ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกักที่มีต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน

ฐิตวุฒิ สุทธิปาริชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
ทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม
โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2548

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่อง

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกักที่มีต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน

โดย

ฐิตวุฒิ สุทธิปาริชาติ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)
วันที่ 22 เดือน เมษายน พ.ศ 2548

กรรมการที่ปรึกษา .....
(รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี)
วันที่ 22 เดือน เมษายน พ.ศ 2548

กรรมการที่ปรึกษา .....
(อาจารย์น้ำเพ็ชร วินิจฉัยกุล)
วันที่ 22 เดือน เม.ย. พ.ศ 2548

กรรมการที่ปรึกษา .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ คุษฎี)
วันที่ 22 เดือน เม.ย. พ.ศ 2548

หัวหน้าภาควิชาชีววิทยา .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพมณี โทปุญญานนท์)
วันที่ 22 เดือน เม.ย. พ.ศ 2548

โครงการบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เพ็ชรประคับ)
รองประธานกรรมการโครงการบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 13 เดือน พ.ค. พ.ศ 48

ชื่อเรื่อง	ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกักที่มีต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน
ชื่อผู้เขียน	นายฐิตวุฒิ สุทธิปาริชาติ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสีย และ การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 1 เป็นการผลิตกรดอินทรีย์จากถังปฏิกิริยาสร้างกรด โดยถังหมักที่มีการรักษาระดับอุณหภูมิที่ 37, 50, 55 และ 60°C ขั้นตอนที่ 2 เป็นการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน ซึ่งจะรักษาระดับอุณหภูมิที่ 37°C ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในถังปฏิกิริยาสร้างกรด คือ 10, 17 และ 24 ชั่วโมง ส่วนถังปฏิกิริยาสร้างมีเทนมีระยะเวลาเก็บกักที่ 4, 6, 8 และ 10 วัน

ขั้นตอนที่ 1 ถังปฏิกิริยาสร้างกรดระยะเวลาเก็บกัก 10, 17 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีได้ร้อยละ 25.96 – 37.61 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการลดบีโอดีได้ร้อยละ 23.81 – 30.61 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ร้อยละ 82.94 – 97.62 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 8.5 – 14.2 cm^3/KgVS ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

ส่วนในขั้นตอนที่ 2 ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพระยะเวลาเก็บกักที่ 4, 6, 8 และ 10 วัน ผลการทดลองพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีได้ร้อยละ 58.14 – 65.75 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ที่ 8 วัน ประสิทธิภาพในการลดบีโอดีได้ร้อยละ 21.88 – 35.48 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ที่ 4 วัน ประสิทธิภาพในการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ร้อยละ 94.80 – 99.67 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ที่ 10 วัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้

23.1 – 25.7 cm^3/KgVS ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 55°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และ อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

เมื่อดูประสิทธิภาพโดยรวมทั้งระบบ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีได้ร้อยละ 70.19 – 78.63 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ที่ 4 วัน ประสิทธิภาพในการลดบีโอดีได้ร้อยละ 41.86 – 52.38 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ที่ 4 วัน ประสิทธิภาพในการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ร้อยละ 97.20 – 99.93 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ที่ 10 และ ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ที่ 6 วัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 23.1 – 25.7 cm^3/KgVS ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

Title Effects of Temperature and HRT on Biogas Production Efficiency of Anaerobic Dual StageTreatment

Author Mr. Thitawut Sutiparichart

Degree of Master of Science in Agricultural Resources and Environmental Management

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Tapana Cheunbarn

ABSTRACT

This research pertained to the study of wastewater management and bio - gas production from swine farming through the method of anaerobic dual stage treatment. The first experimental stage consisted of organic acid production with varying temperatures of 37, 50, 55 and 60°C with hydraulic retention time of 10, 17 and 24 hours. The second stage involved bio - gas production of methane with a control temperature of 37°C while hydraulic retention time of 4, 6, 8 and 10 days.

In the first stage, results showed that the highest efficiency in reducing COD to 25.96-37.61% occurred in 60°C temperature and HRT of 24 days. Meanwhile, the highest efficiency of reducing BOD to 23.81-30.61% took place in a temperature of 50°C HRT of 24 hours. The highest efficiency in reducing coliform bacteria at 82.94-97.62% occurred in a temperature of 60°C while being stored for 24 hours. In addition, the highest efficiency in producing bio – gas of 8.5-14.2 cm^3/KgVs took place in a temperature of 60°C in HRT of 24 hours.

In the second stage, results indicated that the highest efficiency in reducing COD to 58.14-65.75% occurred in 50°C temperature and a storage period of 24 hours for 8 days. Meanwhile, the highest efficiency of reducing BOD to 21.88-35.48% took place in a temperature of 60°C at 17 hours for 4 days. The highest efficiency in reducing coliform bacteria at 94.80-99.67% occurred in a temperature of 50°C while being stored for 10 hours for 10 days. In addition, the highest efficiency in producing bio - gas of 23.1-25.7 cm^3/KgVs took place in a temperature of 55°C while stored for 24 hours and a temperature of 60°C in a storage period of 17 hours.

For the entire system it was found that the most efficient reduction in COD at 70.19 - 78.63% occurred when the temperature was 60°C and stored for 24 hours in 4 days. Likewise, BOD was most efficiently reduced at 41.86-52.38% when the temperature was also 60°C but

stored for 17 hours in 4 days. Meanwhile, coliform bacteria and TVS were most efficiently reduced at 97.20-99.93% when the temperatures were 60°C and stored for 24 hours. On the other hand, the most efficient of bio - gas production at 23.1 - 25.7 cm^3/kgVS, occurred when the temperature was 60°C and stored for 17 hours.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐปน ชื่นบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาและตรวจสอบแก้ไขจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ รวมทั้ง รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี อาจารย์น้ำเพ็ชร วินิจฉัยกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ คุษฎี กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาในงานวิจัยและตรวจสอบแก้ไขจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ สำนักงานนโยบายพลังงานแห่งชาติ ที่กรุณาให้เงินทุนสนับสนุนเพื่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ว่าที่ร้อยตรีอัมรินทร์ พูลชมภู ที่ให้ความกรุณาประสานงานและติดต่อสำนักงานนโยบายพลังงานแห่งชาติ ในการรับเงินทุนสนับสนุนเพื่อการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย แม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีในห้องปฏิบัติการ และ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องวิเคราะห์คุณภาพก๊าซชีวภาพ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่สำเร็จสมบูรณ์หากปราศจากความช่วยเหลือ และคำแนะนำ จากทุกท่านที่กล่าวมา ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ฐิตวุฒิ สุทธิปาริชาติ

พฤษภาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(4)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(8)
สารบัญ	(9)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 น้ำเสียมูลสุกร	3
2.2 ปริมาณมูลสุกร	3
2.3 ชีวเคมีและจุลชีวิทยาของกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน	4
2.4 กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระสองขั้นตอน	9
2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน	11
2.6 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ	16
2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	18
2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	34
4.1 ผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการสร้างก๊าซชีวภาพจาก ถังปฏิกิริยาสร้างกรด	34
4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการสร้างก๊าซชีวภาพจาก ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ	47
4.3 ผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการสร้างก๊าซชีวภาพทั้งระบบ	67

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 87
บรรณานุกรม 90
ภาคผนวก 94
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง 95
ภาคผนวก ข ประวัติผู้วิจัย 108

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ลักษณะสมบัติของของเสียจากสุกรที่ยังไหม่ (ไม่ผ่านการบำบัด)	3
2	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวัน	4
3	สภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตต่ำสุดที่จะรักษาระดับพีเอช ของระบบให้เป็นกลาง	14
4	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกตกผลึกกับซัลไฟด์รูปต่าง ๆ	16
5	ค่า Yield ของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ	17
6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวกับระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเครื่องดื่ม	19
7	แผนระยะเวลาการทดลองในขั้นตอนที่ 1	28
8	แผนระยะเวลาการทดลองในขั้นตอนที่ 2	29
9	แผนระยะเวลาการทดลองที่เป็นชุดควบคุม	31
10	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในการทดลองก่อนเข้าถังสร้างกรด	34
11	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง	35
12	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง	36
13	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในจากถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง	37
14	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง	38
15	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง	39
16	ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง	40

ตาราง หน้า

17 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 42
18 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 43
19 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 44
20 ปริมาณก๊าซชีวภาพ จากการทดลองที่สภาวะในช่วงระยะเวลาต่างๆ จากถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ลิตร/วัน) 46
21 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในการทดลองก่อนเข้าถังสร้างก๊าซชีวภาพ 47
22 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 48
23 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 50
24 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 52
25 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 54
26 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 56
27 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 58
28 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 60
29 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 62

ตาราง หน้า

30 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 64
31 ปริมาณก๊าซชีวภาพ จากการทดลองที่สภาวะในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ จากถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ลิตร/วัน) 66
32 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในการทดลองทั้งระบบ 67
33 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง 68
34 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง 70
35 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง 72
36 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง 74
37 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง 76
38 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง 78
39 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง 80
40 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง 82
41 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง 84
42 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งระบบ จากการทดลองที่สภาวะในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ (ลิตร/วัน) 86

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน 5
2 แบคทีเรีย กลุ่ม Desulfovibrio ทำหน้าที่คล้ายกับ Acetogenic Bacteria 7
3 การทำงานของแบคทีเรีย กลุ่ม Desulfovibrio เมื่อมีซัลเฟต 8
4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ อุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักก๊าซ 17
5 เครื่องสูบน้ำเสีย ยี่ห้อ ONNO model N.31 23
6 ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 24
7 ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ 24
8 ชุดวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ 25
9 ระบบการทดลองการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน 25
10 แผนผังการทดลอง 26
11 ของเสียในลักษณะที่เป็นของแข็ง 27
12 ของเสียในลักษณะที่เป็นของเหลว 27
13 น้ำเสียที่ทำการทดลอง 27
14 แผนผังจุดเก็บน้ำเสียระบบการทดลองการบำบัดน้ำเสีย
แบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน 32
15 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 35
16 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 36
17 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 37
18 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 39
19 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 40
20 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 41

ภาพ หน้า

21 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 43
22 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 44
23 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 45
24 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 49
25 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 51
26 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 53
27 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 55
28 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 57
29 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 59
30 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง 61
31 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง 63
32 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง 65
33 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง 69
34 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง 71
35 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง 73

ภาพ หน้า

36 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง 75
37 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง 77
38 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง 79
39 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง 81
40 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง 83
41 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง 85

บทที่ 1
บทนำ

ประเทศไทยมีการเลี้ยงสุกรเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะฟาร์มขนาดกลาง – ใหญ่ เมื่อมีการชะล้างทำความสะอาดฟาร์ม จะก่อให้เกิดปริมาณน้ำเสียเป็นจำนวนมาก หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะแก่แหล่งน้ำเป็นอย่างมาก ซึ่งสุกร 1 ตัว จะทำให้เกิดของเสียเท่ากับของเสียที่เกิดจากมนุษย์ 2 – 3 คน ดังนั้น ปัญหานี้ควรได้รับการแก้ไขก่อนปล่อยของเสียออกสู่ธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรมีหลายวิธีการ เช่น การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากเป็นระบบที่ทำงานง่าย ไม่ต้องใช้พลังงานมาก ใช้เครื่องมือน้อยและยังได้พลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพอีกด้วย

การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้ อาจเป็นกระบวนการบำบัดแบบขั้นตอนเดียว โดยที่กระบวนการผลิตกรดอินทรีย์และการเกิดก๊าซชีวภาพดำเนินในถังปฏิกิริยาเดียวกัน หรืออาจเป็นกระบวนการบำบัดแบบ 2 ขั้นตอน โดยกระบวนการเกิดกรดอินทรีย์และการผลิดก๊าซชีวภาพดำเนินการในถังหมักในแต่ละใบ ซึ่งช่วยให้การควบคุมปฏิกิริยาแต่ละขั้นตอนทำได้ง่ายขึ้น

ส่วนใหญ่การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะเป็นแบบขั้นตอนเดียว คือ มีการเกิดปฏิกิริยาสร้างกรดและปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพภายในถังเดียวกัน มีข้อเสียหลายอย่าง เช่น ขนาดถังปฏิกิริยามีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซชีวภาพต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยาสร้างกรดจะเกิดขึ้นเร็วและถ้าหากเกิดเร็วมากจนทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปกรดมีปริมาณมากจะส่งผลไปยับยั้งปฏิกิริยาการสร้างก๊าซชีวภาพ ส่วนปฏิกิริยาการสร้างก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นช้า

เนื่องจากข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวนี้ จึงมีการศึกษาพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็น 2 ขั้นตอน โดยแยกส่วนปฏิกิริยาการสร้างกรดและส่วนปฏิกิริยาการสร้างก๊าซชีวภาพออกจากกัน เพื่อจะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นและสามารถควบคุมได้ง่าย ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

ดังนั้นจึงมีการศึกษาพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็น 2 ขั้นตอน โดยแยกส่วนปฏิกิริยาการสร้างกรดและส่วนปฏิกิริยาการสร้างก๊าซชีวภาพออกจากกัน เพื่อจะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นและสามารถควบคุมได้ง่าย ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน สามารถนำไปใช้เป็น

พลังงานทดแทนได้ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อทำการบำบัดน้ำเสีย และ ผลิตก๊าซชีวภาพ

วัตถุประสงค์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์

1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียสุกร แบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน โดยการแปรผันของอุณหภูมิละระยะเวลาเก็บกัก

2 ศึกษาการผลิดก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในถังปฏิกิริยาสร้างกรดและถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน จากการแปรผันค่าอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกัก เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ต่อไป

2 ได้ทราบถึงขอบเขตของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 น้ำเสียมูลสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ มูลสุกรและเศษอาหารที่ตกค้างในคอกและส่วนที่เป็นของเหลวที่เกิดจากการล้างตัวสุกรและคอก ด้วยน้ำรวมทั้งปัสสาวะของสุกรกลายเป็นน้ำเสียและเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ลักษณะสมบัติของเสียจากสุกรแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ลักษณะสมบัติของเสียจากสุกรที่ยังใหม่ (ไม่ผ่านการบำบัด) (Hong, 1985)

ลักษณะสมบัติ	อุจจาระ	ปัสสาวะ
pH	6.50	7.30
TS (g/l)	303.38	21.29
VS (g/l)	261.94	11.04
VS/TS (%)	86.34	51.86
COD (mg / l)	209152.00	17824.00
SS (mg / l)	34640.00	2100.00
$NH_3 - N$ (mg / l)	1120.00	4768.00
T – N (g/l)	30.70	6.40
P_2O_5 (g/l)	115.80	115.80
K_2O (g/l)	23.90	23.90

2.2 ปริมาณมูลสุกร

สุกรเป็นสัตว์ที่กินอาหารมากสามารถเปลี่ยนเศษอาหารจากครัวเรือนเป็นเนื้อที่มีคุณภาพสูงได้ดี แต่มูลสุกรที่ถูกถ่ายออกมาก็มีมากเช่นเดียวกัน ของเสียจากสุกรในที่นี้รวมถึงอุจจาระและปัสสาวะด้วย สำหรับสุกรขุนระยะที่กำลังเจริญเติบโตจะถ่ายมูลเปียกวันละประมาณร้อยละ 5 – 6 ของน้ำหนักตัว ซึ่งมูลสุกรรุ่นน้ำหนักประมาณ 45 กิโลกรัม กินอาหารแห้งโดยเฉลี่ยวันละ 2.5

กิโลกรัม สุกรสามารถย่อยได้ประมาณร้อยละ 84 ดังนั้นถ้าเป็นอาหารที่มีเส้นใยสูงและจำนวนวัตถุแห้งมีน้อยมูลสุกรที่ถ่ายออกมาจะมีมากขึ้น

ปริมาณมูลสุกรที่ขับถ่ายขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อายุและการเจริญเติบโตของสุกร ระยะสืบพันธุ์ หรือการอุ้มท้อง เป็นต้น ปริมาณของเสียจากสุกรในแต่ละวันดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวัน (อโณชา, 2531)

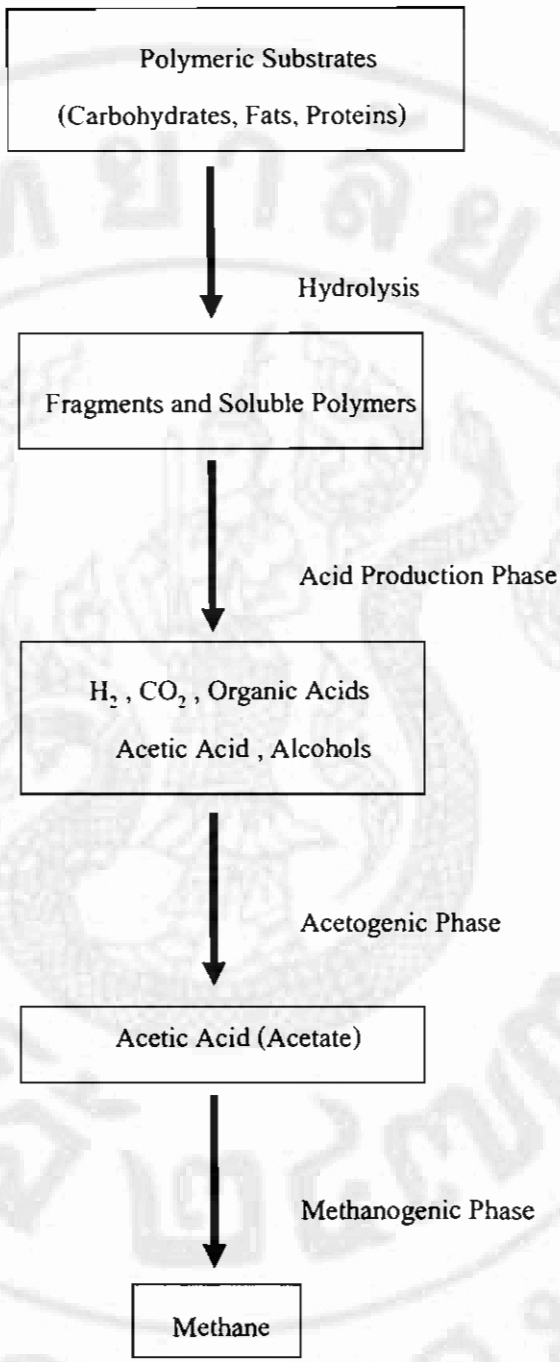
น้ำหนักสุกร (กิโลกรัม)	อุจจาระ (กิโลกรัม)	ปัสสาวะ (กิโลกรัม)	อุจจาระ + ปัสสาวะ (กิโลกรัม)	% ของน้ำหนักตัว อุจจาระ + ปัสสาวะ
40	1.02	2.60	3.62	8.5
60	1.51	2.57	4.08	6.8
90	1.90	2.55	4.45	4.9
130	2.15	2.74	4.89	3.8
เฉลี่ย (87)	1.73	2.62	4.35	5.0

2.3 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิดในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีออกซิเจน สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวรับอิเล็คตรอน ซึ่งผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายจะได้เป็นก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ แสดงในสมการ 2.1 (Bition, 1994)

$$\text{Organic Matter} \xrightarrow{\text{Bacteria}} CH_4 + CO_2 + H_2 + NH_3 + H_2S \qquad (2.1)$$

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจนมีปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นหลายอย่าง ซึ่งขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน

ที่มา: Mudrack and Kunst (1986)

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

สารประกอบโมเลกุลเชิงซ้อนซึ่งมีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท ลิกนิน ไลปิด และเซลลูโลส เป็นต้น ถูกย่อยสลายเป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล กลูโคส กรดไขมัน และกรีเซอรอล เป็นต้น โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) ซึ่งแบคทีเรียจะปล่อยเอ็นไซม์ออกมาเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการกำจัดสารอินทรีย์

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

สารอินทรีย์ที่เปลี่ยนเป็นโมเลกุลเดี่ยวละลายน้ำจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส จะถูกกลุ่มแบคทีเรียพวกสร้างกรดเปลี่ยนเป็นน้ำตาล กรดอะมิโน แอลกอฮอล์ ดีโตน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน กรดอะซิติกและกรดไขมันจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งกรดอะซิติกจะเป็นผลิตภัณฑ์หลักจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรทและจากกระบวนการย่อยสลายนี้มีผลทำให้ค่าความเป็นกรดด่างลดลง ถ้าค่าความเป็นกรดด่างในระบบมีน้อยกว่า 4 จะทำให้ระดับความเข้มข้นของกรดอะลิฟาติกที่มีสายของโมเลกุลสั้น ($C_2 - C_6$) ลดลงอย่างมากและระดับความเข้มข้นของกรดเลคติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดด่างมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้กรดไขมันถูกทำลายและระดับความเข้มข้นของกรดเลคติกจะลดลง

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acitogenesis)

แบคทีเรียในกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรด ที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์จำพวกกรดไขมันและแอลกอฮอล์ให้อยู่ในรูปของกรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนในขั้นตอนต่อไป แบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสภาวะที่มีไฮโดรเจนต่ำในการเปลี่ยนกรดไขมัน เนื่องจากสภาวะที่มีระดับความดันมาตรฐานของก๊าซไฮโดรเจนสูงอะซิติกจะถูกรีดิวซ์และสารอาหารจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดโพไพโอนิก กรดบิวทริกและเอลธานอล แทนที่จะเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งแบคทีเรียสร้างมีเทนจะช่วยทำให้มีก๊าซไฮโดรเจนในระบบต่ำและการย่อยสลายเป็นกรดโพไพโอนิก กรดบิวทริกและเอลธานอลแสดงในสมการ 2.2 , 2.3 และ 2.4

$$CH_3CH_2OH + CO_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2 \qquad (2.2)$$

Ethanol — Acetic Acid

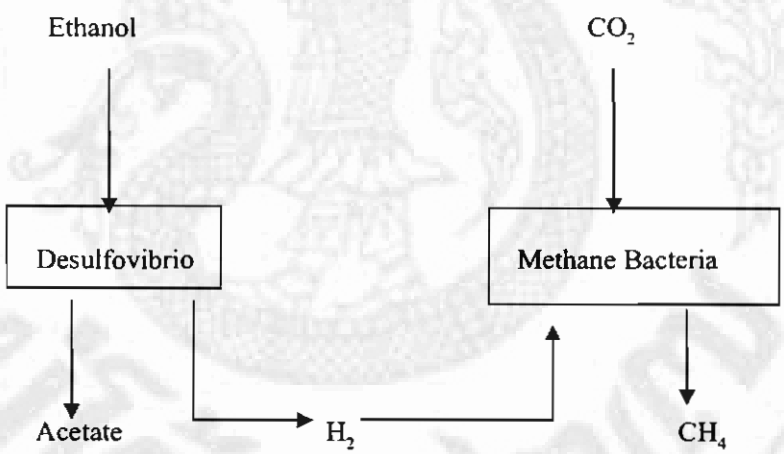
$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH \qquad (2.3)$$

