกร.....	4
2.1.2 ของเสียจากฟาร์มสุกร.....	5
2.2 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	6
2.2.1 กระบวนการเกิดน้ำเสียของฟาร์มสุกร.....	6
2.2.2 ปริมาณน้ำเสียและมลพิษจากฟาร์มสุกร.....	9
2.2.3 ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	16
2.2.4 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร.....	19
2.3 ปัญหาและอุปสรรคของระบบก๊าซชีวภาพ (Biogas System).....	20
2.3.1 สถานภาพเทคโนโลยี (Technology Status Overview).....	20
2.3.2 ปัญหาและอุปสรรคหลักของการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงาน.....	23
2.4 การใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อบำบัดมลภาวะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์.....	24
2.4.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบก๊าซชีวภาพ.....	24
2.4.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย (Biogas system).....	27
2.5 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร.....	33

2.5.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).....	33
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร.....	39
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมมูลมวล.....	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	48
3.1 แผนการวิจัย.....	48
3.2 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.2.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์.....	50
3.2.2 เคมีภัณฑ์.....	50
3.2.3 ดังปฏิกรณ์ของระบบจากฟาร์มที่ศึกษา.....	51
3.2.4 เครื่องวัดอัตราการไหล.....	52
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	57
3.3.1 การคัดเลือกฟาร์มสุกรตัวอย่าง.....	57
3.3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย.....	59
3.3.3 ศึกษาข้อมูลการควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรตัวอย่าง....	65
3.3.4 การสร้างสมมูลมวล.....	66
3.3.5 ประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	67
3.3.6 ประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ที่ออกจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	68
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	69
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของฟาร์มตัวอย่าง.....	69
4.1.1 ข้อมูลจากการสำรวจ.....	69
4.1.2 ประเภทของสุกรและจำนวนสุกรทั้งหมด.....	70
4.1.3 ลักษณะของการบำบัดน้ำเสีย.....	71
4.1.4 การกำจัดของเสียก่อนเข้าระบบบำบัด.....	71
4.1.5 ขนาดของระบบบำบัด.....	71
4.1.6 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง.....	72
4.1.7 ผลที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย.....	72

	หน้า
4.1.8 ประสิทธิภาพของระบบบำบัด.....	72
4.1.9 เหตุผลในการเลือกระบบบำบัด.....	72
4.1.10 กระบวนการเกิดน้ำเสียของฟาร์มตัวอย่าง.....	72
4.1.11 การคำนวณการประเมินการเกิดน้ำเสียจากสูตรตามกรมควบคุม มลพิษ.....	73
4.2 อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ น้ำเสียออกจากระบบ และตะกอน.....	73
4.3 ภาพรวมของระบบ และการเลือกชุดข้อมูลมาวิเคราะห์สมดุลมวล.....	74
4.3.1 ค่าการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพตามทฤษฎีการออกแบบจริง และการคำนวณ.....	74
4.3.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย.....	75
4.3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียตามตัวแปรที่เกี่ยวข้อง.....	76
4.4 การสร้างสมดุลมวล.....	97
4.4.1 สมดุลมวลของชีโอดี.....	98
4.4.2 สมดุลมวลของชีโอดีละลาย.....	101
4.5 การประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	101
4.5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี.....	102
4.5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลาย.....	103
4.5.3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย.....	104
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	106
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	106
5.1.1 ประสิทธิภาพการใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	106
5.1.2 ประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	106
5.1.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	108
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	118
ภาคผนวก ก ฟาร์มสุกรที่ศึกษา.....	119
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	131
ภาคผนวก ค การคำนวณ.....	147

ญ

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 155

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 วิธีคำนวณน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ – ฟาร์มสุกร.....	5
2.2 ปริมาณอุจจาระและปัสสาวะที่สุกรขับถ่ายเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน.....	7
2.3 ปริมาณและคุณสมบัติของสิ่งขับถ่ายของสุกรขนาดน้ำหนักตัวต่างๆ.....	8
2.4 อัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง.....	10
2.5 ค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง.....	14
2.6 ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั่วไป.....	18
2.7 ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดีจากฟาร์มสุกร ปี 2545 จำแนกตามขนาดฟาร์ม.....	19
2.8 มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร.....	20
2.9 เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในประเทศไทย.....	21
2.10 สถานภาพปัจจุบันของเทคโนโลยี การผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งของเสีย.....	22
2.11 ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิตด้านเทคโนโลยีถึงปฏิกรณ์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	28
2.12 ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิตด้านเทคโนโลยีระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ.....	28
2.13 ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิตด้านระบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ.....	29
2.14 ข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	32
2.15 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี.....	37
3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยทั่วไป.....	59
3.2 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง จำนวนตัวอย่าง และความถี่ในการเก็บตัวอย่าง.....	62
3.3 ตัวแปรควบคุมและค่าที่ทำการควบคุม.....	63
3.4 ตัวแปรตามและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำตัวอย่าง.....	64
3.5 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปร.....	67
4.1 แสดงจำนวนสุกรทั้งหมดของฟาร์ม.....	70
4.2 คำนวณขนาดของฟาร์มสุกรตัวอย่างตามน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวม.....	70
4.3 แสดงอัตราการเกิดน้ำเสียของฟาร์มตัวอย่างจากสูตรการคำนวณ.....	73

ตารางที่	หน้า
4.4 เกณฑ์การออกแบบและการดินระบบตามทฤษฎี ตามการออกแบบจริงและจาก การคำนวณ.....	75
4.5 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำเสียตัวอย่าง.....	94
4.6 ร้อยละก๊าซมีเทนของระบบจากฟาร์มตัวอย่าง.....	97
4.7 สมดุลมวลของชีโอดี.....	98
4.8 ปริมาณก๊าซมีเทนจากชีโอดีที่ค้างอยู่ในระบบ.....	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเลี้ยงสุกรขุน.....	11
2.2 การเลี้ยงสุกรแม่พันธุ์.....	12
2.3 การเลี้ยงสุกรอนุบาล.....	15
2.4 ขั้นตอนประเมินปริมาณมลพิษจากฟาร์มสุกรที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม.....	17
2.5 การเก็บกวาดมูลสุกร.....	18
2.6 ลักษณะน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร.....	19
2.7 ขั้นตอนและปฏิบัติการการเกิดก๊าซชีวภาพ.....	26
2.8 จำนวนระบบผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยแยกตามชนิดของเทคโนโลยี.....	27
2.9 สถานภาพระบบก๊าซชีวภาพในประเทศไทย.....	30
2.10 สถานภาพการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบันแยกตามชนิดของแหล่งของเสีย.....	31
2.11 ระบบก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร.....	33
2.12 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	34
2.13 ส่วนประกอบหลักของถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี.....	35
2.14 ระบบยูเอเอสบี.....	36
2.15 ขั้นตอนการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ศึกษา.....	38
3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของการทำวิจัย.....	49
3.2 แบบจำลองถังปฏิกรณ์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา.....	51
3.3 ลักษณะภายในของถังปฏิกรณ์.....	52
3.4 แพลนแสดงระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา.....	53
3.5 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ.....	54
3.6 เครื่องวัดอัตราการไหลก๊าซชีวภาพของฟาร์มที่ศึกษา.....	54
3.7 ตำแหน่งวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ.....	55
3.8 เครื่องประมวลผลข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเสียและก๊าซ.....	55
3.9 โปรแกรม ReadWin 2000.....	56
3.10 ฝ่ายวัดน้ำชนิดสี่เหลี่ยม.....	56
3.11 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มตัวอย่าง.....	59

ภาพที่	หน้า
3.12 แผนผังตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง.....	60
3.13 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบ.....	61
3.14 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าลานตากตะกอนต้นบ่อ.....	61
3.15 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าลานตากตะกอนท้ายบ่อ.....	61
3.16 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนออกจากระบบ.....	62
3.17 แผนผังสมดุลมวล.....	66
3.18 แผนผังแสดงตัวแปรที่วัดและจุดตรวจวัด.....	68
4.1 อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	74
4.2 อุณหภูมิ.....	76
4.3 ความเป็นกรด ต่าง.....	78
4.4 ซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	79
4.5 ซีโอดีน้ำเสียตะกอนต้นบ่อและท้ายบ่อ.....	79
4.6 ซีโอดีละลายของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	81
4.7 ซีโอดีละลายของน้ำเสียตะกอนต้นบ่อและท้ายบ่อ.....	81
4.8 ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	83
4.9 ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียตะกอนต้นบ่อและท้ายบ่อ.....	83
4.10 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	85
4.11 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียตะกอนต้นบ่อและท้ายบ่อ.....	85
4.12 ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ.....	86
4.13 ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียตะกอนต้นบ่อและท้ายบ่อ.....	87
4.14 ทีเคเอ็นของน้ำเสีย.....	88
4.15 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน.....	89
4.16 กรดอินทรีย์ระเหยของน้ำเสีย.....	91
4.17 ความเป็นด่างของน้ำเสีย.....	92
4.18 อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและความเป็นด่าง.....	93
4.19 ปริมาณก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา.....	95
4.20 การปล่อยสารอินทรีย์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา.....	100
4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....	102
4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย.....	103

ภาพที่	หน้า
4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย.....	104
4.24 อัตราส่วนระหว่างซีโอดีละลายต่อซีโอดี.....	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่เป็นต่อชีวิต มีผลต่อความเป็นอยู่ตั้งแต่ระดับครอบครัวไปจนถึงระดับประเทศและทั่วโลก อีกทั้งยังเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม สำหรับประเทศไทย แม้ว่าเราจะสามารถพัฒนาทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ เช่น พลังน้ำ ถ่านลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งน้ำมันดิบ แต่ประเทศไทยก็ยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานกว่าครึ่งหนึ่งของความต้องการ ได้แก่ ไฟฟ้ามาจากน้ำและเชื้อเพลิง ซึ่งนับวันเชื้อเพลิงต่างๆ เหล่านั้นยิ่งหายากและมีราคาสูงขึ้น อีกทั้งมีระยะเวลาในการใช้งานอย่างจำกัด นอกจากนี้กว่าร้อยละ 80 ของพลังงานที่ใช้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิล ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้ในปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนรูปแบบอื่นๆ มากขึ้น ซึ่งก๊าซชีวภาพ (Biogas) นับเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มพลังงานที่มีลำดับความสำคัญสูง เนื่องจากก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่ได้จากของเสียที่เกิดจากขยะชุมชน การทำฟาร์มปศุสัตว์ การทำเกษตรกรรม และจากอุตสาหกรรมอาหาร (Cu'ellar และ Webber, 2010) โดยส่วนใหญ่การผลิตก๊าซชีวภาพจากการทำฟาร์มปศุสัตว์จะมาจากกรเลี้ยงสุกร การเลี้ยงสุกรมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากเกษตรกรมีการปรับปรุงและพัฒนาด้านการผลิตในเชิงการค้ามากขึ้น แต่นอกเหนือจากผลผลิตที่ได้มากขึ้นแล้ว ฟาร์มเลี้ยงสุกรยังคงมีปัญหาในเรื่องของการผลิตก๊าซชีวภาพให้ได้เต็มตามศักยภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas system) อีกทั้งสารอินทรีย์ที่ไม่ถูกกำจัดในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะมีการเปลี่ยนรูปต่อเนื่องกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งจะมีผลต่อสภาวะเรือนกระจกของบรรยากาศโลกที่ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น (สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ, 2543) แต่ถ้ามีการกักเก็บก๊าซมีเทนหรือผลิตให้มีประสิทธิภาพจะสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานทดแทนได้ และสามารถลดปัญหาสภาวะเรือนกระจกได้อีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และประเมินการปล่อยสารอินทรีย์จากฟาร์มสุกร โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือศึกษารวบรวมและวิเคราะห์การใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร เพื่อให้สามารถนำไปปรับปรุงระบบผลิต ก๊าซชีวภาพให้มีความเหมาะสม และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ไม่ทำให้เกิดการ

ปล่อยก๊าซมีเทนหรือก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามประกอบกับการวิเคราะห์ระบบโดยใช้สมดุลมวล (Mass balance) เป็นเครื่องมือ นอกจากนี้ยังจะใช้เอกสารประกอบเกณฑ์การออกแบบ (Design) รวมไปถึงเกณฑ์การเดิน (Operating) ระบบมาประกอบการพิจารณาด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. วิเคราะห์การใช้สารอินทรีย์ (Organic) ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร
2. ประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ทั้ง 3 สถานะ คือของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาทำในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ศึกษาความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนสถานะของสารอินทรีย์ทั้ง 3 สถานะ คือของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยใช้ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) และซีโอดีละลาย (Soluble COD: sCOD) เป็นตัวชี้วัด

3. เก็บตัวอย่างน้ำเสียและเก็บรวบรวมข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกรจากฟาร์มแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)

4. วัดอัตราการไหลของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ที่เข้าและออกจากระบบยูเอเอสบี

5. เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด คือ น้ำเสียก่อนเข้าระบบ น้ำเสียก่อนเข้าลานตากตะกอนต้นบ่อ น้ำเสียก่อนเข้าลานตากตะกอนท้ายบ่อ และน้ำเสียออกจากระบบ รวมทั้งเก็บตัวอย่างตะกอนของน้ำเสีย แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าตัวแปร ดังนี้ ของแข็งทั้งหมด (Total solids: TS), ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids: SS), ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile suspended solids: VSS), ซีโอดี, ซีโอดีละลาย, ความเป็นกรด-ด่าง (pH), สภาพด่าง (Alkalinity), กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid: VFA), อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) และค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation - Reduction Potential: ORP)

6. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทั้งในรูปแบบของเกณฑ์การออกแบบ (Design) และเกณฑ์การเดินระบบ (Operate)

7. เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรและผู้ควบคุมระบบของฟาร์มตัวอย่าง

8. ประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์จากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จากซีโอดีคองเหลือ และตะกอนของน้ำเสีย

9. นำข้อมูลจากการรวบรวมเอกสารทั้งหมดและข้อมูลจากการสัมภาษณ์มาสร้างสมมูลมวลของ ซีโอดี และซีโอดีละลาย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรในปัจจุบัน
2. ทราบถึงปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์จากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร
3. ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
4. สามารถใช้เป็นข้อมูลให้กับฟาร์มสุกรตัวอย่าง เพื่อปรับปรุงหรือพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพให้ผลิตก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟาร์มสุกร

กิจการเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรในปัจจุบันมีอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ประกอบด้วยฟาร์มสุกรทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ รวมทั้งการเลี้ยงตามบ้านแบบดั้งเดิม การเลี้ยงสุกรส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น คือเกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง อีกทั้งยังเกิดปัญหากลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์พาหะนำโรค ซึ่งทำให้เกิดความเดือดร้อนแก่ชุมชนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงฟาร์มได้ ดังนั้นฟาร์มสุกรเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีการจัดการของเสียและน้ำเสียจากฟาร์มสุกรอย่างเหมาะสม รวมทั้งขณะนี้กรมควบคุมมลพิษได้มีการออกประกาศค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เพื่อควบคุมให้ฟาร์มสุกรต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนจะระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่ทั้งนี้ต้องอาศัยความร่วมมือของเกษตรกร และผู้ประกอบการเป็นสำคัญเพื่อเป็นการช่วยกันรักษาทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อมที่ดีไว้ตลอดไป รวมทั้งเพื่อให้ฟาร์มสุกรสามารถอยู่ร่วมกับชุมชนได้อย่างยั่งยืน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.1.1 การแบ่งขนาดฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

การแบ่งขนาดฟาร์มสุกรจะใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) หรือ Livestock Unit เป็นเกณฑ์ เนื่องจากฟาร์มแต่ละแห่งจะประกอบด้วยสุกรที่มีความแตกต่างกันทั้งประเภท ขนาดและช่วงอายุ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยมีข้อกำหนดดังนี้

2.1.1.1 ขนาดของฟาร์มสุกร แบ่งออกเป็น 3 ขนาด ดังนี้

- ขนาดใหญ่ มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ มากกว่า 600 นปส.
(เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน มากกว่า 5,000 ตัว)
- ขนาดกลาง มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ มากกว่า 60 – 600 นปส.
(เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน มากกว่า 500 - 5,000 ตัว)
- ขนาดเล็ก มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ มากกว่า 6 - น้อยกว่า 60 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน มากกว่า 50 - น้อยกว่า 500 ตัว)

2.1.1.2 หลักเกณฑ์การใช้น้ำหนักหน่วยปุ๋ยสัตว์

เมื่อ น้ำหนักหน่วยปุ๋ยสัตว์ 1 หน่วย เท่ากับ น้ำหนักรวม	500	กิโลกรัม
โดย น้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อ-แม่พันธุ์	เท่ากับ	170 กิโลกรัม/ตัว
น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุน	เท่ากับ	60 กิโลกรัม/ตัว
น้ำหนักเฉลี่ยสุกรอนุบาล	เท่ากับ	12 กิโลกรัม/ตัว

วิธีการคำนวณน้ำหนักหน่วยปุ๋ยสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วิธีคำนวณน้ำหนักหน่วยปุ๋ยสัตว์ – ฟาร์มสุกร

	น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)			
สุกรพ่อพันธุ์	250	จำนวนสุกร ตัว × 250	=	
		500		
สุกรแม่พันธุ์	180	จำนวนสุกร ตัว × 180	=	
		500		
สุกรขุน	60	จำนวนสุกร ตัว × 60	=	
		500		
สุกรอนุบาล	15	จำนวนสุกร ตัว × 15	=	
		500		
น้ำหนักหน่วยปุ๋ยสัตว์รวม (นปส.)			=	

หมายเหตุ กรณีน้ำหนักหน่วยปุ๋ยสัตว์รวม (นปส.)

- น้อยกว่า 60 นปส. จัดเป็นฟาร์มขนาดเล็ก (Small Scale)
- ระหว่าง 60-600 นปส. จัดเป็นฟาร์มขนาดกลาง (Medium Scale)
- มากกว่า 600 นปส. จัดเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ (Large Scale)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2550

2.1.2 ของเสียจากฟาร์มสุกร (Kirchner และคณะ, 2004)

ของเสียจากฟาร์มสุกร มี 2 ประเภทหลัก คือ

2.1.2.1 มูลสุกร

การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดมูลสุกรเป็นจำนวนมากหากไม่มีการจัดการที่ดีโดยเฉพาะด้านความสะอาดจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยเฉพาะบนพื้นคอกที่มีการหมักหมมของมูลสุกรและได้พื้นคอกที่มีการตกค้างของมูลสุกร ปัสสาวะ และน้ำจากการล้างคอก นอกจากนี้มูลสุกรที่เก็บกวาดออกจากพื้นคอก เมื่อนำมาตากแห้งต้องมีการดูแลโดยไม่ควรกองทิ้งไว้เป็นเวลานาน เพราะ

จุลินทรีย์, ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิอาจจะทำปฏิกิริยาเกิดก๊าซที่มีกลิ่นได้ (Santosh และคณะ, 2004)

2.1.2.2 น้ำเสีย

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือน ซึ่งในการทำความสะอาดคอกควรเก็บกวาดมูลออกจากพื้นคอกก่อน เพื่อลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

2.2 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียฟาร์มสุกรเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้แหล่งน้ำหลายแห่งเสื่อมโทรม เช่น แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง ตลอดจนคูคลองต่างๆ เป็นต้น เนื่องจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่มักจะตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ มีการระบายน้ำเสียจากฟาร์มลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ซึ่งหากแหล่งน้ำมีขนาดเล็กหรือฟาร์มหลายแห่งปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำเดียวกัน แหล่งน้ำก็ไม่สามารถรองรับความสกปรกเหล่านั้นได้ ฟาร์มบางแห่งอาจจะมีบ่อเก็บกักแต่ยังมีการไหลล้นโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน หรือบางครั้งน้ำฝนก็ไหลชะน้ำเสียที่ถูกระบายทิ้งบนพื้นที่ว่างเปล่าลงสู่แหล่งน้ำหรือพื้นที่ภายนอกฟาร์มได้เช่นกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

2.2.1 กระบวนการเกิดน้ำเสียของฟาร์มสุกร

กระบวนการเกิดน้ำเสียในฟาร์มสุกรมาจากน้ำ ซึ่งน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเลี้ยงสุกรเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีการนำน้ำมาใช้ในการอุปโภค และบริโภค การทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ และทำความสะอาดโรงเรือน น้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม จำพวก น้ำล้างคอกและอุปกรณ์ต่างๆ น้ำเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของเสียของสุกร ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะไหลรวมเข้าสู่ระบบทั้งหมด ประเภทของน้ำเสียจำแนกได้ดังนี้

2.2.1.1 น้ำทำความสะอาดคอกและโรงเรือน

น้ำทำความสะอาดคอกและโรงเรือนเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณมากที่สุด ในฟาร์มสุกร ปริมาณน้ำเสียชนิดนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสุกรที่เลี้ยง เช่น สุกรอนุบาล หรือสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ จะทำความสะอาดคอกทุกวัน วันละ 1 - 2 ครั้ง ในขณะที่การเลี้ยงสุกรขุนมีการทำความสะอาดแตกต่างกันในแต่ละฟาร์ม เช่น บางฟาร์มล้างคอก วันละ 1 ครั้ง บางฟาร์มอาจล้างคอกสัปดาห์ละ 1 - 2 ครั้ง บางฟาร์มทำความสะอาดเพียงโดยการเก็บกวาดมูลสุกร วันละ 1 ครั้ง แต่จะล้างคอกเมื่อครบอายุการขุนสุกร คือ 4 เดือน/ ครั้ง ซึ่งได้เคยมีรายงานปริมาณน้ำที่ใช้ล้างคอกต่อตัวต่อครั้งประมาณ 30 - 40 ลิตร (ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2537) การทำความสะอาดคอกและโรงเรือนของฟาร์มตัวอย่าง

จะทำการล้างคอกหมูขุนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นสุกรชนิดที่ต้องเลี้ยงโดยให้บริโภคอาหารอย่างเต็มที่ เพื่อนำไปจำหน่าย ทำให้มีของเสียเกิดขึ้นในปริมาณมากกว่าสุกรประเภทอื่นหลายเท่า เมื่อมีของเสียเกิดขึ้นมาก ทำให้ใช้น้ำในปริมาณมาก จึงเป็นสาเหตุทำให้น้ำเสียส่วนใหญ่ของระบบมาจากสุกรประเภทนี้

2.2.1.2 น้ำจากการขับถ่ายปัสสาวะและมูลสุกร

จากการเก็บข้อมูลจากฟาร์มตัวอย่าง และข้อมูลทางทฤษฎีพบว่า น้ำเสียจำพวกของเสียของสุกร คือปัสสาวะและมูลสุกรนั้น ปริมาณของของเสียจะขึ้นกับอายุ น้ำหนักตัว อุณหภูมิของอากาศและจำนวนอาหารและน้ำที่สุกรกินเข้าไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอุจจาระและปัสสาวะที่สุกรขับถ่ายเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน

ขนาดของสุกร	น้ำหนักตัว (กก.)	สิ่งขับถ่าย (มูล+ปัสสาวะ) (กก.)	สัดส่วนร้อยละของสิ่งขับถ่ายต่อน้ำหนักตัว
ลูกสุกรอนุบาล	15	1.04	6.93
สุกรหย่านม	30	1.90	6.33
สุกรระยะเจริญเติบโต / ขุน	70	4.60	6.57
สุกรระยะเจริญเติบโต / ขุน	90	5.80	6.44
แม่สุกรท้องว่าง	125	4.03	3.22
แม่สุกรเลี้ยงลูก	170	14.90	8.76
พ่อพันธุ์	160	4.90	3.06

ที่มา : Hobson และ Robertson, 1977 อ้างถึงใน (วีระพันธุ์, 2542)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณและคุณสมบัติของสิ่งขับถ่ายของสุกรขนาดน้ำหนักตัวต่างๆ

ลักษณะ	น้ำหนักสุกร (กิโลกรัม / ตัว)			
	5 - 15	16 - 30	30 - 65	66 -100
สิ่งขับถ่ายทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนักตัว)	7.2	8.5	6.3	4.9
สัดส่วนปัสสาวะต่อมูล (ร้อยละ)	51.5	54.6	51.1	48.0
วัตถุแห้งในมูล (ร้อยละ)	32.5	28.6	28.2	26.0
วัตถุแห้งในปัสสาวะ (ร้อยละ)	4.0	4.0	4.4	5.0
วัตถุรวมในสิ่งขับถ่ายทั้งหมด (ร้อยละ)	12.8	12.2	11.9	11.5

ที่มา : Muller, 1980

2.2.1.3 น้ำกิน น้ำใช้

ในฟาร์มสุกรขนาดกลางและฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ มักใช้วิธีการให้น้ำโดยหัวจ่ายน้ำอัตโนมัติ ถึงแม้จะเป็นอุปกรณ์ให้น้ำที่ช่วยประหยัดน้ำได้มากแต่ก็มีน้ำบางส่วนสูญเสียไปเพราะการรั่วซึมและการกินน้ำของสุกรเกิดน้ำหกหล่นเป็นน้ำทิ้ง มีการประมาณว่า หัวจ่ายน้ำ 1 หัว ที่เกิดการรั่วซึม สามารถทำให้สูญเสียน้ำได้ถึงวันละ 20 - 500 ลิตร (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) น้ำทิ้งเหล่านี้จะไปรวมเป็นน้ำเสียไหลลงสู่ระบบบำบัด นอกจากนี้ยังมีน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ภายในฟาร์ม เช่น การล้างทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องมือการเลี้ยงสุกร น้ำอุปโภคบริโภคของพนักงาน ซึ่งก็นับเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วย

2.2.1.4 เศษอาหาร

อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรโดยส่วนมากประกอบด้วยปลายข้าว ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง มันเส้นบด และปลาป่น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นของแข็งขนาดเล็ก (ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์นครราชสีมา. [ออนไลน์]. 2556, กุมภาพันธ์ 10) เมื่อสุกรกินอาหารบางส่วนจะหล่นลงบนพื้นคอกปะปนกับมูลสุกร และมีการเก็บกวาดทำความสะอาดคอก เศษอาหารเหล่านี้จะปะปนลงสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีส่วนทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลทำให้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความสกปรกมากขึ้น อีกทั้งเมื่ออาหารสุกรมีลักษณะเป็นของแข็งจึงส่งผลทำให้ค่าของแข็งเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน จึงถือว่าเศษอาหารของสุกรก็เป็นแหล่งของการเกิดน้ำเสียด้วย (สมชัย และ สุริยะ, 2543)

2.2.1.5 น้ำฝน

น้ำฝนเป็นน้ำที่นำมาใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภคภายในฟาร์ม ถ้าฟาร์มสุกรไม่มีระบบการจัดการน้ำฝนอย่างมีประสิทธิภาพ จะเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ธีระ เกรอต, 2539)

2.2.2 ปริมาณน้ำเสียและมลพิษจากฟาร์มสุกร

เนื่องจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร การใช้น้ำในฟาร์มแต่ละแห่งจะแตกต่างกันไป จากการศึกษาปริมาณน้ำเสียของฟาร์มในประเทศไทย พบว่า โดยเฉลี่ยปริมาณน้ำเสียในแต่ละวันต่อตัว (เทียบกับสุกรน้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัมต่อตัว) จะอยู่ที่ 27 ลิตรต่อตัว หรือ ประมาณ 222 ลิตรต่อหน่วยปศุสัตว์ (1 หน่วยปศุสัตว์ เทียบเท่ากับน้ำหนักสุกรยืนคอกประมาณ 500 กิโลกรัม) และลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีข้อแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการจัดการของแต่ละฟาร์ม

2.2.2.1 การประเมินปริมาณน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร

การประเมินปริมาณน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร วิธีที่ดีที่สุดและแม่นยำที่สุด คือการเก็บข้อมูลปริมาณการเกิดน้ำเสียของแต่ละฟาร์ม เนื่องจากปริมาณและลักษณะน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ประเภทของสุกรที่เลี้ยงเป็นสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือสุกรอนุบาล กิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย เช่น การล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือนสุกร การขับถ่ายของเสียของสุกร การระบายความร้อนให้แก่สุกร เช่น การฉีดพรม การสร้างส้วมน้ำ การติดตั้งระบบสเปรย์น้ำหรือระบบน้ำหยด รวมทั้งน้ำเสียจากการรั่วไหลของจ๊อบน้ำ ท่อ ข้อต่อต่างๆ ที่กลายเป็นน้ำทิ้งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ ปริมาณและลักษณะน้ำเสียยังขึ้นกับพฤติกรรมในการจัดการฟาร์มของเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรอีกด้วย เช่น กรณีการเก็บกวาดมูลก่อนการฉีดล้างคอก จะทำให้ปริมาณน้ำเสียและความสกปรกของน้ำเสียน้อยกว่ากรณีไม่มีการเก็บกวาดมูลออกก่อนการฉีดล้างคอก (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

อย่างไรก็ตาม ในการประเมินปริมาณน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เพื่อนำมาใช้ประกอบในการวางแผนจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้น การเก็บข้อมูลเป็นรายฟาร์มทำให้ต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน และมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นวิธีที่สะดวกและง่ายที่สุดในการประมาณปริมาณน้ำเสียจากฟาร์มสุกร คือการคำนวณโดย การนำจำนวนสุกรในพื้นที่ศึกษามาคูณกับค่าแนะนำของอัตราการเกิดน้ำเสียของสุกรแต่ละประเภท ซึ่งจากการสำรวจและเก็บข้อมูลอัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสียจำแนกตามประเภทของสุกรที่เลี้ยง คือ สุกรพ่อ-แม่พันธุ์ สุกรขุน และสุกร

อนุบาล พบว่า สุกรพ่อ-แม่พันธุ์มีอัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสียโดยเฉลี่ยต่อตัวสุกรในรอบวันมากที่สุดรองลงมาคือ สุกรขุน และสุกรอนุบาล ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง

ประเภทสุกร	อัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)					
	อัตราการใช้น้ำ			อัตราการเกิดน้ำเสีย		
	สูงสุด	ต่ำสุด	คำแนะนำ	สูงสุด	ต่ำสุด	คำแนะนำ
สุกรพ่อ-แม่พันธุ์	108	83	92	82	50	64
สุกรขุน	50	45	48	26	23	24
สุกรอนุบาล	37	30	32	21	16	20

ที่มา : โครงการสำรวจและเก็บข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียและปริมาณความสกปรกของแหล่งกำเนิดประเภทฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

นำข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียของสุกรแต่ละประเภทข้างต้น และจำนวนสุกรแต่ละประเภทมาใช้ประเมินปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสุกรทั้งหมด ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

$$\text{ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม./วัน)} = \frac{\text{จำนวนสุกรแต่ละประเภท (ตัว)} \times \text{อัตราการเกิดน้ำเสียของสุกรประเภทนั้น (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000 \text{ ลิตร}}$$

1. กรณีสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ (ใช้คำแนะนำ จากตารางที่ 2.2)

$$\text{ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม./วัน)} = \frac{\text{จำนวนสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ (ตัว)} \times 64 \text{ (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000 \text{ ลิตร}}$$

2. กรณีสุกรขุน (ใช้คำแนะนำ จากตารางที่ 2.2)

$$\text{ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม./วัน)} = \frac{\text{จำนวนสุกรขุน (ตัว)} \times 24 \text{ (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000 \text{ ลิตร}}$$

3. กรณีสุกรอนุบาล (ใช้คำแนะนำ จากตารางที่ 2.2)

$$\text{ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม./วัน)} = \frac{\text{จำนวนสุกรอนุบาล (ตัว)} \times 20 \text{ (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000 \text{ ลิตร}}$$

4. กรณีฟาร์มสุกรที่มีการเลี้ยงสุกรครบทุกประเภท ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับผลรวมของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากสุกรแต่ละประเภท
5. กรณีฟาร์มสุกรที่ไม่ทราบประเภทของสุกรที่เลี้ยงจะคำนวณโดยใช้กรณีสุกรขุนเป็นตัวแทนในการนำมาใช้คำนวณปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น
6. กรณีการประเมินปริมาณน้ำเสียเป็นรายฟาร์ม สำหรับฟาร์มสุกรที่มีข้อมูลอัตรา

การเกิดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงในฟาร์ม ควรเลือกใช้ข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลการประเมินที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่หากไม่มีข้อมูลการเกิดน้ำเสียจริงสามารถเลือกใช้ค่าแนะนำตามตารางที่ 2.4



ภาพที่ 2.1 การเลี้ยงสุกรขุน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)



ภาพที่ 2.2 การเลี้ยงสุกรแม่พันธุ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.2.2.2 การประเมินปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสุกร จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละฟาร์ม ดังนั้น หากต้องการทราบปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในฟาร์มใดฟาร์มหนึ่งเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์ม หรือวางแผนในการจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นของฟาร์มได้อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องเก็บข้อมูลปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นรายฟาร์ม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แท้จริงของฟาร์มนั้นๆ ซึ่งจะทำให้การแก้ไขปัญหาบรรลุผลสำเร็จได้ แต่การแก้ไขปัญหาในลักษณะเชิงพื้นที่ การเก็บข้อมูลเป็นรายฟาร์มก็จะมีปัญหาเช่นเดียวกับการประเมินปริมาณน้ำเสีย ดังนั้นเพื่อให้สามารถวางแผนการจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการประเมินปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งหลักการจะใกล้เคียงกับการประเมินปริมาณน้ำเสียนั้นคือ นำปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ซึ่งได้นำเสนอวิธีการประเมินแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2.1) มาคูณด้วยค่าความสกปรกของน้ำเสียของสุกรแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจุบันกิจกรรมการเลี้ยงสุกรผู้ประกอบการจะมีการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนที่จะระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งหลายหน่วยงานได้มีการส่งเสริมให้นำน้ำเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นทำให้บางส่วนไม่มีการระบายน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในการประเมินปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น จึงจะประเมินเป็นปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมดและปริมาณมลพิษที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมด (กิโลกรัมต่อวัน หรือ กก./วัน)

สามารถประเมินได้จาก

$$\text{ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น (กก./วัน)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ลบ.ม./วัน)} \times \text{ความสกปรกของน้ำเสีย (มก./ล.)}}{1,000 \text{ ลิตร}}$$

$$\text{หรือ} = \left\{ \frac{\text{จำนวนสุกรแต่ละประเภท} \times \text{อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000} \times \text{ความสกปรกของน้ำเสีย (มก./ล.)} \times \frac{1}{1,000} \right\}$$

ซึ่งปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับจำนวนสุกรแต่ละประเภทคูณอัตราการเกิดน้ำเสียของสุกรประเภทนั้นๆ ซึ่งเท่ากับ 64 24 และ 20 ลิตร/ตัว/วัน สำหรับสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ สุกรขุน และสุกรอนุบาล ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อทราบจำนวนและประเภทของสุกรที่เลี้ยงจะสามารถประเมินปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ดังนี้

1. กรณีประเมินปริมาณมลพิษในรูปบีโอดี

(Biochemical Oxygen Demand:BOD)

$$\text{ปริมาณมลพิษรูปบีโอดี (กก./วัน)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ลบ.ม./วัน)} \times \text{ความสกปรกของน้ำเสีย (มก./ล.)}}{1,000 \text{ ลิตร}}$$

หรือ

$$= \left\{ \frac{\text{จำนวนสุกรแต่ละประเภท} \times \text{อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000} \right\} \times \text{ความสกปรกของน้ำเสีย (มก./ล.)} \times \frac{1}{1,000}$$

2. กรณีสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ (ใช้ค่าแนะนำ ตามตารางที่ 2.3)

$$\text{ปริมาณมลพิษในรูปบีโอดี (กก./วัน)} = \left\{ \frac{\text{จำนวนสุกรพ่อแม่พันธุ์ (ตัว)} \times 64 \text{ (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000} \right\} \times 800 \text{ (มก./ล.)} \times \frac{1}{1,000} \quad (\text{a})$$

3. กรณีสุกรขุน (ใช้ค่าแนะนำ ตามตารางที่ 2.3)

$$\text{ปริมาณมลพิษในรูปบีโอดี (กก./วัน)} = \left\{ \frac{\text{จำนวนสุกรขุน (ตัว)} \times 24 \text{ (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000} \right\} \times 3,500 \text{ (มก./ล.)} \times \frac{1}{1,000} \quad (\text{b})$$

4. กรณีสุกรอนุบาล (ใช้ค่าแนะนำ ตามตารางที่ 2.3)

$$\text{ปริมาณมลพิษในรูปบีโอดี (กก./วัน)} = \left\{ \frac{\text{จำนวนสุกรอนุบาล (ตัว)} \times 20 \text{ (ลิตร/ตัว/วัน)}}{1,000} \right\} \times 2,500 \text{ (มก./ล.)} \times \frac{1}{1,000} \quad (\text{c})$$

5. กรณีฟาร์มสุกรที่มีการเลี้ยงสุกรครบทุกประเภท

ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมด เท่ากับผลรวมของปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากสุกรแต่ละประเภท

$$\text{หรือปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในรูปบีโอดี (กก./วัน)} = (\text{a}) + (\text{b}) + (\text{c})$$

ตารางที่ 2.5 ค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง

ประเภทสุกร	ค่าความสกปรกของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)											
	บีโอดี			ซีโอดี			ของแข็งแขวนลอย			ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น		
	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าแนะนำ	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าแนะนำ	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าแนะนำ	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าแนะนำ
สุกรพ่อ-แม่พันธุ์	845	756	800	1,906	1,638	1,700	1,101	824	900	536	266	350
สุกรขุน	3,875	2,763	3,500	8,022	5,589	7,400	7,400	5,597	4,700	759	574	700
สุกรอนุบาล	2,842	2,433	2,500	6,279	4,907	5,400	3,474	2,511	3,000	398	353	350

ที่มา: โครงการสำรวจและเก็บข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียและปริมาณความสกปรกของแหล่งกำเนิดประเภทฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

6. กรณีที่ไม่ทราบประเภทของสุกรที่เลี้ยง เช่น ทราบว่าในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งมีการเลี้ยงสุกรจำนวน 100,000 ตัว แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ สุกรขุน และสุกรอนุบาลจำนวนเท่าใดบ้างให้ใช้กรณีสุกรขุนเป็นตัวแทนในการนำมาใช้คำนวณปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งจากสถิติจำนวนสุกรในประเทศ สุกรขุนจะมีสัดส่วนมากที่สุดจึงเลือกใช้สุกรขุนเป็นตัวแทนในการนำมาใช้คำนวณ

7. กรณีการประเมินปริมาณมลพิษเป็นรายฟาร์ม สำหรับฟาร์มสุกรที่มีข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียและค่าความสกปรกของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงในฟาร์ม ควรเลือกใช้ข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะทำให้ได้ผลการประเมินที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด หากไม่มีข้อมูลการเกิดน้ำเสียและค่าความสกปรกของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงสามารถเลือกใช้ค่าแนะนำตามตารางที่ 2.4 และ 2.5



ภาพที่ 2.3 การเลี้ยงสุกรอนุบาล (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2) ปริมาณมลพิษที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง

การติดตามตรวจสอบเพื่อการบังคับใช้กฎหมายควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ผ่านมา พบว่ามีฟาร์มสุกรจำนวนมากที่ไม่มีการระบายน้ำเสีย/น้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยจะปล่อยให้ซึมลงดินหรือระเหยไปเองและบางส่วนมีการนำน้ำทิ้งทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วและไม่ผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น นำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำ นำไปเลี้ยงปลาหรือเลี้ยงไรแดง เป็นต้น ดังนั้น การประเมินปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการเลี้ยงสุกร อาจไม่สะท้อนถึงปริมาณมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือต่อแหล่งน้ำอย่างแท้จริง ประกอบกับปัจจุบันผู้ประกอบการจะมีการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนที่จะระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้น เพื่อให้สามารถประเมินปริมาณมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทฟาร์มสุกรที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมมากยิ่งขึ้น (ไม่ใช่เฉพาะฟาร์มใดฟาร์มหนึ่ง) จึงควรพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

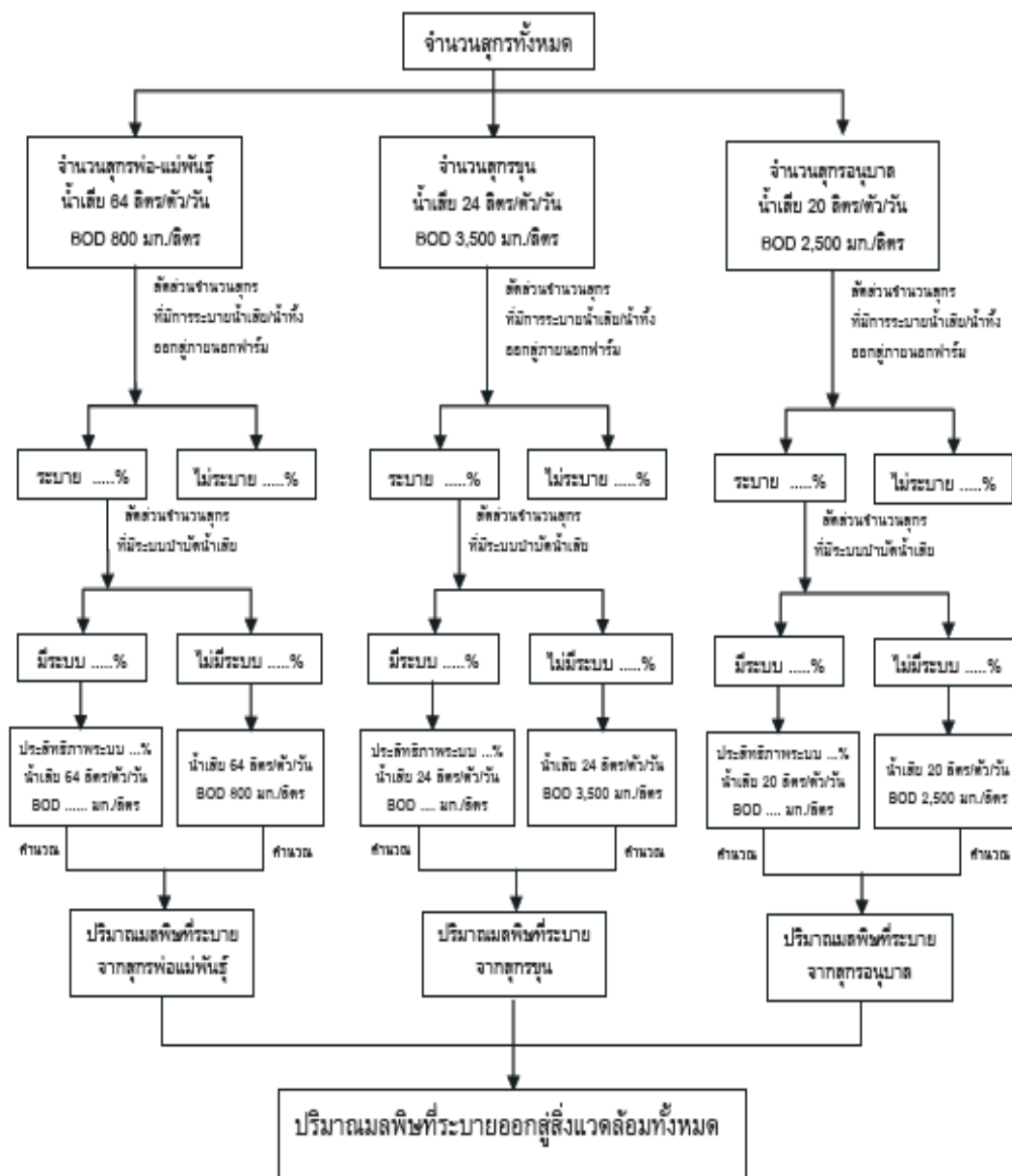
- สัดส่วนของฟาร์มที่มีการระบายน้ำเสีย/น้ำทิ้งออกสู่ภายนอกฟาร์มและฟาร์มที่ไม่มีการระบายน้ำเสีย/น้ำทิ้งออกสู่ภายนอก
- สัดส่วนของฟาร์มสุกรที่มีระบบบำบัดน้ำเสียและไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย
- ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียที่จัดสร้าง

ทั้งนี้ สัดส่วนของจำนวนฟาร์มที่มีการระบายน้ำเสีย/น้ำทิ้งออกสู่ภายนอกฟาร์มและไม่มีการระบายน้ำเสีย/น้ำทิ้งออกสู่ภายนอกฟาร์มหรือจำนวนฟาร์มสุกรที่มีระบบบำบัดน้ำเสียและไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย หรือประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียที่จัดสร้างขึ้นอยู่กับข้อมูลของแต่ละพื้นที่และจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละปี ขึ้นตอนการประเมินมลพิษจากฟาร์มสุกรที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมจะเป็นไป ดังแสดงในภาพที่ 2.4

2.2.3 ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง โดยทั่วไปปริมาณความสกปรกซึ่งตรวจวัดเป็นค่าบีโอดี จะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมกรรมการทำความสะอาดโรงเรือนและชนิดของสุกรที่เลี้ยง (Werner, 1989) น้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรขุนจะมีความสกปรกมากกว่าการเลี้ยงสุกรพ่อแม่พันธุ์ โดยเฉลี่ยมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 1,500 – 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร (มก./ล.)

ดังนั้นการเก็บกวาดมูลสุกรจึงมีความสำคัญมาก และยังช่วยประหยัดน้ำอีกด้วย วิธีการทำความสะอาดคอก จึงมีผลโดยตรงกับปริมาณน้ำเสีย และระดับความสกปรกที่เกิดขึ้น โดยเฉลี่ยอัตราการเกิดน้ำเสียจะอยู่ในช่วง 10 – 20 ลิตร/ตัว/วัน บางแห่งอาจจะมากหรือน้อยกว่านี้ขึ้นกับความถี่ของการล้างคอกและวิธีการล้าง การทำความสะอาดด้วยสายยางที่มีหัวฉีดแรงดันสูงจะทำให้ประหยัดน้ำมากกว่า เพราะประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าการใช้สายยางธรรมดา



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนประเมินปริมาณมลพิษจากฟาร์มสุกรที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม
(กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

นอกจากนี้การเลี้ยงสุกรแบบแห้งซึ่งมีการล้างคอกเพียงครั้งเดียวหลังจากการจับขาย จะมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันน้อยกว่าฟาร์มที่มีการเลี้ยงแบบเปียกที่มีการล้างคอก แต่จะมีปริมาณสูงมากในช่วงหลังการจับขาย ดังนั้นการประเมินปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

หรือแต่ละครั้งของการล้างคอกจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการตัดสินใจเลือกชนิดและขนาดของระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับฟาร์ม (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)



ภาพที่ 2.5 การเก็บกวาดมูลสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

ซึ่งเมื่อประเมินเป็นปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดีรวมที่เกิดขึ้นทั้งหมดพบว่าภาคกลางที่มีปริมาณการเลี้ยงสุกรมากที่สุด รองลงมาเป็นภาคตะวันออก ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั่วไป

ลักษณะของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
บีโอดี	ซีโอดี	สารแขวนลอย	ทีเคเอ็น	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
3,000	7,000	4,800	540	8.0
2,500	6,800	3,000	540	9.5
1,500	4,000	2,000	400	17.0

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550

ตารางที่ 2.7 ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดีจากฟาร์มสุกร ปี 2545 จำแนกตามขนาดฟาร์ม

ภาค	ปริมาณความสกปรกของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (กิโลกรัมบีโอดี/วัน)			
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	รวมทุกขนาด
เหนือ	4,247	1,941	11,338	17,526
ตะวันออกเฉียงเหนือ	4,386	2,004	11,708	18,097
กลาง	9,707	4,437	25,914	40,059
ตะวันออก	5,571	2,546	14,871	22,988
ใต้	2,928	1,338	7,815	12,080
รวม	26,838	12,266	71,646	110,750

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550



ภาพที่ 2.6 ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.2.4 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

เนื่องจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่งผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมรอบบริเวณฟาร์มตั้งที่ได้กล่าวข้างต้น ทำให้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการควบคุมคุณภาพน้ำเสียที่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด		
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข	วิธีการตรวจสอบ
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9	5.5-9	pH meter แบบ Electrometric Titration ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	60	100	Azide Modification หรือ Membrane Electrode
3. ซีโอดี (COD)	มก./ล.	300	400	Potassium Dichromate Digestion แบบ Open Reflux หรือ Closed Reflux
4. สารแขวนลอย (SS)	มก./ล.	150	200	Glass Fiber Filter Disc และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 ° - 105 ° C
5. ไนโตรเจนในรูป ทีเคเอ็น (TKN)	มก./ล.	120	200	Kjeldahl และตรวจวัด แอมโมเนียด้วยวิธีการ Colorimetric หรือ Ammonia Selective Electrode

หมายเหตุ มาตรฐานประเภท ก ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มสุกรขนาดใหญ่

มาตรฐานประเภท ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2546

2.3 ปัญหาและอุปสรรคของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550)

2.3.1 สถานภาพเทคโนโลยี (Technology Status Overview)

แหล่งกำเนิดหลักที่มีการนำของเสียมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ น้ำเสียจากฟาร์มสุกร และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จากการสำรวจของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยในปี 2549 พบว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 380 ล้าน

ลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียทั้งหมด ทั้งนี้หากรวมแหล่งชีวมวลอื่นๆ ที่ยังไม่ได้นำมาใช้จะมีศักยภาพถึง 2,100 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (ลบ ม./ปี) โรงงานอุตสาหกรรมหลักที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้แก่ โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานสุรา โรงงานน้ำมันปาล์ม เป็นต้น ในปัจจุบันเทคโนโลยีและจำนวนการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.9 สถานภาพการใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน ที่มีชื่ออยู่ในโลกและในประเทศไทย ได้แสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในประเทศไทย

เทคโนโลยี	จำนวน (แห่ง)	หมายเหตุ
ระบบยูเอสบี(UASB)	189	ปัจจุบันใช้ในระบบขนาดใหญ่
บ่อบิดไร้อากาศ(ACL)	300-400	ปัจจุบันใช้ในระบบขนาดใหญ่
ถังหมักแบบฟิล์มตรึง(AFF)	8	ปัจจุบันใช้ในระบบขนาดใหญ่
ถังกวนสมบูรณ์(CSTR)	7	ปัจจุบันใช้ในระบบขนาดใหญ่
ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ(ABR)	6	ปัจจุบันใช้ในระบบขนาดใหญ่
ถังไอซี (IC)	1-2	นำเข้าจากต่างประเทศ
ถังสัมผัสแบบไร้อากาศ (UAC)	ND	ไม่มีข้อมูล
ระบบอีจีเอสบี (EGSB)	1-2	ระบบต้นแบบกำลังก่อสร้าง
ระบบไหลตามยาว (Plug Flow)	ND	ไม่มีข้อมูล เป็นระบบขนาดกลาง
ถังหมักแบบโดมคงที่(Fixed Dome)	1655	ระบบขนาดเล็ก

ที่มา: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550

ตารางที่ 2.10 สถานภาพปัจจุบันของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งของเสีย

เทคโนโลยี	สถานภาพ	
	ทางสากล	ประเทศไทย
ระบบยูเอสบี (UASB)	ใช้แพร่หลายทั้งในยุโรปและอเมริกา ได้รับความนิยมนสูง	มีใช้ในระบบน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นส่วนใหญ่ และอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น แป้งมันสำปะหลัง โรงฆ่าสัตว์ อาหารทะเลแช่แข็ง โรงงาน ปิโตรเคมี เส้นไหม สุรา/เบียร์ ยางพารา กระดาษ
บ่อปิดไร้อากาศ (ACL)	ใช้แพร่หลายทั้งในยุโรปและอเมริกา ได้รับความนิยมนสูง	มีใช้ในประเทศ โดยพัฒนาจากบ่อบำบัดเดิม
ถังหมักแบบฟิล์มตรึง (AFF)	ใช้แพร่หลายทั้งในยุโรปและอเมริกา ได้รับความนิยมนสูง	ส่วนใหญ่ใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ขนาดกลางและใหญ่เช่น โรงงาน แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง ผลไม้กระป๋อง
ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)	ใช้แพร่หลายทั้งในยุโรปและอเมริกา ได้รับความนิยมนสูง	ใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเช่น โรงงานปาล์ม น้ำมัน รวมทั้งใช้ใน ระบบการบำบัด ขยะชุมชนบางแห่ง
ระบบแผ่นกั้น ไร้อากาศ (ABR)	ใช้แพร่หลายทั้งในยุโรปและอเมริกา ได้รับความนิยมนสูง	ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม แป้งมันสำปะหลัง และแอลกอฮอล์
ถังไอซี (IC)	ใช้ในระบบขนาดเล็ก	นำเข้าจากต่างประเทศ
ถังสัมผัสแบบ ไร้อากาศ (UAC)	ND	ยังไม่แพร่หลาย
ระบบอีจีเอสบี (EGSB)	-	ยังไม่แพร่หลาย
ระบบไหลตามยาว (Plug Flow)	-	เป็นระบบขนาดกลาง
ถังหมักแบบโดมคงที่ (Fixed Dome)	เริ่มต้นในประเทศจีน ใช้กับระบบขนาดเล็ก	ใช้มากในระบบน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก

ที่มา: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550

2.3.2 ปัญหาและอุปสรรคหลักของการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงาน

อุปสรรคในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร คือปริมาณก๊าซชีวภาพที่ระบบผลิตได้มีปริมาณน้อยกว่าที่ได้ออกแบบไว้ จึงมีการศึกษาเพื่อหาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบว่าเพราะเหตุใด ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจึงไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตามที่ออกแบบ ทั้งนี้ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อจำกัดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ มีดังนี้

2.3.2.1 เทคนิคและวิศวกรรม

ความหลากหลายของเทคโนโลยีมีน้อยทำให้มีข้อจำกัดในการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับของเสีย ระดับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมีจำกัด ทำให้ต้นทุนต่อหน่วยโดยเฉพาะการผลิตในระยะยาวยังสูงอยู่ ประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบต่ำ ส่งผลให้ผลตอบแทนการลงทุนต่ำเมื่อประสิทธิภาพของระบบต่ำยังสามารถทำให้ก๊าซชีวภาพถูกปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกมากขึ้น ซึ่งมีผลโดยตรงต่อสภาพอากาศและบรรยากาศของโลก

2.3.2.2 เศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนสูงและมีความเสี่ยงในการลงทุน การเข้าถึงแหล่งสนับสนุนและสถาบันด้านการเงินทำได้ยากและไม่คล่องตัว ขาดการสนับสนุนด้านเงินทุนเนื่องจากการไม่เห็นถึงความสำคัญและความไม่เข้าใจของสถาบันการเงิน

2.3.2.3 กฎระเบียบ

การกำหนดเป้าหมายยังขาดแผนดำเนินการที่เป็นรูปธรรมอย่างชัดเจน กฎหมายและข้อบังคับ โดยเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อมยังไม่เข้มงวดมากพอ รวมทั้งขาดการบังคับใช้และลงโทษอย่างจริงจัง ข้อบังคับการซื้อขายไฟฟ้าไม่คล่องตัว ขาดมาตรการส่งเสริมทางภาษีและแรงจูงใจ

2.3.2.4 การตลาด

ค่าก่อสร้างระบบสูง จำนวนผู้ขายและเจ้าของเทคโนโลยีที่แท้จริงในตลาดมีน้อย การแข่งขันมีไม่มากพอ ข้อมูลเชิงวิชาการมีจำกัด ทำให้ผู้ใช้ไม่กล้าตัดสินใจ และไม่มั่นใจในระบบที่จะเลือก

2.3.2.5 ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิต

ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิต สามารถแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ดังนี้

- 1) ด้านเทคโนโลยีถึงปฏิกรณ์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.11
- 2) ด้านเทคโนโลยีระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.12
- 3) ด้านระบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.13

2.4 การใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อบำบัดมลภาวะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์

(Cantrell และคณะ, 2008)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ แล้วเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานในระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้มีการพัฒนาไปพร้อม ๆ กันทั้งในยุโรป เอเชีย และอเมริกาใต้ โดยบ่อก๊าซชีวภาพขนาดครัวเรือนมีใช้กันมากที่สุดถึงกว่า 4.5 ล้านบ่อในประเทศจีน และมีจำนวนกว่า 2 แสนบ่อในประเทศอินเดีย และจำนวนมากกว่า 10,000 บ่อในประเทศบราซิล (Ross และ Moser, 1997) ประเทศไทยมีการส่งเสริมบ่อก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงานทดแทนขนานใหญ่ ในช่วงปี พ.ศ. 2515 ตั้งแต่เกิดวิกฤติพลังงานขาดแคลน เป็นต้นมา แต่การส่งเสริมให้คนไทยใช้บ่อก๊าซชีวภาพในด้านสาธารณสุขจัดว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่มีการคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (สถาบันวิจัยพัฒนาพลังงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552) การสร้างระบบก๊าซชีวภาพแบบลูกผสมซึ่งออกแบบโดย Kloss (1990) ผู้เชี่ยวชาญเยอรมันมีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดกลิ่นและน้ำเสียเป็นลำดับแรก (Haandel และคณะ, 1994)

2.4.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบก๊าซชีวภาพ

2.4.1.1 แบบที่เรียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เกิดจากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพื่อใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีพของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ (Kruger, 2005) โดยสามารถแบ่งชนิดกลุ่มแบคทีเรียตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เป็น 3 ชนิด คือ (AT Information-Biogas Digestion. [Online]. 2010, July 20)

- 1) แบคทีเรียสร้างกรด (Acid Former Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ
- 2) แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
- 3) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SBR) ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำเสีย โดยจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต ทำให้เปลี่ยนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของซัลเฟตเป็นก๊าซไข่เน่า (H_2S) (Speece, 1995)

2.4.1.2 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

1) ขั้นตอนที่ 1 การย่อย (Hydrolysis)

ในขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น (McCarty และ Rittmann, 2001)

2) ขั้นตอนที่ 2 และ 3 การสร้างกรด (Acidogenesis and Acetogenesis)

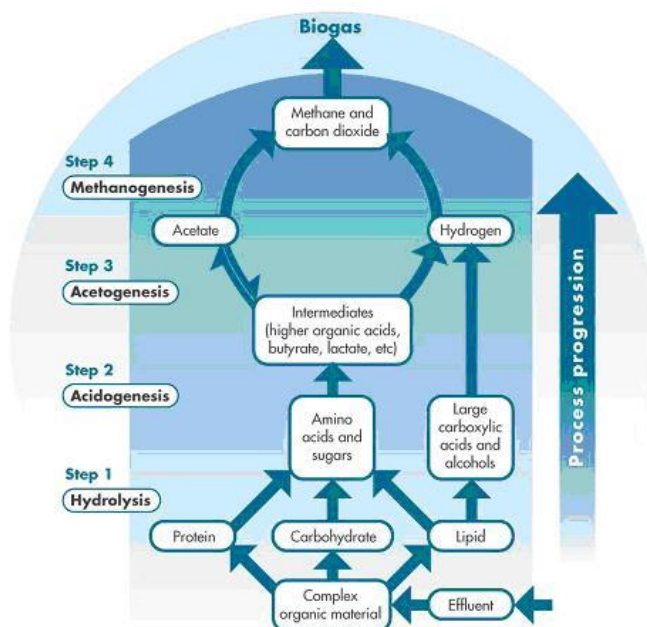
ในขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรก จะถูกเปลี่ยนให้เป็กรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) กรดวาเลอริก (Valeric Acid) และกรดแลคติก (Lactic Acid) โดยแบคทีเรียสร้างกรด โดยกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกสูงสุดในปริมาณที่มากที่สุด และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย (William, 2009) แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากกระบวนการสร้างมีเทนส่วนใหญ่ต้องการใช้กรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น แต่กรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีหลายชนิด ซึ่งบางชนิดแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างมีเทนได้ โดยเป็นกรดไขมันระเหยง่ายขนาดใหญ่ เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ประเภทนี้ในระบบธรรมชาติจึงได้มีการสร้างกระบวนการในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis) ซึ่งช่วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ (Cu'ellar และ Webber, 2010)

3) ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจาก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนมีได้ 2 แบบ ซึ่งเกิดจากกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้สารตั้งต้นต่างกันแต่ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตเหมือนกัน แบบแรกเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน จัดเป็นปฏิกิริยาหลักในการผลิตก๊าซมีเทน โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดคิดเป็นร้อยละ 70 ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดคิดเป็นร้อยละ 30 ของก๊าซมีเทนทั้งหมด (Walsh และคณะ, 1989)

แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8-7.2 นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน (Poschl, 2010)

อีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและการสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน



ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ (Carliell และ Wheatley, 1997)

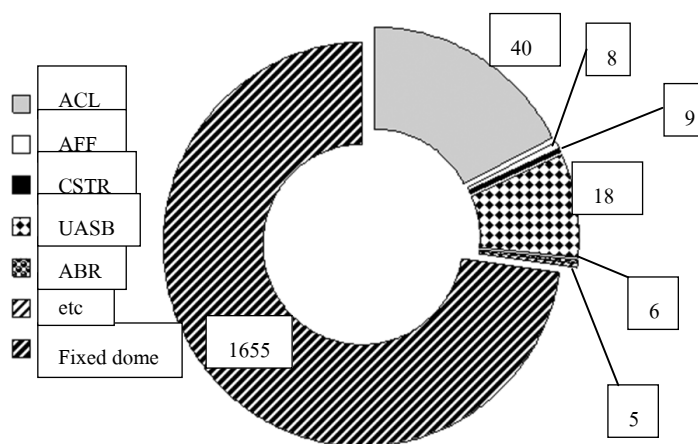
2.4.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย (Biogas system)

เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของแหล่งกำเนิดของเสีย (ดังแสดงในภาพที่ 2.9)

2.4.2.1 รูปแบบของเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเทศไทยนับได้ว่ามีความหลากหลายของระบบผลิตก๊าซชีวภาพมาก ระบบที่นิยมใช้งาน ได้แก่ ยูเอสบี (UASB) บ่อปิดไร้อากาศ (ACL) ฟิล์มตรึง (AFF) ถังกวนผสม (CSTR) แผ่นกั้นแบบไร้อากาศ (ABR) และระบบโดมคงที่ (Anaerobic fixed dome) (ดังแสดงในภาพที่ 2.8) จากการสำรวจข้อมูล พบว่าปัจจุบันประเทศไทยมีระบบก๊าซชีวภาพประมาณ 2,300 แห่ง โดยเป็นระบบที่สร้างหลังปี พ.ศ. 2538 เป็นต้นมา แบ่งเป็นระบบก๊าซชีวภาพขนาดเล็กแบบโดมคงที่ ที่นิยมใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์มากกว่าร้อยละ 70 หรือ 1,655 แห่ง อีกประมาณ 650 แห่ง เป็นระบบขนาดกลางและขนาดใหญ่ ระบบที่ได้รับความนิยมรองลงมาคือ ระบบบ่อปิดไร้อากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีเพียง 1-2 แห่ง ใช้น้ำเสียอุตสาหกรรม

โดยจำนวนที่แท้จริงของระบบนี้อาจสูงถึง 300-400 แห่ง เนื่องจากเป็นระบบที่ก่อสร้างง่าย ทำให้มีการก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับระบบยูเอสบีนั้น เป็นระบบที่มีการประยุกต์ใช้น้ำเสียหลากหลายชนิดที่สุด มีประมาณ 189 แห่ง ใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรมากที่สุด รองลงมาได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังสุรา เบียร์ อาหารทะเลแช่แข็ง โรงฆ่าสัตว์ อาหาร-ผลไม้กระป๋อง ตามลำดับ ระบบก๊าซชีวภาพอื่นๆ เช่น ระบบฟิล์มตรึง มี 9 แห่ง ใช้ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า ระบบถังกวนผสมและระบบแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ ที่ใช้ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.8 จำนวนระบบผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยแยกตามชนิดของเทคโนโลยี
(ประทีน กุลละวณิชย์ และคณะ, 2550)

ตารางที่ 2.11 ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิตด้านเทคโนโลยีถึงปฏิกรณ์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเด็นหลัก	ช่องว่างองค์ความรู้ในการพัฒนา/ผลิต	
	ทางสากล	ในประเทศ
ยูเอสบี (UASB)	ใช้กันแพร่หลาย พัฒนาเทคโนโลยีในเรื่องของจุลินทรีย์เป็นหลัก	<ul style="list-style-type: none"> ปัญหาการ operation ระบบที่ผิดเนื่องจากไม่มีผู้เชี่ยวชาญมากนัก ยังไม่มีการศึกษาเรื่องเชื้อจุลินทรีย์อย่างจริงจัง
ถังหมักแบบตรึงฟิล์ม (AFF)	ใช้มากในต่างประเทศ พัฒนาทั้งตัวกลางและจุลินทรีย์	<ul style="list-style-type: none"> ระบบลูกผสม (hybrid reactor) ซึ่งอยู่ในระดับวิจัย/สาธิต
โคเวอร์ลาอาน/ บ่อปิดไร้อากาศ (ACL)	พัฒนาจากบ่อบำบัดน้ำเสียเดิม ไม่ซับซ้อน	<ul style="list-style-type: none"> เริ่มนิยมใช้ ในประเทศมากขึ้นแต่ยังขาดความรู้เชิงเทคโนโลยี การติดตั้ง การติดตามผล (ตะกอน และการขุดลอก) และการกักเก็บก๊าซ

ที่มา: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550

ตารางที่ 2.12 ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิตด้านเทคโนโลยีระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

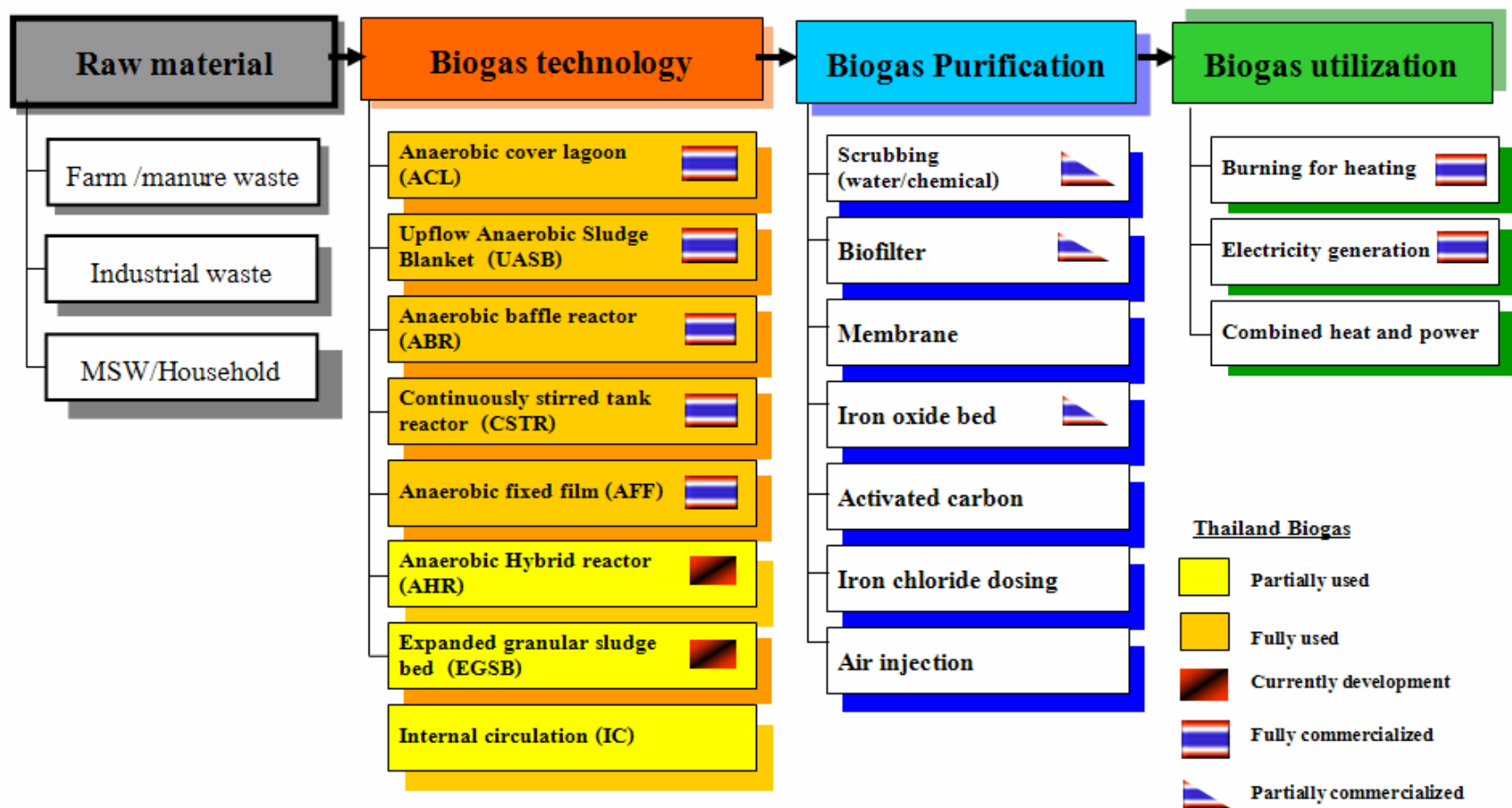
ประเด็นหลัก	ช่องว่างองค์ความรู้ในการพัฒนา/ผลิต	
	ทางสากล	ในประเทศ
การบำบัดโดยวิธีทางเคมี	ใช้ Oxidizing agent เช่น Ferric oxide, Zinc, oxides solid alkalines เป็นต้น ซึ่งใช้กันแพร่หลาย	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ Ferric oxides ในบางที่ ยังต้องพึ่งเทคโนโลยีจากต่างประเทศบ้าง เนื่องจากยังไม่มีการพัฒนาในประเทศ
การบำบัดทางชีวภาพ	ศึกษาและพัฒนาจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง	<ul style="list-style-type: none"> ยังไม่มีการศึกษาในประเทศอย่างจริงจัง สามารถพัฒนาได้หากได้รับการสนับสนุน
การบำบัดทางเคมี - กายภาพ	มีเทคโนโลยีเมมเบรนที่มีประสิทธิภาพ	<ul style="list-style-type: none"> ยังไม่ได้นำมาใช้ สามารถพัฒนาได้หากได้รับการสนับสนุน

ที่มา: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550

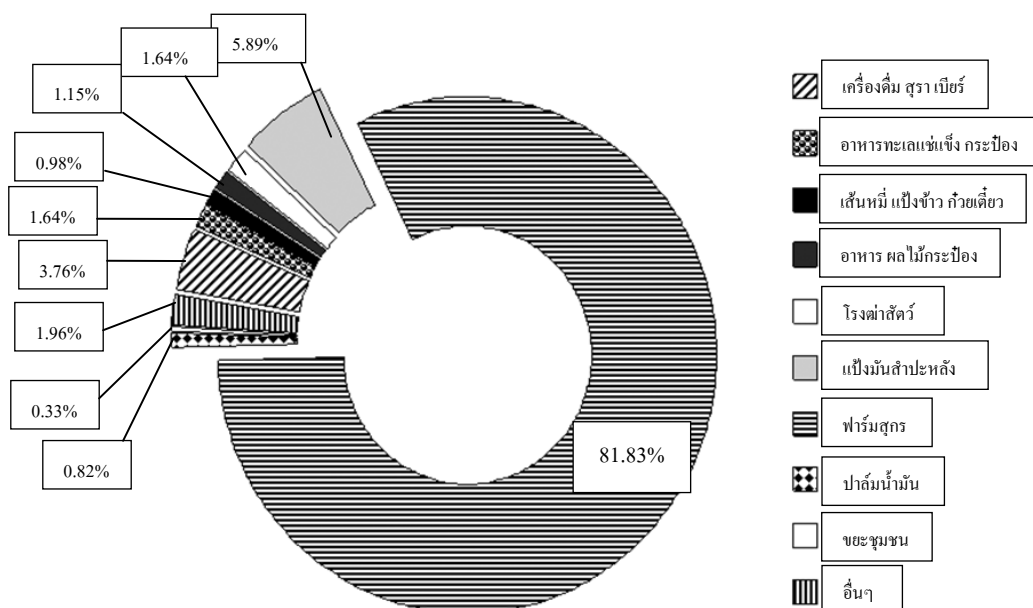
ตารางที่ 2.13 ช่องว่างองค์ความรู้/ขีดความสามารถในเชิงการผลิตด้านระบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

ประเด็นหลัก	ช่องว่างองค์ความรู้ในการพัฒนา/ผลิต	
	ทางสากล	ในประเทศ
1. การเผาไหม้เชิงความร้อนและแสงสว่าง	เป็นเทคโนโลยีไม่ซับซ้อน	สามารถพัฒนาได้ในประเทศ
2. การใช้ก๊าซเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	ได้รับความนิยมนำมาพัฒนาได้อย่างแพร่หลายทั้งกับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก	พัฒนาได้ในประเทศสำหรับเครื่องปั่นไฟขนาดใหญ่ ส่วนขนาดเล็กมีใช้บ้าง
3. การใช้ก๊าซแบบพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วม	ในต่างประเทศใช้ผลิตน้ำร้อน	ยังไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร
4. การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์	พัฒนาจนสามารถใช้กับรถยนต์ได้ โดยเฉพาะประเทศสวีเดน แต่ยังไม่แพร่หลาย	ไม่มีความรู้เพียงพอต่อการทำความสะอาด และการทำให้ก๊าซชีวภาพ (มีเทน) เข้มข้นและอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง

ที่มา: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550



ภาพที่ 2.9 สถานภาพระบบก๊าซชีวภาพในประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548)



ภาพที่ 2.10 สถานภาพการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบันแยกตามชนิดของแหล่งของเสีย (ประทิน กุลละวณิชย์ และคณะ, 2550)

2.4.2.2 ข้อดีข้อเสียของเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพประเภทต่างๆ

ข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ 5 ประเภท ดังแสดงในตารางที่

2.14

2.5 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร

ฟาร์มสุกรในประเทศไทย เริ่มใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพครั้งแรก ปี พ.ศ.2532 ที่ฟาร์มสุกรทดลองของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ณ ตำบลแม่เหียะ โดยความร่วมมือของโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน ต่อมา Tentscher (2535) ผู้ชำนาญการอีกคนหนึ่งของเยอรมัน ก็ได้ออกแบบระบบก๊าซชีวภาพแบบลูกผสม (HYPHI) ให้แก่ฟาร์มสุกรของศูนย์วิจัยสุกรแห่งชาติ ณ วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการสนับสนุนของคุณสงวน จันทรานุกูล บริษัทศรีไทยปศุสัตว์ ระบบก๊าซชีวภาพแม่เหียะจึงถือว่าเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบก๊าซชีวภาพที่ส่งเสริมในฟาร์มสุกรขนาดกลางและใหญ่ในปัจจุบัน ส่วนการส่งเสริมบ่อก๊าซชีวภาพในฟาร์มขนาดเล็กนั้นยังคงเป็นการผลิตพลังงานตามความต้องการของฟาร์มควบคู่กับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และการลดมลภาวะบางส่วน (ระบบไบโอแก๊สในฟาร์มสุกร. [ออนไลน์]. 2553, ตุลาคม 03)

ตารางที่ 2.14 ข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยี	ทางสากล	ในประเทศไทย
ยูเอเอสบี (UASB)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง ▪ ไม่มีปัญหาการอุดตัน 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ น้ำเสียต้องมีสารแขวนลอยต่ำ ▪ อัตราการสูญเสียจุลินทรีย์ (Wash out) จากระบบสูง ▪ การสร้างเม็ดตะกอนทำได้ยาก ▪ ต้องการระบบป้อนน้ำเสียและ GSS ที่ประสิทธิภาพสูงควบคุมดูแลยาก
บ่อบิดไร้อากาศ (ACL)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ควบคุมดูแลได้ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ ▪ ค่าก่อสร้างระบบ (ไม่รวมที่ดิน) ต่ำ ▪ รับน้ำเสียที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอได้ดี ▪ ก่อสร้างง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ได้ต่ำเนื่องจากความเข้มข้นเซลล์จุลินทรีย์ต่ำ ▪ การกวนผสมไม่ดี ประสิทธิภาพต่ำ ▪ ต้องการพื้นที่มาก ▪ มักพบการสะสมของตะกอนแข็งทำให้ต้องมีการขูดลอกบ่อยๆ ▪ การนำก๊าซไปใช้งานค่อนข้างยาก
ถังหมักแบบฟิล์มตรึง (AFF)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง ▪ มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง ▪ Solid Retention Time (SRT) สูง ▪ ต้นทุนเดินระบบต่ำ เนื่องจากไม่ต้องมี ▪ การกวนผสม ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจึงต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ต้นทุนระบบเพิ่มขึ้นจากค่าตัวกลาง ▪ กรณีถังกรองไร้อากาศแบบเรียงตัว กลางไม่ ▪ เป็นระบบ มีกอุดตันได้ง่าย ▪ ถังกรองไร้อากาศพบการไหลลัดวงจรและการกระจายตัวของน้ำเสียไม่ดี
ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี ▪ ประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงเนื่องจากการกวนผสมดี ▪ รับน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารพิษได้ดี 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ต้องการพลังงานในการกวนผสม ▪ ความเข้มข้นของน้ำเสียขาออกสูง ▪ มีการสูญเสียจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูง
แผ่นกั้นไร้อากาศ (ABR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ระยะเวลาสัมผัสนาน ▪ สารอาหารแต่ละห้องต่างกันทำให้เหมาะสมกับการทำงานของเชื้อแต่ละกลุ่ม (Substrate Specificity) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ ▪ พบปัญหาการสะสมของตะกอนแข็งในระบบ

ที่มา : สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549

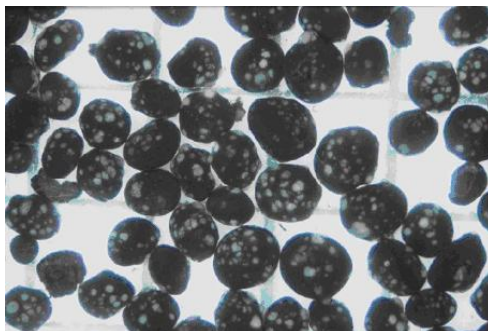
ฟาร์มสุกรในประเทศไทยจะมีการเลือกใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกันไป โดยมีขนาดของฟาร์มเป็นปัจจัยหลักในการเลือกระบบ แต่โดยส่วนใหญ่จะพบว่า มีการเลือกใช้ระบบยูเอเอสบี (ภาพที่ 2.11) และระบบบ่อบีโอดีไร้อากาศ อย่างกว้างขวางที่สุด



ภาพที่ 2.11 ระบบก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

2.5.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (UASB) (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2543)

ระบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น หรือระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เป็นระบบหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและมีการพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แขวนลอย ซึ่งมีการพัฒนาให้เกาะตัวกัน ในลักษณะเป็น เม็ดตะกอน (Granule) (Sharon, 2003) ระบบนี้อาศัยการกวนผสมที่เกิดจากการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์จากด้านล่างไหลขึ้นสู่ด้านบน และการกวนผสมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจริงจากกิจกรรมการย่อยสลายเป็นสำคัญ โดยตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้ จะถูกแยกออกจากน้ำเสียด้วยอุปกรณ์ แยกของแข็ง-ของเหลว-ก๊าซ (Gas-Solid Separator : GSS หรือ 3 Phase Separator) ทำให้สามารถรักษาจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไว้ในระบบได้ โดยหัวใจสำคัญของระบบยูเอเอสบี คือเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะแขวนลอย (ภาพที่ 2.12) ซึ่งอาศัยการยึดเกาะกันเองของจุลินทรีย์ (Self-Immobilization) หรือเรียกได้ว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Lettinga และคณะ, 1979)



ภาพที่ 2.12 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

(ที่มา: www.uasb.org. [ออนไลน์]. 2553, สิงหาคม 07)

จากคุณสมบัติและลักษณะการทำงานของถังยูเอเอสบี ทำให้สามารถแบ่งส่วนประกอบภายในถังยูเอเอสบีได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะอยู่ทางด้านล่างของถังซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสียในถังจะเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน มีการป้อนน้ำเสียจะป้อนเข้าทางด้านล่างของถังยูเอเอสบีผ่านทางระบบการกระจายน้ำเสีย ซึ่งการกระจายน้ำเข้าถังจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของถัง การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในถังยูเอเอสบีจะควบคุมให้ตะกอนสะสมเป็นชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่น น้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะไหลผ่านชั้นตะกอน แบคทีเรียในชั้นตะกอนซึ่งอยู่กันอย่างหนาแน่นจะเกิดการรวมกันเป็นเม็ด โดยเม็ดตะกอน ที่มีความหนาแน่นสูง จะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็กเหมือนชั้นทรายกรอง ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย โดยฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและการไหลของน้ำที่เข้ามาจากด้านล่างของถังจะช่วยทำให้เกิดการผสมขึ้น

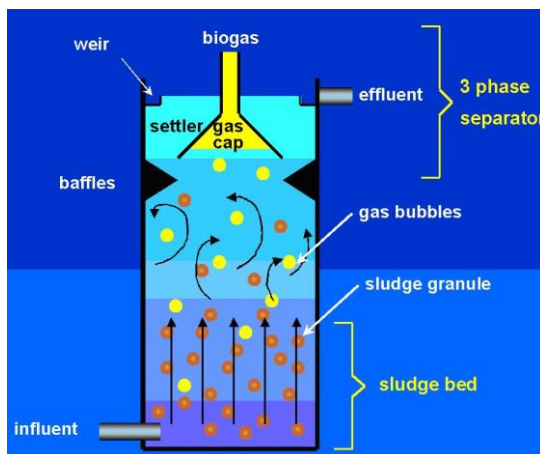
2. ส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและลดปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และทำหน้าที่รวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสีย และแบคทีเรียในรูปตะกอนแขวนลอย ไว้ด้านบนของถัง โดยมีการออกแบบหลายลักษณะตามขนาดและรูปร่างของถังปฏิกิริยา แต่มีหลักการในการออกแบบเดียวกัน

2.5.1.1 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี (Souza, 1986)

ระบบยูเอเอสบีประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ (ภาพที่ 2.13)

- ส่วนของตะกอนชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูงและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง

- ส่วนชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนจุลินทรีย์ลอยฟุ้งกระจาย เนื่องจากน้ำเสียและก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์
- ส่วนของอุปกรณ์แยกเมื่ตะกอนและก๊าซชีวภาพออกจากของเหลว ที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า Gas-Solid Separator (GSS) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกก๊าซชีวภาพออกจากของผสมระหว่างก๊าซชีวภาพ น้ำและเมื่ตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ถูกแยกจะตกกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ น้ำเสียจะไหลออกสู่ส่วนระบายน้ำเสียด้านบน ส่วนก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมเพื่อนำไปใช้ต่อไป
- ส่วนของอุปกรณ์ในการตกตะกอน (Settlement Compartment) ในอุปกรณ์นี้เมื่ตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งแยกออกจากน้ำเสียจะตกลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากน้ำหนักของเมื่ตะกอนเอง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเมื่ตะกอนคายก๊าซที่เป็นตัวพาให้เคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ออกไปแล้ว ทำให้สูญเสียแรงดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของก๊าซไป ทำให้แรงโน้มถ่วงที่เกิดจากเมื่ตะกอนเองมากกว่าแรงลอยตัวเมื่ตะกอนจึงตกกลับเข้าสู่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ตามเดิม (ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอสบี. [ออนไลน์]. 2553, สิงหาคม 07)



ภาพที่ 2.13 ส่วนประกอบหลักของถังปฏิกรณ์แบบยูเอสบี
(ที่มา: www.uasb.org. [ออนไลน์]. 2553, สิงหาคม 07)

2.5.1.2 ระบบยูเอสบีในประเทศไทย

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นหน่วยงานแรก ที่ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยียูเอสบี (ภาพที่ 2.14) ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยใช้ในการ

บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งมีลักษณะมีสารแขวนลอยในน้ำเสียอยู่ในเกณฑ์สูง จึงประยุกต์ใช้เทคโนโลยียูเอเอสบี ควบคู่ไปกับบ่อหมักช้าแบบราง เพื่อทำน้ำที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง

สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน หรือ two-stage UASB เป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การผลิตกรด (จะเกิดขึ้นในบ่อหมักกรด ; Acidification Unit) และ การผลิตมีเทน (เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ ยูเอเอสบี) การทำงานของระบบอาศัยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด และแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน ซึ่งมีความต้องการที่แตกต่างกันทั้งในเรื่องของสารอาหาร สภาพทางกายภาพ อัตราการเจริญเติบโต และความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นการแยกระบบทั้งสองออกจากกันจะช่วยให้ระบบแต่ละขั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้น นอกจากนี้ในกรณีที่น้ำเสียมือถือประกอบไม่เหมาะสมที่จะเข้าสู่ระบบยูเอเอสบีโดยตรง เช่น น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในน้ำเป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ หรือย่อยสลายช้า การแยกเป็น 2 ระบบเช่นนี้ทำให้ระบบยูเอเอสบี สามารถรับอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ได้เพิ่มมากขึ้นและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นอีกด้วย



ภาพที่ 2.14 ระบบยูเอเอสบี (ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน.