Propionic Acid — Acetic Acid

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2 \qquad (2.4)$$

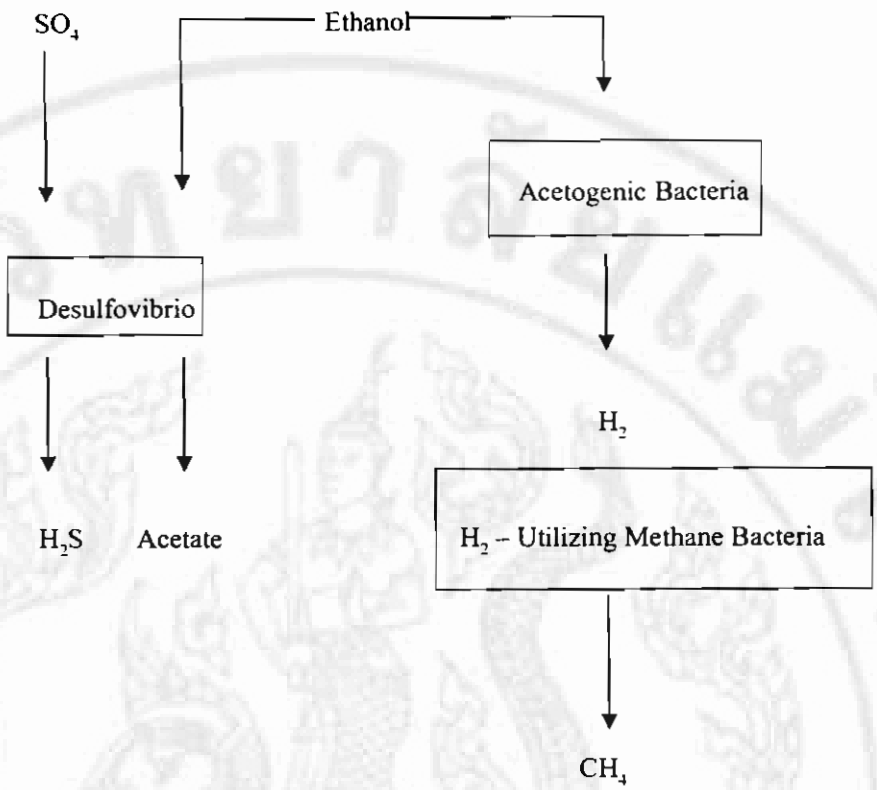
Butyric Acid — Acetic Acid

ในขณะเดียวกันแบคทีเรีย กลุ่ม Desulfovibrio ที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตจะมีการเจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีซัลเฟตซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับ Acetogenic Bacteria ที่สามารถเปลี่ยนเอลธานอลหรือกรดเลคติกเป็นกรดอะซิติกในสภาวะไร้ซัลเฟตดังในภาพ 2 และเมื่อมีซัลเฟตแบคทีเรียกลุ่มนี้จะรีดิวซ์ซัลเฟตไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และระดับของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเริ่มมีผลในการสร้างก๊าซมีเทนที่ระดับความเข้มข้น 23 มิลลิกรัมต่อลิตรดังในภาพ 3 และจากรายงานแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระไม่สามารถทนต่อซัลไฟด์ที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้น 50 – 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าความเข้มข้นมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย



ภาพ 2 แบคทีเรีย กลุ่ม Desulfovibrio ทำหน้าที่คล้ายกับ Acetogenic Bacteria

ที่มา: Mudrack and Kunst (1986)



ภาพ 3 การทำงานของแบคทีเรีย กลุ่ม Desulfovibrio เมื่อมีซัลเฟต

ที่มา: Mudrack and Kunst (1986)

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการเมทาโนเจเนซิส (Methanogenesis)

ขั้นตอนการสร้างมีเทนโดยแบคทีเรียในกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) เช่น *Methanosarcina barkeri* เป็นต้น การสร้างก๊าซมีเทนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Hydrogenotropic Methanogens ซึ่งการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทนดังแสดงในสมการ 2.5 และ Acetotrophic Methanogens โดยแบคทีเรียที่เรียกว่า Acetoclastic Bacteria หรือ Acetate – Splitting Bacteria เปลี่ยนอะซิติกเป็นก๊าซมีเทนแสดงในสมการ 2.6 และ Acetoclastic Bacteria มีการเจริญเติบโตช้ากว่า Acid – Forming Bacteria โดยทั่วไปก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นประมาณร้อยละ 70 ของมีเทนที่เกิดขึ้นในการย่อยสลาย เกิดขึ้นจากกรดอะซิตริก (Polprascrt, 1989)

$$CO_2 + 4H_2 \xrightarrow{\text{Bacteria}} CH_4 + 2\,H_2O \qquad (2.5)$$

$$CH_3COOH \xrightarrow{\text{Bacteria}} CH_4 + CO_2 \qquad (2.6)$$

2.4 กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระสองขั้นตอน

การแยกถังหมักออกเป็น 2 ขั้นตอน นั้นเนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าแตกต่างกันและต้องการสภาวะแวดล้อมในการทำงานที่ต่างกัน การใช้ระบบการหมักที่ให้จุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด อยู่ในถังเดียวกันหรือที่เรียกว่าการหมักแบบขั้นตอนเดียวนั้น ทำให้การควบคุมระบบค่อนข้างทำได้ยาก ถ้าเกิดความไม่สมดุลของปริมาณจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม ก็จะทำให้ระบบล้มเหลวได้ เช่น จุลินทรีย์ในกลุ่มผลิตกรด ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตและแบ่งตัวได้อย่างรวดเร็ว จะใช้สารอาหารมากจึงสร้างกรดอินทรีย์ได้ในปริมาณที่มากและสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพและไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในที่สุด ขณะที่จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดยังเจริญเติบโตและทนต่อสภาวะที่เป็นกรดได้ดีกว่า ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและเพื่อให้สามารถควบคุมระบบได้ง่ายขึ้น จึงได้มีการแยกถังหมักออกเป็น 2 ถัง โดยถังหนึ่งจะเป็นถังผลิตกรดและอีกถังหนึ่งเป็นถังผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดจากถังหมักในใบแรกเป็นสารอาหาร ทำให้สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำงานในแต่ละขั้นตอนได้ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น

2.4.1 ขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์

ในขั้นตอนแรกจุลินทรีย์ในกลุ่ม Non – Methanogenic Bacteria จะย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรท โปรตีนและไขมัน เป็นต้น ให้เป็นโมเลกุลมีขนาดเล็กลงและละลายน้ำได้ ซึ่งคาร์โบไฮเดรทจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาล โปรตีนได้กรดอะมิโนและไขมัน สารเหล่านี้จะถูกนำไปสร้างกรดอินทรีย์ต่อไป กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีอยู่หลายตัวแต่ที่สำคัญต่อการผลิตก๊าซชีวภาพได้แก่ กรดอะซิติก นอกจากนี้ยังมีสารอื่น ๆ อีก เช่น กลีเซอรอล อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน Gomaz and Goma (1986) พบว่าปริมาณตั้งต้นของจุลินทรีย์มีผลต่อสัดส่วนของกรดอินทรีย์ที่ผลิตได้ โดยกรดแลกติกจะถูกสร้างก่อนหลังจากนั้นจึงมีการสร้างกรดอะซิติกและบิวทริค รวมทั้งเอทธานอลด้วยจำนวนหนึ่ง แต่เมื่อใช้ปริมาณตั้งต้นของจุลินทรีย์สูงพบว่า กรดอะซิติคสามารถถูกสร้างได้ในอันดับแรกตามด้วยการสร้างกรดบิวทริคและไม่พบกรดแลคติคเลย นอกจากปริมาณจุลินทรีย์แล้วพบว่าอุณหภูมิและความเป็นกรดด่างก็มีผลต่อการผลิตกรดอินทรีย์เช่นกัน

2.4.2 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปฏิกิริยาการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methanogenic Bacteria ซึ่งจะใช้กรดอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Non – Methanogenic Bacteria เป็นสารตั้งต้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารตั้งต้นที่สำคัญที่สุด คือ กรดอะซิติก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อดีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนสองขั้นตอน ได้แก่

1) ระบบบำบัดสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ลัดดา (2532) โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน มีเสถียรภาพดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียว โดยสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 0.9 กก.ซีโอดี/(ม^3.วัน) และมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีร้อยละ 96 ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้เพียง 0.6 กก.ซีโอดี/(ม^3.วัน)

2) ประสิทธิภาพในการผลิตกรดและผลิตก๊าซชีวภาพมีค่ามากขึ้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในแต่ละถังเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม จึงทำให้กิจกรรมและปริมาณของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ธาดา (2531) ได้วิจัยเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีประมาณ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน เปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนขั้นตอนเดียว โดยทั้ง ถังปฏิกิริยาสร้างกรดและถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพใช้เป็นการกวนสมบูรณ์ และ มีการสูบตะกอนย้อนกลับร้อยละ 100 จากผลการทดลองพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างก๊าซชีวภาพจะมีสภาวะที่เหมาะสมที่เวลา 1 และ 5 วัน ตามลำดับและสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์รวมได้ 3.63 กก.ซีโอดี/(ม^3.วัน) โดยประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีที่คิดจากน้ำทิ้งส่วนใส (Centrifuged Effluent COD) ร้อยละ 97.1 โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงถึง 1.325 ม^3/ม^3 .วัน และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ 0.199 ม^3/กก.ซีโอดี สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวมีสภาวะที่เหมาะสมที่เวลากำจัดสูงถึง 13 วัน คิดเป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.64 กก.ซีโอดี/(ม^3.วัน) นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพสูงถึงร้อยละ 61.7

ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังปฏิกิริยาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนขั้นตอนเดียว มีค่าสูงสุดเพียงร้อยละ 46.8

3) การเริ่มต้นระบบทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น นอกจากนี้ระบบบำบัดยังมีเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากได้มีการแยกจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มออกจากกันอย่างเด่นชัดในถังหมักแต่ละใบ

4) มีระยะเวลาเก็บกักต่ำ Vinas (1993) ได้ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกระดาษ ซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีประมาณ 8,600 มก./ล. โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ใช้ถังปฏิกิริยาสร้างกรดเป็นแบบไหลกรองขึ้นและถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพเป็น UASB เปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียว พบว่าที่เวลากักเก็บรวม 21 ชั่วโมง (เวลากักเก็บของถังปฏิกิริยาสร้างกรด 5 ชั่วโมง) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน จะรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ประมาณ 11 กก.ซีโอดี/(ม^3.วัน) มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีร้อยละ 90 นอกจากนี้ยังพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน มีข้อดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวหลายประการคือ มีระยะเวลาในการเริ่มต้นสั้นกว่า มีเสถียรภาพดีกว่าและยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี สูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวประมาณร้อยละ 20

2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน

2.5.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนค่าความเป็นกรดด่างเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด - ด่างของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะอยู่ในช่วง 6.6 - 7.6 แต่ในช่วงที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงตั้งแต่ 7 - 7.2 Polprasert (1989) แม้ว่าจุลินทรีย์สร้างกรดสามารถทนต่อค่าความเป็นกรด - ด่างที่ต่ำกว่า 5.5 ได้แต่จุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนจะถูกยับยั้งเมื่อค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำกว่า 5.5 ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงค่าความเป็นกรด - ด่างที่ลดลงต่ำกว่า 6.6 เกิดจากการสะสมของกรดระเหยง่าย

ค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายและค่าความเป็นด่างในระบบ ดังนั้น การควบคุมความเป็นกรด - ด่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระทำได้โดยควบคุมปริมาณของกรดระเหยง่ายและสภาพความเป็นด่าง โดยปกติปริมาณของกรดระเหยง่ายควรมีค่าประมาณ 50 – 500 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิตริค หากปริมาณของกรดระเหยง่ายมีมากกว่า 2,000 มก./ล. จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ส่วนสภาพความเป็นด่างของระบบควรมีค่าประมาณ 1,500 – 2,000 มก./ล. ในรูปของ $CaCO_3$

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดระเหยง่ายและสภาพความเป็นด่าง แล้วยังขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วย

2.5.2 กรดระเหยง่าย

กรดระเหยง่ายเป็นผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการไฮโดรไลซีสและขั้นตอนของการย่อยสลายสารประกอบคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำเสีย โดยแบคทีเรียสร้างกรด กรดระเหยง่ายในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีคาร์บอนอะตอมต่ำ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิค กรดบิวทิริค

Mueller and Mancini (1977) ได้ทำการศึกษาพบว่า ประมาณร้อยละ 98 ของกรดระเหยง่ายจะเป็น กรดอะซิตริค กรดโพรไพโอนิคและกรดบิวทิริค จากการทดลองเพิ่มภาระบรรทุกของกรดระเหยง่ายจาก 3.95 เป็น 10.68 กก./ม^3.วัน สำหรับถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้ส่วนประกอบของกรดระเหยง่ายในระบบเปลี่ยนแปลง โดยกรดอะซิตริค จะลดลงจากร้อยละ 68.9 เป็นร้อยละ 47.3 กรดโพรไพโอนิคเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 23 เป็นร้อยละ 32.5 และกรดบิวทิริคเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.5 เป็นร้อยละ 19.7

ปริมาณของกรดระเหยง่ายในระบบเป็นปัจจัยที่สำคัญอันจะบอกถึงสภาวะการทำงานของระบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่ปริมาณของกรดระเหยง่ายมีความสำคัญน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกรดระเหยง่ายเพราะในขณะที่อัตราการผลิต และอัตราการใช้กรดระเหยง่ายสมดุลย์กัน ระบบก็มีเสถียรภาพต่อเมื่ออัตราการผลิตกรดระเหยง่ายเพิ่มมากขึ้นจนไม่สมดุลย์กับอัตราการใช้กรดระเหยง่าย จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายจึงส่งผลให้กำลังบัฟเฟอร์ลดลง ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ก็จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน ปกติแล้วระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรจะมีปริมาณกรดระเหยง่ายประมาณ 50–500 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิตริค หากปริมาณของกรดระเหยง่ายมีมากกว่า 2,000 มก./ล. จะทำให้ยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนทำให้ ประสิทธิภาพของระบบลดลง ถ้าระบบมีปริมาณกรดระเหยง่าย 8,000 – 10,000 มก./ล. ในรูปของ กรดอะซิตริค จะเป็นพิษต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยตรง

2.5.3 ความเป็นด่างและอัตราส่วนของกรดโวลาไทล์ต่อสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต

สภาพความเป็นด่างมีความสำคัญต่อการหมักวัสดุที่มีความเป็นกรดสูงเพราะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ควบคุมความเป็นกรดด่างของระบบไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากภายหลังการเติมวัสดุหมัก โดยทั่วไปแล้วระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรมีสภาพด่างทั้งหมดประมาณ 1,000 - 5,000 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (Metcalf and Eddy, 1991)

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สภาพความเป็นด่างทั้งหมดมีค่าเท่ากับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ซึ่งมักจะพบในรูปของแอมโมเนียไบคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต ร่วมกับความเป็นด่างของกรดระเหยง่ายที่มีปริมาณไม่มากนัก เมื่อระบบทำงานอย่างปกติ

ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มักจะพบสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตในรูปของเกลือแอมโมเนีย เพราะสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติจากการย่อยสลายโปรตีน จะให้ก๊าซแอมโมเนียออกมา ซึ่งก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ให้แอมโมเนียไบคาร์บอเนต ดังสมการ 2.7

$$NH_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow NH_4HCO_3 \qquad (2.7)$$

แอมโมเนียไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยควบคุมความเป็นกรดด่างจากการทำปฏิกิริยากับกรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้น ดังสมการ 2.8 และสมการ 2.9

$$NH_4HCO_3 + COOH \longrightarrow CH_3COONH_4 + H_2CO_3 \qquad (2.8)$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow CO_2 + H_2O \qquad (2.9)$$

จากสมการเคมีจะเห็นได้ว่า กรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นมากมีผลทำให้สภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตลดลง แต่เมื่อคิดในเทอมของสภาพความเป็นด่างทั้งหมดจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเหตุผลชี้ให้เห็นว่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดเป็นปัจจัยที่สำคัญน้อยกว่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนต

ในระบบได้ความเป็นด่างไบคาร์บอเนตมาจากปฏิกิริยาเคมี เมื่อมีการเติมสารอาหารเสริมหรือการเติมสารเคมีเพื่อปรับความเป็นกรดด่างให้สูงขึ้น เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ปฏิกิริยาเคมีในการสร้างสารประกอบไบคาร์บอเนต ดังสมการ 2.10 , 2.11 และ 2.12

$$NaOH + CO_2 \longrightarrow NaHCO_3 \qquad (2.10)$$

$$Na_2CO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow 2NaHCO_3 \qquad (2.11)$$

$$Ca(OH)_2 + 2CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2 \qquad (2.12)$$

ในการควบคุมถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้มีความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ระดับความเป็นด่างไบคาร์บอเนตขึ้นอยู่กับแปอร์เซ็นคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพและมีค่าไม่น้อย

กว่าค่าในตาราง 3 โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าระดับความเป็นด่างไบคาร์บอเนตควรมีค่าไม่น้อยกว่า 2,000 mg / L. as $CaCO_3$

ตาราง 3 สภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตต่ำสุดที่จะรักษาระดับความเป็นกรดต่างของระบบให้เป็นกลาง (Mueller and Mancini, 1977)

ร้อยละคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ	สภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (mg / L. as $CaCO_3$)
25	1875
30	2250
35	2625
40	3000
45	3375
50	3750

สำหรับเกลือไบคาร์บอเนตของแอมโมเนียปกติแล้ว จะพบในระบบที่มีความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 7.2 เพราะแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะไปจับคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าความเป็นกรด - ด่างมากกว่า 7.2 จะพบอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระซึ่งจะเป็นพิษมากกว่า ถ้าแอมโมเนียอิสระมีความเข้มข้นมากกว่า 150 มก./ล จึงจะมีพิษเท่ากับแอมโมเนีย เชื่อกันว่าแอมโมเนียจะเป็นพิษโดยตรงต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน เพราะรายงานการวิจัยพบว่าพิษของแอมโมเนียจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับมีการสะสมตัวของกรดระเหยง่าย

สภาพความเป็นด่างอีกรูปหนึ่งซึ่งเป็นเกลือของกรดอินทรีย์ เกิดจากประจุบวกของสารประกอบไบคาร์บอเนตเข้าไปไล่ที่ไฮโดรเจนในกรดอินทรีย์ พบว่าสภาพความเป็นด่างของกรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นมีผลทำให้สภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตลดลง ในขณะที่สภาพความเป็นด่างทั้งหมดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ฉะนั้นการใช้สภาพความเป็นด่างทั้งหมดเป็นปัจจัยควบคุมการทำงานของระบบ ต้องพิจารณาควบคู่ไปกับปริมาณของกรดระเหยง่าย ดังความสัมพันธ์จากสมการ 2.13

$$HCO^-_3 \text{ (Bicarbonate Alkalinity)} = \text{Total Alkalinity - Volatile Acid Alkalinity} \qquad (2.13)$$

สำหรับอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (VFA / HCO_3^-) จะเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่จะชี้ให้เห็นถึงเสถียรภาพของระบบว่ามั่นคงแค่ไหน ตราบใดที่อัตราส่วน VFA / HCO_3^- น้อยกว่า 0.4 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจัดว่ามีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนมากกว่า 0.8 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ความเป็นกรด - ด่างจะสามารถลดลงได้อย่างรวดเร็วถ้ามีกรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในระบบเพียงเล็กน้อย

ก๊าซแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออน ค่าความเป็นกรด - ด่างสามารถเป็นตัวชี้ระดับความเป็นพิษได้ เพราะว่าค่าความเป็นกรดด่างมีผลต่อสมดุลระหว่างแอมโมเนียสองรูปนี้ ดังนั้นถ้าระบบมีค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำสมดุลจะทำให้เกิดแอมโมเนียไอออนสูงขึ้นและจะเริ่มต้นยับยั้งการทำงานของระบบที่ความเข้มข้น 3,000 มก./ล ที่ความเป็นกรดด่างมีค่าสูงสมดุลก็จะทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียจะสามารถยับยั้งการทำงานของระบบได้แต่แอมโมเนียไนโตรเจนก็เป็นสารอาหารให้กับจุลินทรีย์อย่างหนึ่งเช่นกัน ความเป็นพิษของสาร ต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่มีอยู่ในระบบ (Polprasert, 1989)

2.5.4 สารอาหาร

สารอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดอะมิโนที่มีส่วนช่วยการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย นอกจากนี้แร่ธาตุอื่นที่มีความสำคัญต่อระบบได้แก่ เหล็ก นิเกิล แมกนีเซียม โซเดียม แบเรียม ทังสเตน โมลิปเดรท ซีลีเนียมและโคบอล โดยเฉพาะ นิกเกิล ซีลีเนียม ทังสเตน ที่เป็นส่วนประกอบแอมไซม์ของแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน

2.5.5 สารพิษ

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารพิษมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย การผลิตก๊าซชีวภาพ การเพิ่มขึ้นของกรดระเหยง่ายในระบบ รวมทั้งเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ โดยสารพิษที่มีผลต่อระบบมีดังต่อไปนี้

- เกลือของสารอินทรีย์ (Inorganic Salts) ได้แก่ โซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เกลือของสารอินทรีย์เหล่านี้จะแตกตัวให้อิออนประจุบวก (Cations) ที่เป็นพิษมากกว่าอิออนประจุลบ (Anion) โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของอิออนประจุบวกด้วยว่าปริมาณมากน้อยเพียงใด