[ออนไลน์]. 2553, กรกฎาคม 12)

2.5.1.3 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี

ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี ดังแสดงในตารางที่

2.15

ตารางที่ 2.15 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี

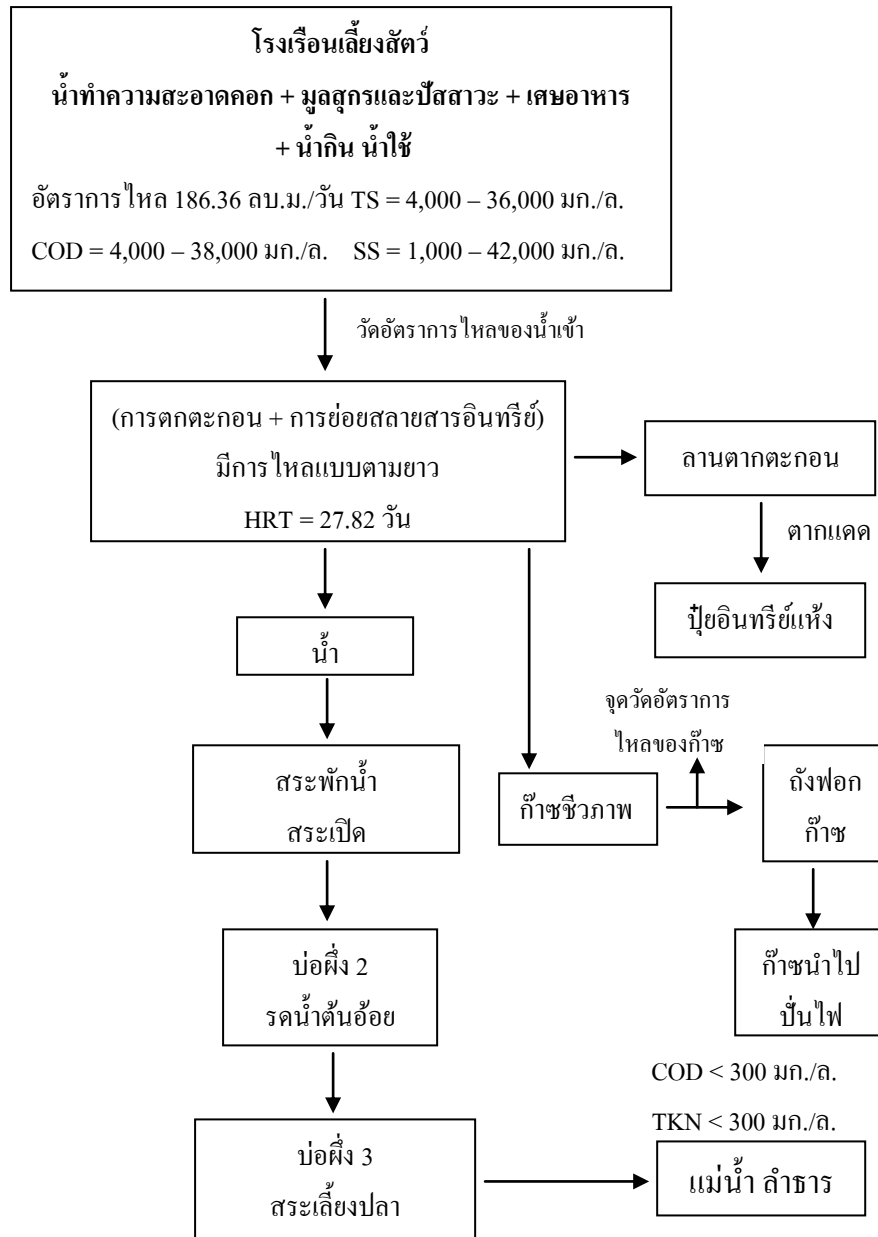
ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> ▪ รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง ▪ ไม่มีปัญหาการอุดตัน (Clogging) ของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากแบคทีเรียจะรวมกันเป็นเม็ดที่แน่นและตกตะกอนได้ดี ▪ สามารถหยุดระบบได้ทันทีที่ต้องการ และพร้อมจะทำงานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเดิม ในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ น้ำเสียป้อนเข้าระบบควรมีสารแขวนลอยต่ำ ▪ การสร้างเม็ดตะกอนทำได้ยาก เนื่องจากต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ ▪ ต้องการระบบป้อนน้ำเสียและ GSS ที่มีประสิทธิภาพสูง ควบคุมดูแลยาก เนื่องจากต้องพยายามรักษาตะกอนของแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม และควบคุมการล้างออก (Wash Out) คือเป็นสภาวะที่ตะกอนเบาหลุดออกจากระบบอย่างมาก ▪ ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวน ▪ ต้องใช้เวลาในการเดินระบบ (Start up) ค่อนข้างนาน

ที่มา: เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543

2.5.1.4 ขั้นตอนการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ศึกษา

ขั้นตอนการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ทำการศึกษา แสดงดังภาพ

ที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ขั้นตอนการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ศึกษา

2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร

Wujcik และ Jewell (1980) ได้ศึกษาหาผลกระทบของค่าของแข็งที่มีผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ มูลวัว กระจาย และข้าวฟ่างสาธิตผสมกัน พบว่าของแข็งมากจะทำให้มีปัญหาการสะสมกรดทำให้ค่าพีเอชต่ำซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพลดลงและทำให้ระยะเวลาการกักเก็บกากนานเมื่อต้องการประสิทธิภาพการกำจัดคองที่ ถ้ำของแข็งมากกว่าร้อยละ 30 อัตราการเกิดมีเทนจะลดลง และถ้ำของแข็งมากกว่าร้อยละ 55 อัตราการผลิตกรดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ปริมาณของแข็งไม่เกินร้อยละ 30 จะลดระยะเวลาการเก็บกักกากลง หรือถ้าระยะเวลาการเก็บกักกากเท่ากัน การเพิ่มปริมาณของแข็งจะทำให้ปริมาตรก๊าซต่อวัน (l/d) และปริมาตรก๊าซต่อปริมาตรถังต่อวัน (l/m³-d) มีค่ามากขึ้น แต่ปริมาตรก๊าซต่อมวลของแข็งระเหย (l/kgVS) และประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าต่ำลง

Chong (1986) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมจะใช้ภายในครอบครัว โดยคำนึงถึงสภาพสังคมชนบทในไทย ระบบที่ใช้พิจารณาคือ fixed-dome plants และ floating-drum plants งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็กกับอัตราการใช้พลังงานภายในฟาร์มและครอบครัว ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าถ้าเปลี่ยนการใช้พลังงานที่ผลิตจากน้ำมันเชื้อเพลิงหรือไม้ มาใช้พลังงานที่ผลิตจากก๊าซชีวภาพจะลงทุนสูง แต่เป็นการอนุรักษ์ป่าไม้ ราคาลงทุนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพประมาณร้อยละ 50 จะเป็นค่าก่อสร้างครั้งแรก และยังให้ข้อเสนอแนะว่าพลังงานที่ผลิตจากก๊าซชีวภาพควรจะนำไปใช้ในการเกษตรกรรมด้วย และในการศึกษาควรครอบคลุมไปถึงเกษตรกรรมประเภทอื่นๆด้วย ไม่ใช่จำเพาะเจาะจงเฉพาะการเลี้ยงสัตว์ และควรต้องมีการดัดแปลงระบบผลิตก๊าซชีวภาพใหม่ด้วย

Pidaparti และ Dague (1992) พบว่าการบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศมีเสถียรภาพได้โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิถ้าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25 – 35 องศาเซลเซียส และถึงปฏิบัติการลำดับเป็นกะแบบไร้อากาศ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor : ASBR) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดตะกอนการแยกของแข็ง กากกักเก็บของแข็ง และการเกิดก๊าซชีวภาพได้ จากงานวิจัยนี้

ชี้ให้เห็นว่าในงานวิจัยนี้ทำการเดินระบบในช่วงอุณหภูมิห้อง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบ เพราะเป็นค่าอุณหภูมิที่อยู่ในช่วง 25 – 35 องศาเซลเซียส

Andara และ Esteban (1999) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยใช้ส่วนที่เป็นของแข็งที่กรองจากตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ใช้ถังรูปไข่ 2 ถังที่มีการกวนผสม และไม่มีการกวนผสม โดยพบว่าในถังที่มีการกวนผสมจะมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยสูงกว่าถังที่ไม่มีการกวนผสม

Bioenergy Department (2000) มีการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอยู่ประมาณ 20 แห่งทั่วประเทศ โดยลักษณะของระบบดำเนินการแบบบำบัดน้ำเสียรวมจากหลายแหล่ง เช่น จากฟาร์ม โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โดยทุกระบบบำบัดน้ำเสียจะมีการใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนร่วมกัน (Combined Heat and Power; CHP) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะส่งขายเข้า Grid ส่วนความร้อนที่ได้จะนำไปทำ น้ำร้อนแล้วส่งไปให้กับชุมชนใช้ต่อไป

Laholm biogas plant in Sweden (2000) ดำเนินการหมักก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ประมาณ 30,000 ตัน/ปี และของเสียจากโรงฆ่าสัตว์ประมาณ 5,000 ตัน/ปี โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะผ่านระบบแยกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยกระบวนการทางเคมี แล้วอัดด้วยความดัน 1 บาร์ ต่อจากนั้นผ่านขั้นตอนการแยกน้ำ ก๊าซชีวภาพที่ได้ประมาณ 3-4 พันลบ.ม./วัน หรือคิดเป็นน้ำมันประมาณ 2,000-2,500 ลิตร ซึ่งก๊าซชีวภาพจะถูกส่งไปตามท่อเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร เข้าไปในชุมชน โดยแบ่งไปใช้สำหรับเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 450 กิโลวัตต์ ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้า 20 กิโลวัตต์ ส่งจ่ายไปใช้ในชุมชนโดยตรง ส่วนก๊าซชีวภาพที่เหลือนำไปใช้ในเชิงความร้อนจำนวน 636 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปของก๊าซชีวภาพประมาณร้อยละ 88.4 และกรณีที่ไม่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้ก็จะใช้ก๊าซธรรมชาติแทนได้

ธีระวุฒิ สุวัธนะเขาว์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพและการลงทุนที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร โดยทำการสำรวจวิธีการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในจังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรอย่างหนาแน่น 6 จังหวัด ได้แก่ นครปฐม ราชบุรี ชลบุรี ฉะเชิงเทรา ระยอง และนครราชสีมาจำนวน 100 ฟาร์ม พบว่าฟาร์มสุกรที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ร้อยละ 23 มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดร้อยละ 54 และมีระบบบำบัดแบบก๊าซชีวภาพ ร้อยละ 23 การศึกษา

เปรียบเทียบระบบบำบัดแบบบ่อบำบัดและระบบบำบัดแบบก๊าซชีวภาพ พบว่าทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งแสดงโดยค่าบีโอดีและซีโอดีได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 94 การวิเคราะห์การลงทุนพบว่า ระบบบำบัดแบบบ่อบำบัดมีอัตราผลตอบแทน 2.1 (Internal rate of return) สูงกว่าระบบการบำบัดแบบช้ำ สูงกว่าระบบการบำบัดแบบก๊าซชีวภาพเนื่องจากฟาร์มสุกรที่มีระบบบำบัดแบบก๊าซชีวภาพยังไม่สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปใช้ประโยชน์

นิรันดร โปธิกานนท์ และคณะ (2543) ศึกษาเพื่อประมวลหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศ มีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์ฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศ ว่ามีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนพลังงานอื่น และพลังงานไฟฟ้าได้มากน้อยเท่าใด และมีสถานภาพทางมลภาวะเป็นอย่างไร โดยคำนึงถึงขนาดฟาร์มขั้นต่ำ อายุของฟาร์ม และข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของสัตว์ ความต้องการมีบ่อหรือระบบก๊าซชีวภาพของฟาร์ม และเงื่อนไขจากการประกาศใช้มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์ม โดยทำการสำรวจสัมภาษณ์เจ้าของหรือผู้จัดการฟาร์ม โดยใช้แบบสอบถาม จากการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลฟาร์มที่สำรวจได้ 19,239 ฟาร์ม พบว่าเป็นฟาร์มสุกรและโคนม 5,978 และ 13,261 และมีบ่อก๊าซชีวภาพเพียงร้อยละ 3.21 และ 2.08 ตามลำดับ โดยฟาร์มเลี้ยงสุกรมีส่วนการสร้างบ่อก๊าซชีวภาพเองถึงร้อยละ 79.69 ในขณะที่ฟาร์มโคนมสร้างกันเองเพียงร้อยละ 17.82 ทั้งฟาร์มสุกรและโคนมระบุว่าพึงพอใจกับบ่อหรือระบบก๊าซชีวภาพมากถึงร้อยละ 51.82 และ 49.46 และต้องการมีระบบก๊าซชีวภาพรวมกันทั้งที่พร้อมสร้างและไม่พร้อมสร้างจำนวน 1,984 และ 4,590 ฟาร์ม ตามลำดับ โดยกลุ่มฟาร์มสุกรนึกถึงเหตุผลด้านสิ่งแวดล้อมในสัดส่วนที่สูงกว่ากลุ่มฟาร์มโคนม ฟาร์มสุกรที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีจำนวนรวมกัน 1,247 ฟาร์ม มีสุกรรวมกัน 127,946 หน่วยปศุสัตว์ (นปส.) และต้องการบ่อหรือระบบก๊าซชีวภาพรวมกัน 255,892 ลบ.ม. จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ปีละ 32.6 ล้านลบ.ม. คิดเป็นมูลค่าก๊าซปีละ 195.4 ล้านบาท

นันทิยา เปปะตั้ง (2545) ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมจากฟาร์มสุกร และโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลางและขนาดเล็กในตำบลท่าข้าม ตำบลบ้านใหม่ และตำบลสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB กับระบบบำบัดน้ำเสียขั้นหลังแบบ Constructed Wetland พื้นที่รวม 184 ไร่ โดยมีน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดวันละ 2,500 ลบ.ม. ค่าความสกปรก 23,300 กิโลกรัมซีโอดี/วัน ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึงวันละ

7,000 ลบ.ม. พบว่าเมื่อนำก๊าซชีวภาพร้อยละ 76.7 ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมดมาผลิตไฟฟ้าใช้ใน 3 ตำบลเป้าหมาย จะสามารถทดแทนความต้องการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ได้ร้อยละ 1.4 จากการวิเคราะห์ทางการเงินพบว่าในกรณีพิจารณาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเป็นต้นทุน ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะไม่สามารถคืนทุนได้ภายใน 15 ปี แต่ถ้าไม่พิจารณาค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย จะสามารถคืนทุนได้ภายใน 15 ปี จากผลการศึกษาที่ผู้วิจัยจึงเสนอให้มีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าแล้วขายให้การไฟฟ้า

นเรศ มณีโชติ (2546) เปรียบเทียบสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรแบบไร้อากาศ ด้วยระบบยูเอเอสบี และระบบลูกผสมยูเอเอสบีและเครื่องกรอง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 48 – 76.7% และระบบลูกผสมยูเอเอสบีและเครื่องกรองมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 45.2 – 74.75%

Boonchai และ Nares (2006) การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผลการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีอยู่ในช่วง 60 – 75% ที่ค่า velocity gradient (G) เท่ากับ 560 s^{-1} พีเอชในช่วง 3.5 – 4.5 ระยะเวลาเก็บกัก 10 นาที น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีอัตราส่วนของบีโอดี/ซีโอดี เพิ่มขึ้นระหว่าง 20 – 28% เมื่อเทียบกับอัตราส่วนของบีโอดี/ซีโอดีของน้ำเสียเริ่มต้น จากการกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไล่ก๊าซแอมโมเนีย พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียประมาณ 90% พีเอชอยู่ช่วง 11- 12 และค่า G เท่ากับ $2,850 \text{ s}^{-1}$ ใช้ระยะเวลาเก็บกัก 6 ชั่วโมง แต่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงสกปรกอยู่ จึงควรผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นหลังต่อไปเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ยังคงค้างอยู่

สุนนชาติ แสงปัญญา และวิระพัฒน์ เพ็งพา (2549) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในจังหวัดขอนแก่น พบว่า ในการสุ่มเก็บน้ำเสียในบ่อสุดท้ายของฟาร์มสุกรนำไปตรวจวิเคราะห์ pH, BOD, COD, SS และ TKN พบว่า ค่าทดสอบที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจากมากไปน้อย คือ pH, TKN, BOD, SS และ COD ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดฟาร์มมีค่าดัชนีผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกค่าพบฟาร์มขนาดกลางผ่านเกณฑ์มากที่สุด รองลงมาได้แก่ ฟาร์มขนาดใหญ่ และฟาร์มขนาดเล็กตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ค่าทดสอบคุณภาพน้ำแต่ละค่าแยกตามขนาดฟาร์ม พบเพียงค่า

TKN ในฟาร์มขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าทดสอบอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่าง

อุกฤษ กมลสิงห์ (2549) การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียเลียนแบบน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศแล้ว โดยกระบวนการซีเควนซ์เชิงแบคทีเรียสองสัคต์ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและซีโอดีที่ภาระรับสารอินทรีย์เดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และซีโอดีมีค่ามากกว่า 77% และ 95% ตามลำดับ

ประทีน กุลละวณิช และคณะ (2550) ศึกษาภาพรวมเชิงสถานภาพและศักยภาพของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทย จากผลการศึกษา พบว่าประเทศไทยมีแหล่งชีวมวลที่นำมาผลิตเป็นพลังงานก๊าซชีวภาพได้ราว 2,100 ล้านลบ.ม./ปี (เทียบเท่า 1,040 ktoe) ในปัจจุบันนำมาใช้ประโยชน์แล้วประมาณร้อยละ 18 ผ่านระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบต่างๆ กว่า 2,300 แห่ง ผลิตก๊าซได้ประมาณ 380 ล้านลบ.ม. จากชีวมวลหลักๆ คือ น้ำเสียจากระบบการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 53 มูลสุกรร้อยละ 39 และอื่นๆร้อยละ 8 โดยมากกว่าร้อยละ 70 ของระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นระบบขนาดเล็กแบบโคมคองที่ซึ่งนิยมใช้ในฟาร์มสุกรและโคนม สำหรับระบบก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ที่นิยม ได้แก่ ยูเอเอสบี ไควเวอร์ลาทูน ตรีงฟิล์ม ถังกวนสมบูรณ์และเอปียอร์ มีใช้ในฟาร์มสุกรขนาดใหญ่และโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แป้งมันสำปะหลัง สุรา เบียร์ อาหารทะเล โรงฆ่าสัตว์ และน้ำมันปาล์ม โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้นำไปใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนทดแทนการใช้น้ำมันเตา

อานต์ ต๊ะปินตา (2550) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากฟาร์มสุกร ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียที่แตกต่างกัน 2 ระบบ คือ ระบบถังกรองไร้อากาศ และระบบบ่อปรับเสถียร จากการศึกษาสามารถสรุปได้ 2 ส่วน ส่วนแรกการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรซึ่งเป็นระบบแบบเปิด มีการปลดปล่อยก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนออกมาในปริมาณที่สูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศซึ่งเป็นระบบปิด ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้ง 2 ระบบ มีค่าอยู่ระหว่าง 57.0 – 5,545.0 พีพีเอ็ม และ 2,755.0 – 28,662.0 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทน มีค่าอยู่ระหว่าง 11.3 – 5,924.0 พีพีเอ็ม และ 1,500.0 – 16,109.6 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่วนที่สองเปรียบเทียบถึงปริมาณความเข้มข้น

ของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากฟาร์มสุกร พบว่าฟาร์มสุกรซึ่งมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศและแบบบ่อปรับเสถียรมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 [P เท่ากับ $0.007 < \alpha (0.05)$] และระดับ 0.05 [P เท่ากับ $0.009 < \alpha (0.05)$] ตามลำดับ จากปริมาณความเข้มข้นของก๊าซที่แตกต่างกันทางสถิติทำให้ทราบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรทั้งแบบถังกรองไร้อากาศและแบบบ่อปรับเสถียร มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.925 ซึ่งหมายความว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนที่เกิดจากฟาร์มสุกรอาจมีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปในทิศทางเดียวกัน

ดูเทียบ ศรีลาชัย และคณะ (2551) การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็กพบว่า การใช้เพียงระบบถังกรองไร้อากาศสามารถที่จะลดความสกปรกในรูปของบีโอดี และซีโอดีได้มากกว่า 80% การใช้ระบบบึงประดิษฐ์ร่วมกับถังกรองไร้อากาศสามารถที่จะลดความสกปรกส่วนที่เหลือในรูปของบีโอดี ให้เหลือต่ำกว่า 100 มก./ล. และซีโอดี ต่ำกว่า 200 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก โดยมีค่าบีโอดี และซีโอดี ต้องไม่เกิน 100 และ 400 มก./ล. ตามลำดับ

องอาจ สุวรรณนที (2551) ศึกษาการจัดการเพิ่มมูลค่าของเสียและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่าการบำบัดของเสียฟาร์มสุกรมีหลายระบบ ค่าก่อสร้างมีความแตกต่างกัน จากการศึกษาฟาร์มสุกรขุน งามอาจฟาร์ม มีสุกรขุน 3,000 ตัว เลี้ยงแบบระบบปิดในโรงเรือนปรับความเย็นด้วยการระเหยน้ำ ทั้งหมด เสียค่าไฟฟ้าเดือนละ 60,000 บาท มีของเสียมูลสุกรที่เก็บได้ นำไปผลิตหนอนแมลงวันจำหน่ายกิโลกรัมละ 8 บาท มีรายได้เดือนละ 30,000 บาท น้ำล้างคอกสุกรทั้งหมด จะส่งเข้าระบบบำบัดของเสียและน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศ งามอาจได้เลือกระบบบ่อปิดไร้อากาศ เนื่องจากค่าก่อสร้างระบบมีราคาต่ำกว่าระบบอื่น การบำบัดของเสียยังมีประสิทธิภาพที่ดี ของเสียที่เข้าระบบมีค่าบีโอดี 2,000 มก./ล. หลังใช้เวลาบำบัดภายในบ่อ 40 วัน น้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดีเหลือ 100 มก./ล. และพบว่าในน้ำมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชเหมาะกับการนำมาเป็นปุ๋ยน้ำจากการบำบัดจะได้ก๊าซมีเทน นำมาเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 25 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ช่วยลดค่ากระแสไฟฟ้าได้เดือนละประมาณ 36,000 บาท ส่วนกากตะกอนจะมีน้ำหนักแห้งประมาณ 1,000 กิโลกรัม นำมาตากและผลิตปุ๋ยขายได้กิโลกรัมละ 40 บาท งามอาจฟาร์มสามารถนำของเสียน้ำเสียที่

เกิดขึ้นภายในฟาร์มมาใช้ประโยชน์โดยไม่มีของเสียเหลืออยู่ ในขณะที่ฟาร์มสุกรอื่นที่มีขนาดการเลี้ยงสุกรเท่ากัน และกำจัดมูลสุกรโดยการนำไปตากแดดขายธรรมดา จะมีรายได้เดือนละไม่เกิน 4,000 บาท

จักรพันธ์ หมั่นจี (2553) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยการย่อยสลายร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหาร โดยถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งระเหยเท่ากับ 70:30 และ 40:60 ตามลำดับ เพื่อเทียบกับการใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว จากการใช้น้ำเนเปียร์เป็นวัสดุหมักย่อยร่วมพบว่า พีเอชของน้ำผ่านระบบอยู่ในช่วง 7.01 – 7.38 แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการสะสมตัวของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาพักเก็บ 2 10 20 และ 30 วัน เท่ากับ 66% 77% 87% และ 88% ตามลำดับ การเกิดก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบระยะเวลาพักเก็บน้ำ 10 วัน เป็นระยะที่เหมาะสมในการใช้งาน ให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.629 ลิตรมีเทน/กรัมของแข็งระเหย ผลการทดลองที่ใช้เศษอาหารเป็นวัสดุหมักย่อยร่วมพบว่า พีเอชของน้ำผ่านระบบอยู่ในช่วง 6.87 – 7.17 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 20 และ 30 วัน เท่ากับ 95% 97% และ 97% ตามลำดับ ให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.486 ลิตรมีเทน/กรัมของแข็งระเหย เมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้งสองกับผลที่ได้จากการทดลองที่ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรอย่างเดียวในถังเอเอสบีอาร์ที่เวลาเก็บพัก 10 วัน พบว่า ค่าที่ได้จากการใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียวมีค่าเท่ากับ 0.240 ลิตรมีเทน/กรัมของแข็งระเหย งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

เอกรินทร์ อินประมูล (2553) ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบผสมผสานระหว่างยูเอสบีและถังกรองไร้อากาศ ถังปฏิกรณ์ที่ใช้มีขนาด 42 ลิตร 3 ถัง ถึงที่ 1 ถังยูเอสบี ถึงที่ 2 ถังปฏิกรณ์แบบผสมผสาน ถึงที่ 3 ถังปฏิกรณ์แบบผสมผสานแต่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนด้านล่าง น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นน้ำเข้ามีระยะเวลาหมักย่อย 4.2 และ 3.53 วัน มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.23 และ 1.46 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.ต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 17.1 25.4 และ 19.6 ลิตร/วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าไบโอบอลในถังที่ 3 ไม่สามารถยึดจับสารอินทรีย์ได้ทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าถังที่ 2 แต่ยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าถังที่ 1 แสดงให้เห็นว่าถังปฏิกรณ์แบบผสมผสานและการควบคุมอุณหภูมิที่สถานะเทอร์โมฟิลิกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซได้สูงกว่ายูเอสบี

2.6.2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมดุลมวล

Puig และคณะ (2008) งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อมูลของโรงบำบัดน้ำเสีย (WWTPs) โดยการใช้สมดุลมวล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ไม่มีคุณภาพของ WWTPs จะนำไปสู่ข้อผิดพลาดขนาดใหญ่เมื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณค่าการเดินระบบที่สำคัญเช่น Solid Retention time (SRT), ความต้องการใช้ออกซิเจน และอัตราการเกิดปฏิกิริยา การปรับปรุงคุณภาพข้อมูล WWTP โดยใช้สมดุลมวลทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องต่อการใช้งานในการประเมินผลกระบวนการออกแบบและ WWTPs

Mungray และ Kumar (2009) ทำการศึกษาสมดุลมวลของสารลดแรงตึงผิวประจุลบของระบบบำบัดของเสียแบบยูเอเอสบี จากการศึกษาในระบบบำบัดของเสียแบบยูเอเอสบีทั้งหมด 21 เดือนเติมสารลดแรงตึงผิว 27 – 70 มก./ล. พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุลบถูกปล่อยออกไปที่น้ำ (ค่าเฉลี่ย 4.30 มก./ล. ระหว่าง 3.60 - 4.91 มก./ล.) จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารลดแรงตึงผิวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 8 – 30% น้ำหนักตะกอนแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 1,452 มก.ของสารลดแรงตึงผิว/กก.ของน้ำหนักแห้ง จากสมดุลมวลของระบบบำบัดของเสียทั้ง 3 แห่ง ซึ่งให้เห็นว่า ที่ภาระบรรทุกของสารลดแรงตึงผิว 5 – 17% ประมาณ 12% สารลดแรงตึงผิวจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการดูดซับในถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีและบ่อบ่มตามลำดับ กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของสารลดแรงตึงผิวจะไม่เกิดภายใต้สภาวะไร้อากาศในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีและในบ่อบ่ม กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพประมาณ 46% ของการดูดซับสารลดแรงตึงผิวจะเกิดภายใต้สภาวะใช้อากาศ โดยการใช้ความร้อนกับตะกอนทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแห้ง ถ้ามวลการไหลของสารลดแรงตึงผิวที่เป็นปกติเท่ากับ 100 หน่วย มีมากกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 74 และ 7 หน่วย จะถูกปล่อยออกมาจากระบบ สิ่งที่ออกมาจากระบบจะถูกนำไปบำบัดและทำให้เกิดเป็นตะกอนแห้ง ในขณะที่ 12 และ 6 หน่วย จะถูกดูดซับหรือตกตะกอนอยู่ในบ่อบ่มและบ่อที่มีการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้อากาศบนที่ที่ทำตะกอนแห้ง และระบบบำบัดของเสียอีก 2 แห่งที่ใส่สารลดแรงตึงผิว 34 และ 56 มก./ล. พบว่า ไม่สามารถคำนวณสมดุลมวลออกมาได้เนื่องจากอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นในถังยูเอเอสบีอาร์

Banks และคณะ (2011) ทำการศึกษาระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของเศษอาหารจากชุมชนที่มีการแยกแหล่งกำเนิดด้วยการประเมินศักยภาพของระบบด้วยสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน โดยทำการเก็บรวบรวมของเสียจากครัวเรือนเพื่อเข้าระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้

อากาศเป็นเวลา 426 วัน ในระหว่างนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของของเสียที่เข้าสู่ระบบ การผลิต ก๊าซชีวภาพ และลักษณะของของเสียที่จะถูกย่อยสลาย จากสมศุลมวลพบว่า วัตถุดิบที่ใส่เข้าไปในระบบจะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมากถึง 90% ยังครอบคลุมไปถึงสมศุลพลังงาน จากช่วงเวลาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วัตถุดิบแต่ละตันที่เข้าสู่ระบบจะมีศักยภาพในการเกิดเป็นพลังงานเท่ากับ 405 กิโลวัตต์/ชั่วโมง กระบวนการย่อยสลายที่สภาวะคงที่จะทำให้สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 642 ลบ.ม./ตัน ปริมาณของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดเป็นมีเทนเท่ากับ 62% ปริมาณไนโตรเจนที่พบในเศษอาหารที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.9 กิโลกรัม/ตัน และจากการสังเกตจะพบว่า ในกระบวนการย่อยสลายนี้การสะสมตัวของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะส่งผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในระบบนั้นสูงขึ้น

Schievano และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาถึงทางเลือก 3 ทาง เพื่อตรวจสอบสมศุลมวลของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกสในระดับภาคสนาม รวมถึงความน่าเชื่อถือและการนำไปใช้งาน ทำการศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะแตกต่างกันทั้งหมด 3 แห่ง เป็นระยะเวลา 1 ปี และทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ 38 ชุดการทดลองของการย่อยสลายแบบกะ จากการศึกษาพบว่า วิธีพิจารณาสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักเปียกที่สูญเสียไปจากก๊าซมีเทนที่ถูกผลิตขึ้นมาจากระบบ (น้ำหนักเปียกที่สูญเสียไป = $41.949 * \text{ก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้น} + 20.853$, $R^2 = 0.950$, $p < 0.01$) นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีนี้สามารถใช้ในการคำนวณสมศุลของคาร์บอน ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โปรแทสเซียม ของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกสทั้ง 3 แห่งที่ได้ทำการศึกษา

Schievano และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกสระดับภาคสนามด้วยวิธีบีเอ็มพี โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมศุลของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากชีวมวลที่เป็นวัตถุดิบขาเข้า และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นหลังจากมีการย่อยสลายของวัตถุดิบ ทำการศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะแตกต่างกันทั้งหมด 3 แห่ง เป็นระยะเวลา 1 ปี จากการศึกษาพบว่า กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกสของอุตสาหกรรมเกษตรในอิตาลี มีการตรวจวัดประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนด้วยวิธีบีเอ็มพีเท่ากับ 87 – 93% และในการตรวจสอบวิธีบีเอ็มพีนี้พบว่า เป็นวิธีที่เป็นประโยชน์เนื่องจากเป็นวิธีตรวจวัดที่ง่าย ไม่ซับซ้อน เหมาะที่จะนำไปใช้สำหรับตรวจวัดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกสในระดับภาคสนามได้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและการออกภาคสนามแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

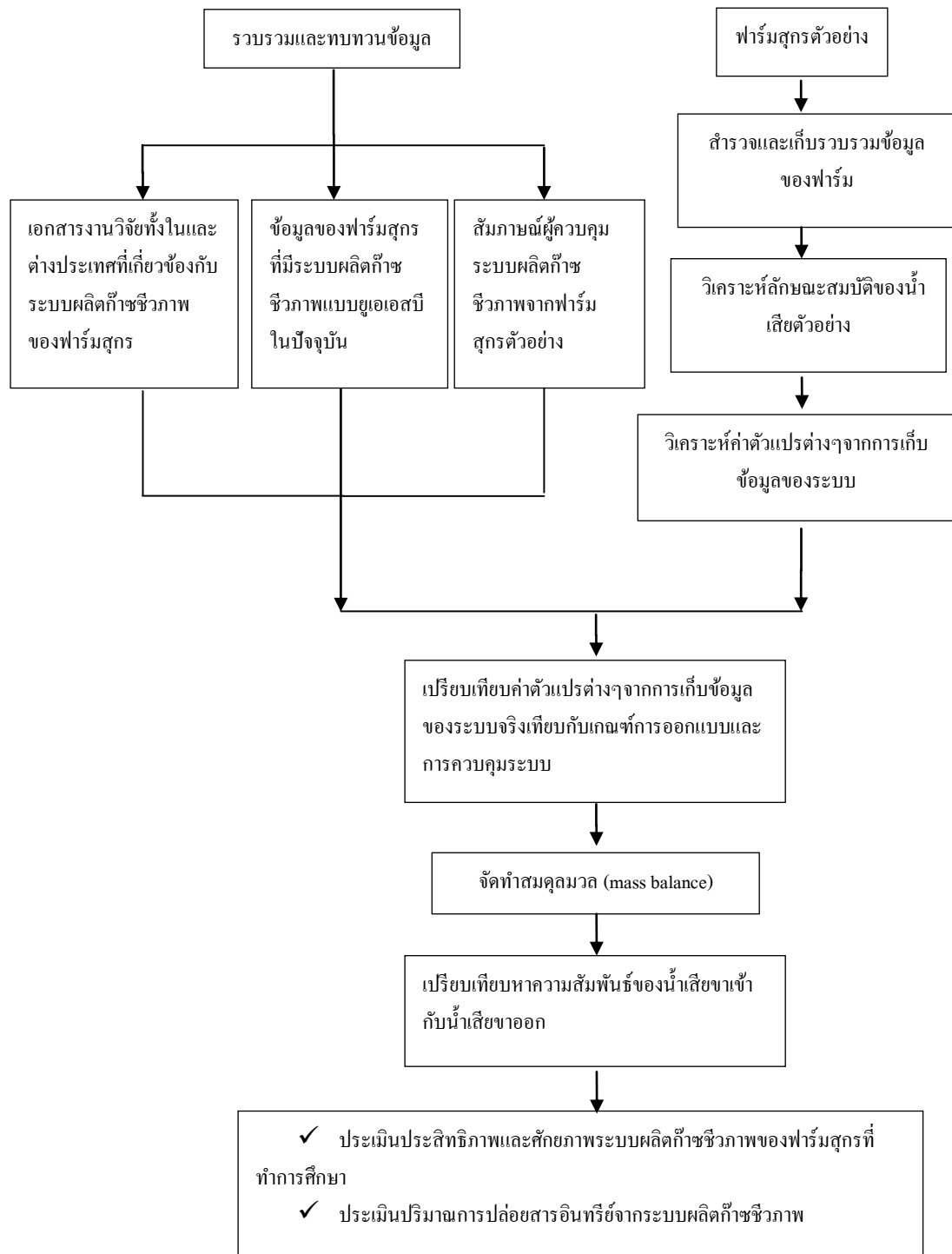
ช่วงที่ 1 ทำการสำรวจ เก็บรวบรวมข้อมูล สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร และประเมินศักยภาพของน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพ เทียบกับระบบจริงจากฟาร์มสุกรตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ชนิดของระบบ : ทำการศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรจังหวัดราชบุรี ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษาคือระบบยูเอเอสบี โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ค่าตัวแปรน้ำเสีย ดังนี้ ซีไอดี ซีไอดีละลาย ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย กรดอินทรีย์ระเหยง่าย และสภาพต่าง หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าตัวแปรตาม ที่เป็นผลจากระบบ ดังนี้ ร้อยละของซีไอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas production)
2. การปฏิบัติงานจริง : ทำการเก็บข้อมูลการเดินระบบ และเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ค่าตัวแปร ดังนี้ อุณหภูมิ ความเป็นกรด ค่า อายุของตะกอน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน
3. การเปรียบเทียบ : ศึกษาค่าตัวแปรต่างๆเทียบกับเกณฑ์การออกแบบ ขนาดของระบบ ขนาดของถังปฏิกรณ์แต่ละถัง รวมไปถึงเกณฑ์การควบคุมระบบ

ช่วงที่ 2 รวบรวมและทบทวนข้อมูลจากเอกสารงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ และทบทวนข้อมูลจากงานวิจัยช่วงที่ 1 เพื่อนำมาทำสมดุลมวลของซีไอดี และซีไอดีละลาย

ช่วงที่ 3 ทำการประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ที่ออกมาจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยประเมินจาก 2 ส่วน คือ ซีไอดีคงเหลือ และตะกอนของน้ำเสีย

โดยมีแผนการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของการทำวิจัย

3.2 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

- เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง และอุณหภูมิ
- เครื่องวัดความต่างศักย์โออาร์พี
- ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส
- เตาเผาควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550 ± 50 องศาเซลเซียส
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เครื่องอังไอน้ำ
- ตู้บชีโอดี
- ขวดแก้วทดลองรูปชมพู่
- บิวเรต
- กระดาษกรองใยแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 47 มม.
- ชุดเครื่องกรองบुकเนอร์
- ขวดเจลด้าห์ล ปริมาตร 800 มิลลิลิตร
- ชุดเครื่องมือสำหรับการกลั่นแอมโมเนีย
- ชุดเครื่องมือการย่อยสลาย
- ไม้ตลกแก้ว 3 - 4 ไม้

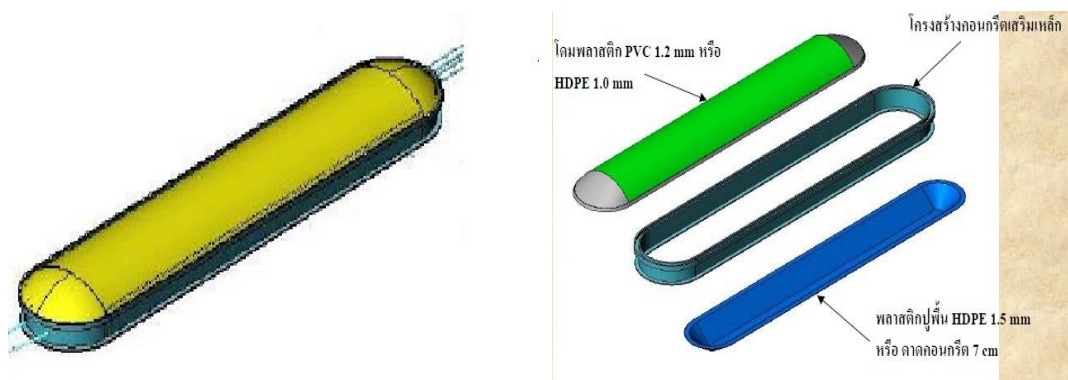
3.2.2 เคมีภัณฑ์

- โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
- กรดบอริก (H_3BO_3)
- กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- ฟีนอล์ฟทาเลอิน ($C_{20}H_{14}O_4$)
- เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH)
- บรอมครีซอลกรีน ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$)
- เมทิลเรด ($C_{15}H_{15}N_3O_2$)
- โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
- โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

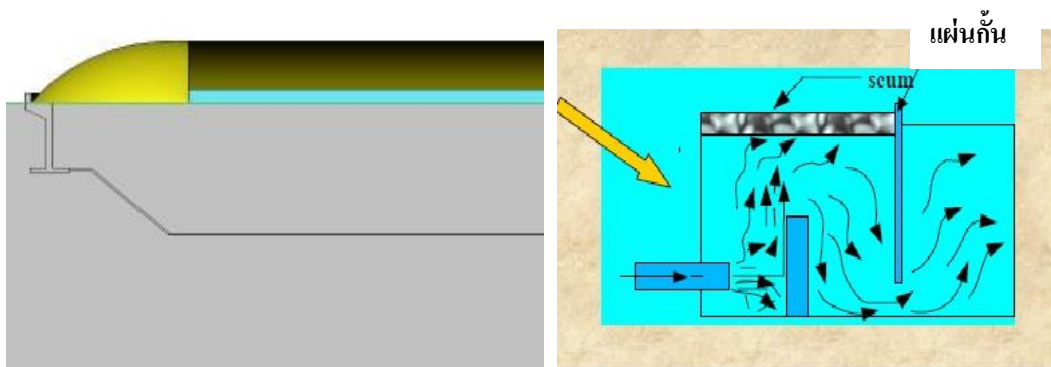
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
- เมทิลีนบลู ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$)
- โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- 1, 10 - ฟีนานโทรลีนโมโนไฮเดรต ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- เมอคิวริกซัลเฟต (HgSO_4)
- ซิลเวอร์ซัลเฟต (AgSO_4)

3.2.3 ถังปฏิกรณ์ของระบบจากฟาร์มที่ทำการศึกษา

ถังปฏิกรณ์ของระบบจากฟาร์มที่ศึกษา มีลักษณะเป็นบ่อยาวคล้ายกับบ่อหมักทรงดังแสดงในภาพที่ 3.2 แต่ภายในบ่อพบว่ามีแผ่นกั้นเพื่อกั้นตะกอนที่จะลอยขึ้นสู่ผิวบ่อ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 แปลนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มที่ศึกษา แสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.2 แบบจำลองถังปฏิกรณ์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา
(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550)



ภาพที่ 3.3 ลักษณะภายในของถังปฏิกรณ์
(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550)

3.2.4 เครื่องวัดอัตราการไหล

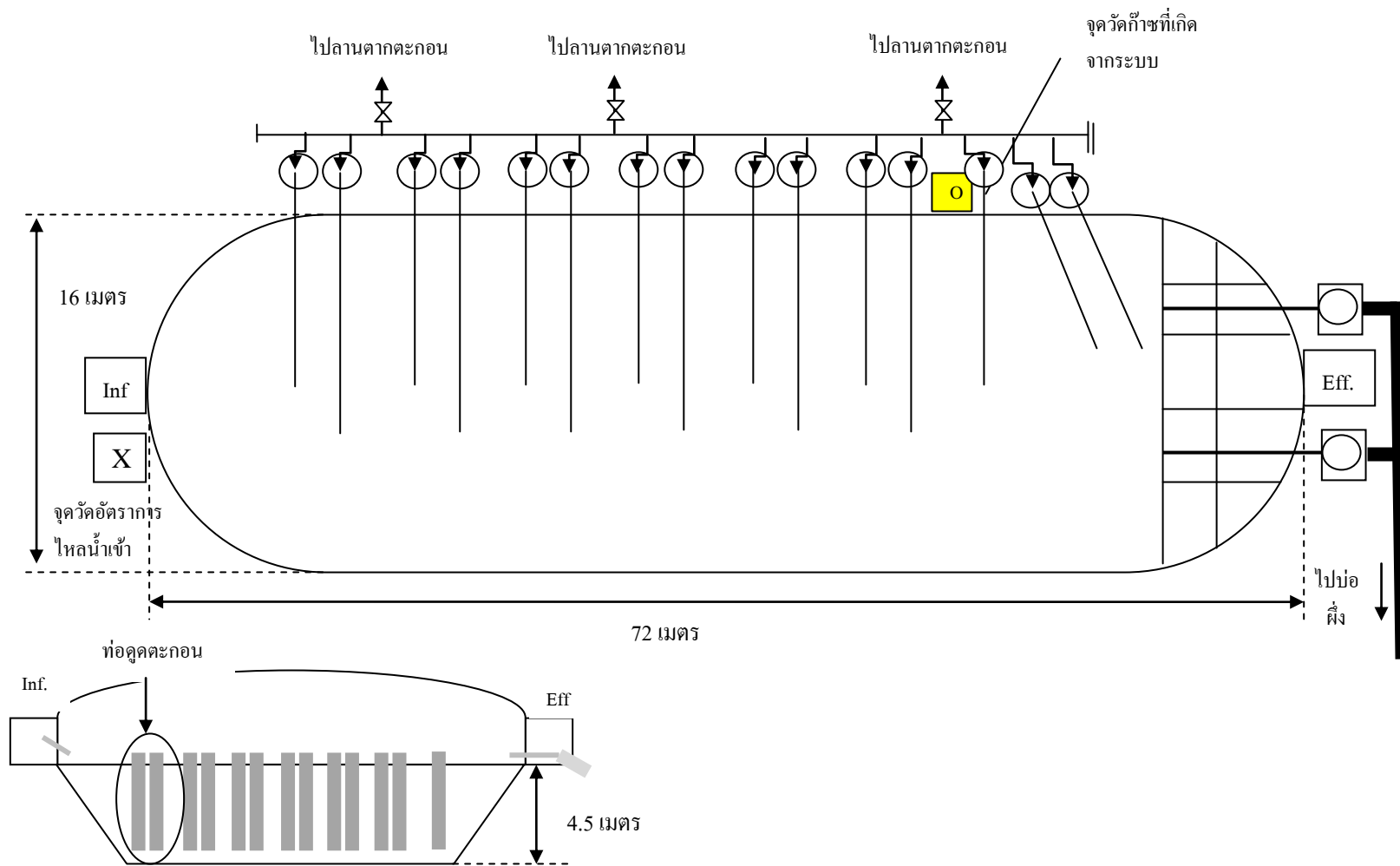
3.2.4.1 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบและก๊าซชีวภาพ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบของฟาร์มที่ศึกษานั้น ใช้เครื่องมือวัดของบริษัท เอนเดรส เฮาเซอร์ (Endress + Hauser) รุ่น Promag 50D ดังแสดงในภาพที่ 3.5 อุปกรณ์จะถูกติดตั้งอยู่ในท่อน้ำเสียที่เข้าระบบ โดยจะทำการวัดอัตราการไหลด้วยหลักการของ electromagnetic flow meter รายละเอียดของเครื่องมือแสดงในภาคผนวกที่ ก-2.1

- เครื่องมือจะทำการวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ ตำแหน่งก่อนจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 3.12

เครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพของฟาร์มที่ศึกษานั้น ใช้เครื่องมือวัดของบริษัท เอนเดรส เฮาเซอร์ (Endress + Hauser) รุ่น Deltatop D063C ดังแสดงในภาพที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราการไหลนี้ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO 5167-2 โดยอุปกรณ์จะถูกติดตั้งอยู่ภายในท่อส่งก๊าซ และจะวัดอัตราการไหลด้วยหลักการการนำไฟฟ้า รายละเอียดของเครื่องมือแสดงในภาคผนวกที่ ก-2.2

- เครื่องมือจะทำการวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ออกจากระบบตำแหน่งก่อนเข้าระบบทำความสะอาดก๊าซ ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.4 แผนระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มที่ศึกษา



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบที่ศึกษา
(ที่มา: www.th.endress.com. [ออนไลน์]. 2556, เมษายน 27)



ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพฟาร์มที่ศึกษา
(ที่มา: www.th.endress.com. [ออนไลน์]. 2556, เมษายน 27)

โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลนี้จะมีการปรับเทียบเครื่องมือกับมาตรฐานปีละครั้ง และข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเสียและก๊าซชีวภาพที่เครื่องวัดอัตราการไหลวัดได้จะเข้าสู่เครื่องประมวลผล ดังแสดงในภาพที่ 3.8 และข้อมูลทั้งหมดจะสามารถอ่านค่าข้อมูลด้วยโปรแกรม ReadWin 2000 ดังแสดงในภาพที่ 3.9 ตัวอย่างของข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบและก๊าซชีวภาพ แสดงในภาคผนวก ก-2.3



ภาพที่ 3.7 ตำแหน่งวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ



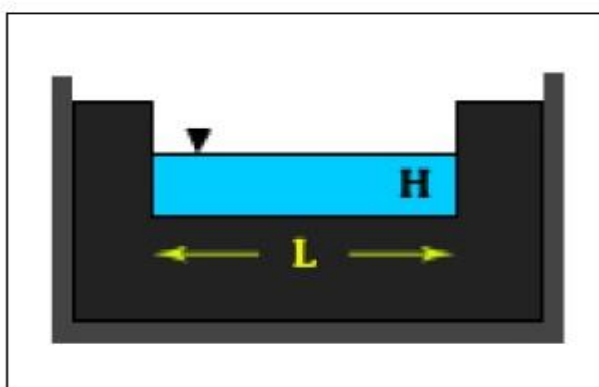
ภาพที่ 3.8 เครื่องประมวลผลข้อมูลอัตราการไหลน้ำเสียที่เข้าระบบ
และก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้



ภาพที่ 3.9 โปรแกรม ReadWin 2000

3.2.4.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบ จะทำการวัดด้วยฝายวัดน้ำชนิดสี่เหลี่ยม เนื่องจากฝายวัดน้ำชนิดสี่เหลี่ยมเป็นชนิดที่นิยมใช้กับฟาร์มสุกรที่มีการล้างคอกอย่างสม่ำเสมอ หรือมีการปล่อยน้ำเสียออกมาในปริมาณมากๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) โดยฝายวัดน้ำชนิดสี่เหลี่ยมจะมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ฝายวัดน้ำชนิดสี่เหลี่ยม (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

โดยอัตราการไหลของน้ำเสียที่ไหลผ่านฝายวัดน้ำรูปสี่เหลี่ยมสามารถ
คำนวณได้ ดังนี้

$$Q = 1.84LH^{3/2}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย (m}^3/\text{s)}$$

$$L = \text{ความยาวของสันฝาย (m)}$$

$$H = \text{ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย (m)}$$

การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบ จะแสดงดังภาคผนวกที่

ค-3.2

3.2.4.3 การวัดอัตราการไหลของตะกอนที่ออกจากระบบ

การวัดอัตราการไหลของตะกอนที่ออกจากระบบหาได้โดยการคำนวณ
ปริมาตรบ่อที่ใช้เก็บกักตะกอน โดยต้องทราบขนาดของบ่อเก็บตะกอน (กว้าง ยาว และสูง) และ
ต้องทราบว่าบ่อเก็บตะกอนมีลักษณะรูปทรงเป็นเช่นไร เพื่อที่จะใช้สูตรในการหาปริมาตรได้อย่าง
ถูกต้อง (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ในงานวิจัยนี้บ่อดักตะกอนของฟาร์มที่ศึกษาเป็นบ่อคอนกรีต
ลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และในการคำนวณจะใช้ความสูงของตะกอนที่ถูกปล่อยออกจาก
ระบบจริงมาใช้ในการคำนวณ

การหาปริมาตรบ่อดักตะกอนที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม

สูตร

$$\text{ปริมาตรสี่เหลี่ยม (ลบ.ม.)} = \text{กว้าง (เมตร)} \times \text{ยาว (เมตร)} \times \text{สูง (เมตร)}$$

การคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบ จะแสดงดัง

ภาคผนวกที่ ค-3.3

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การคัดเลือกฟาร์มสุกรตัวอย่าง

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ
ผลิตก๊าซชีวภาพ จึงต้องคัดเลือกฟาร์มตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำเสียมากพอที่จะคุ้มค่ากับการลงทุน
ก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้นจึงเลือกศึกษาในฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดย
กำหนดขนาดของฟาร์มดังนี้

3.3.1.1 การกำหนดขนาดของฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

กำหนดตามจำนวนหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) ของฟาร์มสุกร เมื่อคือน้ำหนักสุกรในฟาร์มเมื่อโตเต็มที่ และกำหนดให้ 1 หน่วยปศุสัตว์ เท่ากับ น้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม

- ฟาร์มสุกรรายย่อย มีขนาด น้อยกว่า 6 หน่วยปศุสัตว์
- ฟาร์มสุกรขนาดเล็ก มีขนาด 6 – 60 หน่วยปศุสัตว์
- ฟาร์มสุกรขนาดกลาง มีขนาด 61 – 600 หน่วยปศุสัตว์
- ฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ มีขนาด มากกว่า 600 หน่วยปศุสัตว์

3.3.1.2 การกำหนดน้ำหนักสุกร

เมื่อโตเต็มที่ กำหนดให้

- สุกรพ่อ – แม่พันธุ์ มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 170 กิโลกรัม
- สุกรขุน มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 60 กิโลกรัม
- สุกรอนุบาล มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 12 กิโลกรัม

3.3.1.3 คัดเลือกฟาร์มสุกรตัวอย่าง

คัดเลือกฟาร์มสุกรเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัย โดยกำหนดคุณสมบัติ ดังนี้

- เป็นฟาร์มสุกรขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ มีจำนวนสุกรไม่น้อยกว่า 300 หน่วยปศุสัตว์
- มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ดำเนินการมาแล้ว
- มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
- สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้อย่างครบถ้วน

3.3.1.4 ฟาร์มสุกรตัวอย่าง

- ฟาร์มสุกรตัวอย่างอยู่ในจังหวัดราชบุรี
- เลี้ยงสุกรประเภทพ่อ-แม่พันธุ์ จำนวน 930 ตัว และสุกรขุน 6,500 ตัว
- มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ดำเนินการมาแล้วเป็นระยะเวลา 3 ปี ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มตัวอย่าง

3.3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย

งานวิจัยนี้จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรตัวอย่างในจังหวัดราชบุรี มาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยทั่วไปจะมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยทั่วไป

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
ค่าบีโอดี	ค่าซีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	ทีเคเอ็น	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด
3,000	7,000	4,800	540	8.0
2,500	6,800	3,000	540	9.5
1,500	4,000	2,000	400	17.0

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550

3.3.2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ก. ขวดพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน ขนาด 1 ลิตร มีฝาปิดสนิทแบบ
เกลียว

ข. ขันตักน้ำด้ามยาวประมาณ 2 เมตร

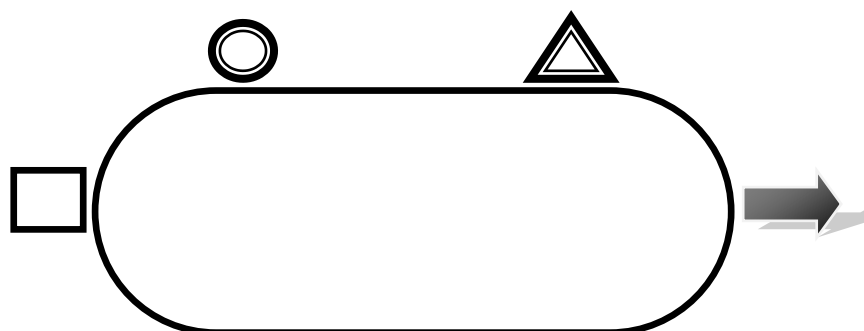
ค. ถังน้ำพลาสติก ขนาด 15 – 20 ลิตร

ง. กล่องโฟม

จ. น้ำแข็ง

2) วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจะทำการเก็บแบบผสมรวม (Composite sampling) ทุก 1 ชั่วโมง ปริมาตรครั้งละ 1 ลิตร เก็บทั้งหมด 6 ชั่วโมงต่อวันของการเก็บตัวอย่าง ปริมาตรทั้งหมด 6 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากการผสมรวมมาวิเคราะห์ทั้งหมดปริมาตร 4 ลิตร การเก็บตัวอย่างทั้งหมด เก็บเป็นระยะเวลา 9 เดือน เก็บตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 4 จุดตัวอย่าง ได้แก่ น้ำเข้าระบบ (□) น้ำออกจากระบบ (➡) น้ำออกก่อนเข้าลานตากตะกอนต้นบ่อ (⊙) และน้ำออกก่อนเข้าลานตากตะกอนท้ายบ่อ (△) โดยแสดงแผนผังของระบบ (ดังภาพที่ 3.12) และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 3.13 – 3.16 รายละเอียดของการเก็บตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.12 แผนผังตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 3.13 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบ



ภาพที่ 3.14 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าลานตากตะกอนต้นบ่อ



ภาพที่ 3.15 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าลานตากตะกอนท้ายบ่อ



ภาพที่ 3.16 จุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนออกจากระบบ

3.3.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย (มันดิน และ มักรักษ์ ตัณฑุเวศน์, 2547)

ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพของน้ำเสียตัวอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด ต่าง สภาพต่าง ซีโอดี ซีโอดีละลาย ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ค่าความต่างศักย์โออาร์พี และค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN) วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานสากล (Standard Method for Examination of Wastewater) (APHA, AWWA และ WPCF, 1998) และทำการคำนวณค่าตัวแปร ดังนี้ ร้อยละของซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงวิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียดังตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรควบคุมและค่าที่ทำการควบคุม

ตัวแปรควบคุม	ตัวแปร	ค่าที่ทำการควบคุม
เกณฑ์การ ออกแบบและ การเดินระบบ	▪ ค่าความเป็นกรด ต่าง	6.5 – 8.5
	▪ อุณหภูมิ	30 - 35 องศาเซลเซียส
	▪ อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์	0.5 - 110 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.ต่อวัน
	▪ ระยะเวลาเก็บกัก	6 ชั่วโมง - 5 วัน
	▪ ของแข็งแขวนลอย	50,000 - 100,000 มก/ล.
	▪ ของแข็งระเหย	25,000 - 35,000 มก/ล.
	▪ ซีโอดี	58,500 มก/ล.

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2004 และ เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543

ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง จำนวนตัวอย่าง และความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

ชนิดระบบ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	จำนวนครั้ง	ความถี่ในการเก็บ	จำนวนตัวอย่างต่อครั้ง	รวมจำนวนตัวอย่าง	จำนวนตัวแปรที่วิเคราะห์	จำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์/ตัวแปร	รวมจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์
ผลิตก๊าซชีวภาพ	น้ำเสียก่อนการเข้าสู่ระบบ	14	เดือนที่ 1 : ทุกอาทิตย์ เดือนที่ 2-9 : 2 อาทิตย์/ครั้ง	1	14	9	3	378
	น้ำเสียก่อนเข้าลานตากตะกอน (หัวบ่อ)	14	เดือนที่ 1 : ทุกอาทิตย์ เดือนที่ 2-9 : 2 อาทิตย์/ครั้ง	1	14	7	3	294
	น้ำเสียก่อนเข้าลานตากตะกอน (ท้ายบ่อ)	14	เดือนที่ 1 : ทุกอาทิตย์ เดือนที่ 2-9 : 2 อาทิตย์/ครั้ง	1	14	7	3	294
	น้ำเสียที่ออกจากระบบ	14	เดือนที่ 1 : ทุกอาทิตย์ เดือนที่ 2-9 : 2 อาทิตย์/ครั้ง	1	14	14	3	588
					ทั้งหมด	52		

หมายเหตุ: ตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ รวมการวิเคราะห์ในขั้นตอนการทำ pre-test 1 ครั้ง

ตัวแปรที่วิเคราะห์ ไม่รวม - ปริมาณก๊าซมีเทน เนื่องจาก เป็นการสอบถามข้อมูลจากฟาร์มโดยตรง

ตัวแปรและจำนวนของตัวแปรที่วิเคราะห์ แสดงดัง ภาพที่ 3.18

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรตามและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำตัวอย่าง

ตัวแปรตาม	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ▪ ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ 	อุณหภูมิ	เครื่องวัดอุณหภูมิ (°C)	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS)	Standard Method#2540B (Dried 103 - 105°C)	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS)	GF/C filter	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solids, VSS)	Standard Method#2540B (Dried 500 - 600°C)	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	Standard method#4500 – TKN	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ซีโอดี (COD)	Standard method#5220C (Closed reflux)	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ซีโอดีละลาย (sCOD)	Standard method#5220C (Closed reflux)	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Gas production)	สอบถามจากฟาร์มตัวอย่าง	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (Percent Methane)	Gas Chromatography	1 เดือน/ครั้ง
	ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Percent Hydrogen sulfide)	Gas Chromatography	1 เดือน/ครั้ง
	ปริมาณความชื้น (Percent Moisture)	Gas Chromatography	1 เดือน/ครั้ง
	ความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (ORP)	ORP meter	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	pH meter	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	สภาพด่าง (Alkalinity)	Standard method#2320 (Titration method)	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง
	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid : VFA)	Standard method#5560	ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง

3.3.3 ศึกษาข้อมูลการควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยในขั้นนี้ เป็นการศึกษาวิจัยโดยการสังเกต (ธีระวุฒิ สุวัธนะเชาว์, 2543) ทำการศึกษาวิจัยโดยสำรวจ รวบรวมข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรตัวอย่าง 1 ฟาร์ม ตั้งอยู่ที่ อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี ดังนี้

3.3.3.1 ข้อมูลทั่วไปของฟาร์ม

ได้แก่ ชื่อเจ้าของฟาร์ม สถานที่ตั้ง การบริหารจัดการ วันเดือนปีที่เริ่มดำเนินการ ปัญหาหมักและผลกระทบต่อชุมชนบริเวณรอบฟาร์ม

3.3.3.2 ข้อมูลการจัดการทรัพยากร

จำนวนที่ดินทั้งหมดของฟาร์ม การบริหารจัดการใช้ที่ดินของฟาร์ม ราคาที่ดินปัจจุบัน แหล่งน้ำ การจัดการทรัพยากรน้ำและปัญหาการขาดแคลนน้ำ จำนวนอัตรากำลังบุคลากร

3.3.3.3 ข้อมูลการเลี้ยงสุกร

ได้แก่ วัตถุประสงค์ในการผลิตสุกร จำนวนสุกรแบ่งตามประเภทและขนาดต่างๆ จำนวนและรูปแบบโรงเรือนเลี้ยงสุกร วิธีการจัดการเลี้ยงสุกร

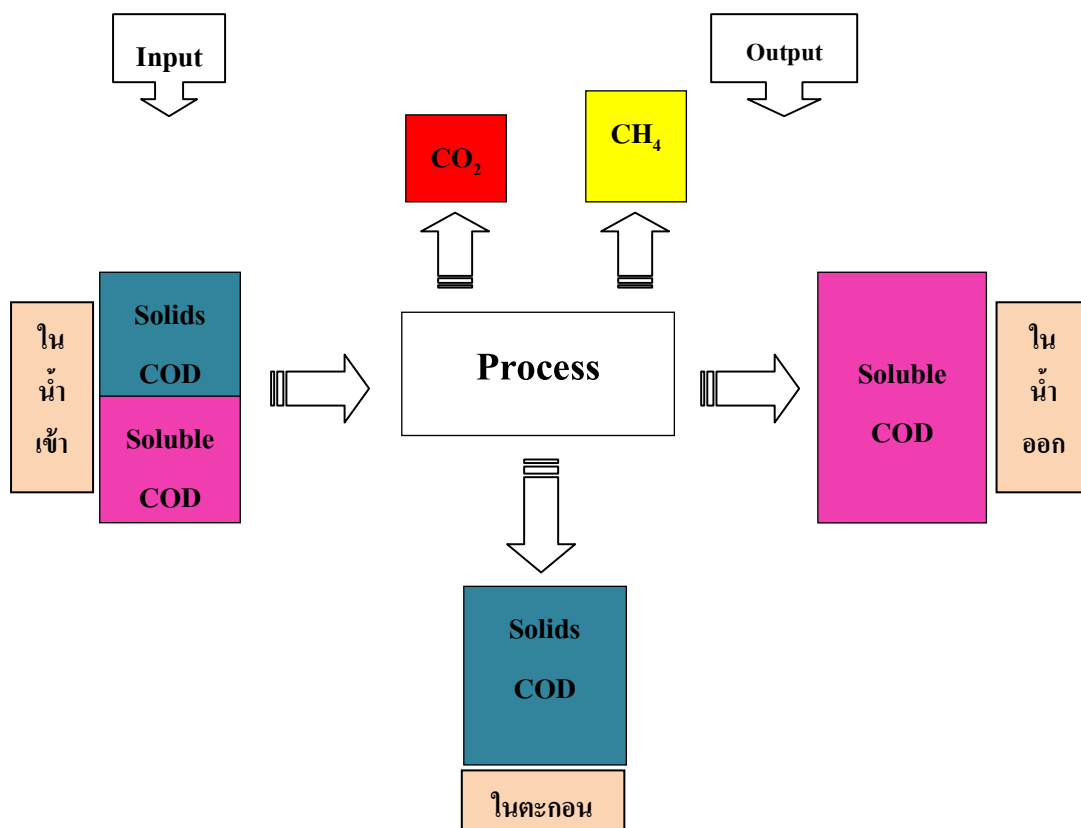
3.3.3.4 ข้อมูลการจัดการน้ำเสีย

ได้แก่ วิธีการบำบัดน้ำเสียและความถี่ในการทำความสะอาด จำนวนของเสียโดยเฉพาะมูลและน้ำเสีย ลักษณะวิธีและหลักการระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ขนาดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าใช้จ่ายทั้งการลงทุน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ชนิดและจำนวนผลพลอยได้จากการดำเนินการระบบผลิตก๊าซชีวภาพ รายได้จากการขายหรือแปรรูปผลพลอยได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ วิธีการแก้ปัญหาแบบอื่นๆที่ฟาร์มใช้เสริมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อแก้ปัญหาทั้งระยะสั้นและระยะยาว

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรตัวอย่าง ด้วยวิธีการสร้างแบบสอบถาม นำแบบสอบถาม (แสดงตัวอย่างแบบสอบถามในภาคผนวก ก) ไปสัมภาษณ์ผู้ควบคุมระบบของฟาร์มตัวอย่าง เมื่อได้ข้อมูลแล้ว นำข้อมูลมาศึกษาและวิเคราะห์เพื่อสรุปผลข้อมูลจากการควบคุมระบบจริง

3.3.4 การสร้างสมดุลมวล

รวบรวมและทบทวนข้อมูลจากเอกสารงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ เกี่ยวกับการออกแบบและการเดินระบบ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพของ ฟาร์มสุกรนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ศึกษามาทำการวิเคราะห์เพื่อนำมาจัดทำสมดุลมวลของสารอินทรีย์ โดยใช้ซีโอดี และซีโอดีละลายเป็นตัวชี้วัด ดังแสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 แผนผังสมดุลมวล

3.3.5 ประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

นำสมมูลมวลมาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของน้ำเสียขาเข้า กับตัวแปรของน้ำเสียขาออก และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการออกแบบและการเดินระบบเทียบกับข้อมูลตัวแปรตาม (ดังแสดงตัวอย่างข้อมูลตามตารางที่ 3.5) คือ ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อทำการประเมินถึงปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อระบบ และประเมินถึงประสิทธิภาพและศักยภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกรที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปร

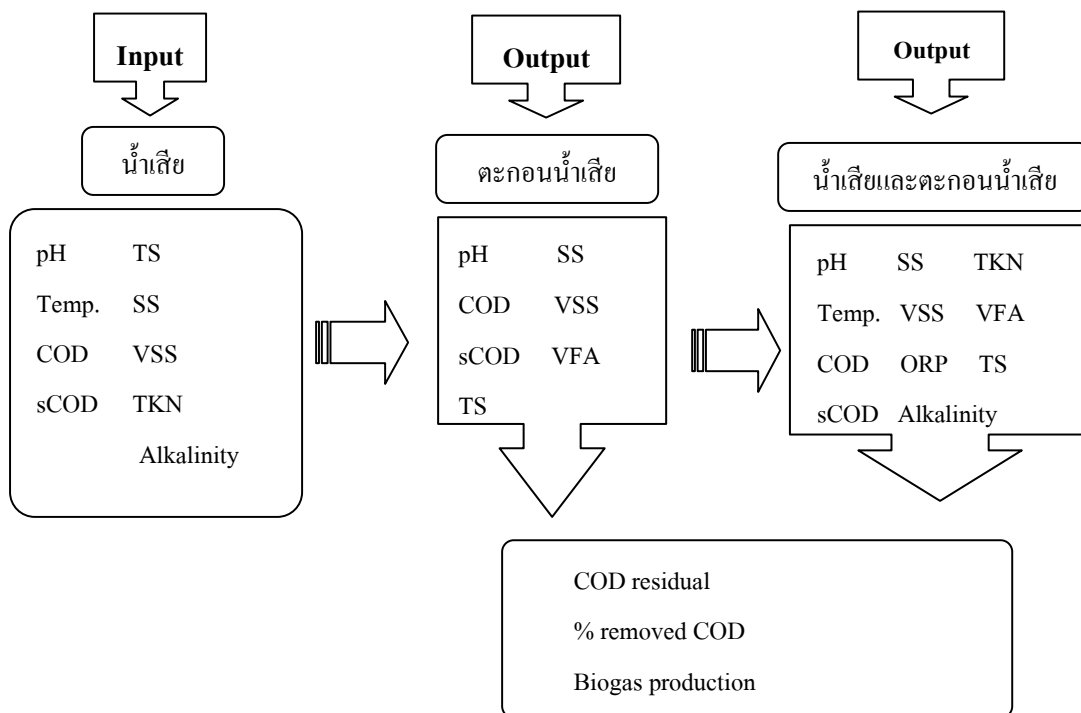
ชนิดของระบบ	ตัวแปร	เกณฑ์การออกแบบและการเดินระบบ	การออกแบบระบบจริงของฟาร์ม	Δ	Y
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	พีเอช	6.5 - 8.5			
	อุณหภูมิ	30 - 35 องศาเซลเซียส			
	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	0.5 - 110 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.ต่อวัน			
	ระยะเวลาเก็บกัก	6 ชั่วโมง - 5 วัน			
	ซีโอดี	58,500 มก/ล.			
	ของแข็งแขวนลอย	50,000 - 100,000 มก/ล.			
	ของแข็งแขวนลอยระเหย	25,000 - 35,000 มก/ล.			

หมายเหตุ Δ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างเกณฑ์การออกแบบและควบคุมระบบกับการออกแบบและเดินระบบจริงของฟาร์ม

Y คือ ประสิทธิภาพของระบบ

- ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์
- ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2004 และ เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ 2543



ภาพที่ 3.18 แผนผังแสดงตัวแปรที่วัดและจุดตรวจวัด

3.3.6 ประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ที่ออกจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากระบบการผลิตและตะกอนของน้ำเสียมาวิเคราะห์หาค่าซีโอดีและซีโอดีละลาย ตามวิธีในตารางที่ 3.4 และนำผลของการวิเคราะห์มาคำนวณหาร้อยละของซีโอดีที่ถูกกำจัด และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ นำผลจากการคำนวณมาประเมินหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกปล่อยออกจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

สมการแสดงการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \left[\frac{\text{ซีโอดีก่อนเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีออกจากระบบ}}{\text{ซีโอดีก่อนเข้าระบบ}} \right] \times 100$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ข้อมูลพื้นฐานของฟาร์มตัวอย่าง

ข้อมูลพื้นฐานของฟาร์มเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของฟาร์มที่ศึกษา และข้อมูลที่ส่งผลกระทบต่อกรเกิดน้ำเสียน้ำในฟาร์มทั้งหมด จากการเก็บข้อมูลภาคสนามที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้ทำการแบ่งลักษณะของข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลจากการสำรวจ กระบวนการเกิดน้ำเสียของฟาร์มตัวอย่าง และการประเมินการเกิดน้ำเสียจากสูตรตามกรมควบคุมมลพิษ

4.1.1 ข้อมูลการสำรวจ

- สถานที่ตั้ง อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี
- สภาพฟาร์ม
 - สุกรพ่อพันธุ์ จำนวนโรงเรือน 1 หลัง
 - สุกรแม่พันธุ์ จำนวนโรงเรือน 9 หลัง
 - สุกรอนุบาล จำนวนโรงเรือน 8 หลัง
 - สุกรขุน จำนวนโรงเรือน 10 หลัง
 - ก่อตั้งระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 3 ปี เริ่ม พ.ศ. 2552
 - พื้นที่ทั้งหมดของฟาร์ม ประมาณ 70 ไร่ พื้นที่โรงเรือน 40 ไร่ พื้นที่อาคาร 2 ไร่ และพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสีย 2 ไร่
 - ราคาที่ดินปัจจุบัน ราคาไร่ละ 80,000 บาท
 - ฟาร์มตั้งอยู่ห่างจากชุมชน บริเวณรอบฟาร์ม ปลูกข้าวโพดและอ้อย
 - แหล่งน้ำของฟาร์ม ใช้น้ำใต้ดิน ลึก 50 เมตร
 - ค่าไฟฟ้า ประมาณ 104,000 บาท/เดือน

4.1.2 ประเภทของสุกรและจำนวนสุกรทั้งหมด

จากการเก็บข้อมูลฟาร์มตัวอย่างพบว่า สุกรที่ฟาร์มตัวอย่างเลี้ยงไว้ จำแนกได้ทั้งหมด 4 ประเภทด้วยกัน คือ พ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ ลูกหมูอนุบาล และหมูขุน โดยแบ่งจำนวนตามประเภทของสุกร ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ประเภทและจำนวนของสุกรนี้จะส่งผลโดยตรงต่อการเกิดน้ำเสียน้ำในฟาร์ม เนื่องจากปริมาณของน้ำเสียน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประเภทและจำนวน

ของสุกรที่เลี้ยงหรือขนาดของฟาร์มสุกร (Hobson และ Robertson, 1977 อ้างถึงใน วีระพันธ์, 2542) โดยเปรียบเทียบได้จากการคำนวณอัตราการเกิดน้ำเสียจากสูตรการคำนวณของกรมควบคุมมลพิษ เมื่อคำนวณตามประเภทและจำนวนสุกรที่เลี้ยงไว้ในฟาร์มพบว่า ฟาร์มสุกรตัวอย่างแห่งนี้จัดอยู่ในประเภทฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) เนื่องจากมีจำนวนหน่วยปศุสัตว์มากกว่า 600 หน่วย ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อนำน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวมที่คำนวณได้จากฟาร์มที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่าการออกแบบจริงของระบบพบว่า น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวมที่คำนวณได้คือ 1,173 หน่วย อยู่ในช่วงของการออกแบบจริงของระบบที่กำหนดไว้เท่ากับ 1,440 หน่วย ดังนั้นระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกรที่ศึกษานี้จึงสามารถรับของเสียได้มากกว่าปัจจุบัน

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนสุกรทั้งหมดของฟาร์ม

ประเภทสุกร		จำนวนโรงเรือน (หลัง)	จำนวนหมู (ตัว)
พ่อพันธุ์		1	30
แม่พันธุ์		9	900
ลูกหมูอนุบาล		8	1,800
หมูขุน		10	6,500
	รวม	28	9,230

ตารางที่ 4.2 จำนวนขนาดของฟาร์มสุกรตัวอย่างตามน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวม

ประเภทสุกร		น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)	สมการคำนวณ	น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวม (นปส.)
สุกรพ่อพันธุ์		250	(จำนวนสุกร ตัว × 250)/500	15
สุกรแม่พันธุ์		180	(จำนวนสุกร ตัว × 180)/500	324
สุกรอนุบาล		15	(จำนวนสุกร ตัว × 15)/500	54
สุกรขุน		60	(จำนวนสุกร ตัว × 60)/500	780
	รวม			1,173

หมายเหตุ กรณีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวม (นปส.)

- น้อยกว่า 60 นปส. จัดเป็นฟาร์มขนาดเล็ก (Small Scale)
- ระหว่าง 60-600 นปส. จัดเป็นฟาร์มขนาดกลาง (Medium Scale)
- มากกว่า 600 นปส. จัดเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ (Large Scale)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550

4.1.3 ลักษณะของการบำบัดน้ำเสีย

➤ การทำความสะอาด

- โดยการเก็บกวาดมูลสุกร นิดน้ำล้างมูลสุกรให้ตกลงใต้พื้นในบ่อกักน้ำ และใช้ระบบแรงดันน้ำล้างออกเมื่อเปิดวาล์ว วันละ 1 ครั้ง
- การล้างคอกสุกร จะทำการล้างพร้อมกันทุกโรงเรือน จะล้างคอกทุกวันพุธ และวันเสาร์ เวลา 05.00 – 09.00 น. เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการล้างคอกคือ 4 ชั่วโมงต่อครั้ง

➤ ปริมาณน้ำเสีย

- อัตราการเกิดน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดประมาณ 186.36 ลบ.ม./วัน

4.1.4 การกำจัดของเสียก่อนเข้าระบบบำบัด

- ไม่มีการกำจัดของเสียก่อนเข้าระบบบำบัด
- ระบบบำบัดขั้นแรก และขั้นที่สอง ด้วยกระบวนการบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้อากาศ
- ระบบบำบัดขั้นสุดท้าย ด้วย บ่อฝัง
- น้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้วนำไป ใช้เป็นปุ๋ยน้ำเพื่อปลูกพืช ปลูกอ้อย และนำไปเลี้ยงสาหร่าย

4.1.5 ขนาดของระบบบำบัด

➤ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบก๊าซชีวภาพ ประเภท แผ่นกั้นไร้อากาศ ประกอบด้วย

- บ่อรวมน้ำเสีย ขนาดความจุ 413.51 ลบ.ม. จำนวน 1 บ่อ
- บ่อหมักแบบราง และมีแผ่นกั้น ขนาด 16 x 72 x 4.5 ม. ความจุ 5,184 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด
- ลานตากตะกอน ขนาด 5.5 x 11 ม. จำนวน 4 ชุด ขนาด 22 x 48 ม. พื้นที่ 1,050 ลบ.ม.