- โลหะหนัก (Heavy Metals) โลหะหนักชนิดใดที่ละลายน้ำได้ดี จะมีพิษต่อระบบมากกว่าโลหะหนักชนิดที่ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายในน้ำ โลหะหนักพวก ทองแดง สังกะสี นิกเกิล จะมีพิษต่อแบคทีเรียค่อนข้างมากแม้จะมีปริมาณน้อยก็ตาม ซึ่งความเป็นพิษของโลหะหนักนี้สามารถควบคุมได้โดยอาศัยสารซัลไฟด์ที่มีอยู่แล้วในระบบ ด้วยการใช้วิธีตกตะกอนผลึกในรูป

ของโลหะซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้ได้ทั้งกำจัดซัลไฟด์และโลหะหนักพร้อม ๆ กัน ตาราง 4 แสดงปริมาณโลหะหนักที่ถูกตกตะกอนผลึกกับซัลไฟด์รูปต่าง ๆ

ตาราง 4 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกตกผลึกกับซัลไฟด์รูปต่าง ๆ (เกรียงศักดิ์, 2543)

เกลือซัลไฟด์รูปต่าง ๆ	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกตกตะกอนผลึกกับซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ซัลไฟด์ (S), 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.8 – 2.0
โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S), 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.75 -0.84
โซเดียมซัลไฟด์ ($Na_2S.9H_2O$), 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.24 -0.27

2.5.6 อุณหภูมิ

ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด 2 ช่วง คือ ช่วง Mesophilic มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 30 – 38 ^{0}C เรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Mesophilic Bacteria และช่วง Thermophilic มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 48 – 57 ^{0}C เรียก แบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Thermophilic Bacteria ซึ่งช่วงอุณหภูมินี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าช่วง Mesophilic ประมาณร้อยละ 25 – 50 (Malina and Pohland, 1992)

2.6 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ

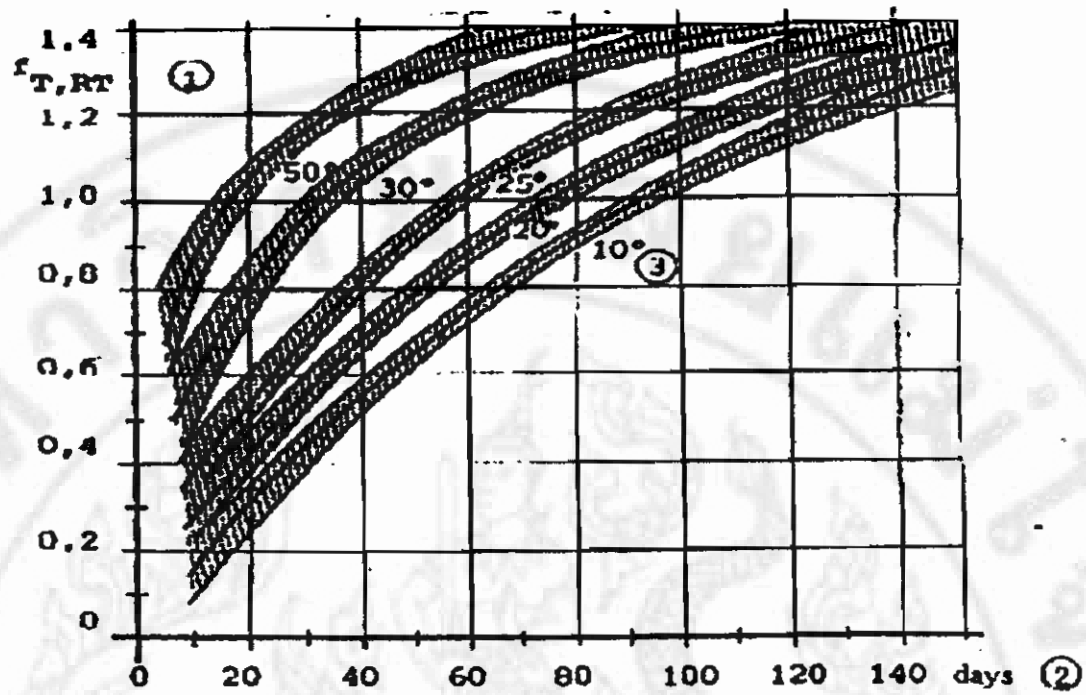
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน (G) สูงสุด จะขึ้นกับปริมาณสารที่เป็นตัวการในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน (VS) และอัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ (Specific Gy) จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการเกิดก๊าซ (Gy) และค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$) ดังสมการ 2.14 , 2.15 และ 2.16

$$G = (Kg\ VS \times Specific\ Gy) / 1000 \quad (2.14)$$

$$Specific\ Gy = Gy \times f_{T,RT} \quad (2.15)$$

$$VS\ input = total\ dung\ per\ day \times (\%\ VS\ in\ dung) \quad (2.16)$$

หมายเหตุ: total dung per day = ค่าสัมประสิทธิ์ของมูลสัตว์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ



ภาพ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการหมักก๊าซ

ที่มา: (Werner, et al. 1989)

หมายเหตุ: โดยที่ 1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ , 2 คือ ระยะเวลาในการหมักก๊าซ

3 คือ อุณหภูมิในการหมักก๊าซ

ตาราง 5 ค่า Yield ของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ (Werner, et al. 1989)

Species	Max.gas – Yield (l / kg VS)	Daily Dung Yield (% of Liveweight)	Fresh Manure Yield (% VS in Dung)
Cow Manure	350	5	13
Swine Manure	550	2	12
Sheep Manure	310	3	20

2.6.1 การคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน = Kw x ชั่วโมงการทำงานต่อวัน

2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2.7.1 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (วารุณี, 2540)

เป็นการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนอีกวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการตัดสินใจว่าสมควรลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรหรือไม่ โดยดูจากอัตราผลตอบแทนในการ ลงทุนถ้าหากมีค่ามากกว่าอัตราที่ยอมรับได้ก็สมควรลงทุน ดังนั้น การวิเคราะห์จะแยกเป็น 2 กรณี คือ คิดต่อเงินลงทุนทั้งหมด (IRR) และคิดต่อเงินที่เจ้าของฟาร์มลงทุนเองเท่านั้น (ROE)

2.7.1.1 กรณีคิดต่อเงินลงทุนทั้งหมด (IRR)

หมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุน ดังสมการ 2.17

$$\sum_{n=1}^{N} \frac{(NCF_n)}{(1+I)^n} = TIC \qquad (2.17)$$

โดย I = อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR, %)

2.7.1.2 กรณีคิดต่อเงินที่เจ้าของฟาร์มลงทุนเองเท่านั้น (ROE)

หมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุนเฉพาะที่เจ้าของฟาร์มลงทุนเองเท่านั้น ดังสมการ 2.18

$$\sum_{n=1}^{N} \frac{(NCF_n)}{(1+I)^n} = TIC - \frac{(\text{ขนาดบ่อหมักก๊าซ} \times 1{,}128{,}000)}{1{,}000} \qquad (2.18)$$

โดย I = อัตราผลตอบแทนการลงทุน (ROE, %)

2.7.2 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

คือ ระยะเวลาที่รายได้รวมจากการลงทุนเท่ากับเงินที่ได้ลงทุนไป เป็นวิธีที่ใช้คำนวณจำนวนปีที่คุ้มทุน (Break Even) ว่าฟาร์มที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วมากเท่าใดก็ยิ่งสมควรลงทุนติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพมากเท่านั้น ดังสมการ 2.19 , 2.20 , 2.21 , 2.22 และ 2.23

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (TIC)}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี (NCF)}} \quad (2.19)$$

$$\text{NCF} = \text{กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี} - \text{กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี} \quad (2.20)$$

โดยที่ เงินลงทุนทั้งหมด = ราคาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ + ระบบผลิตไฟฟ้า (2.21)

รายรับต่อปี = ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ + ปุ๋ยอินทรีย์ที่ขายได้ (2.22)

รายจ่ายต่อปี = ค่าบำรุงรักษา + ค่าดำเนินการ (2.23)

สำหรับรายรับและรายจ่ายต่อปีจะใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้คือ ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 2.50 บาท/กิโลวัตต์ ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลสุกร) ที่ขายได้เท่ากับ 1 บาท/กิโลกรัม ค่าบำรุงรักษาในส่วนระบบผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับค่าเปลี่ยนพลาสติกคลุมบ่อหมักก๊าซในราคา 99,000 บาทต่อบ่อหมักก๊าซขนาด 1,000 ลูกบาศก์เมตร ค่าบำรุงรักษาในส่วนระบบผลิตไฟฟ้าเท่ากับค่าเปลี่ยนน้ำมันเครื่องในอัตรา 320 บาทต่อ 100 ชั่วโมงทำงานและ ค่าดำเนินการเท่ากับ 72,000 บาทต่อปี

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน

สมยศ (2536) ทำการศึกษาเรื่องการกำจัดมูลฝอยจากตลาดสดโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายและหาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ระยะเวลาเก็บกักในถังสร้างก๊าซชีวภาพเท่ากับ 10.2, 15.1 และ 19.7 วัน โดยมีอัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์เท่ากับ 0.55, 0.43 และ 0.31 kg.COD/m^3/day และมีระยะเวลาเก็บกักในถังสร้างกรดเท่ากับ 0.89 วัน จากการทดลองพบว่า การกำจัดมูลฝอยจากตลาดสดในรูปซีโอดีทั้งหมดจะเกิดสูงสุดในถังสร้างก๊าซชีวภาพ โดยมีค่าการกำจัดร้อยละ 82.49–89.32 และที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 10.2 วัน จะมีอัตราการผลิตชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 20.7 ลิตร/วัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซีโอดี ทั้งหมดที่เติมเท่ากับ 0.28 ลิตร/วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 61.2-63.4 และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 24.0–26.7

Alexion, et al. (1994) ได้รายงานสรุปผลของสภาวะที่ใช้ควบคุมถังปฏิกิริยาสร้างกรดซึ่งใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกาแฟ มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ประมาณ 10,000 มก./ล.

- ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง Mesophilic ที่ถังปฏิกิริยาสร้างกรดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด คือ 37 ^{o}C ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6
- ค่าเวลาที่กักเก็บที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกิริยาสร้างกรด คือ 6 ชั่วโมง ซึ่งสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดระเหยง่ายได้ร้อยละ 40
- ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าควรจะเป็นกลาง ขณะที่อุณหภูมิควรจะอยู่ในช่วง 25 – 30 ^{o}C ค่าปัจจัยเหล่านี้จะมีผลทำให้ค่าเวลากักเก็บของถังปฏิกิริยาสร้างกรดสั้น

Cheng and Tatsuya (1991) ได้ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ พบว่า ความเข้มข้นของกรดโพรไพโอนิคในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวจะสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอนประมาณร้อยละ 30 – 50 ในขณะที่ความเข้มข้นของกรดอะซิติคและบิวทิริคจะใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ในการทดลองยังทำการหาจำนวนแบคทีเรียพบว่า

- จำนวนแบคทีเรียสร้างกรดทั้งสองระบบมีจำนวนใกล้เคียงกัน (10^{8}–10^{10} MPN / มล.)
- จำนวนแบคทีเรียสร้างไฮโดรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน จะน้อยกว่าในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวประมาณ 10 – 100 เท่า โดยจำนวนแบคทีเรียสร้างไฮโดรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน มีจำนวนใกล้เคียงกับแบคทีเรียสร้างกรด
- จำนวนแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน มีมากกว่าในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนขั้นตอนเดียวประมาณ 2 – 10 เท่า

Cheunbarn and Pagilla (2000) ได้ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดย Lab – Scale แบบ 2 ขั้นตอน คือ Anaerobic Thermophilic / Mesophilic ที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน มีการลดของค่า VS > ร้อยละ 38 ค่าเฉลี่ยของ VS ที่ลดลงโดยระบบ AnT AnM = ร้อยละ 61 และ AnM AnT = ร้อยละ 63 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมร้อยละ 50 , TS เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมประมาณ 10^{6} MPN/g TS ค่าเฉลี่ยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้โดยระบบ AnT AnM = 0.66 $\pm$ 0.10 m^{3}/KgVS และ AnM AnT = 0.51 $\pm$ 0.10 m^{3}/KgVS

Cohen, et al. (1980) รายงานว่า ค่า Maximum Specific Sludge Loading ของขั้นตอนการสร้างก๊าซชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน จะมากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนธรรมดาถึง 3 เท่า

Nobunhiro and Mitsuo (1991) ได้ทำการทดลองย่อยสลายตะกอนส่วนเกินความเข้มข้นประมาณ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ในการทดลองประกอบด้วยการปรับสภาพตะกอน การใช้ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C การใช้ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพเป็น Fixed Bed Reacter ได้ผลการทดลองดังนี้

- การปรับสภาพตะกอนส่วนเกินโดยให้ความร้อนที่ 90 ^{0}C แล้วเติม Hydrolyzed Protein Enzyme เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้อัตราการลดของของแข็งระเหยง่ายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 49 เป็น ร้อยละ 58
- การใช้ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C จะทำให้อัตราการลดของของแข็งระเหยง่ายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 58
- การใช้ถังปฏิกิริยาแบบ Fixed Bed เป็นถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพจะทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นก๊าซชีวภาพมากขึ้นในระยะเวลากักเก็บต่ำ (5 วัน)
- เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการย่อยสลายที่อุณหภูมิปกติโดยทั่วไป พบว่าเวลาที่กักเก็บ 20 วันเท่ากัน ระบบที่ทำการทดลองมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 30

Shin, et al. (1991) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียของโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนสองขั้นตอน พบว่าในขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด ระบบสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้ 16.5 กก.ซีโอดี/(ม^{3}.วัน)โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย 1.8 วัน อัตราการผลิตกรดอะซิติกมีค่า 39 ก. / ล. – วัน ส่วนในขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพระบบสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้ 44 กก.ซีโอดี/(ม^{3}.วัน) โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย 1.8 วัน เช่นเดียวกัน

Wang and Banks (1999) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 วิธี วิธีแรก คือการย่อยสลายชนิดขั้นตอนเดียวในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนวิธีที่ 2 คือการย่อยสลายชนิด 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกในสภาพไม่ใช้ออกซิเจนและขั้นตอนที่ 2 เป็นการย่อยสลายต่อในสภาพมีอากาศ โดยมูลฝอยมีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 35.6 ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีปริมาตร 4 ลิตร ภายในถังติดตั้งใบพัดกวนมีการกวนตลอดเวลาความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที อัตราการเติมขยะมูลฝอยภายในถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้งสองถัง 10 กก.ของแข็งที่เผาไหม้ได้/ม^{3}-วัน ส่วนถังย่อยสลายแบบมีออกซิเจนมีปริมาตร 3 ลิตร ทำการย่อยสลายของเหลวจากขั้นตอนแรกทำการทดลองที่อุณหภูมิ 20, 25, 30 และ 35 ^{0}C พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของมลสารจะเพิ่มขึ้น โดยที่

โดยที่อุณหภูมิ 35 ^{0}C เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 20 ^{0}C ปริมาณของแข็งทั้งหมดจะถูกกำจัดได้มากกว่า ประมาณร้อยละ 10 ปริมาณก๊าซชีวภาพผลิตได้มากกว่าร้อยละ 66 ปริมาณก๊าซมีเทนได้มากกว่า ร้อยละ 15

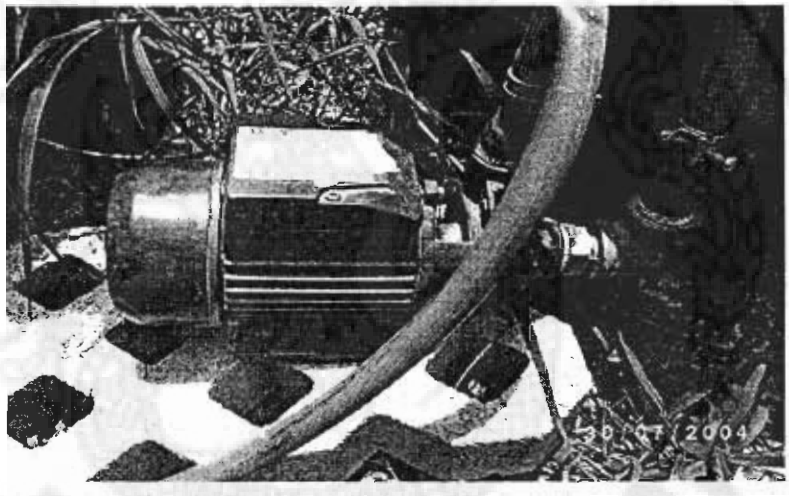
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

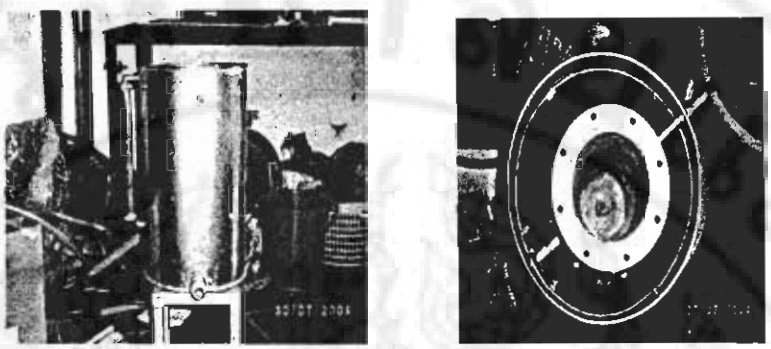
อุปกรณ์

1. ถังเก็บน้ำเสียที่เข้าระบบ ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร
2. เครื่องต้มน้ำร้อนไฟฟ้า ยี่ห้อ Ceraster No. 1228
3. เครื่องสูบน้ำเสีย ยี่ห้อ ONNO model N.31 ดังภาพ 5



ภาพ 5 เครื่องสูบน้ำเสีย ยี่ห้อ ONNO model N.31

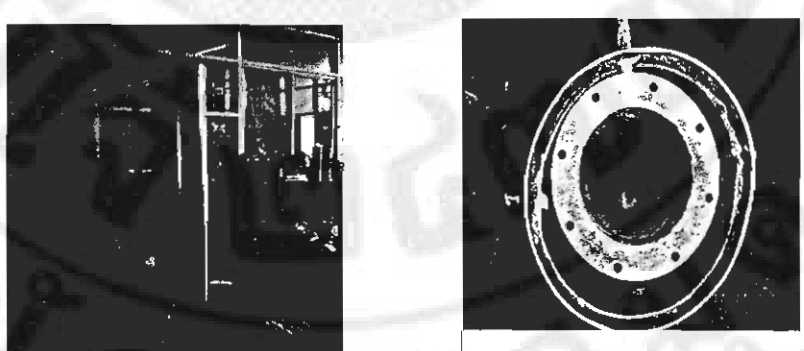
4. ถังปฏิกิริยาสร้างกรด ถังทำด้วยสแตนเลสขนาด 2 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซ็นติเมตร สูง 25 เซ็นติเมตร ควบคุมอุณหภูมิตามตาราง 7 ดังภาพ 6 การควบคุมอุณหภูมิใช้น้ำร้อนรักษาอุณหภูมิด้วยเครื่องต้มน้ำร้อนไฟฟ้า ยี่ห้อ Ceraster No. 1228



(ก) (ข)

ภาพ 6 ถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ก) ลักษณะภายนอกถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ข) ลักษณะภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด

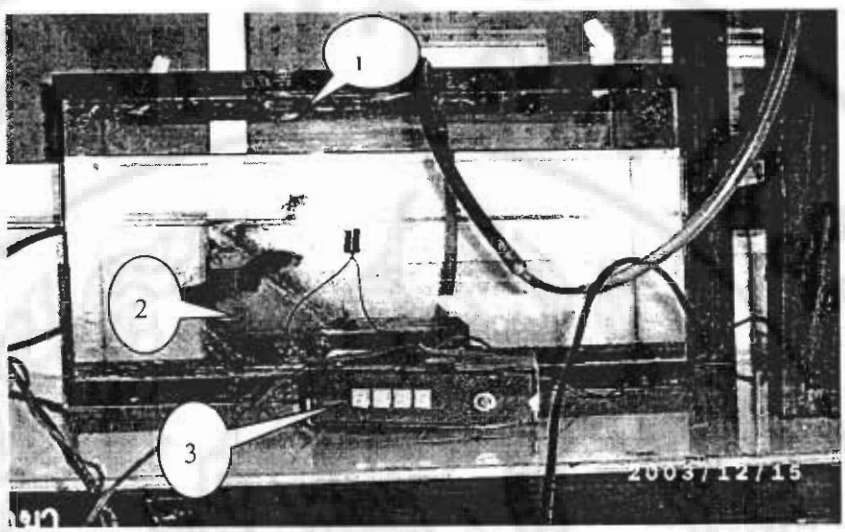
5. ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ถังทำด้วยสแตนเลสขนาด 10 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซ็นติเมตร สูง 110 เซ็นติเมตร ควบคุมอุณหภูมิตามตาราง 7 ดังภาพ 7 การควบคุมอุณหภูมิใช้น้ำร้อนรักษาอุณหภูมิด้วยเครื่องต้มน้ำร้อนไฟฟ้า ยี่ห้อ Ceraster No. 1228



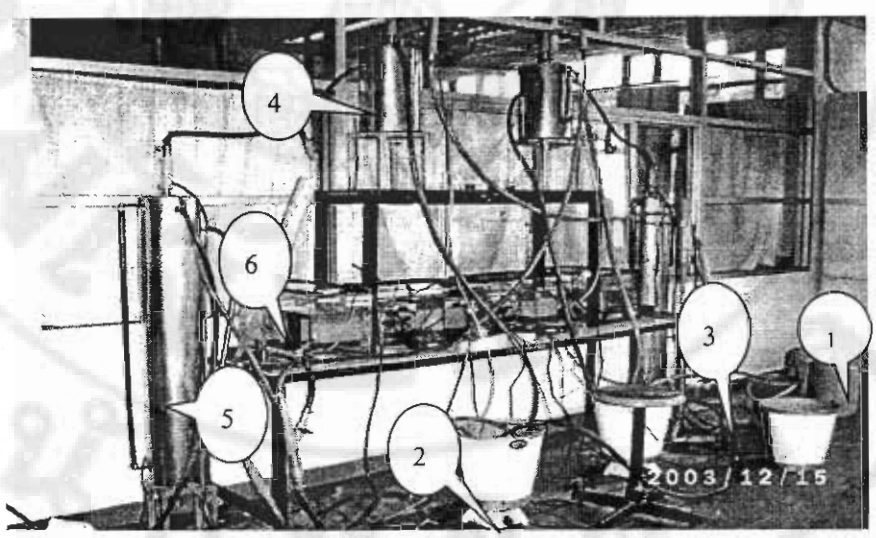
(ก) (ข)

ภาพ 7 ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ (ก)ลักษณะภายนอกถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ (ข) ลักษณะภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ

6. ชุดวัดปริมาณก๊าซมีเทน



ภาพ 8 ชุดวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย
1 ตู้กระจก, 2 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ และ 3 เครื่องนับ



ภาพ 9 ระบบการทดลองการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย
(1). ถังเก็บน้ำเสียที่เข้าระบบ ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร, (2). เครื่องต้มน้ำร้อนไฟฟ้า ยี่ห้อ Ceraster No. 1228, (3). เครื่องสูบน้ำเสีย ยี่ห้อ ONNO model N.31, (4). ถังปฏิกิริยาสร้างกรด (5). ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ และ 6 ชุดวัดปริมาณก๊าซมีเทน

ลำดับการทำงาน ดังภาพ 9 และ 10

1 เครื่องสูบน้ำเสียสูบน้ำเสียมูลสุกรจากถังเก็บน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างกรดทางด้านล่างของถังจากนั้นน้ำเสียไหลออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดบริเวณด้านบนทางท่อน้ำสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นการทดลองในขั้นตอนที่ 1

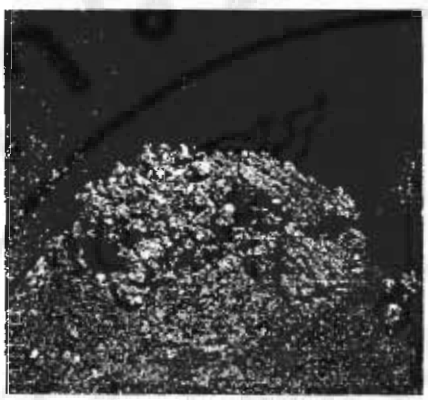
2 น้ำเสียที่ไหลจากจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ทางด้านล่างของถัง แล้วไหลออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพออกทางด้านบน ซึ่งเป็นการทดลองในขั้นตอนที่ 2

ภาพ 10 แผนผังการทดลอง

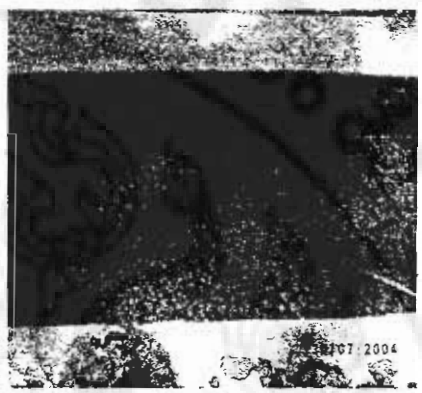
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

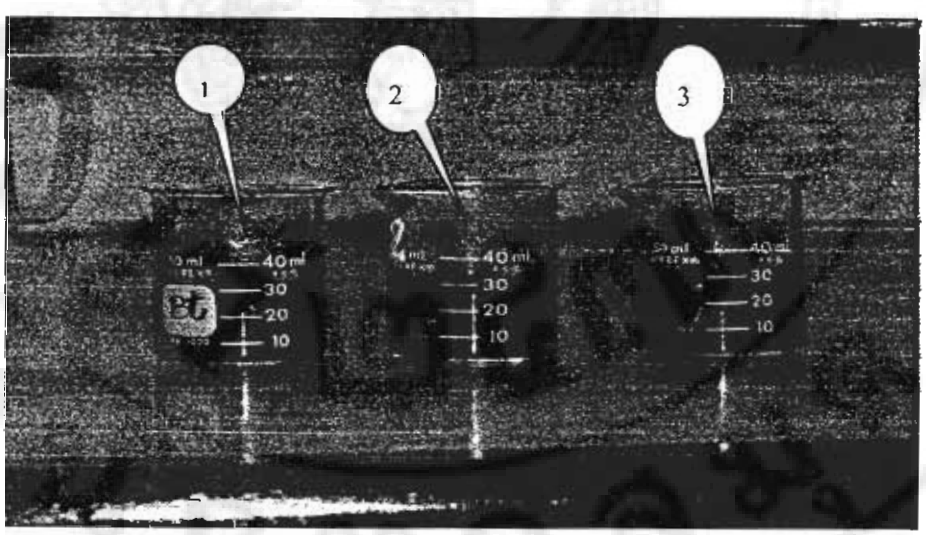
น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร มหาวิทยาลัย แม่โจ้ โดยเป็นน้ำเสียที่ได้ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียภายในฟาร์มมีลักษณะสมบัติดังตาราง 1 ภาพ 11 และ 12 และ น้ำเสียที่ทำการทดลองในสภาวะต่าง ๆ ดังภาพ 13



ภาพ 11 ของเสียในลักษณะที่เป็นของแข็ง



ภาพ 12 ของเสียในลักษณะที่เป็นของเหลว



ภาพ 13 น้ำเสียที่ทำการทดลอง

1 น้ำเสียก่อนทำการทดลอง, 2 น้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรด

3 น้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาสร้างกรด และปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน รวมถึงการหาประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวด้วย ซึ่งการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การหาอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกัก ที่เหมาะสมกับถังปฏิกิริยาสร้างกรด (การควบคุมอุณหภูมิความร้อนโดยการใช้ เทอร์โมสตรัท) และระยะเวลาการเก็บกัก (การควบคุมระยะเวลาโดยการใช้ Timer) ดังมีแผนการทดลองตามตาราง 7

ตาราง 7 แผนระยะเวลาการทดลองในขั้นตอนที่ 1

ครั้งที่ (ทดลอง 3 ซ้ำ)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ระยะเวลาการเก็บกัก (ชั่วโมง)	อัตราการป้อนน้ำเสียไหล (ลิตร)
1	37	10	1 (5 ชม./ครั้ง)
2	37	17	1 (8.5 ชม./ครั้ง)
3	37	24	1 (12 ชม./ครั้ง)
4	50	10	1(5 ชม./ครั้ง)
5	50	17	1 (8.5 ชม./ครั้ง)
6	50	24	1 (12 ชม./ครั้ง)
7	55	10	1(5 ชม./ครั้ง)
8	55	17	1 (8.5 ชม./ครั้ง)
9	55	24	1 (12 ชม./ครั้ง)
10	60	10	1(5 ชม./ครั้ง)
11	60	17	1 (8.5 ชม./ครั้ง)
12	60	24	1 (12 ชม./ครั้ง)

ขั้นตอนที่ 2 การหาอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกัก ที่เหมาะสมกับถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยการทดลองในขั้นตอนนี้จะใช้น้ำเสียที่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาจากถังสร้างกรดมาทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยการทำให้การเกิดปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิ และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา ตามตาราง 8

ตาราง 8 แผนระยะเวลาการทดลองในขั้นตอนที่ 2

ครั้งที่ (ทดลอง 3 ซ้ำ)	ถังปฏิกิริยาสร้างกรด		ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ	
	อุณหภูมิ (^{o}C)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (^{o}C)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)
1	37	10	37	4
2	37	10	37	6
3	37	10	37	8
4	37	10	37	10
5	50	10	37	4
6	50	10	37	6
7	50	10	37	8
8	50	10	37	10
9	55	10	37	4
10	55	10	37	6
11	55	10	37	8
12	55	10	37	10
13	60	10	37	4
14	60	10	37	6
15	60	10	37	8
16	60	10	37	10
17	37	17	37	4
18	37	17	37	6
19	37	17	37	8
20	37	17	37	10
21	50	17	37	4
22	50	17	37	6
23	50	17	37	8

ตาราง 8 (ต่อ)

ครั้งที่ (ทดลอง 3 ซ้ำ)	ถังปฏิกิริยาสร้างกรด		ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ	
	อุณหภูมิ (^{0}C)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (^{0}C)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)
24	50	17	37	10
25	55	17	37	4
26	55	17	37	6
27	55	17	37	8
28	55	17	37	10
29	60	17	37	4
30	60	17	37	6
31	60	17	37	8
32	60	17	37	10
33	37	24	37	4
34	37	24	37	6
35	37	24	37	8
36	37	24	37	10
37	50	24	37	4
38	50	24	37	6
39	50	24	37	8
40	50	24	37	10
41	55	24	37	4
42	55	24	37	6
43	55	24	37	8
44	55	24	37	10
45	60	24	37	4
46	60	24	37	6
47	60	24	37	8
48	60	24	37	10

จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย และ พารามิเตอร์

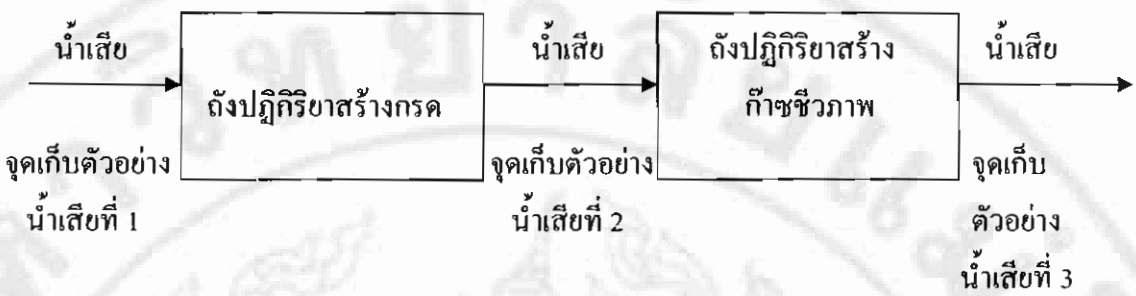
1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 1 เก็บตัวอย่างจากฟาร์มเลี้ยงสุกร มหาวิทยาลัย แม่โจ้

2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 2 เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ

3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 3 เก็บตัวอย่างน้ำเสียออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยให้น้ำเสียเต็มถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ จนน้ำเสียออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ แล้วทิ้งระยะเวลาไว้ 4 วัน จึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ผลการทดลอง ทุก 2 วัน/ครั้ง จำนวน 4 ครั้ง

ตาราง 9 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและพารามิเตอร์

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์
จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 1	ความเป็นกรด - ด่าง
	ซีโอดี
	บีโอดี
	โคลีฟอร์มแบคทีเรีย
จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 2	ความเป็นกรด - ด่าง
	ซีโอดี
	บีโอดี
	โคลีฟอร์มแบคทีเรีย
	ปริมาณก๊าซชีวภาพ
	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ
จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 3	ความเป็นกรด - ด่าง
	ซีโอดี
	บีโอดี
	โคลีฟอร์มแบคทีเรีย
	ปริมาณก๊าซชีวภาพ
	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ



ภาพ 14 แผนผังจุดเก็บน้ำเสียระบบการทดลองการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน

สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง 1 พฤศจิกายน 2545

สิ้นสุดการทดลอง 30 เมษายน 2547

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการสร้างก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกิริยาสร้างกรด

จุดประสงค์ของการทดลองขั้นตอนนี้ เพื่อศึกษาวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและสร้างก๊าซชีวภาพของถังปฏิกิริยาสร้างกรด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงในตาราง 10 โดยการทดลองเป็นไปตามแผนการทดลอง ตามตารางที่ 7

ตาราง 10 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในการทดลองก่อนเข้าถังสร้างกรด

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	7.02 – 7.69
ซีโอดี	20,210 – 27,520 มก./ลิตร
บีโอดี	6,300 – 7,350 มก./ลิตร
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	$6.4 \times 10^6 - 4.3 \times 10^7$ MPN/mL

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด – ด่าง (ภาคผนวก ก)

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ค่าของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างกรด ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างกรดมีช่วงค่าอยู่ระหว่าง 7.02 – 7.69 กับค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดมีค่าอยู่ระหว่าง 7.03 – 7.78 จะมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีปฏิกิริยาเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นก๊าซเกิดขึ้นด้วย ทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง ไม่เปลี่ยนแปลงมาก

4.1.2 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี

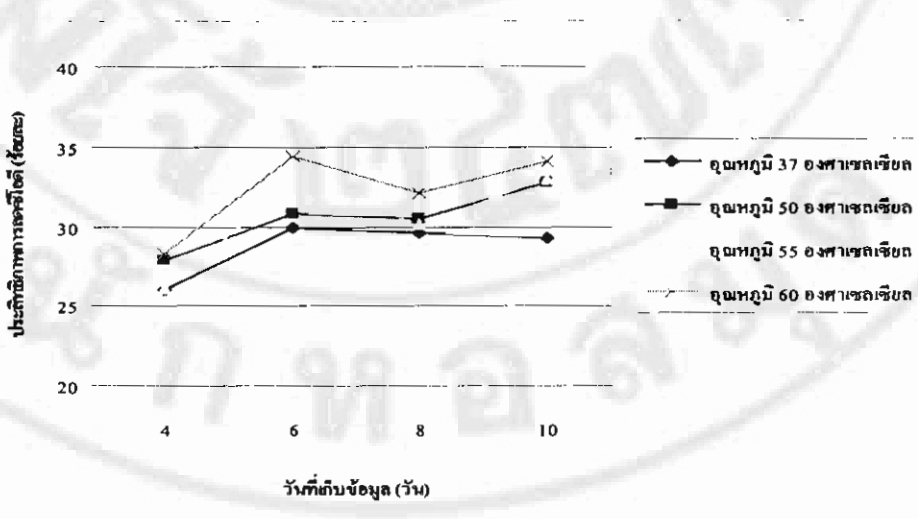
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงใน ตาราง 11 และ ภาพ 15

ตาราง 11 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	25.96^B	30.00^B	29.66^B	29.31^B
50 ^{0}C	27.88^{AB}	30.83^B	30.51^{AB}	32.76^A
55 ^{0}C	26.09^B	32.76^A	30.19^{AB}	33.06^A
60 ^{0}C	28.26^A	34.48^A	32.08^A	34.08^A
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 15 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง)

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงใน ตาราง 12 และ ภาพ 16

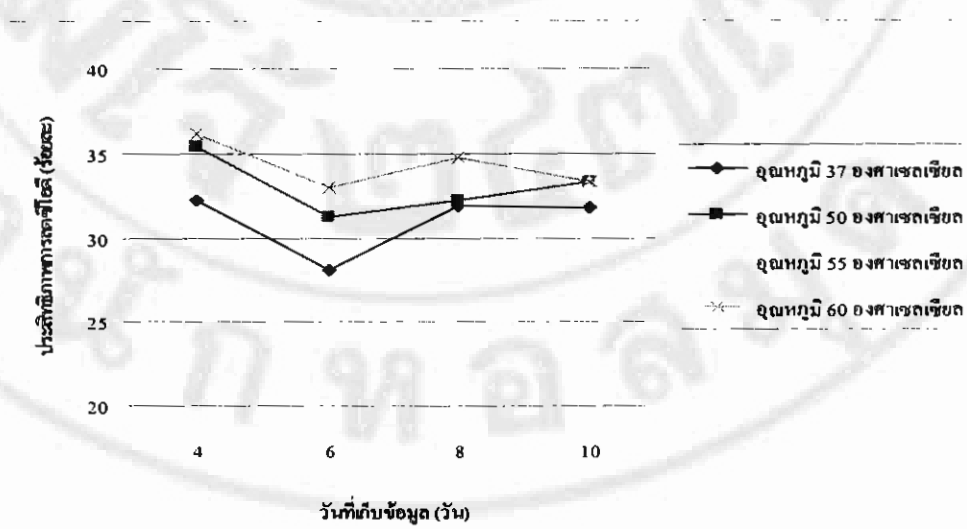
ตาราง 12 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	32.29^B	28.13^B	31.91^C	31.75^A
50 ^{0}C	35.42^A	31.25^B	32.20^{BC}	33.33^A
55 ^{0}C	36.17^A	32.08^A	34.04^{AB}	33.33^A
60 ^{0}C	36.17^A	33.02^A	34.75^A	33.33^A
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	ns

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 16 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง)

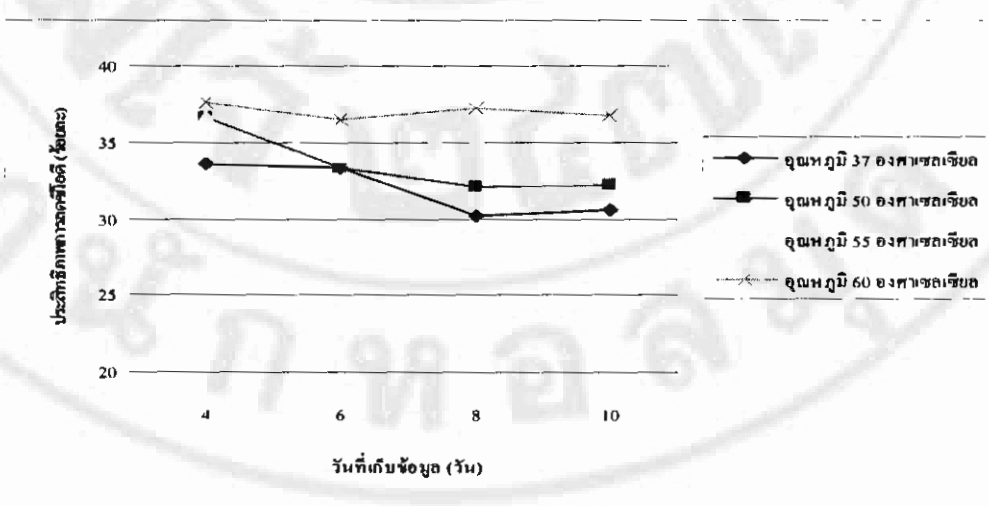
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงในตาราง 13 และภาพ 17

ตาราง 13 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	33.59^B	33.33^B	30.19^C	30.51^B
50 ^{0}C	36.65^A	33.33^B	32.08^B	32.20^B
55 ^{0}C	36.75^A	34.15^A	35.59^A	35.83^A
60 ^{0}C	37.61^A	36.51^A	37.29^A	36.67^A
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 17 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง)

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ของถังปฏิกิริยาสร้างกรดอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพการลดซีโอดี สูงสุดอยู่ร้อยละ 37.61 เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้นเวลาเก็บกักที่นานจะทำให้จุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยเป็นก๊าซชีวภาพ จะให้ผลผลิตคือ กรดระเหยง่าย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซชีวภาพบางส่วนอาจถูกปล่อยออกนอกระบบ จึงทำให้ค่าซีโอดีลดลง ซึ่งจากการทดลองมีลักษณะผลการทดลองตามของ Harris and Dague (1993) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการลดซีโอดี โดยเครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจน ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำต่าง ๆ กันคือ 12, 24 และ 48 ชม. น้ำเสียมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ระหว่าง 2.75 – 49.5 ก./ล.วัน โดยทำการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ Mesophilic และ Thermophilic จากผลการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ Thermophilic ค่าระยะเวลาในการเก็บกักน้ำลดลงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบน้อยกว่าการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ Mesophilic และช่วงอุณหภูมิ Thermophilic สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากกว่าช่วงอุณหภูมิ Mesophilic ถึง 2 เท่า

4.1.3 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงใน ตาราง 14 และภาพ 18

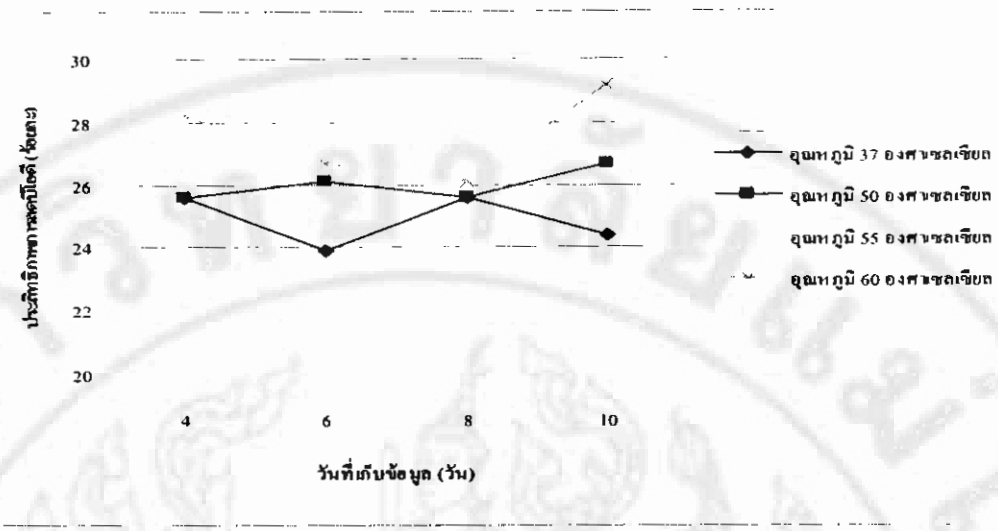
ตาราง 14 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	25.58^{B}	23.91^{B}	25.58^{A}	24.40^{C}
50 ^{0}C	25.58^{A}	26.09^{A}	25.58^{A}	26.67^{B}
55 ^{0}C	26.09^{A}	26.67^{A}	26.09^{A}	29.17^{A}
60 ^{0}C	28.26^{A}	26.67^{A}	26.09^{A}	29.17^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	ns	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 18 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง)

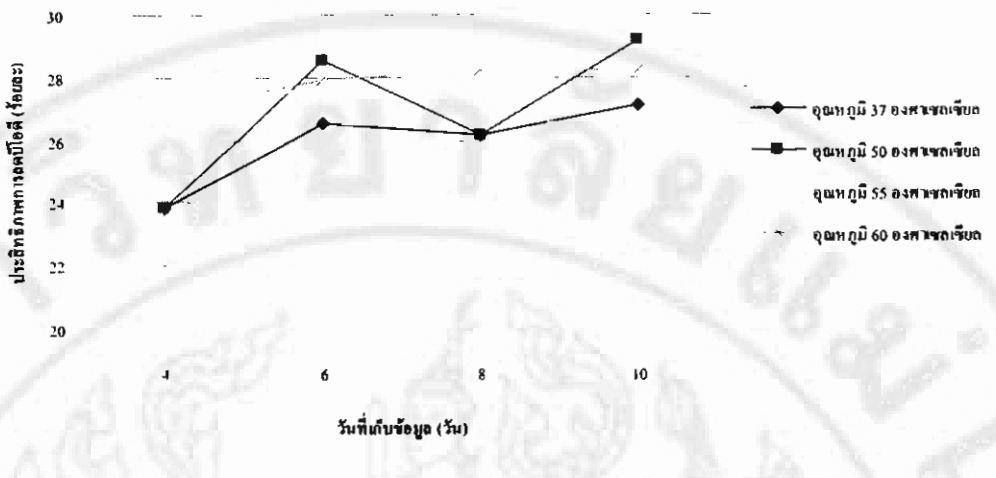
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงใน ตาราง 15 และ ภาพ 19