➤ ระบบบำบัดขั้นหลัง

- บ่อฝัง 1 ขนาด 19.83 x 84.38 x 3 ม. ความจุ 5,019.76 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด
- บ่อฝัง 2 ขนาด 14.89 x 32.1 x 3 ม. ความจุ 1,433.91 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด
- บ่อฝัง 3 ขนาด 28.08 x 21.47 x 3 ม. ความจุ 1,808.63 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด

4.1.6 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

- ค่าก่อสร้างระบบทั้งหมด 8,918,807.41 บาท
- ค่าจ้างแรงงาน ไม่มี เจ้าของฟาร์มเป็นผู้ดูแลเอง

4.1.7 ผลที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย

- ขายปุ๋ยมูลสัตว์ได้ จำนวน 579.20 กิโลกรัม/วัน
 - ราคาเฉลี่ย กิโลกรัมละ 0.50 บาท เป็นเงิน 105,704 บาท/ปี
- ก๊าซชีวภาพ ผลิตก๊าซชีวภาพได้ ประมาณวันละ 1,246.05 ลบ.ม.
 - ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 40 – 60 กิโลวัตต์ วันละ 10 - 16 ชั่วโมง
 - ทดแทนพลังงานไฟฟ้า 400 – 640 กิโลวัตต์/ชั่วโมง
 - คิดเป็นมูลค่าไฟฟ้า 50,000 บาท/เดือน

4.1.8 ประสิทธิภาพของระบบบำบัด

คุณภาพของน้ำเสีย ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3.3

4.1.9 เหตุผลในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสีย

- เพื่อสภาพแวดล้อมภายในฟาร์ม
- เพื่อเพิ่มรายได้จากการขายปุ๋ยมูลสัตว์
- เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน
- เพื่อปฏิบัติตามกฎหมาย

4.1.10 กระบวนการเกิดน้ำเสียของฟาร์มตัวอย่าง

กระบวนการเกิดน้ำเสียในฟาร์มสุกรมาจากน้ำใช้ต่างๆ ซึ่งน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเลี้ยงสุกรเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีการนำน้ำมาใช้ในการอุปโภค และบริโภค การทำความสะอาด อุปกรณ์ต่างๆ และทำความสะอาด โรงเรือน น้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม จำพวก น้ำล้างคอกและอุปกรณ์ต่างๆ น้ำเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของเสียของสุกร ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะไหลรวมเข้าสู่ระบบทั้งหมด

น้ำเสียที่เกิดขึ้นของฟาร์มที่ศึกษานี้ จะเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกของสุกรมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย น้ำจากการขับถ่ายปัสสาวะและอุจจาระ รวมไปถึงเศษอาหารและน้ำกินน้ำใช้ที่สุกรกินหกหล่น ในส่วนของน้ำฝนนั้น ฟาร์มที่ศึกษามีระบบการจัดการน้ำฝนเพื่อ

แยกออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

4.1.11 การคำนวณการประเมินการเกิดน้ำเสียจากสูตรตามกรมควบคุมมลพิษ

เมื่อทราบจำนวนสูตรทั้งหมดของฟาร์มตัวอย่าง จึงนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณเพื่อประเมินการเกิดน้ำเสียจากสูตรอัตราการเกิดน้ำเสียของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) พบว่า ได้ค่าการคำนวณอัตราการเกิดน้ำเสียจำแนกตามสูตรแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4.3 การคำนวณอัตราการเกิดน้ำเสียของฟาร์มตัวอย่างจากสูตรแสดงดังภาคผนวกที่ ก-1.1

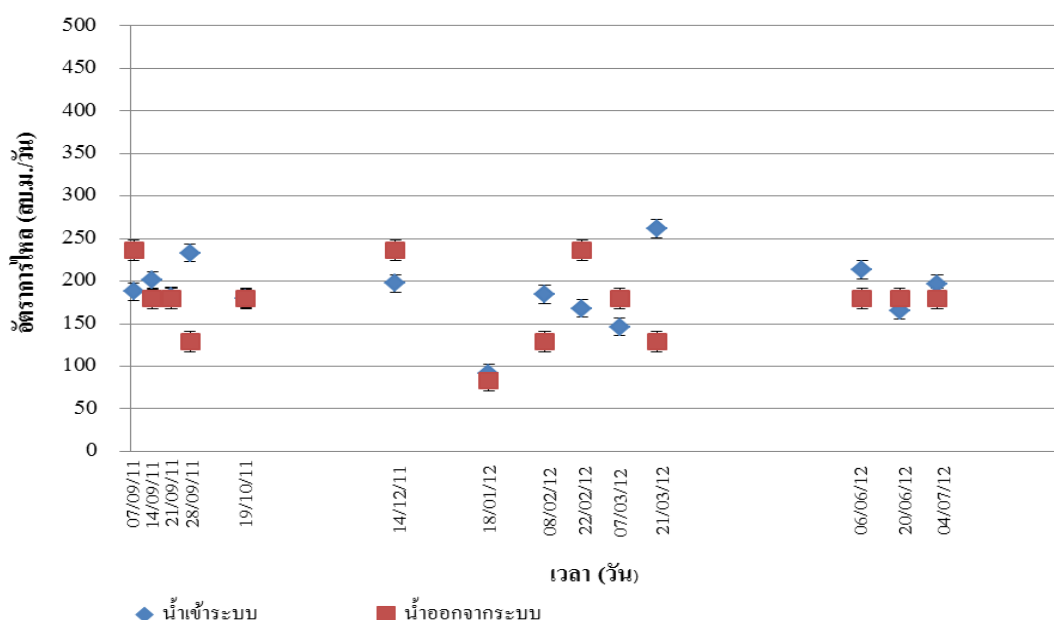
ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการเกิดน้ำเสียของฟาร์มตัวอย่างจากสูตรการคำนวณ

ประเภทสูตร	ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม./วัน)
สูตรพ่อ-แม่พันธุ์	59.52
สูตรขุน	156
สูตรอนุบาล	36
รวม	251.52

4.2 ข้อมูลอัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ น้ำเสียออกจากระบบ และตะกอน

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามทั้งหมด 14 ครั้งแล้วนำข้อมูลมาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบและอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.1 พบว่า อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 186.36 ± 39.74 ลบ.ม./วัน และอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 174.14 ± 44.95 ลบ.ม./วัน จากกราฟจะพบว่า อัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบเนื่องจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพนี้มีการระบายของเหลวในรูปตะกอนออกจากระบบด้วย จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบนั้นแยกเป็นอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบในส่วนของน้ำใส และอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบในส่วนของการระบายตะกอน จากการคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบในส่วนการระบายตะกอนของระบบจริงทั้ง 2 จุดมีค่าเท่ากับ 10.89 ลบ.ม./วัน และเมื่อพิจารณาจากความแปรปรวนพบว่า อัตราการไหลของน้ำเสียทั้งเข้าและออกจากระบบมีการแปรปรวนที่ไม่สูงนัก เนื่องจากปริมาณน้ำเสียแปรผันโดยตรงกับจำนวนของสุกรในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่าง เมื่อพิจารณากับอัตราการไหล

ของน้ำเสียที่เข้าระบบจากการคำนวณตามสูตรการประเมินการเกิดน้ำเสียจากกรมควบคุมมลพิษที่คำนวณได้เท่ากับ 251.52 ลบ.ม./วัน ตามตารางที่ 4.3 และอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบที่ทางฟาร์มที่ศึกษาได้ออกแบบไว้เท่ากับ 324 ลบ.ม./วัน พบว่า อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบจริงและที่คำนวณตามสูตรของกรมควบคุมมลพิษ มีค่าต่ำกว่าที่ฟาร์มได้ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพนี้ยังสามารถรับน้ำเสียเข้าระบบได้มากกว่าที่รับอยู่ในปัจจุบัน



ภาพที่ 4.1 อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ

4.3 ภาพรวมของค่าตัวแปรต่างๆของระบบ และการตัดสินใจเลือกชุดข้อมูลมาวิเคราะห์สมมูลมวล

4.3.1 ค่าการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพตามทฤษฎี การออกแบบระบบจริง และการคำนวณ

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งในรูปแบบของเกณฑ์การออกแบบ การเดินระบบ การออกแบบจริงของฟาร์ม และจากการคำนวณหลังเก็บข้อมูลพบว่ามีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เณฑ์การออกแบบ การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพตามทฤษฎี การออกแบบจริงของฟาร์ม และจากการคำนวณหลังเก็บข้อมูล

ชนิดของระบบ	ตัวแปร	การออกแบบและการเดินระบบจากทฤษฎี	การออกแบบระบบจริงของฟาร์ม	จากการวิเคราะห์หลังเก็บข้อมูล
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	พีเอช	6.5 - 8.5	6.5 - 7.9	7.2 - 7.5
	อุณหภูมิ	30 - 35 องศาเซลเซียส	-	31 - 33 องศาเซลเซียส
	อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์	0.5 - 110 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. ต่อวัน	0.87 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. ต่อวัน	0.60 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. ต่อวัน
	ปริมาณน้ำเสีย	-	324 ลบ.ม.ต่อวัน	186.36 ± 39.75 ลบ.ม.ต่อวัน
	ระยะเวลาเก็บกักทางจุลศาสตร์	6 ชั่วโมง - 5 วัน	15 วัน	28 วัน
	ซีโอดี	58,500 มก./ล.	-	16,648 มก./ล.
	ของแข็งแขวนลอย	50,000 - 100,000 มก./ล.	-	16,000 - 43,000 มก./ล.
	ของแข็งแขวนลอยระเหย	25,000 - 35,000 มก./ล.	-	400 - 33,000 มก./ล.

หมายเหตุ ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบ แสดงในภาคผนวก ก-3.1

การคำนวณอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักทางจุลศาสตร์ แสดงในภาคผนวก ก-3.4 และ ก-3.5

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2004 และ เกียรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ 2543

4.3.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในงานวิจัยนี้พบปัญหาในการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ปัญหาได้แก่

- ปัญหาน้ำท่วมปลายปี 2554 ช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2554 – มกราคม 2555 ส่งผลกระทบต่อเส้นทางในการเดินทางไปเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ จ.ราชบุรี
- ปัญหาโรคระบาดต่อสุกร ช่วงระหว่างเดือน เมษายน - พฤษภาคม 2555
- ปัญหาระบบไฟฟ้าที่ใช้เดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพขัดข้อง ทำให้ฟาร์มที่ศึกษาหยุดเดินระบบชั่วคราว ช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2555

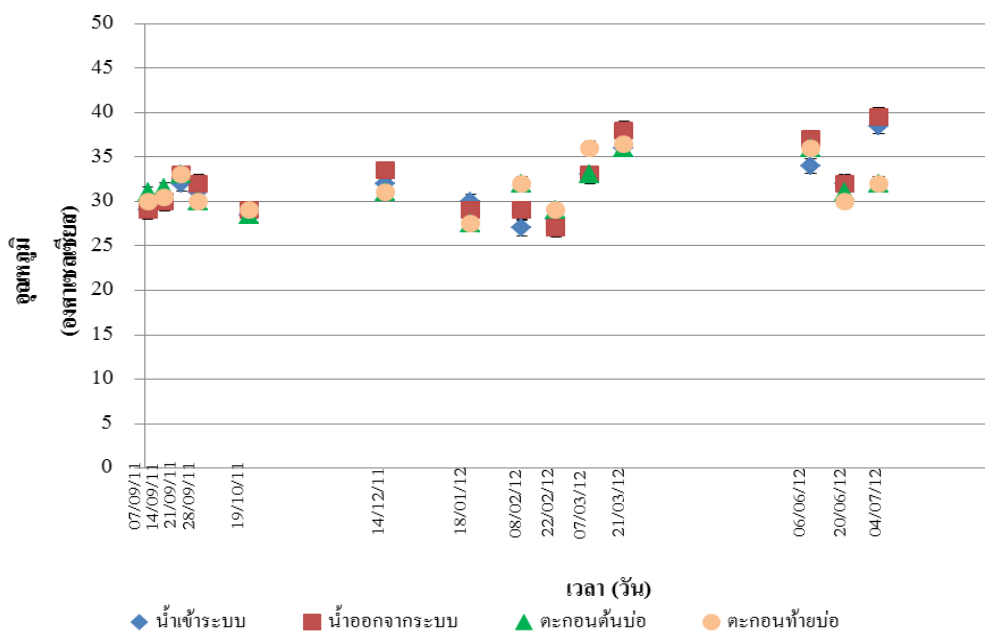
ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย จึงส่งผลทำให้การเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ขาดความต่อเนื่อง

4.3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียตามตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 ครั้ง เป็นระยะเวลา 9 เดือน วิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 1,554 ตัวอย่าง นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ตามค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด ต่าง ซีไอดี ซีไอดีละลาย ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย ไนโตรเจนทั้งหมด กรดอินทรีย์ระเหยง่าย สภาพต่าง ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน และปริมาณก๊าซชีวภาพ ผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

4.3.3.1 อุณหภูมิของน้ำเสีย

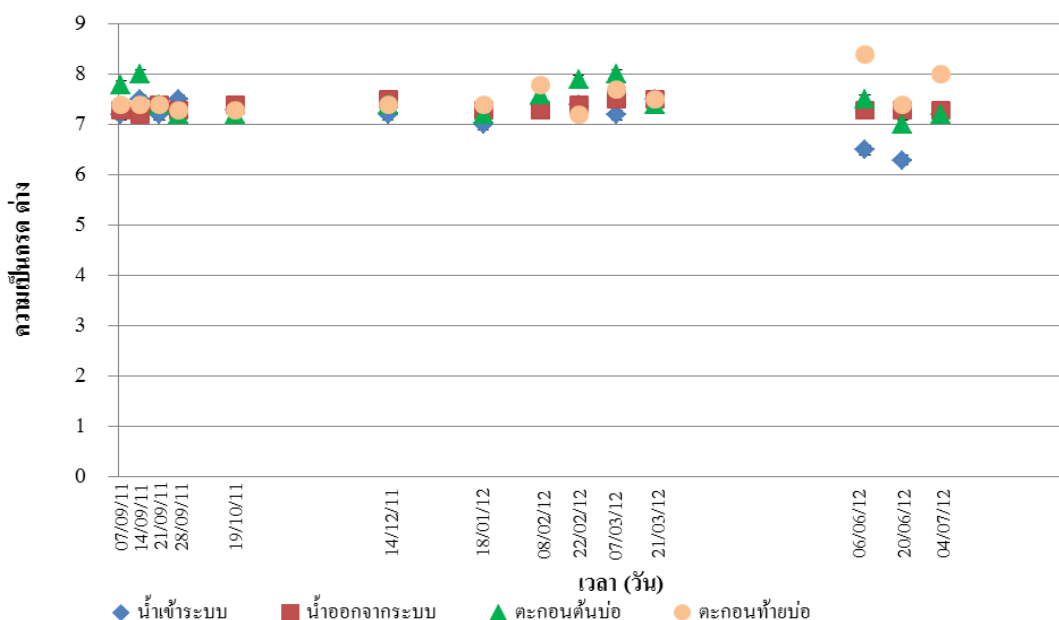
อุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพจะเพิ่มสูงขึ้น โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 25 - 35 องศาเซลเซียส และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 32 - 42 องศาเซลเซียส (Deublein และ Steinhauser, 2008) จากการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.5 ± 3.17 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.2 ± 3.78 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.5 ± 2.48 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.6 ± 2.84 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ระบบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มสร้างกรดและจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน



ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิ

4.3.3.2 ความเป็นกรด ต่างของน้ำเสีย

จากการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด ต่างของระบบ แสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่า ความเป็นกรด ต่างของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 ± 0.36 และความเป็นกรด ต่างของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.4 ± 0.09 ความเป็นกรด ต่างของตะกอนคั้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.5 ± 0.33 ความเป็นกรด ต่างของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.5 ± 0.33 ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรของนเรศ มณีโชติ (2546) และการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรของจักรพันธ์ หมั่นจี (2553) ที่พบว่า ความเป็นกรด ต่างของระบบอยู่ในช่วง 7.0 – 7.5 ซึ่งจากการศึกษาความเป็นกรด ต่างที่เหมาะสมของระบบอยู่ในช่วง 6.5 – 7.6 (Rittmann และ McCarty, 2000) ถ้าค่าต่ำหรือสูงกว่านี้จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว (McCarty, 1964) จากการทดลองพบว่า ความเป็นกรด ต่างของระบบยูเอเอสบีที่ศึกษามีสภาพเป็นกลาง และเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ



ภาพที่ 4.3 ความเป็นกรด ต่าง

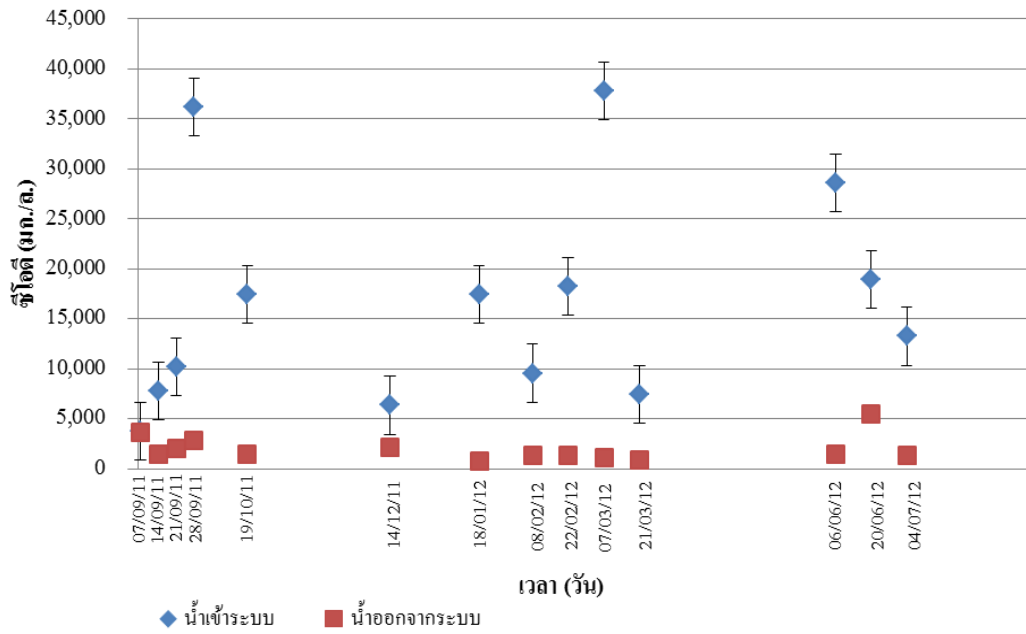
4.3.3.3 ซีโอดีของน้ำเสีย

ซีโอดีเป็นตัวแปรที่สำคัญของระบบ สามารถบ่งชี้ได้ถึงความสกปรกของน้ำเสีย การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีในน้ำเสีย เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ หากระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียได้มาก นั้นย่อมหมายถึงระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีที่สุด โดยซีโอดีของน้ำเสียจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ซีโอดีที่อยู่ในรูปของของแข็ง ซีโอดีในรูปนี้จะถูกบำบัดด้วยกลไกที่สำคัญคือการตกตะกอน และซีโอดีในรูปของสารละลายหรือที่เรียกว่า ซีโอดีละลาย ซึ่งซีโอดีละลายนี้จะถูกบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ซึ่งจะได้ผลผลิตคือก๊าซชีวภาพ (มันลิน ตันฑุลเวศม์, 2547)

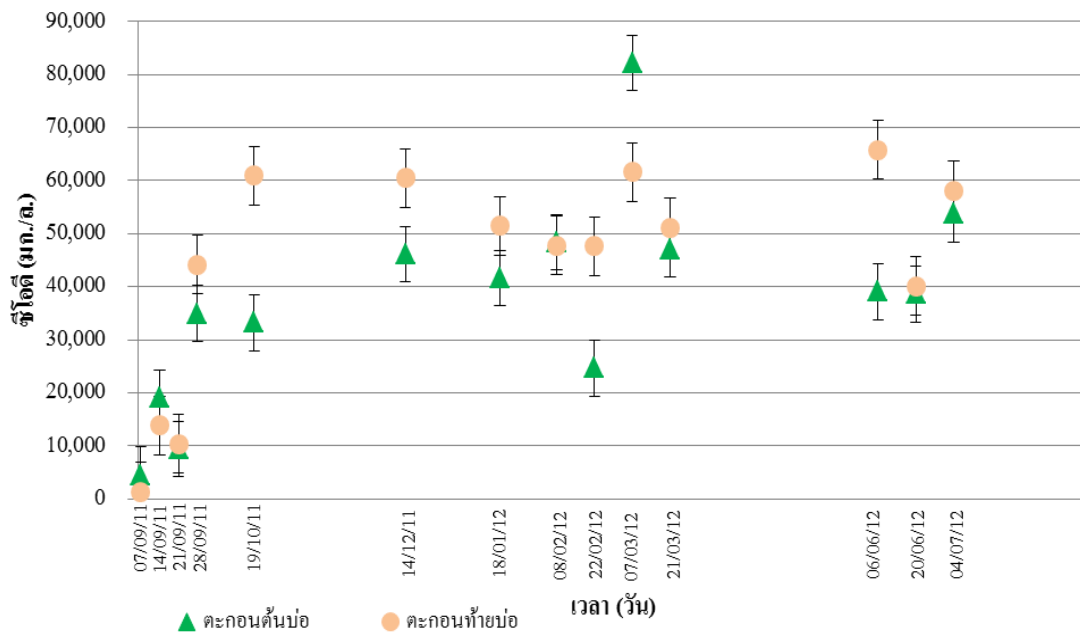
จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์พบว่า ซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $16,647.50 \pm 10,819.76$ มก./ล. ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอุกฤษ กมลลาสิงห์ (2549) ที่พบว่าน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 1,230 - 39,920 มก./ล. ซีโอดีของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,963.21 \pm 1,283.95$ มก./ล. ซีโอดีของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $37,295.70 \pm 19,554.76$ มก./ล. และซีโอดีของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $43,909.64 \pm 20,684.40$ มก./ล. แสดงดังภาพที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกจากระบบนั้นพบว่า ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานของฟาร์มสุกรที่กำหนดไว้ไม่เกิน 300 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) เนื่องมาจากการวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากระบบของงานวิจัยนี้ เน้นศึกษาเฉพาะส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพเท่านั้น ซึ่งโดยปกติแล้ว การวิเคราะห์น้ำออกจากระบบเทียบกับค่ามาตรฐานนั้นจะวิเคราะห์ที่จุดน้ำออกหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชั้นหลัง เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรจะต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียชั้นหลังต่อจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างพบว่าค่าซีโอดีของน้ำเข้าและซีโอดีของน้ำออกนั้นมีความแปรปรวนที่สูง เนื่องมาจากฟาร์มที่ทำการศึกษานี้ไม่มีการแยกมูลสุกรออกจากน้ำที่เข้าระบบจึงทำให้มีซีโอดีอยู่ในรูปสารแขวนลอยมากเป็นสาเหตุทำให้ซีโอดีมีค่าสูง จากภาพที่ 4.9 ถึงแม้จะพบว่าซีโอดีมีความแปรปรวนที่สูง แต่ระบบยังคงสามารถกำจัดซีโอดีลงได้ถึง 80.55% ซึ่งมากกว่าค่าจาก Metcalf และ Eddy (2004) ที่ระบุว่าระบบบำบัดไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของฟาร์มสุกรอยู่ที่ 62 – 69% แต่น้อยกว่าผลการศึกษาของเอกรินทร์ อินประมูล (2553) ที่พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียฟาร์มสุกรมีค่าเท่ากับ 94.29%

เมื่อพิจารณาที่ตะกอนของระบบจากภาพ 4.5 จะเห็นได้ว่าซีโอดีของตะกอนต้นบ่อมีค่าใกล้เคียงกับตะกอนท้ายบ่อเกือบตลอดทุกช่วงการทดลอง



ภาพที่ 4.4 ซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ



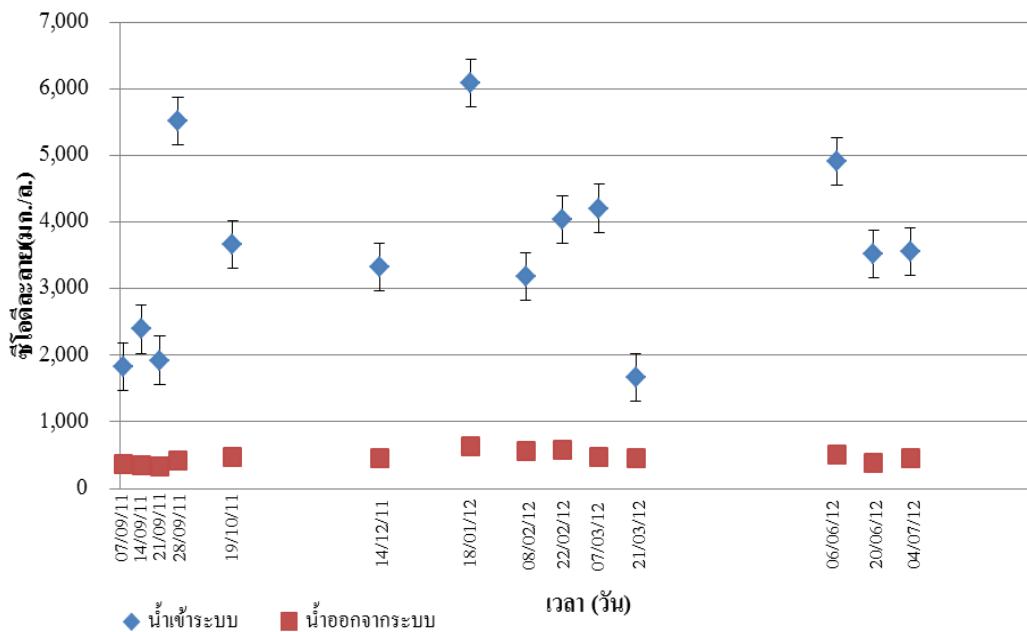
ภาพที่ 4.5 ซีไอดีน้ำเสียตะกอนต้นบ่อและท้ายบ่อ

4.3.3.4 ซีโอดีละลายของน้ำเสีย

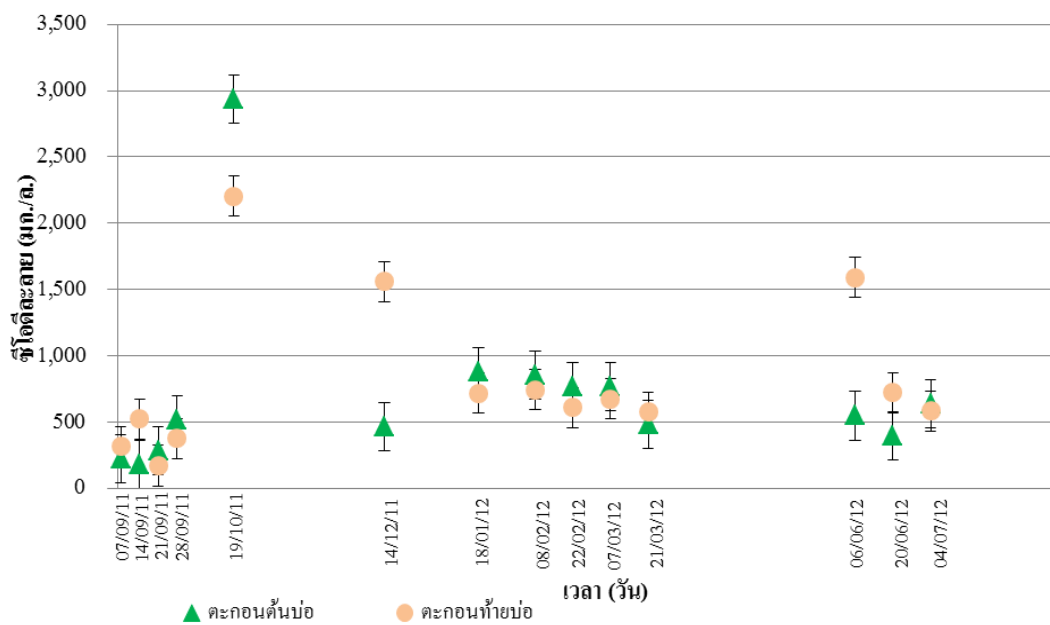
ซีโอดีละลายเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวแปรหนึ่งที่บอกถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ เนื่องจากซีโอดีส่วนที่อยู่ในรูปของของแข็งซึ่งจะตกตะกอนลงที่ก้นบ่อ ซีโอดีอีกส่วนหนึ่งที่อยู่ในรูปของสารละลาย จะเป็นส่วนหลักที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปเป็นก๊าซมีเทน ถ้าประสิทธิภาพของระบบสามารถกำจัดซีโอดีละลายได้สูง ก็จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยรวมของระบบ

จากการวิเคราะห์น้ำเสียดังกล่าว พบว่าซีโอดีละลายของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,558.7 \pm 1,343.32$ มก./ล. ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอุกฤษ กมลสิงห์ (2549) ที่พบว่าน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าซีโอดีละลายอยู่ในช่วง 580 -16,460 มก./ล. ซีโอดีละลายของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 462.40 ± 87.06 มก./ล. ซึ่งมีค่าซีโอดีละลายน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษาซีโอดีละลายที่ออกจากระบบจากน้ำเสียฟาร์มสุกรแห่งหนึ่งของจักรพันธ์ หมั่นจี้ (2553) ที่พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 574.65 มก./ล. ซีโอดีละลายของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 712.37 ± 679.07 มก./ล. และซีโอดีละลายของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 813.76 ± 569.25 มก./ล. แสดงดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีละลายที่เข้าระบบนั้นมีความแปรปรวนที่สูง เนื่องจากปริมาณความสกปรกของน้ำเสียนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของสุกร แต่เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายของระบบพบว่ามีค่าเท่ากับ 85.59% ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงเมื่อเทียบกับการศึกษาของนเรศ มณีโชติ (2546) และการศึกษาของศตวรรษ ทนารัตน์ (2548) ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายเท่ากับ 56.1% และ 72.0% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.6 ซีโอดีละลายของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ

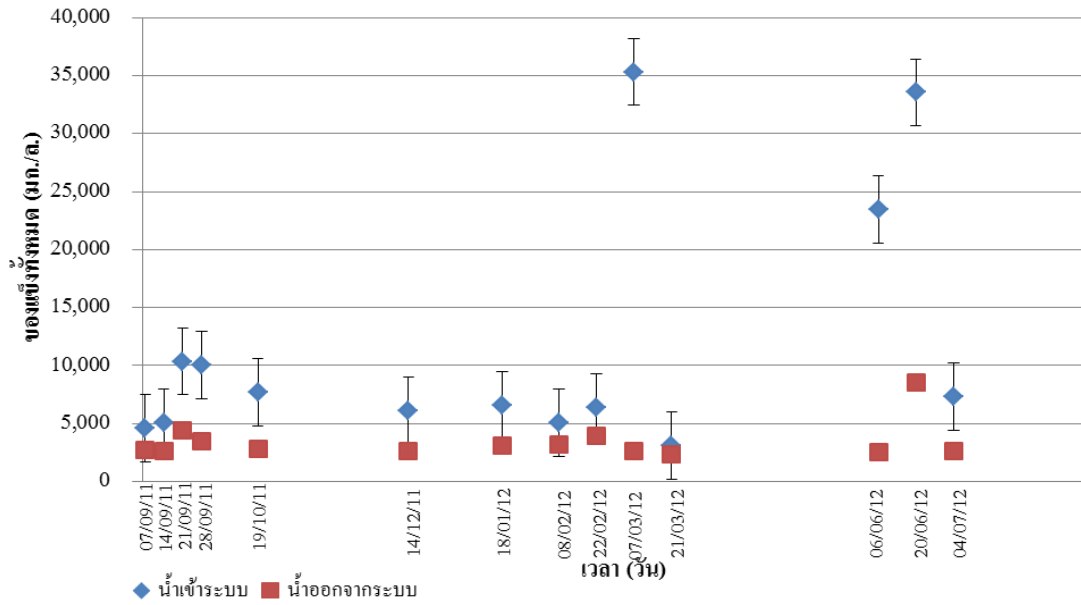


ภาพที่ 4.7 ซีโอดีละลายของน้ำเสียตะกอนต้นบ่อและท้ายบ่อ

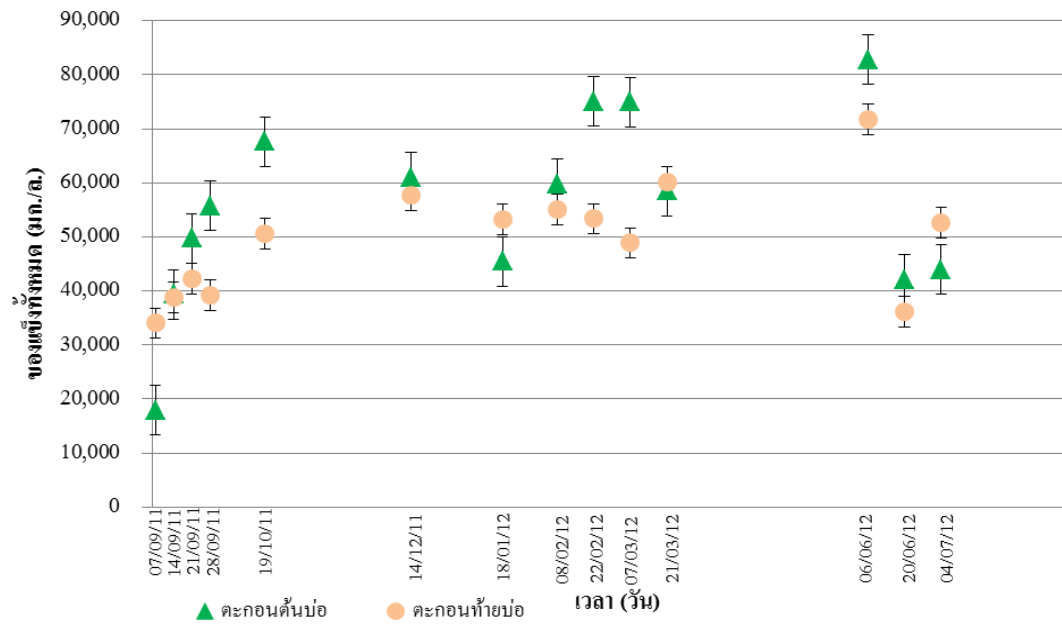
4.3.3.5 ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสีย

ของแข็งทั้งหมดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์จะสามารถดูดซึมหรือใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์เมื่ออยู่ในรูปของสารละลายเท่านั้น จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในระบบ และของแข็งแขวนลอยละลาย ส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยที่เป็นองค์ประกอบย่อยของของแข็งแขวนลอยนั้น จะเป็นตัวแปรบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดของระบบที่จะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2547)

จากการวิเคราะห์น้ำเสียพบว่า ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $11,761.96 \pm 10,782.22$ มก./ล. ของแข็งทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,399.72 \pm 1,577.20$ มก./ล. ของแข็งทั้งหมดของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $55,266.31 \pm 13,537.61$ มก./ล. และของแข็งทั้งหมดของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $49,564.13 \pm 10,513.40$ มก./ล. แสดงดังภาพที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้าระบบจริงนั้นมีค่าที่สูงมาก เนื่องจากในขณะที่ล้างคอกทางฟาร์มตัวอย่างไม่ได้มีการแยกมูลสุกร และเศษอาหารของสุกรซึ่งมีส่วนผสมของของแข็งออกจากน้ำเสีย เมื่อล้างคอกจึงทำให้ของเสียจากการเลี้ยงสุกรถูกล้างและรวบรวมเข้าระบบทั้งหมด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการออกแบบระบบของเกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2543) พบว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสามารถรับของแข็งทั้งหมดให้เข้าระบบอยู่ในช่วง $20,000 - 60,000$ มก./ล. และจากการทดลองในช่วงท้ายจะพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเข้าเพิ่มสูงขึ้นมาก ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากการหยุดเดินระบบของฟาร์มตัวอย่างทำให้น้ำเสียและของเสียทั้งหมดเข้าสู่ระบบในปริมาณที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.8 ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ

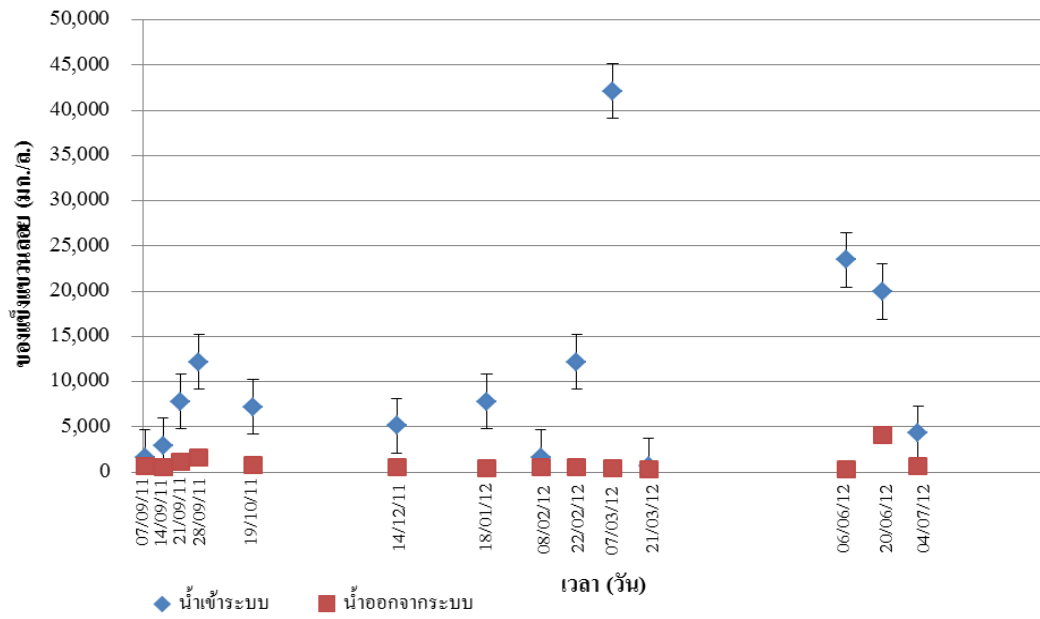


ภาพที่ 4.9 ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียตะกอนคั้นบ่อและท้ายบ่อ

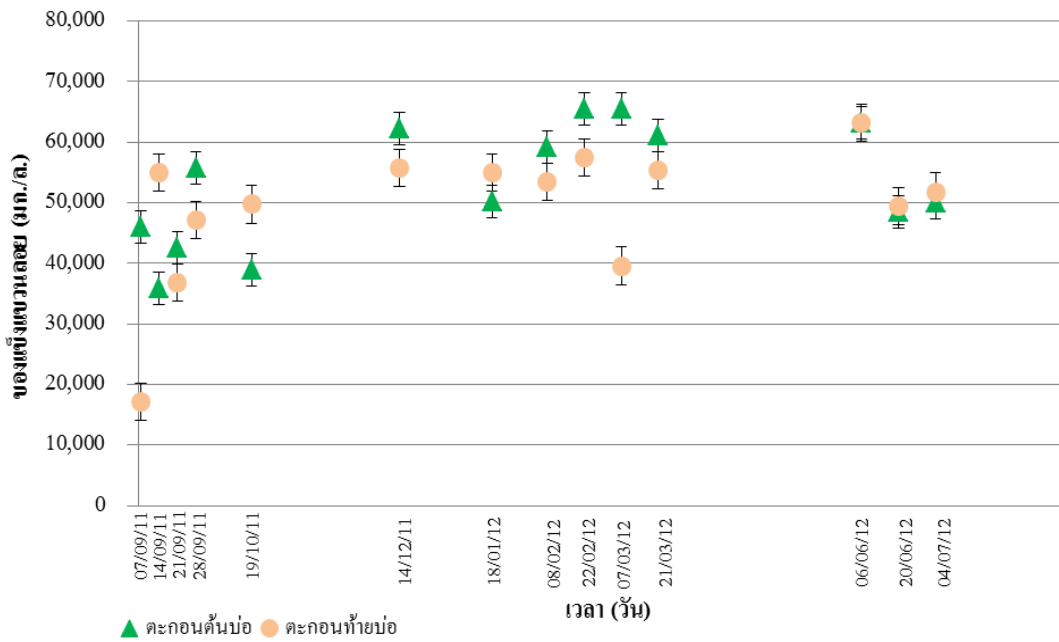
4.3.3.6 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสีย

จากการศึกษาของ Joseph และคณะ (1992) พบว่า ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนประเภทที่มีอัตราการกำจัดสารอินทรีย์สูงส่วนมากจะต้องการน้ำเสียเข้าระบบเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเนื่องจากการย่อยสลายสามารถลดระยะเวลาของขั้นตอนไฮโดรไลซิสออกไปได้ ทำให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากน้ำเสียโดยส่วนใหญ่จะมีของแข็งแขวนลอยเป็นส่วนประกอบ ถ้าน้ำเสียเข้าระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยที่สามารถย่อยสลายอยู่มาก ระบบจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาเก็บกักที่ยาวนานขึ้นเพื่อให้จุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ แต่ถ้าน้ำเสียเข้าระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อยู่มากของแข็งแขวนลอยเหล่านี้จะเข้าไปสะสมอยู่ในกลุ่มจุลินทรีย์ทำให้ความสามารถของการย่อยสลายลดลง

จากการวิเคราะห์น้ำเสียพบว่า ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $10,653.45 \pm 11,323.39$ มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอยของงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงเดียวกับค่าการออกแบบระบบของเกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์ (2543) ที่พบว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสามารถรับของแข็งแขวนลอยเข้าระบบอยู่ในช่วง 5,000 – 20,000 มก./ล. แต่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่าจากกรมควบคุมมลพิษ (2550) ที่พบว่าของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบของฟาร์มขนาดใหญ่จะมีค่าเท่ากับ 4,800 มก./ล. เนื่องจากค่าของแข็งแขวนลอยที่กรมควบคุมมลพิษวิเคราะห์นั้นเป็นการวิเคราะห์ในส่วนของฟาร์มสุกรที่มีการเก็บ กวาดมูลสุกรก่อนเข้าระบบ ของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 907.10 ± 986.78 มก./ล. ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาของอุกฤษ กมลสิงห์ (2549) ที่พบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 260 - 990 มก./ล. ของแข็งแขวนลอยของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $53,154.29 \pm 10,028.31$ มก./ล. และของแข็งแขวนลอยของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $49,024.76 \pm 11,488.33$ มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอยของฟาร์มที่ศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้าระบบและออกจากระบบนั้นมีความแปรปรวนที่สูงมาก เนื่องมาจากน้ำเสียตัวอย่างนั้นมีการปะปนด้วยมูลของสุกรรวมไปถึงเศษอาหารที่หลุดเข้าระบบพร้อมกับการล้างคอก แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพที่ 4.8 และ 4.10 ร่วมกัน จะพบว่าเส้นกราฟมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันเกือบทุกช่วงที่ทำการศึกษา ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาได้จากประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบจริงมีค่าเท่ากับ 82.73% ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของสมพงษ์ นิลประยูร (2536) ที่ศึกษาถึงการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 53.8 – 89.5%



ภาพที่ 4.10 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ



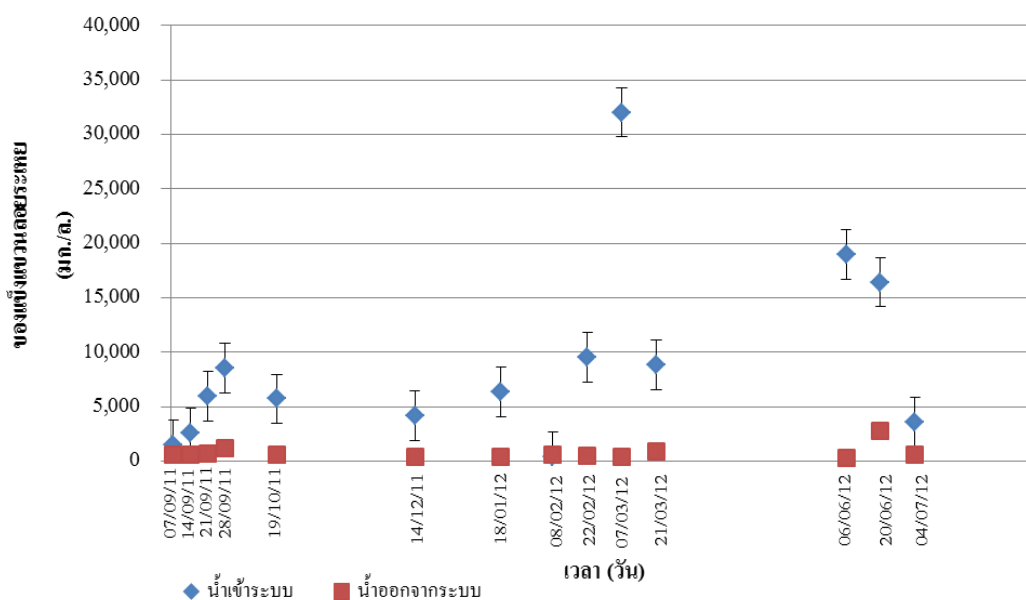
ภาพที่ 4.11 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียตะกอนคั่นบ่อและท้ายบ่อ

4.3.3.7 ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสีย

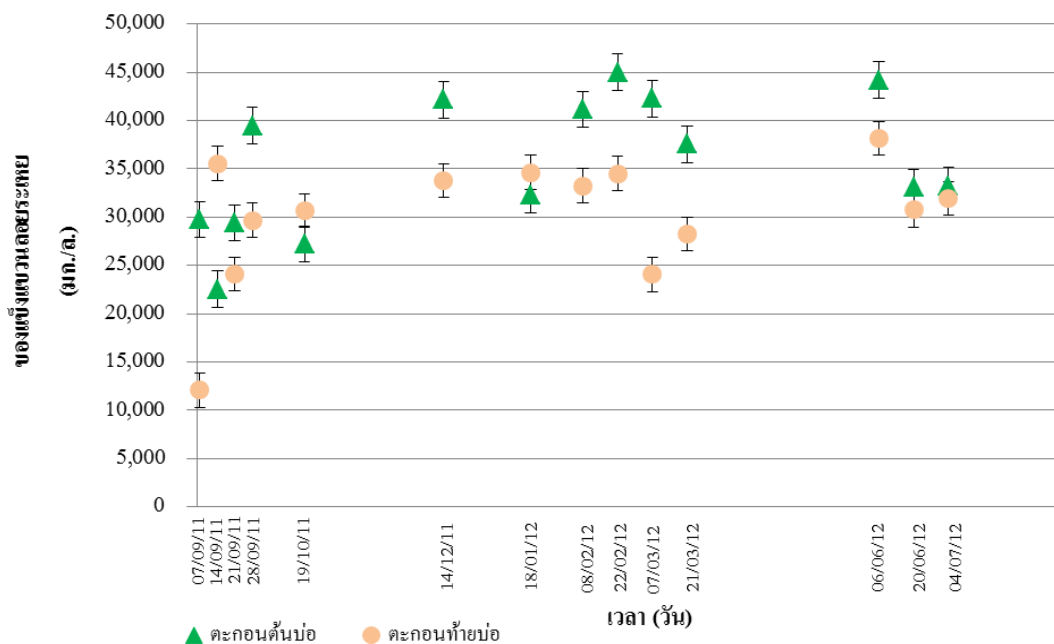
ของแข็งแขวนลอยระเหยจะเป็นตัวแปรที่สำคัญร่วมกับซีไอดีละลายที่จะบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดของระบบที่จุลินทรีย์จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ หากระบบมีระยะเวลาเก็บกักเพียงพอ หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ของแข็งแขวนลอยระเหยเป็นตัวแปรที่บอกถึงศักยภาพการเกิดก๊าซชีวภาพได้

จากการวิเคราะห์ห้ำน้ำเสียพบว่า ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $8,903.09 \pm 8,485.81$ มก./ล. ซึ่งสอดคล้องกับค่าการออกแบบระบบของเครื่องสกัด อุดมสิน โรจน์ (2543) ที่พบว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสามารถรับของแข็งแขวนลอยระเหยเข้าระบบอยู่ในช่วง 25,000 – 35,000 มก./ล. พบว่าของแข็งแขวนลอยระเหยของระบบนี้อยู่ในช่วงเดียวกับค่าการออกแบบ ทำให้ทราบว่าระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกได้ตามการออกแบบ ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 746.83 ± 626.27 มก./ล. ของแข็งแขวนลอยระเหยของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $35,660.48 \pm 6,955.38$ มก./ล. และของแข็งแขวนลอยระเหยของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $30,089.52 \pm 6,582.10$ มก./ล. แสดงดังภาพที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อค่าของแข็งแขวนลอย (VSS/SS) พบว่า ในน้ำเข้ามีค่า 0.84 น้ำออกมีค่า 0.82 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อค่าของแข็งแขวนลอย ทั้งหมดของระบบ แสดงให้เห็นว่าของแข็งแขวนลอยส่วนใหญ่ในระบบเป็นของแข็งแขวนลอยระเหย



ภาพที่ 4.12 ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำเสียออกจากระบบ



ภาพที่ 4.13 ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียดตะกอนดื่มบ่อและท่ายบ่อ

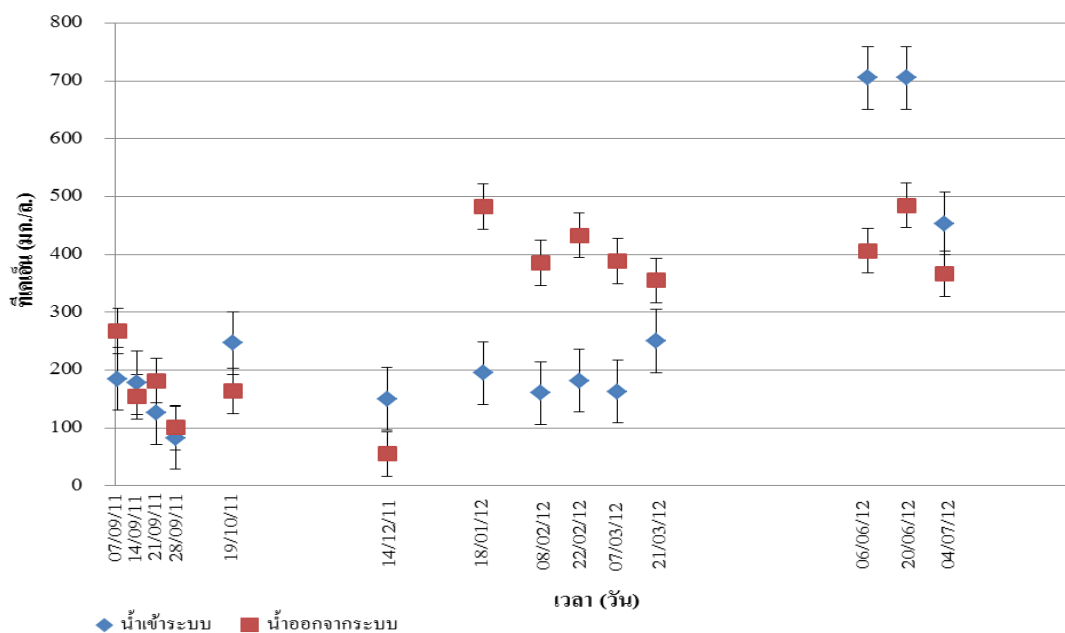
4.3.3.8 ทีเคเอ็นของน้ำเสียด

ไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียดหรือจากแหล่งน้ำธรรมชาตินั้น โดยส่วนมากจะ มาจากการเผาผลาญโปรตีนในร่างกายของคน ของสัตว์ และจากการย่อยสลายของซากพืช ซากสัตว์ ต่างๆ (มันสิน คัมพุลเวศม์, 2547) และการทดลองนี้เป็นการนำน้ำเสียดจากฟาร์มสุกรมาวิเคราะห์จึง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณของไนโตรเจน โดยการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ ไนโตรเจนทั้งหมดในรูปของทีเคเอ็น ซึ่งทีเคเอ็นจะประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนีย ไนโตรเจน เพื่อประเมินถึงความเป็นพิษที่จะเกิดขึ้นกับระบบ ผลการวิเคราะห์ทีเคเอ็นของน้ำเสียด ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 4.14 พบว่า ทีเคเอ็นของน้ำเสียดที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 270.27 ± 203.10 มก./ล. และทีเคเอ็นของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 301.97 ± 145.20 มก./ล.

จากภาพที่ 4.14 พบว่า ทีเคเอ็นในระบบถูกบำบัดได้เพียงเล็กน้อย และในช่วงเดือนที่ 5 – 7 ทีเคเอ็นของน้ำที่ออกจากระบบสูงเพราะมีการสะสมจำนวนของสุกรในฟาร์มที่ มากกว่าปกติ เป็นผลสืบเนื่องมาจากเหตุการณ์น้ำท่วมและราคาขายของสุกรลดต่ำลงมาก เมื่อมี จำนวนสุกรที่มากขึ้นจึงมีปริมาณของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงมากขึ้น ทำให้อาจเกิดการสะสมตัวของ แอมโมเนียในระบบได้ตามกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็น แอมโมเนีย (Haandel และคณะ, 2006) แต่มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษาของอุกฤษ กมลาลิงห์, (2546) ที่พบว่า ทีเคเอ็นของน้ำเสียดจากฟาร์มสุกรที่ออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะอยู่ในช่วง 420 – 916 มก./ล. ไนโตรเจนที่หายไปนั้นเกิดจากจุลินทรีย์ในระบบใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนีย

ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ใหม่และบางส่วนอาจหายไปจากระบบในรูปของก๊าซไนโตรเจน (McCarty, 1964) จึงส่งผลทำให้น้ำที่ออกจากระบบนี้มีค่าไม่ต่างกับน้ำเข้ามากนัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสุภาภรณ์ สันทัดเสรีอนันต์ (2545) ศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างตะกอนเมืงของระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี พบว่า มีปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเข้าระบบเฉลี่ย 254 มก./ล. ทีเคเอ็นของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 178 มก./ล. จะเห็นได้ว่าระบบบำบัดทีเคเอ็นได้เพียงเล็กน้อย

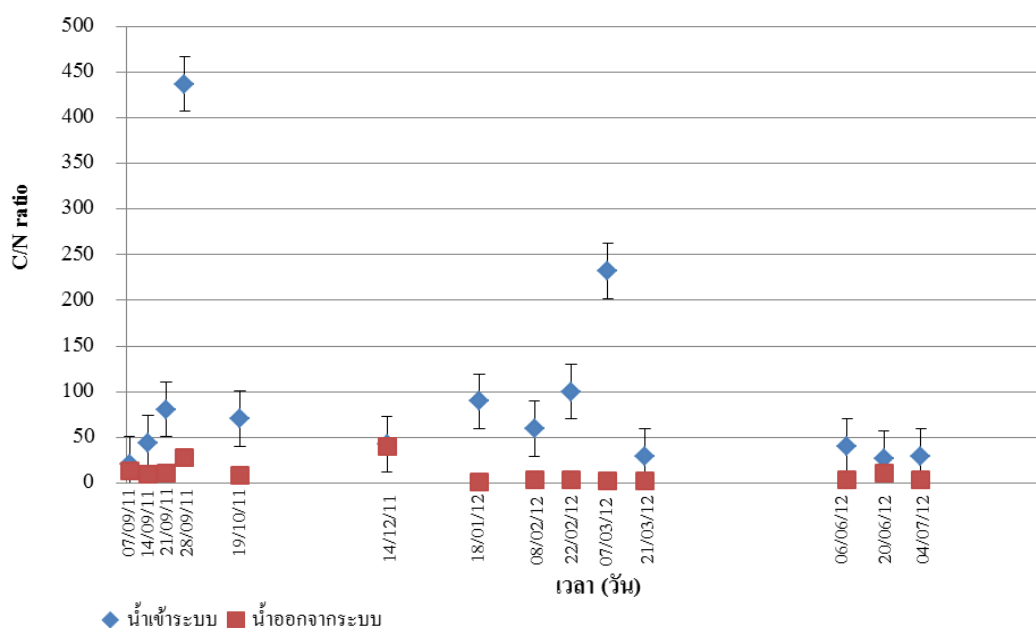
จากการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างพบว่า ค่าทีเคเอ็นของทั้งน้ำเสียเข้าและออกจากระบบมีความแปรปรวนที่สูงมาก เนื่องมาจากไนโตรเจนส่วนใหญ่ของฟาร์มสุกรจะมาจากส่วนที่เป็นมูลสุกร และปัสสาวะของสุกร ซึ่งปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุ น้ำหนักตัว อุณหภูมิของอากาศและจำนวนอาหารและน้ำที่สุกรกินเข้าไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตามการศึกษาของ Muller (1980) ทดลองและคำนวณปริมาณสิ่งขับถ่ายซึ่งรวมอุจจาระและปัสสาวะในแต่ละวันของสุกรตามน้ำหนักตัวขนาดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3



ภาพที่ 4.14 ทีเคเอ็นทั้งหมดของน้ำเสีย

4.3.3.9 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ในกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจุลินทรีย์ในกลุ่มเฮโทโทรฟ จะใช้คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหรือเป็นแหล่งพลังงานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และการสร้างเซลล์โดยสารอาหารที่จุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจำเป็นต้องใช้ในส่วนใหญ่จะใช้ในรูปของอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน (COD:N) โดยทางทฤษฎีแล้วอัตราส่วนนี้เท่ากับ 5 - 10 แต่ในทางปฏิบัติอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน (COD:N) ควรเท่ากับ 3-7 เป็นอย่างน้อย (Akunna และคณะ, 1992) เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียและทำการวิเคราะห์พบว่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน (COD:N) ของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.01 ± 112.59 มก./ล. และของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.30 ± 11.10 มก./ล. จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำเข้าระบบมีค่าที่สูง อีกทั้งเมื่อพิจารณาที่ความแปรปรวนยังพบว่ามีค่าความแปรปรวนมากเนื่องมาจากน้ำเสียตัวอย่างเป็นน้ำเสียของฟาร์มสุกรที่ค่าซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำนั้นมีค่าความสกปรกที่สูงมากอยู่แล้ว อีกทั้งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการเก็บตัวอย่างนั้นจะแปรผันตามจำนวนสุกร อายุของสุกร สารอาหารและน้ำที่สุกรกินเข้าไป แต่เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดแล้วพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแสดงดังภาพที่ 4.15

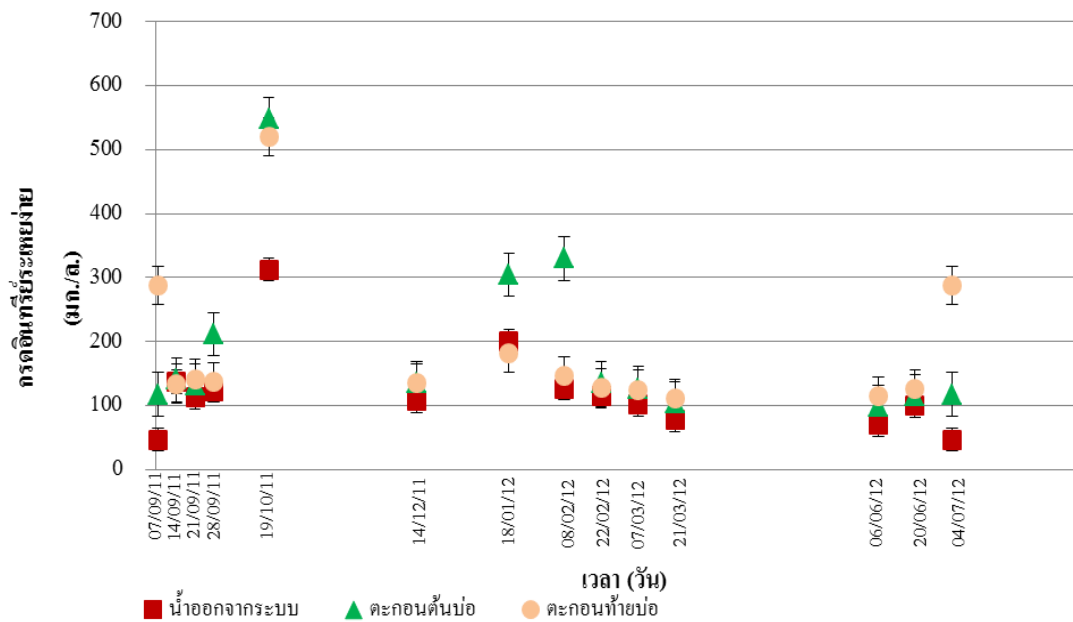


ภาพที่ 4.15 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อที่เคเอ็น

4.3.3.10 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำเสีย

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นตัวแปรที่สำคัญที่จะบ่งชี้สภาพของระบบได้ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามค่าซีโอดีละลายของระบบ ถ้าซีโอดีละลายมีค่าสูงก็จะทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์จะดูดซึมส่วนที่เป็นสารละลายเพื่อนำไปใช้สร้างเป็นกรด และเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนต่อไป (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) โดยปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมีค่าที่เหมาะสมช่วง 50 – 500 มก./ล. (Gelegenisa และคณะ, 2007) ถ้ามีการสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่มากเกินไปจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด ดังลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ทำให้ก๊าซมีเทนที่เกิดในระบบมีน้อย

การทดลองนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย แสดงดังภาพที่ 4.16 พบว่า ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 119.78 ± 67.81 มก./ล. ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 186.65 ± 126.75 มก./ล. ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 184.18 ± 112.50 มก./ล. ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงได้ว่าระบบที่ศึกษามีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ยเท่ากับ 110 – 190 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน จึงบ่งชี้ได้ว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษานี้สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเอกรินทร์ อินประมูล (2553) และจักรพันธ์ หมั่นจี (2553) ที่ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรพบว่าระบบมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. เช่นเดียวกัน และยังสอดคล้องกับของ Speece (1995) ที่พบว่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายของระบบไร้ออกซิเจนควรอยู่ในช่วง 100 – 300 มก./ล. ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน



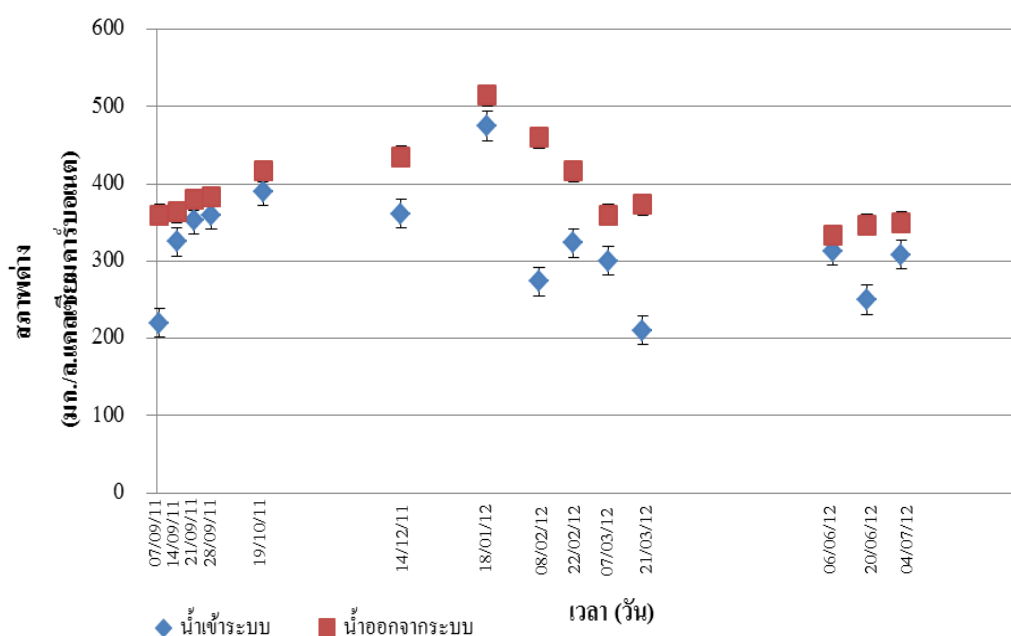
ภาพที่ 4.16 กรดอินทรีย์ระเหยของน้ำเสีย

4.3.3.11 ความเป็นต่างของน้ำเสีย

สภาพความเป็นต่างเป็นตัวแปรที่บอกให้ทราบถึงกำลังบำบัดในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ถ้ากำลังบำบัดต่ำเกินไป ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าความเป็นกรด ต่างของระบบลดลงอย่างมากซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนได้ โดยทั่วไประบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีความเป็นต่างประมาณ 1,500 - 2,000 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต (มันลิน ตันฑุลเวศม์, 2547)

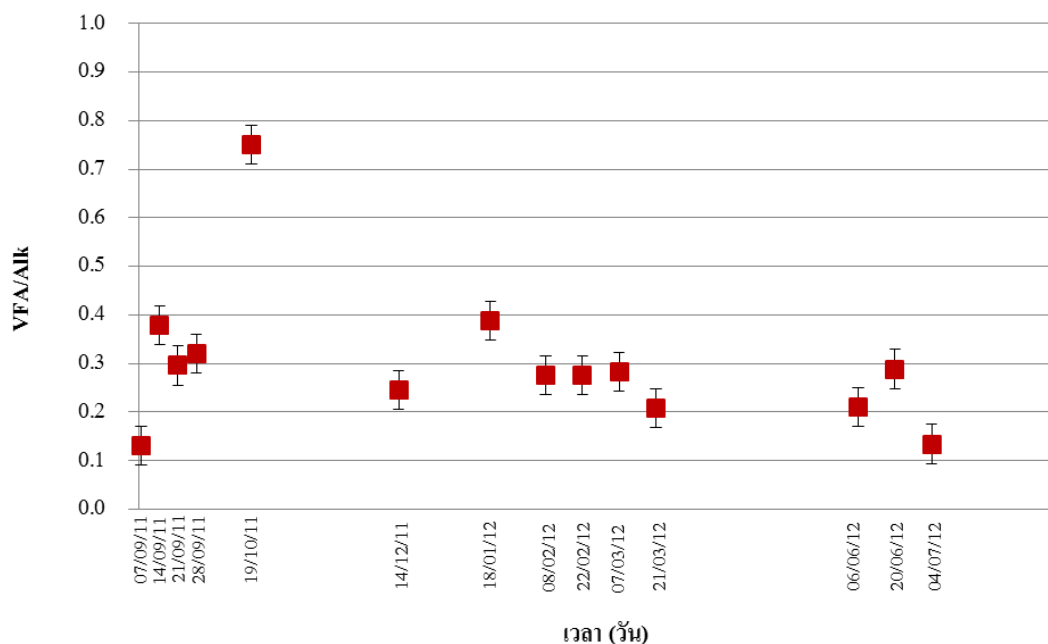
จากผลการทดลองความเป็นต่างของน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าความเป็นต่างของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 318.81 ± 69.70 มก/ล.แคลเซียมคาร์บอเนต ความเป็นต่างของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 392.38 ± 50.78 มก/ล.แคลเซียมคาร์บอเนต จากค่าความเป็นต่างของระบบที่ศึกษานี้ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของมันลิน ตันฑุลเวศม์ (2547) จะพบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าที่เหมาะสมของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน แต่ระบบยังสามารถเดินต่อไปได้เมื่อพิจารณา ร่วมกับความเป็นกรด ต่างของระบบ เนื่องมาจากน้ำเสียที่ศึกษาเป็นน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีค่าแอมโมเนียในน้ำสูง จึงสามารถเพิ่มความเป็นต่างในถังปฏิกรณ์ได้ ทำให้ระบบสามารถรักษาค่าความเป็นกรด ต่างให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับระบบไร้ออกซิเจนได้ ส่งผลทำให้ระบบนี้ไม่ล้มเหลว จากภาพที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าความเป็นต่างของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่าน้ำเสียเข้าระบบในทุกช่วงของการทดลอง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนให้เปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะเกิดเป็นแอมโมเนียไบคาร์บอเนต (Boyle และคณะ, 1985) จึงเป็นผลให้ความเป็นด่างของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาผลของอัตราส่วนซีโอดีต่อแอมโมเนียไนโตรเจนต่อพืชของศตวรรษ ทนาร์ตัน (2548) การศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างตะกอนเม็ดของระบบของสุภาภรณ์ สันทัดเสรีอนันต์ (2545) การศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอสบีของกิตติ ชีรสระเดช (2538) และการศึกษาของฉัตรชัย ศักดิ์วีรสวรรณ (2547) ที่พบว่าค่าความเป็นด่างของน้ำออกสูงกว่าน้ำเข้าระบบเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.17 ความเป็นด่างของน้ำเสีย

เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและความเป็นด่างของน้ำเสีย แสดงในภาพที่ 4.18 พบว่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและความเป็นด่างของระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 ± 0.15 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน แสดงให้เห็นว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์เพียงพอที่จะรักษาสภาพความเป็นกรด ด่างให้เหมาะสมกับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จากการศึกษาของ Kugelman และ McCarty (1965) พบว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและความเป็นด่างน้อยกว่า 0.4 และไม่ควรเกิน 0.8



ภาพที่ 4.18 อัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและความเป็นด่าง

4.3.3.12 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนในน้ำ โดยทั่วไปจะวัดค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในน้ำที่มีออกซิเจนหรือ ไนเตรตจะได้ค่าเป็นบวก เช่น ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน +300 มิลลิโวลต์ หมายความว่าสารละลายนี้สามารถรับอิเล็กตรอนได้เป็นอย่างดี เช่น และในน้ำเสียที่เป็นระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจะได้ค่าเป็นลบ เช่น ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน -300 มิลลิโวลต์ หมายความว่าสารละลายมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อย หรือมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดี (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

จากการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำเสียตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -324.3 ± 4.79 มิลลิโวลต์ และค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -290.5 ± 11.65 มิลลิโวลต์ ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของตะกอนต้นบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -388.7 ± 8.06 มิลลิโวลต์ ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของตะกอนท้ายบ่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -489.5 ± 8.96 มิลลิโวลต์

เมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนของมนัสสิน ตันฑุลเวศม์ (2547) ที่แบ่งค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

ออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงการสร้างกรดอินทรีย์มีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเป็น -300 มิลลิโวลต์ และการสร้างมีเทนมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเป็น -500 มิลลิโวลต์ จะพบว่า ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มตัวอย่างอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพแบบ ไร้ออกซิเจน

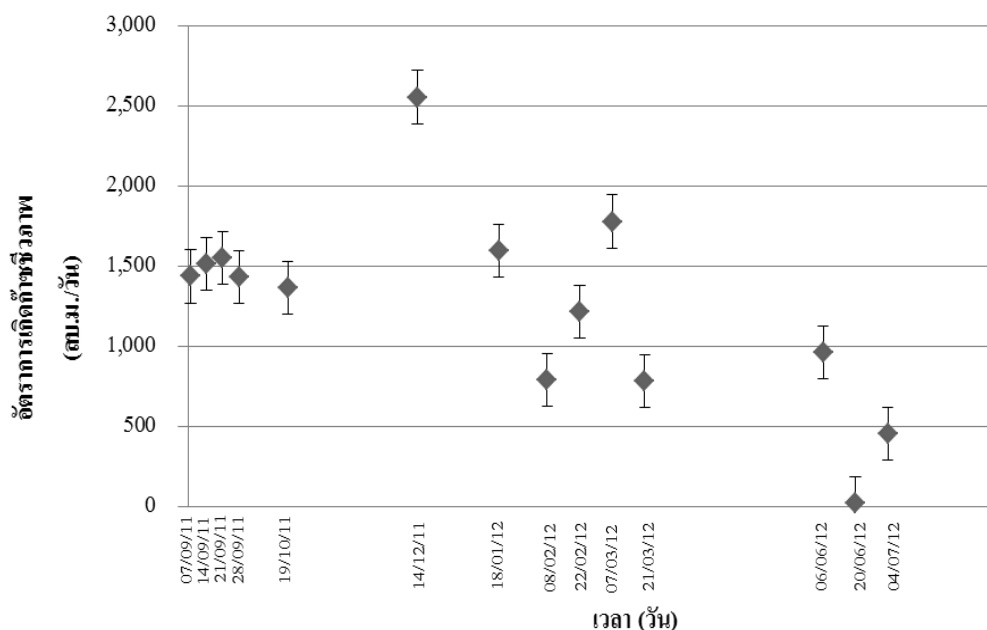
ตารางที่ 4.5 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ของน้ำเสียตัวอย่าง

วันเก็บตัวอย่าง		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
20/09/11		-327.6	-287.0	-389.3	-479.3
28/09/11		-318.8	-303.5	-396.5	-493.3
19/10/11		-326.5	-281.0	-380.4	-496.0
	ค่าเฉลี่ย	-324.3	-290.5	-388.7	-489.5
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.79	11.65	8.06	8.96

4.3.3.13 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ได้ถึงความสะดวกและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากปริมาณก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนที่ทำงานร่วมกัน ปริมาณของก๊าซและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจะอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ และสภาพแวดล้อมของระบบเป็นสำคัญ

จากการเก็บข้อมูลอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบจากฟาร์มที่ทำการศึกษาตลอดระยะเวลา 9 เดือน พบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,246.05 \pm 619.41$ ลบ.ม./วัน ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของฟาร์มที่ศึกษานี้ถือว่ามีความสูงเมื่อเทียบกับการศึกษาของธีรวุฒิ สุวัธนะเชาว์ (2543) ที่พบว่าฟาร์มสุกรที่มีหน่วยปศุสัตว์ 1,560 หน่วย พบว่าเกิดก๊าซชีวภาพเพียง 700 ลบ.ม./วัน และเมื่อเทียบกับค่าของกรมควบคุมมลพิษ (2546) พบว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรจะมีค่าประมาณ 100 -250 ลิตร/ตัว/วัน (พิจารณาที่สุกรขุนน้ำหนัก 60 -70 กิโลกรัม) ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบจริงมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับของกรมควบคุมมลพิษ โดยฟาร์มสุกรที่ศึกษามีจำนวนสุกรขุนเท่ากับ 6,500 ตัว คิดเป็นก๊าซชีวภาพเท่ากับ 191.70 ลิตร/ตัว/วัน อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบที่ศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 ปริมาณก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา

จากภาพที่ 4.19 จะพบว่า ในช่วงแรกของการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพของระบบนั้น จะมีค่าค่อนข้างคงที่เนื่องจาก ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ทำการศึกษาได้เริ่มเดินระบบมาเป็นระยะเวลาเกือบ 1 ปีก่อนที่จะเข้าไปทำการศึกษา จึงทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับสถานะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงส่งผลทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบค่อนข้างคงที่ แต่จากการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนที่ 5 – เดือนที่ 9 จะพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ เมื่อพิจารณาจากซีโอดีและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบนั้นมีการแปรปรวนมาก จึงส่งผลโดยตรงต่อการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบ เพราะปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบเป็นสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนเรศ มณีโชติ (2546) ที่ศึกษาสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรแบบไร้อากาศพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและความเป็นด่างของน้ำเสีย พบว่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและความเป็นด่างของระบบที่ศึกษานี้ยังคงมีอัตราส่วนที่เหมาะสมกับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพนี้ยังสามารถรักษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพไว้ได้ แม้ว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบจะมีความแปรปรวนก็ตาม

4.3.3.14 ร้อยละของมีเทน

ตามทฤษฎีส่วนประกอบหลักของก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซมีเทนจะเท่ากับ 60% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเท่ากับ 40% (Leslie และคณะ, 1999) ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ จากการเก็บข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มที่ทำการศึกษานี้ด้วยการสอบถามข้อมูลจากทางฟาร์มที่ได้มีการตรวจวัดและบันทึกค่าไว้พบว่า ร้อยละของมีเทนในระบบที่ศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.7% อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพจากฟาร์มที่ศึกษาไปวิเคราะห์ร้อยละของมีเทนด้วยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟี และทำการคำนวณเปรียบเทียบกับพื้นที่ได้กราฟของมาตรฐานมีเทนพบว่า ตัวอย่างก๊าซชีวภาพจากฟาร์มที่ศึกษามีปริมาณมีเทนเท่ากับ 40% และ 53% (การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค-5) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากค่าดังกล่าวจะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่วิเคราะห์มีปริมาณมีเทนที่แตกต่างกัน เนื่องจากในการเก็บตัวอย่างของก๊าซไปวิเคราะห์นั้น ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างของก๊าซด้วยถุงเก็บก๊าซเมื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟีพบว่า ถุงเก็บตัวอย่าง 1 ใบนั้นมีการรั่วซึมของก๊าซเกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณก๊าซมีเทนของตัวอย่างได้การรั่วซึมของก๊าซจึงน่าจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลร้อยละมีเทนจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟีที่เท่ากับ 53% อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบของค่าของกรมควบคุมมลพิษ (2549) พบว่า มีความสอดคล้องกับร้อยละของก๊าซมีเทนจากฟาร์มสุกรโดยทั่วไปที่จะมีค่าประมาณ 50%

อย่างไรก็ดีผลจากการวิเคราะห์ร้อยละมีเทนของระบบจริงด้วยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟีนั้นพบว่า มีค่าต่ำกว่าการศึกษาของนเรศ มณี โชติ (2546) ที่ศึกษาสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรแบบไร้อากาศพบว่าร้อยละมีเทนของระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 67.6 – 69.51% และร้อยละมีเทนของระบบจากฟาร์มที่ศึกษานี้ยังต่ำกว่าการศึกษาของ Hobson (1991) ที่พบว่า เมื่อนำของเสียของสุกรมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 68 – 70%

ตารางที่ 4.6 ร้อยละของก๊าซมีเทนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มตัวอย่าง

ตัวอย่าง	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
7/9/2011	70.8	24.1	0	
19/10/2011	71.1	27.4	1.4	
8/2/2012	70.3	28.4	0.7	
ค่าเฉลี่ย	70.7	26.6	0.7	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.40	2.25	0.70	
31/7/2012 (GC.)				
ตัวอย่าง 1	40	60		
**ตัวอย่าง 2	53	37		

หมายเหตุ: GC. คือ การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี

** คือ ตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าร้อยละของก๊าซมีเทน

4.4 การสร้างสมมูลมวล

จากการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งทางทฤษฎีและภาคสนามจริงจากฟาร์มที่ทำการศึกษา และการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียตามตัวแปรต่างๆทั้งหมด 1,554 ตัวอย่าง นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการเลือกชุดข้อมูลเพื่อสร้างสมมูลมวล พบว่า ตัวแปรที่สำคัญที่ใช้เลือกชุดข้อมูลคือ ความถี่ของข้อมูลจากการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากการเก็บตัวอย่างได้รับผลกระทบเป็นอย่างมากจากปัญหาน้ำท่วมเส้นทางการไปเก็บตัวอย่างเมื่อปลายปี 2554 อีกทั้งในระหว่างการเก็บตัวอย่างทางฟาร์มที่ศึกษายังได้รับปัญหาในเรื่องของโรคระบาดต่อสุกร และในช่วงท้ายของการเก็บตัวอย่างฟาร์มที่ศึกษามีปัญหาเรื่องระบบไฟที่ใช้เดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจึงทำให้ต้องหยุดเดินระบบชั่วคราว จากปัญหาดังที่กล่าวมา จึงส่งผลโดยตรงทำให้การเก็บตัวอย่างไม่เป็นไปตามแผนการทดลองที่วางไว้ การเลือกชุดข้อมูลมาสร้างสมมูลมวลจึงเลือกชุดข้อมูลที่มีความถี่ของการเก็บตัวอย่างต่อเนื่องมากที่สุด นั่นคือ การเก็บตัวอย่างในช่วง 2 เดือนแรก ความถี่ในการเก็บตัวอย่างคือ 5 ครั้ง ตัวแปรหลักที่นำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมมูลมวลคือ อัตราการไหลของน้ำเสียจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด ซีโอดี ซีโอดีละลาย ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และร้อยละของมีเทน เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 300 ตัวอย่าง นำค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรมาวิเคราะห์เพื่อทำการสร้างสมมูลมวลของซีโอดีและซีโอดีละลาย มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.4.1 สมดุลมวลของชีโอดี