ตาราง 15 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	23.81^B	26.53^B	26.19^B	27.08^B
50 ^{0}C	23.81^B	28.57^A	26.19^B	29.17^A
55 ^{0}C	26.19^A	27.91^{AB}	28.26^A	28.26^{AB}
60 ^{0}C	26.91^A	27.91^{AB}	28.26^A	28.26^{AB}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 19 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง)

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงใน ตาราง 16 และ ภาพ 20

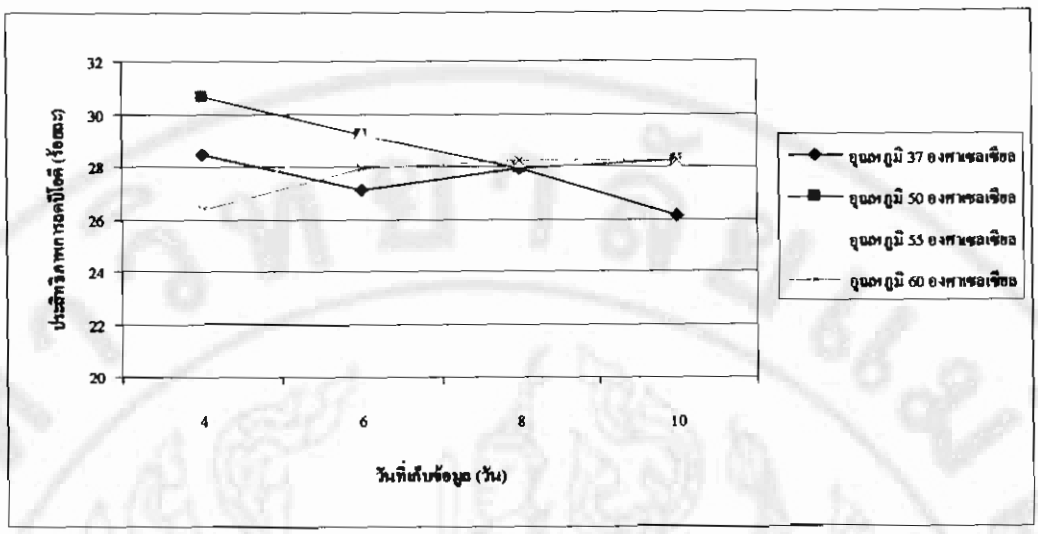
ตาราง 16 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	28.47^B	27.08^B	27.91^A	26.09^B
50 ^{0}C	30.61^A	29.17^A	27.91^A	28.26^A
55 ^{0}C	26.67^C	29.17^A	28.26^A	28.26^A
60 ^{0}C	26.37^C	29.17^A	28.26^A	28.26^A
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	ns	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 20 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง)

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่มีเวลาเก็บกักที่ 24 ชั่วโมง ของถังปฏิกิริยาสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{o}C มีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 30.61 เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้นเวลาเก็บกักที่นานจะทำให้จุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยเป็นก๊าซชีวภาพ จะให้ผลผลิต คือ กรดระเหยง่าย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซชีวภาพ บางส่วนอาจถูกปล่อยออกนอกระบบ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์สูงกว่าที่เวลาเก็บกักที่ต่ำ ซึ่งมีผลการทดลองในลักษณะเดียวกับของ Cechi et al.(1993) ทำการศึกษาการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการทดลองเป็นเวลา 5 เดือน โดยแบบจำลองถังย่อยสลายขนาด 3 m^3 โดยทำการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง Mesophilic (37^{o}C) ไปจนถึง Thermophilic (55^{o}C) และมีการกวนภายในถังมูลฝอยชุมชนที่ใช้ทำการทดลองมีการผสมด้วยน้ำเพื่อให้มีเปอร์เซ็นของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 20 ก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาและทำการป้อน มูลฝอยเข้าถัง 2 ครั้ง/วัน จากการศึกษาพบว่าภายในถังปฏิกิริยามีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่วัน และระบบทำการปรับตัวอย่างช้าๆ โดยใช้เวลาประมาณ 1 เดือน จึงเข้าสู่ระยะสภาวะคงตัวครั้งที่ 1 ซึ่งมีอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพคงที่ หลังจากนั้นประมาณ 7 เดือน อุณหภูมิ ความเป็นกรด - ด่าง และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพไม่คงที่และเข้าสู่สภาวะคงตัวครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 8 เดือน พบว่าการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของมลสารในพารามิเตอร์ ของแข็งระเหยง่าย ซีโอดี บีโอดี และ ทีโอซี ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า รวมทั้งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพก็สูงกว่า

4.1.4 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

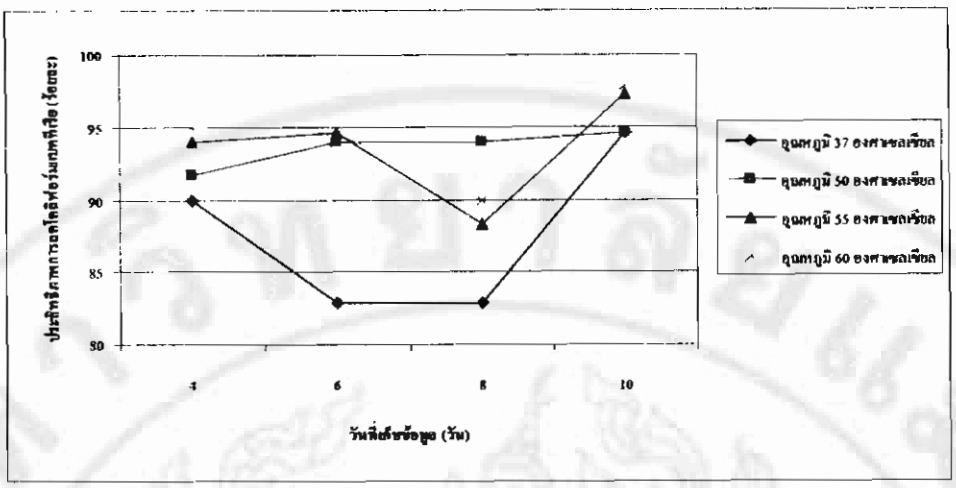
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 17 และภาพ 21

ตาราง 17 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	90.00^{B}	82.94^{B}	82.94^{C}	94.64^{B}
50 ^{0}C	91.67^{B}	94.00^{A}	94.00^{A}	94.64^{B}
55 ^{0}C	94.00^{A}	94.64^{A}	88.28^{B}	97.18^{A}
60 ^{0}C	95.00^{A}	94.64^{A}	90.00^{B}	97.92^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 21 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง)

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 18 และภาพ 22

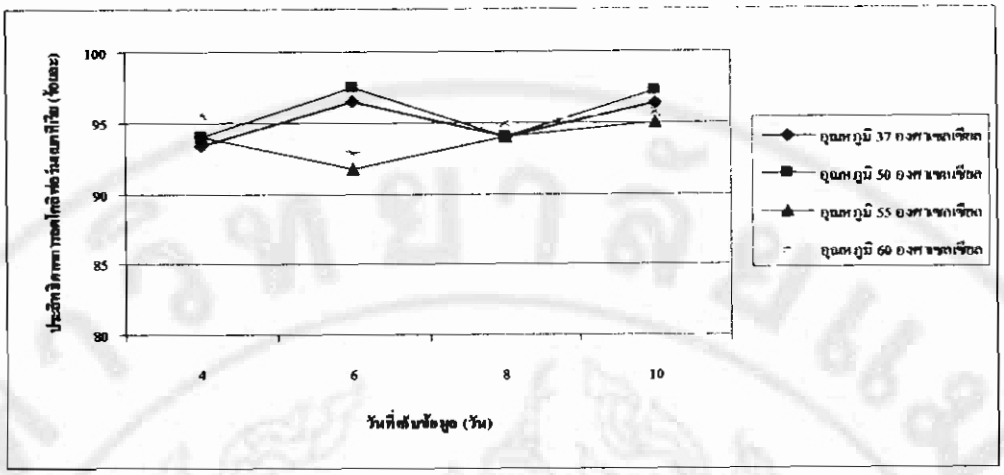
ตาราง 18 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	93.28^{B}	96.51^{A}	93.91^{A}	96.41^{AB}
50 ^{0}C	93.91^{AB}	97.44^{A}	93.91^{A}	97.18^{A}
55 ^{0}C	93.91^{AB}	91.67^{B}	94.00^{A}	95.00^{A}
60 ^{0}C	95.63^{A}	92.89^{B}	95.00^{A}	95.73^{AB}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	ns	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 22 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง)

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 19 และ ภาพ 23

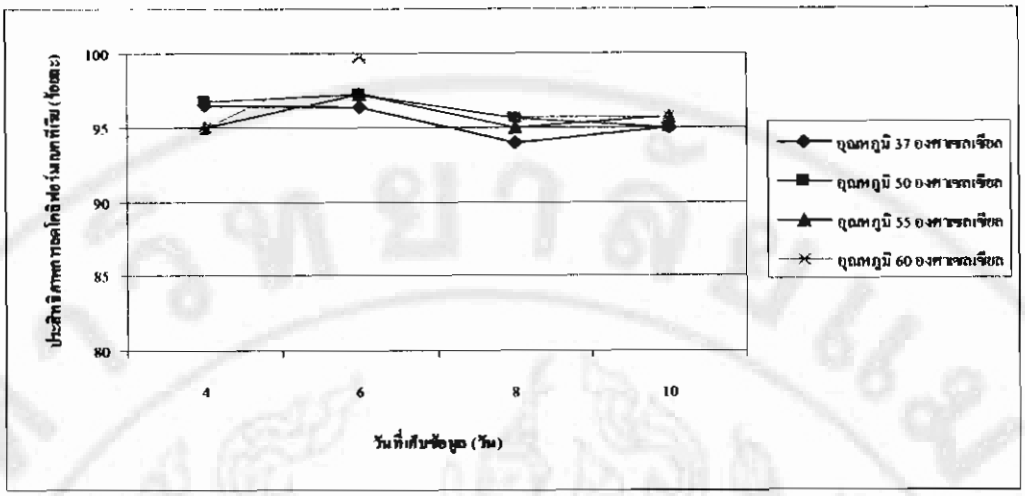
ตาราง 19 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง)

อุณหภูมิภายในถังสร้างกรด	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
37 ^{0}C	96.51^{A}	96.41^{B}	93.91^{A}	95.00^{A}
50 ^{0}C	96.74^{A}	97.18^{B}	95.63^{A}	95.00^{A}
55 ^{0}C	95.00^{A}	97.18^{B}	95.00^{A}	95.73^{A}
60 ^{0}C	95.00^{A}	99.72^{A}	95.73^{A}	95.73^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	ns	*	ns	ns

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 23 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง)

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่มีเวลาเก็บกักที่ 24 ชั่วโมง ของถังปฏิกิริยาสร้างกรดอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพในการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียอยู่ที่ร้อยละ 99.72 เนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาเก็บกักที่นาน มีส่วนในการฆ่าเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียมากขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 37 ^{0}C มีการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้อาจเนื่องจากถังสร้างกรดมีการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จึงอาจมีผลให้เกิดการลดของโคลิฟอร์มแบคทีเรียด้วยในส่วนหนึ่ง ซึ่งมีผลจากการทดลองในลักษณะเดียวกับของ Garber (1982) ทำการย่อยสลายของ Sludge โดยทำการย่อยสลายแบบ Anaerobic Thermophilic (อุณหภูมิ 49 ^{0}C และ ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน) พบว่าค่า โคลิฟอร์มแบคทีเรีย เริ่มต้น 4.5 x 10^{8} MPN/100 mL ลดลงเหลือ 5.4 x 10^{3} MPN/100 mL

4.1.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากถังปฏิกิริยาสร้างกรด

ระยะเวลาเก็บกัก 10, 17 และ 24 ชั่วโมง ปริมาณก๊าซชีวภาพแสดงตาราง 20 ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาสร้างกรด อาจเนื่องจากระยะเวลาเก็บกักภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่นาน ทำให้จุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนทำการผลิตก๊าซชีวภาพในบางส่วน โดยดึงเอากรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกิริยาสร้างกรดไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ และในกรณีที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C ผลิตได้ปริมาณมากที่สุด อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ประเภท Thermophilic มีการเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งแตกต่างกับประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดีจะอยู่ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C มีผลการทดลองตามของ Oleszkiewicz and Poggi (1997) ศึกษาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของมูลฝอยและของเสียโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้แบบ จำลองจำนวน 3 ถัง ถังแรกมีขนาด 100 ลิตร มีการกวนผสมภายใน

ถัง ส่วน 2 ถังที่เหลือมีขนาด 40 ลิตร ไม่มีการกวนภายในถังมูลฝอยที่ใช้ประกอบด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ 2.25 กก. กระดาษอย่างดี 2.25 กก. นำมาบดตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปผสมกับตะกอนจากระบบบำบัดมูลฝอยชุมชน 9 กก. และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่เปลือกและเศษมันฝรั่งจากโรงงานอุตสาหกรรม 4.5 กก. เศษอาหาร 6 กก. และน้ำ 5 กก. เพื่อปรับความชื้นให้กับของเสียรวม วัสดุหมักผสมแล้วมีปริมาณของทั้งหมดร้อยละ 30 เติมเข้าถังหมักด้วยอัตราการเติม 9 กก.ของแข็งที่เผาไหม้ได้/ม^3 – วัน โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ช่วงเธอโมฟิลิค (55 ^{0}C) จากการศึกษาพบว่าการย่อยสลายมีประสิทธิภาพในการบำบัดเมื่อมีระยะเวลาเก็บกัก 21 – 28 วัน และใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบประมาณ 3 สัปดาห์ ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 200-300 ลิตร/กก.ของแข็งที่เผาไหม้ พบว่าการย่อยสลายในอุณหภูมิที่สูงกว่าให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพสูงกว่าอุณหภูมิที่ต่ำ

ตาราง 20 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการทดลองที่สภาวะในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ จากถังปฏิกิริยาสร้างกรด (ลิตร/วัน)

วันที่	ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง				ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง				ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง			
	37 ^{0}C	50 ^{0}C	55 ^{0}C	60 ^{0}C	37 ^{0}C	50 ^{0}C	55 ^{0}C	60 ^{0}C	37 ^{0}C	50 ^{0}C	55 ^{0}C	60 ^{0}C
1	4	10	10	12	8	11	12	12	9	12	13	13
2	7	9	11	11	10	12	13	14	11	11	13	14
3	8	9	12	12	9	12	13	15	12	14	12	15
4	9	10	11	11	10	14	15	14	12	12	14	14
5	10	10	10	11	11	13	12	13	10	13	15	15
6	11	11	13	13	10	14	14	14	12	12	15	15
7	9	12	12	12	12	12	12	12	14	14	15	14
8	8	11	11	12	13	13	13	13	11	11	14	14
9	10	13	13	13	12	12	11	15	12	12	14	13
10	9	11	11	11	12	11	14	14	13	13	15	15
ค่าเฉลี่ย	8.5	10.6	11.4	11.8	10.7	12.9	12.4	13.6	11.6	14	12.4	14.2
สัดส่วนก๊าซมีเทน(ร้อยละ)	55.66	61.59	71.64	71.80	55.73	60.21	64.92	73.79	52.18	66.52	70.14	72.98

4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการสร้างก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ

จุดประสงค์ของการทดลองขั้นตอนนี้ เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและสร้างก๊าซชีวภาพของถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการทดลองแสดงในตาราง 21 โดยการทดลองเป็นไปตามแผนการทดลอง ตามตารางที่ 8

ตาราง 21 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในการทดลองก่อนเข้าถังสร้างก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
ค่าความเป็นกรด – ด่าง	7.03 – 7.78
ซีโอดี	12,900 – 19,780 มก./ลิตร
บีโอดี	4,650 – 5,400 มก./ลิตร
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	$2.8 \times 10^5 - 1.5 \times 10^6$ MPN/mL

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด - ด่าง

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่าง (ภาคผนวก ก) ของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ (7.32 – 8.2) มีค่าความเป็นกรด – ด่าง มีค่าสูงกว่าค่าของน้ำเสียในถังปฏิกิริยาสร้างกรด (7.03 – 7.78) เพราะกรดระเหยง่ายที่เกิดจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียสร้างมีเทนใน ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ทำให้ปริมาณกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งที่ผ่านออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพลดลง ซึ่งเป็นการลดความเป็นกรดในน้ำเสีย ทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพมีค่าสูงขึ้น

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของซีโอดี

น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงในตาราง 22 และภาพ 24

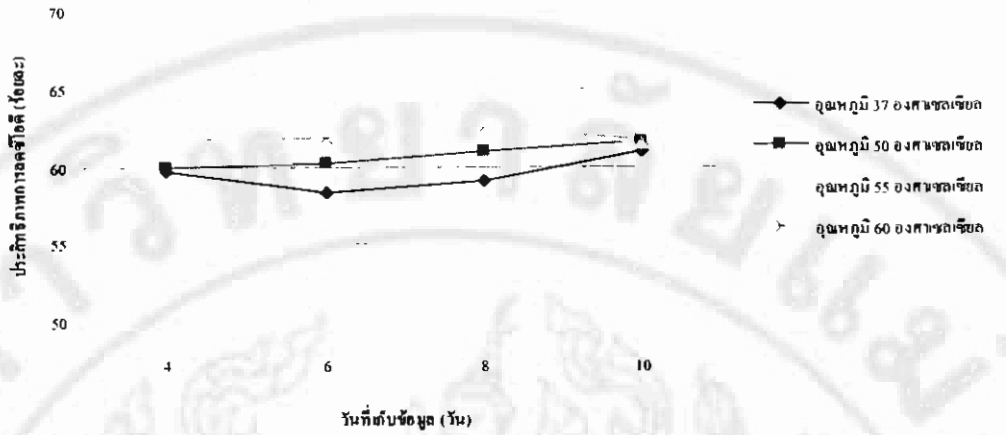
ตาราง 22 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 °C	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 °C	59.74^{A}	58.33^{B}	59.04^{B}	60.98^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 °C	60.00^{A}	60.24^{A}	60.98^{A}	61.54^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 °C	60.98^{A}	61.54^{A}	62.16^{A}	61.45^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 °C	61.73^{A}	61.84^{A}	62.50^{A}	61.73^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	ns	*	*	ns

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 .

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 24 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงในตาราง 23 และ ภาพ 25

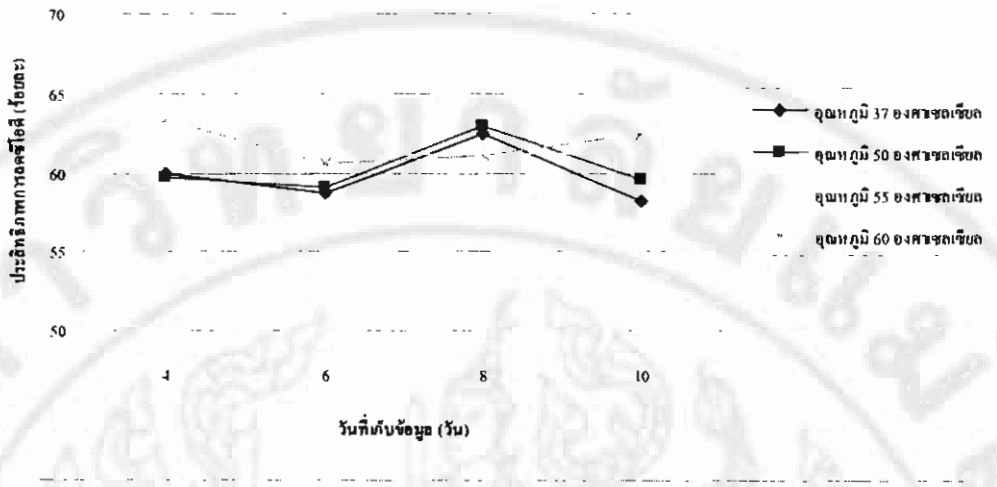
ตาราง 23 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 ^{0}C	60.00^{B}	58.70^{B}	62.50^{A}	58.14^{C}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 ^{0}C	59.68^{B}	59.09^{B}	62.90^{A}	59.52^{BC}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 ^{0}C	63.33^{A}	61.11^{A}	61.25^{A}	61.25^{AB}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{0}C	63.33^{A}	60.56^{AB}	61.04^{A}	62.50^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	ns	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 25 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

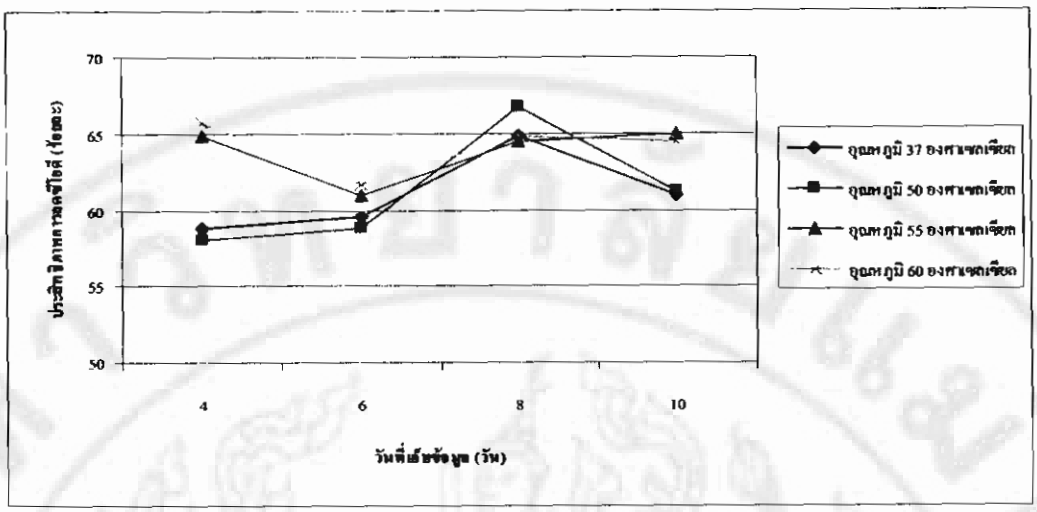
น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงในตาราง 24 และภาพ 26

ตาราง 24 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 ^{0}C	58.82^{B}	59.52^{BC}	64.85^{AB}	60.98^{B}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 ^{0}C	58.02^{B}	58.75^{C}	66.67^{A}	61.25^{B}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 ^{0}C	64.86^{A}	60.98^{AB}	64.47^{B}	64.94^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{0}C	65.75^{A}	61.73^{A}	64.86^{AB}	64.47^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 26 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่า การทดลองน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่มีเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 ^{0}C มีประสิทธิภาพการลดซีโอดีสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 66.67 เนื่องจาก น้ำเสียมีระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่นานและอุณหภูมิสูง ส่งผลให้จุลินทรีย์สร้างกรดได้ดีขึ้น ส่งผลให้กรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้เกิดสารอาหารจำนวนมากเมื่อนำไปสู่ถังปฏิกิริยาสร้าง ก๊าซชีวภาพ ทำให้จุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนมีสารอาหารจำนวนมาก และขนาดของถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การสะสมตะกอนสารอินทรีย์และแบคทีเรียเป็นจำนวนมากจึงทำให้การย่อยสลาย สารอินทรีย์ได้มากขึ้น ในกรณีที่ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีมีค่าอุณหภูมิ ลดลง อาจเนื่องจากระยะเวลาเก็บกักที่นานและขนาดของถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ คล้ายกับการทดลองของ Keenan, et al. (1993) ทำการบำบัดน้ำเสียจากนม ที่มีความเข้มข้น 1,500 mg.COD/l. โดยการทดลองจะแยกระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะย่อยสลายในช่วงสร้างกรด ถังเป็นแบบถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์ จากนั้นจะผ่านน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่มีการย่อยสลายในช่วงมีเทน ระบบสามารถบำบัดซีโอดี ได้ร้อยละ 92 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4.4 วัน

4.2.3 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี

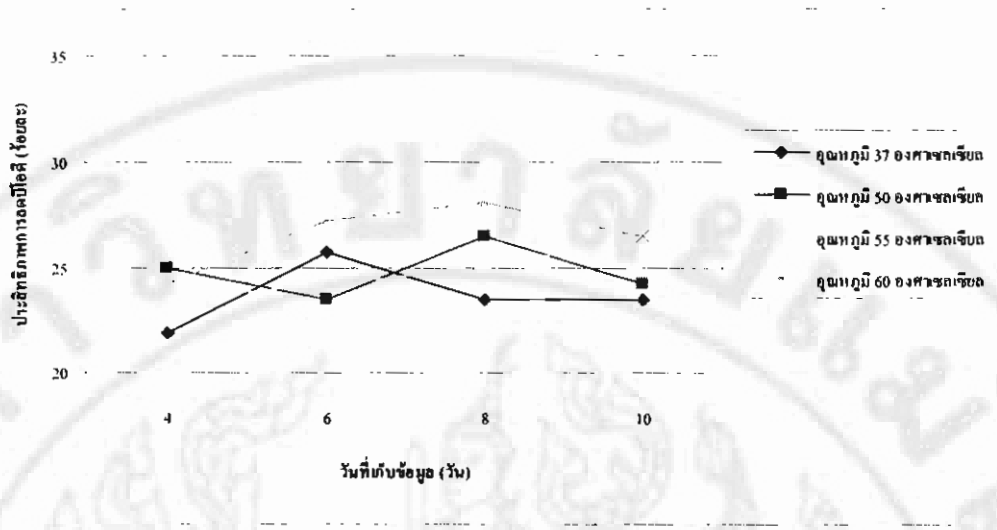
น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงในตาราง 25 และภาพ 27

ตาราง 25 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 ^{0}C	21.88^{B}	25.71^{AB}	23.53^{C}	23.53^{B}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 ^{0}C	25.00^{A}	23.53^{C}	26.47^{AB}	24.24^{B}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 ^{0}C	23.53^{AB}	24.24^{BC}	25.00^{BC}	26.47^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{0}C	24.24^{A}	27.27^{A}	28.13^{A}	26.47^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 27 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

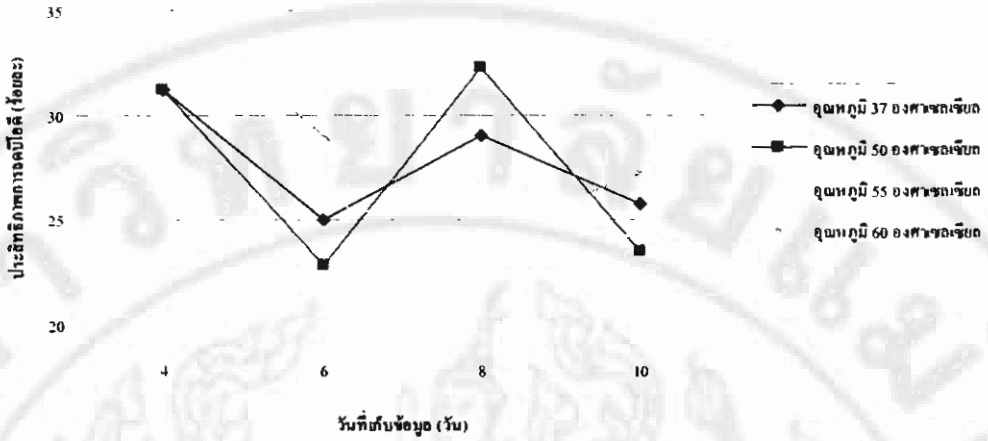
น้ำเสียค่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงในตาราง 26 และภาพ 28

ตาราง 26 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	ประสิทธิภาพการลด บีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 ^{0}C	31.25^{B}	25.00^{B}	29.03^{B}	25.71^{B}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 ^{0}C	31.25^{B}	22.86^{C}	32.26^{A}	23.53^{C}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 ^{0}C	32.26^{B}	25.81^{B}	24.24^{C}	24.24^{BC}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{0}C	35.48^{A}	29.03^{A}	24.24^{C}	27.27^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 28 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

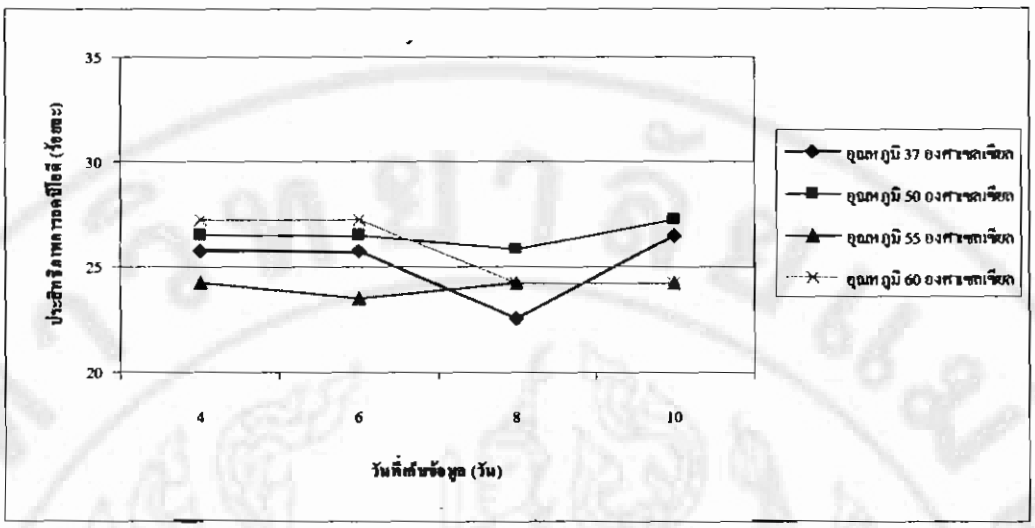
น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงในตาราง 27 และภาพ 29

ตาราง 27 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 ^{0}C	25.71^{AB}	25.71^{A}	22.58^{B}	26.47^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 ^{0}C	26.47^{A}	26.47^{A}	25.81^{A}	27.27^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 ^{0}C	24.24^{B}	23.53^{B}	24.24^{AB}	24.24^{B}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{0}C	27.27^{A}	27.27^{A}	24.24^{AB}	24.24^{B}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 29 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่มีเวลาเก็บกักที่ 17 ชั่วโมง ของถังสร้างกรดอุณหภูมิ 60 ^{o}C มีประสิทธิภาพการลดบีโอดี สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 35.48 เนื่องจากน้ำเสียมีระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่นานและอุณหภูมิสูง ส่งผลให้จุลินทรีย์สร้างกรดได้ดีขึ้นส่งผลให้กรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้เกิดสารอาหารจำนวนมากเมื่อนำไปสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ทำให้จุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซชีวภาพมีสารอาหารจำนวนมากและขนาดของถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การสะสมตะกอนสารอินทรีย์และจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากจึงทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ในกรณีที่ค่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องจากขนาดของถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การสะสมของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยมีผลการทดลองคล้ายกับการศึกษาของ Ng. (1989) บำบัดน้ำเสียมูลสุกรโดยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 8 ลิตร ระยะเวลาเก็บกัก 1.3 วัน โดยอัตราส่วนอาหารต่อจำนวนจุลินทรีย์ 0.29 mg.BOD/mg MLVSS.day มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีได้ร้อยละ 82 – 98

4.2.4 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 28 และภาพ 30

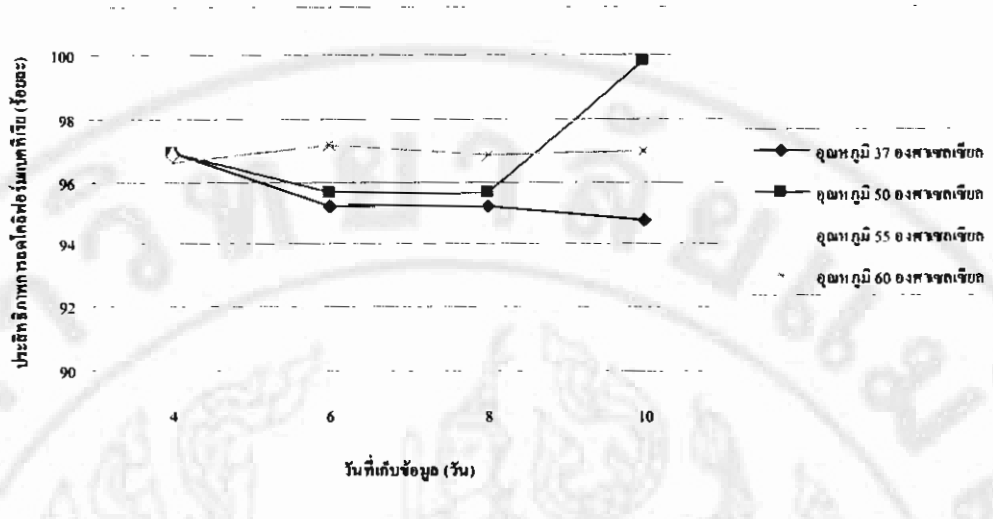
ตาราง 28 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 ^{0}C	96.89^{A}	95.22^{A}	95.22^{B}	94.80^{C}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 ^{0}C	96.93^{A}	95.67^{A}	95.67^{B}	99.80^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 ^{0}C	96.89^{A}	96.96^{A}	99.67^{A}	96.45^{BC}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{0}C	96.93^{A}	97.20^{A}	96.88^{B}	96.99^{B}
ความแตกต่างทางสถิติ	ns	ns	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 30 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 29 และภาพ 31

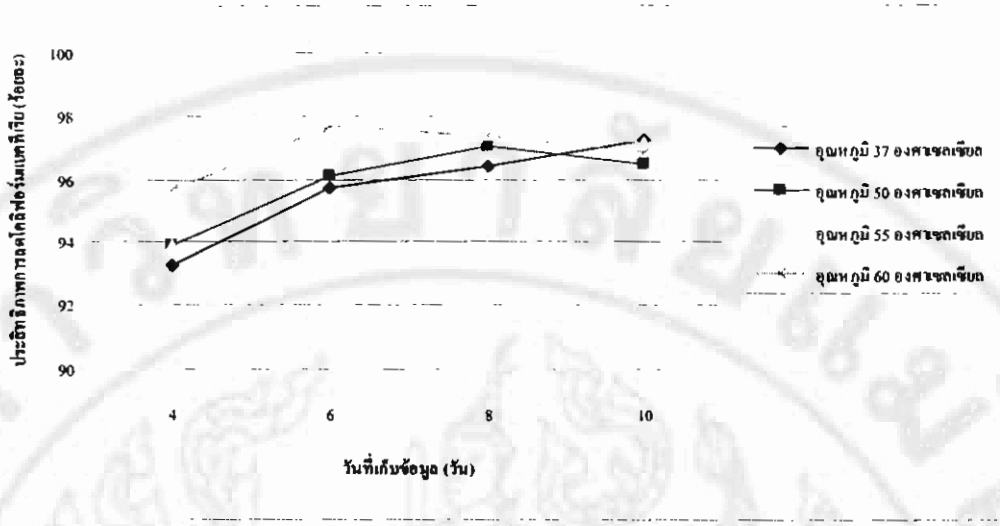
ตาราง 29 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 ^{0}C	93.28^{B}	95.73^{A}	96.41^{A}	97.21^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 ^{0}C	93.91^{AB}	96.09^{A}	97.69^{A}	96.45^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 ^{0}C	93.91^{AB}	97.33^{A}	97.44^{A}	97.20^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 ^{0}C	95.63^{A}	97.66^{A}	97.33^{A}	96.88^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	ns	ns	ns

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 31 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

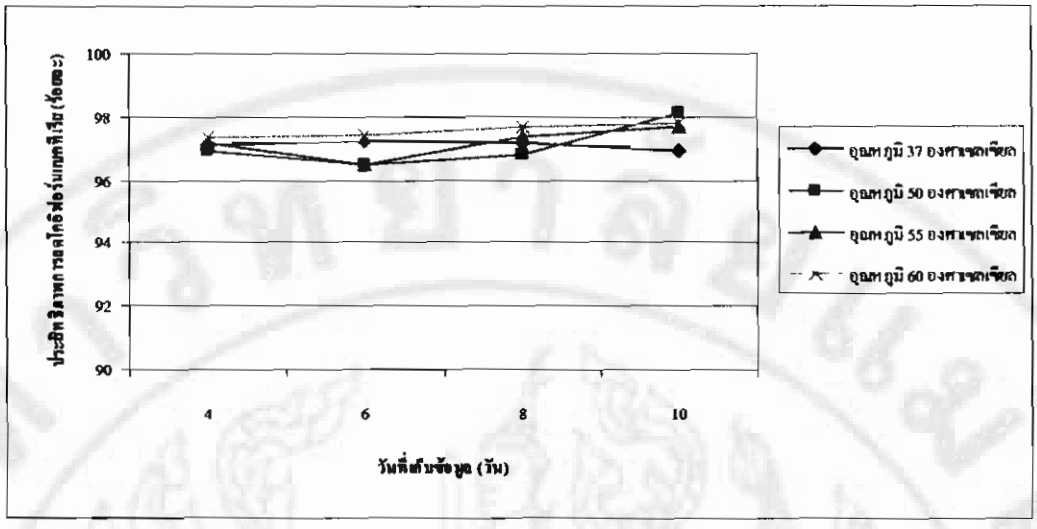
น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 30 และภาพ 32

ตาราง 30 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

อุณหภูมิภายในถังสร้างก๊าซชีวภาพ 37 °C	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 37 °C	97.13^{A}	97.21^{A}	97.18^{A}	96.93^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 50 °C	96.93^{A}	96.45^{A}	96.79^{A}	98.13^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 55 °C	97.20^{A}	96.45^{A}	97.33^{A}	97.66^{A}
น้ำเสียจากถังสร้างกรด อุณหภูมิ 60 °C	97.33^{A}	97.45^{A}	97.66^{A}	97.81^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 32 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียภายในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพโดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่มีระยะเวลาเก็บกักที่ 10 ชั่วโมง ของถังปฏิกิริยาสร้างกรดอุณหภูมิ 50 ^{0}C มีประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงสุดอยู่ที่ 99.80% เนื่องจากน้ำเสียมีอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่มากขึ้น ทำให้เกิดการฆ่าเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ดีขึ้น ซึ่งผลการทดลองใกล้เคียงกับการศึกษาของ Cheunbarn and Pagilla (2000) ได้ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากสุกร โดย Lab – Scale แบบ 2 ขั้นตอน คือ Anaerobic Thermophilic /Mesophilic ที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน สามารถลดค่า Fecal Coliform จาก 10^{8} เหลือต่ำกว่า 1,000 MPN/gTS เมื่อเปรียบเทียบกับ ชุดควบคุม ที่ลดลงเหลือประมาณ 10^{6} MPN/g TS

4.2.5 ปริมาณก๊าซก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ

น้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10, 17 และ 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณก๊าซก๊าซชีวภาพแสดงในตาราง ทั้งนี้อ เจพราะน้ำเสียมีระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่มากขึ้น ส่งผลให้กรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสารอาหารมาก เมื่อนำไปสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพทำให้แบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนมีสารอาหารที่มากทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณที่สูง โดย Zhao and Kugel (1996) แสดงถึงการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายแบบ Anaerobic Mesophilic จาก Pilot Scale สามารถผลิตได้ 1.5 – 1.86 m^{3}/kg VS

ตาราง 31 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการทดลองที่สภาวะในช่วงระยะเวลาต่างๆ จากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียต่อเนื่องจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ลิตร/วัน)

วันที่	ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง				ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง				ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง			
	37 °C	50 °C	55 °C	60 °C	37 °C	50 °C	55 °C	60 °C	37 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	13	21	23	24	22	25	24	25	23	23	25	24
2	20	22	22	24	24	24	24	25	23	26	26	25
3	23	24	25	25	23	23	26	26	25	25	24	25
4	25	25	25	26	23	26	25	24	24	24	25	26
5	24	24	24	24	22	27	27	25	24	26	25	25
6	26	26	26	26	23	23	25	27	25	25	26	24
7	25	287	26	26	23	24	26	26	23	23	27	25
8	26	26	26	25	25	25	27	27	23	26	26	26
9	24	25	25	25	22	22	25	26	24	24	27	26
10	25	27	24	24	24	24	25	26	24	24	26	27
ค่าเฉลี่ย	23.1	24.8	24.6	24.9	23.1	24.3	25.4	25.7	23.8	24.6	25.7	25.3
สัดส่วนก๊าซมีเทน (%)	53.54	56.76	66.31	70.91	60.43	57.04	67.27	73.65	66.55	64.76	73.78	73.08

4.3 ผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการสร้างก๊าซชีวภาพทั้งระบบ

จุดประสงค์ของการทดลองขั้นตอนนี้ เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและสร้างก๊าซชีวภาพ ทั้งระบบ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการทดลองเป็นค่าก่อนเข้าถังสร้างกรดแสดงในตาราง 32

ตาราง 32 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในการทดลองทั้งระบบ

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	7.02 – 7.69
ซีโอดี	20,210 – 27,520 มก./ลิตร
บีโอดี	6.300 – 7,350 มก./ลิตร
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	$6.4 \times 10^6 - 4.3 \times 10^7$ MPN/mL

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่าง

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่าง (ภาคผนวก ก) ของน้ำเสียที่เข้ายังถังปฏิกิริยาสร้างกรด อยู่ระหว่าง 7.02 – 7.69 ซึ่งมีสภาพที่เป็นกลาง แต่เมื่อน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดจะมี ค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำลง อยู่ระหว่าง 7.03 – 7.78 และเมื่อน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 7.32 – 8.2 เนื่องจากกรดระเหยง่ายถูกแบคทีเรียสร้างก๊าซชีวภาพย่อยสลายเป็นก๊าซมากขึ้น จึงทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่าง เพิ่มขึ้น และ อาจจะระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่นานขึ้นทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนย่อยสลายเป็นก๊าซมากขึ้น

4.3.2 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี

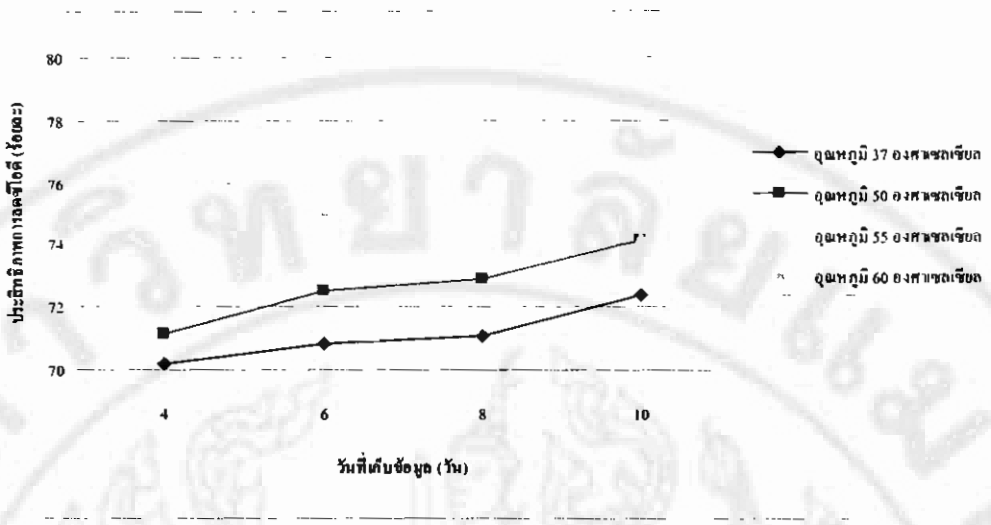
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงในตาราง 33 และภาพ 33

ตาราง 33 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	70.19^{B}	70.83^{C}	71.09^{B}	72.41^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	71.15^{B}	72.50^{BC}	72.88^{AB}	74.14^{AB}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ37 ^{0}C	73.33^{A}	74.14^{AB}	73.58^{A}	74.19^{AB}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	74.17^{A}	75.00^{A}	74.53^{A}	75.00^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 33 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงในตาราง 34 และภาพ 34

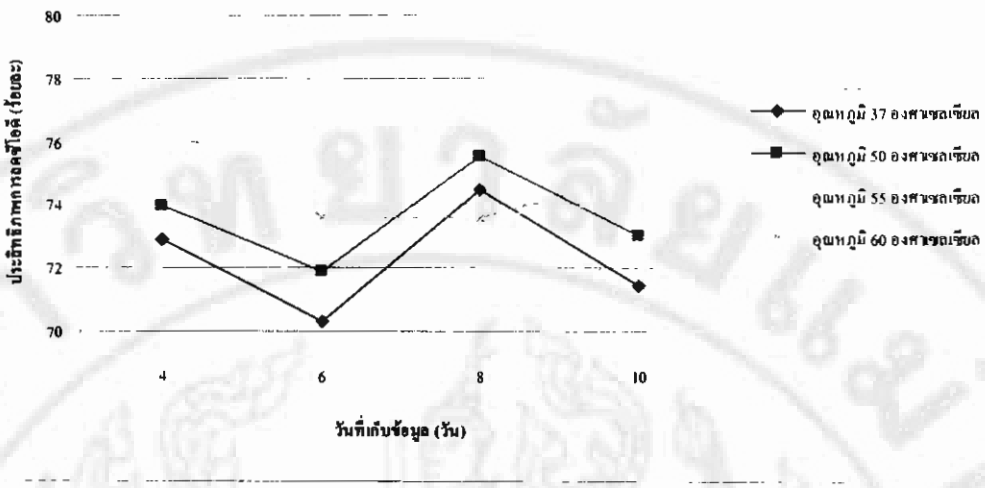
ตาราง 34 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	72.92^{B}	70.31^{C}	74.47^{A}	71.43^{C}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	73.96^{B}	71.88^{AB}	75.53^{A}	73.02^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	76.60^{A}	73.58^{A}	73.58^{A}	74.17^{AB}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	76.60^{A}	73.58^{A}	73.58^{A}	75.00^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	ns	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 34 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ดังแสดงในตาราง 35 และภาพ 35

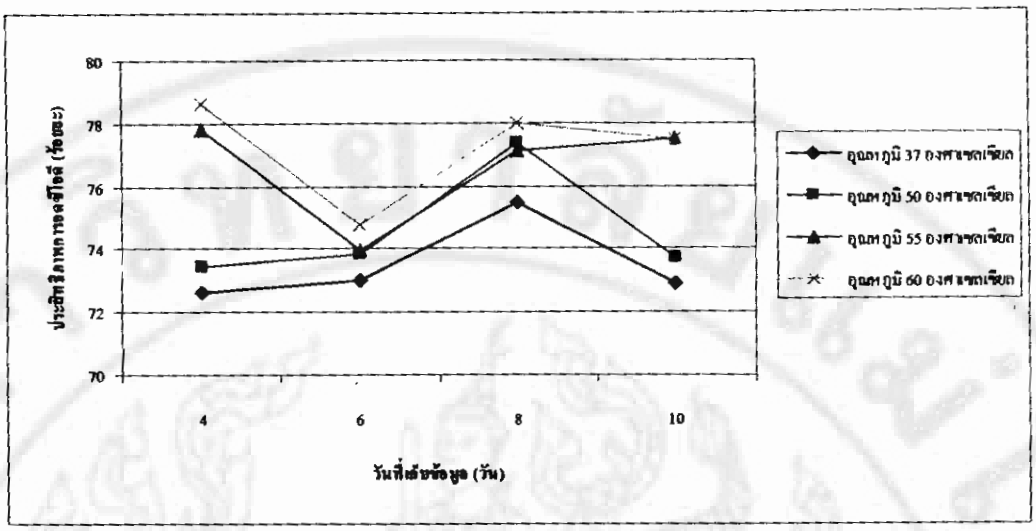
ตาราง 35 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	72.66^{B}	73.02^{A}	75.47^{B}	72.88^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	73.44^{B}	73.81^{A}	77.36^{AB}	73.73^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	77.78^{A}	73.98^{A}	77.12^{AB}	77.50^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	78.63^{A}	74.80^{A}	77.97^{A}	77.50^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	ns	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 35 ประสิทธิภาพการลดซีโอดีทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง

จากผลการทดลอง พบว่าการทดลองที่มีระยะเวลาเก็บกักที่ 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิถังสร้างกรด 60 ^{o}C มีประสิทธิภาพการลดซีโอดี สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 78.63 เมื่ออุณหภูมิน้ำเสียจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่สูง ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีสารอาหารที่เพิ่มขึ้น เพื่อนำไปสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพต่อไปและขนาดของถังปฏิกิริยาสร้าง ก๊าซชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การสะสมตะกอนสารอินทรีย์และแบคทีเรียเป็นจำนวนมากจึงทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น โดยมีผลการทดลองใกล้เคียงกับ Kiely, et al. (1997) ศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ผสมระหว่างสารอินทรีย์จากขยะชุมชนกับตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น โดยวิธีการย่อยสลายในสภาพไม่ใช้ออกซิเจนในถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์มีการเติมวัสดุหมักวันละครั้ง วัสดุหมักมีของแข็งทั้งหมดร้อยละ 7 ควบคุมอุณหภูมิที่ 36 ^{o}C เป็นเวลา 115 วัน พบว่า กระบวนการย่อยสลายสามารถเกิดขึ้นได้ดี ระยะเวลาเก็บกักต่ำสุดที่ระบบทำงานได้ คือ 15 วัน สามารถลดลงได้ร้อยละ 94

4.3.3 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี

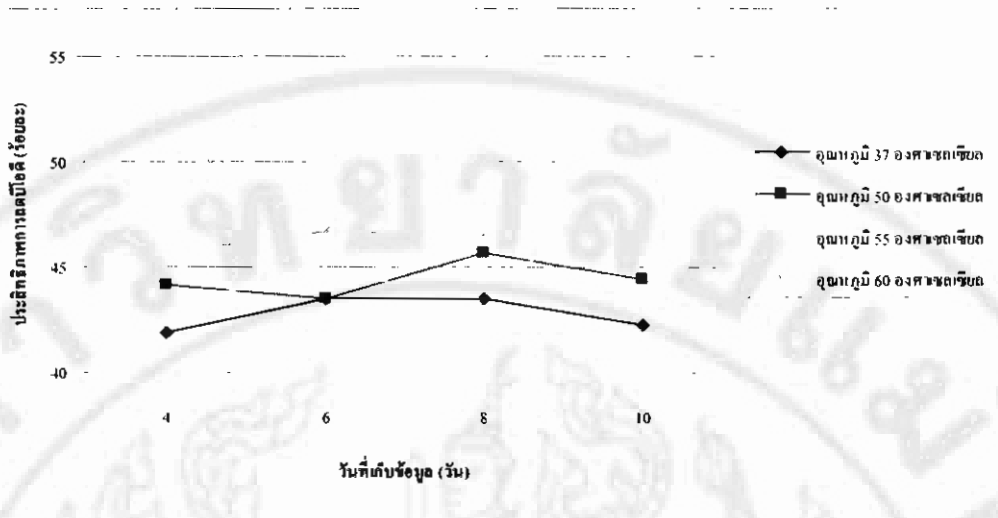
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงในตาราง 37 และภาพ 36

ตาราง 36 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ37 ^{0}C	41.86^{C}	43.48^{B}	43.48^{C}	42.22^{C}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	44.19^{AB}	43.48^{B}	45.65^{AB}	44.44^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ37 ^{0}C	43.48^{B}	44.44^{B}	44.19^{B}	47.92^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	45.65^{A}	46.67^{A}	46.51^{A}	47.92^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 36 ประสิทธิภาพการลดบีโอดี ทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง

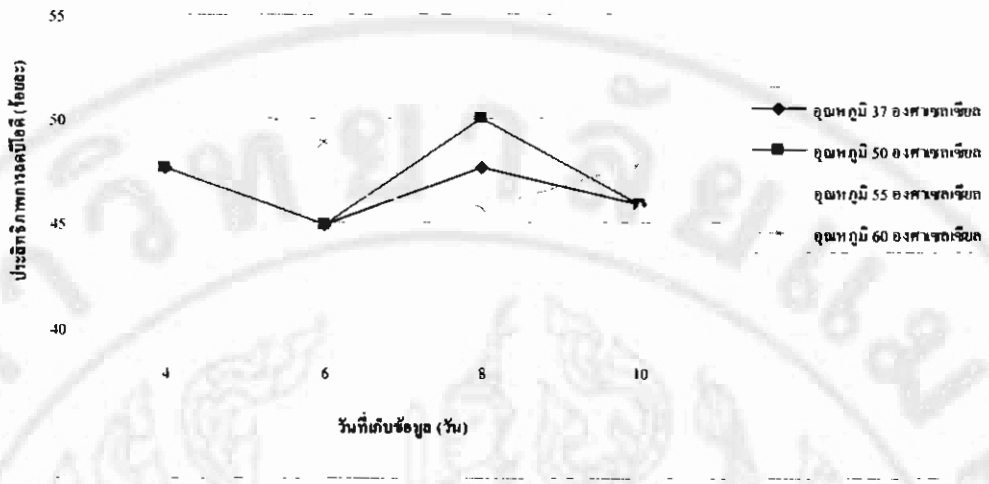
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงในตาราง 38 และภาพ 37

ตาราง 37 แสดงประสิทธิภาพการลดบีโอดีทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	47.62^{C}	44.90^{B}	47.62^{AB}	45.83^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	47.62^{C}	44.90^{B}	50.00^{A}	45.83^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	50.00^{B}	46.51^{B}	45.65^{C}	45.65^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ37 ^{0}C	52.38^{A}	48.84^{A}	45.65^{C}	47.83^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 37 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง

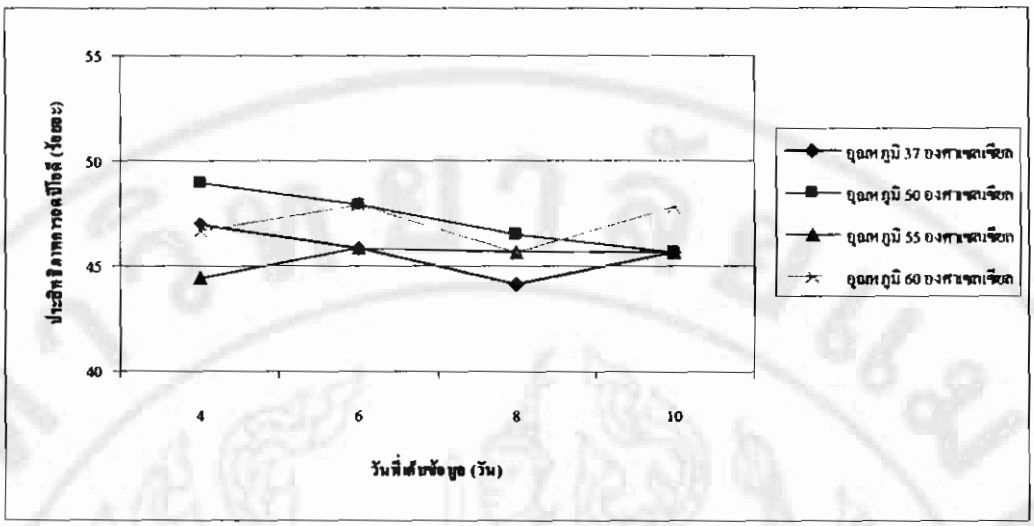
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ดังแสดงในตาราง 39 และภาพ 38

ตาราง 38 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	46.94^{B}	45.83^{B}	44.19^{B}	45.65^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	48.98^{B}	47.92^{A}	46.51^{A}	45.65^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	44.44^{C}	45.83^{B}	45.65^{AB}	45.65^{B}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	46.67^{B}	47.92^{A}	45.65^{AB}	47.83^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	*	*	*	*

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 38 ประสิทธิภาพการลดบีโอดีทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่มีเวลาเก็บกักที่ 113 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิถังสร้างกรด 60 °C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 °C มีประสิทธิภาพการลดบีโอดี สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 52.38 เมื่ออุณหภูมิน้ำเสียจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่สูง ซึ่งแบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีส่งผลให้มีสารอาหารที่เพิ่มขึ้น เพื่อนำไปสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพต่อไปและขนาดของถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การสะสมตะกอนสารอินทรีย์และแบคทีเรียเป็นจำนวนมากทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ในกรณีที่ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีกับค่าบีโอดีแตกต่างกันที่ระยะเวลาเก็บกัก อาจเนื่องจากวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำของซีโอดีเป็นวิธีทางเคมี ซึ่งมีผลที่ระยะเวลา 120 ชั่วโมง ดีที่สุด ส่วนค่าบีโอดีเป็นวิธีทางชีวภาพ ซึ่งมีผลต่อจุลินทรีย์ทำให้มีผลที่ระยะเวลา 117 ชั่วโมง ดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองมีลักษณะเดียวกับการศึกษาของ Henry, et al. (1986) ทำการบำบัดน้ำชะขยะโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำขยะที่ใช้ในการทดลองมาจาก 2 แห่ง คือ หลุมฝังกลบใหม่และหลุมฝังกลบเก่า โดยหลุมฝังกลบใหม่มีค่า COD 14,000 mg/l BOD/COD มีค่าเท่ากับ 0.7 และ หลุมฝังกลบเก่า (ประมาณ 8 ปี) มีค่า COD 3,750 mg/l BOD/COD มีค่าเท่ากับ 0.3 ซึ่ง จากผลการทดลองระบบสามารถลดได้ร้อยละ 90 ที่ระดับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.26 – 1.45 Kg.COD/m3.day

4.3.4 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 40 และภาพ 39

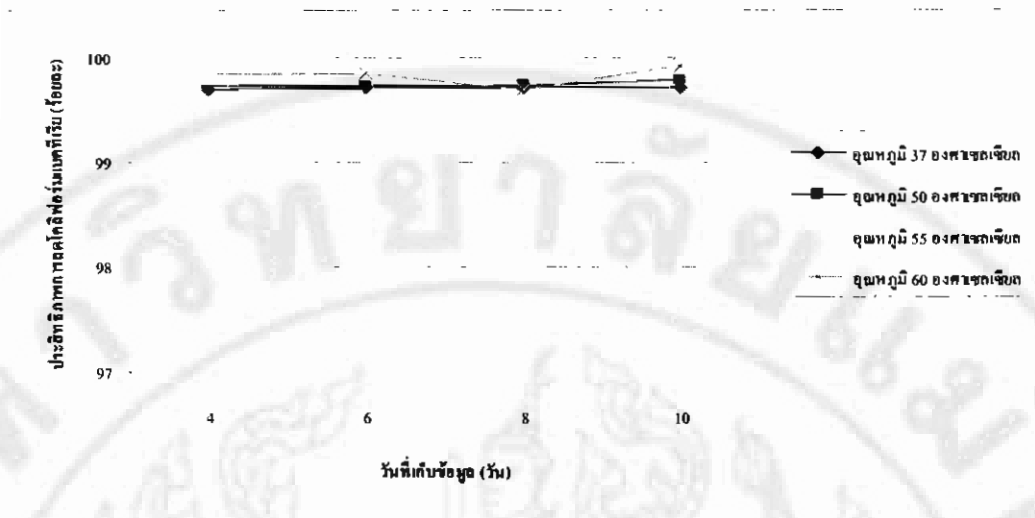
ตาราง 39 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.69^A	99.71^A	99.71^A	99.72^A
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.74^A	99.74^A	99.74^A	99.80^A
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.81^A	99.84^A	97.20^B	99.90^A
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.85^A	99.85^A	99.69^A	99.93^A
ความแตกต่างทางสถิติ	ns	ns	*	ns

หมายเหตุ: * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 39 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง

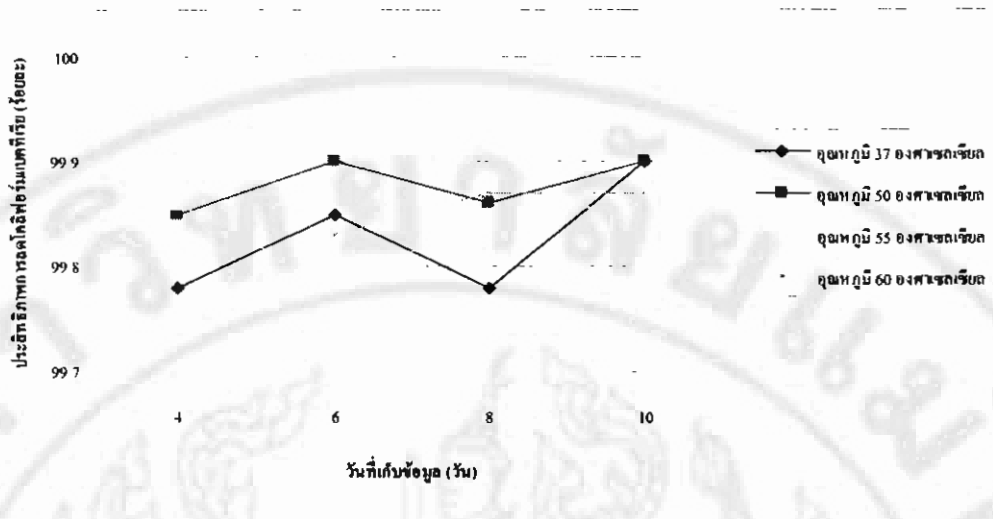
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงใน ตาราง 41 และภาพ 40

ตาราง 40 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.78^{A}	99.85^{A}	99.78^{A}	99.90^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.85^{A}	99.90^{A}	99.86^{A}	99.90^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.86^{A}	99.78^{A}	99.85^{A}	99.86^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.88^{A}	99.83^{A}	99.87^{A}	99.87^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 40 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง

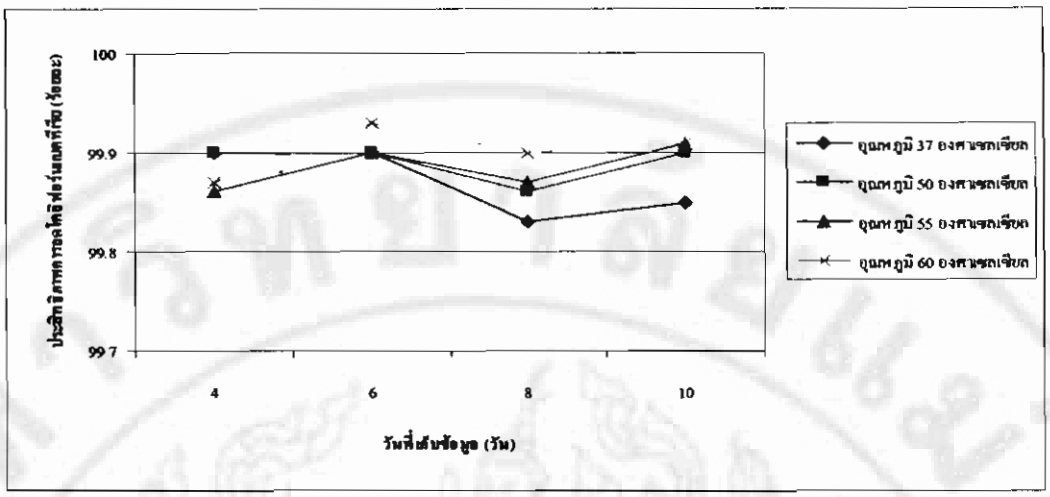
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงใน ตาราง 42 และ ภาพ 41

ตาราง 41 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทั้งระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง

การทดลองทั้งระบบ	ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ร้อยละ)			
	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 37 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.90^{A}	99.90^{A}	99.83^{A}	99.85^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 50 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.90^{A}	99.90^{A}	99.86^{A}	99.90^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.86^{A}	99.90^{A}	99.87^{A}	99.91^{A}
ถังปฏิกิริยาสร้างกรด 60 ^{0}C กับสร้างก๊าซชีวภาพ 37 ^{0}C	99.87^{A}	99.93^{A}	99.90^{A}	99.91^{A}
ความแตกต่างทางสถิติ	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: อักษรภาษาอังกฤษที่กำกับตามแนวตั้งแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 41 ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่มีเวลาเก็บกักที่ 106 ชั่วโมง ของถังปฏิกิริยาสร้างกรดอุณหภูมิ 37 ^{0}C และ ที่มีเวลาเก็บกักที่ 120 ชั่วโมง ของถังปฏิกิริยาสร้างกรดอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 99.93 เนื่องจากอุณหภูมิน้ำเสียจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่สูง ทำให้เกิดการฆ่าเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ดี และน้ำเสียมีระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่มาก ทำให้เกิดการฆ่าเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้มาก ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับ Cheunbarn and Pagilla (2000) ได้ทดลองการบำบัด Sludge แบบ 2 ขั้นตอน คือ Aerobic Thermophilic และ Anaerobic Mesophilic โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 และ 15.5 วัน สามารถลดค่า VS > ร้อยละ 38 ค่า VS ที่ลดลงโดยระบบ Aerobic Thermophilic และ Anaerobic Mesophilic และระบบ Anaerobic Mesophilic และ Aerobic Thermophilic (~ร้อยละ 65) ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (~ร้อยละ 51), Fecal Coliform จาก 10^{8} MPN/gTS ลดลงเหลือ 10^{3} MPN/gTS ส่วนชุดควบคุมเหลือประมาณ 10^{6} MPN/gTS, ค่าเฉลี่ยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้โดยระบบ Aerobic Thermophilic และ Anaerobic Mesophilic = 0.61 m^{3}/KgVS ส่วนระบบ Anaerobic Mesophilic และ Aerobic Thermophilic = 0.50 m^{3}/KgVS ซึ่งชุดควบคุม = 0.52 m^{3}/KgVS , ค่าเฉลี่ยของ H_2S ของระบบ Aerobic Thermophilic และ Anaerobic Mesophilic = 133 ppm v/v , ระบบ Anaerobic Mesophilic และ Aerobic Thermophilic = 249 ppm v/v ส่วน ชุดควบคุม = 269 ppm v/v

4.3.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งระบบ

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่มีเวลาเก็บกัก 106, 113 และ 120 ชั่วโมง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตาราง 43

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการทดลองระยะเวลาเก็บกักที่ 120 ชั่วโมง จากถังปฏิกิริยาสร้างกรด 55 °C ได้ปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุดเฉลี่ย 39.7 ลิตร/วัน เนื่องจากน้ำเสียมีระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่นาน ส่งผลให้กรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสารอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปสู่ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ และ ขนาดของถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพมีขนาดใหญ่ ทำให้แบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนมีสารอาหารที่มากทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อรวมปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากทั้งถังปฏิกิริยาสร้างกรด และ ถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ในการทดลองระยะเวลาเก็บกักที่ 120 ชั่วโมง จะได้ปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับ Ghosh, et al. (1985) แสดงการผลิตก๊าซชีวภาพ จาก Pilot Scale พบว่าการย่อยสลายแบบ Anaerobic Thermophilic ได้ 0.086 m^3/kg VS และ การย่อยสลายแบบ Anaerobic Mesophilic ได้ 0.067 m^3/kg VS

ตาราง 42 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งระบบ จากการทดลองที่สภาวะในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ (ลิตร/วัน)

วันที่	ระยะเวลาเก็บกัก 106 ชั่วโมง				ระยะเวลาเก็บกัก 113 ชั่วโมง				ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง			
	37 °C	50 °C	55 °C	60 °C	37 °C	50 °C	55 °C	60 °C	37 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	17	31	33	36	30	36	36	37	32	35	38	37
2	27	31	33	35	34	36	37	39	34	37	39	39
3	31	33	37	37	32	35	39	41	37	39	36	40
4	34	35	36	37	33	40	40	38	36	36	39	40
5	34	34	34	35	33	40	39	38	34	39	40	40
6	37	37	39	39	33	37	39	41	37	37	41	39
7	34	40	38	38	35	36	38	38	37	37	42	39
8	34	37	37	37	38	38	40	40	34	36	40	40
9	34	38	38	38	34	34	36	41	36	37	41	39
10	34	38	35	35	36	35	39	40	37	37	41	42
ค่าเฉลี่ย	31.6	35.4	36.0	36.7	33.8	36.7	38.3	39.3	35.4	37.0	39.7	39.5

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุป

5.1 สรุปผลการศึกษาผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการผลิตก๊าซชีวภาพ จากถังปฏิกิริยาสร้างกรด

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 ทำการทดลอง โดยถังปฏิกิริยาสร้างกรด ที่ระยะเวลาการเก็บกัก 10 ชั่วโมง, 17 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง พร้อมทั้งรักษาระดับอุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 37, 50, 55 และ 60 ^{0}C ซึ่งความสามารถในการกำจัดของเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

- ค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ค่าความเป็นกรดด่างถังปฏิกิริยาสร้างกรดมีค่าอยู่ระหว่าง 7.02 – 7.69 กับค่าความเป็นกรดด่าง ของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดมีค่าอยู่ระหว่าง 7.03 – 7.78 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมาก
- ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ระยะเวลาเก็บกักที่ 24 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดค่าซีโอดีได้ ร้อยละ 37.61
- ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ระยะเวลาเก็บกักที่ 24 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 50 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 30.61
- ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ระยะเวลาเก็บกักที่ 24 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ ร้อยละ 99.72
- ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ยระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C ระยะเวลาเก็บกักที่ 10 ชั่วโมง ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดเฉลี่ย 11.8 ลิตร/วัน

5.2 สรุปผลการศึกษาผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการผลิตก๊าซชีวภาพ จากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ทำการทดลอง โดยถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะใช้น้ำเสียต่อเนื่องจากขั้นตอนที่ 1 มีระยะเวลาเก็บกักที่ 4, 6, 8 และ 10 วัน รักษาระดับอุณหภูมิคงที่ 37 ^{0}C ซึ่งความสามารถในการกำจัดของเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

- ค่าความเป็นกรดด่าง จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าความเป็นกรดด่าง จากน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรด ค่าความเป็นกรดด่าง ของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างกรดอยู่ระหว่าง 7.02 – 7.69 ซึ่งค่าความเป็นกรดด่าง ของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 7.32 – 8.2
- ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ระยะเวลาเก็บกักที่ 24 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 50 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดค่าซีโอดีได้ ร้อยละ 66.67
- ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ระยะเวลาเก็บกักที่ 17 ที่ระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดค่าบีโอดีได้ ร้อยละ 35.48
- ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ระยะเวลาเก็บกักที่ 10 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 50 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ ร้อยละ 99.80
- ปริมาณก๊าซชีวภาพผลิตได้เฉลี่ยที่ระดับอุณหภูมิ 55 ^{0}C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 60 ^{0}C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 25.7 ลิตร/วัน

5.3 สรุปผลการศึกษาผลการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรและการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งระบบ

ผลการทดลองตั้งแต่น้ำเสียเริ่มแรกเข้าระบบที่ถังปฏิกิริยาสร้างกรดสูบเข้ายังถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพจนกระทั่งน้ำเสียออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพ ซึ่งความสามารถในการกำจัดของเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

- ค่าความเป็นกรด - ด่าง จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าความเป็นกรด - ด่าง จากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอยู่ระหว่าง 7.02 – 7.69 และน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างกรดอยู่ระหว่าง 7.03 – 7.78 น้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 7.32 – 8.2
- ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ระยะเวลาเก็บกักที่ 120 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดค่าซีโอดีได้ ร้อยละ 78.63
- ประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ระยะเวลาเก็บกักที่ 113 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดค่าบีโอดีได้ ร้อยละ 52.38
- ประสิทธิภาพการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ระยะเวลาเก็บกักที่ 106 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดร้อยละ 99.93 , ระยะเวลาเก็บกักที่ 120 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 60 ^{0}C มีประสิทธิภาพดีที่สุดลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ ร้อยละ 99.93
- ปริมาณก๊าซชีวภาพผลิตได้เฉลี่ยที่ระดับอุณหภูมิ 55 ^{0}C ระยะเวลาเก็บกัก 120 ชั่วโมง ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 39.7 ลิตร/วัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรวิเคราะห์ค่า VS , กรดอินทรีย์ VFA
2. การศึกษาครั้งต่อไปถังปฏิกิริยาสร้างกรดไม่ควรให้เกิดก๊าซชีวภาพ

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. กรุงเทพ: ม.ป.พ. 645น.

ธาดา ฉัตรธานี. 2531. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอน. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 135 น.

ลัดดา สาครมณีรัตน์. 2532. การกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำด้วยบ่อหมักไร้ออกซิเจนอิสระสองขั้นตอน. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 143 น.

วารุณี เตีย. 2540. เอกสารประกอบการบรรยาย : การวิเคราะห์พลังงานทางเศรษฐศาสตร์และกรณีศึกษาการประหยัดและการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : คณะพลังงานและวัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 357 น.

ปรีชา ศิริชาญ. 2545. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 453 น.

สมยศ เอื้ออกิสิทธิ์วงศ์. 2536. การกำจัดขยะจากตลาดสดโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบ 2 ขั้นตอน. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 283 น.

อโณชา เลาศรีรัตนชัย. 2531. การจัดการมูลสุกรในฟาร์ม. สุกรสาสน์. 2524 ,(159) : 53 -63.

Alexiopn, I. E., G. K. Anderson, and Evision. 1994. Design of pre – acidification reactors for the anaerobic treatment of industrial wastewaters. **Water Science & Technology.** 29(9): 199–204.

Bition, G. 1994. **Wastewater Microbiology**. Gaineswille: Department of Environmental Engineering Science University of Florida . Wiley – Liss, Inc.

Cecchi, F., P. Pavan ., A. Musacco., J. Mata – Alvarez. and G. Vallin. 1993. Digesting the organic fraction of municiple solid waste. **Waste Management & Research** 10: 435 - 443

Cheng, Z. T. and N. Tatsuya. 1991. Comparison of one – phase and two –phase anaerobic digestion in characteristics of substrate degradation and bacterial population levels. **Water Science & Technology** 23: 1157-1166.

Cheunbarn, T. and R. P. Krishna. 2000. Aerobic thermophilic and anaerobic mesophilic treatment of sludge. **Journal of Environmental Engineering.** 126(9): 790–795.

Cheunbarn, T. and R. P. Krishna. 2000. Anaerobic thermophilic /mesophilic dual stage sludge treatment. **Journal of Environmental Engineering.** 126(9): 796–801.

Cohen, A., R. J. Zoetemeyer, A. Deurson. and J. G. Andel. 1979. Anaerobic digestion of glucose with seperated acid production and methane formation. **Water Research.** 13: 571–580.

Cohen, A., A. M. Breure, J.G. Andel, and A. Deurson. 1980. Influence of phase seperation on the anaerobic digestion of glucose–1 : maximum COD – turnover rate during continuous operation. **Water Research.** 14: 1439–1448.

Ghosh, S., J. P. Ombregt. and P. Pipyn. 1985. Methane production from industrial wastes by two –phase anaerobic digestion. **Water Research.** 19: 1083–1088.

Gomez, J. and G. Goma. 1986. Effect of different inoculm levels of heterogeneos mixed culture in acidogenic fermentation. **Biotechnology Letters.** 8(11): 833-836.

Harris, W. L. and R. R. Dague. 1993. Comparative performance of anaerobic filter at mesophilic and thermophilic temperatures. **Wat. Environmental Research.** 65: 764 – 770.

Henry., J. G., D. Prasad. and H. Young. 1986. Removal of organics from leachates by anaerobic filter. **Water Research.** 22(11): 1395 – 1399.

Hong, C. M. 1985. Studies on the quanty and quality of hog excrement. **Journal of Biomass Energy Society of Taiwan.** 4: 81–91.

Keenan, P. J., J. Iza, and M. S. Switzenbaum. 1993. Inorganic solids development in a pilot scale anaerobic reacter treating municipal solid waste landfill leachate. **Journal of Water Environmental Research.** 65: 181–187.

Kiely, G., G. Tayfur., C. Dolan. And K. Tanji . 1997. Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organic waste. **Water Research.** 31: 534 – 540.

Koster, l. W. 1984. Liquefaction and acidogenesis of tomatoes in an anaerobic two – phase solid waste treatment system. **Agricultural Waste Research.** 17(8): 903-909.

Malina, J. F. and F. G. Pohland. 1992. Design of anaerobic process for the treatment of industrial and municipal wastes. **Water Quality Management Library.** 7: 131.

Metcalf and Eddy. 1991. **Wastewater Engineering Treatment and Disposal Reuse.** 3rd New York: McGraw Hill. 386.

Mtz.–Viturtia, A., J. Mata–Alvarez, and F. Cecchi. 1995. Two – phase continuous anaerobic digestion of fruit on vegetable waste. **Resources Conservation and Recycling.** 3: 257–267.

Mudrack, K. and S. Kunst. 1986. **Biology of Sewage Treatment and Water Pollution Contral.** New York: Ellishor Wood Limited.

Mueller, J. A. and J. G. Mancini. 1977. **Anaerobic Filter Kinetrics and Application.** 20th PIWC. ANN ARBORS science.

Ng., W. J. 1989. Treatment of wastewater with the sequencing batch system. p.261 in **2nd IAWPRC Asian Conference on Water Pollution Control.** Bangkok.

Nobunhiro, A. and K. Mitsuo. 1991. Development of high performance thermophilic two – phase digestion process. **Water Science & Technology.** 23: 1147-1156.

Oleszkiewicz, J. A. and H. M. Poggi. 1997. High – solids anaerobic digestion of mixed municipal and industrial waste. **Journal of Engineering.** 8: 1087 -1092.

Pavan, P., P. Battistoni, F. Cecchi, and J. Mata–Alvarez. 1999. Two-phase anaerobic digestion of sourse sorted OFMSW. p. 91-98. In **Performance and Kinetics Study: II Internationnal Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste II.** ISAD-SW. IAWQ, Barcelona.

Polprasert, C. 1989. **Organic Waste Recycling.** New York: John Wiley & Sons.

Shin, H. S., B. U. Bae, J. J. Lee, and B. C. Paik. 1991. Anaerobic Digestion of Distillery Wastewater in a Two – Phase UASB System. pp. 887–895. In **Sixth International Symposium on Anaerobic Digestion:** 11 – 16 May 1991. Sao–Paulo, Brazil.

Toshiya, K., H. Keisuke, and M. Tomonore. 1991. Prevention of lipid inhibition in anaerobic processes by introducing a two – phase system. **Water Science & Technology.** 23: 358–416.

Vinas, M. 1993. Advantages of anaerobic reactor for TMP wastewater with seperated aeidogenic and metanogenic Ssages. **Environmental Technology.** 14: 995–1000.

Wang, Z. and C. J. Banks. 1999. Effect of temperature on the degradation of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) using a stage anaerobic process and a two stage anaerobic–aerobic system. p. 85 – 88. In 2nd International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. II ISAD-SW. IAWQ, Barcelona.

Werner, U., U. Stohr, and N. Hees. 1989. **Biogas Plant in Animal Hasbandry.** Deutsches Zentrum fur Entwicklungestechnologien GATE Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit(GTZ) , GmbH.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตารางภาคผนวก 1 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 37 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
<u>วันที่4</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.38	7.26	7.26
ซีโอดี	22,360	16,555	6,665
บีโอดี	6,450	4,800	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	9×10^{6}	9×10^{5}	2.8×10^{4}
<u>วันที่ 6</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.69	7.78	8.17
ซีโอดี	25,800	18,060	7,525
บีโอดี	6,900	5,250	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^{7}	9×10^{5}	4.3×10^{4}
<u>วันที่ 8</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.59	7.10	7.49
ซีโอดี	25,370	17,845	7,310
บีโอดี	6,900	5,100	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^{7}	9×10^{5}	4.3×10^{4}
<u>วันที่ 10</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.43	7.27	7.61
ซีโอดี	24,940	17,630	6,880
บีโอดี	6,750	5,100	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.4×10^{7}	7.5×10^{5}	3.9×10^{4}

ตารางภาคผนวก 2 ค่าพารามิเตอร์ ถังสร้างปฏิกิริยากรดที่อุณหภูมิ 37 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
<u>วันที่ 4</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.60	7.64	8.20
ซีโอดี	20,640	13,975	5,590
บีโอดี	6,300	4,800	3,300
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	4.3×10^{5}	1.4×10^{4}
<u>วันที่ 6</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.25	7.48	7.61
ซีโอดี	27,520	19,780	8,170
บีโอดี	7,350	5,400	4,050
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	4.3×10^{7}	1.5×10^{6}	6.4×10^{4}
<u>วันที่ 8</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.02	7.31	7.44
ซีโอดี	20,210	13,760	5,160
บีโอดี	6,300	4,650	3,300
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	3.9×10^{5}	1.4×10^{4}
<u>วันที่ 10</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.35	7.62	7.91
ซีโอดี	27,090	18,490	7,740
บีโอดี	7,200	5,250	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^{7}	1.4×10^{6}	3.9×10^{4}

ตารางภาคผนวก 3 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 37 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
วันที่ 4			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.46	7.30	7.32
ซีโอดี	27,520	18,275	7,525
บีโอดี	7,350	5,250	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	4.3×10^7	1.5×10^6	4.3×10^4
วันที่ 6			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.48	7.58	7.79
ซีโอดี	27,090	18,060	7,310
บีโอดี	7,200	5,250	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^7	1.4×10^6	3.9×10^4
วันที่ 8			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.38	7.41	7.69
ซีโอดี	22,790	15,910	5,590
บีโอดี	6,450	4,650	3,600
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^6	3.9×10^5	1.1×10^4
วันที่ 10			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.28	7.39	7.43
ซีโอดี	25,370	17,630	6,880
บีโอดี	6,900	5,100	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	7.5×10^5	2.3×10^4

ตารางภาคผนวก 4 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 50 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
วันที่ 4			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.38	7.19	7.31
ซีโอดี	22,360	16,125	6,450
บีโอดี	6,450	4,800	3,600
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	9×10^6	7.5×10^5	2.3×10^4
วันที่ 6			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.69	7.78	7.91
ซีโอดี	25,800	17,845	7,095
บีโอดี	6,900	5,100	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	9×10^5	3.9×10^4
วันที่ 8			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.59	7.64	7.56
ซีโอดี	25,370	17,630	6,880
บีโอดี	6,900	5,100	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	9×10^5	3.9×10^4
วันที่ 10			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.43	7.33	7.74
ซีโอดี	24,940	16,770	6,450
บีโอดี	6,750	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.4×10^7	7.5×10^5	2.8×10^4

ตารางภาคผนวก 5 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 50 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
<u>วันที่ 4</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.60	7.74	8.08
ซีโอดี	20,640	13,335	5,375
บีโอดี	6,300	4,800	3,300
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	3.9×10^{5}	9.3×10^{3}
<u>วันที่ 6</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.25	7.69	7.83
ซีโอดี	27,520	18,920	7,740
บีโอดี	7,350	5,250	4,050
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	4.3×10^{7}	1.1×10^{6}	4.3×10^{4}
<u>วันที่ 8</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.02	7.48	7.96
ซีโอดี	20,210	13,330	4,945
บีโอดี	6,300	4,650	3,150
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	3.9×10^{5}	9×10^{3}
<u>วันที่ 10</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.35	7.68	7.91
ซีโอดี	27,090	18,060	7,310
บีโอดี	7,200	5,100	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^{7}	1.1×10^{6}	3.9×10^{4}

ตารางภาคผนวก 6 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 50 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
<u>วันที่ 4</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.46	7.26	7.27
ซีโอดี	27,520	17,415	7,310
บีโอดี	7,350	5,100	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	4.3×10^{7}	1.4×10^{6}	4.3×10^{4}
<u>วันที่ 6</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.48	7.47	7.63
ซีโอดี	27,090	17,200	7,095
บีโอดี	7,200	5,100	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^{7}	1.1×10^{6}	3.9×10^{4}
<u>วันที่ 8</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.38	7.46	7.42
ซีโอดี	22,790	15,480	5,160
บีโอดี	6,450	4,650	3,450
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	2.8×10^{5}	9×10^{3}
<u>วันที่ 10</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.28	7.22	7.30
ซีโอดี	25,370	17,200	6,665
บีโอดี	6,900	4,950	3,600
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^{7}	7.5×10^{5}	1.4×10^{4}

ตารางภาคผนวก 7 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 55 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
<u>วันที่ 4</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.14	7.46	7.48
ซีโอดี	25,800	17,630	6,880
บีโอดี	6,900	5,100	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^{7}	9×10^{5}	2.8×10^{4}
<u>วันที่ 6</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.36	7.59	7.54
ซีโอดี	24,940	16,770	6,450
บีโอดี	6,750	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.4×10^{7}	7.5×10^{5}	2.3×10^{4}
<u>วันที่ 8</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.07	7.33	7.37
ซีโอดี	22,790	15,910	6,020
บีโอดี	6,450	4,800	3,600
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	7.5×10^{5}	2.1×10^{4}
<u>วันที่ 10</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.22	7.38	7.31
ซีโอดี	26,660	17,845	6,880
บีโอดี	7,200	5,100	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^{7}	1.1×10^{6}	3.9×10^{4}

ตารางภาคผนวก 8 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 55 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
วันที่ 4			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.47	7.21	7.38
ซีโอดี	20,210	12,900	4,730
บีโอดี	6,300	4,650	3,150
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^6	3.9×10^5	9×10^3
วันที่ 6			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.31	7.16	7.34
ซีโอดี	22,790	15,480	6,020
บีโอดี	6,450	4,650	3,450
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	9×10^6	7.5×10^5	2.0×10^4
วันที่ 8			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.65	7.31	7.49
ซีโอดี	25,370	17,200	6,665
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	9×10^5	2.3×10^4
วันที่ 10			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.28	7.06	7.13
ซีโอดี	25,800	17,200	6,665
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	7.5×10^5	2.1×10^4

ตารางภาคผนวก 9 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 55 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
วันที่ 4			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.23	7.05	7.12
ซีโอดี	25,155	15,910	5,590
บีโอดี	6,750	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	7.5×10^5	2.1×10^4
วันที่ 6			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.62	7.38	7.45
ซีโอดี	26,445	17,630	6,880
บีโอดี	7,200	5,100	3,900
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^7	1.1×10^5	3.9×10^4
วันที่ 8			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.47	7.26	7.33
ซีโอดี	25,370	16,340	5,805
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	7.5×10^5	2.0×10^4
วันที่ 10			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.36	7.16	7.22
ซีโอดี	25,800	16,555	5,805
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	6.4×10^5	1.5×10^4

ตารางภาคผนวก 10 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 60 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 10 ชั่วโมง

รายการ	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
วันที่ 4			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.14	7.44	7.55
ซีโอดี	25,800	17,415	6,665
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^{7}	7.5×10^{5}	2.3×10^{4}
วันที่ 6			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.36	7.46	7.60
ซีโอดี	24,940	16,340	6,235
บีโอดี	6,750	4,950	3,600
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.4×10^{7}	7.5×10^{5}	2.1×10^{4}
วันที่ 8			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.07	7.12	7.42
ซีโอดี	22,790	15,480	5,805
บีโอดี	6,450	4,800	3,450
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	6.4×10^{5}	2.0×10^{4}
วันที่ 10			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.22	7.28	7.32
ซีโอดี	26,660	17,415	6,665
บีโอดี	7,200	5,100	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^{7}	9.3×10^{5}	2.8×10^{4}

ตารางภาคผนวก 11 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 60 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 17 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
<u>วันที่ 4</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.47	7.19	7.42
ซีโอดี	20,210	12,900	4,730
บีโอดี	6,300	4,650	3,000
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	6.4×10^{6}	2.8×10^{5}	7.5×10^{3}
<u>วันที่ 6</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.31	7.16	7.41
ซีโอดี	22,790	15,265	6,020
บีโอดี	6,450	4,650	3,300
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	9×10^{6}	6.4×10^{5}	1.5×10^{4}
<u>วันที่ 8</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.65	7.30	7.56
ซีโอดี	25,370	16,555	6,450
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^{7}	7.5×10^{5}	2.0×10^{4}
<u>วันที่ 10</u>			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.28	7.06	7.22
ซีโอดี	25,800	17,200	6,450
บีโอดี	6,900	4,950	3,600
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^{7}	6.4×10^{5}	2.0×10^{4}

ตารางภาคผนวก 12 ค่าพารามิเตอร์ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดที่อุณหภูมิ 60 °C และถังปฏิกิริยาสร้างก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
วันที่ 4			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.23	7.03	7.16
ซีโอดี	25,155	15,695	5,375
บีโอดี	6,750	4,950	3,600
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	7.5×10^5	2.0×10^4
วันที่ 6			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.62	7.33	7.45
ซีโอดี	26,445	17,415	6,665
บีโอดี	7,200	5,100	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	3.9×10^7	1.1×10^5	2.8×10^4
วันที่ 8			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.47	7.24	7.28
ซีโอดี	25,370	15,910	5,590
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	6.4×10^5	1.5×10^4
วันที่ 10			
ความเป็นกรด - ด่าง	7.36	7.18	7.22
ซีโอดี	25,800	16,340	5,805
บีโอดี	6,900	4,950	3,750
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	1.5×10^7	6.4×10^5	1.4×10^4

ภาคผนวก ข

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	ฐิตวุฒิ สุทธิปาริชาติ
เกิดเมื่อ	25 พฤศจิกายน 2517
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2537 วิศวกรรมศาสตร (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเอเชียอาคาเนย์ กรุงเทพฯ
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2541 – 2544 เทศบาลเมืองภูเก็ต ภูเก็ต