การพิจารณาสมดุลมวลของชีโอดีในงานวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงการปล่อยสารอินทรีย์ทั้ง 3 สถานะคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ทำการศึกษา

งานวิจัยนี้ชีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบเป็นชีโอดีของสารอินทรีย์ที่เกิดจากน้ำเสียของฟาร์มสุกร เมื่อน้ำเสียผ่านระบบค่าชีโอดีของน้ำเข้าจะถูกเปลี่ยนรูปไปจากกิจกรรมการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่ทำการศึกษามาวิเคราะห์ และข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ทั้งหมดมาทำการสร้างสมดุลมวลของชีโอดี พบว่ามีค่าเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมดุลมวลของชีโอดี

Q*C (kgCOD/d)				Q*C (kg SS/d)		คงค้าง
COD in	COD out			SS out		
เข้า	น้ำใส	ตะกอน		น้ำใส	รวม	
จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 2		
2,967.52	418.90	219.96	284.36	175.47	1,098.69	1,868.83

หมายเหตุ การคำนวณมวลของชีโอดีและของของแข็งแขวนลอยที่จุด 2 แสดงในภาคผนวกที่ค-2.4

จากตารางที่ 4.7 สามารถเขียนสมการสมดุลมวลของชีโอดี (Schievano และคณะ, 2011) ได้ดังนี้

$$F_L(\text{COD}_L \text{ in} + \text{COD}_s \text{ in}) = F_L(\text{COD}_L \text{ out} + \text{COD}_s \text{ out}) + F_s \text{COD}_L \text{ gas} \quad \dots(4.1)$$

เมื่อ $F_L(\text{COD}_L \text{ in} + \text{COD}_s \text{ in}) =$ ชีโอดีที่เข้าระบบ

$F_L(\text{COD}_L \text{ out} + \text{COD}_s \text{ out}) =$ ชีโอดีที่ออกจากระบบ

$F_s \text{COD}_L \text{ gas} =$ ชีโอดีที่เปลี่ยนไปเป็นก๊าซ

ดังนั้น

$$F_L(\text{COD}_L \text{ in} + \text{COD}_s \text{ in}) = 2,967.52 \text{ kg COD/d}$$

$$F_L(\text{COD}_L \text{ out} + \text{COD}_s \text{ out}) = (418.90 + 219.96 + 284.36 + 175.47)$$

$$= 1,098.69 \text{ kg COD/d}$$

เพราะฉะนั้นจากสมการที่ 4.1

$$\begin{aligned}
 F_L(\text{COD}_L \text{ in} + \text{COD}_s \text{ in}) &= F_L(\text{COD}_L \text{ out} + \text{COD}_s \text{ out}) + F_s \text{COD}_L \text{ gas} \\
 2,967.52 &= 1,098.69 + F_s \text{COD}_L \text{ gas} \\
 F_s \text{COD}_L \text{ gas} &= 2,967.52 - 1,098.69 \\
 \text{ดังนั้น } F_s \text{COD}_L \text{ gas} &= 1,868.83 \text{ kg COD/d}
 \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์สมดุลมวลของชีโอดีตามการคำนวณในสมการที่ 4.1 จะพบว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกรที่ได้ทำการศึกษา มีการปล่อยสารอินทรีย์ออกจากระบบ ทั้งหมด 3 สถานะด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.20 โดยมีค่าการปล่อยสารอินทรีย์ในแต่ละสถานะ ดังนี้

4.4.1.1 สถานะของเหลว

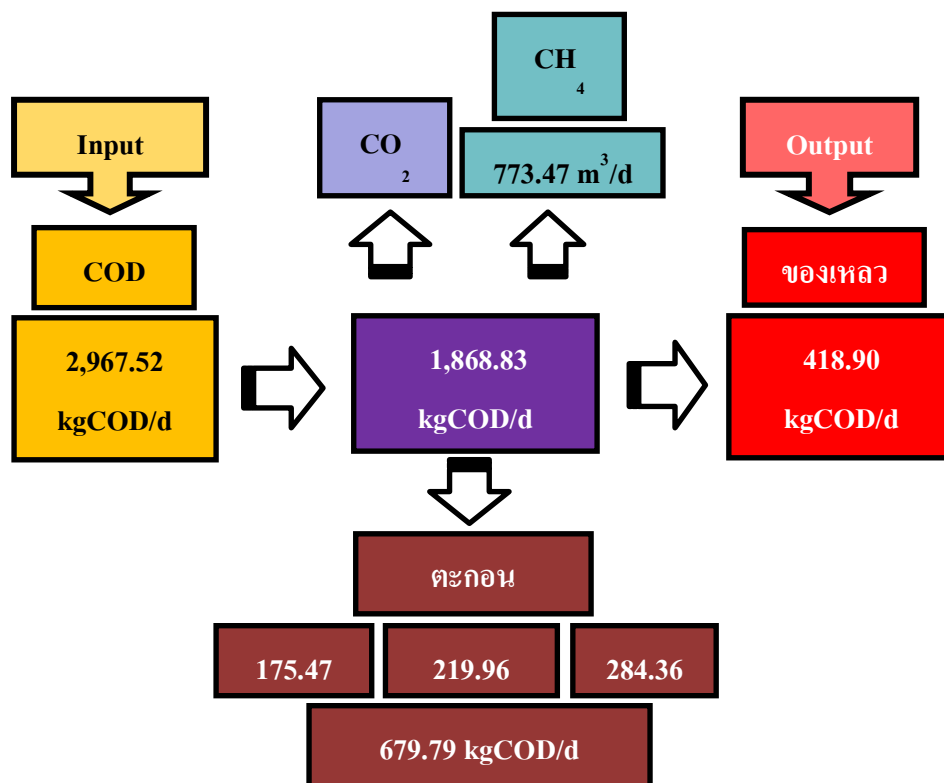
จากการคำนวณสมดุลมวลของชีโอดีพบว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ ศึกษา มีการปล่อยสารอินทรีย์ในรูปของเหลวหรือสารละลายเท่ากับ 418.90 กก.ชีโอดี/วัน

4.4.1.2 สถานะของแข็ง

จากการคำนวณสมดุลมวลของชีโอดีพบว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ ศึกษา มีการปล่อยสารอินทรีย์ในรูปของแข็งหรือตะกอนเท่ากับ 679.79 กก.ชีโอดี/วัน

4.4.1.3 สถานะก๊าซ

เมื่อพิจารณาที่อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของการสร้างสมดุลมวลพบว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจริงมีการเกิดก๊าซชีวภาพ 1,459.38 ลบ.ม/วัน เมื่อทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์ร้อยละมีเทนด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟีพบว่า มีก๊าซมีเทนที่เกิดจากก๊าซชีวภาพจริงเท่ากับ 53% จากอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบจริงเท่ากับ 1,459.38 ลบ.ม/วัน จึงทำให้เกิดเป็นก๊าซมีเทนเท่ากับ 773.47 ลบ.ม/วัน



ภาพที่ 4.20 การปล่อยสารอินทรีย์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา

จากสมมูลมวลของซีโอดีพบว่า มีการปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 773.47 ลบ.ม./วัน เมื่อทำการคำนวณย้อนกลับ (การคำนวณแสดงในภาคผนวกค-2.3) ทำให้ทราบว่ามีเทนที่เกิดขึ้นจริงจำนวน 773.47 ลบ.ม./วัน มาจากปริมาณซีโอดีประมาณ 2,162 กก.ซีโอดีต่อวัน ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าซีโอดีที่คงค้างอยู่ในระบบคือ 1,868.83 กก.ซีโอดีต่อวัน จะพบว่ามีส่วนต่างเท่ากับ 293 กก.ซีโอดีต่อวัน หรือมีซีโอดีส่วนเกินอีก 293 กก.ซีโอดีต่อวัน ที่อยู่ในระบบและเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่ตกค้างในระบบก่อนวงจร 2 เดือนที่ใช้ในการวิเคราะห์สมมูลมวล ส่งผลให้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจริงนั้นมีค่ามากกว่าค่าซีโอดีคงค้างที่เกิดจากการทำสมมูลมวลในรอบ 2 เดือนเท่านั้น

จากการศึกษาของเบญจพร สุรารักษ์ (2541) พบว่า ไม่สามารถหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียได้ เนื่องจากระบบไร้อากาศนั้นเกิดเซลล์จุลินทรีย์ได้น้อยมาก (Speece, 1995) ดังนั้นเมื่อไม่สามารถหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียได้ ปริมาณซีโอดีที่คงค้างอยู่ในระบบ 1,868.83 กก.ซีโอดีต่อวัน จึงควรเกิดเป็นก๊าซมีเทนเพียง 669.04 ลบ.ม./วัน (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ค-2.5) ซึ่งน้อยกว่า 773.47 ลบ.ม./วัน ตามที่

ได้เกิดขึ้นจริง แสดงว่าปริมาณก๊าซมีเทนส่วนต่าง $(773.47 - 669.04) = 104.43$ ลบ.ม./วัน อาจมาจากของแข็งระเหยที่ค้างอยู่ในระบบก่อนวงจร 2 เดือนที่ใช้ทำสมดุลมวล ปริมาณก๊าซมีเทนจากซีโอดีที่ค้างอยู่ในระบบแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณก๊าซมีเทนจากซีโอดีที่ค้างอยู่ในระบบ

COD (kg/d)		ค่าก๊าซมีเทนเทียบจากทฤษฎี (L/gCOD)	เข้า - ออก (kg/d)	ก๊าซที่ได้ (m ³ /d)
เข้า	ออก			
2,967.52	1,098.69	0.358	1,868.83	669.04

หมายเหตุ การคำนวณค่าคงที่ก๊าซมีเทน ดังแสดงในภาคผนวก ก-2.2

ที่มา: Speece, 1995.

4.4.2 สมดุลมวลของซีโอดีละลาย

ในงานวิจัยนี้การพิจารณาสมดุลมวลของซีโอดีละลาย ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่ทำการศึกษามาวิเคราะห์ และข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ทั้งหมดมาทำการสร้างสมดุลมวลของซีโอดีละลายพบว่า สมดุลมวลของซีโอดีละลายไม่สามารถประเมินการปล่อยสารอินทรีย์ที่เกิดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ครบทั้ง 3 สถานะ เนื่องจาก สมดุลมวลของซีโอดีละลายเป็นการวิเคราะห์เฉพาะสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของของเหลวเพียงเท่านั้น และองค์ประกอบหลักของซีโอดีทั้งหมดก็คือ ซีโอดีจากของแข็งตามผลของอัตราส่วนระหว่างซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่ได้ทำการคำนวณสมดุลมวลของซีโอดีละลายในเชิงตัวเลขออกมา

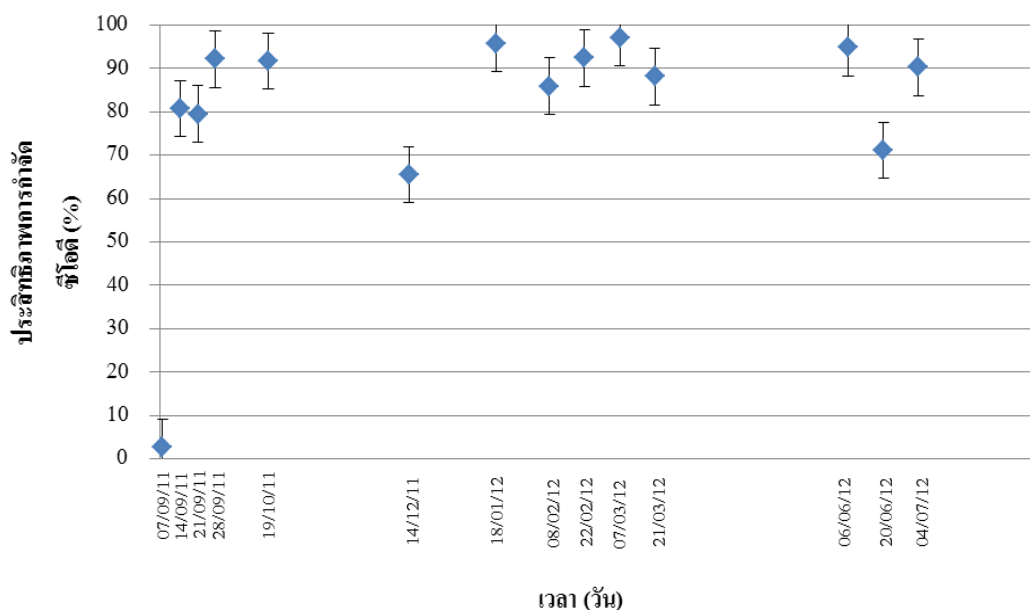
4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มที่ทำการศึกษาตามผลการทดลองในช่วงที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษาพบว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซีโอดีละลาย และการกำจัดของแข็งแขวนลอย มีผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

4.5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เป็นการประเมินประสิทธิภาพซีโอดีของน้ำเสียทั้ง 2 ส่วน คือส่วนที่อยู่ในรูปของแข็งและส่วนที่อยู่ในรูปสารละลาย จากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.21 จะเห็นว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $80.55\% \pm 24.27$ ซึ่งถือว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สูงเมื่อเทียบกับ Metcalf และ Eddy (2004) ที่พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียฟาร์มสุกรของระบบไร้อากาศเท่ากับ 62 – 69% แต่มีค่าต่ำกว่างานวิจัยของเอกรินทร์ อินประมุล (2553) ที่ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรที่พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 94.29%

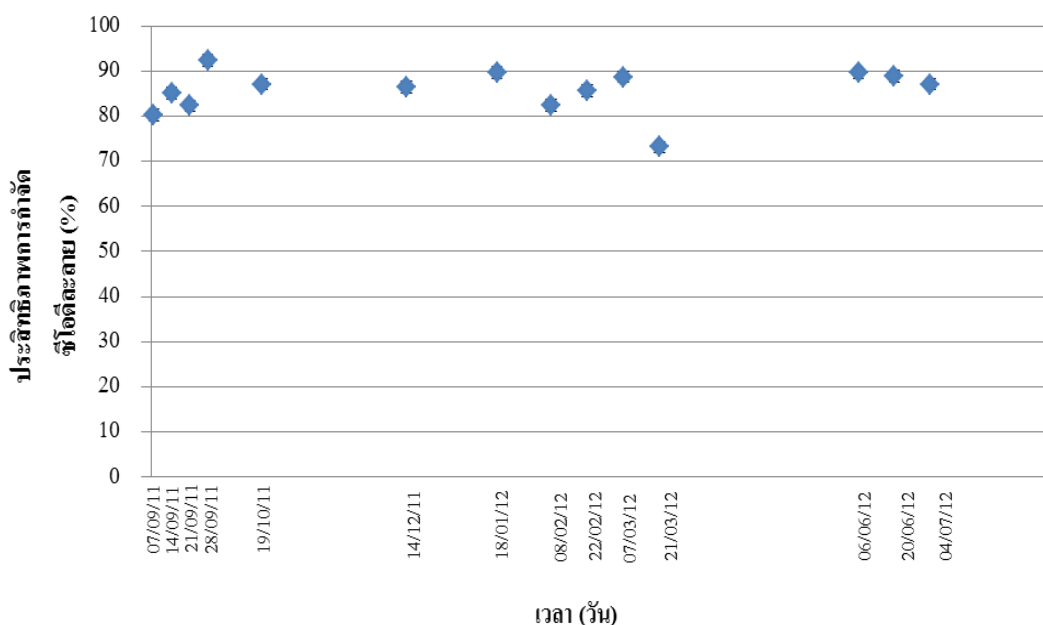
จากการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนที่ 2 – 5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากเหตุการณ์น้ำท่วมปลายปี 2554 จำนวนสุกรในฟาร์มมีจำนวนมาก ปริมาณน้ำเสียจึงสูงขึ้น สารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีมากเกินไปเกินความสามารถของระบบ ประกอบกับระยะเวลาเก็บกักไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงในช่วงนั้น และในช่วงท้ายของการเก็บตัวอย่างจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์ม ทางฟาร์มมีปัญหาในเรื่องของไฟฟ้าที่ใช้เดินระบบบำบัด จึงทำให้ไม่สามารถใช้งานระบบเพื่อบำบัดน้ำเสียได้ชั่วคราว ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบจึงมีค่าลดลง



ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

4.5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลาย เป็นการประเมินประสิทธิภาพซีโอดีของน้ำเสียเพียงส่วนเดียว คือส่วนที่อยู่ในรูปของสารละลายและถูกบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ จากผลการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 4.22 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายของฟาร์มที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $85.59\% \pm 4.86$ จากผลการทดลองจะเห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายอยู่ในเกณฑ์ดีเมื่อเทียบกับ Metcalf และ Eddy (2004) ที่พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียฟาร์มสุกรของระบบไร้อากาศเท่ากับ 62 – 69% และถือว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงเมื่อเทียบกับการศึกษาของนเรศ มณีโชติ (2546) และการศึกษาของศตวรรษ ทนารัตน์ (2548) ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายเท่ากับ 56.1% และ 72.0% ตามลำดับ โดยการกำจัดซีโอดีละลายนี้ สารอินทรีย์ควรจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและดึงไปใช้ในการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพเกือบทั้งหมด (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2543)

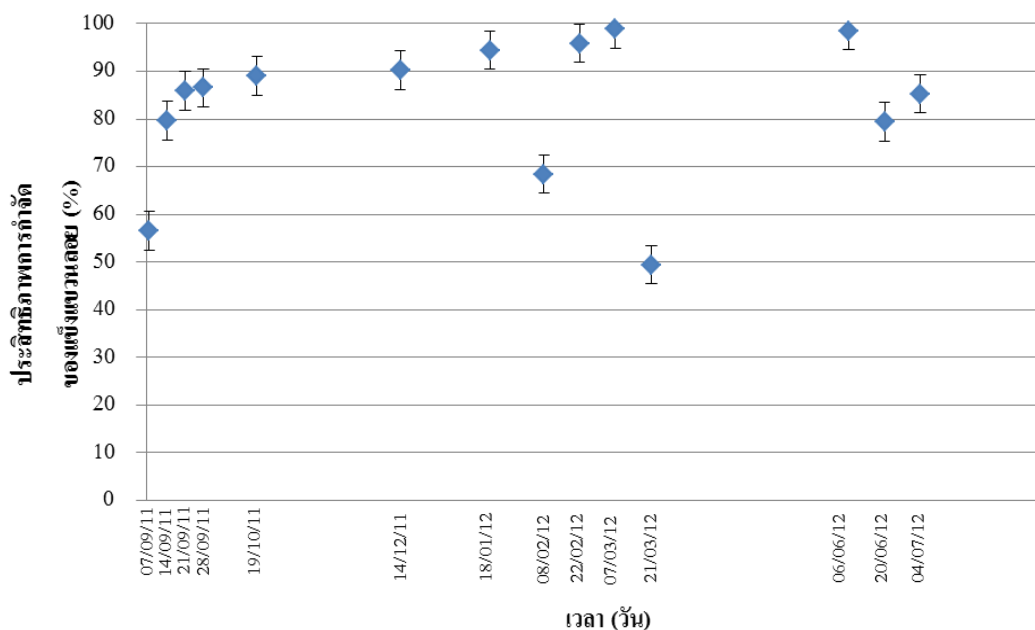


ภาพที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย

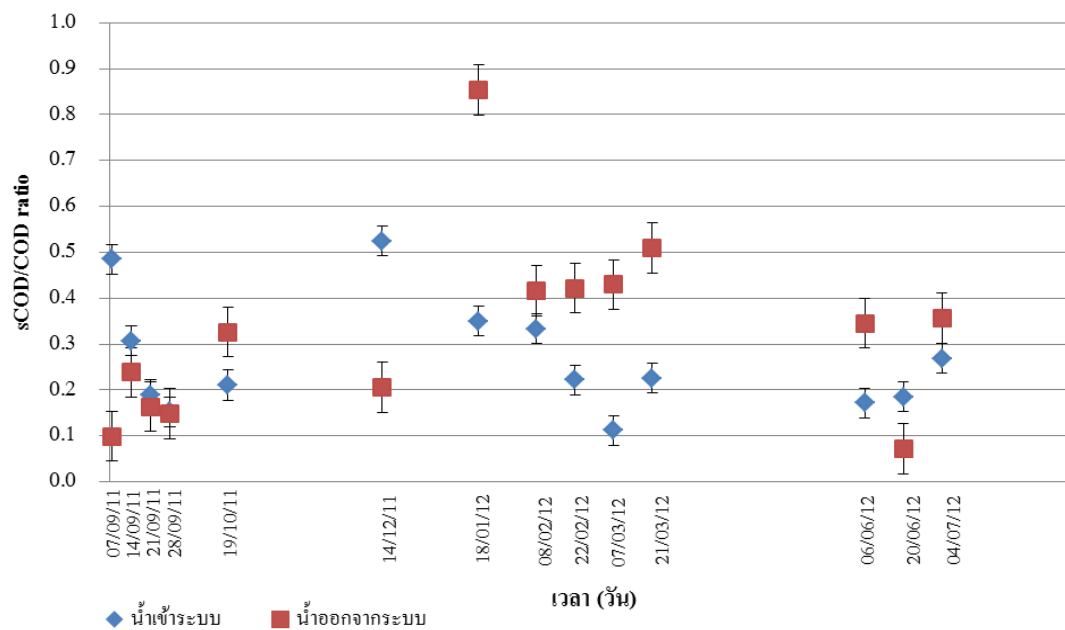
4.5.3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย เป็นการประเมินประสิทธิภาพซีโอดีของน้ำเสียในส่วนที่อยู่ในรูปของของแข็ง ซึ่งกลไกหลักในการกำจัดของแข็งแขวนลอยคือ กระบวนการตกตะกอน จากการศึกษาของ Joseph และคณะ (1992) ได้พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่มีอัตราการกำจัดสูง ต้องการน้ำเสียที่เข้าระบบเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายสามารถลดระยะเวลาของขั้นตอนไฮโดรไลซิซออกไปได้ ทำให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยส่วนใหญ่จะมีปริมาณของของแข็งเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบจริง แสดงดังภาพที่ 4.23 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $82.73\% \pm 19.84$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพสูงสุดของการกำจัดของแข็งแขวนลอยจากการศึกษาของสมพงษ์ นิลประยูร (2536) ที่พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 53.8 – 89.5%

และจากการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างซีโอดีละลายต่อซีโอดีของน้ำเสียตัวอย่างจากฟาร์มที่ศึกษาพบว่า น้ำเสียส่วนมากจะอยู่ในรูปสารแขวนลอย โดยพิจารณาได้จากอัตราส่วนระหว่างซีโอดีละลายต่อซีโอดีของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบคือ 0.27 และ 0.33 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย



ภาพที่ 4.24 อัตราส่วนระหว่างซีโอดีละลายต่อซีโอดี
น้ำเข้าระบบและออกจากระบบ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ประสิทธิภาพการใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่ศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า ซีโอดีของน้ำเสียจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือซีโอดีที่อยู่ในรูปของของแข็งและซีโอดีที่อยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งเรียกว่า ซีโอดีละลาย เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงทำให้การกำจัดซีโอดีเกิดได้ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ การกำจัดซีโอดีในส่วนที่เป็นของแข็งจะถูกกำจัดด้วยกลไกหลักคือ กระบวนการตกตะกอน และการกำจัดซีโอดีในรูปของสารละลายหรือซีโอดีละลายนั่น จะถูกกำจัดด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ จากการศึกษาวิเคราะห์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มที่ทำการศึกษาค้นคว้า ระบบจริงมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ดีกว่าซีโอดีทั้งหมด โดยมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 85.59 % และ 80.55 %

5.1.2 ประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่ศึกษา

การประเมินปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรที่ทำการศึกษานี้สามารถประเมินได้จากสมมูลมวลของซีโอดีและซีโอดีละลาย ได้ดังนี้

5.1.2.1 จากการศึกษาสมมูลมวลของซีโอดี พบว่า ซีโอดีถูกปล่อยออกจากระบบในรูปของสารละลายเท่ากับ 418.90 กก.ซีโอดี/วัน ซีโอดีถูกปล่อยออกจากระบบในรูปของตะกอนเท่ากับ 679.79 กก.ซีโอดีต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงของระบบเท่ากับ 1,459.38 ลบ.ม./วัน ร้อยละของมีเทนของระบบจริงมีค่าเท่ากับ 53.0% ดังนั้นเป็นก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด 773.47 ลบ.ม./วัน อย่างไรก็ตามก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงจำนวน 773.47 ลบ.ม./วัน มาจากปริมาณซีโอดีประมาณ 2,162.0 กก.ซีโอดี/วัน ซึ่งมากกว่าค่าซีโอดีคงค้างที่เกิดจากการคำนวณสมมูลมวลที่เท่ากับ 1,868.83 กก.ซีโอดี/วัน แสดงให้เห็นว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงมีค่ามากกว่าค่าที่เกิดจากซีโอดีคงค้างที่เกิดจากการคำนวณสมมูลมวลในวงรอบ 2 เดือนที่ใช้ในการทดลองนี้

5.1.2.2 จากการศึกษาสมมูลมวลของซีโอดีละลาย พบว่า สมมูลมวลของซีโอดีละลายไม่สามารถใช้ประเมินการปล่อยสารอินทรีย์ที่เกิดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ครบทั้ง 3 สถานะ เนื่องจากซีโอดีส่วนใหญ่ของระบบอยู่ในรูปของแข็ง

5.2.2.3 จากผลการศึกษาพบว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มที่ทำการศึกษา นั้น ในระบบมีการตกตะกอนของของแข็งเกิดขึ้นจริง โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบจริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.73%

5.1.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จากผลการศึกษา ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร พบว่า ของแข็งหรือตะกอน จะส่งผลกระทบต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด โดยตะกอนหรือของแข็งที่เกิดขึ้นมาจากมูลสุกร และเศษอาหารที่เข้าสู่ระบบ จะมีผลต่อซีโอดีขาเข้า โดยพิจารณาได้จากอัตราส่วนระหว่าง ซีโอดีละลายต่อซีโอดีของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.27 จากอัตราส่วนนี้ จะเห็นได้ว่า ซีโอดีส่วนใหญ่ของฟาร์มสุกรมาจากของแข็ง ซึ่งของแข็งจะสามารถตกตะกอนและสะสมอยู่ในระบบ เมื่อระยะเวลาผ่านไป ตะกอนในระบบจะมีการสะสมตัวในปริมาตรที่สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาตรการใช้งานของถังปฏิกรณ์มีขนาดลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการวิเคราะห์การใช้สารอินทรีย์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร และศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการทำการวิจัย ดังนี้

เนื่องจากระบบยังสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากกว่าปัจจุบัน ดังนั้น

1. ควรศึกษาการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้แก่ระบบ เช่น การบดตะกอนหรือย่อยตะกอนขั้นต้นก่อนป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จะทำให้ตะกอนมีขนาดเล็กลง สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้นเนื่องจากลดระยะเวลาในขั้นตอนของไฮโดรไลซิสมอล จะส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถนำสารอินทรีย์ไปใช้เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซมีเทนได้รวดเร็วกว่าการย่อยสลายจากของแข็ง ซึ่งจะส่งผลทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพของระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

2. ศึกษาเรื่องการเวียนหรือระบายตะกอนเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมในระบบ เนื่องจากตะกอนที่สะสมในระบบจะทำให้ปริมาตรการใช้งานจริงของถังปฏิกรณ์นั้นลดลง เมื่อปริมาตรการใช้งานจริงของถังลดลง ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ และการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบลดลง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กองทุนสนับสนุนการวิจัย, สำนัก. 2550. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการสนับสนุนการวิจัยเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาและการใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thaienergy.org/files/report%201.pdf>. [15 กรกฎาคม 2553]
- กิตติ ชีรสรเดช. 2538. การศึกษาระดับห้องปฏิบัติการของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาลโดยกระบวนการยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยรังสิต. กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2545. ปัญหาน้ำเสียจากการเกษตรกรรม. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_Agricultural.htm. [15 กรกฎาคม 2523]
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์. กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2549. คู่มือการใช้เทคโนโลยีการบำบัดของเสียและน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบก๊าซชีวภาพในลักษณะรวม. กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550. คู่มือแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมฟาร์มสุกร. กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550. คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร. กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. โครงการสำรวจและเก็บข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียและปริมาณความสกปรกของแหล่งกำเนิดประเภทฟาร์มสุกร. กรุงเทพมหานคร.

- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษ. กรุงเทพมหานคร. ที่ปรึกษาด้านอนุรักษ์พลังงานพลังงานทดแทน. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.em-group.co.th/Technology_UASB.html. [7 สิงหาคม 2553]
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2555. แนวทางการดำเนินงานตามกฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และแบบการเก็บสถิติและข้อมูล การจัดทำบันทึกรายละเอียด และรายงานสรุปผลการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสีย พ.ศ. 2555. กรุงเทพมหานคร.
- จักรพันธ์ หมั่นจี. 2553. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยการย่อยสลายร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารโดยถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ฉัตรชัย ศักดิ์วีระสุวรรณ. 2547. สมรรถนะการบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีภายใต้การป้อนวันละ 6 ชั่วโมง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2537. การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์. วิศวกรรมสาร (ฉบับเทคโนโลยี). ปีที่ 37. เล่มที่ 5 : 66-75.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ธีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระวุฒิ สุวัจนะเขาว์. 2543. ประสิทธิภาพและการลงทุนที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาสัตวแพทยศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาสัตวแพทยศาสตรบัณฑิต. คณะสัตวแพทยศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นเรศ มณีโชติ. 2546. การเปรียบเทียบสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรแบบไร้อากาศด้วยระบบยูเอเอสบีและระบบลูกผสมยูเอเอสบีและเครื่องกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิรันดร โพธิกานนท์, วราภา คุณาพร และโชค มิเกล็ด. 2543. ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและสถานภาพด้านสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.agri.cmu.ac.th/journal/pdf/J00051_C00239.pdf. [13 กรกฎาคม 2553]

นันทิยา เปปะตั้ง. 2545. แนวทางการใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลาง-เล็กไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในจังหวัดนครปฐม. สายวิชาการจัดการทรัพยากรชีวภาพ. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เบญจพร สุรารักษ์. 2541. ประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิดลูกผสม แบบมีตัวกรองร่วมกับแบบตะกอนลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประทีน กุลละวณิชย์, นันทิยา เปปะตั้ง, อรอมล เหล่าปีตินันท์, อรรณพ นพรัตน์, ภาวิณี ชัยประเสริฐ และวรินทร์ สงคศิริ. 2550. ภาพรวมเชิงสถานภาพและศักยภาพของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทย. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 4 (ตุลาคม-ธันวาคม 2550): 693–700.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2548. โครงการจัดทำฐานข้อมูลก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.dede.go.th/dede/images/stories/download/gasohol.pdf>. [12 กรกฎาคม 2553]

มันสิน ตันกุลเวศน์ และมันรัช ตันกุลเวศน์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาพเครื่องวัดอัตราการไหลก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.th.endress.com/#product/DO63C>. [27, เมษายน 2556]

ภาพเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเสียระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.th.endress.com/#product/50D>. [27, เมษายน 2556]

ภาพเม็ดตะกอนจุลินทรีย์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.uasb.org/index.htm>. [7 สิงหาคม 2553]

ภาพส่วนประกอบหลักของถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.uasb.org/index.htm>. [7 สิงหาคม 2553]

วีระพันธ์ เกียรติภักดิ์ และนิรันดร์ โพธิกานนท์. 2542 . โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ส่วนที่ 1 ฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่. ใน เอกสารเผยแพร่หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศตวรรษ ทนารัตน์. 2548. ผลของอัตราส่วนซีโอดีต่อแอมโมเนียในโตรเจนต่อพีเอชของระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์นครราชสีมา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

http://www.dld.go.th/lcna_nak/th/?page_id=180 [10 กุมภาพันธ์ 2556]

ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน. 2550. ก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.phoenix.eng.psu.ac.th>. [12 กรกฎาคม 2553]

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2553. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/documents.php>. [3 ตุลาคม 2553]

สมชัย จันทร์สว่าง และสุริยะ สะวานนท์ 2543. ประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการจัดการของเสียในระบบการผลิตสุกร. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. สภาวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร.

สมพงษ์ นิลประยูร. 2536. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ถังหมักแบบอับโฟลว์แอนแอโรบิกสแต็คแบบลงเกิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2544. ปัญหาสถานะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และการบำบัด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/farmpollution06.php#0304>. [14 ธันวาคม 2554]

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2545. ระบบไบโอแก๊สในฟาร์มสุกร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/documents/livestock.pdf>. [19 มีนาคม 2555]

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2550. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://teenet.cmu.ac.th/btc/documents.php>. [25 เมษายน 2556]

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2543. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการที่ปรึกษาเพื่อประเมินผลโครงการส่งเสริมก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.

- สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552. โครงการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในรูปแบบการหมักย่อยร่วมโดยถังปฏิกรณ์ UASB และ CSTR เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://mix-waste.erdj.or.th/pdf/mix-waste.pdf>. [10 ตุลาคม 2553]
- สุภาภรณ์ สันตเสวีอนันต์. 2545. ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างตะกอนเม็ดของระบบบำบัดแบบยูเอสบีที่บำบัดน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุนนชาติ แสงปัญญา และวิระพัฒน์ เพ็งพา. 2549. ใน รายงานวิชาการฉบับสมบูรณ์การศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในจังหวัดขอนแก่น. สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดขอนแก่น. กรมปศุสัตว์. ขอนแก่น.
- สุเทียบ ศรีลาชัย พนมพร วงษ์ปาน และวิวรรธน์ คุณาเอก. 2550. การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก. ใน รายงานผลการวิจัยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, ปี 2549 – 2550. กรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- องอาจ สุวรรณนที. 2551. การจัดการเพิ่มมูลค่าของเสียและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร. ใน การประชุมเชิงวิชาการการจัดการมลพิษจากฟาร์มสุกร, หน้า 59-69. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- อานันต์ ต๊ะปิ่นตา. 2550. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากฟาร์มปศุสัตว์ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา. ใน การประชุมเชิงวิชาการการจัดการมลพิษจากฟาร์มสุกร, หน้า 135-145. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- อุกฤษ กมลาลิงห์. 2549. การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียเลียนแบบน้ำเสียฟาร์มที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศแล้ว โดยกระบวนการซีแวนซึ่งแบคทีเรียสองสปีชีส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เอกรินทร์ อินประมุล. 2553. การเพิ่มสมรรถนะการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบผสมผสานระหว่างยูเอสบีและถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาษาอังกฤษ

- Akunna, J. C., Bizeau, C., and Moletta, R. 1992. Denitrification in anaerobic digesters: possibilities and influence of wastewater COD/N-NO_x ratio. Environmental Technology. 13: 825-836.
- Andara, A.R., and Esteban, J.M.L. 1999. Kinetic study of the anaerobic digestion of the solid fraction of piggery slurries. Biomass and Bioenergy. 17 : 435-443.
- APHA, AWWA, WPCF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington, DC. : American Public Health Association.
- AT Information-Biogas Digestion. Gas yields and methane content. [Online]. Available: <http://gate.gtz.de/biogas/appldev/operation/yieldt.html>. [2010, July 20].
- Banks, C.J., Chesshire, M., Heaven, S., and Arnold R. 2011. Anaerobic digestion of source-segregated domestic food waste: Performance assessment by mass and energy balance. Bioresource Technology. 102 : 612-620.
- Bioenergy Department. 2000. Denish centralised biogas plants. University of Southern Denmark. Plant Description : 27.
- Boonchai W., and Nares C. 2006. Piggery wastewater pretreatment by physico-chemical techniques. Suranaree J. Sci. Technol. 13 (1) : 29-37.
- Boyle, W.C., James, C.C., Ripley, L.E., and Kmet, N.M. 1985. The effect of ammonia nitrogen on the anaerobic digestion of poultry manure. Proceeding of Industrial Waste Conference. pp. 73-80.
- Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., and Hunt, P.G. 2008. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. Bioresource Technology. 99 : 7941–7953.
- Carliell, C.M., and Wheatley, A.D. 1997. Metal and phosphate speciation during anaerobic digestion of phosphorus rich sludge. Water Science and Technology. 36 (6-7) : 191-200.
- Chong, L.E. 1986. Economics of biogas digesters for pig farms in Thailand. Energy Technology Program. Asian Institute of Technology. 80.
- Cu'ellar, A.D., and Webber, M.E. 2010. Wasted food, wasted energy: The embedded energy in food waste in the United States. Water Science and Technology. 44 : 6464 –6469.

- Deublein D., and Steinhauser A. 2008. Biogas from waste and renewable resources. Hong Kong, Wiley-VCH.
- Haandel, A.C., Velsen, V., and Lettinga, G. 1994. Anaerobic sewage treatment. A Practical Guide for Regions with a Hot Climate. Chichester, John Wiley & Sons Ltd. England.
- Haandel, A.C.V., Monroy, O., Celis, B., Rustrian, E., and Cervantes, F.J. 2006. Chapter 3 Principles of process design for industrial wastewater treatment systems. Advanced biological treatment process for industrial wastewaters : principles and applications. F.J. Cervantes, S.G. Pavlostathis, and A.C.V. Haandel, eds., IWA, Netherlands : 47-140.
- Hobson, P.N. 1991. The treatment of agricultural water, pp. 93-138. In A. Wheatly ed. Anaerobic digestion : A waste treatment technology. Applied Sci.: Publ., London.
- Gelegenisa, J.D., Georgakakisb, I., Angelidakic, V., and Mavrissa. 2007. Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. Renewable Energy. vol.32, pp. 2147-2160.
- Joseph, F., Malina, J.R., and Freserick, G.P. 1992. Design of anaerobic process for the treatment of industrial and municipal wastes. Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania, U.S.A.
- Kirchner, K., Tolle, K.H., and Krieter, J. 2004. Decision tree technique applied to pig farming datasets. Livestock Production Science. 90 : 191–200.
- Kruger, C. 2005. Anaerobic digestion. Climate Friendly Farming. Washington state university. U.S.A. [Online]. Available: <http://cff.wsu.edu/publications/anaerobic%20digester%202%2005.pdf>. [2010, August 10].
- Kugelman, I.J., and McCarty, P.L. 1965. Cation toxicity and stimulation in anaerobic waste treatment. Water Pollution Control Federation. Vol.37, No.1.
- Laholm biogas plant in Sweden. 2000. Biogas. Available: <http://www.mirror.us.netwing.at/reflah.htm> . [2010, July 17].
- Leslie, G.C.P., Glen J.R., Daigger, T., and Henry C.L. 1999. Biological Wastewater Treatment. 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., New York.

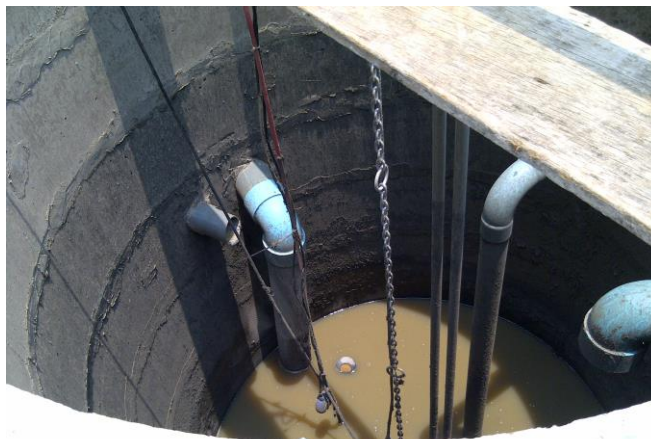
- Lettinga, G., Velsen, V.A.F.M., Hobma, S.W., Zeeuw, D.W., and Klapwijk, A. 1979. Use of the Up-flow Sludge Blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineering. 22 : 699-734.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals, Part II. Environmental Requirement and Control. J.Public Works, Vol.95.
- McCarty, P.L., and Rittmann, B.E. 2001. Environmental Biotechnology Principles and applications. Boston : McGraw-Hill.
- Metcalf and Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th ed. New York : McGraw-Hill.
- Muller, Z.O. 1980. Feed from animal wastes: State of knowledge. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Mungray, A.K., and Kumar, P. 2009. Mass balance of anionic surfactants through up-flow anaerobic sludge blanket based sewage treatment plants. Process Safety and Environmental Protection. 87 : 254-260.
- Pidaparti, S.R., and Dague, R.R. 1992. Anaerobic sequencing batch reactor treatment of swine wastes. In Proc. Purdue Industrial Waste Conference. 46 : 751-760.
- Poschl, M., Ward, S., and Owende, P. 2010. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. Applied Energy. 87 : 3305-3321.
- Puig, S., Loosdrecht, V.M.C.M., Colprim, J.J., and Meijer, S.C.F. 2008. Data evaluation of full-scale wastewater treatment plants by mass balance. Water Research. 42 : 4645-4655.
- Rittmann, B.E., and McCarty, P.L. 2000. Environmental biotechnology principles and applications. 1st ed. New York : McGraw-Hill.
- Ross, K.F., and Moser, M.A. 1997. AgSTAR handbook a manual for developing biogas system at commercial farms in the United States. U.S. Environmental Protection Agency.
- Santosh, Y., Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., and Rana, V. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques. Bioresource Technology. 95 : 1-10.
- Schievano, A., D'Imporzano, G., Orzi, V., and Adani, F. 2011. On-field study of anaerobic digestion full-scale plants (Part I): An on-field methodology to determine mass, carbon and nutrients balance. Bioresource Technology. 102 : 7737-7744.

- Schievano, A., D'Imporzano, G., Orzi, V., and Adani, F. 2011. On-field study of anaerobic digestion full-scale plants (Part II): New approaches in monitoring and evaluating process efficiency. Bioresource Technology. 102 : 8814-8819.
- Sharon, M., Reilly, O.C., Mahony, T., Cilleran, E., and Flaherty, O. 2003. Anaerobic granular sludge bioreactor technology. Review in Environmental Science and Bio/Technology. 2 : 225-245.
- Souza, M.E. 1986. Criteria for the utilization design and operation of UASB reactors. Water Science and Technology. 18 : 55-69.
- Speece, R.E. 1995. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Archae press, Tennessee. 25-63.
- Walsh, J.L., Ross, C.C., Smith, M.S., and Harper, S.R. 1989. Utilization of biogas. Biomass. 20 : 277-290.
- Werner, U., Stohr, U., and Hees, N. 1989. Biogas plants in animal husbandry. GTZ-GATE, Eschborn, Germany.
- William, F.L. 2009. Anaerobic digester technology. The Role of Extension in Energy. University of Minnesota. [Online]. Available: [http://www.farmfoundation.org/news/articlefiles/1712-Lazarus %20hndout.pdf](http://www.farmfoundation.org/news/articlefiles/1712-Lazarus%20hndout.pdf). [2010, July 17].
- Wujcik, W.J., and Jewell, W.J. 1980. Dry anaerobic fermentation. Biotechnology and Bioengineering Symposium. 10 : 43-65.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลฟาร์มสุกรที่ศึกษา

ก-1 ข้อมูลพื้นฐานของฟาร์มที่ศึกษา



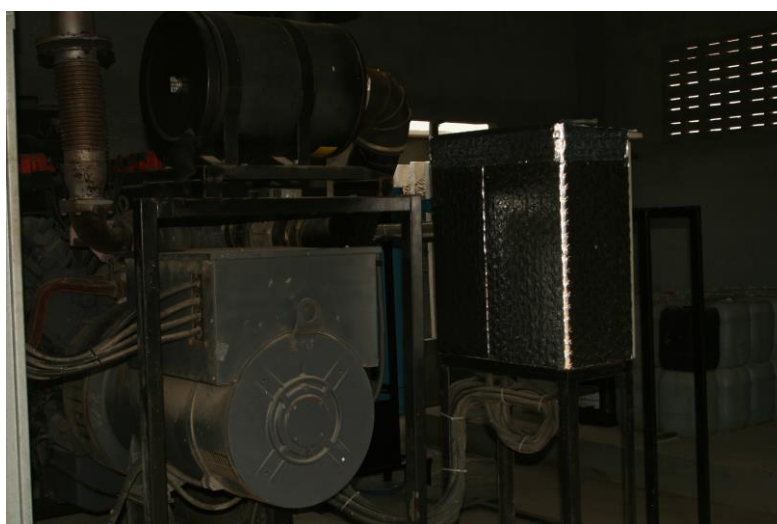
ภาพที่ ก-1.1 บ่อรวบรวมน้ำเสีย



ภาพที่ ก-1.2 ลานตากตะกอนและระบบทำความสะอาดก๊าซ



ภาพที่ ก-1.3 เครื่องประมวลผลอัตราการไหลของน้ำและก๊าซ



ภาพที่ ก-1.4 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าของฟาร์ม



ภาพที่ ก-1.5 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย



ภาพที่ ก-1.6 การวัดพีเอชและอุณหภูมิน้ำเสีย



ภาพที่ ก-1.7 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย



ภาพที่ ก-1.8 ตัวอย่างน้ำเสีย



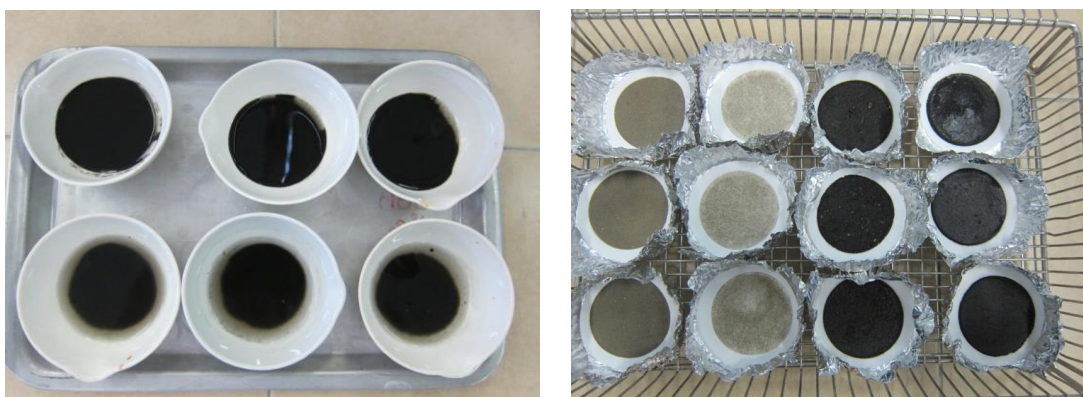
ภาพที่ ก-1.9 ถูงเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ ก-1.10 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ ก-1.11 การวิเคราะห์ซีโอดีและซีโอดีละลาย



ภาพที่ ก-1.12 การวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย
และของแข็งแขวนลอยระเหย



ภาพที่ ก-1.13 การวิเคราะห์กรดอินทรีย์ระเหยง่าย



ภาพที่ ก-1.14 การวิเคราะห์ความเป็นด่าง



ภาพที่ ก-1.15 การวิเคราะห์ทีเคเอ็น

ก – 2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเสีย

ก – 2.1 ข้อมูลเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพจากฟาร์มที่ศึกษา

Measuring Principle	Electromagnetic
Main features	Volume flow meter for measurement of conductive liquids in basic water / waste water applications
Features	S-DAT Quick Set-Up 2 Totalizer Bullet nose electrodes
Diameter	DN 25...100 1"...4"
Measuring range	0...600 m ³ /h
Process temperature	0...+60°C (+32...+140°F)
Pressure range	PN16 CI 150 JIS 10K
Measured error	±0.5%
Communication	HART Profibus DP/PA
Outputs	4...20 mA Pulse/Frequency Status
Inputs	Status
Ex-Approvals	FM CSA
Protection electronic	IP 67 (NEMA 4x)

Display/Operation	Two line display with backlit Push button
Advantages	Easy servicing and maintenance. Validation on site without removal of the sensor: - Optimized plant maintenance - Incorporation in QS-systems "Quick Setup" menus for straightforward commissioning in the field "Life Cycle Management Support" guaranteed

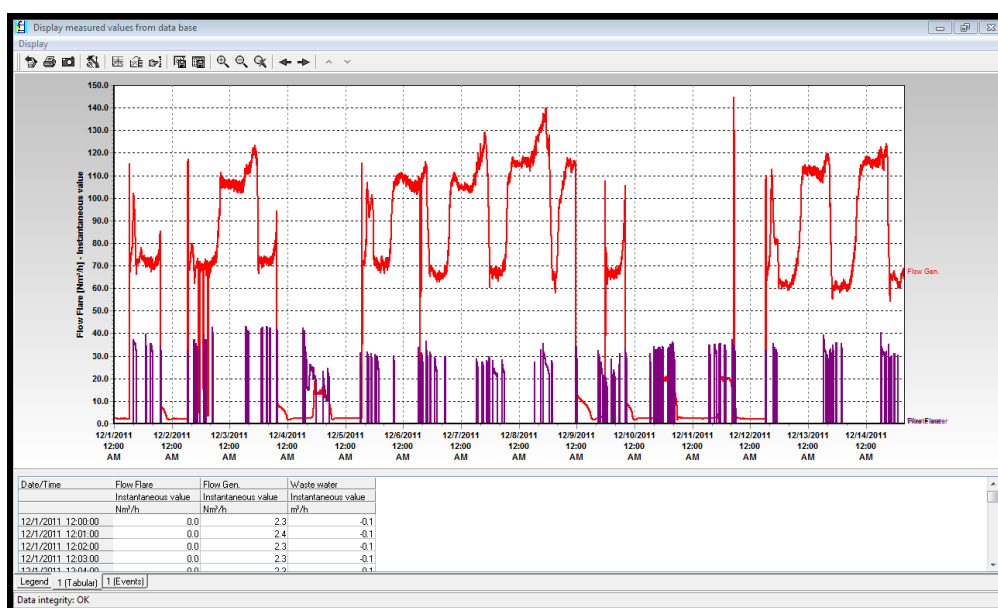
ก – 2.2 ข้อมูลเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพจากฟาร์มที่ศึกษา

Measuring Principle	Delta P
Main features	Calculated volume or mass flow measurement. dp primary element (orifice). Orifice plate with carrier ring and annular chamber corner taps.
Application examples	Universally applicable for gas, steam and liquids
Features	Internationally standardized ISO5167-2. Divided carrier ring with exchangeable orifice plate. Compact or remote design. Optimizable for minimized pressure loss, improved uncertainty or maximized Turndown. Deltabar S/M differential pressure transmitter.
Diameter	DN 50...1000 2" ... 40"
Measuring range	0.4 ... 15'000m ³ /h
Process temperature	Compact version: -200°C ... 200°C -328°F ... 392°F Remote version:

	-200°C ... 1000°C
	-328°F ... 1832°F
Pressure range	PN6 ... 100 Cl.150 ... 600
Measured error	typically < 1% of calculated volume or mass acc. ISO5167 without calibration.
Communication	Transmitter (Deltabar): HART PROFIBUS PA FOUNDATION Fieldbus
Outputs	Transmitter (Deltabar): 4 ... 20 mA
Inputs	null
Ex-Approvals	Transmitter (Deltabar): ATEX FM CSA IEC TIIS NEPSI
Protection electronic	Transmitter (Deltabar): IP67 NEMA6P
Display/Operation	Transmitter (Deltabar): 4-line display 3 push buttons Quick setup HistoROM

Advantages	<p>wide range of pressure / temperature.</p> <p>Transmitter replaceable without process interruption.</p> <p>Robust design, purely mechanical without moving parts.</p> <p>NACE compliant materials.</p>
Components	<p>Transmitter:</p> <p>Deltabar S: PMD70 / PMD75</p> <p>Deltabar M: PMD55</p>

ก-2.3 ตัวอย่างข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบและก๊าซชีวภาพจากโปรแกรม ReadWin2000



ภาพที่ ก-2.1 การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ข-1 ผลการทดลอง

ข-1.1 แสดงซีไอดีของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 จุด

วันที่	สัปดาห์	ซีไอดี (มก./ล.)			
		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1	3,784.44	3,681.04	4,508.24	1,328.12
14/09/11	2	7,792.96	1,500.80	18,965.52	13,796.72
21/09/11	3	10,170.88	2,083.11	9,403.73	10,331.73
28/09/11	4	36,221.20	2,857.04	34,932.00	44,116.00
19/10/11	5	17,443.2	1,453.6	33,180	60,988
14/12/11	6	6,350.4	2,192.4	46,116	60,480
18/01/12	7	17,424	742.5	41,580	51,480
08/02/12	8	9,547.2	1,346.4	48,348	47,736
22/02/12	9	18,240	1,380	24,600	47,700
07/03/12	10	37,816	1,108.4	8,2152	61,614
21/03/12	11	7,440	883.5	46,965	51,150
06/06/12	12	28,602.6	1,489.96	39,063.2	6,5825.87
20/06/12	13	18,975	5478	38,610	40,095
04/07/12	14	13,257.07	1,288.19	53,716.13	58,093.47
ค่าเฉลี่ย		16,647.50	1,963.21	37,295.70	43,909.64
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		10,819.76	1,283.95	19,554.76	20,684.403
สัมประสิทธิ์การกระจาย		64.99	65.40	52.43	47.11

ข-1.2 แสดงซีโอดีละลายของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 จุด

วันที่	ลำดับ	ซีโอดีละลาย (มก./ล.)			
		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1	1,833.63	363.05	225.18	317.09
14/09/11	2	2,390.02	357.84	181.44	524.16
21/09/11	3	1,924.05	340.89	285.21	174.46
28/09/11	4	5,510.40	423.12	521.52	378.84
19/10/11	5	3665.6	474	2,938.67	2204
14/12/11	6	3326.4	450.11	467.42	1,560.24
18/01/12	7	6,088.5	633.6	881.1	719.4
08/02/12	8	3,182.4	559.98	856.8	746.64
22/02/12	9	4,039.2	581.4	771.12	612
07/03/12	10	4,205.4	475.96	772.62	678.08
21/03/12	11	1,674	449.5	483.6	576.6
06/06/12	12	4,909.92	514.15	549.66	1,591.86
20/06/12	13	3,514.5	391.05	396	722.7
04/07/12	14	3,558.15	458.99	642.84	586.56
ค่าเฉลี่ย		3,558.73	462.40	712.37	813.76
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1,343.32	87.05	679.07	569.25
สัมประสิทธิ์การกระจาย		37.75	18.83	95.32	69.95

ข-1.3 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 จุด

ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)						
วันที่	สัปดาห์		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1		4,615.56	2,760.00	17,901.67	34,061.67
14/09/11	2		5,108.89	2,617.78	39,365.00	38,815.00
21/09/11	3		10,352.22	4,408.33	49,690.00	42,276.67
28/09/11	4		10,043.33	3,461.11	55,696.67	39,166.67
19/10/11	5		7,684.00	2,822.22	67,575.56	50,615.56
14/12/11	6		6,085.56	2,658.89	61,046.67	57,770.00
18/01/12	7		6,606.67	3,108.89	45,496.67	53,188.89
08/02/12	8		5,055.00	3,227.78	59,738.33	55,105.56
22/02/12	9		6,393.33	3,907.78	75,017.78	53,377.78
07/03/12	10		35,314.00	2,626.67	74,896.67	48,896.67
21/03/12	11		3,078.89	2,391.11	58,453.33	60,103.33
06/06/12	12		23,450.00	2,500.00	82,820.00	71,746.67
20/06/12	13		33,564.44	8,497.78	42,053.33	36,146.67
04/07/12	14		7,315.56	2,607.78	43,976.67	52,626.67
ค่าเฉลี่ย			11,761.96	3,399.72	55,266.31	49,564.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			10,782.22	1,577.20	13,537.61	10,513.40
สัมประสิทธิ์การกระจาย			91.67	46.39	24.50	21.21

ข-1.4 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 จุด

วันที่	สัปดาห์	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			
		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1	1,651.67	717.78	45,926.67	17,053.33
14/09/11	2	2,953.33	602.22	35,766.67	54,966.67
21/09/11	3	7,800.00	1,102.22	42,500.00	36,800.00
28/09/11	4	12,206.67	1,640.00	55,740.00	47,166.67
19/10/11	5	7,206.67	786.67	38,886.67	49,706.67
14/12/11	6	5,160.00	502.22	62,280.00	55,740.00
18/01/12	7	7,800.00	435.56	50,133.33	55,020.00
08/02/12	8	1,620.00	511.11	59,180.00	53,400.00
22/02/12	9	12,206.67	504.44	65,520.00	57,360.00
07/03/12	10	42,133.33	453.33	65,500.00	39,566.67
21/03/12	11	676.67	342.22	61,133.33	55,326.67
06/06/12	12	23,460.00	348.33	63,126.67	63,106.67
20/06/12	13	19,973.33	4,120.00	48,480.00	49,333.33
04/07/12	14	4,300.00	633.33	49,986.67	51,800.00
ค่าเฉลี่ย		4,300.00	633.33	49,986.67	51,800.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		11,323.39	986.78	10,028.31	11,488.33
สัมประสิทธิ์การกระจาย		263.33	155.81	20.06	22.18

ข-1.5 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 จุด

วันที่	ของแข็งแขวนลอยระเหย (มก./ล.)					
	สัปดาห์		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1		1,533.33	597.78	29,720.00	12,066.67
14/09/11	2		2,566.67	562.22	22,526.67	35,533.33
21/09/11	3		5,926.67	737.78	29,426.67	24,080.00
28/09/11	4		8,526.67	1,188.89	39,480.00	29,680.00
19/10/11	5		5,720.00	635.56	27,213.33	30,653.33
14/12/11	6		4,140.00	344.44	42,153.33	33,786.67
18/01/12	7		6,360.00	420.00	32,260.00	34,613.33
08/02/12	8		440.00	593.33	41,173.33	33,240.00
22/02/12	9		9,553.33	477.78	44,986.67	34,506.67
07/03/12	10		32,033.33	364.44	42,260.00	24,060.00
21/03/12	11		8,843.33	880.00	37,526.67	28,226.67
06/06/12	12		18,973.33	326.67	44,200.00	38,153.33
20/06/12	13		16,433.33	2,770.00	33,073.33	30,746.67
04/07/12	14		3,593.33	556.67	33,246.67	31,906.67
ค่าเฉลี่ย			8,903.09	746.83	35,660.48	30,089.52
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			8,485.81	626.27	6,995.38	6,582.10
สัมประสิทธิ์การกระจาย			95.31	83.86	19.62	21.88

ข-1.6 แสดงปริมาณของทีเคเอ็นของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 2 จุด

วันที่	ลำดับ	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	
		จุด 1	จุด 2
07/09/11	1	184.89	267.81
14/09/11	2	178.17	154.08
21/09/11	3	126.06	182.09
28/09/11	4	82.92	100.57
19/10/11	5	246.8	163.98
14/12/11	6	150.16	54.91
18/01/12	7	194.98	482.96
08/02/12	8	160.24	385.85
22/02/12	9	182.09	433.38
07/03/12	10	163.04	388.46
21/03/12	11	250.45	355.03
06/06/12	12	705.49	406.67
20/06/12	13	705.33	485.11
04/07/12	14	453.2	366.63
ค่าเฉลี่ย		203.10	145.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		270.27	301.97
สัมประสิทธิ์การกระจาย		75.15	48.09

ข-1.7 แสดงปริมาณอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน				
วันที่	สัปดาห์		จุด 1	จุด 2
07/09/11	1		20.47	13.74
14/09/11	2		43.74	9.74
21/09/11	3		80.68	11.44
28/09/11	4		436.82	28.41
19/10/11	5		70.68	8.86
14/12/11	6		42.29	39.93
18/01/12	7		89.36	1.54
08/02/12	8		59.58	3.49
22/02/12	9		100.17	3.18
07/03/12	10		231.94	2.85
21/03/12	11		29.71	2.49
06/06/12	12		40.54	3.66
20/06/12	13		26.90	11.29
04/07/12	14		29.25	3.51
ค่าเฉลี่ย			93.01	10.30
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			112.59	11.10
สัมประสิทธิ์การกระจาย			121.05	107.83

ข-1.8 แสดงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

วันที่	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (มก./ล.)				
	สัปดาห์		จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1		47.00	117.33	287.33
14/09/11	2		137.50	140.28	134.38
21/09/11	3		112.50	131.25	141.67
28/09/11	4		122.92	211.31	137.50
19/10/11	5		312.50	547.27	520.31
14/12/11	6		106.67	135.00	135.00
18/01/12	7		200.00	305.00	181.67
08/02/12	8		126.67	330.00	146.67
22/02/12	9		115.00	135.00	128.33
07/03/12	10		101.67	126.67	125.00
21/03/12	11		77.50	103.33	111.67
06/06/12	12		70.00	98.33	115.00
20/06/12	13		100.00	115.00	126.67
04/07/12	14		47.00	117.33	287.33
ค่าเฉลี่ย			119.78	186.65	184.18
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			67.81	126.75	112.50
สัมประสิทธิ์การกระจาย			56.61	67.91	61.08

ข-1.9 แสดงปริมาณความแตกต่างของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

วันที่	ความแตกต่าง (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)			
	ลำดับ		จุด 1	จุด 2
07/09/11	1		220.00	360.00
14/09/11	2		325.00	363.33
21/09/11	3		353.33	380.00
28/09/11	4		360.00	383.33
19/10/11	5		390.00	416.67
14/12/11	6		361.67	435.00
18/01/12	7		475.00	515.00
08/02/12	8		273.33	460.00
22/02/12	9		323.33	416.67
07/03/12	10		300.00	360.00
21/03/12	11		210.00	373.33
06/06/12	12		313.33	333.33
20/06/12	13		250.00	346.67
04/07/12	14		308.33	350.00
ค่าเฉลี่ย			318.81	392.38
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			69.70	50.78
สัมประสิทธิ์การกระจาย			21.86	12.94

ข-1.10 แสดงอุณหภูมิของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	สัปดาห์		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1		29.0	29.0	31.0	30.0
14/09/11	2		30.0	30.0	31.5	30.5
21/09/11	3		32.0	33.0	33.0	33.0
28/09/11	4		31.0	32.0	30.0	30.0
19/10/11	5		28.5	29.0	28.5	29.0
14/12/11	6		32.0	33.5	31.0	31.0
18/01/12	7		30.0	29.0	27.5	27.5
08/02/12	8		27.0	29.0	32.0	32.0
22/02/12	9		28.0	27.0	29.0	29.0
07/03/12	10		33.0	33.0	33.0	36.0
21/03/12	11		36.0	38.0	36.0	36.5
06/06/12	12		34.0	37.0	36.0	36.0
20/06/12	13		32.0	32.0	31.0	30.0
04/07/12	14		38.5	39.5	32.0	32.0
ค่าเฉลี่ย			31.50	32.21	31.54	31.61
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			3.17	3.78	2.48	2.84
สัมประสิทธิ์การกระจาย			10.08	11.74	7.85	8.97

ข-1.11 แสดงความเป็นกรด ต่างของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

วันที่	สัปดาห์	ค่าความเป็นกรด ต่าง			
		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1	7.20	7.30	7.80	7.40
14/09/11	2	7.50	7.20	8.00	7.40
21/09/11	3	7.20	7.40	7.40	7.40
28/09/11	4	7.50	7.30	7.20	7.30
19/10/11	5	7.30	7.40	7.20	7.30
14/12/11	6	7.20	7.50	7.40	7.40
18/01/12	7	7.00	7.30	7.20	7.40
08/02/12	8	7.40	7.30	7.60	7.80
22/02/12	9	7.40	7.40	7.90	7.20
07/03/12	10	7.20	7.50	8.00	7.70
21/03/12	11	7.50	7.50	7.40	7.50
06/06/12	12	6.50	7.30	7.50	8.40
20/06/12	13	6.30	7.30	7.00	7.40
04/07/12	14	7.20	7.30	7.20	8.00
ค่าเฉลี่ย		7.17	7.36	7.49	7.54
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.36	0.09	0.33	0.33
สัมประสิทธิ์การกระจาย		5.03	1.27	4.38	4.34

ข-1.12 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มที่ศึกษา

วันที่	สัปดาห์	อัตราการไหลก๊าซ (ลบ.ม./ชั่วโมง)	อัตราการไหลก๊าซ (ลบ.ม./วัน)
07/09/11	1	59.85	1,436.45
14/09/11	2	63.00	1,512.04
21/09/11	3	64.62	1,550.95
28/09/11	4	59.77	1,434.53
19/10/11	5	56.79	1,362.92
14/12/11	6	106.43	2,554.31
18/01/12	7	66.52	1,596.49
08/02/12	8	32.93	790.21
22/02/12	9	50.67	1,216.12
07/03/12	10	74.11	1,778.64
21/03/12	11	32.70	784.85
06/06/12	12	40.07	961.65
20/06/12	13	1.00	24.11
04/07/12	14	18.97	455.38
	รวม	727.44	17,458.66
ค่าเฉลี่ย		51.96	1,247.05
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		25.81	619.41
สัมประสิทธิ์การกระจาย		49.67	49.67

ข-2 ผลการทดลองที่ใช้สร้างสมคุณมวล

ข-2.1 แสดงอัตราการไหลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้สร้างสมคุณมวล

วันที่	สัปดาห์	อัตราการไหล เข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลที่ออกจากระบบ (ลบ.ม./วัน)		
			น้ำใส	ตะกอนหัวบ่อ	ตะกอนท้ายบ่อ
07/09/11	1	187.68	236.43	10.89	10.89
14/09/11	2	200.88	179.86	10.89	10.89
21/09/11	3	182.64	179.86	10.89	10.89
28/09/11	4	233.28	128.7	10.89	10.89
19/10/11	5	179.28	179.86	10.89	10.89
ค่าเฉลี่ย		196.75	180.94	10.89	10.89
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		22.01	38.12		
สัมประสิทธิ์การกระจาย		11.19	21.07		

ข-2.2 แสดงปริมาณซีโอดีของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้สร้างสมคุณมวล

วันที่	สัปดาห์	ซีโอดี (มก./ล.)			
		น้ำเข้า จุด 1	น้ำออก จุด 2	ตะกอนต้นบ่อ จุด 3	ตะกอนท้ายบ่อ จุด 4
07/09/11	1	3,784.44	3,681.04	4,508.24	1,328.12
14/09/11	2	7,792.96	1,500.80	18,965.52	13,796.72
21/09/11	3	10,170.88	2,083.11	9,403.73	10,331.73
28/09/11	4	36,221.20	2,857.04	34,932.00	44,116.00
19/10/11	5	17,443.20	1,453.60	33,180.00	60,988.00
ค่าเฉลี่ย		15,082.54	2,315.12	20,197.90	26,112.11
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		12,819.18	951.13	13,691.48	25,275.50
สัมประสิทธิ์การกระจาย		84.99	41.08	67.79	96.80

ข-2.3 แสดงปริมาณซีโอดีละลายของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้สร้างสมดุลมวล

		ซีโอดีละลาย (มก./ล.)			
		น้ำเข้า	น้ำออก	ตะกอนต้นบ่อ	ตะกอนท้ายบ่อ
วันที่	สัปดาห์	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1	1,833.63	363.05	225.18	317.09
14/09/11	2	2,390.02	357.84	181.44	524.16
21/09/11	3	1,924.05	340.89	285.21	174.46
28/09/11	4	5,510.40	423.12	521.52	378.84
19/10/11	5	3,665.60	474.00	2,938.67	2,204.00
ค่าเฉลี่ย		3,064.74	391.78	830.40	719.71
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1,550.35	55.48	1,185.84	839.19
สัมประสิทธิ์การกระจาย		50.59	14.16	142.80	116.60

ข-2.4 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้สร้างสมดุลมวล

วันที่	สัปดาห์	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			
		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
07/09/11	1	1,651.67	717.78	45,926.67	17,053.33
14/09/11	2	2,953.33	602.22	35,766.67	54,966.67
21/09/11	3	7,800.00	1,102.22	42,500.00	36,800.00
28/09/11	4	12,206.67	1,640.00	55,740.00	47,166.67
19/10/11	5	7,206.67	786.67	38,886.67	49,706.67
ค่าเฉลี่ย		6,363.67	969.78	43,764.00	41,138.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		4,205.58	417.99	7,704.63	14,999.07
สัมประสิทธิ์การกระจาย		66.09	43.10	17.60	36.46

ข-2.5 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้สร้างสมดุลมวล

วันที่	สัปดาห์	อัตราการไหล เข้าระบบ (ลบ.ม./ชั่วโมง)	อัตราการไหลที่ออกจากระบบ (ลบ.ม./วัน)
7/9/2011	1	59.85	1,436.45
14/9/2011	2	63.00	1,512.04
21/9/2011	3	64.62	1,550.95
28/9/2011	4	59.77	1,434.53
19/10/2011	5	56.79	1,362.92
	รวม	304.04	7,296.89
ค่าเฉลี่ย		60.81	1,459.38
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		3.06	73.50
สัมประสิทธิ์การกระจาย		5.04	5.04

ภาคผนวก ค
การคำนวณ

ค-1 ข้อมูลพื้นฐานของฟาร์มตัวอย่าง

ค-1.1 การคำนวณการประเมินการเกิดน้ำเสียจากสูตรตามกรมควบคุมมลพิษ

ประเภทสุกร	อัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)					
	อัตราการใช้น้ำ			อัตราการเกิดน้ำเสีย		
	สูงสุด	ต่ำสุด	คำแนะนำ	สูงสุด	ต่ำสุด	คำแนะนำ
สุกรพ่อแม่พันธุ์	108	83	92	82	50	64
สุกรขุน	50	45	48	26	23	24
สุกรอนุบาล	37	30	32	21	16	20

ที่มา: โครงการสำรวจและเก็บข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียและปริมาณความสกปรก

ของแหล่งกำเนิดประเภทฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

กรณีสุกรพ่อแม่พันธุ์ (ใช้คำแนะนำ จากตาราง)

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม/วัน) = จำนวนสุกรพ่อแม่พันธุ์ (ตัว) x 64 (ลิตร/ตัว/วัน) / 1,000 ลิตร

$$\frac{[(30 + 900) \times 64]}{1,000}$$

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 59.52 ลบ.ม/วัน

กรณีสุกรขุน (ใช้คำแนะนำ จากตาราง)

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม/วัน) = จำนวนสุกรขุน (ตัว) x 24 (ลิตร/ตัว/วัน) / 1,000 ลิตร

$$\frac{(6,500 \times 24)}{1,000}$$

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 156 ลบ.ม/วัน

กรณีสุกรอนุบาล (ใช้คำแนะนำ จากตาราง)

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม/วัน) = จำนวนสุกรอนุบาล (ตัว) x 20 (ลิตร/ตัว/วัน) / 1,000 ลิตร

$$= (1,800 \times 20) / 1,000$$

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 36 ลบ.ม/วัน

ค-2 การสร้างสมดุลมวล

ค-2.1 การคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ

ปริมาณก๊าซชีวภาพ

ทั้งหมด	1,459.38	ลบ.ม./วัน
มีเทน	53.0 %	
=	(1,459.38*0.53)	
=	773.47	ลบ.ม./วัน

ค-2.2 การคำนวณเทียบปริมาณก๊าซมีเทนจากระบบจริงต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบตามค่าทฤษฎีจากทฤษฎี กำหนดให้

ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะเกิดก๊าซมีเทน 0.395 ลิตร/ก.ซีโอดี (Speece, 1995.)

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มที่ศึกษา

อุณหภูมิเฉลี่ยของระบบ เท่ากับ 31.7 องศาเซลเซียส		
ดังนั้น จะเกิดก๊าซมีเทน	=	(31.7*0.395)/35 ลิตร/ก.ซีโอดี
	=	0.358 ลิตร/ก.ซีโอดี

ค-2.3 การคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบจริง

มีเทนทั้งหมด	773.47	ลบ.ม./วัน	อุณหภูมิ	31.7	องศาเซลเซียส
			มีเทนที่เกิดต่อ		
			ซีโอดีที่ถูกกำจัด =	0.358	ลิตร/ก.ซีโอดี
	= (773.47*1*1000)/(0.358*1000)				
	= 2,162 กก.ซีโอดี/วัน				

ค-2.4 ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลของระบบ

อัตราการไหลเข้า	อัตราการไหลออกจากระบบ		
(ลบ.ม./วัน)	(ลบ.ม./วัน)		
เข้า	น้ำใส	ลานตากตะกอน	
จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
196.75	180.94	10.89	10.89

ซีโอดี (มก./ล.)					ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)
	น้ำเข้า	น้ำออก	ตะกอนต้นบ่อ	ตะกอนท้ายบ่อ	น้ำออก
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 2
ค่าเฉลี่ย	15,082.54	2,315.12	20,197.90	26,112.11	969.78

อัตราการไหล*ความเข้มข้น (กก.ซีโอดี/วัน)				อัตราการไหล*ความเข้มข้น (กก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)	
ซีโอดีเข้า	ซีโอดีออก			ของแข็งแขวนลอยออก	
เข้า	น้ำใส	ตะกอน		น้ำใส	รวม
จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 2	
2,967.52	418.90	219.96	284.36	175.47	1,098.69

$$\begin{aligned}
 \text{ตัวอย่างการคำนวณมวลซีโอดีที่จุด 1} &= (196.75 * 15,082.54) * 1000 / (1000 * 1000) \\
 &= 2,967.52 \text{ กก.ซีโอดี/วัน} \\
 \text{การคำนวณมวลของแข็งแขวนลอยที่จุด 2} &= (180.94 * 969.78) * 1000 / (1000 * 1000) \\
 &= 175.47 \text{ กก.ของแข็งแขวนลอย/วัน}
 \end{aligned}$$

ค-2.5 ปริมาณมีเทนที่เกิดจากซีโอดีที่ค้างอยู่ในระบบจากสมมูลมวลของซีโอดี

$$\text{ซีโอดีที่ค้างอยู่ในระบบ} = 1,868.83 \text{ กก.ซีโอดี/วัน}$$

$$\text{ค่าคงที่การเกิดมีเทนจากระบบจริงที่อุณหภูมิ 31.7 องศาเซลเซียส} = 0.358 \text{ ลิตร/ก.ซีโอดี}$$

$$\text{ดังนั้น} = (1,868.83 * 0.358)$$

$$= 669.04 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

ค-3 การคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสีย

ค- 3.1 อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ

วันที่	ลำดับ	อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ	
		ลบ.ม./ชั่วโมง	ลบ.ม./วัน
09/07/2011	1	7.82	187.68
14/9/2011	2	8.37	200.88
21/9/2011	3	7.61	182.64
28/9/2011	4	9.72	233.28
19/10/2011	5	7.47	179.28
14/12/2011	6	8.22	197.28
18/1/2012	7	3.80	91.2
08/02/2012	8	7.70	184.8
22/2/2012	9	7.00	168
07/03/2012	10	6.10	146.4
21/03/2012	11	10.90	261.6
06/06/2012	12	8.90	213.6
20/6/2012	13	6.90	165.6
04/07/2012	14	8.20	196.8
	รวม	108.71	2,609.04
ค่าเฉลี่ย		7.77	186.36
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.6559	39.7415

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลจาก อัตราการไหล} &= 7.82 \times 24 \\ &= 187.68 \text{ ลบ.ม./วัน} \end{aligned}$$

ค- 3.2 อัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

จากการออกแบบ $L = 0.2$ เมตร

จากสูตร	$Q =$	$1.84 * L * (H^{3/2})$				
วันที่	สัปดาห์	H (ซม.)	H (ม.)	Q (ลบ.ม./วินาที)	Q (ลบ.ม./วัน)	Q (ลบ.ม./วัน)
07.09.11	1	0.6	0.006	0.00017	14.77707	236.43
14.09.11	2	0.5	0.005	0.00013	11.24130	179.86
21.09.11	3	0.5	0.005	0.00013	11.24130	179.86
28.09.11	4	0.4	0.004	0.00009	8.04362	128.70
19.10.11	5	0.5	0.005	0.00013	11.24130	179.86
14.12.11	6	0.6	0.006	0.00017	14.77707	236.43
18.01.12	7	0.3	0.003	0.00006	5.22448	83.59
08.02.12	8	0.4	0.004	0.00009	8.04362	128.70
22.02.12	9	0.6	0.006	0.00017	14.77707	236.43
07.03.12	10	0.5	0.005	0.00013	11.24130	179.86
21.03.12	11	0.4	0.004	0.00009	8.04362	128.70
06.06.12	12	0.5	0.005	0.00013	11.24130	179.86
20.06.12	13	0.5	0.005	0.00013	11.24130	179.86
04.07.12	14	0.5	0.005	0.00013	11.24130	179.86
					ค่าเฉลี่ย	174.14

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad Q &= 1.84LH^{3/2} \\
 &= 1.84 * 0.2 * (0.006^{3/2}) \\
 &= 0.00017 * 60 * 60 * 24 \\
 &= 14.77707 \text{ ลบ.ม./วัน}
 \end{aligned}$$

เวียร์ 1 เวียร์ มี 8 ช่อง และ 1 บ่อ มี 2 เวียร์

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น} &= 14.77707 * 8 * 2 \\
 &= 236.43 \text{ ลบ.ม./วัน}
 \end{aligned}$$

ค- 3.3 อัตราการไหลของตะกอนที่ออกจากระบบ

สูตร

$$\text{ปริมาตรสี่เหลี่ยม (ลบ.ม.)} = \text{กว้าง (เมตร)} \times \text{ยาว (เมตร)} \times \text{สูง (เมตร)}$$

$$\text{กว้าง} = 5.5 \text{ เมตร}$$

$$\text{ยาว} = 11 \text{ เมตร}$$

$$\text{สูง} = 0.2 \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรสี่เหลี่ยม (ลบ.ม.)} &= 5.5 \times 11 \times 0.2 \\ &= 9.075 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

หมายเหตุ ความสูง คือความสูงของตะกอนที่ฟาร์มปล่อยออกจากระบบจริง

$$T = 10 \text{ นาที}$$

$$V = 9.075 \text{ ลบ.ม.}$$

$$\text{จาก } Q = V/T$$

$$= 0.9075 \text{ ลบ.ม./10นาที}$$

$$= 5.445 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

$$\text{มี 2 ลาน} = 10.89 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

หมายเหตุ T คือเวลาจริงที่ฟาร์มปล่อยตะกอนออกจากระบบ

ค- 3.4 การคำนวณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบจริง

คำนวณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate)

จากสมการ

$$OLR = (Q \times \text{COD}) / (V \times 1,000)$$

$$Q = 186.36 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

$$V = 5,184.0 \text{ ลบ.ม.}$$

$$\text{COD} = 16,647.50 \text{ มก./ล.}$$

$$OLR = 0.60 \text{ กก.ซีโอดี/ลบ.ม.ต่อวัน}$$

ค- 3.5 การคำนวณระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ของระบบจริง (Hydraulic retention time)

จากสมการ	HRT = V/Q	
Q =	186.36	ลบ.ม./วัน
V =	5,184.00	ลบ.ม.
HRT =	27.82	วัน

ค-4 สัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation)

การเปรียบเทียบการกระจายของชุดข้อมูล นิยมใช้ดัชนีการกระจาย หรือ ดัชนีการแปรผัน (Variability Indices) ดัชนีการกระจายที่นิยมใช้ คือ สัมประสิทธิ์การกระจาย โดยที่

$$\text{สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.)} = \frac{\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \times 100 \%}{\text{ค่าเฉลี่ย}}$$

ค-5 วิเคราะห์ร้อยละมีเทนด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนในตัวอย่างจากก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ข้อมูลการวิเคราะห์แสดงในหัวข้อที่ 4.3.3.14

ตัวอย่างที่ 1 วันที่วิเคราะห์ 31 กรกฎาคม 2555

จากมาตรฐานมีเทนมีพื้นที่ได้กราฟเท่ากับ	30958919	คิดเป็นมีเทน 99%
จากการฉีดวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพมีพื้นที่ได้กราฟเท่ากับ	12284463	
จึงคิดเป็นปริมาณมีเทน	=	(12284463*99)/30958919
	=	39.19%
	~	40%

ตัวอย่างที่ 2 วันที่วิเคราะห์ 31 กรกฎาคม 2555

จากมาตรฐานมีเทนมีพื้นที่ได้กราฟเท่ากับ	30958919	คิดเป็นมีเทน 99%
จากการฉีดวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซชีวภาพมีพื้นที่ได้กราฟเท่ากับ	16519295	
จึงคิดเป็นปริมาณมีเทน	=	(16519295*99)/30958919
	=	52.83%
	~	53%

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกมลชนก สนิททรัพย์ เกิดวันที่ 14 ธันวาคม 2530 สถานที่เกิด จังหวัด สกลนคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอุตสาหกรรม เกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี การศึกษา 2552 หลังจบการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2552

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

กมลชนก สนิททรัพย์ พิชญ รัชฎาวงศ์ และ จักรกริสน์ เนื่องจำนงค์ “ประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบีในฟาร์มสุกร” เอกสารประกอบการประชุม วิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 12 วันที่ 27 - 29 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จังหวัด ขอนแก่น จัดโดย สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย