ผลของความเข้มข้นของของแข็งต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มสุกรที่ใช้เทคโนโลยีสะอาด

นางสาวปัณฑิตา บัวจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

# EFFECT OF SOLID CONTENT ON BIOGAS PRODUCTION OF CT PIG FARM

Miss Pantita Buachan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ผลของความเข้มข้นของของแข็งต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มสุกรที่ใช้เทคโนโลยีสะอาด |
| โดย | นางสาวปัณฑิตา บัวจันทร์ |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา |

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชญา นิติวัฒนานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ผลของความเข้มข้นของของแข็งต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มสุกรที่ใช้เทคโนโลยีสะอาด |
| โดย | นางสาวปัณฑิตา บัวจันทร์ |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา |

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชญา นิติวัฒนานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

ปัณฑิตา บัวจันทร์: ผลของความเข้มข้นของของแข็งต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มสุกรที่ใช้เทคโนโลยีสะอาด (EFFECT OF SOLID CONTENT ON BIOGAS PRODUCTION OF CT PIG FARM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. ขันทอง สุนทราภา, 128 หน้า.

งานวิจัยนี้แบ่งการ ศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือศึกษาผลของการ ลดปริมาณการใช้น้ำ ตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดต่อสุขภาพของสุกร (น้ำหนักสุกร) และการศึกษาผลของปริมาณของแข็งในมูลสุกรต่อสมรรถนะของ ถังปฏิกรณ์ ร่วม 2 ขั้นตอน งานวิจัยนี้เลี้ยงสุกรขุนที่หย่านมแล้วในคอกจำลอง 2 คอก คอกละ 20 ตัว คอกหนึ่งเป็นคอกที่ ใช้น้ำตามปกติเรียกว่าคอกควบคุม และอีกคอกหนึ่งมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ วิธีการล้างคอก ตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด เรียกว่าคอกที่ ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด พบว่า สุกรในคอกควบคุม ใช้น้ำเพื่อเป็นน้ำใช้ และน้ำล้างมากกว่าคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดร้อยละ 17.4 และ 56.2 ตามลำดับ แต่ต้องการน้ำเพื่อใช้เป็นน้ำดื่มน้อยกว่าคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดร้อยละ 32.0 หลังจากการเลี้ยงสุกรจนสามารถจำหน่ายได้เป็นเวลา 105 วัน ได้น้ำหนักสุกรในคอกควบคุม เท่ากับ 92 – 132 กิโลกรัม/ตัว และในคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดเท่ากับ 97 – 136 กิโลกรัม/ตัว น้ำเสียจากคอกควบคุมมีค่าของของแข็งทั้งหมด ค่าของของแข็งระเหยง่าย และค่าของของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 11,200 – 15,600**,** 5,000 – 7,250 และ 7,300 – 8,390 มก./ล. ตามลำดับ น้ำเสียจากคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีค่าของของแข็ง ทั้งสามท่ากับ 22,088 – 31,360**,** 9,860 – 17,765 และ 12,480 – 18,139 มก./ล. ตามลำดับ อัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อวัน จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่สภาวะคงที่ในช่วงวันที่ 81 – 90 ของการดำเนินการ มีค่าเท่ากับ 3.46±0.04, 2.03±0.01, 1.13±0.02 และ 0.48±0.02 ลิตร/วัน ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา...2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

## 5187203020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS : PIG FARM / CLEAN TECHNOLOGY / COMBINED TWO STAGE REACTOR / BIOGAS

PANTITA BUACHAN: EFFECT OF SOLID CONTENT ON BIOGAS PRODUCTION OF CT PIG FARM. ADVISOR: ASSOC. PROF. KHANTONG SOONTARAPA, Ph.D., 128 pp.

This research was divided into 2 parts. The first part was aimed to study the effect of water reduction according to the clean technology principle on pig health (pig weight). The second part was aimed to study the effect of solid contents in the performance of the combined 2-stage reactor. The finishing pigs were fed in 2 separated housings. There were 20 pigs each. The washing procedure in controlled group was as usual. The procedures following the clean technology (CT) guidelines in the other housing was called clean technology (CT) group. It was found that the control group consumed the water for dairy use and for washing higher than the CT group for 17.4 and 56.2%, respectively. However, the water consumption for drinking in the control group is less than the CT group for 32.0%. In feeding for 105 days before sale, the pig weight in the control group was in the range of 92 – 132 kg/head. That in the CT group was in the range of 97 – 136 kg/head. It was found that the total solid, volatile solid and suspended solid in wastewater from the control group were 11,200 – 15,600**,** 5,000 – 7,250 and 7,300 – 8,390 mg/L, respectively. Those from CT group were 22,340 – 31,360**,** 9,860 – 17,765 and 12,480 – 18,139 mg/L, respectively. The methane production rates from the combined 2-stage reactor at steady stage during experimental day of 81-90 at total solid contents of 5, 2.5, 1 and 0.5 were 3.46±0.04, 2.03±0.01, 1.13±0.02 and 0.48±0.02, respectively.

Field of Study : Environmental Science ..... Student's Signature .....

Academic Year : 2011 ..... Advisor's Signature .....

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รศ.ดร.ขันทอง สุนทราภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อีกทั้งได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในตัวของข้าพเจ้าและการทำงานวิจัย ด้วยความเอาใจใส่ สนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์, ผศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์, ผศ.ดร.สุชญา นิติวัฒนานนท์ และ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณกองทุน 90 ปีแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภชน์รุ่นที่ 14 ที่มอบทุนวิจัยให้แก่งานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณสรพหล นิติกาญจนา รองกรรมการผู้จัดการ บริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด ที่กรุณาเอื้อเฟื้อให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างมูลสุกรและคอกสุกรในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณลือชา ชาวสวน ผู้จัดการส่วนวิศวกรรมบริการ บริษัท มาลี สามพราน จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาเอื้อเฟื้อให้ความอนุเคราะห์ ในการเก็บเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นอำนวยความสะดวกการเข้าไปปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณรวมทั้งเพื่อนๆพี่ๆน้องๆที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ให้กำเนิดสนับสนุนอบรมสั่งสอนและมอบความรักให้ข้าพเจ้าจนสามารถเป็นบุคคลากรที่ดีของประเทศความดีและคุณประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขออุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.1 ลักษณะน้ำเสียของฟาร์มสุกร..... 5
2.2 แก๊สชีวภาพ..... 8
2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anerobic digestion)..... 9
2.3.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)..... 10
2.3.2 กระบวนการอะซิโดจิเนซิส (Aciddogenesis)..... 10
2.3.3 กระนวนการอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)..... 11
2.3.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)..... 12
2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 14
2.4.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)..... 14

บทที่ หน้า

2.4.2 แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)..... 14
2.4.2.1 แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดียว (Homoacetogrnic Bacteria)..... 14
2.4.2.2 แบคทีเรียสร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ ($H_2$-Producing Acetogenic Bacteria)..... 15
2.4.3 แบคทีเรียสร้างมีเทน..... 15
2.5 ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 17
2.5.1 อุณหภูมิ……... 17
2.5.2 ความเป็นกรดด่าง(pH)……... 17
2.5.4 เวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังปฏิกรณ์....…….. 17
2.5.5 สารพิษ(Toxicants)……... 17
2.5.6 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์…..…… 18
2.5.7 อัตราการสร้างแก๊สมีเทน.....…….… 18
2.6 เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology)……... 18
2.6.1 ปัจจัยที่สำคัญในการเลี้ยงสุกรเพื่อการลดของเสียและลดการใช้ทรัพยากรที่แหล่งกำเนิด…….. 19
2.6.2 แนวทางปฏิบัติที่ดีเพื่อลดการสูญเสียทรัพยากรของฟาร์มสุกร..... 19
2.6.2.1 แนวทางปฏิบติสำหรับการทำความสะอาดคอกและโรงเรือน…….. 19
2.6.2.2 แนวทางปฏิบัติสำหรับการจัดการมูลสุกร…….. 20
2.6.2.3 แนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย… 21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21
3. วิธีดำเนินการวิจัย..... 26
3.1 การศึกษาการใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำในฟาร์มสุกร..... 26
3.1.1 คอกจำลองและการเลี้ยงสุกร..... 26
3.1.2 แนวทางปฏิบัติการใช้เทคโนโลยีสะอาด.…… 26
3.1.3 การบันทึกข้อมูลการทดลอง…..... 27
3.2 การศึกษาผลของปริมาณของแข็งในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน……..… 29
3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา..... 29

บทที่ หน้า

3.3.2 ระบบถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... 29
3.3.3 การเตรียมน้ำเสียดิบ..... 30
3.3.4 การเริ่มต้นและการเดินระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 31
3.2.5 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำออกจากระบบและอัตราการผลิตแก๊ส. 32
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล……..... 32
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 33
4.1 ผลการศึกษาการใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำ..... 33
4.2 ลักษณะสมบัติของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบถังปฏิกรณ์..... 39
4.3 ผลการศึกษาความมีเสถียรภาพของระบบในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... 40
4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย..... 45
4.5 ผลการศึกษาการเกิดแก๊สมีเทน..... 48
4.6 การเกิดปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด..... 50
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 52
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 52
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 54
รายการอ้างอิง..... 55
ภาคผนวก..... 58
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์..... 56
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ..... 72
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง..... 79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 128

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | ตารางแสดงปริมาณการผลิต การส่งออก และการบริโภคสุกร..... | 1 |
| 2.1 | ตารางแสดงลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร..... | 6 |
| 2.2 | ตารางแสดงมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร..... | 7 |
| 2.3 | ตารางแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกร..... | 8 |
| 3.1 | ตารางแสดงแนวปฏิบัติการใช้เทคโนโลยีสะอาด..... | 28 |
| 3.2 | ตารางแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์..... | 30 |
| 4.1 | ตารางแสดงลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ..... | 39 |
| 4.2 | อัตราการเกิดแก๊สมีเทนและแก๊สชีวภาพต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่สภาวะคงที่..... | 51 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ฟาร์มสุกรบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด จังหวัดราชบุรี..... | 5 |
| 2.2 | กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน..... | 13 |
| 3.1 | ถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนที่ใช้ในงานวิจัย..... | 30 |
| 4.1 | ลักษณะคอกสุกรจำลอง..... | 33 |
| 4.2 | ปริมาณการใช้น้ำแต่ละประเภทของแต่ละกลุ่มทดลอง (ก) ลิตรต่อตัว (ข) ลิตรต่อวัน..... | 35 |
| 4.3 | น้ำหนักสุกรของแต่ละกลุ่มทดลอง..... | 36 |
| 4.4 | การเจริญเติบโตของสุกรจากคอกควบคุมเปรียบเทียบกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด..... | 37 |
| 4.5 | ปริมาณของแข็งทั้งหมดของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด | 38 |
| 4.6 | ปริมาณของแข็งระเหยง่ายของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด..... | 38 |
| 4.7 | ปริมาณของแข็งแขวนลอยของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด..... | 39 |
| 4.8 | ระยะเวลาการเกิดแก๊สมีเทนในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนที่ปริมาณของแข็งต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 41 |
| 4.9 | ระดับอุณหภูมิในส่วนขั้นตอนการสร้างกรดของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 43 |
| 4.10 | ค่า pH ของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน (ก) ในส่วนการสร้างกรด (ข) ในส่วนการสร้างมีเทน..... | 43 |
| 4.11 | ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 44 |
| 4.12 | สภาพความเป็นด่างทั้งหมดของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 44 |
| 4.13 | ค่า TKN ของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 45 |
| 4.14 | ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 46 |
| 4.15 | ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 47 |
| 4.16 | ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 47 |
| 4.17 | ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 48 |
| 4.18 | สัดส่วนของแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพที่ได้จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... | 49 |

4.19 อัตราการเกิดแก๊สมีเทนจากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... 49
4.20 อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน..... 50
4.21 อัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด.…..……..... 51

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำเป็นปัญหาที่มีความสำคัญในทุกประเทศ ฟาร์มสุกรส่วนใหญ่มักตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำแล้วระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง โดยฟาร์มสุกรขนาดกลาง และขนาดใหญ่ถูกบังคับให้ต้องจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2545 [1] แต่การจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีที่แหล่งกำเนิดด้วยหลักการเทคโนโลยีสะอาดเป็นมาตรการที่ดีกว่าที่จะช่วยลดผลกระทบต่อคุณภาพแหล่งน้ำ นอกจากนี้การเพิ่มพลเมืองของประเทศไทยทำให้ความต้องการบริโภคโปรตีนจากเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 1.1 โดยร้อยละ 95 ของปริมาณการผลิตใช้บริโภคภายในประเทศ ถึงแม้ปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2554 จะลดลงเนื่องจากปัญหาโรคทางระบบสืบพันธุ์และระบบทางเดินหายใจ (Procine Reproductive and Respiratory Syndrome: PRRS) ที่เกิดขึ้นในระหว่างปี 2554 แต่สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยศูนย์สารสนเทศการเกษตร พยากรณ์ว่าปี 2555 จะมีการผลิตสุกรเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.53 ทำให้มีปริมาณของเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรและทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น

**ตารางที่ 1.1** ตารางแสดงปริมาณการผลิต การส่งออก และการบริโภคสุกร [2]

| ปี | | 2550 | 2551 | 2552 | 2553 | 2554 | 2555 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ปริมาณการผลิต | (ล้านตัว) | 13.545 | 12.088 | 11.771 | 12.099 | 11.894 | 12.314 |
| | (ล้านตัน) | 1.084 | 0.967 | 0.942 | 0.968 | 0.952 | 0.985 |
| ปริมาณการส่งออก | (ตัน) | 8,368 | 9,917 | 9,264 | 9,724 | 11,500 | 12,000 |
| ปริมาณการบริโภค | (ล้านตัน) | 1.110 | 0.952 | 0.886 | 0.922 | 0.900 | 0.912 |

ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรประกอบด้วย เศษอาหาร มูล ปัสสาวะ น้ำล้างคอก แก๊ สต่าง ๆ และสารระเหยที่มีกลิ่นจากการสลายตัวของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่าย การนำของเสียมาหมักในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน เป็นการกำจัดของเสียทางเลือกหนึ่งที่มีผู้นิยมนำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง [3] ซึ่งนอกจากจะทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นแล้วยัง ได้แก๊ส ชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนภายในฟาร์ม การบำบัดแบบนี้เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง และไม่

เกิดตะกอนในระบบมากจนเป็นภาระในการกำจัดต่อไป แต่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีสารอินทรีย์เหลืออยู่มาก ทำให้มีปัญหาในการบำบัดขั้นต่อไป ฟาร์มสุกรบางแห่งปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการหมักจากบ่อหมักออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย กลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค และมีการร้องเรียนตามมา [4]

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) คือกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนด้วยจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ ที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยขั้นตอนแรกจะเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และกรดไขมัน ขั้นที่สองเป็นการเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids, VFA) ด้วยจุลินทรีย์สร้างกรด (Acidogenesis และ Acetogenesis) และขั้นสุดท้ายเป็นกระบวนการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายเป็นแก๊สชีวภาพด้วยจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methanogenesis) [3]

โดยทั่วไปฟาร์มสุกรจะมีการล้างคอกวันละ 1 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างคอกประมาณวันละ 10 - 20 ลิตรต่อสุกร 1 ตัว ฟาร์มสุกรขนาดเล็กจะใช้น้ำประมาณ 20 ลิตรต่อตัวต่อวัน ขณะที่ฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่จะใช้น้ำ 15 และ 10 ลิตรต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ [5] การใช้น้ำในปริมาณมากของฟาร์มสุกร ทำให้ประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนลดลง และจากปัญหาการคลาดแคลนน้ำจืดที่รุนแรงมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงสนใจการใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดที่รู้จักกันมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วจากเชิงทฤษฎีเป็นเชิงปฏิบัติ เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำในการล้างคอกสุกร นอกจากนั้นยังคาดหวังว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้ได้แก๊สชีวภาพมากขึ้น

**1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของมูลสุกรต่อปริมาณการเกิดแก๊สมีเทนจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. เพื่อเสนอแนวปฏิบัติเทคโนโลยีสะอาดลดการใช้น้ำในฟาร์มสุกร

**1.3 ขอบเขตของการวิจัย**

1. ได้รับความอนุเคราะห์สุกรและคอกจากบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์จำกัด จังหวัดราชบุรี
2. ใช้ปฏิกูลสุกรจากบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์จำกัด จังหวัดราชบุรี ทั้งในการศึกษาผลของความเข้มข้นของมูลสุกร และในการศึกษาผลของแนวปฏิบัติเทคโลยีสะอาด
3. ศึกษาผลของปริมาณของแข็งต่อการเกิดแก๊สมีเทน ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่ออกแบบโดยงานวิจัยก่อนหน้านี้ [6] ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 1, 0.5 และ 0.2
4. วิเคราะห์สมบัติของมูลสุกร ดังนี้
    - ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids)
    - ปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (Volatile solids)
    - ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก
    - ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)
    - บีโอดี (Biological Oxygen Demand)
    - พีเอช
    - ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด
    - ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด
    - อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
5. วิเคราะห์สมบัติของน้ำเสียเข้า – ออก จากระบบถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ดังนี้
    - ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids)
    - ปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (Volatile solids)
    - ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)
    - บีโอดี (Biological Oxygen Demand)
    - อุณหภูมิ
    - พีเอช
    - ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid)

- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total kjeldahl Nitrogen)
- สภาพด่างทั้งหมด (Total alkalinity, TAlk)

6. ศึกษาอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพและองค์ประกอบแก๊สชีวภาพ

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. เพิ่มอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ
2. สามารถกำจัดขยะของเสียในฟาร์มสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ทราบผลของปริมาณของแข็งที่มีต่อประสิทธิภาพการเกิดแก๊สมีเทนด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน
4. สามารถลดการใช้น้ำในฟาร์มสุกรด้วยระบบเทคโนโลยีสะอาด และประยุกต์ใช้กับฟาร์มเลี้ยงสุกรทั้งในระดับเกษตรกรและอุตสาหกรรม

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ปริมาณของสิ่งขับถ่ายและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มสุกรแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ขนาดของฟาร์มหรือจำนวนสัตว์ยืนคอก ลักษณะอาหารและวิธีการให้อาหาร ขนาดของสุกร ชนิดของสัตว์และประเภทสัตว์ที่เลี้ยง ลักษณะโรงเรือนที่ใช้เลี้ยงสุกรและระบบการจัดการของเสีย วิธีการทำความสะอาดคอกและปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง /ทำความสะอาด ขณะที่กรมปศุสัตว์รายงานว่า ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว พันธุ์ อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อยอาหาร สิ่งแวดล้อม และการจัดการเกี่ยวกับของเสีย ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะโรงเรือนและความเป็นอยู่ของสุกรในฟาร์มสุกรของบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จังหวัดราชบุรี ซึ่งจัดเป็นฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ และใช้เป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้

**<u>ภาพที่ 2.1</u>** ฟาร์มสุกรบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด จังหวัดราชบุรี

ลักษณะน้ำเสียของฟาร์มสุกรโดยทั่วไป [7] ดังแสดงในตารางที่ 2.1 มีความเข้มข้นสูงมาก ทั้งในรูปบีโอดี และธาตุอาหาร ซึ่งเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำปิด หรือแม่น้ำ จะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชั่น จากการมีธาตุอาหารไนโตรเจน และ/หรือฟอสฟอรัสมากเกินไป ในประเทศไทยพบปัญหา

ยูโทรฟิเคชัน หรือแอลจี หรือสาหร่ายสะพรั่ง หรือที่เรียกกันว่า ขี้ปลาวาฬ ในหลายพื้นที่แล้ว เช่น ที่ศรีราชา ชะอำ หัวหิน กว๊านพะเยา บึงแก่นนคร (ขอนแก่น) และเมื่อต้นปี พ.ศ. 2543 ก็ได้เกิดปัญหาแพลงตอนพืชสะพรั่งขึ้น ที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ กินบริเวณกว้างกว่า 3 กิโลเมตรตามชายฝั่งทะเลปากแม่น้ำ [8] ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการควบคุมการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยกรมควบคุมมลพิษเพื่อให้มีการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดี ก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งมีค่ากำหนดดังแสดงในตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.1** ตารางแสดงลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร [7]

| พารามิเตอร์ | ค่าพารามิเตอร์ |
|---|---|
| อัตราการเกิดน้ำเสีย | 10 – 20 ลิตร/ตัว/วัน |
| บีโอดี | 1,500 – 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร |
| ซีโอดี | 4,000 – 7,000 มิลลิกรัม/ลิตร |
| ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด | 2,000 – 4,800 มิลลิกรัม/ลิตร |
| ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น | 400 – 800 มิลลิกรัม/ลิตร |
| ฟอสฟอรัสทั้งหมด | 8 – 17 มิลลิกรัม/ลิตร |
| ความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอช | 6 - 8 |

**ตารางที่ 2.2** ตารางแสดงมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร [5]

| พารามิเตอร์ | หน่วย | ค่าสูงสุด | |
|---|---|---|---|
| | | ประเภท ก. | ประเภท ข. |
| ความเป็นกรดและด่าง | - | 5.5-9 | 5.5-9 |
| บีโอดี | มิลลิกรัมต่อลิตร | 60 | 100 |
| ซีโอดี | มิลลิกรัมต่อลิตร | 300 | 400 |
| ของแข็งแขวนลอย | มิลลิกรัมต่อลิตร | 150 | 200 |
| ทีเคเอ็น | มิลลิกรัมต่อลิตร | 120 | 200 |

หมายเหตุ : ประเภท ก ฟาร์มขนาดใหญ่ (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรตั้งแต่ 5,000 ตัวขึ้นไป)

ประเภท ข ฟาร์มขนาดกลาง (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรในช่วง 500 – 5,000 ตัว)

เมื่อของเสียจากฟาร์มที่มีสารอินทรีย์ในระดับสูงไหลลงแหล่งน้ำ จะมีกลไกทางธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์เกิดขึ้น คือ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำ เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำถูกใช้ในการย่อยสลาย สารเคมีเชิงซ้อนที่เป็นส่วนประกอบจะถูกเปลี่ยนเป็นสารออกไซด์เชิงเดี่ยวจำพวก $CO_2$, NO, $SO_4$, $PO_4^-$ และสารอื่น ๆ ออกซิเจนจึงน้อยลงตามลำดับจนหมด ส่งผลให้ปลา/สัตว์น้ำอื่น ๆ ขาดออกซิเจนที่จำเป็นต่อชีวิตและตายในที่สุด การปนเปื้อนของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียอิสระหรือแอมโมเนียมไอ ออน ($NH_3/NH_4^+$) ก็เพิ่มการใช้ออกซิเจนโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย เพื่อเปลี่ยน $NH_3/NH_4^+$ เป็นไนไตรท์ ( $NO_2^-$) และไนเตรท ( $NO_3^-$) ในกระบวนการ Nitrification ส่วน Blue-green algae ที่ได้รับไนโตรเจนสูงในน้ำที่ไหลช้าสามารถเป็นพิษต่อผู้ใช้น้ำได้ [9]

ในมูลสุกรมีปริมาณธาตุอาหารซึ่งเป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยธาตุอาหารบางชนิดอยู่ในระดับที่สูงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งหากได้รับการบำบัดด้วยวิธีการที่ถูกต้องและสามารถนำธาตุอาหารเหล่านี้มาใช้ในทางที่เกิดประโยชน์เช่น การทำเป็นปุ๋ย หรือ การผลิตแก๊สชีวภาพจะสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

**<u>ตารางที่ 2.3</u>** ตารางแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกร [10]

| ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกร | | |
|---|---|---|
| ความเป็นกรด – ด่าง (pH) | | 6.9 |
| ธาตุอาหารหลัก (เปอร์เซ็นต์) | ไนโตรเจน | 2.83 |
| | ฟอสฟอรัส | 16.25 |
| | โพแทสเซียม | 0.11 |
| ธาตุอาหารรอง (เปอร์เซ็นต์) | แคลเซียม | 8.11 |
| | แมกนีเซียม | 2.42 |
| | กำมะถัน | 0.144 |
| ธาตุอาหารเสริม (ppm) | เหล็ก | 8.500 |
| | แมงกานีส | 970 |
| | สังกะสี | 2,600 |
| | ทองแดง | 1,650 |
| ธาตุอาหารเสริม (ppm) | โบรอน | 36 |
| | โมลิบดินัม | 20 |
| | คลอรีน | 1,270 |
| โซเดียม (เปอร์เซ็นต์) | | 0.711 |

**2.2 แก๊สชีวภาพ (Biogas)**

ระบบบำบัดน้ำเสียมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนกับระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบบำบัดที่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง เช่น น้ำเสียจากฟาร์มสุกร แต่ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกรณ์ขึ้นมาเรื่อย ๆ จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำ ๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน [3] เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่ไม่ต้องมีการเติมอากาศ จึงทำให้ประหยัดพลังงาน และยังสามารถผลิตแก๊สชีวภาพ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานความร้อน

แก๊สชีวภาพ ประกอบด้วยแก๊สมีเทน ( Methane) เป็นส่วนใหญ่ มีสมบัติติดไฟได้ ซึ่งมีประโยชน์ทางเศรษฐกิจ และสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ แก๊สมีเทนบริสุทธิ์ให้ค่าความร้อนประมาณ 35,800 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร แก๊สชีวภาพที่มีสัดส่วนแก๊สมีเทนร้อยละ 65 ให้ค่าความ ร้อนประมาณ 22,400 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณความร้อนของแก๊สชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) หรือระดับความบริสุทธิ์ของแก๊สชีวภาพ แก๊สธรรมชาติที่มีส่วนผสมของแก๊สมีเทน โพรเพนและบิวเทน ให้ค่าความร้อนประมาณ 37,300 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร [11]

**2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน(Anaerobic digestion) [3]**

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน ของสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน และไขมัน ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จะถูกย่อยสลายจนให้ได้แก๊สผสมที่ประกอบด้วยแก๊สมีเทน ($CH_4$) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) เป็นส่วนใหญ่ โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นตัว ให้อิเล็กตรอน และใช้ตัวรับอิเล็กตรอนได้แก่ ไนเตรท ซัลเฟต หรือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะย่อยสลายสารอินทรีย์ ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการประกอบด้วยแก๊สมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สอื่นๆ ดังสมการ (1)

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายโดยหากตัวรับอิเล็กตรอนเป็นไนเตรตจะเป็นปฏิกิริยา Denitrification หากเป็นซัลเฟตจะเป็นปฏิกิริยา Sulfate Reduction และหากเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นปฏิกิริยา Methanogenesis

$$\text{ORGANIC MATTER} \xrightarrow{\text{Microorganisms}} CH_4 + CO_2 + H_2 + NH_3 + H_2S \qquad \text{-----(1)}$$

ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน

หากทำการพิจารณาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยทั่วไปที่ผลิตมีเทน จุลชีพที่โดดเด่นที่สุดคือกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน

ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

**2.3.1 ขั้นตอนที่ 1** กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการการแตกสลายโพลีเมอร์ (Polymer Breakdown) ในขั้นนี้เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน ในกระบวนการนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นสารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายหรือทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลงเท่านั้น ยังไม่มีการลด COD [3]

**2.3.2 ขั้นตอนที่ 2** กระบวนการแอซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำ ที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนอิสระ (Facultative Bacteria) ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยกระบวนการเฟอร์เมนเตชัน (Fermentation) ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดแอซิติก (Acetic Acid) กรดโพร ไพโอนิก (Propionic Acid) กรดบิวทิริค (Butyric Acid) กรดวาเลริค (Valeric Acid) แบคทีเรียจำพวกนี้เรียกว่าแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid Former หรือ Non-methanogenic Bacteria) ซึ่งชนิดของแบคทีเรียจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และสภาพแวดล้อมของปฏิกิริยาด้วย

การย่อยสลายในขั้นตอนนี้มีแบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง 2 ประเภท คือ พวกที่สามารถดำรงชีพในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจนได้ (Facultative Anaerobic Bacteria) และอีกประเภทหนึ่งคือ พวกที่สามารถดำรงชีพโดยไม่ใช้ออกซิเจนเลย (Obligate Anaerobic Bacteria) ซึ่งพบมากกว่าพวกแรก การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนนี้สามารถเกิดได้ 2 ที่คือ

- การย่อยสลายภายนอกเซลล์

การย่อยสลายภายนอกเซลล์นี้จะเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียพวก Fermentative Bacteria ซึ่งจะปล่อยเอนไซม์ออกจากเซลล์ เพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและลิควิทแฟรคชันกับสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ให้อยู่ในรูปที่เซลล์ของแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ ตัวอย่างเช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันจะถูกย่อยสลายเป็น กรดอะมิโน กลูโคส และกรดไขมัน ตามลำดับ

- การย่อยสลายภายในเซลล์

สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ผ่านการย่อยสลายภายนอกมาแล้ว จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย เพื่อทำการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งผลผลิตสุดท้ายจะได้กรดระเหยง่ายโมเลกุลต่ำ เช่น พวกกรดแอซิติก กรดโพรไพโอนิก เป็นต้น ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกรดเรียกว่า แอซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

การย่อยสลายในขั้นตอนนี้ จะไม่มีการลดภาระสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำเสีย แต่เมื่อมีการสร้างไฮโดรเจน อิเล็กตรอนจะถูกส่งให้กับไฮโดรเจนไอออนเปลี่ยนเป็น แก๊สออกจากระบบ ทำให้สภาวะออกซิเดชันลดลง ซึ่งเป็นการลดภาระสารอินทรีย์ดังสมการ (2)

$$2e^- + 2H^+ \longrightarrow H_2 \qquad \text{----- (2)}$$

**2.3.3 ขั้นตอนที่ 3** กระบวนการแอซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)

แบคทีเรีย แอซิโตเจนิก (แบคทีเรียสร้าง แอซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการสับสเตรต (Substrate) เฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดแอซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่อาจใช้เป็นสับสเตรตในการผลิตแก๊สมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียแอซิโตเจนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กรดแอซิติก และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า $2x10^{-3}$ บรรยากาศ และต่ำกว่า $9x10^{-3}$ บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวทาริกและกรดโพรไพโอนิก [3]

กรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแอซิโดเจเนซิส (Acedogenesis) ให้เป็นแอซิเตท (Acetate) ฟอร์เมท (Formate) ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียโฮโมแอซิโตเจนิก (Homoactogenic Bacteria) ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้าง แก๊สมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรด ไขมันระเหย และไฮโดรเจน ในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งการสร้างแก๊สมีเทนได้

แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเรียกว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Forming Bacteria) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้อาจรวมเรียกได้ว่า เป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non - methanogenic Bacteria)

**2.3.4 ขั้นตอนที่ 4** กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

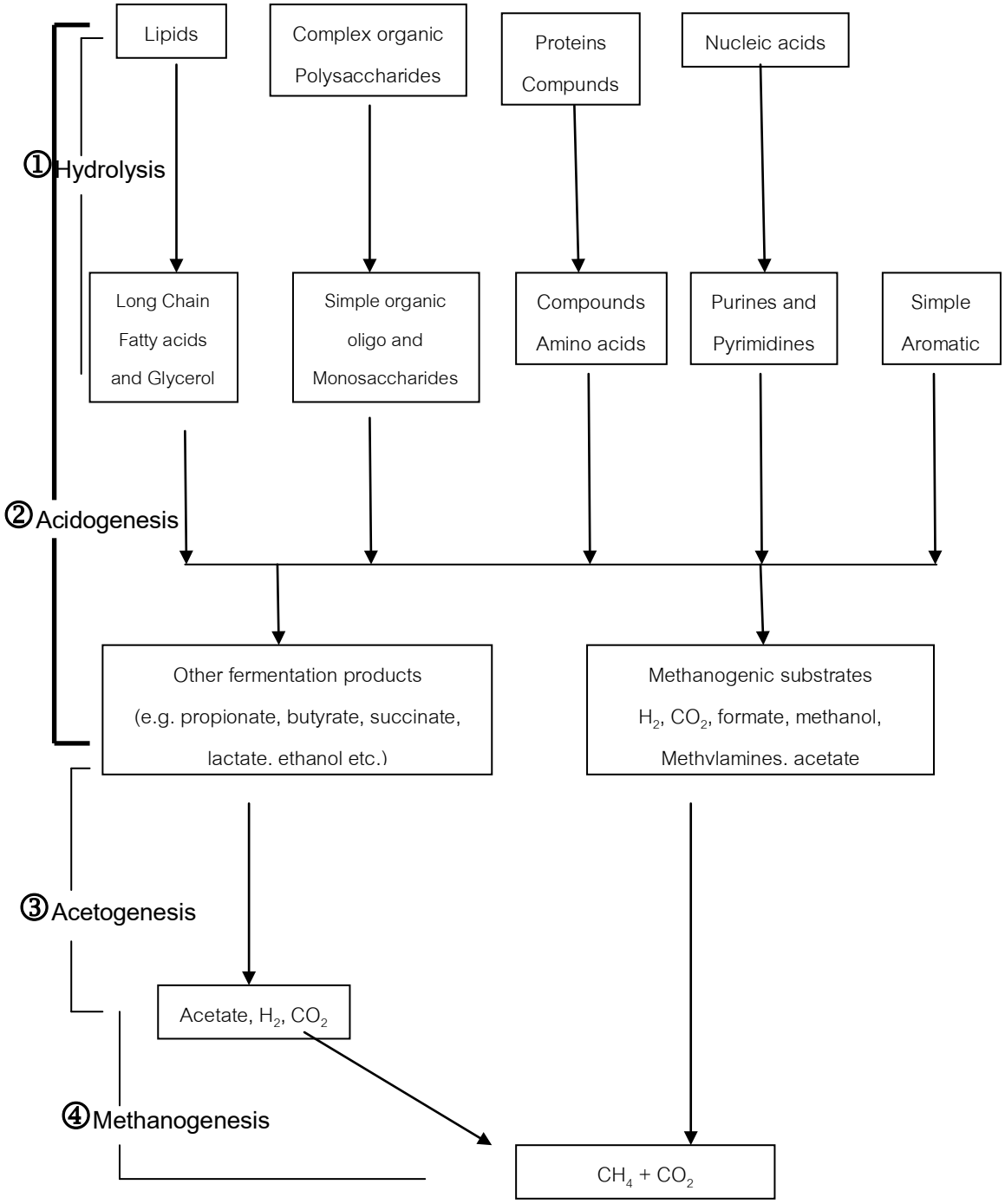
ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิค และกรดแอซิติก ซึ่งเป็นผลปฏิกิริยาของแบคทีเรียสร้างกรดและไฮโดรเจนจะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งเพื่อสร้างมีเทน แบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียที่สร้างมีเทน จะทำหน้าที่ย่อยสลายผลผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ อันได้แก่ กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์และอื่น ๆ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นการลดภาระสารอินทรีย์และได้ แก๊สมีเทนขึ้น กลไกการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ ส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาชีวเคมีของการย่อยกรดแอซิติกดังสมการ (3)

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad \text{----- (3)}$$

นอกจากนี้ยังมีแก๊สมีเทนเกิดมาจากปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่างไฮโดรเจนกับ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ (4)

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad \text{------ (4)}$$

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2.2 คือ ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis) การสร้างแอซิเตท (Acetogenesis) และ การสร้างมีเทน (Methanogenesis)




**ภาพที่ 2.2** กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน [12]

**2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน[3, 13]**

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในแต่ละขั้นตอนต้องอาศัยการทำงานที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid: VFA) แบคทีเรียสร้างแอซิเตท และแบคทีเรียสร้างมีเทน

**2.4.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)**

ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียนี้มีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียไม่ใช้ ออกซิเจน ชนิดเด็ดขาด ที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหย ก็คือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ จึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลากหลายชนิดเช่น กรดบิวทิริก กรดแอซิติก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซีโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionibacterium ที่ผลิตกรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) และกรดแอซิติกจากกรดแลกติก

**2.4.2 แบคทีเรียสร้างกรดแอซิติก (Acetogenic Bacteria)**

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน เพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดแอซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.4.2.1 แบคทีเรียผลิตแอซิเตทอย่างเดียว (Homoacetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอน และผลิตกรดแอซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ ออกซิเจน) ผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ ได้แก่ Acetobacterium woodii และ Clostridium aceticum สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโทโทรฟิก (autotrophic) คือใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดแอซิติก

$$2CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2O \quad \text{ออโทโทรฟิก}$$

อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้ โดยการหมักน้ำตาล ดังสมการข้างล่าง

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3CH_3COOH \quad \text{เฮเทอโรโทรฟิก}$$

แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส Clostridium พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมันระเหยทั่วไป (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดแอซิติก (Acetogeneic Bacteria)

2.4.2.2 แบคทีเรียสร้างแอซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ ($H_2$-Producing Acetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดแอซิติก ) หรือแอลกอฮอลล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดแอซิติกและแก๊สไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ดีแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะ เมื่อมีการสะสมของแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดแอซิติกจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดแอซิติกหยุด การเจริญเติบโตจึงต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อน แบคทีเรียสร้างกรดแอซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้ เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภค ไฮโดรเจนได้ การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดแอซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือแบคทีเรียสร้างกรดแอซิติกจะสร้างอาหารให้แก่แบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ช่วยทำลายแก๊สไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียชนิดนี้อยู่ในกลุ่ม Synthrophomonas และกลุ่ม Synthrophobacter แบคทีเรีย Synthrophomonas wolfei ย่อยกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 8 อะตอม ให้กลายเป็น กรดแอซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแบคทีเรีย Syntrophobacter wolinii จะย่อย กรดโพรไพโอนิกให้กลายเป็นกรดแอซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน

**2.4.3 แบคทีเรียสร้างมีเทน**

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเด็ดขาด ไม่อาจทนต่อออกซิเจน ได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรทรอพ ดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ อาทิ สับสเตรทประเภทคาร์บอน ไดออกไซด์ สับสเตรทประเภทเมทิล และแอซิเตท สารอาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากนี้ ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหย เช่น บิวทิริก หรือโพรไพโอนิก ซึ่งปกติเป็นสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทน ไม่สามารถนำไปใช้ได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ได้แก่

- เมทานอเจนที่บริโภคเฉพาะแอซิเตท (Obligate Acetoclastic Methanogen) เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้กรดแอซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการดังนี้

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

- เมทานอเจนที่บริโภคเฉพาะไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen หรือ Hydrogen Utilizer) เป็นแบคทีเรียที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนในการผลิตแก๊สมีเทน โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ตามสมการดังนี้

$$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

นอกจากแก๊สไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นแหล่งอาหารเพียง อย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้

- เมทานอเจนที่บริโภคได้ทั้งไฮโดรเจนและแอซิเตท (Hydrogenotrophic/Acetoclastic Methanogen) เป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดแอซิติก หรือแก๊สไฮโดรเจน แต่ใช้ไฮโดรเจนได้ดีกว่า

เสถียรภาพของระบบการผลิตแก๊สชีวภาพขึ้นอยู่กับสมดุลของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและสร้างแก๊สมีเทน จุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมากกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างกรด ดังนั้น เสถียรภาพของระบบจึงขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทน ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย อาจทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทนชะงักการ เจริญเติบโตได้ ในขณะที่จุลินทรีย์สร้างกรดยังคงเจริญได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชในระบบ มีค่าลดต่ำลง จนเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่ง ที่ทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวในที่สุด

จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรด และ Acetogens มีความสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง และอยู่ในรูปที่จุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และผลิตแก๊สมีเทนได้แล้ว ยังมีความสำคัญในการช่วยปรับ สภาวะแวดล้อมให้เป็นสภาวะรีดิวซ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของ Methanogens อีกด้วย จุลินทรีย์ที่สร้างกรดเป็นตัวช่วยลดปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบและอาจจะสร้างสภาวะรีดิวซ์จากการผลิตกรดอินทรีย์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้สภาวะในระบบเป็นสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อ Methanogens ซึ่งเป็นพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน ในขณะเดียวกัน Methanogenic Bacteria ที่อยู่ในระบบมีความจำเป็นมากสำหรับพวก Fermentative Bacteria และ Acetogens เพราะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตกรดจะส่ง ผลยับยั้งการทำงานและการเจริญของ Acid Forming Bacteria และยังอาจทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้ ตาย ดังนั้น Methanogenic Bacteria ที่มีอยู่ในระบบมักจะทำหน้าที่เป็นตัวดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ไปใช้ในการผลิตแก๊สมีเทน ทำให้ปริมาณไฮโดรเจน ในระบบลดต่ำลงอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่สร้างกรดดังนั้นจึงเป็นการควบคุมความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอชของระบบด้วย

**2.5 ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน[13]**

**2.5.1 อุณหภูมิ**

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญมากชนิดหนึ่งในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากแบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทนซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญในการย่อยสลายครั้งนี้ เป็นแบคทีเรียที่มีความไวต่ออุณหภูมิมาก ดังนั้นจึงต้องมีการระมัดระวังในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความผันแปรไม่เกิน ±5% ตัวอย่างเช่น ถังย่อยสลายแบบ ที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงจะต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 50 – 65 °C และอุณหภูมิ 52 °C เป็นอุณหภูมิที่ เหมะสมต่อการย่อยสลายมากที่สุด และถังย่อยสลายแบบอุณหภูมิปานกลางต้องใช้อุณหภูมิ ประมาณ 30 – 35 °C

**2.5.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)**

ความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายของแบคทีเรียในถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทนจะถูกยับยั้งทำให้ระบบการย่อยสลายทั้งระบบล้มเหลวได้

**2.5.3 เวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังปฏิกรณ์ (Retention time)**

เวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังปฏิกรณ์ต้องเป็นเวลาที่เหมาะสมและเพียงพอที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์

**2.5.4 สารพิษ (Toxicants)**

สารพิษที่ปนเปื้อนในน้ำมีหลายชนิด เช่น ซัลไฟด์มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน นอกจากนั้นพบว่ามีสารพิษอีกหลายชนิดปนเปื้อนในน้ำเสียที่ทำให้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนล้มเหลว และการตรวจวัดความล้มเหลวของระบบ ดังกล่าวสามารถดูได้จากปริมาณแก๊สมีเทนที่ลดลงและจากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจาก สารพิษจะทำให้จุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถเปลี่ยนสารโมเลกุลใหญ่ชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสีย กลายเป็นกรดระเหยง่าย และเปลี่ยนจากกรดระเหยง่ายไปเป็นกรดแอซิติก เพราะแบคทีเรียที่ สร้างแก๊สมีเทนและแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดิวเซอร์สามารถใช้กรดแอซิติกและแก๊สไฮโดรเจนเป็น ตัวให้อิเลคตรอนได้ แต่ถ้ามีปริมาณกรดแอซิติกจำนวนน้อยจะทำให้แบคทีเรียกลุ่มซัลเฟต รีดิวเซอร์เจริญเติบโตดีกว่าแบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทนได้ เพราะแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดิวเซอร์มี ความสามารถในการจับสารตั้งต้นหรือตัวให้อิเลคตรอนได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทน ดังนั้น ถ้ากรดแอซิติกเกิดขึ้นในปริมาณน้อยจะทำให้ขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ ออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction) ได้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และทำ ให้ระบบล้มเหลวได้

**2.5.5 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์**

เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กรดอินทรีย์จะเกิดขึ้นในขั้นตอน Acidogenesis และเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) ดังนั้นถ้าปริมาณกรดอินทรีย์ที่มีอยู่สูงกว่าปกติจะทำให้บ่งชี้ได้ว่าขั้นตอนของปฏิกิริยาการสร้างมีเทนถูกยับยั้งหรือเกิดการไม่สมดุลของกระบวนการย่อยสลายในระบบ ซึ่งจะทำให้ระบบล้มเหลวได้ โดยปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในรูปของกรดแอซิติกในระบบ ที่ดีจะอยู่ในช่วง 200 – 400 มิลลิกรัม/ลิตร

**2.5.6 อัตราการสร้างแก๊สมีเทน**

อัตราการสร้างแก๊สมีเทนเป็นเครื่องวัดกิจกรรมของแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน เป็นสิ่ง บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความสำคัญมาก เพราะถ้ามีอัตรา การสร้างแก๊สมีเทนลดลงสามารถบ่งบอกเป็นสัญญาณว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นกับกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทน

## 2.6 เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology) [14-15]

การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในอดีตส่วนใหญ่ใช้การควบคุมที่ปลายทาง หรือปลายสาเหตุ คือใช้วิธีการกำหนดมาตรฐานควบคุม แต่มาตรการดังกล่าวไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากการสร้างระบบบำบัดมีค่าใช้จ่ายสูง หากโรงงานต้องการขยายกำลังการผลิต ค่าใช้จ่ายในการ บำบัดของเสียจากโรงงานจะเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว เทคโนโลยีสะอาด เป็นแนวทางซึ่งเป็นที่ ยอมรับ ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ว่าเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมและประเทศอย่างยั่งยืน เพราะทำให้มีการใช้วัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มีการใช้ทรัพยากรอย่างประหยัด และลดปริมณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง

การนำแนวทางปฏิบัติด้าน เทคโนโลยี สะอาดมาใช้กับการเลี้ยงสุกร จะช่วยให้ผู้ประกอบการฟาร์มสุกรใช้วัตถุดิบ น้ำ เชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการช่วยลดต้นทุนการเลี้ยงสุกร เพิ่มกำไรรวมทั้งยังทำให้ของเสียและน้ำเสียลดลง เป็นผลให้ ค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียและบำบัดน้ำเสียลดลงด้วย โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง วิธีการปฏิบัติ เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย

**2.6.1 ปัจจัยสำคัญในการเลี้ยงสุกรเพื่อการลดของเสียและลดการใช้ทรัพยากรที่แหล่งกำเนิด**

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีบทบาทต่อการเลี้ยงสุกรและของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการเลี้ยง คือ คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งได้แก่

1) การคัดเลือกพันธุ์สุกรที่ดี

ควรคัดเลือกพันธุ์สุกรที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานทั้งกรณีการผลิตลูกสุกรจำหน่าย และกรณีการเลี้ยงสุกรขุน

2) การเตรียมโรงเรือนสุกร

การจัดตั้งโรงเรือนให้มีลักษณะที่ดีเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยให้สุกรมีการเจริญเติบโตที่ดี และป้องกันการติดเชื้อโรค รวมทั้งทำให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยลักษณะโรงเรือนที่ดี คือ โรงเรือนสุกรควรมีสถานที่ตั้ง การวางผังฟาร์ม และการวางผังคอกที่เหมาะสมกับระบบโรงเรือน และการ จัดการฟาร์ม

3) อาหารสำหรับเลี้ยงสุกร

ควรให้อาหารที่มีคุณภาพ คือ มีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสุกรครบทุกชนิด และมีปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการของสุกร ในระยะต่าง ๆ

**2.6.2 แนวทางปฏิบัติที่ดีเพื่อลดการสูญเสียทรัพยากรของฟาร์มสุกร [15]**

การควบคุมและป้องกันการสูญเสียทรัพยากรและการเกิดของเสียจากการเลี้ยงสุกรสามารถทำได้โดยปฏิบัติตามเกณฑ์ปฏิบัติสำหรับในทุกขั้นตอนการเลี้ยง ได้แก่

**2.6.2.1 แนวทางปฏิบัติสำหรับการทำความสะอาดคอกและโรงเรือน**

1) มีการวางผังคอกให้ถูกกับพฤติกรรมการขับถ่ายและการกินอาหารของสุก ร โดยบริเวณที่จัดเป็นที่ขับถ่ายหรือสร้างส้วมน้ำ (ซึ่งควรเป็นท้ายคอกเพื่อให้ทำความสะอาดได้ง่าย) จะต้องเป็นที่สว่าง มีการระบายอากาศที่ดี สำหรับคอกสุกรขุน ควรทำให้พื้นคอกส่วนที่ไม่ใช่บริเวณขับถ่ายแห้งอยู่ตลอดเวลา ส่วนคอกสุกรพันธุ์ควรใช้พื้นคอกแบบสแลตและด้านล่างมีการระบายอากาศที่ดี

2) เก็บกวาดและรวบรวมมูลสุกรและเศษอาหารที่หกหล่นออกจากคอก ควรทำ อย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง เพื่อป้องกันการสะสมของมูลสุกรในคอก ซึ่งสุกรจะ เหยียบย่ำ

จนยากต่อการเก็บกวาดโดยวิธีแห้ง ก่อนฉีดล้างคอก ควรฉีดพรมหรือ สเปรย์น้ำให้ทั่วพื้นคอกซึ่งจะทำให้การฉีดล้างทำได้ง่ายขึ้นและใช้น้ำน้อยลง ควร ล้างคอกและโรงเรือนสุกรอย่างน้อยทุก 2 วัน และหลีกเลี่ยงการล้างคอกในช่วง เช้ามืดเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ทำให้กลิ่นเหม็นแพร่กระจายได้ดี อาจติดอุปกรณ์ลด ขนาดปลายสายยางที่ใช้ฉีดล้างคอกเพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำที่ใช้ฉีดล้าง ซึ่งช่วยลด ระยะเวลาการล้างและลดปริมาณการใช้น้ำ

3) กรณีที่ใช้ส้วมน้ำต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันหรือทุกสองวัน พร้อมกับทำความสะอาดส้วมน้ำด้วยทุกครั้ง เติมน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของความลึกของส้วมน้ำ เนื่องจากหากเติมน้ำมากเกินไป เมื่อสุกรเข้าไปนอนแช่จะทำให้น้ำล้นออกมาทำให้พื้นคอกเปียกแฉะและเป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนี้อาจใช้น้ำจุลินทรีย์ (อีเอ็ม) ใส่ลงในส้วมน้ำเพื่อช่วยในการลดกลิ่นเหม็น

4) ทำความสะอาดรางระบายน้ำรอบโรงเรือน โดยการเก็บกวาดมูลสุกรที่ตกค้างในรางระบายน้ำอย่างน้อยวันละครั้งหลังจากการล้างคอกสุกรแล้ว

5) หมั่นตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำตามข้อต่อ และท่อน้ำพร้อมทั้งซ่อมบำรุงอุปกรณ์อย่างเสมอ

**2.6.2.2 แนวทางปฏิบัติสำหรับการจัดการมูลสุกร [14]**

1) การจัดการลานตากและโรงเก็บมูลสุกร ควรปรับปรุงพื้นของลานตากให้มีสภาพการระบายน้ำที่ดี และใช้วัสดุรองพื้น เช่น ทราย ขี้เลื้อย หรือตากบนพื้นซีเมนต์ลาดชันที่มีรางระบายน้ำเสียสำหรับรวบรวมไปบำบัด ลานตากมูลสุกรควรมีหลังคาหรือใช้ผ้าพลาสติกปิดคลุมลานตาก เพื่อป้องกันฝนและน้ำค้างในช่วง ที่ฝนตกและเวลากลางคืน ควรเกลี่ยกระจายให้ชั้นมูลสุกรมีความหนาน้อยที่สุด (ไม่ควรหนาเกิน 5 เซนติเมตร) เพื่อให้แห้งเร็วที่สุด และเก็บรวบรวมใส่ถุง เมื่อมูลสุกรแห้งรวมทั้งเก็บถุงที่บรรจุมูลแห้งในโรงเก็บที่มีหลังคาคลุม และพื้น โรงเก็บเป็นคอนกรีตยกสูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร

2) การนำมูลสุกรไปใช้ประโยชน์ หาแนวทางนำมูลสุกรไปใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด เช่น นำมูลสุกรสดไปใช้เป็นอาหารปลา นำมูลสุกรสดมาตากแห้ง ทำปุ๋ยอินทรีย์ นำมูลสุกรไปใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ

**2.6.2.3 แนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย[15]**

1) ระบบรวบรวมน้ำเสีย รางระบายน้ำเสียต้องมีความลาดชันของท้องรางไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการระบายน้ำที่ดี หากเป็นรางระบายแบบเปิดจะต้องอยู่ใต้หลังคาโรงเรือน เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำฝนกับน้ำเสีย ควรแยกรางระบายน้ำฝนออกจากรางระบายน้ำเสียเพื่อลดปริมาณน้ำเสียที่ต้องบำบัด นอกจากนี้ควรหมั่นทำความสะอาดและเก็บมูลสุกรที่ตกค้างตามรางระบายน้ำออกเป็นประจำ เพื่อให้ น้ำเสียระบายได้สะดวก รวมทั้งมีการเก็บกวาดมูลและตะกอนค้างในรางระบาย เปิดอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง และควรล้างรางระบายน้ำเสียหลังจากล้างคอกสุกร ทุกครั้ง น้ำเสียจากการล้างคอกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยน้ำได้
2) ระบบบำบัดน้ำเสีย จัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถบำบัดน้ำเสีย ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่กำหนด จัดให้มีบ่อดักมูลสุกรในบ่อแรกก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดปริมาณมูลสุกรสะสมในบ่อบำบัด และลดความสกปรกของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ยกเว้นกรณีที่ใช้ระบ บแก๊สชีวภาพ (Biogas) ที่ต้องการน้ำเสียที่มีปริมาณบีโอดีสูง ๆ เพื่อผลิต แก๊สให้ได้ปริมาณมาก ปลายท่อรวบรวมน้ำเสียจะต้องอยู่ใต้ผิวน้ำในบ่อบำบัดเพื่อป้องกันการกระจายของกลิ่น รวมทั้งกระจายน้ำเสียให้ลงทั่วทั้งบ่อหากบ่อมีขนาดใหญ่มาก อย่างไรก็ดีควรขุดลอกตะกอนเมื่อมีการสะสมของตะกอนสูงกว่าหนึ่งในสามของความลึกของบ่อ และเติมปูนขาวลงในบ่อบำบัดเมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 7 และเริ่มมีกลิ่นเหม็นรุนแรง กรณีระบบบำบัดแบบบ่อโดมคงที่ (Fixed Dome) หรือแบบพลาสติกคลุมบ่อ (Covered Lagoon) หรือแบบบ่อหมักราง และบ่อยูเอสบี หรือแบบบ่อเกรอะ-บ่อกรองไร้อากาศ จะต้องนำตะกอนออกจากบ่อหมักอย่างสม่ำเสมอ

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัญชลี (2553) [6] ศึกษาอัตราการเกิดแก๊สมีเทนและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบการย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกรกับเศษอาหารและมูลสุกรกับใบปาล์มที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 สัดส่วนของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 20 ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนและถังปฏิกรณ์เมมเบรน พบว่าถังปฏิกรณ์เมมเบรนใช้ระสิทธิภาพ การบำบัดน้ำเสียสูงกว่าถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดแก๊สมีเทน การนำเศษอาหารมาย่อยสลายร่วมกับมูลสุกรที่สัดส่วนของเศษอาหาร และสัดส่วนปริมาณ ของแข็งที่สูงขึ้นให้ อัตรา

การเกิดแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้น โดยผลการใช้ปริมาณของแข็งร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 70:30 ในถังปฏิกรณ์เมมเบรนให้สัดส่วนองค์ประกอบแก๊สมีเทนร้อยละ 59.6 และให้อัตราการเกิดแก๊สมีเทนมากที่สุดเท่ากับ 1.57±0.12 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี, ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายใน น้ำทิ้งเท่ากับ 87.5±0.9%, 47.1±1.3% และ 49.7±1.9% ตามลำดับ เมื่อนำใบปาล์มเป็นโคซับสเตรตที่ ปริมาณของแข็งร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 70:30 ในถังปฏิกรณ์เมมเบรน พบว่าให้สัดส่วน องค์ประกอบแก๊สมีเทนร้อยละ 60.5 ในอัตรา 0.86±0.09 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี, ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายใน น้ำทิ้งเท่ากับ 91.7±0.7%, 52.2±2.7% และ 43.2±1.3% ตามลำดับ

ชยันต์ (2545) [16] ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสุกร โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย พบว่าการเพิ่มปริมาตรน้ำในการไหลวนจะช่วยเพิ่มให้มีการพาสารอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ไปกำจัดในถังปฏิกรณ์ผลิตแก๊สมีเทนได้มากขึ้น และทำให้เกิดแก๊สมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตแก๊สมีเทนได้มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 40 วันแรก ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ที่อัตราการไหลวนน้ำ 2, 4 และ 6 ลิตรต่อวัน เป็น 3.1, 3.0 และ 3.3 กิโลกรัม/ลิตร ตามลำดับ ผลิตแก๊สชีวภาพได้ 38, 52 และ 135 ลิตร/กิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนการศึกษา โดยการเพิ่มความหนาของชั้นมูลสุกรจาก 10 เซนติเมตรเป็น 20 เซนติเมตร ที่อัตราการวนน้ำ 6 ลิตรต่อวัน พบว่าทำให้มีการชะสารอินทรีย์จากมูลสุกรมากขึ้น และไม่มีผลต่อการผลิตแก๊สมีเทนใน ถังปฏิกรณ์ผลิตแก๊สมีเทน แต่การเกิดแก๊สมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดลดลง เนื่องจากผลของ ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือ ที่อัตราการวนน้ำ 6 ลิตรต่อวัน ความหนาชั้นมูลสุกร 10 เซนติเมตร (ปริมาณมูลสุกร 8.4 กิโลกรัม) โดยมีประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดี สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) และของแข็งใน ถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอิน ทรีย์เป็น ร้อยละ 54, 38 และ 33 ตามลำดับ ปริมาณแก๊สชีวภาพทั้งหมด 376 ลิตร/กิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด และระยะเวลาในการหมักที่ดีที่สุดในการผลิตแก๊สชีวภาพคือ 40 วัน

ศริญญา (2546) [17] ศึกษาอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับมูลไก่ ได้ทำการทดลองด้วยการหมักโดยวิธีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในถังหมักแบบกะ มีความจุ ขณะใช้งานไม่เกิน 3.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 42 วัน โดยการทดลองแบ่งออก เป็นกรณีไม่มีการเติมกากตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ (ชุดการทดลองที่ 1) และกรณีมีการเติม กากตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ (ชุดการทดลองที่ 2) ซึ่งภายในถังหมักบรรจุมูลสุกรและมูลไก่ ใน

อัตราส่วน 2:1 จากนั้นนำมาเจือจางส่วนผสมด้วยน้ำที่ได้จากระบบ บำบัดน้ำเสียแบบ UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) ของฟาร์มสุกร เพื่อทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นในระบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.11, 8.27 และ 13.65 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า กรณีไม่มีการเติมกากตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ (ชุดการทดลองที่ 1) ไม่มีแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นในระบบ ส่วนกรณีมีการเติมกากตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ (ชุดการทดลองที่ 2) พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นในระบบมีผลต่ออัตราการเกิดแก๊สชีวภาพ คือที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 5.11 จะให้อัตราการเกิดแก๊สชีวภาพได้ดีที่สุด คือมีปริมาณแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นเท่ากับ 2,000 มล./ก. ของของแข็งระเหย และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 41.67 ยังพบว่า ที่ปริมาณกากตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 0.7 เท่าของปริมาณของมูลสัตว์ทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ จะให้อัตราการเกิดแก๊สชีวภาพได้ดีที่สุด คือมีปริมาณแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นเท่ากับ 2,792 มล./ก.ของของแข็งระเหยที่ถูกย่อยสลาย และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 50.30

Kim และคณะ (1997) [18] ศึกษาการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมการหมักสุรา โดยการหมุนเวียนของเสียจากขั้นตอนการกลั่น (Stillage) กลับมาใช้ใหม่ ทำให้ไม่มีการปล่อย ของเสียออกจากระบบเลย เนื่องจาก Stillage สามารถนำกลับไปใช้เป็น Cooking water สำหรับ การหมักครั้งต่อไปหากได้ผ่านการแยกที่เหมาะสม คือ กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้เมมเบรน เซรามิก เมื่อนำน้ำที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันกลับเข้าไปใช้ในขั้นตอนการ Cooking ระยะเวลาการหมักต้องนานขึ้นจาก 60 ชั่วโมง เป็น 70 – 80 ชั่วโมง แต่ได้ยีลด์แอลกอฮอล์ที่ร้อยละ 8.8 ใกล้เคียงกับที่ได้จากกระบวนการดั้งเดิมคือที่ร้อยละ 9.0 ในทางตรงกันข้าม หากหมุนเวียน Stillage กลับไปใช้ใหม่โดยตรงโดยไม่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน จะเกิดผลเสียต่อระยะเวลา การหมักและยีลด์แอลกอฮอล์ตามจำนวนการวนกลับไปใช้ใหม่ จากการศึกษาพบว่าการใช้ กระบวนการใหม่นี้สามารถหมุนเวียนได้ถึง 8 รอบ และยังสามารถตัดขั้นตอนการบำบัด Stillage ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน และระบบ Activated sludge ได้

Ferrer และ คณะ (2009) [19] สร้างถังหมักปฏิกูลสุกร (มูลและน้ำปัสสาวะ ) ขนาดนำร่อง 225 ลิตร เพื่อดูผลการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่อุณหภูมิบรรยากาศ โดยไม่มีการให้ ความร้อนหรือการกวนเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ใช้ในการออกแบบสำหรับเกษตรกรที่เลี้ยงสุกรกว่า 2,200 ครอบครัว ของเมือง Parque Porcino de Ventanilla ประเทศเปรู แทนการเททิ้ง และการเผา กลางแจ้ง ผลการศึกษาพบว่าได้แก๊สชีวภาพ 5.4 ลิตร/วัน และ คิดเป็น 66.1 ลิตร/กิโลกรัม ของของแข็งระเหยง่าย ในช่วงแรกการศึกษา แต่พบว่าได้ปริมาณมีเทนในแก๊สชีวภาพประมาณ ร้อยละ 20 แม้ดำเนินการแล้ว 80 วัน แสดงว่าระบบต้องการเวลาอย่างน้อย 3 เดือน เพื่อให้แบคทีเรีย สร้างแก๊สมีเทนเติบโตที่อุณหภูมิบรรยากาศ พบว่าสามารถใช้น้ำปัสสาวะแทนน้ำเปล่าในการ เจือจางมูลสุกร

โดยได้แก๊สชีวภาพ 7.7 ลิตร/วัน และคิดเป็น 76.6 ลิตร/กิโลกรัมของของแข็ง ระเหยง่าย จึงเป็นประเด็นสำคัญสำหรับพื้นที่ที่ขาดแคลนน้ำ

Hill และ คณะ (2000) [20] ศึกษาผลการผลิตแก๊สมีเทนของปฏิกูลสุกรที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ด้วยการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียล โดยน้ำเสียดิบเป็นน้ำล้างคอก และได้ผ่านตะแกรงแยกแบบสั่นขนาด 18 เมช ความเข้มข้นของของแข็งระเหยง่ายที่เข้าสู่ระบบ เท่ากับ 15 กรัมต่อลิตร ศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 5, 3, 2 และ 1 วัน ในถังหมักขนาด 300 ลิตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่ามีแก๊สมีเทนเกิดขึ้นทุกการทดลองเมื่อมี ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 3 และ 5 วัน ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 2 วัน มีแก๊สมีเทนเกิดขึ้น 2 การทดลอง แต่ไม่มีแก๊สมีเทนเกิดขึ้นทั้ง 3 การทดลอง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 1 วัน อัตราการเกิดแก๊สมีเทนอยู่ในช่วง 0.36 ถึง 0.22 ลิตรมีเทนต่อกรัมของของแข็งระเหยง่ายที่ป้อน ที่ ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 5 และ 2 วัน ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายที่ ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 5 วัน มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 51.6 และที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 2 วัน มีค่าน้อยสุดเท่ากับร้อยละ 34.5 ระดับปริมาณแอมโมเนียและปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ทั้งหม ด (TVFA) แสดงว่าการทำงานของถังหมักเป็นปกติดีทุกระยะเวลากักเก็บน้ำที่ศึกษา การได้ค่าความเป็นด่างที่ต่ำเท่ากับ 1,200 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาที่ระยะกักเก็บน้ำที่นานขึ้น ค่า TVFA น้อยกว่า 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ของกรดแอซิติก และค่า pH มากกว่า 7 จึงสรุปว่าการทดลองที่ล้มเหลวเนื่องมาจาก แบคทีเรียหลุดออกจากระบบ ไม่ใช่เนื่องมาจากภาระสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมากเกินไป

Yang และ คณะ (1998) [21] ศึกษาการใช้ระบบบำบัดต้นแบบเพื่อบำบัดปฏิกูลสุกรสำหรับคอกสุกรแม่พันธุ์จำนวน 20 – 25 ตัว ในการควบคุมกลิ่น การใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ช่วงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ศึกษาเท่ากับ ร้อยละ 4 ถึง 8 ถังหมักมีขนาดกักเก็บน้ำเท่ากับ 32 วัน น้ำเสียดิบเจือจางและน้ำออกจากถังหมัก ถูกบำบัดต่อด้วยระบบบ่อผึ่งและบ่อตกตะกอนที่มีระยะเวลาพักน้ำเท่ากับ 3 และ 4 วัน ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (TCOD) อยู่ที่ร้อยละ 89 – 95.4 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 82.3 – 88.5 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 81.2 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกใช้ในการรดน้ำทุ่งหญ้าได้โดยไม่มีกลิ่นเหม็นรบกวน และมีคุณภาพจัดอยู่ในระดับ R-3 ซึ่งเป็นคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดทุติยภูมิแต่ไม่ได้ฆ่าเชื้อโรค (Undisinfected secondary reclaimed water) ตามเกณฑ์ ของกระทรวงสาธาณสุข รัฐฮาวาย การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPW) พบว่าต้นทุน (Capital Cost) เป็น ค่าใช้จ่าย

หลักของระบบบำบัด โดยต้องเลี้ยงสุกรมากกว่า 830 ตัว พร้อมกับมีการนำแก๊สชีวภาพ ที่เกิดขึ้นมาใช้เป็นพลังงานและนำกากตะกอนที่เกิดขึ้นมาใช้ทำปุ๋ย ถึงจะทำให้ระบบบำบัด มีความคุ้มทุน

Wu และ คณะ (2010) [22] ศึกษาการย่อยสลายร่วมกับมูลสุกรของเศษพืช 3 ชนิดได้แก่ เศษฟางข้าวโพด เศษฟางข้าวโอ๊ต และเศษฟางข้าวสาลี โดยออกแบบการทดลองแบบ 3×3 (เศษพืช 3 ชนิดและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 3 ค่า) ที่มีผลต่อสัดส่วนแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพ และอัตราการผลิตแก๊สมีเทน เศษพืชถูกหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วบดเป็นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 40 เมช (0.422 มม.) ก่อนจะป้อนเข้าถังหมัก ซึ่งควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 37±1 องศาเซลเซียล ทำการทดลองนาน 25 วัน ผลการทดลองปรากฏว่าเศษพืชทั้ง 3 ชนิด สามารถเพิ่มอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพและแก๊สมีเทนได้ที่ทุกอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยเศษฟางข้าวโพดให้ผลดีที่สุดโดยได้ อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 11.4 เท่า รองลงมาคือฟางข้าวโอ๊ต (8.45 เท่า) และฟางข้าวสาลี ( 6.12 เท่า) ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 20 ต่อ 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย่อยสลายร่วมที่ได้ทำการศึกษา นอกจากนั้นยังพบว่าเศษฟางข้าวโพดให้สัดส่วนแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 68 รองลงมาคือเศษฟางข้าวโอ๊ต และเศษฟางข้าวสาลีเท่ากับร้อยละ 57 และ 47 ตามลำดับ

Xia และ คณะ (2012) [23] ได้ทำการศึกษาผลการผลิตแก๊สชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของขนไก่ร่วมกับปฏิกูลสุกร และขนไก่ร่วมกับกากตะกอนของโรงฆ่าสัตว์ ขนไก่บดถูกป้อนเข้าไปในถังหมักขนาด 42 ลิตร แล้วเกิดการย่อยสลายร่วมกับปฏิกูลสุกร หรือกากตะกอนของโรงฆ่าสัตว์ ที่ค่าของของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 37 และร้อยละ 23 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียล เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีการเติม ขนไก่ พบว่า ได้แก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 130 และ 110 ตามลำดับ ในถังหมักที่มี ปฏิกูลสุกร หรือกากตะกอนของโรงฆ่าสัตว์ร่วมอยู่ด้วย ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสีย ของถังหมักที่มีปฏิกูลสุกรหรือกากตะกอนของโรงฆ่าสัตว์ร่วมอยู่ด้วย เพิ่มขึ้นจาก 4.8 และ 3.1 กรัมต่อลิตร เมื่อตอนเริ่มต้นเป็น 6.9 และ 3.5 กรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ตามลำดับ มีการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนในระบบจากร้อยละ 12.5 เป็น 14.5 และจากร้อยละ 11.3 เป็น 13.0 ในถังหมักที่มีปฏิกูลสุกรหรือกากตะกอนของโรงฆ่าสัตว์ร่วมอยู่ด้วย ตามลำดับ แต่ปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนในถังหมักควบคุมกลับลดลง แสดงว่าขนไก่ไม่มีผลต่อ การผลิตแก๊สมีเทนของการหมักปฏิกูลสุกรหรือของกากตะกอนโรงฆ่าสัตว์ จึงกล่าวได้ว่า สามารถใช้ขนไก่ย่อยสลายร่วมกับปฏิกูลสุกรหรือกากตะกอนของโรงฆ่าสัตว์ได้

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ ศึกษาผลของการลดปริมาณการใช้น้ำตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดต่อสุขภาพของสุกร (น้ำหนักสุกร) และการศึกษาผลของปริมาณของแข็งในมูลสุกรต่อปริมาณแก๊สมีเทนและสัดส่วนแก๊สมีเทนที่ได้ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

## 3.1 การศึกษาการใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำ

สุกรขุนและสถานที่ที่ใช้เป็นคอกสุกรได้รับความอนุเคราะห์ จากบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด จังหวัดราชบุรี โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

### 3.1.1 คอกจำลองและการเลี้ยงสุกร

เลี้ยงสุกรขุนที่หย่านมแล้วในคอกจำลอง 2 คอก คอกละ 20 ตัว คอกที่ 1 เป็นคอกที่ใช้น้ำตามปกติ เรียกว่าคอกควบคุม (Control group) คอกที่ 2 เป็นคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด จากนั้นทำการเลี้ยงสุกรขุนตั้งแต่น้ำหนักเริ่มต้นคือ 20 กิโลกรัม ถึงน้ำหนักที่จำหน่ายได้เฉลี่ย 107 กิโลกรัม เป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน

ติดมิ ตอร์น้ำ คอกละ 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่หนึ่งติด ที่ท่อจ่ายน้ำที่ใช้เป็นน้ำดื่มของสุกร ตำแหน่งที่สองติดที่ท่อจ่ายน้ำใช้ในคอก (น้ำสำหรับให้สุกรแช่ท้ายคอกซึ่งต้องเปลี่ยนทุกวัน) และตำแหน่งที่สามติดที่ท่อจ่ายน้ำล้างคอก เช่นเดียวกัน ทั้ง 2 คอก จดเลขมิเตอร์น้ำทุกตำแหน่ง ทุกวัน และบันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ใช้

### 3.1.2 แนวทางปฏิบัติการใช้เทคโนโลยีสะอาด

กรมควบคุมมลพิษ [14] และกรมปศุสัตว์ [15]ต่างได้เสนอวิธีปฏิบัติการจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด ดังตารางที่ 3.1 แต่วิธีปฏิบัติบางประการไม่สามารถดำเนินการได้ งานวิจัยนี้จึงได้ผสมผสานข้อเสนอแนะทั้ง 2 หน่วยงาน เพื่อการ ปรับปรุงอุปกรณ์ วิธีการ และพฤติกรรมของคนงานในการใช้น้ำ และทำความสะอาดคอกสุกรจำลอง ดังนี้

1. ในการทำความสะอาดโรงเรือนคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด ให้มีการทำความสะอาดวันเว้น 2 วัน เมื่อสุกรมีน้ำหนัก 20-80 กิโลกรัม และทำวันเว้นวันเมื่อสุกรมีน้ำหนัก 80

กิโลกรัม ขึ้นไป ในขณะที่คอกควบคุมใช้วิธีการตามปกติของฟาร์ม โดยมีการทำความสะอาดวันเว้นวัน เมื่อสุกรมีน้ำหนัก 20-80 กิโลกรัม และทุกวันเมื่อสุกรมีน้ำหนัก 80 กิโลกรัม ขึ้นไป

2. ให้มีการกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนล้างในคอกจำลองที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด

3. ทำให้พื้นคอกจำลองที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดส่วนที่ไม่ใช่ส่วนขับถ่ายแห้งตลอดเวลา เพื่อจำกัดพื้นที่สุกรในการขับถ่ายของเสีย เนื่องจากสุกรมีพฤติกรรมชอบขับถ่ายในที่ชื้นแฉะ

4. ก่อนฉีดล้างคอกจำลองที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดให้มีการฉีดพรมน้ำเพื่อให้ ล้างง่ายขึ้น

5. ติดอุปกรณ์ลดขนาดปลายสายยางในคอกจำลองที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดเพื่อเพิ่มความแรงของน้ำ ช่วยลดระยะเวลาการล้างและลดปริมาณการใช้น้ำ

6. ให้มีการเติมน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของส้วมน้ำในคอกจำลองที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดเพื่อป้องการไม่ให้น้ำมีการล้นออกมานอกส้วมน้ำเมื่อสุกรลงไปแช่น้ำ

7. ให้มีการกวาดพื้นในคอกจำลองที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดให้แห้งหลังล้างคอกเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็น และเพื่อป้องกันสุกรขับถ่ายของเสียและเหยียบย่ำไปมาทั่วบริเวณพื้นคอก

**3.1.3 การบันทึกข้อมูลการทดลอง**

เก็บตัวอย่างน้ำเสีย ณ ส้วมน้ำท้ายคอกจากทั้งสองคอกทุกครั้งหลังจาก ที่ทำการล้างคอก โดยคอกควบคุมมีความถี่ในการเก็บตัวอย่างวันเว้นวัน เมื่อ สุกรมีน้ำหนัก 20-80 กิโลกรัม และเก็บตัวอย่างทุกวันเมื่อสุกรมีน้ำหนัก 80 กิโลกรัมขึ้นไป คอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีความถี่ในการเก็บตัวอย่างวันเว้น 2 วัน เมื่อสุกรมีน้ำหนัก 20-80 กิโลกรัม และเก็บตัวอย่างวันเว้นวัน เมื่อสุกรมีน้ำหนัก 80 กิโลกรัมขึ้นไป หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยง่าย และของแข็งแขวนลอยในปฏิกูลสุกรจากคอกสุกรจำลองทั้งสองคอก

ชั่งน้ำหนักของสุกรทั้ง 2 คอก โดยทำการชั่งทุก 21 วัน (หากชั่งน้ำหนักบ่อยเกินไปสุกรจะเกิดอาการเครียด) จนได้น้ำหนักที่สามารถจำหน่ายได้ (ประมาณ 107 กิโลกรัม/ตัว) เป็นเวลา 105 วัน

**ตารางที่ 3.1** ตารางแสดงแนววิธีปฏิบัติการใช้เทคโนโลยีสะอาด [14-15]

| แนววิธีปฏิบัติ | กรมควบคุมมลพิษ | กรมปศุสัตว์ |
|---|---|---|
| 1. มีการทำความสะอาดโรงเรือน | ✓ | ✓ |
| 2. มีการวางผังคอกให้ถูกกับพฤติกรรมการขับถ่ายของมูลสุกรหรือมีการสร้างส้วมน้ำ | ✓ | ✓ |
| 3. มีการกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนล้าง | ✓ | ✓ |
| 4. ใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาล้างคอก | ✓ | ✓ |
| 5. ใช้น้ำเสียที่ได้จากการล้างปฏิกูลสุกรมาผลิตแก๊สชีวภาพ และใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม | ✓ | ✓ |
| 6. ทำให้พื้นคอกส่วนที่ไม่ใช่ส่วนขับถ่ายแห้งตลอดเวลา | ✓ | ✗ |
| 7. ก่อนฉีดล้างคอกควรฉีดพรมน้ำเพื่อให้ล้างง่ายขึ้น | ✓ | ✗ |
| 8. ติดอุปกรณ์ลดขนาดปลายสายยางเพื่อเพิ่มความแรงของน้ำ ช่วยลดระยะเวลาการล้าง และลดปริมาณการใช้น้ำ | ✓ | ✓ |
| 9. เติมน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของส้วมน้ำป้องกันการล้นออกมานอกส้วมน้ำ | ✓ | ✗ |
| 10. กวาดพื้นให้แห้งหลังล้างคอกเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็น | ✓ | ✗ |
| 11. กรณีมีส้วมน้ำต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันหรือทุก 2 วัน | ✓ | ✓ |
| 12. ใช้น้ำจุลินทรีย์ (อีเอ็ม) ใส่ลงในส้วมน้ำ เพื่อช่วยลดกลิ่นเหม็น | ✓ | ✗ |
| 13. มีการนำมูลสุกรมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น เช่น ทำปุ๋ย เลี้ยงปลา หรือนำมูลแห้งไปผสมในอาหารเลี้ยงสุกร หรือนำไปผลิตแก๊สชีวภาพ | ✓ | ✓ |
| 14. มีระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงเรือนสุกร เช่น ระบบถังกรองไร้อากาศ ระบบบ่อปรับเสถียร เป็นต้น | ✓ | ✓ |
| 15. แยกรางน้ำฝนออกจากระบบน้ำเสียจากฟาร์มโดยเด็ดขาด | ✓ | ✓ |
| 16. รางระบายน้ำควรมีฝาปิดและสามารถเปิดทำความสะอาดได้ | ✓ | ✓ |
| 17. มีระบบลดการแพร่กระจายของกลิ่น เช่น ติดตั้งระบบลดกลิ่นแบบม่านกระจายน้ำและแผ่นกรอง ระบบโดมลดกลิ่น | ✓ | ✓ |
| 18. จัดสร้างถังแยกมูลสุกรเบื้องต้นก่อนสู่ระบบบำบัด | ✓ | ✓ |

**3.2 การศึกษาผลของปริมาณของแข็งในถังปฏิกรณ์ร่วม2 ขั้นตอน**

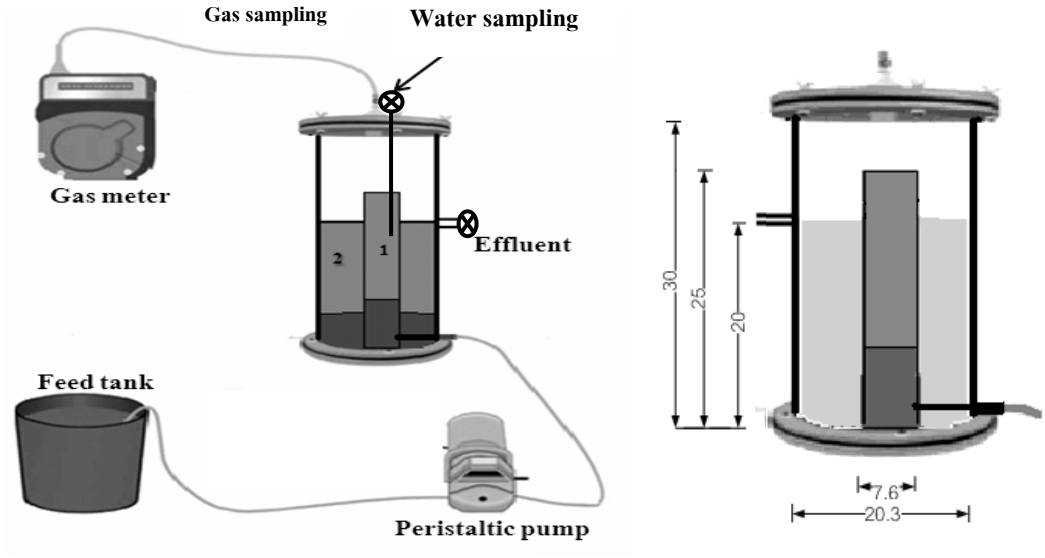
**3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา**

(ก) ปฏิกูลสุกรจากบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์จำกัด จังหวัดราชบุรี เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี

(ข) เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (Inoculum) จากบ่อบำบัดน้ำเสีย ของโรงงานมาลี อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม เพื่อย่นระยะเวลาการเกิดชนิดจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ให้เจริญเติบโตในแต่ละส่วนของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ของงานวิจัยนี้ เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมาลีเป็นกระบวนการย่อยสลายไม่ใช้ออกซิเจนแบบแยก 2 ขั้นตอน

**3.2.2 ระบบถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน**

ถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ตามการออกแบบในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [6] ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ถูกใช้ในการศึกษากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ ปั๊มเพื่อป้อนน้ำเสียดิบ และเครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส ถังปฏิกรณ์ในระบบถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน มีลักษณะเป็นท่อ PVC 2 ท่อน สวมซ้อนร่วมแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยท่อ PVC ด้านใน (ส่วนที่ 1) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร (3 นิ้ว) สูง 25 เซนติเมตร ปริมาตรใช้งาน 1.1 4 ลิตร เพื่อให้มีระยะเวลาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยา สร้างกรด และปฏิกิริยา สร้างกรดแอซิติกจากกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเท่ากับ 2 วัน ท่อ PVC ด้านนอก (ส่วนที่ 2) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.3 เซนติเมตร (8 นิ้ว) สูง 3 0 เซนติเมตร ปริมาตรใช้งาน 5.34 ลิตร เพื่อให้มีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสร้างแก๊สมีเทนเท่ากับ 9 วัน ให้ท่อน้ำทิ้ง(Effluent) เชื่อมต่อกับท่อ PVC ด้านนอกอยู่ที่ระดับ 20 เซนติเมตร จากพื้นถังปฏิกรณ์ ท่อน้ำป้อน (Influent) ซึ่งอยู่สูงจากพื้นถัง 5 เซนติเมตร เชื่อมต่อกับท่อ PVC ด้านใน และมีช่องเก็บน้ำตัวอย่างต่อเชื่อมกับถังด้านในเพื่อสามารถนำตัวอย่าง น้ำจากส่วนที่ 1 มาวัด pH ทำการตรวจสอบรอยรั่วของถังปฏิกรณ์ก่อนเริ่มดำเนินการ โดยเติมน้ำ เข้าไปในถังปฏิกรณ์ให้ระดับน้ำสูงกว่ารอยต่อต่าง ๆ และ ทำการทดสอบรอยรั่วด้วยการ ทาด้วย น้ำสบู่ตามรอยต่อต่าง ๆ แล้วเป่าลมเข้าถังปฏิกรณ์ ถ้าสังเกตพบรอยรั่วจะอุดรอยรั่วด้วยกาวซิลิโคน




**ภาพที่ 3.1** ถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนที่ใช้ในงานวิจัย

### 3.2.3 การเตรียมน้ำเสียดิบ

ผสมมูลสุกรให้เข้ากันด้วย เครื่องปั่น นำมูลสุกรที่ปั่นแล้ว ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นขั้นตอนสร้างกรด และตะกอนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นขั้นตอนสร้างมีเทน มาศึกษาสมบัติดังนี้ ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด, ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด , ซีโอดี, บีโอดี, พีเอช, ทีเคเอ็น, ทีโอซี, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส, ความชื้น และสภาพด่างทั้งหมด

เจือจางมูลสุกรที่ปั่นแล้วด้วยน้ำประปาเพื่อให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 1, 0.5 และ 0.2 (w/v) ดังแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข และวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ | จุดเก็บตัวอย่าง | | |
|---|---|---|---|---|
| | | น้ำเข้า | น้ำออก | แก๊ส |
| พีเอช | pH meter | **A** | **A** | - |
| อุณหภูมิ | Thermometer | **A** | **A** | - |
| สภาพด่างทั้งหมด | Direct titration method | **A** | **A** | - |
| ของแข็งทั้งหมด | Total solids dried at 103-105 °C | B | B | - |
| ของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด | Total solids dried at 550 °C | **A** | **A** | - |

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ | น้ำเข้า | น้ำออก | แก๊ส |
|---|---|---|---|---|
| กรดไขมันระเหยง่าย | Direct titration method | **C** | **C** | - |
| ซีโอดี | Closed reflux, titration method | B | B | - |
| บีโอดี | Direction/Dilution method | **C** | **C** | - |
| อัตราการเกิดแก๊ส | Gas meter | - | - | **A** |
| สัดส่วนแก๊สมีเทน | Gas chromatography | - | - | **A** |
| ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด | Total Kjeldahl method | **C** | **C** | - |

**หมายเหตุ:** **A คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ทุก 2 วัน**

**B คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ก่อนและหลังผ่านถังปฏิกรณ์**

**C คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ทุก 5 วัน**

### 3.2.4 การเริ่มต้นและการเดินระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ดำเนินระบบตามงานวิจัยก่อนหน้านี้ [6] ดังนี้ เติมเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (Inoculum) ของแต่ละปฏิกิริยาลงในแต่ละส่วนของถังปฏิกรณ์ โดยชั้นในจะเป็นชั้นของการผลิตกรด ไขมันระเหยง่าย ชั้นนอกเป็นชั้นของการผลิตแก๊สมีเทน เติมเชื้อจุลินทรีย์ขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทนชนิดละร้อยละ 40 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ในส่วนขั้นตอนที่ 1 และ 2 ตามวิธีการทดลองของ Hobson and Wheatly [24] ซึ่งได้แนะนำว่าควรใส่ในปริมาณที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของปริมาตรการย่อยสลาย ซึ่งเท่ากับ 0.46 ลิตรสำหรับขั้นตอนการสร้างกรด และ 1.54 ลิตร สำหรับขั้นตอนการสร้างแก๊สมีเทน หลังจากนั้นป้อน มูลสุกร ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ตามกำหนดปริมาณ 400 มิลลิลิตร เข้าไปในส่วนของขั้นตอนการผลิตกรด ไขมันระเหยง่าย จนสารละลายไหลล้น (Overflow) ออกมาในส่วนของการผลิตแก๊สมีเทน แล้วทำการปิดระบบถัง ปฏิกรณ์เพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปในถังปฏิกรณ์ หลังจากนั้นจะป้อนมูลสุกร ทุกวันแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) คือมีการเติมสารอินทรีย์จากปฏิกูลสุกรใหม่ลงไป และปล่อยให้มีการไหลของของเหลวผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกรณ์ โดยที่ปริมาตรของสารอินทรีย์จากปฏิกูลสุกรใหม่ ที่เติมเข้าไปมีปริมาณ 400 มิลลิลิตร เท่ากับปริมาตรของ ของเหลวที่ออกจากถังปฏิกรณ์ เพื่อเป็นการรักษาระดับปริมาตรของเหลวในถังปฏิกรณ์ให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง และมีความถี่ในการป้อนมูลสุกร วันละ 1 ครั้ง

### 3.2.5 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำออกจากระบบและอัตราการผลิตแก๊ส

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) โดยพิจารณาจากปริมาณการเกิดแก๊สมีเทนในแต่ละวันเริ่มมีปริมาณคงที่หรือใกล้เคียงกัน วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบตามตารางที่ 3.2 เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ วัดอัตราการไหลของแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้น ในหน่วยsccm (cc/min at standard state) ด้วย Gas flow meter ของบริษัท Altech รุ่น Digital Flow Check-HR™ ก่อนการป้อนมูลสุกร ทุกวัน วิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี ของบริษัท Shimadzu รุ่น GC-2010/FID โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้พีคของแก๊สมีเทนมาตรฐานร้อยละ 99.9

## 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ แต่ละความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด ซึ่งเห็นความแตกต่างไม่ชัดเจน ด้วยวิธีการทางสถิติ แบบ F-test และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว หรือ One way ANOVA โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติคือ Statistic Package for Social Science (SPSS)

# บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 4.1 ผลการศึกษาการใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำ

ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะคอกจำลอง 2 คอก โดยคอกที่ 1 เป็นคอกที่ใช้วิธีทำสะอาดคอกและใช้น้ำตามปกติเรียกว่าคอกควบคุม คอกที่ 2 เป็นคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด เห็นได้ว่าคอกควบคุมมีความสะอาดมากกว่าไม่มีมูลสุกรเหลือค้าง เพราะมีการล้างคอกบ่อยกว่าและใช้น้ำปริมาณมาก ดังนั้นการลดการใช้น้ำในการทำความสะอาดคอกถึงแม้คอกจะสกปรกกว่าและสุกรมีน้ำใช้อย่างจำกัด จะต้องไม่เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของสุกร จึงจะกล่าวได้ว่าการใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำมีประสิทธิผล

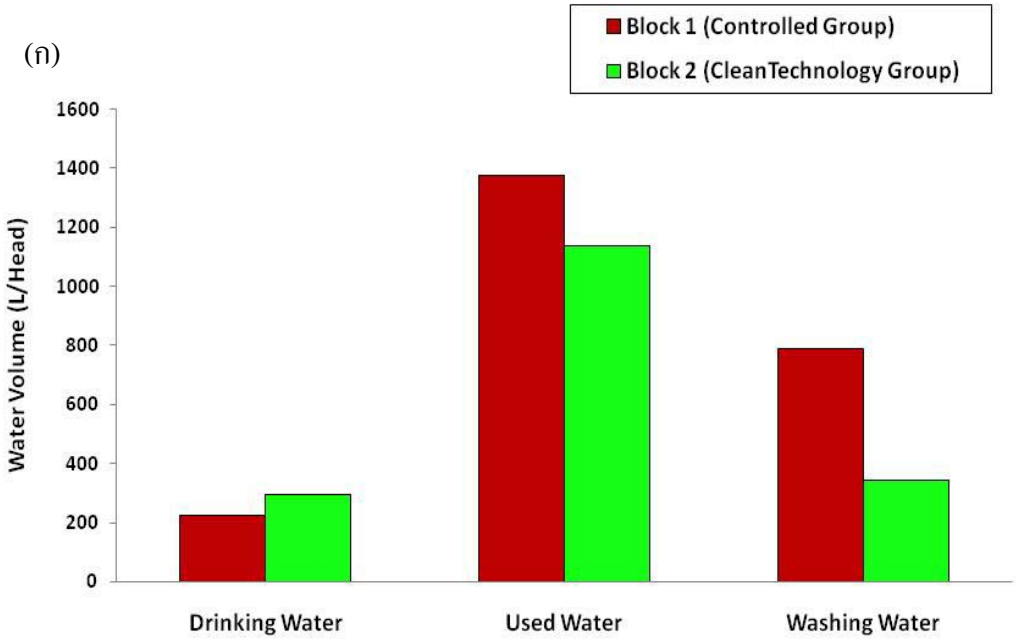
ภาพที่ 4.1 ลักษณะคอกสุกรจำลอง

จากความถี่ทำความสะอาดโรงเรือนตามน้ำหนักสุกรดังกล่าวในบทที่ 3 ทำให้คอกควบคุมและคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีการล้างคอกตลอดการเลี้ยง 105 วัน ทั้งหมด 71 ครั้ง และ 41 ครั้ง ตามลำดับ ข้อมูลจากมิเตอร์น้ำ 3 จุด คือ ท่อน้ำดื่ม ท่อน้ำใช้ในคอก และท่อน้ำล้างคอก ได้ผลปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ดังภาพที่ 4.2 โดยสุกรในคอกควบคุมใช้น้ำเพื่อเป็น น้ำดื่ม น้ำใช้ และน้ำล้าง คอกเฉลี่ยเท่ากับ 223.9±2.4, 1377.3±15.4 และ 786.9±3.2 ลิตร/ตัว หรือคิดเป็น 2.1±0.45, 13.1±0.15 และ 7.49±0.03 ลิตร/ตัว/วัน ตามลำดับ ขณะที่สุกรใน คอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดใช้น้ำทั้งสามประเภท เท่ากับ 295.6±2.5, 1137.1±10.2 และ 344.5±2.5 ลิตร/ตัว

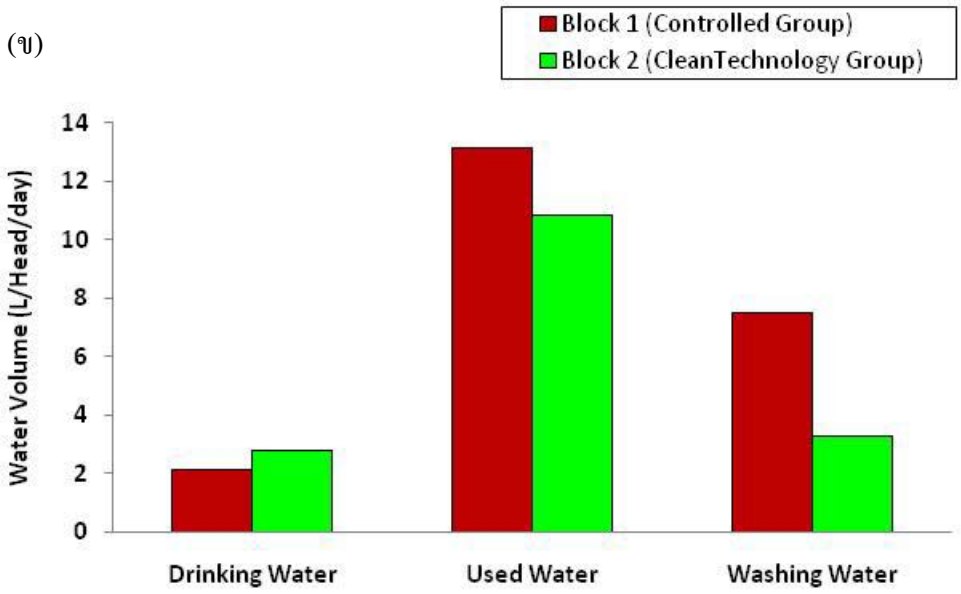
หรือคิดเป็น 2.81±0.02, 10.83±0.10 และ 3.28±0.02 ลิตร/ตัว/วัน ตามลำดับ แสดงว่ามาตรการเทคโนโลยีสะอาด ที่ใช้สามารถลดน้ำใช้ และน้ำล้างคอกลงได้ ร้อยละ 17.4 และ 56.2 ตามลำดับ โดยมาตรการการควบคุมน้ำใช้ที่ให้มีการ เติมน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของส้วมน้ำในงานวิจัยนี้ ไม่มีประสิทธิผลในการลดการใช้น้ำมากนัก คาดว่า เนื่องจากข้อจำกัดที่ต้องมีการเปลี่ยนน้ำในส้วมน้ำทุกวันเพื่อสุขภาพที่ดีของสุกรตามคำแนะนำของ สัตวแพทย์ และการเติมน้ำในแต่ละครั้งเป็นการกะประมาณด้วยสายตาของคนงานซึ่งยังมี ความเคยชินในการเติมน้ำให้เต็มหรือจนล้น จึงทำให้มีความแตกต่างของน้ำใช้ระหว่างสองคอก ไม่มากนัก แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ T – test เปรียบเทียบปริมาณน้ำใช้และน้ำล้างคอก ทั้ง 2 คอก พบว่าได้ค่า $t = 2.748$, p value $< 0.05$ และ $t = 5.518$, p value $< 0.05$ ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าคอก ควบคุมใช้น้ำเพื่อเป็นน้ำใช้และน้ำล้าง คอกมากกว่าคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยี สะอาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ดังนั้นประสิทธิผลที่เห็นได้ อย่างชัดเจนในการลดการใช้น้ำนั้นก็คือการควบคุมความถี่ปรับเปลี่ยนวิธีการและพฤติกรรมของ คนงานในการล้างคอก

แต่สุกรในคอกควบคุมและคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีความต้องการน้ำ เพื่อใช้เป็นน้ำดื่ม เท่ากับ 223.9±2.4 และ 295.6±2.5 ลิตร/ตัว หรือคิดเป็น 2.13±0.45 และ 2.81±0.02 ลิตร/ตัว/วัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าสุกรในคอกควบคุมดื่มน้ำน้อยกว่าคอกที่ใช้ หลักการเทคโนโลยีสะอาดร้อยละ 32.0 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าได้ค่า $t = 7.785$ และ p value $< 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สันนิษฐานว่า เนื่องจากในคอกควบคุมไม่มีการจัดการให้พื้นที่ส่วนที่เป็นที่ขับถ่ายแห้งตลอดเวลา และมีความถี่ในการล้างคอกมากกว่า โดยในการล้างคอกแต่ละครั้งต้องล้างตัวสุกรด้วย ทำให้ มีน้ำขังตามส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิบริเวณพื้นคอกและตัวสุกรต่ำกว่าคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยี สะอาด สุกรจึง ดื่มน้ำจากหัวดื่มน้ำน้อยลง

(ก)



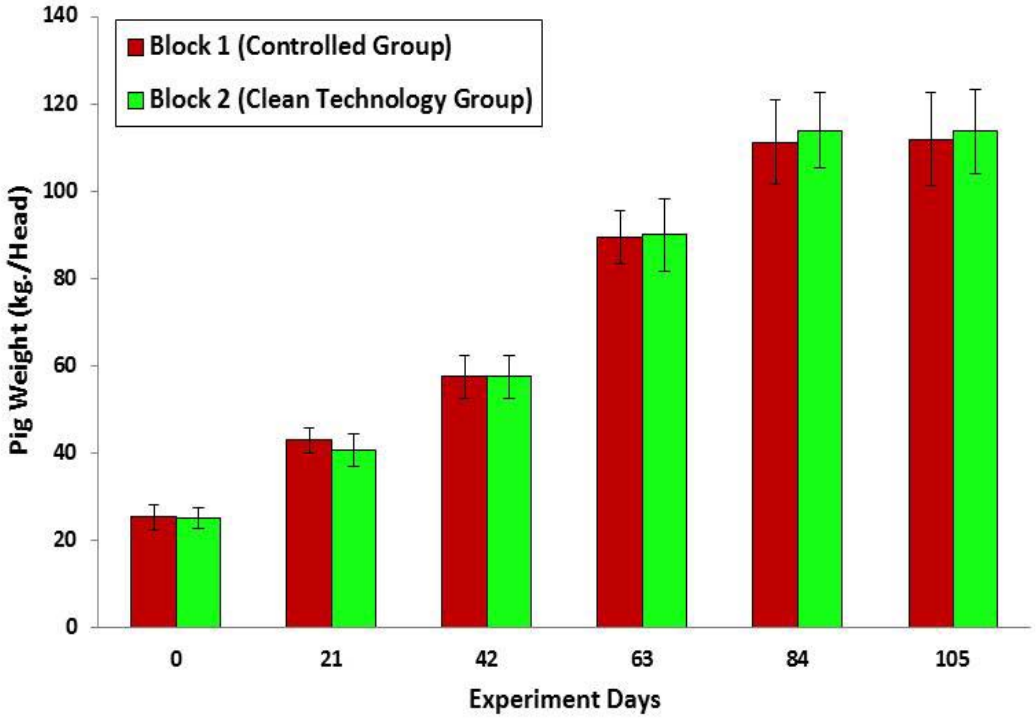

(ข)




**<u>ภาพที่ 4.2</u>** ปริมาณการใช้น้ำของแต่ละกลุ่มทดลอง (ก) ลิตรต่อตัว (ข) ลิตรต่อตัวต่อวัน

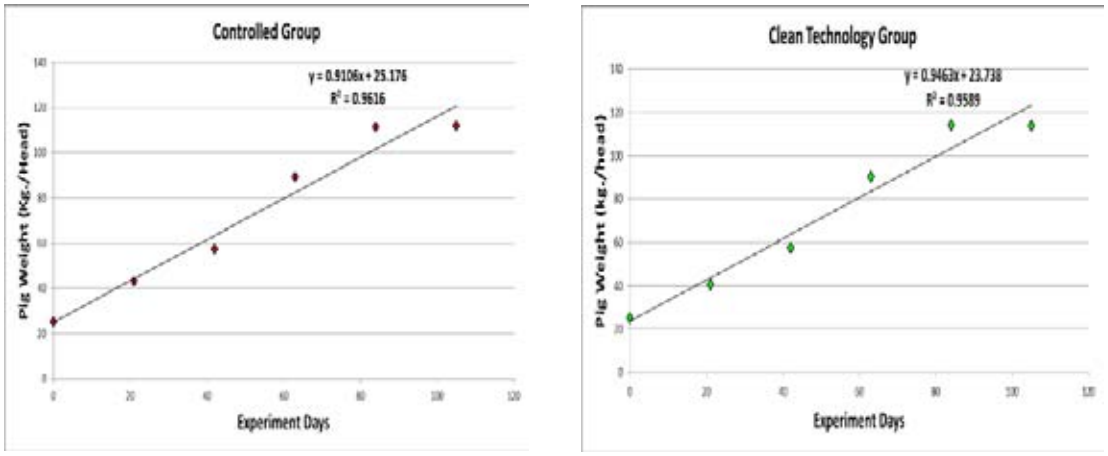
ภาพที่ 4.3 แสดงน้ำหนักสุกรของทั้ง 2 คอก โดยน้ำหนักสุกรเริ่มต้นในคอกควบคุมอยู่ในช่วง 20 – 29 กก./ตัว ในคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดอยู่ในช่วง 22 – 30 กก./ตัว หลังจาก การเลี้ยงสุกรจนสามารถจำหน่ายได้เป็นเวลา 105 วัน ได้น้ำหนักสุกรในคอกควบคุมอยู่ในช่วง 92 – 132 กก./ตัว และน้ำหนักสุกรในคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดอยู่ในช่วง 97 – 136 กก./ตัว ซึ่งจาก

การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ T – test เปรียบเทียบน้ำหนักสุกรทั้ง 2 คอก พบว่าได้ค่า t = 0.109 และ p value = 0.913 ซึ่งหมายความว่าน้ำหนักสุกรของทั้ง 2 คอกไม่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ แต่จากภาพที่ 4.3 แสดงน้ำหนักสุกรเฉลี่ยในคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด สูงกว่า ของคอกควบคุมเล็กน้อย สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่สุกรในคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยี สะอาดมีความเครียดน้อยกว่าจากการมีความถี่ในการล้างคอกน้อยกว่าเพราะในการล้างคอก แต่ละครั้งสุกรต้องวิ่งหนีไปมา ทำให้สุกรเกิดความเครียด




**<u>ภาพที่ 4.3</u>** น้ำหนักสุกรของแต่ละกลุ่มทดลอง

จึงกล่าวได้ว่าการใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำสามารถ นำมาใช้กับฟาร์มสุกรได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสุกรภายใต้การดูแลของสัตวแพทย์ตามปกติ โดยสุกรในคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อวัน (0.94 กก./ตัว/วัน) สูงกว่า สุกรในคอกควบคุม (0.91 กก./ตัว/วัน) เล็กน้อย ดังภาพที่ 4.4



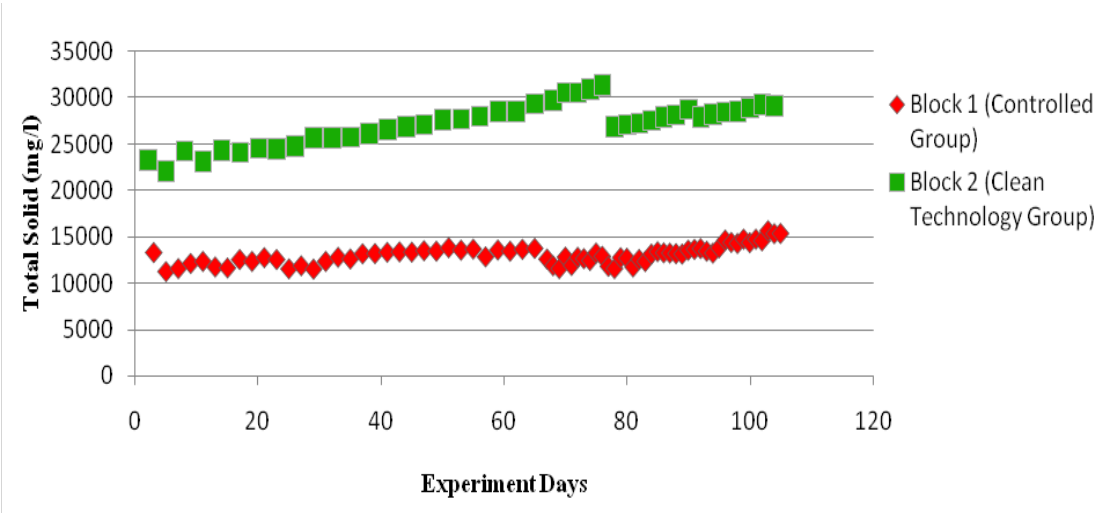

**ภาพที่ 4.4** การเจริญเติบโตของสุกรจากคอกควบคุมเปรียบเทียบกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด

ภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของน้ำเสียซึ่งเก็บตัวอย่างจากรางรวมน้ำเสียท้ายคอกของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดตลอดระยะการศึกษา 105 วัน จากคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีค่าอยู่ระหว่าง 22,088 – 31,360 มก./ล. สูงกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดจากคอกควบคุมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 11,200 – 15,600 มก./ล. ประมาณ 2 เท่า เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการล้างคอกตามน้ำหนักสุกรดังกล่าวในบทที่ 3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดจากคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดในช่วงแรก (ตั้งแต่เริ่มต้นเลี้ยงจนถึงวันที่ 64) มีค่าเท่ากับ 25,680±1,846 มก./ล. ในช่วงที่สอง (ตั้งแต่วันที่ 65 จนถึงวันที่ 105) มีค่าเท่ากับ 28,812±1,287 มก./ล. และจากคอกคอกคุมมีค่าเท่ากับ 12,689±776 มก./ล. และ 13,278±1,070 มก./ล. ตามลำดับ โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดจากทั้ง 2 คอก เพิ่มขึ้นตามน้ำหนักสุกรที่เพิ่มขึ้น

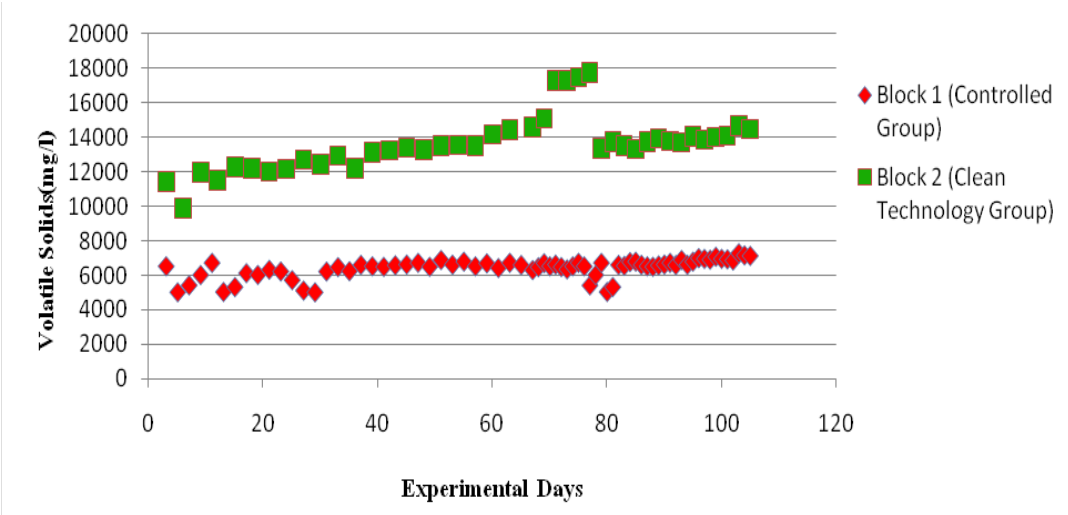
ภาพที่ 4.6 และ 4.7 แสดงปริมาณของแข็งระเหยง่ายและของแข็งแขวนลอย ตามลำดับ ของน้ำเสียจากคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด พบว่าปริมาณของแข็งระเหยง่ายและของแข็งแขวนลอยจากคอกควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 5,000 – 7,250 และ 7,300 – 8,390 มก./ล. ตามลำดับ จาก คอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีค่าอยู่ระหว่าง 9,860 – 17,765 และ 12,480 – 18,139 มก./ล. ตามลำดับ โดยน้ำเสียจากทั้ง 2 คอก มีสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยสูงกว่า ของแข็งระเหยง่ายเล็กน้อย

ลักษณะกราฟปริมาณของแข็งที่ลดต่ำลงของคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด ณ วันที่ 78 ในภาพที่ 4.5 – 4.7 คาดว่าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการล้างคอกตั้งแต่วันที่ 65 มีผลต่อพฤติกรรม สุกร โดยข้อมูล ณ วันที่ 43 ของการเลี้ยง น้ำหนักสุกรจากทั้ง 2 คอก มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากันเท่ากับ 57.4 กก./ตัว แต่ข้อมูล ณ วันที่ 64 สุกรในคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมี

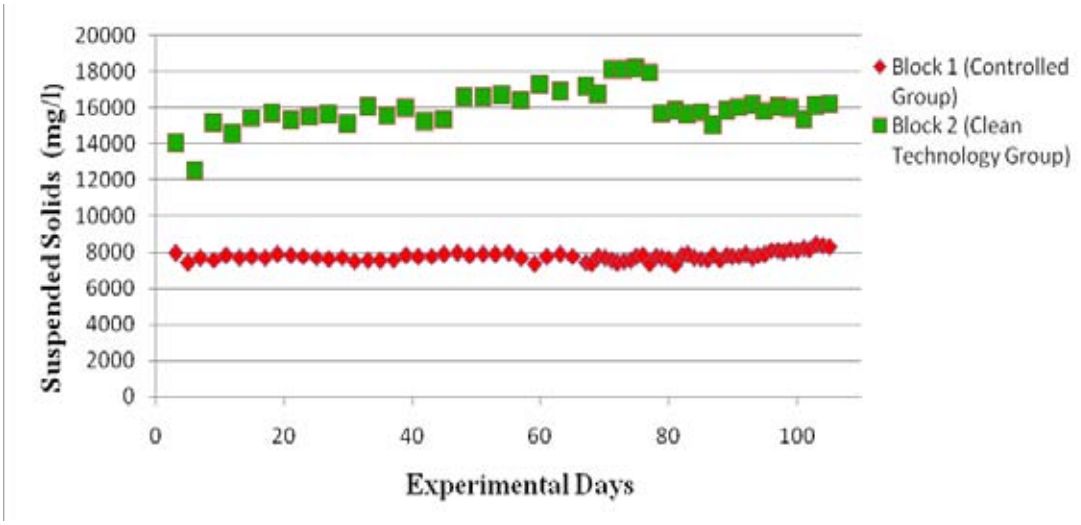
น้ำหนักเท่ากับ 90±8.3 กก./ตัว มากกว่าน้ำหนักสุกรในคอกควบคุม (89.3±6.1 กก./ตัว) เล็กน้อย แสดงว่าสุกรกินอาหารมากขึ้นทำให้มีการขับถ่ายมากขึ้น ปริมาณของแข็งจึงเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง จนถึงวันที่ 76 ของการเลี้ยง เมื่อสุกรเริ่มปรับตัวคุ้นเคยทำให้การขับถ่ายกลับเป็นปกติ ขณะที่การเปลี่ยนแปลงความถี่ในการล้างคอกของคอกควบคุมไม่มีผลต่อพฤติกรรมการกินอาหารของสุกร ซึ่งคาดว่าเนื่องจากปริมาณการใช้น้ำที่มากอย่างมาก ๆ ของคอกควบคุม ทำให้สุกรในคอกควบคุม มีพฤติกรรมการกินอาหารและการขับถ่ายไม่แตกต่างตั้งแต่เริ่มเลี้ยงจนถึงวันจำหน่าย




**ภาพที่ 4.5** ปริมาณของแข็งทั้งหมดของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด




**ภาพที่ 4.6** ปริมาณของแข็งระเหยง่ายของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด




**ภาพที่ 4.7** ปริมาณของแข็งแขวนลอยของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด

## 4.2 ลักษณะสมบัติของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบถังปฏิกรณ์

จากตารางที่ 4.1 พบว่า มูลสุกร มีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ที่ 214.3±4.3 ก./ล. หรือประมาณร้อยละ 21 จึงต้องนำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ (ร้อยละ 5, 2.5, 1, 0.5 และ 0.2 โดยน้ำหนัก) โดย มูลสุกรที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นมูลผสมปัสสาวะ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 24±0.4 : 1 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมกับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ 20 – 30 : 1 มีอัตราส่วนของ BOD : COD ประมาณ 0.72 ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการบำบัดโดยวิธีการทางจุลชีววิทยา โดยBOD : N : P มีค่าอยู่ที่ประมาณ 100 : 8 : 2

ตารางที่ 4.1 ยังได้แสดงลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาจากแต่ละขั้นตอนของบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานมาลี ซึ่งจะใช้เป็นเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนของงานวิจัยนี้ พบว่าตัวอย่างน้ำเสียจากขั้นตอนการสร้างกรดมีค่าpH ต่ำเท่ากับ 4.5±0.5 ขณะที่ค่า pH จากขั้นตอนการสร้างมีเทนมีค่าเท่ากับ 6.7±0.2 แสดงว่าตัวอย่างน้ำเสียทั้งสองมีจุลินทรีย์ต่างชนิด กันและเป็นชนิดที่มีความเหมาะสมกับแต่ละขั้นตอนของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน [12]

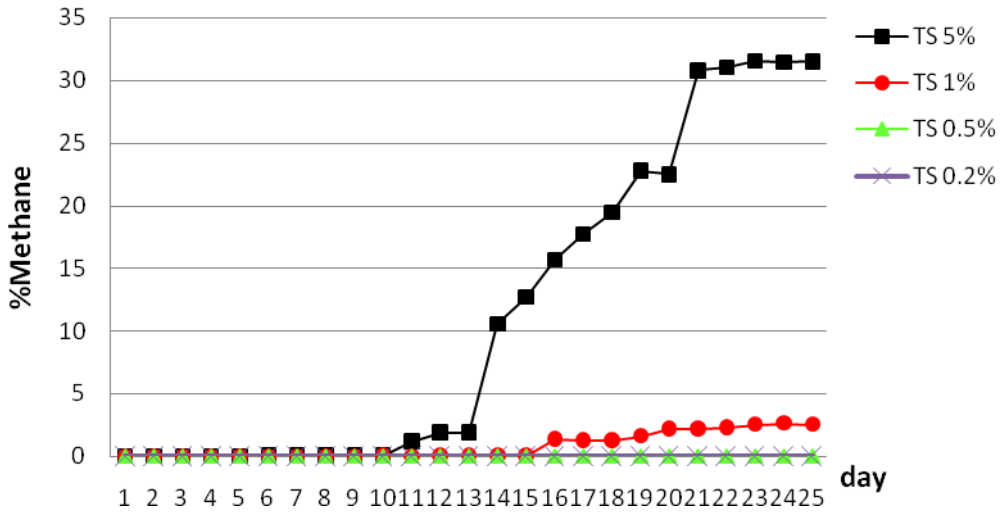
**ตารางที่ 4.1** ตารางแสดงลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

| | มูลสุกร | น้ำเสียจากขั้นตอนสร้างกรด | น้ำเสียจากขั้นตอนสร้างมีเทน |
|---|---|---|---|
| TS (g/L) | 214.3±4.3 | 8.5±1.3 | 16.5±1.7 |
| VS (g/L) | 153.1±5.7 | 6.05±0.5 | 11.6±0.8 |

| | มูลสุกร | น้ำเสียจากขั้นตอนสร้างกรด | น้ำเสียจากขั้นตอนสร้างมีเทน |
|---|---|---|---|
| SS (g/L) | 70.4±2.5 | 1.7±0.1 | 5.1±0.3 |
| COD (g/L) | 175±3.6 | 3.13±0.7 | 9.3±0.4 |
| BOD(g/L) | 126.8±4.2 | 1.8±0.1 | 3.6±0.7 |
| pH | 7.5±0.4 | 4.5±0.5 | 6.7±0.2 |
| TKN (g/L) | 11.2±1.3 | 0.48±0.06 | 0.9±0.04 |
| TOC (g/L) | 345.5±10.2 | 10.2±1.7 | 19.4±2.3 |
| C:N | 24±0.4 : 1 | 21±0.7 | 16.0±1.8 : 1 |
| Phosphorus(g/L) | 2.7±0.6 | 0.11±0.03 | 0.14±0.03 |
| %Moisture | 45±5% | 87±3% | 80±3% |
| Alkalinity as $CaCO_3$ (g/L) | 23.7±5.8 | 6.7±0.5 | 4.7±0.7 |

**4.3 ผลการศึกษาความมีเสถียรภาพของระบบในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน**

ในงานวิจัยนี้ได้ตรวจติดตามสัดส่วนแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของมูลสุกรต่อการเกิดแก๊สมีเทน ดังภาพที่ 4.8 พบว่าแก๊สมีเทนจะเริ่มตรวจวัดได้หลังจากเริ่มเดินระบบไม่น้อยกว่า 10 วัน ที่ปริมาณของแข็งในน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 5 และต้องใช้เวลาในการเดินระบบนานขึ้นเมื่อสัดส่วนปริมาณของแข็งในน้ำเสียลดลง เนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดจากคอกควบคุมและคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดมีค่าอยู่ระหว่าง 11,200 – 15,600 มก./ล. และ 22,088 – 31,360 มก./ล. ตามลำดับ ดังกล่าวข้างต้น จึงตัดปริมาณของแข็งในน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 0.2 ออก แต่เพิ่มการศึกษาที่ปริมาณของแข็งในน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 2.5 แทน เพื่อให้ครอบคลุมปริมาณของแข็งที่จะได้จากการเลี้ยงสุกรของฟาร์มขนาดต่าง ๆ กัน ในการศึกษาต่อจากนี้จึงเป็นการศึกษาที่ปริมาณของแข็งร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5




**ภาพที่ 4.8** ระยะเวลาการเกิดแก๊สมีเทนในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนที่ปริมาณของแข็งต่าง ๆในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

เพื่อตรวจสอบความมีเสถียรภาพของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ได้ติดตามตรวจสอบระดับอุณหภูมิในส่วนที่ 1 (ขั้นตอนการสร้างกรด) ค่า pH ทั้งในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 (ขั้นตอนการสร้างแก๊สมีเทน) ค่าปริมาณกรดระเหยง่าย สภาพความเป็นด่างทั้งหมด และค่า TKN ของน้ำเสียในส่วนที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 4.9 – 4.13 ตามลำดับ ดังนี้

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในส่วนขั้นตอนการสร้างกรดของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 เท่ากับ 34.6±0.7, 34.0±0.4, 34.1±0.7 และ 33.6±0.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.9 ซึ่งเป็นค่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงเมโซฟิลิก (Mesophillic; 20 – 45 องศา เซลเซียส) เนื่องจากตั้งถังปฏิกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ณ อุณหภูมิบรรยากาศ ประกอบกับอุณหภูมิของน้ำเสียในส่วนขั้นตอนการสร้างกรดดังกล่าวข้างต้นอยู่ในช่วง 33 – 34 องศาเซลเซียส ซึ่งประมาณเท่ากับอุณหภูมิห้อง จึงสามารถสมมติว่าอุณหภูมิของน้ำเสียในส่วนขั้นตอนการสร้างมีเทนเท่ากับอุณหภูมิของ น้ำเสียในส่วนขั้นตอนการสร้างกรด ค่า pH เฉลี่ยในส่วนขั้นตอนการสร้างกรดของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 เท่ากับ 4.5±0.2, 4.9±0.1, 4.9±0.1 และ 4.8±0.2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มการทดลอง ดังภาพที่ 4.10(ก) โดยอยู่ในช่วง ที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์สร้างกรด [3] ซึ่งคาดว่าเนื่องจากผลของการเติม Inoculum ของปฏิกิริยาสร้างกรดในการเริ่มต้นเดินระบบ ขณะที่เชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในส่วนขั้นตอนการสร้าง มีเทนต้องใช้ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 14 วัน ในการปรับตัวเข้ากับสภาวะแวดล้อมในถังปฏิกรณ์ ทำให้ค่า pH

เพิ่มขึ้นจาก 5.1±0.5 เมื่อเริ่มต้นเป็น 7.0±0.2, 6.7±0.0, 6.8±0.1, 6.7±0.1 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.10(ข) แต่เนื่องจากไม่มีการถ่ายตะกอนของแข็งในถังปฏิกรณ์ออก ทำให้เกิดการสะสม ของตะกอนของแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5 ทำให้เกิดสมดุล ใหม่ในระหว่างวันที่ 42 – 90 ได้ค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.1±0.0 ซึ่งยังเป็น ช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงาน ของจุลินทรีย์สร้างมีเทน [3]

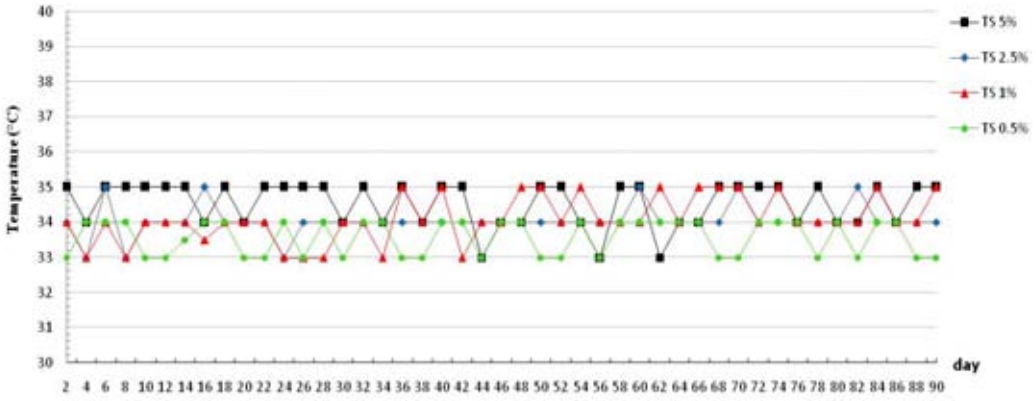
กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid) เป็นกรดที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว จัดเป็นกรดไขมันที่ละลายน้ำได้ ตัวที่สำคัญคือกรดแอซิติกซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์สร้างมีเทน การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายจะบ่งบอกถึงสภาวะการทำงานของระบบ ถ้าค่านี้มีค่าสูงอย่างสม่ำเสมอโดยไม่มีการยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนแสดงว่า ระบบอยู่ในภาวะสมดุล แต่ถ้ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างกะทันหัน แสดงว่ามีจุลินทรีย์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งถูกยับยั้งการ ทำงาน ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุทำให้ระบบเสียสมดุลจนล้มเหลวในที่สุด โดยปกติ กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. หากมีกรดแอซิติกมากกว่า 2,000 มก./ล. อาจจะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพ ของระบบลดลง[12] ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่สภาวะคงที่ระหว่างวันที่ 45 – 90 ดังภาพที่ 4.11 มีค่าเท่ากับ 580.3±5.4 มก./ล., 491.9±3.8 มก./ล., 407.1±10.2 มก./ล. และ 221.8±8.4 มก./ล. ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ

สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total alkalinity) ของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่สภาวะคงที่ระหว่างวันที่ 42 – 90 ดังภาพที่ 4.12 มีค่าเท่ากับ 2,636.2±105.7 มก./ล., 2,418.6±63. 8 มก./ล., 2,300.8±27.6 มก./ล. และ 1,207.6±23.1 มก./ล. ที่ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นด่างทั้งหมดที่เหมาะสมของกระบวนการย่อยสลาย แบบไม่ใช้ออกซิเจนควรอยู่ในช่วง 1,500 – 2,000 มก./ล. [3] แสดงว่าระบบมีเสถียรภาพและมีความเหมาะสมต่อการทำงานของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.2, 0.2 และ 0.2 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.4 จึงกล่าวได้ว่าระบบการย่อยสลายในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน มีบัฟเฟอร์เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการล้มเหลวในระหว่างการศึกษา

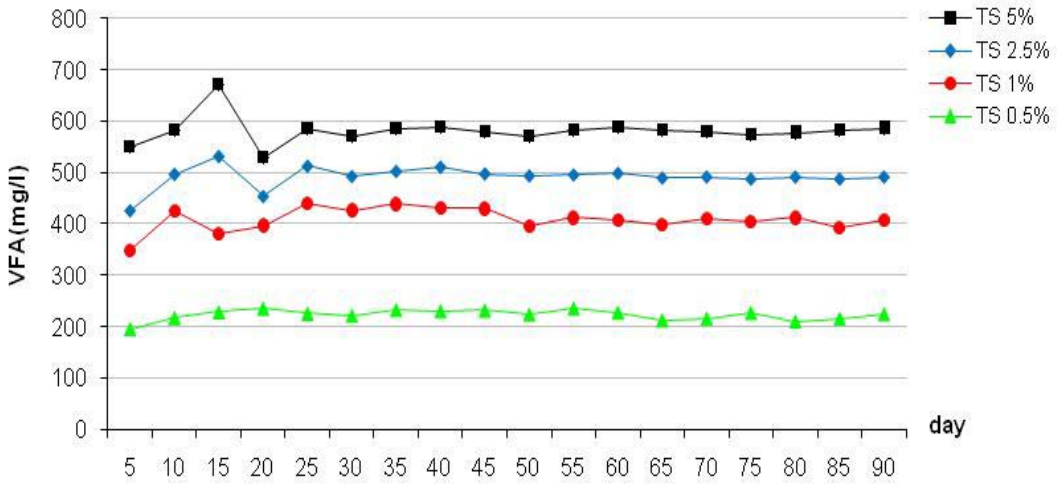
ค่า TKN คือปริมาณรวมทั้งหมดของไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชและสัตว์หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย เช่นในปัสสาวะ ซึ่งความเป็นพิษจะเกิดขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นสูงกว่า 10,000 มก./ล. ค่า TKN ของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่สภาวะคงที่ระหว่างวันที่ 45 – 90 ดังภาพที่ 4.13 มีค่า

เท่ากับ 2,618.4±54.0 มก./ล., 1,276.1±52.0 มก./ล., 599.5±8.9 มก./ล. และ 221.8±8.4 มก./ล. ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ

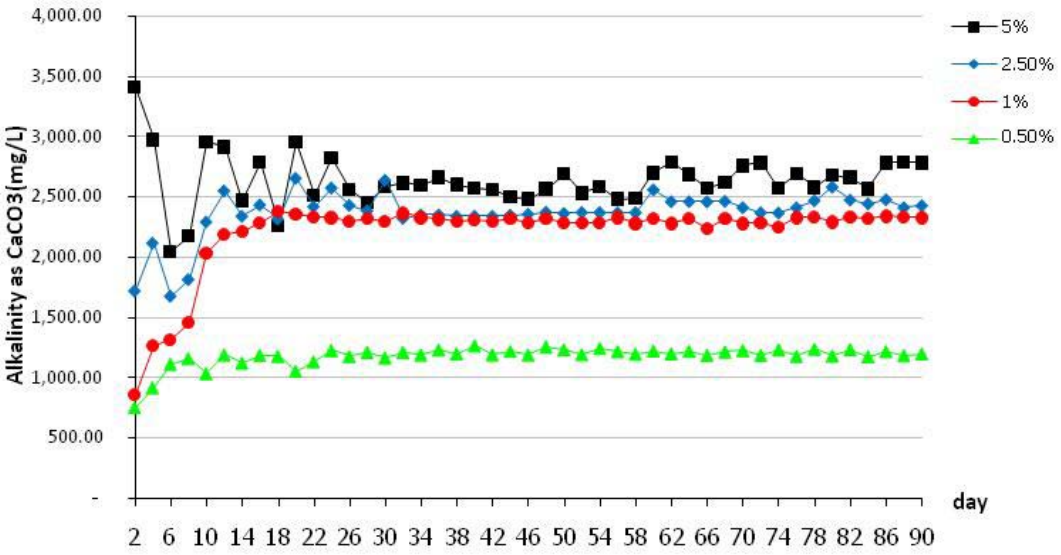



**ภาพที่ 4.9** ระดับอุณหภูมิในส่วนขั้นตอนการสร้างกรดของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

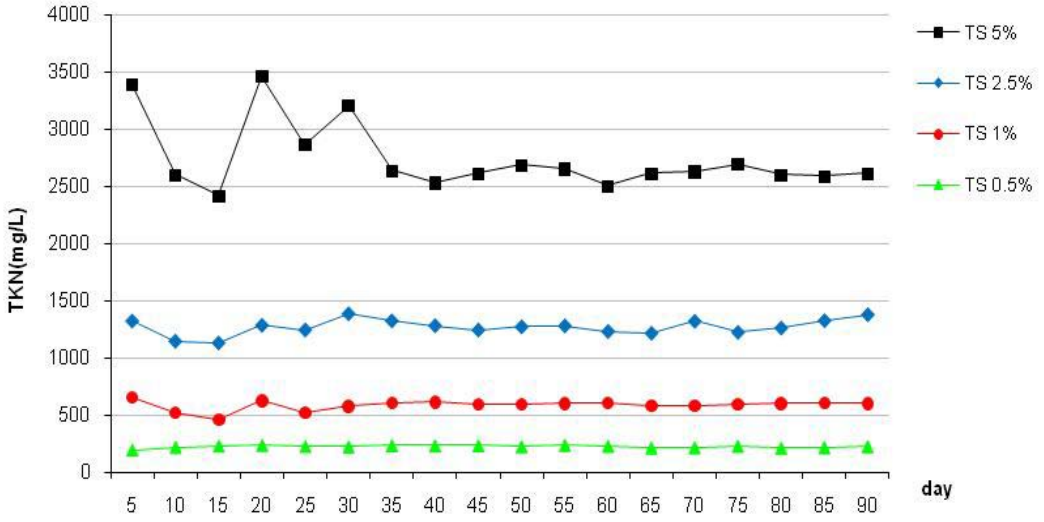
**ภาพที่ 4.10** ค่า pH ของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ก) ในส่วนการสร้างกรด ข) ในส่วนการสร้างมีเทน




**ภาพที่ 4.11** ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน




**ภาพที่ 4.12** สภาพความเป็นด่างทั้งหมดของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน




**ภาพที่ 4.13** ค่า TKN ของ Effluent จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

## 4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ร้อยละ การกำจัด ของแข็งทั้งหมด (Total solid removal) ร้อยละการกำจัดของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด ( Volatile solid removal) ร้อยละ การกำจัดซีโอดี ( COD removal) และร้อยละ การกำจัด บีโอดี (BOD removal) ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ดังแสดงในภาพที่ 4.14 – 4.17 ตามลำดับ ดังนี้

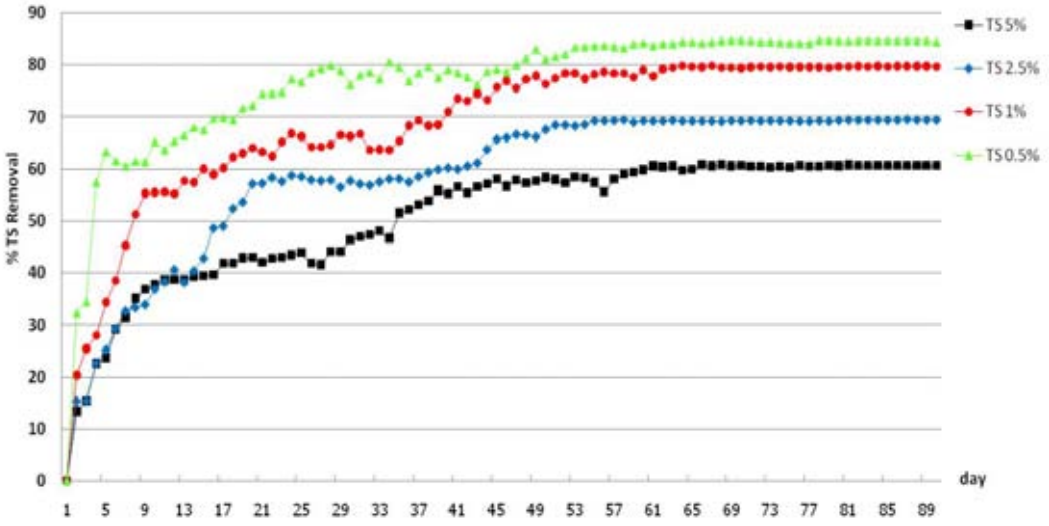
ภาพที่ 4.14 แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่สภาวะคงที่ระหว่างวันที่ 61 – 90 มีค่าเท่ากับร้อยละ 60.5±0.2, 69.4±0.1, 79.5±0.4 และ 84.4±0.3 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่า ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA และจับคู่เปรียบเทียบทางสถิติด้วยวิธี F-test พบว่ามีความแตกต่างกันในทุกร้อยละความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ

ภาพที่ 4.15 แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่สภาวะคงที่ระหว่างวันที่ 61 – 90 มีค่าเท่ากับร้อยละ 59.0±0.5, 62.5±0.4, 69.4±0.6 และ 80.4±0.4 ที่ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่าความแปรปรวนทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อจับคู่เปรียบเทียบพบว่าที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 1 และ 0.5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ร้อยละ 5 และ 2.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

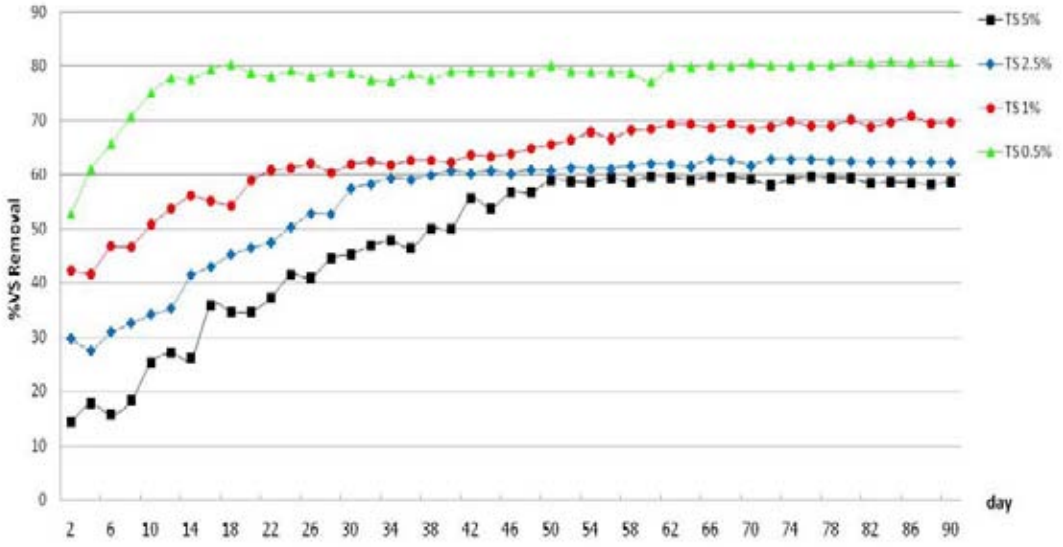
ภาพที่ 4.16 แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ร่วม2 ขั้นตอน ที่สภาวะ คงที่ ระหว่างวันที่ 61 – 90 มีค่าเท่ากับร้อยละ 76.0±0.6, 78.3±0.4, 81.1±0.1 และ 86.3±0.4 ที่ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ และเมื่อนำมาหาทางสถิติด้วยวิธีจับคู่เปรียบเทียบ พบว่าที่ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 1 และ 0.5 มีความแตกต่างกับที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5 และ 2.5 อย่างมีนัยสำคัญ

ภาพที่ 4.17 แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในถังปฏิกรณ์ร่วม2 ขั้นตอน ที่สภาวะ คงที่ ระหว่างวันที่ 65 – 90 มีค่าเท่ากับร้อยละ 68.5±1.9, 73.7±0.4, 82.7±0.2 และ 86.4±0.8 ที่ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ เมื่อนำมาหาค่าทางสถิติแบบ F-Test พบว่าที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 1 และ 0.5 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5 และ 2.5

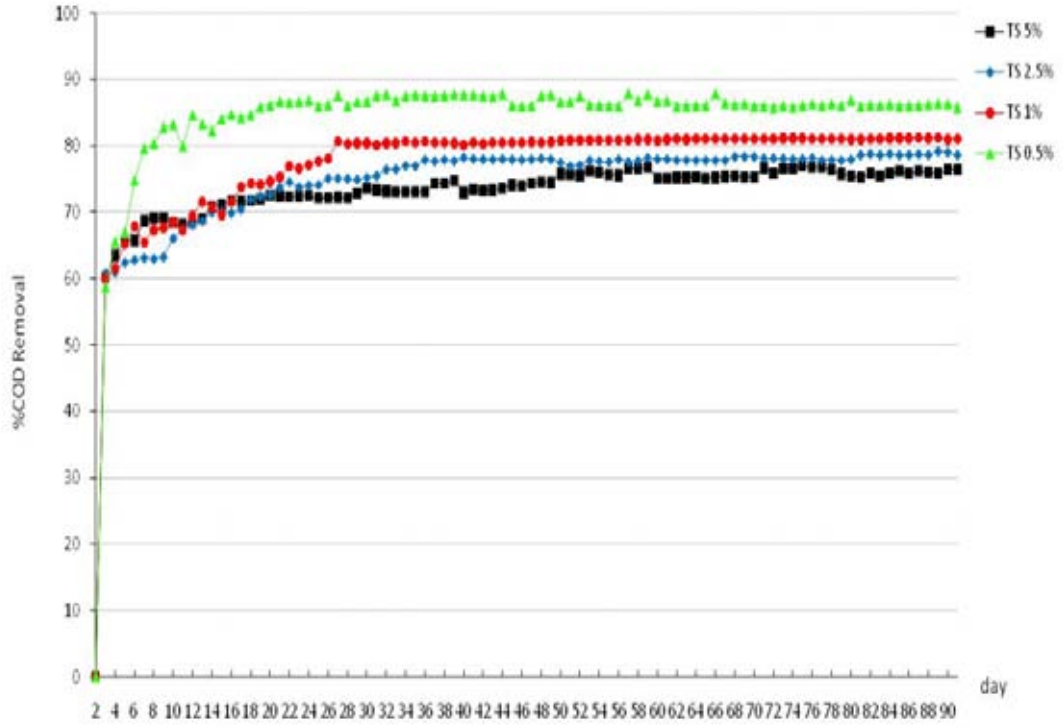
ผลการศึกษาข้างต้นแสดงว่าเมื่อน้ำเสียมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบทั้ง 4 พารามิเตอร์ข้างต้นจะลดลงตามลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป ที่ระบบจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อต้องรับภาระสารอินทรีย์ (Organic loading) สูงขึ้น แต่ข้อเสียนี้ถ้าได้รับการชดเชยด้วยการเกิดแก๊สชีวภาพและมีสัดส่วนแก๊สมีเทนสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียมี ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ก็อาจน่าสนใจ เพราะระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียขั้นหลัง (Post treatment) จึงจะได้คุณภาพน้ำทิ้งตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม [3] ดังจะได้วิเคราะห์ในหัวข้อต่อไป



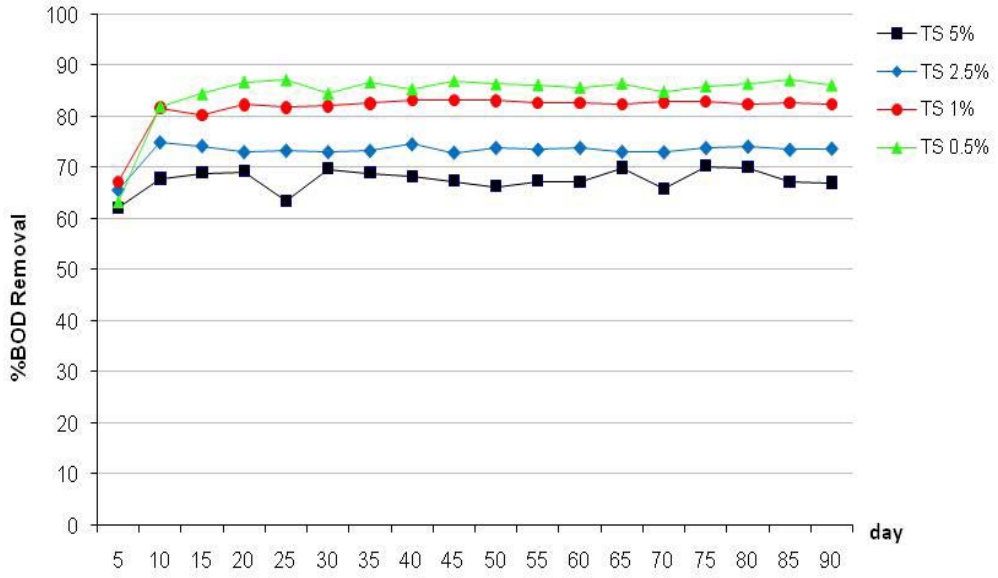

**ภาพที่ 4.14** ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน




**ภาพที่ 4.15** ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน




**ภาพที่ 4.16** ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน



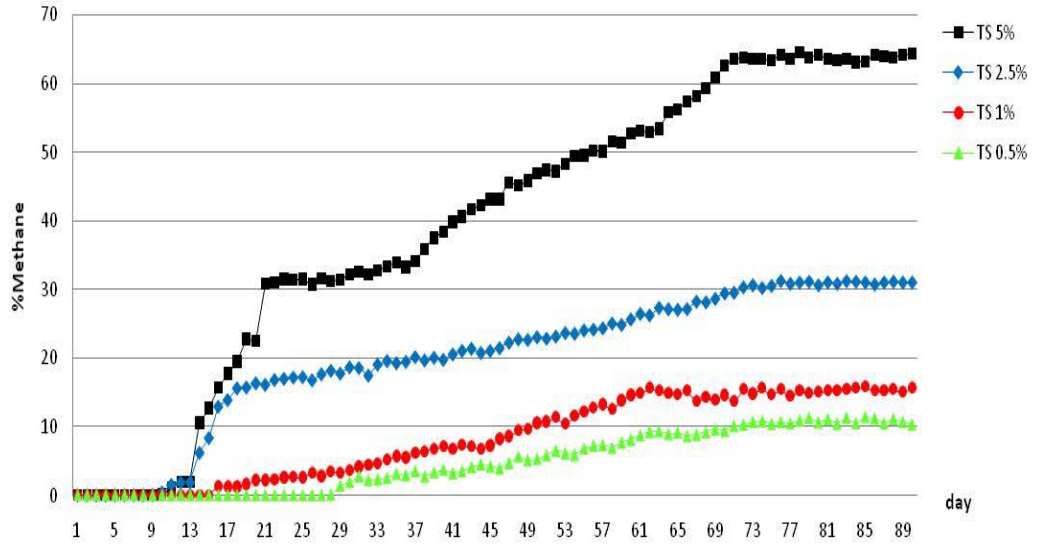

**ภาพที่ 4.17** ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

### 4.5 ผลการศึกษาการเกิดแก๊สมีเทน

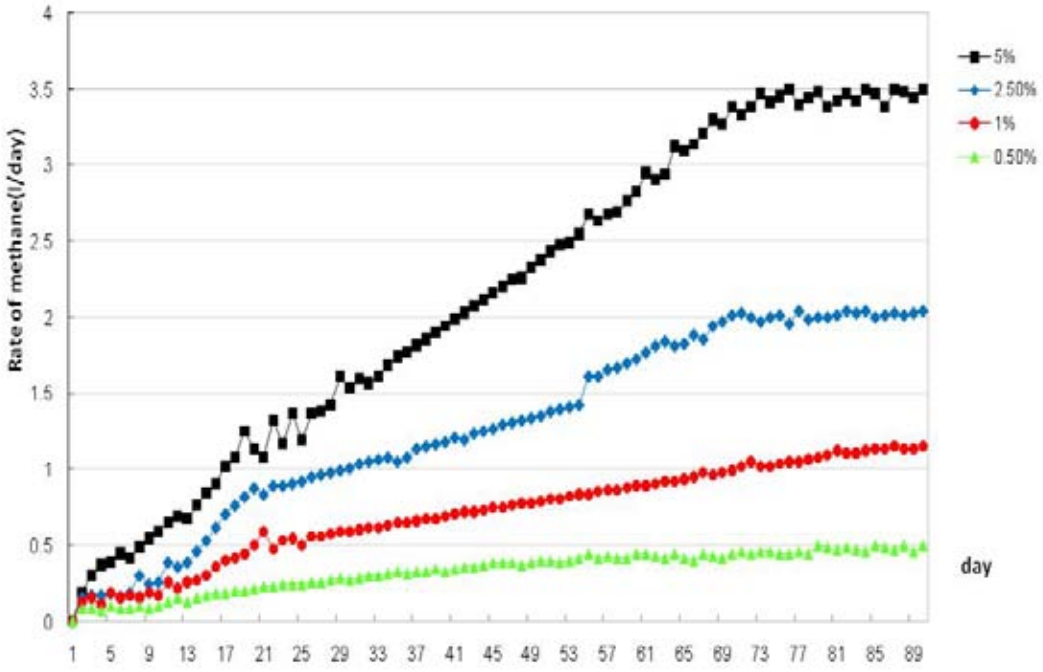
ภาพที่ 4.18 แสดงสัดส่วนของแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น พบว่า ที่สภาวะคงที่ระหว่างวันที่ 81 – 90 มีค่าเท่ากับร้อยละ 63.9±0.4, 31.1±0.1, 15.4±0.2 และ 10.9±0.4 ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ เนื่องจากสัดส่วนแก๊สมีเทนที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 2.5, 1 และ 0.5 ต่ำเกินไปจนไม่น่าเป็นไปได้ จึงคำนวณสัดส่วนแก๊สมีเทนจากผลการตรวจวัดอัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อวันกับอัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวัน ดังภาพที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่สภาวะคงที่ในช่วงวันที่ 81 – 90 อัตราการเกิดแก๊สมีเทน มีค่าเท่ากับ 3.46±0.04, 2.03±0.01, 1.13±0.02 และ 0.48±0.02 ลิตร/วัน อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 1.46±0.03, 1.24±0.02, 0.98±0.02 และ 0.68±0.01 ลิตร/วัน ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5, 2.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถ คำนวณสัดส่วนแก๊สมีเทนได้เท่ากับร้อยละ 70.3, 62.1, 53.6 และ 41.4 ตามลำดับ พบว่าสัดส่วนแก๊สมีเทนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC กับจากการคำนวณที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5 มีค่าใกล้เคียงกัน

ดังนั้นสมมติฐานที่จะได้อัตราการเกิดแก๊สมีเทนและ สัดส่วนแก๊สมีเทนสูงขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียสูงขึ้นจากการที่สามารถลดการใช้น้ำลง จึงเป็นไปได้ โดยได้อัตราการเกิดแก๊สมีเทนเท่ากับ 1.13±0.02 ลิตร/วัน มีสัดส่วนแก๊สมีเทนเท่ากับร้อยละ 53.6 ที่ปริมาณของแข็ง จาก

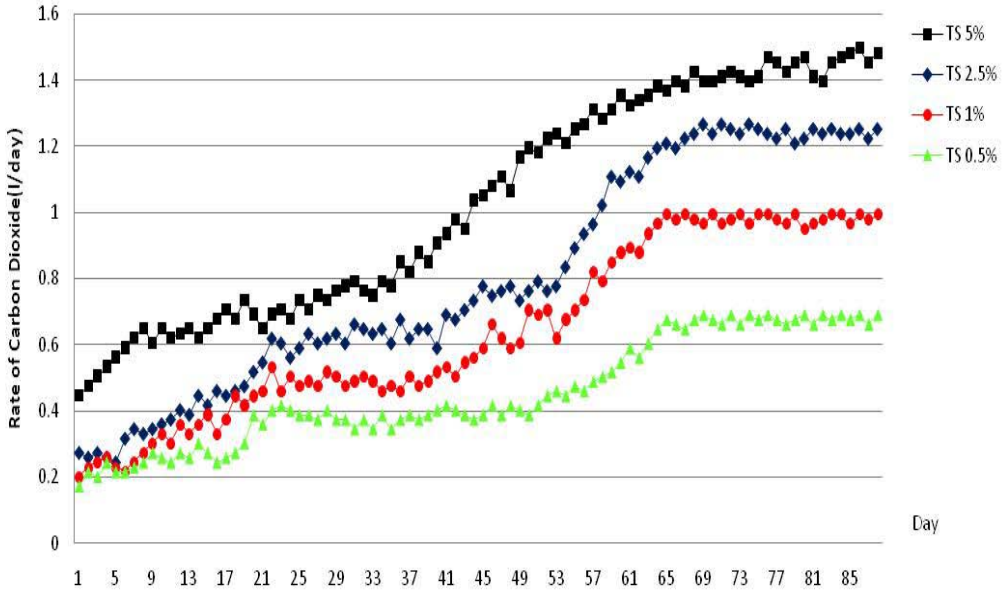
คอกควบคุมประมาณร้อยละ 1 เพิ่มขึ้นเป็น 2.03±0.01 ลิตร/วัน และร้อยละ 62.1 ตามลำดับ ที่ปริมาณของแข็งจากคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดประมาณร้อยละ 2.5




**ภาพที่ 4.18** สัดส่วนแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพที่ได้จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน




**ภาพที่ 4.19** อัตราการเกิดแก๊สมีเทนจากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน




**ภาพที่ 4.20** อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำ ๆ เท่ากับร้อยละ 0.5 คำนวณสัดส่วน แก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพได้ต่ำกว่าร้อยละ 50 อธิบายได้ว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน (ดังภาพที่ 4.20) เกิดขึ้นได้ทั้งจากขั้นตอน Acidogenesi และ Acetogenesis เมื่อสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบมีน้อยเกินไป สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกใช้ไปในส่วนของขั้นตอนการสร้างกรดเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เหลือสารอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนเพียงเล็กน้อย จึงได้แก๊สมีเทนเกิดขึ้นน้อยลง ทำให้ที่สัดส่วน ปริมาณของแข็งนี้ ได้อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าอัตราการเกิดแก๊สมีเทน

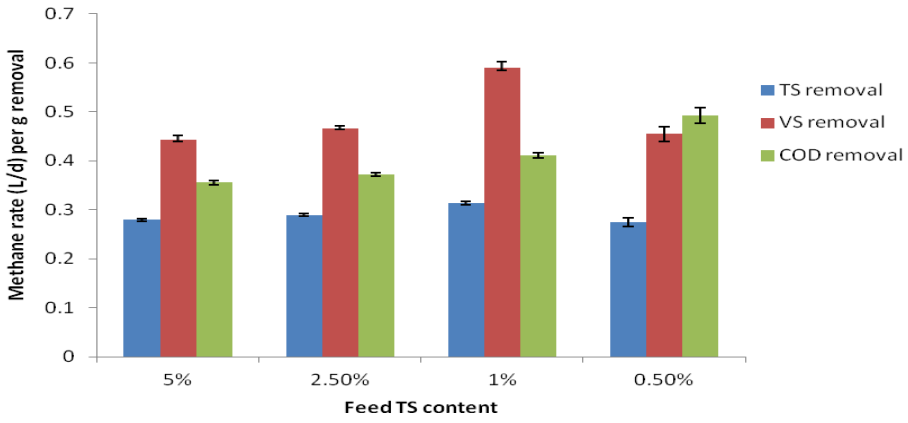
**4.6 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด**

ภาพที่ 4.21 แสดงอัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ (ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยง่าย และซีโอดี) ที่ถูกกำจัด ที่สภาวะคงที่ในช่วงวันที่ 81 – 90 จากพารามิเตอร์น้ำเสียทั้งสาม ค่าของแข็งระเหยง่ายเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นแก๊สชีวภาพได้ง่ายที่สุด ดังนั้นในระบบถังหมักแก๊สชีวภาพจะใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งพบว่าที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสารป้อนเท่ากับร้อยละ 1 ให้อัตราการเกิดแก๊สมีเทน (ลิตร/วัน) ต่อกรัมของของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดมากที่สุดเท่ากับ 0.59±0.01 แสดงว่าปริมาตรถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่เกิน ร้อยละ 1 และเมื่อภาระสารอินทรีย์น้อยกว่าความสามารถของถังปฏิกรณ์ เช่น ที่ ปริมาณ

ของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.5 สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สชีวภาพได้มาก ขึ้น แต่เนื่องจากที่ภาระสารอินทรีย์ต่ำ ๆ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังกล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้ เมื่อแปลงอัตราการเกิดแก๊สมีเทนเป็นอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพ ตามสัดส่วนแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพดังกล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าได้แก๊สชีวภาพต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดลดลงเมื่อเพิ่มภาระสารอินทรีย์ (ปริมาณ ของแข็งทั้งหมด) ในน้ำเสียดิบ แต่ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 1 และ 0.5 ได้แก๊ส ชีวภาพ ต่อน้ำหนักของแข็งระเหยง่าย ที่ถูกกำจัด ใกล้เคียงกัน ยืนยันว่า ถังปฏิกรณ์ของงานวิจัยนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 1 หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดให้เพิ่มมากขึ้นต้องขยายขนาดถังปฏิกรณ์ และ/หรือลดอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ให้ช้าลง และ/หรือเพิ่มระยะเวลาการอยู่ในถังปฏิกรณ์ของน้ำเสียให้นานขึ้น โดยเฉพาะขั้นตอนปฏิกิริยาการสร้างแก๊สมีเทน

ตารางที่ 4.2 อัตราการเกิดแก๊สมีเทนและแก๊สชีวภาพต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่สภาวะคงที่

| | 5% | 2.5% | 1% | 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| $CH_4$ rate per g TS removal | 0.28±0.003 | 0.29±0.002 | 0.31±0.004 | 0.27±0.01 |
| Biogas rate per g TS removal | 0.40 | 0.47 | 0.58 | 0.65 |
| $CH_4$ rate per g VS removal | 0.44±0.01 | 0.47±0.005 | 0.59±0.01 | 0.46±0.01 |
| Biogas rate per g VS removal | 0.63 | 0.76 | 1.10 | 1.11 |
| $CH_4$ rate per g COD removal | 0.36±0.004 | 0.37±0.003 | 0.41±0.01 | 0.49±0.02 |
| Biogas rate per g COD removal | 0.51 | 0.60 | 0.76 | 1.18 |




**ภาพที่ 4.21** อัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

1) แนวทางปฏิบัติ เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำที่ใช้ดำเนินการในงานวิจัยนี้ ได้แก่
   (ก) ในการทำความสะอาดโรงเรือน ให้มีการทำความสะอาด วันเว้น 2 วัน เมื่อสุกรมีน้ำหนัก 20 – 80 กิโลกรัม และทำวันเว้นวันเมื่อสุกรมีน้ำหนัก 80 กิโลกรัม ขึ้นไป
   (ข) ให้มีการกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนล้าง
   (ค) ทำให้พื้นคอกส่วนที่ไม่ใช่ส่วนขับถ่ายแห้งตลอดเวลา เพื่อจำกัดพื้นที่ ในการขับถ่ายของเสียของสุกร
   (ง) ก่อนฉีดล้างคอกให้มีการฉีดพรมน้ำเพื่อให้ล้างง่ายขึ้น
   (จ) ติดอุปกรณ์ลดขนาดปลายสายยางเพื่อเพิ่มความแรงของน้ำ
   (ฉ) ให้มีการเติมน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของส้วมน้ำ เพื่อป้องการไม่ให้น้ำล้นออกมานอกส้วมน้ำเมื่อสุกรลงไปแช่น้ำ
   (ช) ให้มีการกวาดพื้น คอกให้แห้งหลังล้างคอก เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็น และเพื่อป้องกันสุกรขับถ่ายของเสียและเหยียบย่ำไปมาทั่วบริเวณพื้นคอก
2) การปฏิบัติตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดสามารถลดการใช้น้ำในฟาร์มสุกร โดยไม่เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโต (น้ำหนัก) ของสุกรภายใต้การควบคุมดูแลของสัตวแพทย์ตามปกติ โดยสุกรมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.03 กก. ต่อตัวต่อวัน
3) น้ำเสียจากคอกควบคุมและคอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด มีลักษณะดังนี้

| พารามิเตอร์ | คอกควบคุม | คอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด |
|---|---|---|
| TS (mg/l) | 11,200 – 15,600 | 22,088 – 31,360 |
| VS (mg/l) | 5,000 – 7,250 | 9,860 – 17,765 |
| SS (mg/l) | 7,300 – 8,390 | 12,480 – 18,139 |

4) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดต่าง ๆ เป็นดังนี้

| Total solid (%) | TS removal (%) | VS removal (%) | COD removal (%) | BOD removal (%) |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 60.5±0.2 | 59.0±0.5 | 76.0±0.6 | 68.5±1.9 |
| 2.5 | 69.4±0.1 | 62.5±0.4 | 78.3±0.4 | 73.7±0.4 |
| 1 | 79.5±0.4 | 69.4±0.6 | 81.1±0.1 | 82.7±0.2 |
| 0.5 | 84.4±0.3 | 80.4±0.4 | 86.3±0.4 | 86.4±0.8 |

5) ผลที่ได้จากการมีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียสูงขึ้นเมื่อสามารถลดการใช้น้ำลง คือ ทำให้ได้อัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อวันในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน สูงขึ้น ดังนี้

| Total solid (%) | Methane production (L/d) | Methane production (L/L-reactor/d) |
|---|---|---|
| 5 | 3.46±0.04 | 0.53 |
| 2.5 | 2.03±0.01 | 0.31 |
| 1 | 1.13±0.02 | 0.17 |
| 0.5 | 0.48±0.02 | 0.07 |

สรุปว่าสามารถนำหลักการเทคโนโลยีสะอาดมาใช้กับฟาร์มสุกรเพื่อลดการใช้น้ำได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตแล้วยังได้อัตราการเกิดแก๊สมีเทนต่อวันสูงขึ้น ตามสมมติฐาน

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

1) ควรให้มีการบังคับใช้แนวทางเทคโนโลยีสะอาดก่อนที่ทรัพยากรน้ำของประเทศจะเข้าสู่ภาวะวิกฤตกว่าปัจจุบัน
2) ขยายขนาดถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน เพื่อใช้กับน้ำเสียอย่างน้อยที่ได้จากเกษตรกรรายย่อย

**รายการอ้างอิง**


[1] ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม,กระทรวง. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม, ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 122 ตอนที่ 125, หน้า 39-41, 2548.

[2] เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรและแนวโน้มประจำปี 2550-2554, ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2550-2554.

[3] ควบคุมมลพิษ, กรม. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1 และ 2, ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548.

[4] ควบคุมมลพิษ , กรม. สถิติการร้องเรียนปัญหามลพิษปี 2552, ฝ่ายตรวจและบังคับการ . [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/pol_stat2552.html [31 ธันวาคม 2552]

[5] ควบคุมมลพิษ, กรม. คู่มือแนวการปฏิบัติด้านการผลิตที่สะอาดของฟาร์มสุกร. ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548.

[6] อัญชลี แท่นนิล. การย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกร ใบปาล์มและขยะของแข็งชุมชน ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน และถังปฏิกรณ์เมมเบรน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

[7] ควบคุมมลพิษ, กรม. คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย ฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์, ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2546.

[8] ธงชัย พรรณสวัสดิ์. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2544. อ้างถึงใน ฐปน ชื่นบาล, ศิราภรณ์ ชื่นบาลและมธุรส ชัยหาญ. รายงานการวิจัย เรื่อง การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 2551.

[9] โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. 2545. อ้าง

ถึงใน ฐปน ชื่นบาล, ศิราภรณ์ ชื่นบาลและมธุรส ชัยหาญ. รายงานการวิจัย เรื่อง การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2551.

[10] วิชาการเกษตร, กรม. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่างๆ, 2538. อ้างถึงใน ชยันต์ กิมยงค์. การพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรในถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

[11] Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. (4th ed.). Boston: McGraw Hill, 2003. อ้างถึงใน อัญชลี แท่นนิล. การย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกร ใบปาล์มและขยะของแข็ง ชุมชน ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนและถังปฏิกรณ์เมมเบรน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

[12] Holland, K.T., Knapp, J.S. ,and Shoesmith, J.G. Anaerobic Bacteria. New York: Chapmon and Hall, 1987. อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล. การผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

[13] สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[14] ควบคุมมลพิษ, กรม. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อประสิทธิภาพในการป้องกันและลดมลพิษจากฟาร์มสุกร, ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรมสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2546

[15] ปศุสัตว์, กรม. หลักปฏิบัติที่ดีในการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับฟาร์มสุกร. โครงการจัดการของเสียในฟาร์มสุกรในภาคพื้นเอเชียตะวันออก, ส่วนพัฒนาสิ่งแวดล้อมด้านการปศุสัตว์ สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตราฐานสินค้าปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551.

[16] ชยันต์ กิมยงค์. การพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรในถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

[17] ศริญญา บุญฤทธิ์. การศึกษาการย่อยสลายมูลสัตว์แบบไร้อากาศ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2546.

[18] Kim, J.-S., Kim, B.-G., Lee, C.-H., Kim, S.-W., Jee, H.-S., Koh, J.-H. and Fane, A.-G. Development of clean technology in alcohol fermentation industry. J. Cleaner Production. 5:263-267 pp., 1997.

[19] Ferrer, I., Gamiz, M., Almeida, M. ,and Ruiz, A. Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixter at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). Waste management 29:168-173 pp., 2009.

[20] Hill, D.T. ,and Bolte, J.P. Methane production from low solid concentration liquid swine waste using conventional anaerobic fermentation. Bioresource Technology 74:241-247 pp., 2000.

[21] Yang, P.Y. ,and Gan, C. An on-farm swain waste management system in Hawaii. Bioresource Technology 65:21-27 pp.,1998.

[22] Wu, X., Yao, W., Zhu, J. ,and Miller, C. Biogas and $Ch_4$ productivity by co-digester swine manure with three crop residues as an external carbon source. Bioresource Technology 101:4042-4047 pp.,2010.

[23] Xia, Y., Masse´, D.I., McAllister, T.A., Beaulieu, C. ,and Ungerfeld, E. Anaerobic digestion of chicken feather with swain manure or slaughterhouse sludge for biogas production. Waste Management. 32:404-409 pp., 2012

[24] Hobson, P. N. and Wheatley, A. D. Anaerobic Digestion: Modern Theory and Practice Elsevier. Applied Science, 1993. อ้างถึงใน อัญชลี แท่นนิล. การย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกร ใบปาล์มและขยะของแข็ง ชุมชน ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอนและถังปฏิกรณ์เมมเบรน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก
# วิธีการวิเคราะห์

## 1. Chemical oxygen demand (COD) แบบ Closed reflux, Titrimetric method

ค่า COD หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำโดยที่สารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (95-100 %)

จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรง (Strong oxidizing agent) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

ดังสมการที่ 1

$$C_nH_aO_bN_c + (n + a/4 - b/2 - 3/4c)O_2 \rightarrow nCO_2 + (a/2 - 3/2c)H_2O + NH \quad \ldots(1)$$

จะเห็นว่าสมการการเกิดปฏิกิริยาของ COD คือสารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ส่วน COD ใช้สารตัวเติมออกซิเจน (oxidizer) กรณีที่น้ำเสียมีสารอินทรีย์บางพวกเช่น straight-chain aliphatic compound, aromatic hydrocarbon, pyridine และ betaine ปะปน อยู่ซึ่งสารเหล่านี้จะไม่ถูก oxidize ทางเคมี การหาค่า COD จะรู้ผลในเวลาไม่เกิน 3 ชม. ดังนั้นจึงเหมาะในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียเพราะสามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้ทันท่วงที และใช้ในการประเมินค่าBOD อย่างคร่าว ๆ

Strong oxidizing agent ที่ใช้ในการหาค่า COD มีด้วยกันหลายตัวคือ potassium permanganate, ferric sulfate, potassium iodate และ potassium dichromate การหาค่า COD โดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมทเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพราะให้ผลที่น่าเชื่อถือและแน่นอน หลักการของวิธีนี้คือ สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกออกซิไดซ์โดยโพแทสเซียมไดโครเมทในสภาวะที่เป็นกรดอย่างรุนแรง ดังนั้นจึงใช้การรีฟลักซ์ เพื่อป้องกันการระเหยสูญหายของสารเคมี จากนั้นจึงไทเทรตหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลืออยู่ด้วย ferrous ammonium sulfate โดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นดังนี้

$$3 \text{ Org.carbon} + 2\ Cr_2O_7 2- + 16H^{+} \rightarrow 3CO_2 + 4Cr^{3+} + 8\ H_2O \quad \ldots(2)$$

$$Cr_2O_7 + 6Fe^{2+} + 14H^{+} \rightarrow 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+3} + 7H_2O \quad \ldots(3)$$

มีการเติม $AgSO_4$ เป็นตัว catalyst เพื่อเร่งปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ของพวกกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ (straight chain aliphatic) นอกจากนี้ $AgSO_4$ ที่ใส่ไปจะไปทำปฏิกิริยากับ $Cl^-$, $Br^-$ หรือ $I^-$ ได้ แต่ $AgSO_4$ เป็น catalyst ที่ไม่ได้ผลในการออกซิไดซ์สารประกอบพวก aromatic และ pyridine สารรบกวนที่สำคัญคือ $Cl^-$ จึงต้องใส่ $HgSO_4$ ลงไปก่อนเพื่อไปจับกับ $Cl^-$ ให้อยู่ในรูปของ mercuric chloride complex โดยวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีค่า COD ตั้งแต่ 50 ml/L ขึ้นไปได้และแน่นอน การรีฟลักซ์ มี 2 วิธี คือ แบบเปิด ( Open Reflux) และแบบปิด ( Closed Reflux) ทั้งสองวิธีการมีหลักการเหมือนกัน ต่างกันตรงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และแบบปิดสารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ มากกว่าระบบเปิด เพราะมีเวลาในการสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ได้นานกว่า

การวิเคราะห์หาค่า COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (closed reflux) มีหลักการเช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (open reflux) สารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดซ์ได้มากกว่าในระบบเปิดเพราะมีเวลาสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ได้นานกว่า ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรตรวจดูฝาปิดหลอดแก้วว่ามีรอยแตกหรือไม่ ฝาจุกของหลอดทดลองที่อาจเกิดชำรุดในขณะทำการย่อยสลายในตู้อบจะทำให้เกิดการปนเปื้อนและทำให้มีการสูญหายของสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงควรที่จะต้องระมัดระวังสำหรับการย่อยสลายในตู้อบจะใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเลือกขนาดของหลอดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความไว (sensitivity) ที่ต้องการ

**สารเคมีที่ใช้**

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมท 0.0167 M
   - ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ปริมาณ 4.913 g ที่อบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
   - ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator)
   - เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 ml เติม HgSO4 33.3 g คนให้ละลาย ในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml ค่อย ๆ
   - ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

2. กรดซัลฟิวริกรีเอเจนท์

   – ละลาย $Ag_2SO_4$ 22 g ลงในกรดซัลฟิวริกริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.0 kg (ต้องใช้เวลาในการละลาย 1-2 วัน)

3. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

   – ละลาย $FeSO_4.7H_2O$ 0.695 g และ 1,10 phenanthroline monohydrate 1.485 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 100 ml

4. สารละลายมาตรฐานเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต 0.1 M

   – ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 .H_2O$ 39.2 g ในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml

   – เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ml คนให้ละลาย ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 ml สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมทที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่นำมาใช้

   – เติมสารเคมีตามตารางภาคผนวกที่ ก -1 ในภาชนะย่อยสลาย แต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วไทเทรทด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด ทำประมาณ 1-2 หลอด ไทเทรทจนถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากสีฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

$$\text{Molarity ของ } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 = \frac{\text{มิลลิลิตร } K_2Cr_2O_7 \times 0.1}{\text{มิลลิลิตร } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

**<u>ตารางภาคผนวกที่ ก-1</u>** ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

| ขนาดของภาชนะ | ตัวอย่างน้ำ (ml.) | $K_2Cr_2O_7$ (ml.) | กรดซัลฟิวริก (ml.) | ปริมาตรทั้งหมด |
|---|---|---|---|---|
| 16 X 100 mm. | 2.5 | 1.5 | 3.5 | 7.5 |
| 20 X 150 mm. | 5.0 | 3.0 | 7.0 | 15.0 |
| 25 X 150 mm. | 10.0 | 6.0 | 14.0 | 30.0 |
| แอมพูลมาตรฐาน 10 ml. | 2.5 | 1.5 | 3.5 | 7.5 |

**วิธีการวิเคราะห์**

1. ล้างหลอดย่อยสลายและฝาจุกด้วยกรดซัลฟิวริก 20 % ก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์
2. เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางผนวกที่ ก-2
3. นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลายหรือแอมพูล เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลาย ซึ่งได้ แก่ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโ
4. ค่อย ๆ เทกรดซัลฟิวริกรีเอเจนท์ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำและสารละลายในการย่อยสลาย
5. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่นหรือถ้าใช้แอมพูลก็ให้เชื่อมให้สนิท แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง
6. นำหลอดทดลองนี้ไปใส่เครื่องย่อยสลาย (block digester) หรือตู้อบ ซึ่งได้ ทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ก่อนใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยนำหลอดทดลองมาวางในที่วางหลอดทดลอง
7. เปิดฝาจุกแล้วจึงใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วย ทีเอฟอี (TFE covered magnetic bar) ถ้าใช้แอมพูล ให้เทของผสมลงไปในภาชนะที่ใหญ่กว่า เพื่อนำไปไทเทรท เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ประมาณ 1-2 หยด คนโดยใช้เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างรวดเร็วในขณะที่ไทเทรทด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต 0.1 M จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากสีฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง ถึงแม้บางครั้งสีฟ้าอมเขียวอาจจะกลับมาปรากฏอีกในหลายนาทีถัดมา และในลักษณะเดียวกันให้ทำรีฟลักซ์ และไทเทรทแบลงค์ ที่มีรีเอเจน กับน้ำกลั่นในปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

**วิธีการคำนวณ**

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร COD} = \frac{(A-B) \times M \times 8,000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

A = มิลลิลิตร $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรทแบลงค์

B = มิลลิลิตร $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรทตัวอย่างน้ำ

M = Molarity ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

**2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids, TS)**

ของแข็งทั้งหมด หมายถึง ปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากสารตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator) แล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของของแข็งทั้งหมด

**วิธีการวิเคราะห์**

1. การเตรียมจานระเหย โดยจานที่จะใช้ต้องอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอน สมมติให้ = A มิลลิกรัม
2. เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำให้เหมาะสม
3. ค่อยๆ รินตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาของแข็งทั้งหมดใส่ในจานระเหย นำไประเหยน้ำออกให้หมดบน Water bath หรือ hot plate นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น
4. ชั่งน้ำหนักจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง สมมติ = B มิลลิกรัม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นก็คือ น้ำหนักของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งคำนวณออกมาในรูปของ ml/L

**วิธีการคำนวณ**

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร total solids} = \frac{(A-B) \text{ มิลลิกรัม} \times 1,000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

**3. ของแข็งระเหยทั้งหมด (total volatile solids, TVS)**

ของแข็งระเหยทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของสารที่ระเหยไปได ส ที่อุณหภูมิ 550 ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ส วนตะกอนที่เหลืออยู่ไม สลายไปเรียกว่าปริมาณของแข็งคงตัว (fix solids)

**วิธีการวิเคราะห์**

1. นำจานระเหยที่ได ส จากการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดแล ส ว นำไปเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 15-20 นาที)

2. ปล่อยให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น ชั่งหาน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่

**วิธีการคำนวณ**

$$\text{มิลลิกรัม /ลิตร fix solids} = \frac{\text{มิลลิกรัม fix solids X 1,000}}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

**ดังนั้น** มิลลิกรัม/ลิตร total volatile solid = มิลลิกรัม/ลิตร total solid – มิลลิกรัม/ลิตร fix solids

**4. กรดอินทรีย์ระเหย (volatile fatty acid, VFA) และความเป็นด่างทั้งหมด (total alkalinity, Talk)**

วิธีนี้เป็นวิธีหยาบๆ ค่าที่ได ส ไม ชัดเจนยำนัก ไม ควรนำไปใช้ใน งานวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียด แต่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบ เพื่อที่จะได ส ทราบถึง การทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ใช้เวลาในการทดลองไม เกิน 1 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หาสภาพด่างทั้งหมดที่ pH 4.0 โดยวิธีการไตเตรทแบบโพเทชิออเมทริก
2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก
3. ไตเตรทกลับจาก pH 4.0 ไปเป็น 7.0 เพื่อหาสภาพด่างของกรดอินทรีย์ระเหย (volatile acid alkalinity) และสภาพด่างของเบส (base alkalinity) แล้วจึงคำนวณหาค่ากรดอินทรีย์ระเหย

**สารเคมี**

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูลิค 0.5 N
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 N

**วิธีการวิเคราะห์**

1. นำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองและไปเข้าเครื่องแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบประมาณ 7,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำ จากนั้นนำเอาส่วนใสที่อยู่ส่วนบนมา 50-200 มิลลิลิตร ใส่ในบิกเกอร์ขนาด 100-300 มิลลิลิตร วัดค่า pH ของตัวอย่างน้ำ ไทเทรทตัวอย่างน้ำจนถึง pH 4.0 ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 M บันทึกปริมาณกรดมาตรฐานที่ใช้ สมมติ = A มิลลิลิตร

2. ไทเทรทตัวอย่างน้ำต่อไปจน pH ถึง 3.3-3.5 ไม่ต้องบันทึกปริมาณกรดที่ใช้ จากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2-3 นาที กรดคาร์บอนิคจะถูกไล่ออกไป

3. ปรับ pH ให้เป็น 4.0 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M จดปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทกลับตั้งแต่ pH 4.0 ถึง 7.0 ซึ่งจะเป็นสภาพด่างเนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหย (volatile acid alkalinity) สมมติปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ สมมติ = B มิลลิลิตร

**วิธีการคำนวณ**

$$\text{สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร คิดในรูป } CaCO_3) = \frac{\text{Ax Normality ของ } H_2SO_4 \times 50 \times 1{,}000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

$$\text{สภาพด่าง VFA (มิลลิกรัม/ลิตร คิดในรูป } CaCO_3) = \frac{\text{Bx Normality ของ } NaOH \times 50 \times 1{,}000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

a. กรณีที่ 1 ถ้าสภาพด่าง VFA น้อยกว่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\text{VFA (มิลลิกรัม/ลิตร คิดในรูป } CH_3COOH) = \text{สภาพด่าง VFA} \times 1.0$$

b. กรณีที่ 2 ถ้าสภาพด่าง VFA มากกว่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\text{VFA (มิลลิกรัม/ลิตร คิดในรูป } CH_3COOH) = \text{สภาพด่าง VFA} \times 1.5$$

**5. ไนโตรเจนเจลดาห์ลทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)**

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด หมายถึงผลบวกระหว่างออร์กานิกไนโตรเจน (organic nitrogen) และแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen) สำหรับการวิเคราะห์หาออร์กานิกไนโตรเจนถ้าไม่ได้แยกแอมโมเนียไนโตรเจนออกเสียก่อน ผลที่ได้จะได้เป็นไนโตรเจนทั้งหมด โดยไนโตรเจนทั้งหมดที่จะกล่าวถึงนี้หาได้โดยวิธีเจลดาห์ล มีเมอร์คิวรี (II) ซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ซึ่งจะเปลี่ยนพวกออร์กานิกไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต หลังจากการย่อยสารละลายด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้นที่มีโพแทสเซียมซัลเฟตเป็นตัวเพิ่มจุดเดือดให้สูงขึ้นถึง 344-371 องศาเซลเซียส หลังจากการย่อยสลายแล้วให้เจือจางส่วนที่เหลือภายในขวดเจลดาห์ลแล้วทำให้เป็นด่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นนำไปกลั่นโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวดูดกลืน

**สารเคมี**

1. สารละลายสำหรับการย่อยสลาย(digestion solution)
   - ละลาย $K_2SO_4$ 134 g ในน้ำกลั่น 650 ml
   - ผสมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 200 ml
   - แล้วละลายเมอร์คิวรี ( II) ออกไซด์แดง(red mercury (II) oxide) 2 g ในกรดซัลฟิวริก 3 N
   - ค่อยๆ เติมลงในสารละลายโพแทสเซียมซัลเฟต แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml
   - เก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 14°c เพื่อกันการตกตะกอน
2. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไธโอซัลเฟต (sodium hydroxide-sodium thiosulphate reagent)
   - ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 g และโซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตาไฮเดรต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 25 g ในน้ำกลั่น
   - แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml
4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)
   - ละลายเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ ( methyl red indicator) 200 ml ในเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95 % ปริมาตร 100 ml
   - ละลายเมทิลีนบลู (methylene blue) 100 ml ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 50 ml

- แล้วผสมสารละลายทั้งสองชนิดนี้เข้าด้วยกัน สารละลายนี้ควรเตรียมทุก ๆ เดือน

5. สารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด (indicating boric acid solution)
   - ละลายกรดบอริก 20 g ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย
   - เติมอินดิเคเตอร์ผสมลงไป 10 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml
6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.01 M

**วิธีการวิเคราะห์**

1. ตวงตัวอย่างน้ำโดยให้มีปริมาตรที่เหมาะสม ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางผนวกที่ ก-2 ใส่ลงในขวดเจลดาห์และใส่ลูกแก้ว 3-4 ลูก
2. เติมสารละลายสำหรับย่อยสลายออร์กานิกไนโตรเจน 50 ml
3. ต้มเดี่ยวจนได้สารละลายใส เดี่ยวต่อไปอีก 20-30 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 300 ml
4. ทำให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไธโอซัลเฟต ประมาณ 50 ml โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (phenopthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปกลั่นลงในสารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด 50 ml จนได้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 200 ml
5. ทำส่วนที่กลั่นได้ให้เย็น นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.01 M
6. โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสม 2-3 หยด จดปริมาตรของกรดซัลฟิวริกมาตรฐานที่ใช้ไว้

**วิธีการคำนวณ**

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร total nitrogen} = \frac{(A-B) \times M \times 1{,}000 \times 28}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

A = มิลลิลิตร สารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้สำหรับตัวอย่างน้ำ

B = มิลลิลิตร สารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้สำหรับแบลงค์

M = Molarity ของสารละลายกรดซัลฟิวริกมาตรฐานที่ใช้

**<u>ตารางภาคผนวกที่ ก-2</u>** ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่เหมาะสม

| ออร์กานิกไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำ mg/l | ปริมาณของตัวอย่างน้ำ (ml) |
|---|---|
| 0-1 | 500 |
| 1-10 | 250 |
| 10-20 | 100 |
| 20-50 | 50 |
| 50-100 | 25 |

**6. อินทรีย์คาร์บอน (Total organic carbon) ด้วยวิธี Walkley - Black**

หลักการของวิธีนี้คือ ใช้ $K_2Cr_2O_7$ ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงทำปฏิกิริยากับอินทรีย์คาร์บอนในกรดซัลฟูริกเข้มข้น แล้วไทเทรทหา $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือด้วย $(NH_4)_2$ Fe $(SO_4)_2$

**สารเคมีและวิธีเตรียม**

1. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท 1.0 N
   - ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (อบที่อุณหภูมิ 105 -110°c เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง) 49.04 g ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 L
2. สารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต 0.5 นอร์มอล
   - ละลาย $(NH_4)_2$ Fe $(SO_4)_2$ .$6H_2O$ 196.1 g ในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml
   - เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 ml
   - ทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1 L
3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
4. เฟอโรอินอินดิเคเตอร์
   - ละลาย 1,10 - phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) 1.48 g ในน้ำกลั่น
   - แล้วเติมสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต 0.5 นอร์มอล 14 ml
   - ปรับปริมาตรเป็น 100 ml

**วิธีการวิเคราะห์**

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอน (ที่ร่อนผ่านตะแกรง 0.5 ml) 0.5-2.0 g (ทั้งนี้แล้วแต่ตัวอย่างจะมีสารอินทรีย์วัตถุมากหรือน้อย) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท 1.0 นอร์มอล 10 ml ด้วยบิเปตวัดปริมาตร และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นด้วยกระบอกตวงลงไป 20 ml แกว่งขวดเบา ๆ เพื่อให้สารละลายกับดินตะกอนผสมกันประมาณ 1-2 นาที แล้วทิ้งไว้ประมาณ 20-30 นาที ขั้นตอนนี้ทำในตู้ควัน
3. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 100 ml และหยดเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ลงไป 3-5 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต 0.5 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารแขวนลอยเปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลแดง บันทึกปริมาตรของสารละลาย สารละลาย

เฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟตที่ใช้ไป ถ้าไทเทรตด้วยสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต เกินจุดยุติ ให้เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมทลงไปอีก 0.5-1.0 มิลลิลิตรแล้วไทเทรทด้วยสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต อีกครั้งหนึ่ง จุดยุติคือจุดที่อินดิเคเตอร ไ เริ่มเปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลแดง

4. วิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต ที่ใช้ (วิเคราะห์แบลงค์) โดยทำเฉพาะข้อ 2 และข้อ 3 บันทึกปริมาตรของสารละลายสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต ที่ใช้
5. คำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเป็นร้อยละ โดยใช้สูตร

$$\%OC = \frac{[(B - S) \times N \times 0.336]}{W}$$

$$\%OM = \%OC \times 1.72$$

B คือปริมาตรของสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต ที่ใช้ไทเทรทแบลงค์ (ml)

S คือปริมาตรของสารละลายเฟอรัสแอม โมเนียม ซัลเฟต ที่ใช้ไทเทรทตัวอย่าง (ml)

N คือนอร์มอลิตี้ของสารละลายเฟอรัส แอมโมเนียม ซัลเฟต

W คือน้ำหนักของตัวอย่างดินตะกอน (g)

**7. การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ (Gas composition)**

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

เครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี (Gas chromatography) Shimadzu model GC-14B ภายใต้สภาวะการทดลอง ดังนี้

- คอลัมน์ UNIBEAD C Mesh Range 60/80
- เครื่องตรวจวัดแบบ flame ionize detector (FID)
- อุณหภูมิคอลัมน์ 130-150 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิ injection port 100 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิ detector 180 องศาเซลเซียส

- carrier gas ที่ใช้คือ แก๊สฮีเลียม ที่อัตราการไหล 50 ml/min

**วิธีการวิเคราะห์**

การฉีดตัวอย่างแก๊สชีวภาพโดยใช้ syringe แบบ gas tight syringe ขนาด 1 ml ดูดแก๊สชีวภาพมา 1 ml ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโทรมาโตรกราฟฟี คำนวณหาร้อยละของก๊าซมีเทนโดยเทียบจากร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ (peak area) ของก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99.99 %

# ภาคผนวก ข

## วิธีการคำนวณ

**1. หาปริมาตรถังที่ใช้**

ทำการทดลองถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

- ถังชั้นในมีปริมาตรใช้งาน 1.14 L หรือ 1,140 ml
- ถังชั้นนอกมีปริมาตรใช้งาน 5.34 L หรือ 5,340 ml
- โดยมีปริมาตรรวม 1.14 + 5.34 = 6.48 L หรือ 6,480 ml

โดยการทำการทดลองเพื่อหาแก๊สมีเทน โดยใช้ปฏิกูลสุกรนั้น ต้องใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (Inoculum) จากโรงงานมาลีสามพราน ใส่ลงในถังปฏิกรณ์ก่อนเป็นปริมาตร 40 % ของปริมาตรถัง

**ดังนั้น** ถังชั้นในใส่ $1.14\ \text{L} \times \frac{40}{100}$ Inoculums = 0.45 ลิตร หรือ 456 ml

และถังชั้นนอก Inoculums $5.34\ \text{L} \times \frac{40}{100}$ = 2.13 ลิตร หรือ 2,136 ml

รวม Inoculums ทั้งสองชั้นเป็น 456 + 2,136 = 2592 ml

ปริมาตรคงเหลือ 6,480 - 2,592 = 3,888 ml

**2. การคำนวณอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (organic loading rate, OLR) (g COD/l.d)**

OLR (g COD/l.d) = ปริมาตรของเหลวที่เข้าระบบ (l/d) * ค่า COD ของของเหลวที่เข้าระบบ (mg/l)
ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก ( l)

$$= \frac{Q * So}{V}$$

$$= \frac{So}{HRT}$$

**ตัวอย่างการคำนวณ**

ค่า COD ของของเหลวที่เข้าระบบ = 31,586 mg/l

ปริมาตรของเหลวที่เข้าระบบ = 0.40 l/d

ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก = 1

$$OLR = \frac{0.4 \times 31{,}586 \times 10^{-3}}{6.5}$$

$$= 1.9460 \text{ g COD/l.d}$$

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

**3. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ (% removal)**

ประสิทธิภาพการกำจัด (%) = (สารอินทรีย์ที่เข้าระบบ-สารอินทรีย์ที่ออกจากระบบ)*100
สารอินทรีย์ที่เข้าระบบ

**ตัวอย่างการคำนวณ**

ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ (%)

COD ที่เข้าระบบ = 31,586 mg/l

COD ที่ออกจากระบบ = 12,538 mg/l

ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ = (31,586 – 12538) *100
31,586

= 60.28 %

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

ประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบ (%)

TS ที่เข้าระบบ = 47,380 mg/l

TS ที่ออกจากระบบ = 36,680 mg/l

ประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบ = (47,380 – 36,680) *100
47,380

= 22.58 %

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

ประสิทธิภาพการกำจัด VS ของระบบ (%)

VS ที่เข้าระบบ = 33,410 mg/l

VS ที่ออกจากระบบ = 18,552 mg/l

ประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบ = (33,410 – 18,552) *100
32,902

= 44.47 %

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

**4. การคำนวณปริมาณแก๊สมีแทนที่เกิดจากหน่วย SCCM (Standard Cubic Centimeters per Minute) เป็นลิตรต่อวัน**

1 SCCM = 7.4E-07 โมล/นาที

1 mole = 22.4 liters at "STP"

STP คือ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสหรือ 273 K และความดัน 1 บรรยากาศ

ตัวอย่าง แก๊สมีเทน 0.75 SCCM

เท่ากับ 0.75*7.4E-07*22.4 = 1.08 ลิตรต่อวัน

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

**5. การคำนวณปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ**

**(l/g organics added)**

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ

= ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน (l/d)

ของเหลวที่เข้าระบบ ( l/d) * ค่าของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ mg/l

**<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>**

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD

ปริมาณแก๊สมีเทน = 0.7010 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.4 l

ค่า COD ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 31,624 mg/l

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD ที่เข้าระบบ = <u>0.7010</u>

0.4 * 31,624

= 0.055416 l/g COD added

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS

ปริมาณแก๊สมีเทน = 0.7010 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.4 l

ค่า TS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 49,016 mg/l

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS ที่เข้าระบบ = <u>0.7010</u>

0.4 * 49,016

= 0.3574 l/g TS added

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก VS

ปริมาณแก๊สมีเทน = 0.7010 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.4 l

ค่า VS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 34,065 mg/l

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก VS ที่เข้าระบบ = <u>0.7010</u>

$$\frac{0.4 * 34,065}{}$$

= 0.05144 l/g VS added

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

**6. การคำนวณปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดจากระบบ (l/g organics removed)**

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ

$$= \frac{\text{ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน (l/d)}}{\text{ของเหลวที่เข้าระบบ (l/d) * (ค่าสารอินทรีย์ที่เข้า – ออกระบบ) (mg/l)}}$$

**<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>**

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD ที่ถูกกำจัดจากระบบ

ปริมาณแก๊สมีเทน = 0.7010 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.4 l

ค่า COD ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 31,624 mg/l

ค่า COD ของของเหลวที่ออกระบบโดยเฉลี่ย = 6,366.16 mg/l

$$\text{ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD ที่ถูกกำจัด} = \frac{0.7010}{0.4 * (31,624 - 6,366.16)}$$

= 0.0694 l/g COD removed

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS

ปริมาณแก๊สมีเทน = 0.7010 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.4 l

ค่า TS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 49,016 mg/l

ค่า TS ของของเหลวที่ออกระบบโดยเฉลี่ย = 28,838 mg/l

$$\text{ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS ที่ถูกกำจัด} = \frac{0.7010}{0.4 * (49,016 - 28,838)}$$

= 0.0868 l/g TS removed

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก VS

ปริมาณแก๊สมีเทน = 0.7010 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.4 l

ค่า VS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 34,065 mg/l

ค่า VS ของของเหลวที่ออกระบบโดยเฉลี่ย = 9,283.76 mg/l

ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS ที่ถูกกำจัด= $\frac{0.7010}{0.4 * (34,065 - 9,283.76)}$

= 0.07072 l/g TS removed

**6. การคำนวณการเตรียมสารละลายที่มีค่าของแข็ง(TS)ในปฏิกูลสุกร5%(w/v),2.5%(w/v), 1%(w/v), 0.5%(w/v) และ 0.02%(w/v)**

- เตรียมจานระเหยที่ผ่านการอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน Dedicator ชั่งน้ำหนัก (B)
- เตรียมปฏิกูลสุกรมาจำนวนหนึ่งแล้วนำไปปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นตวงมา 200 ml และ ผสมน้ำจนได้ปริมาตร 1000 ml (เจือจาง 5 เท่า) แล้วดูดมา 25 ml ใส่ในจานระเหยไประเหยและนำไปอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนัก (A)

**<u>ตารางภาคผนวกที่ ข-1</u>** การชั่งน้ำหนักของปฏิกูลสุกรหลังทำการอบแห้ง

| ครั้งที่ | A-B |
|---|---|
| 1 | 1.0657 |
| 2 | 1.0564 |
| 3 | 1.0623 |
| 4 | 1.1038 |
| 5 | 1.0719 |
| 6 | 1.0685 |
| เฉลี่ย | 1.0714 |

ของแข็งทั้งหมด หน่วย มิลิกรัมต่อลิตร = $\frac{(1.0714 \times 10^6) \times 5}{25 \text{ ml}}$ = 214,280 mg/l

คิดเป็น TS ที่แท้จริงเป็น เปอร์เซ็นต์คือ

เทียบ จาก 1000 ml/L มีค่าเท่ากับ 1%

ถ้านำมา 214,280 ml/L จะมีค่า $\frac{214,280 \times 1}{10,000}$ เป็น = 21.428 %

คิดน้ำหนัก % w/v

นำปฏิกูลสุกรมา 25 ml หลังอบ มี น้ำหนักของแข็งเหลือ 1.0714 g

ถ้านำมา 100 ml จะมี น้ำหนักของแข็ง $\frac{(1.0714 \times 100)}{25\ ml}$ = 4.2856 %

คิดเป็น 4.2856 % w/v สำหรับการทดลองครั้งนี้

1. ในการทดลองใช้ TS 5 % w/v น้ำหนักถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรคงเหลือ 3,888 ml เทียบ ใน 100 ml ต้องการ ของแข็ง 5 g

ถ้า 3,888 ml = $\frac{5}{100} \times 3{,}888$ = 194 g

เทียบ มีของแข็ง 21.428 g ในปฏิกูลสุกร 100 ml

ถ้าต้องการ 194 g ต้องใช้ปฏิกูลสุกร $\frac{100 \times 194.4}{21.428}$ = 907 ml

**ดังนั้น** ในถัง TS 5 % ใช้ปฏิกูลสุกร 907 ml และผสมน้ำจนได้ปริมาตร 3,888 ml

2. ในการทดลองใช้ TS 1 % w/v ในถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรคงเหลือ 3,888 ml เทียบ ใน 100 ml ต้องการ ของแข็ง 1 g

ถ้า 3,888 ml = $\frac{1 \times 3{,}888}{100}$ = 38.88 g

เทียบ มีของแข็ง 21.428 g ในปฏิกูลสุกร 100 ml

ถ้าต้องการ 38.88 g ต้องปฏิกูลสุกร $\frac{100 \times 38.88}{21.428}$ = 181 ml

**ดังนั้น** ในถัง TS 1% ใช้ปฏิกูลสุกร 181 ml และผสมน้ำจนได้ปริมาตร 3,888 ml

3. ในการทดลองใช้ TS 0.5 % w/v ในถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรคงเหลือ 3,888 ml เทียบ ใน 100 ml ต้องการ ของแข็ง 0.5 g

ถ้า 3,888 ml = $\frac{0.5 \times 3,888}{100}$ = 19.44 g

เทียบ มีของแข็ง 21.428 g ในปฏิกูลสุกร 100 ml

ถ้าต้องการ 19.44 g ต้องการปฏิกูลสุกร $\frac{100 \times 19.44}{21.428}$ = 90.72 ml

**ดังนั้น** ในถัง TS 0.5 % ใช้ปฏิกูลสุกร 90.72 ml และผสมน้ำจนได้ปริมาตร 3,888 ml

4. ในการทดลองใช้ TS 0.2 % w/v ในถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรคงเหลือ 3,888 ml

เทียบ ใน 100 ml ต้องการ ของแข็ง 0.2 g

ถ้า 3,888 ml = $\frac{0.2 \times 3,888}{100}$ = 7.776 g

เทียบ มีของแข็ง 21.428 g ในปฏิกูลสุกร 100 ml

ถ้าต้องการ 7.76 g ต้องการปฏิกูลสุกร $\frac{100 \times 7.76}{21.428}$ = 36.21 ml

**ดังนั้น** ในถัง TS 0.2 % ใช้ปฏิกูลสุกร 36.21 ml และผสมน้ำจนได้ปริมาตร 3,888 ml

ในกรณีค่าอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

# ภาคผนวก ค

# ข้อมูลผลการทดลอง

## 1 . ปริมาณน้ำที่ใช้ในดอกสุกรทดลอง

**ตารางภาคผนวก ค-1 ปริมาณน้ำดื่มน้ำใช้และน้ำล้างของดอกสุกรควบคุม**

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 1 | 26 | 130 | |
| 2 | 26 | 130 | |
| 3 | 26 | 130 | 266 |
| 4 | 37 | 256 | |
| 5 | 37 | 256 | 212 |
| 6 | 37 | 244 | |
| 7 | 37 | 244 | 196 |
| 8 | 37 | 222 | |
| 9 | 37 | 222 | 147 |
| 10 | 37 | 234 | |
| 11 | 37 | 234 | 162 |
| 12 | 37 | 282 | |
| 13 | 37 | 282 | 279 |
| 14 | 39 | 228 | |
| 15 | 39 | 228 | 256 |
| 16 | 45 | 267 | |
| 17 | 45 | 267 | 194 |
| 18 | 49 | 236 | |
| 19 | 49 | 236 | 185 |
| 20 | 44 | 244 | |
| 21 | 44 | 244 | 185 |
| 22 | 66 | 188 | |
| 23 | 66 | 188 | 201 |
| 24 | 38 | 240 | |
| 25 | 38 | 240 | 148 |
| 26 | 45 | 193 | |
| 27 | 45 | 193 | 236 |
| 28 | 52 | 223 | |

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 29 | 52 | 223 | 203 |
| 30 | 37 | 430 | |
| 31 | 37 | 430 | 228 |
| 32 | 56 | 192 | |
| 33 | 56 | 192 | 214 |
| 34 | 80 | 120 | |
| 35 | 80 | 120 | 278 |
| 36 | 73 | 159 | |
| 37 | 73 | 159 | 320 |
| 38 | 71 | 110 | |
| 39 | 71 | 110 | 277 |
| 40 | 44 | 305 | |
| 41 | 44 | 305 | 203 |
| 42 | 70 | 160 | |
| 43 | 70 | 160 | 205 |
| 44 | 41 | 325 | |
| 45 | 41 | 325 | 253 |
| 46 | 41 | 325 | |
| 47 | 41 | 325 | 269 |
| 48 | 41 | 325 | |
| 49 | 41 | 325 | 399 |
| 50 | 46 | 430 | |
| 51 | 46 | 430 | 375 |
| 52 | 46 | 430 | |
| 53 | 46 | 430 | 314 |
| 54 | 28 | 128 | |
| 55 | 28 | 128 | 286 |
| 56 | 42 | 398 | |
| 57 | 42 | 398 | 179 |
| 58 | 54 | 214 | |
| 59 | 54 | 214 | 264 |
| 60 | 24 | 503 | |
| 61 | 24 | 503 | 232 |

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 62 | 26 | 133 | |
| 63 | 26 | 133 | 215 |
| 64 | 69 | 429 | 263 |
| 65 | 69 | 429 | 362 |
| 66 | 42 | 286 | 167 |
| 67 | 38 | 208 | 175 |
| 68 | 35 | 262 | 265 |
| 69 | 47 | 410 | 65 |
| 70 | 51 | 263 | 178 |
| 71 | 72 | 256 | 209 |
| 72 | 61 | 293 | 201 |
| 73 | 106 | 473 | 257 |
| 74 | 68 | 243 | 150 |
| 75 | 56 | 289 | 229 |
| 76 | 53 | 239 | 258 |
| 77 | 62 | 266 | 242 |
| 78 | 95 | 267 | 213 |
| 79 | 28 | 397 | 228 |
| 80 | 50 | 161 | 323 |
| 81 | 52 | 206 | 214 |
| 82 | 39 | 278 | 174 |
| 83 | 59 | 306 | 177 |
| 84 | 25 | 373 | 144 |
| 85 | 23 | 266 | 213 |
| 86 | 28 | 178 | 299 |
| 87 | 9 | 207 | 261 |
| 88 | 9 | 406 | 248 |
| 89 | 22 | 258 | 233 |
| 90 | 10 | 322 | 251 |
| 91 | 5 | 257 | 323 |
| 92 | 15 | 252 | 343 |
| 93 | 30 | 298 | 236 |
| 94 | 11 | 154 | 251 |

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 95 | 10 | 174 | 181 |
| 96 | 28 | 232 | 238 |
| 97 | 75 | 259 | 331 |
| 98 | 26 | 321 | 234 |
| 99 | 25 | 189 | 298 |
| 100 | 19 | 329 | 231 |
| 101 | 18 | 250 | 233 |
| 102 | 32 | 2 | 252 |
| 103 | 35 | 71 | 185 |
| 104 | 23 | 697 | 164 |
| 105 | 17 | 324 | 210 |
| Total | 4478 | 27546 | 15738 |

*ผลรวมของการใช้น้ำทั้งหมดของคอกสุกรควบคุมเท่ากับ 47,762 ลิตร

น้ำล้าง

average 221.662 คือเฉลี่ยต่อครั้งในการล้างคอก

น้ำใช้

average 262.3429 คือเฉลี่ยที่มีการเปลี่ยนทุกวัน

**ตารางภาคผนวก ค-2 ปริมาณน้ำดื่ม น้ำใช้ และ น้ำล้างของดอกสุกรที่ใช้เทคโนโลยีสะอาด**

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 1 | 67 | 254 | |
| 2 | 67 | 254 | |
| 3 | 67 | 254 | 133 |
| 4 | 51 | 190 | |
| 5 | 51 | 190 | |
| 6 | 51 | 190 | |
| 7 | 51 | 190 | 93 |
| 8 | 69 | 254 | |
| 9 | 69 | 254 | |
| 10 | 69 | 254 | 82 |
| 11 | 69 | 255 | |
| 12 | 69 | 255 | |
| 13 | 69 | 255 | 107 |
| 14 | 71 | 256 | |
| 15 | 71 | 256 | |
| 16 | 71 | 256 | 86 |
| 17 | 70 | 194 | |
| 18 | 70 | 194 | |
| 19 | 70 | 194 | 121 |
| 20 | 54 | 135 | |
| 21 | 54 | 135 | |
| 22 | 54 | 135 | 114 |
| 23 | 55 | 135 | |
| 24 | 55 | 135 | |
| 25 | 55 | 135 | 130 |
| 26 | 57 | 234 | |
| 27 | 57 | 234 | |
| 28 | 57 | 234 | 165 |
| 29 | 72 | 171 | |
| 30 | 72 | 171 | |
| 31 | 72 | 171 | 210 |

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 32 | 36 | 131 | |
| 33 | 36 | 131 | |
| 34 | 36 | 131 | 92 |
| 35 | 61 | 62 | |
| 36 | 61 | 62 | |
| 37 | 61 | 62 | 108 |
| 38 | 76 | 135 | |
| 39 | 76 | 135 | |
| 40 | 76 | 135 | 275 |
| 41 | 51 | 268 | |
| 42 | 51 | 268 | |
| 43 | 51 | 268 | 180 |
| 44 | 66 | 134 | |
| 45 | 66 | 134 | |
| 46 | 66 | 134 | 251 |
| 47 | 63 | 284 | |
| 48 | 63 | 284 | |
| 49 | 63 | 284 | 105 |
| 50 | 38 | 679 | |
| 51 | 38 | 679 | |
| 52 | 38 | 679 | 139 |
| 53 | 64 | 202 | |
| 54 | 64 | 202 | |
| 55 | 64 | 202 | 179 |
| 56 | 28 | 262 | |
| 57 | 28 | 262 | |
| 58 | 28 | 262 | 255 |
| 59 | 38 | 345 | |
| 60 | 38 | 345 | |
| 61 | 38 | 345 | 198 |
| 62 | 59 | 238 | |
| 63 | 59 | 238 | |
| 64 | 59 | 238 | 193 |

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 65 | 42 | 227 | |
| 66 | 42 | 227 | 157 |
| 67 | 47 | 243 | |
| 68 | 47 | 243 | 206 |
| 69 | 26 | 278 | |
| 70 | 26 | 278 | 181 |
| 71 | 86 | 218 | |
| 72 | 86 | 218 | 253 |
| 73 | 41 | 173 | |
| 74 | 41 | 173 | 222 |
| 75 | 50 | 242 | |
| 76 | 50 | 242 | 201 |
| 77 | 81 | 299 | |
| 78 | 81 | 299 | 197 |
| 79 | 84 | 200 | |
| 80 | 84 | 200 | 191 |
| 81 | 56 | 207 | |
| 82 | 56 | 207 | 194 |
| 83 | 67 | 265 | |
| 84 | 67 | 265 | 180 |
| 85 | 51 | 433 | |
| 86 | 51 | 433 | 78 |
| 87 | 46 | 171 | |
| 88 | 46 | 171 | 176 |
| 89 | 56 | 226 | |
| 90 | 56 | 226 | 228 |
| 91 | 49 | 292 | |
| 92 | 49 | 292 | 211 |
| 93 | 73 | 180 | |
| 94 | 73 | 180 | 193 |
| 95 | 30 | 170 | |
| 96 | 30 | 170 | 149 |
| 97 | 66 | 99 | |

| day | น้ำกิน | น้ำใช้ | น้ำล้าง |
|---|---|---|---|
| 98 | 66 | 99 | 171 |
| 99 | 29 | 274 | |
| 100 | 29 | 274 | 187 |
| 101 | 56 | 233 | |
| 102 | 56 | 233 | 191 |
| 103 | 70 | 145 | |
| 104 | 70 | 145 | 180 |
| 105 | 20 | 228 | |
| 106 | 20 | 228 | |
| Total | 5911 | 22741 | 6889 |

*ผลรวมของการใช้น้ำทั้งหมดของคอกสุกรที่ใช้เทคโนโลยีสะอาดเท่ากับ 36,716 ลิตร

น้ำล้าง

Average 168.0244 คือเฉลี่ยต่อครั้งในการล้างคอก

น้ำใช้

average 216.581 คือเฉลี่ยที่มีการเปลี่ยนทุกวัน

**1. อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่อัตราส่วนและปริมาณของแข็งทั้งหมด**

**ตารางภาคผนวกที่ ค-3** อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (organic loading rate) ขาเข้าที่อัตราส่วนต่างๆ

| Total solids | อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อพารามิเตอร์ต่างๆ | | |
|---|---|---|---|
| | ถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน | | |
| | COD[ก] | TS[ข] | VS[ค] |
| 5% | 1.9460 | 3.0642 | 2.0808 |
| 2.5% | 1.0641 | 1.5579 | 1.0776 |
| 1% | 0.5227 | 0.7183 | 0.4109 |
| 0.5% | 0.1730 | 0.3236 | 0.1990 |
| 0.2% | 0.0747 | 0.14038 | 0.0993 |

[ก]**COD, gCOD / l.d.**

[ข] **TS, gTS / l.d.**

[ค] **VS, gVS / l.d.**

**ตารางภาคผนวกที่ ค-4** อัตราการป้อนสารอินทรีย์(organic loading rate) ขาออกที่อัตราส่วนต่างๆ

| Total solids | อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อพารามิเตอร์ต่างๆ | | |
|---|---|---|---|
| | ถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน | | |
| | COD[ก] | TS[ข] | VS[ค] |
| 5% | 0.4996 | 1.5316 | 1.0872 |
| 2.5% | 0.2622 | 0.6338 | 0.4840 |
| 1% | 0.1161 | 0.2257 | 0.2570 |
| 0.5% | 0.0256 | 0.0713 | 0.0433 |
| 0.2% | 0.0122 | 0.0177 | 0.0120 |

[ก]**COD, gCOD / l.d.**

[ข] **TS, gTS / l.d.**

[ค] **VS, gVS / l.d.**

**ตารางภาคผนวก ค -5** แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักของคอกสุกรทั้ง 2 คอก คอกที่ 1 คือ คอกควบคุม คอกที่ 2 คือ คอกที่ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด

| ครั้งที่ | คอกที่ 1 | | คอกที่ 2 | |
|---|---|---|---|---|
| | น้ำหนักรวม/ครั้ง | น้ำหนักเฉลี่ย/ตัว/ครั้ง(กก.) | น้ำหนักรวม/ครั้ง | น้ำหนักเฉลี่ย/ตัว/ครั้ง(กก.) |
| 1 | 253 | 25.3 | 250 | 25 |
| 2 | 429 | 42.9 | 406 | 40.6 |
| 3 | 574 | 57.4 | 574 | 57.4 |
| 4 | 893 | 89.3 | 900 | 90.0 |
| 5 | 1,112 | 111.2 | 1,139 | 113.9 |
| 6 | 1,114 | 111.4 | 1,120 | 120.0 |

**<u>ตารางภาคผนวก ค-6</u>** ผลผลิตแก๊สมีเทน (l/day) ของมูลสุกร ที่อัตราส่วนและปริมาณของแข็งหมดต่างๆ

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.18 | 0.15 | 0.12 | 0.08 |
| 3 | 0.30 | 0.17 | 0.15 | 0.08 |
| 4 | 0.37 | 0.17 | 0.11 | 0.07 |
| 5 | 0.38 | 0.18 | 0.18 | 0.10 |
| 6 | 0.44 | 0.15 | 0.15 | 0.08 |
| 7 | 0.41 | 0.18 | 0.17 | 0.08 |
| 8 | 0.48 | 0.30 | 0.15 | 0.10 |
| 9 | 0.54 | 0.24 | 0.18 | 0.08 |
| 10 | 0.59 | 0.25 | 0.17 | 0.10 |
| 11 | 0.64 | 0.38 | 0.25 | 0.12 |
| 12 | 0.69 | 0.35 | 0.21 | 0.15 |
| 13 | 0.67 | 0.38 | 0.25 | 0.12 |
| 14 | 0.76 | 0.46 | 0.27 | 0.15 |
| 15 | 0.84 | 0.53 | 0.30 | 0.17 |
| 16 | 0.90 | 0.61 | 0.35 | 0.18 |
| 17 | 1.02 | 0.70 | 0.40 | 0.18 |
| 18 | 1.07 | 0.76 | 0.41 | 0.20 |
| 19 | 1.25 | 0.82 | 0.44 | 0.20 |
| 20 | 1.13 | 0.87 | 0.50 | 0.21 |
| 21 | 1.07 | 0.83 | 0.59 | 0.23 |
| 22 | 1.32 | 0.89 | 0.47 | 0.23 |
| 23 | 1.16 | 0.89 | 0.53 | 0.24 |
| 24 | 1.36 | 0.90 | 0.54 | 0.24 |
| 25 | 1.19 | 0.92 | 0.50 | 0.24 |
| 26 | 1.36 | 0.94 | 0.56 | 0.25 |
| 27 | 1.38 | 0.96 | 0.56 | 0.25 |
| 28 | 1.42 | 0.97 | 0.57 | 0.27 |

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 29 | 1.61 | 0.99 | 0.59 | 0.28 |
| 30 | 1.53 | 1.01 | 0.59 | 0.27 |
| 31 | 1.59 | 1.03 | 0.60 | 0.28 |
| 32 | 1.56 | 1.05 | 0.61 | 0.30 |
| 33 | 1.61 | 1.06 | 0.62 | 0.30 |
| 34 | 1.68 | 1.08 | 0.63 | 0.31 |
| 35 | 1.74 | 1.05 | 0.64 | 0.33 |
| 36 | 1.77 | 1.08 | 0.64 | 0.31 |
| 37 | 1.81 | 1.13 | 0.66 | 0.33 |
| 38 | 1.85 | 1.15 | 0.67 | 0.33 |
| 39 | 1.89 | 1.16 | 0.67 | 0.34 |
| 40 | 1.94 | 1.18 | 0.69 | 0.33 |
| 41 | 1.98 | 1.21 | 0.70 | 0.34 |
| 42 | 2.03 | 1.19 | 0.72 | 0.36 |
| 43 | 2.07 | 1.23 | 0.72 | 0.36 |
| 44 | 2.11 | 1.25 | 0.73 | 0.37 |
| 45 | 2.16 | 1.26 | 0.74 | 0.38 |
| 46 | 2.20 | 1.29 | 0.74 | 0.39 |
| 47 | 2.24 | 1.31 | 0.76 | 0.38 |
| 48 | 2.26 | 1.32 | 0.77 | 0.37 |
| 49 | 2.33 | 1.33 | 0.77 | 0.38 |
| 50 | 2.37 | 1.35 | 0.79 | 0.40 |
| 51 | 2.43 | 1.38 | 0.80 | 0.40 |
| 52 | 2.47 | 1.39 | 0.80 | 0.38 |
| 53 | 2.49 | 1.41 | 0.82 | 0.40 |
| 54 | 2.55 | 1.42 | 0.83 | 0.41 |
| 55 | 2.67 | 1.61 | 0.83 | 0.44 |
| 56 | 2.63 | 1.61 | 0.85 | 0.41 |
| 57 | 2.67 | 1.65 | 0.86 | 0.43 |
| 58 | 2.69 | 1.66 | 0.86 | 0.42 |

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 59 | 2.76 | 1.69 | 0.87 | 0.41 |
| 60 | 2.82 | 1.72 | 0.89 | 0.44 |
| 61 | 2.95 | 1.77 | 0.89 | 0.44 |
| 62 | 2.90 | 1.81 | 0.90 | 0.43 |
| 63 | 2.93 | 1.84 | 0.92 | 0.41 |
| 64 | 3.12 | 1.81 | 0.92 | 0.44 |
| 65 | 3.09 | 1.82 | 0.93 | 0.41 |
| 66 | 3.13 | 1.88 | 0.94 | 0.40 |
| 67 | 3.21 | 1.85 | 0.97 | 0.44 |
| 68 | 3.29 | 1.94 | 0.96 | 0.43 |
| 69 | 3.26 | 1.97 | 0.97 | 0.41 |
| 70 | 3.38 | 2.01 | 0.99 | 0.44 |
| 71 | 3.32 | 2.03 | 1.02 | 0.46 |
| 72 | 3.38 | 2.00 | 1.05 | 0.44 |
| 73 | 3.46 | 1.97 | 1.02 | 0.46 |
| 74 | 3.41 | 2.00 | 1.02 | 0.46 |
| 75 | 3.45 | 2.01 | 1.03 | 0.44 |
| 76 | 3.49 | 1.95 | 1.05 | 0.44 |
| 77 | 3.39 | 2.04 | 1.05 | 0.46 |
| 78 | 3.43 | 1.98 | 1.06 | 0.44 |
| 79 | 3.48 | 2.00 | 1.07 | 0.50 |
| 80 | 3.38 | 2.00 | 1.09 | 0.48 |
| 81 | 3.42 | 2.01 | 1.12 | 0.47 |
| 82 | 3.46 | 2.04 | 1.10 | 0.48 |
| 83 | 3.42 | 2.03 | 1.10 | 0.47 |
| 84 | 3.49 | 2.04 | 1.12 | 0.46 |
| 85 | 3.46 | 2.00 | 1.13 | 0.50 |
| 86 | 3.38 | 2.01 | 1.13 | 0.48 |
| 87 | 3.49 | 2.03 | 1.15 | 0.47 |
| 88 | 3.48 | 2.01 | 1.13 | 0.50 |

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 89 | 3.43 | 2.02 | 1.13 | 0.46 |
| 90 | 3.49 | 2.04 | 1.15 | 0.50 |
| ค่าเฉลี่ย | 2.15 | 1.29 | 0.71 | 0.33 |
| SD | 1.05 | 0.61 | 0.30 | 0.12 |

**<u>ตารางภาคผนวก ค-7</u>** ผลผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (l/day) ของมูลสุกรที่อัตราส่วนและปริมาณของแข็งทั้งหมดต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.44 | 0.27 | 0.20 | 0.17 |
| 2 | 0.47 | 0.25 | 0.23 | 0.21 |
| 3 | 0.50 | 0.27 | 0.24 | 0.20 |
| 4 | 0.53 | 0.25 | 0.25 | 0.24 |
| 5 | 0.56 | 0.24 | 0.23 | 0.21 |
| 6 | 0.59 | 0.31 | 0.21 | 0.21 |
| 7 | 0.61 | 0.34 | 0.24 | 0.23 |
| 8 | 0.64 | 0.33 | 0.27 | 0.24 |
| 9 | 0.60 | 0.34 | 0.30 | 0.27 |
| 10 | 0.64 | 0.35 | 0.33 | 0.25 |
| 11 | 0.61 | 0.37 | 0.30 | 0.24 |
| 12 | 0.63 | 0.40 | 0.35 | 0.27 |
| 13 | 0.64 | 0.38 | 0.33 | 0.25 |
| 14 | 0.61 | 0.44 | 0.35 | 0.30 |
| 15 | 0.64 | 0.41 | 0.38 | 0.27 |
| 16 | 0.67 | 0.46 | 0.33 | 0.24 |
| 17 | 0.70 | 0.44 | 0.37 | 0.25 |
| 18 | 0.67 | 0.46 | 0.44 | 0.27 |
| 19 | 0.73 | 0.47 | 0.41 | 0.30 |
| 20 | 0.69 | 0.51 | 0.44 | 0.38 |
| 21 | 0.64 | 0.54 | 0.46 | 0.35 |
| 22 | 0.69 | 0.61 | 0.53 | 0.40 |
| 23 | 0.70 | 0.60 | 0.46 | 0.41 |
| 24 | 0.67 | 0.561 | 0.50 | 0.40 |
| 25 | 0.73 | 0.59 | 0.47 | 0.38 |
| 26 | 0.70 | 0.63 | 0.48 | 0.38 |
| 27 | 0.74 | 0.60 | 0.47 | 0.37 |

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 28 | 0.73 | 0.61 | 0.51 | 0.40 |
| 29 | 0.76 | 0.63 | 0.50 | 0.37 |
| 30 | 0.77 | 0.60 | 0.47 | 0.37 |
| 31 | 0.79 | 0.66 | 0.48 | 0.34 |
| 32 | 0.76 | 0.64 | 0.50 | 0.37 |
| 33 | 0.74 | 0.63 | 0.48 | 0.34 |
| 34 | 0.79 | 0.64 | 0.46 | 0.38 |
| 35 | 0.77 | 0.60 | 0.47 | 0.34 |
| 36 | 0.84 | 0.67 | 0.46 | 0.37 |
| 37 | 0.82 | 0.61 | 0.5 | 0.38 |
| 38 | 0.87 | 0.64 | 0.47 | 0.37 |
| 39 | 0.84 | 0.64 | 0.48 | 0.38 |
| 40 | 0.90 | 0.59 | 0.51 | 0.40 |
| 41 | 0.93 | 0.69 | 0.53 | 0.41 |
| 42 | 0.97 | 0.67 | 0.50 | 0.40 |
| 43 | 0.94 | 0.70 | 0.54 | 0.38 |
| 44 | 1.03 | 0.73 | 0.56 | 0.37 |
| 45 | 1.05 | 0.77 | 0.59 | 0.38 |
| 46 | 1.07 | 0.74 | 0.66 | 0.41 |
| 47 | 1.10 | 0.76 | 0.61 | 0.38 |
| 48 | 1.06 | 0.77 | 0.59 | 0.41 |
| 49 | 1.16 | 0.73 | 0.60 | 0.40 |
| 50 | 1.19 | 0.76 | 0.70 | 0.38 |
| 51 | 1.18 | 0.79 | 0.69 | 0.41 |
| 52 | 1.22 | 0.76 | 0.70 | 0.44 |
| 53 | 1.23 | 0.77 | 0.61 | 0.46 |
| 54 | 1.20 | 0.83 | 0.67 | 0.44 |
| 55 | 1.25 | 0.89 | 0.70 | 0.47 |
| 56 | 1.26 | 0.93 | 0.73 | 0.46 |
| 57 | 1.30 | 0.96 | 0.82 | 0.48 |

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 58 | 1.28 | 1.02 | 0.79 | 0.50 |
| 59 | 1.30 | 1.10 | 0.85 | 0.51 |
| 60 | 1.35 | 1.09 | 0.88 | 0.54 |
| 61 | 1.32 | 1.12 | 0.89 | 0.59 |
| 62 | 1.33 | 1.10 | 0.87 | 0.56 |
| 63 | 1.35 | 1.16 | 0.93 | 0.60 |
| 64 | 1.38 | 1.19 | 0.96 | 0.64 |
| 65 | 1.36 | 1.20 | 0.99 | 0.67 |
| 66 | 1.39 | 1.19 | 0.97 | 0.66 |
| 67 | 1.38 | 1.22 | 0.99 | 0.64 |
| 68 | 1.42 | 1.23 | 0.97 | 0.67 |
| 69 | 1.39 | 1.26 | 0.96 | 0.69 |
| 70 | 1.39 | 1.23 | 0.99 | 0.67 |
| 71 | 1.41 | 1.26 | 0.96 | 0.66 |
| 72 | 1.42 | 1.25 | 0.97 | 0.69 |
| 73 | 1.41 | 1.23 | 0.99 | 0.66 |
| 74 | 1.39 | 1.26 | 0.96 | 0.69 |
| 75 | 1.41 | 1.25 | 0.99 | 0.67 |
| 76 | 1.46 | 1.23 | 0.99 | 0.69 |
| 77 | 1.45 | 1.22 | 0.97 | 0.67 |
| 78 | 1.42 | 1.25 | 0.96 | 0.66 |
| 79 | 1.45 | 1.21 | 0.99 | 0.67 |
| 80 | 1.46 | 1.22 | 0.94 | 0.69 |
| 81 | 1.41 | 1.25 | 0.96 | 0.66 |
| 82 | 1.39 | 1.24 | 0.97 | 0.69 |
| 83 | 1.45 | 1.25 | 0.99 | 0.67 |
| 84 | 1.46 | 1.23 | 0.99 | 0.69 |
| 85 | 1.48 | 1.23 | 0.96 | 0.67 |
| 86 | 1.49 | 1.25 | 0.99 | 0.69 |
| 87 | 1.45 | 1.22 | 0.97 | 0.66 |

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 88 | 1.48 | 1.25 | 0.99 | 0.69 |
| 89 | 0.44 | 0.27 | 0.20 | 0.17 |
| 90 | 0.47 | 0.25 | 0.23 | 0.21 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.36 | 0.35 | 0.27 | 0.1 |
| SD | 1.00 | 0.78 | 0.63 | 0.44 |

**ตารางภาคผนวก ค-8** ค่าพีเอชถังในของมูลสุกรที่อัตราส่วนและปริมาณของแข็งทั้งหมดต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

| วันที่ | TS = 5% | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 4.25 | 4.63 | 4.68 | 4.55 |
| 4 | 4.32 | 4.71 | 4.81 | 4.62 |
| 6 | 4.27 | 4.87 | 4.85 | 4.47 |
| 8 | 4.38 | 4.93 | 4.93 | 4.68 |
| 10 | 4.45 | 4.91 | 4.91 | 4.75 |
| 12 | 4.42 | 4.82 | 4.6 | 4.82 |
| 14 | 4.39 | 4.75 | 4.45 | 4.89 |
| 16 | 4.72 | 5.03 | 5.13 | 4.55 |
| 18 | 4.68 | 4.97 | 5.07 | 4.68 |
| 20 | 4.85 | 5.08 | 5.28 | 4.65 |
| 22 | 4.79 | 5.09 | 5.09 | 5.29 |
| 24 | 4.73 | 4.97 | 4.97 | 5.23 |
| 26 | 4.85 | 4.86 | 4.89 | 5.17 |
| 28 | 4.92 | 4.95 | 4.91 | 4.82 |
| 30 | 4.95 | 4.91 | 4.76 | 5.11 |
| 32 | 4.97 | 4.92 | 4.86 | 4.62 |
| 34 | 4.89 | 4.85 | 5.1 | 5.07 |
| 36 | 4.58 | 4.87 | 5.04 | 4.85 |
| 38 | 4.63 | 4.79 | 4.95 | 4.79 |
| 40 | 4.65 | 4.82 | 4.83 | 4.83 |
| 42 | 4.57 | 4.85 | 4.82 | 4.76 |
| 44 | 4.55 | 4.97 | 4.86 | 4.81 |
| 46 | 4.39 | 4.95 | 4.85 | 4.92 |
| 48 | 4.35 | 4.89 | 4.79 | 4.95 |
| 50 | 4.38 | 4.97 | 4.87 | 4.52 |
| 52 | 4.51 | 4.92 | 4.86 | 4.68 |
| 54 | 4.49 | 4.97 | 4.79 | 5.11 |

| วันที่ | TS = 5% | TS = 2.5 % | TS = 1% | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 56 | 4.42 | 4.89 | 4.77 | 4.74 |
| 58 | 4.39 | 4.93 | 4.81 | 4.93 |
| 60 | 4.41 | 4.89 | 4.85 | 5.04 |
| 62 | 4.55 | 5.11 | 4.83 | 4.95 |
| 64 | 4.58 | 4.86 | 4.83 | 4.87 |
| 66 | 4.54 | 4.83 | 4.82 | 4.74 |
| 68 | 4.56 | 4.95 | 4.78 | 4.9 |
| 70 | 4.53 | 4.93 | 4.76 | 4.81 |
| 72 | 4.58 | 4.89 | 4.79 | 4.75 |
| 74 | 4.65 | 4.97 | 4.81 | 4.82 |
| 76 | 4.42 | 5.05 | 4.77 | 5.05 |
| 78 | 4.47 | 4.99 | 4.83 | 4.84 |
| 80 | 4.42 | 4.97 | 4.78 | 4.64 |
| 82 | 4.37 | 4.89 | 4.81 | 4.81 |
| 84 | 4.34 | 4.84 | 4.83 | 4.73 |
| 86 | 4.45 | 4.95 | 4.8 | 4.82 |
| 88 | 4.36 | 4.93 | 4.82 | 4.68 |
| 90 | 4.41 | 4.89 | 4.79 | 4.79 |
| ค่าเฉลี่ย | 4.54 | 4.91 | 4.8 | 4.82 |
| SD | 0.18 | 0.09 | 0.13 | 0.18 |

**<u>ตารางภาคผนวก ค-9</u>** ค่าพีเอชถังนอกของมูลสุกรที่อัตราส่วนและปริมาณของแข็งทั้งหมดต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ร่วม 2 ขั้นตอน

| วันที่ | TS = 5% | TS = 2.5 % | TS = 1% | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 4.78 | 4.86 | 4.83 | 5.78 |
| 4 | 4.97 | 5.1 | 5.91 | 5.97 |
| 6 | 5.36 | 5.78 | 6.28 | 6.36 |
| 8 | 5.75 | 6.12 | 6.75 | 6.45 |
| 10 | 6.48 | 6.69 | 6.68 | 6.62 |
| 12 | 6.61 | 6.62 | 6.72 | 6.61 |
| 14 | 6.77 | 6.75 | 6.74 | 6.67 |
| 16 | 6.85 | 6.72 | 6.62 | 6.45 |
| 18 | 6.67 | 6.69 | 6.71 | 6.67 |
| 20 | 6.63 | 6.71 | 6.69 | 6.63 |
| 22 | 6.71 | 6.65 | 6.63 | 6.61 |
| 24 | 6.85 | 6.62 | 6.75 | 6.55 |
| 26 | 6.81 | 6.63 | 6.59 | 6.62 |
| 28 | 6.87 | 6.68 | 6.64 | 6.61 |
| 30 | 6.83 | 6.65 | 6.75 | 6.59 |
| 32 | 6.84 | 6.67 | 6.83 | 6.62 |
| 34 | 6.85 | 6.68 | 6.72 | 6.73 |
| 36 | 6.87 | 6.68 | 6.78 | 6.67 |
| 38 | 6.79 | 6.69 | 6.76 | 6.68 |
| 40 | 6.86 | 6.7 | 6.77 | 6.74 |
| 42 | 7.08 | 6.69 | 6.81 | 6.73 |
| 44 | 7.05 | 6.64 | 6.76 | 6.69 |
| 46 | 7.08 | 6.67 | 6.69 | 6.64 |
| 48 | 7.13 | 6.7 | 6.76 | 6.67 |
| 50 | 7.11 | 6.68 | 6.79 | 6.65 |
| 52 | 7.09 | 6.65 | 6.75 | 6.71 |
| 54 | 7.15 | 6.68 | 6.81 | 6.73 |

| วันที่ | TS = 5% | TS = 2.5 % | TS = 1% | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 56 | 7.07 | 6.71 | 6.82 | 6.69 |
| 58 | 7.11 | 6.7 | 6.81 | 6.68 |
| 60 | 7.08 | 6.69 | 6.79 | 6.63 |
| 62 | 7.09 | 6.7 | 6.83 | 6.71 |
| 64 | 7.11 | 6.68 | 6.84 | 6.65 |
| 66 | 7.1 | 6.7 | 6.8 | 6.63 |
| 68 | 6.99 | 6.68 | 6.82 | 6.72 |
| 70 | 7.08 | 6.71 | 6.83 | 6.71 |
| 72 | 7.11 | 6.69 | 6.85 | 6.67 |
| 74 | 7.05 | 6.72 | 6.89 | 6.88 |
| 76 | 7.04 | 6.65 | 6.83 | 6.85 |
| 78 | 7.12 | 6.71 | 6.86 | 6.72 |
| 80 | 7.09 | 6.68 | 6.84 | 6.85 |
| 82 | 7.14 | 6.69 | 6.85 | 6.95 |
| 84 | 7.08 | 6.7 | 6.82 | 6.84 |
| 86 | 7.11 | 6.68 | 6.84 | 6.83 |
| 88 | 7.09 | 6.72 | 6.81 | 6.79 |
| 90 | 7.12 | 6.68 | 6.88 | 6.73 |
| ค่าเฉลี่ย | 6.809333 | 6.575333 | 6.720385 | 6.644 |
| SD | 0.542735 | 0.383492 | 0.309294 | 0.200934 |

**<u>ตารางภาคผนวก ค-10</u> กรดไขมันระเหยง่าย(VFA)as $CH_3COOH$**

| วันที่ | TS = 5% | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 550 | 425 | 350 | 195 |
| 10 | 583 | 496 | 425 | 217 |
| 15 | 671 | 531 | 382 | 228 |
| 20 | 530 | 453 | 397 | 235 |
| 25 | 585 | 512 | 439 | 225 |
| 30 | 571 | 492 | 426 | 221 |
| 35 | 585 | 502 | 438 | 232 |
| 40 | 588 | 510 | 431 | 230 |
| 45 | 579 | 497 | 429 | 231 |
| 50 | 571 | 493 | 396 | 223 |
| 55 | 583 | 495 | 412 | 235 |
| 60 | 588 | 498 | 408 | 227 |
| 65 | 582 | 489 | 399 | 212 |
| 70 | 580 | 491 | 410 | 215 |
| 75 | 573 | 487 | 405 | 226 |
| 80 | 578 | 491 | 412 | 210 |
| 85 | 582 | 487 | 393 | 215 |
| 90 | 587 | 491 | 407 | 224 |

**ตารางภาคผนวก ค-11 Alkalinity (mg/l)**

| วันที่ | TS = 5% | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 3,403 | 1,720 | 860 | 750 |
| 4 | 2,969 | 2,116 | 1,263 | 913 |
| 6 | 2,045 | 1,677 | 1,310 | 1,110 |
| 8 | 2,173 | 1,815 | 1,457 | 1,157 |
| 10 | 2,951 | 2,291 | 2,031 | 1,031 |
| 12 | 2,910 | 2,548 | 2,187 | 1,187 |
| 14 | 2,467 | 2,338 | 2,210 | 1,120 |
| 16 | 2,780 | 2,432 | 2,285 | 1,185 |
| 18 | 2,255 | 2,315 | 2,376 | 1,176 |
| 20 | 2,954 | 2,652 | 2,351 | 1,051 |
| 22 | 2,507 | 2,418 | 2,330 | 1,130 |
| 24 | 2,820 | 2,572 | 2,325 | 1,225 |
| 26 | 2,560 | 2,428 | 2,297 | 1,175 |
| 28 | 2,452 | 2,384 | 2,316 | 1,210 |
| 30 | 2,578 | 2,636 | 2,295 | 1,165 |
| 32 | 2,612 | 2,321 | 2,360 | 1,210 |
| 34 | 2,595 | 2,350 | 2,326 | 1,189 |
| 36 | 2,658 | 2,349 | 2,312 | 1,230 |
| 38 | 2,597 | 2,339 | 2,297 | 1,197 |
| 40 | 2,566 | 2,340 | 2,310 | 1,264 |
| 42 | 2,556 | 2,338 | 2,295 | 1,189 |
| 44 | 2,498 | 2,347 | 2,316 | 1,217 |
| 46 | 2,479 | 2,355 | 2,286 | 1,187 |
| 48 | 2,562 | 2,372 | 2,315 | 1,255 |
| 50 | 2,687 | 2,362 | 2,286 | 1,232 |
| 52 | 2,528 | 2,370 | 2,283 | 1,191 |
| 54 | 2,582 | 2,369 | 2,279 | 1,242 |
| 56 | 2,477 | 2,367 | 2,325 | 1,215 |

| วันที่ | TS = 5 % | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 58 | 2,487 | 2,368 | 2,278 | 1,194 |
| 60 | 2,695 | 2,557 | 2,321 | 1,221 |
| 62 | 2,784 | 2,459 | 2,278 | 1,197 |
| 64 | 2,682 | 2,460 | 2,318 | 1,218 |
| 66 | 2,570 | 2,458 | 2,232 | 1,185 |
| 68 | 2,614 | 2,462 | 2,322 | 1,213 |
| 70 | 2,755 | 2,410 | 2,278 | 1,225 |
| 72 | 2,778 | 2,367 | 2,286 | 1,185 |
| 74 | 2,565 | 2,365 | 2,245 | 1,231 |
| 76 | 2,687 | 2,409 | 2,326 | 1,176 |
| 78 | 2,576 | 2,467 | 2,331 | 1,236 |
| 80 | 2,677 | 2,580 | 2,287 | 1,179 |
| 82 | 2,658 | 2,472 | 2,327 | 1,232 |
| 84 | 2,564 | 2,441 | 2,319 | 1,174 |
| 86 | 2,779 | 2,475 | 2,335 | 1,216 |
| 88 | 2,786 | 2,410 | 2,328 | 1,183 |
| 90 | 2,778 | 2,426 | 2,325 | 1,196 |

**ตารางภาคผนวก ค-12 TKN(mg/l)**

| วันที่ | TS = 5% | TS = 2.5 % | TS = 1 % | TS = 0.5 % |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 3,384 | 1,323 | 656 | 195 |
| 10 | 2,602 | 1,147 | 520 | 217 |
| 15 | 2,419 | 1,132 | 463 | 228 |
| 20 | 3,458 | 1,286 | 628 | 235 |
| 25 | 2,863 | 1,245 | 525 | 225 |
| 30 | 3,205 | 1,387 | 579 | 221 |
| 35 | 2,637 | 1,325 | 607 | 232 |
| 40 | 2,532 | 1,283 | 615 | 230 |
| 45 | 2,610 | 1,245 | 597 | 231 |
| 50 | 2,685 | 1,273 | 599 | 223 |
| 55 | 2,652 | 1,281 | 603 | 235 |
| 60 | 2,503 | 1,232 | 612 | 227 |
| 65 | 2,610 | 1,217 | 585 | 212 |
| 70 | 2,631 | 1,321 | 587 | 215 |
| 75 | 2,694 | 1,225 | 595 | 226 |
| 80 | 2,597 | 1,262 | 602 | 210 |
| 85 | 2,589 | 1,326 | 611 | 215 |
| 90 | 2,613 | 1,379 | 604 | 224 |

**ตารางภาคผนวก ค-13** แสดงค่ากร๊าฟมาตรฐานมีเทนและกร๊าฟมาตรฐานมีเทน

methane standard

| Peak# | Ret.Time | Area | Height | Conc. | Units | Mark | Compound ID# | Compound Name | คิดเป็น |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.475 | 229985387 | 36153493 | 9.88889 | % | S | 1 | Methane | 10% |
| 1 | 1.83 | 360098071 | 47422241 | 20.08532 | % | V | 1 | Methane | 20% |
| 1 | 1.757 | 488779593 | 64992279 | 30.16959 | % | S | 1 | Methane | 30% |
| 1 | 1.454 | 612386743 | 93267667 | 39.8562 | % | S | 1 | Methane | 40% |
| 1 | 1.695 | 772902785 | 1.02E+08 | 52.43522 | % | S | 1 | Methane | 50% |

Y = aX + b

a = 7.836611e-008

b = -8.134166

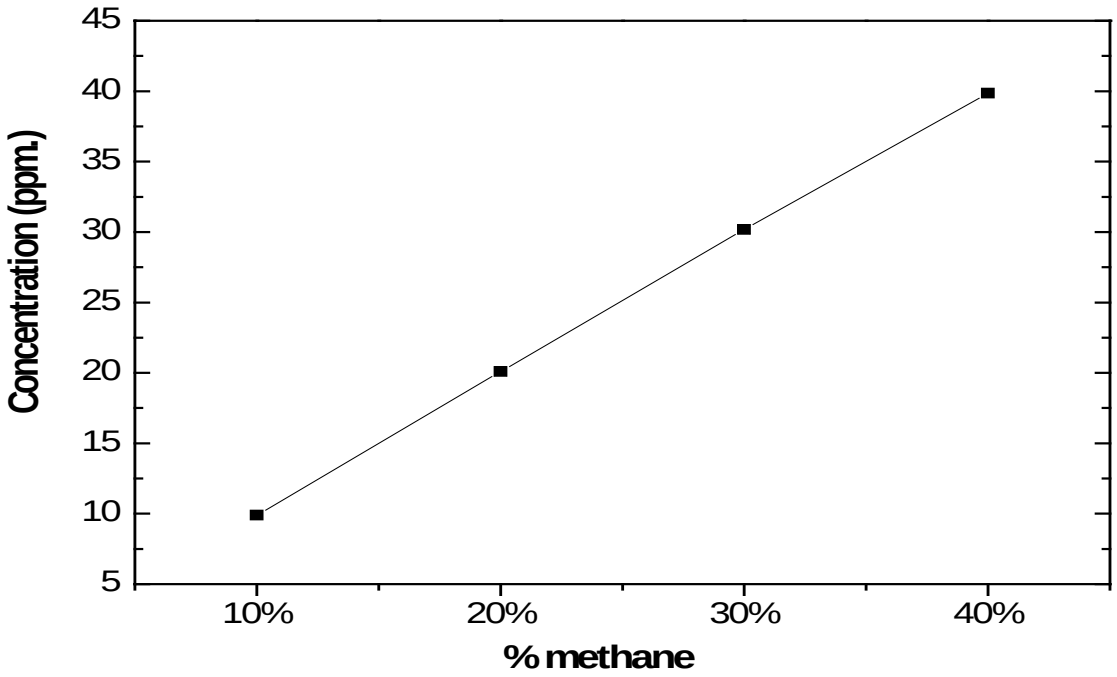
R^2 = 0.9998619

R = 0.9999309

Mean RF : 5.642925e-008

RF SD : 9.520921e-009

RF %RSD :16.87231



**<u>ตารางภาคผนวก ค – 14</u>** แสดงวันที่เก็บตัวอย่างและค่าของแข็งทั้งหมดของ TS, VS

ค่าของแข็งทั้งหมด TS, VS, SS คอกควบคุม

| วันที่ | ของแข็งทั้งหมด TS | ของแข็งระเหยง่าย VS | ของแข็งแขวนลอย SS |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | 13,255 | 6,500 | 7960 |
| 4 | | | |
| 5 | 11,200 | 5,000 | 7430 |
| 6 | | | |
| 7 | 11,530 | 5,400 | 7660 |
| 8 | | | |
| 9 | 12,080 | 6,000 | 7,580 |
| 10 | | | |
| 11 | 12,300 | 6,700 | 7,800 |
| 12 | | | |
| 13 | 11,700 | 5,200 | 7,680 |
| 14 | | | |
| 15 | 11,600 | 5,300 | 7,730 |
| 16 | | | |
| 17 | 12,500 | 6,100 | 7,690 |
| 18 | | | |
| 19 | 12,300 | 6,000 | 7,880 |
| 20 | | | |
| 21 | 12,700 | 6,300 | 7,800 |
| 22 | | | |
| 23 | 12,500 | 6,200 | 7,780 |
| 24 | | | |
| 25 | 11,500 | 5,700 | 7,700 |

| วันที่ | ของแข็งทั้งหมด TS | ของแข็งระเหยง่าย VS | ของแข็งแขวนลอย SS |
|---|---|---|---|
| 26 | | | |
| 27 | 11,830 | 5,100 | 7,600 |
| 28 | | | |
| 29 | 11,467 | 5,000 | 7,700 |
| 30 | | | |
| 31 | 12,300 | 6,200 | 7,500 |
| 32 | | | |
| 33 | 12,745 | 6,450 | 7,560 |
| 34 | | | |
| 35 | 12,560 | 6,220 | 7,550 |
| 36 | | | |
| 37 | 13,120 | 6,580 | 7,580 |
| 38 | | | |
| 39 | 13,150 | 6,500 | 7,800 |
| 40 | | | |
| 41 | 13,280 | 6,470 | 7,760 |
| 42 | | | |
| 43 | 13,330 | 6,558 | 7,780 |
| 44 | | | |
| 45 | 13,300 | 6,600 | 7,870 |
| 46 | | | |
| 47 | 13,450 | 6,700 | 7960 |
| 48 | | | |
| 49 | 13,400 | 6,470 | 7800 |
| 50 | | | |
| 51 | 13,780 | 6,860 | 7880 |

| วันที่ | ของแข็งทั้งหมด TS | ของแข็งระเหยง่าย VS | ของแข็งแขวนลอย SS |
|---|---|---|---|
| 52 | | | |
| 53 | 13520 | 6,590 | 7860 |
| 54 | | | |
| 55 | 13630 | 6,770 | 7960 |
| 56 | | | |
| 57 | 12800 | 6,500 | 7670 |
| 58 | | | |
| 59 | 13530 | 6,670 | 7340 |
| 60 | | | |
| 61 | 13400 | 6,400 | 7760 |
| 62 | | | |
| 63 | 13,600 | 6,700 | 7860 |
| 64 | | | |
| 65 | 13,700 | 6,570 | 7770 |
| 66 | 12550 | 6,280 | 7440 |
| 67 | 11830 | 6,450 | 7380 |
| 68 | 11520 | 6,680 | 7750 |
| 69 | 12770 | 6,500 | 7690 |
| 70 | 11,870 | 6,600 | 7530 |
| 71 | 12,750 | 6,460 | 7420 |
| 72 | 12,600 | 6,320 | 7520 |
| 73 | 12400 | 6,500 | 7550 |
| 74 | 13,210 | 6700 | 7730 |
| 75 | 12,850 | 6500 | 7800 |
| 76 | 11770 | 5400 | 7380 |
| 77 | 11530 | 6,000 | 7750 |
| 78 | 12700 | 6,700 | 7690 |
| 79 | 12650 | 5,020 | 7600 |
| 80 | 11700 | 5,300 | 7300 |
| 81 | 12520 | 6580 | 7830 |
| 82 | 12290 | 6530 | 7870 |
| 83 | 13100 | 6740 | 7690 |
| 84 | 13350 | 6770 | 7640 |
| 85 | 13230 | 6580 | 7590 |
| 86 | 13200 | 6500 | 7820 |
| 87 | 13140 | 6470 | 7,580 |
| 88 | 13100 | 6550 | 7,800 |
| 89 | 13510 | 6600 | 7,760 |
| 90 | 13600 | 6700 | 7,780 |
| 91 | 13680 | 6570 | 7,870 |
| 92 | 13,400 | 6860 | 7,660 |
| 93 | 13,200 | 6590 | 7800 |
| 94 | 13760 | 6770 | 7880 |
| 95 | 14600 | 6970 | 8100 |
| 96 | 14350 | 6930 | 8060 |
| 97 | 14240 | 6880 | 8020 |
| 98 | 14700 | 7050 | 8140 |
| 99 | 14320 | 6930 | 8060 |
| 100 | 14700 | 6900 | 8200 |
| 101 | 14,530 | 6835 | 8160 |
| 102 | 15,600 | 7250 | 8390 |
| 103 | 15,290 | 7130 | 8330 |
| 104 | 15310 | 7100 | 8270 |
| 105 | 14,840 | 6820 | 8280 |

ค่าของแข็งทั้งหมด TS, VS, SS คอก CT

| วันที่ | ของแข็งทั้งหมด TS | ของแข็งระเหยง่าย VS | ของแข็งแขวนลอย SS |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | 23,300 | 11,425 | 13,990 |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | 22,088 | 9,860 | 12,480 |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | 24,260 | 11,960 | 15,110 |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | 23,150 | 11,500 | 14,526 |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | 24,350 | 12,263 | 15,440 |
| 16 | | | |
| 17 | | | |
| 18 | 24,130 | 12,170 | 15,640 |
| 19 | | | |
| 20 | | | |
| 21 | 24,570 | 11,985 | 15,245 |
| 22 | | | |
| 23 | | | |
| 24 | 24,500 | 12,152 | 15,496 |

| วันที่ | ของแข็งทั้งหมด TS | ของแข็งระเหยง่าย VS | ของแข็งแขวนลอย SS |
|---|---|---|---|
| 25 | | | |
| 26 | | | |
| 27 | 24,788 | 12,686 | 15,608 |
| 28 | | | |
| 29 | | | |
| 30 | 25,730 | 12,402 | 15,079 |
| 31 | | | |
| 32 | | | |
| 33 | 25,680 | 12,940 | 15,983 |
| 34 | | | |
| 35 | | | |
| 36 | 25,740 | 12,196 | 15,551 |
| 37 | | | |
| 38 | | | |
| 39 | 26,120 | 13,112 | 15,927 |
| 40 | | | |
| 41 | | | |
| 42 | 26,588 | 13,236 | 15,204 |
| 43 | | | |
| 44 | | | |
| 45 | 26,870 | 13,376 | 15,365 |
| 46 | | | |
| 47 | | | |
| 48 | 27,110 | 13,262 | 16,530 |
| 49 | | | |
| 50 | | | |

| วันที่ | ของแข็งทั้งหมด TS | ของแข็งระเหยง่าย VS | ของแข็งแขวนลอย SS |
|---|---|---|---|
| 51 | 27,600 | 13,500 | 16,533 |
| 52 | | | |
| 53 | | | |
| 54 | 27,705 | 13,540 | 16,660 |
| 55 | | | |
| 56 | | | |
| 57 | 28,005 | 13,498 | 16,412 |
| 58 | | | |
| 56 | | | |
| 60 | 28,470 | 14,145 | 17,260 |
| 61 | | | |
| 62 | 28,535 | 14,441 | 16,874 |
| 63 | | | |
| 64 | 29,320 | 14,563 | 17,123 |
| 65 | | | |
| 66 | 29,710 | 15,087 | 16,717 |
| 67 | | | |
| 68 | 30,520 | 16,290 | 17,047 |
| 69 | | | |
| 70 | 30,520 | 16,290 | 17,047 |
| 71 | | | |
| 72 | 30,890 | 16,488 | 17,139 |
| 73 | | | |
| 74 | 32,760 | 16,775 | 17,945 |
| 75 | | | |
| 76 | 26,850 | 13,336 | 15,680 |
| 77 | | | |
| 78 | 27,110 | 13,735 | 15,776 |
| 79 | | | |
| 80 | 27,250 | 13,502 | 15,594 |
| 81 | | | |
| 82 | 27,550 | 13,309 | 15,760 |
| 83 | | | |
| 84 | 28,708 | 13,714 | 14,994 |
| 85 | | | |
| 86 | 28,160 | 13,941 | 15788 |
| 87 | | | |
| 89 | 28,720 | 13,788 | 16,026 |
| 90 | | | |
| 91 | 28,920 | 13,703 | 16,137 |
| 92 | | | |
| 93 | 28,230 | 14,024 | 15,827 |
| 94 | | | |
| 95 | 28,440 | 13,858 | 15,975 |
| 96 | | | |
| 97 | 28,510 | 13,993 | 15,908 |
| 98 | | | |
| 99 | 28,890 | 14,073 | 15,350 |
| 100 | | | |
| 101 | 29,288 | 14,672 | 16,054 |
| 102 | | | |
| 103 | 29,130 | 14,470 | 16,232 |
| 104 | | | |
| 105 | 29,610 | 14,715 | 16,600 |

**<u>ตารางภาคผนวก ค-16</u>** การเปรียบเทียบปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้ระบบเทคโนโลยีสะอาด

**Group Statistics**

| | FACTOR | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| TS | Normal | 71 | 13052.35 | 1013.1595 | 120.2399 |
| | CT | 42 | 27293.62 | 2247.7279 | 346.8320 |
| VS | Normal | 71 | 6405.9577 | 548.7566 | 65.1254 |
| | CT | 42 | 13708.40 | 1628.6373 | 251.3042 |
| SS | Normal | 71 | 7772.3944 | 234.5358 | 27.8343 |
| | CT | 42 | 15960.31 | 1056.4665 | 163.0163 |

**Independent Samples Test**

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | Lower | Upper |
| TS | Equal variances assumed | 33.273 | .000 | -46.145 | 111 | .000 | -14241.27 | 308.6203 | -14852.8 | -13629.7 |
| | Equal variances not assumed | | | -38.796 | 51.016 | .000 | -14241.27 | 367.0831 | -14978.2 | -13504.3 |
| VS | Equal variances assumed | 26.538 | .000 | -34.686 | 111 | .000 | -7302.4470 | 210.5289 | -7719.62 | -6885.27 |
| | Equal variances not assumed | | | -28.129 | 46.569 | .000 | -7302.4470 | 259.6057 | -7824.83 | -6780.06 |
| SS | Equal variances assumed | 40.728 | .000 | -62.916 | 111 | .000 | -8187.9152 | 130.1412 | -8445.80 | -7930.03 |
| | Equal variances not assumed | | | -49.511 | 43.404 | .000 | -8187.9152 | 165.3755 | -8521.34 | -7854.49 |

**ตารางภาคผนวก ค-17** การทดสอบทางสถิติความแตกต่างของปริมาณน้ำ และน้ำหนักสุกรทั้ง 2 คอก

**Group Statistics**

| | HABIT | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| WDR | 1.00 | 66 | 66.6970 | 47.4944 | 5.8462 |
| | 2.00 | 42 | 141.9524 | 51.2288 | 7.9048 |
| WUSE | 1.00 | 66 | 410.3636 | 311.3879 | 38.3292 |
| | 2.00 | 42 | 577.0476 | 300.7867 | 46.4124 |
| WWASH | 1.00 | 66 | 231.5909 | 59.1343 | 7.2789 |
| | 2.00 | 41 | 169.8049 | 51.3757 | 8.0235 |

**Independent Samples Test**

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | Lower | Upper |
| WDR | Equal variances assumed | 2.350 | .128 | -7.785 | 106 | .000 | -75.2554 | 9.6665 | -94.4202 | -56.0907 |
| | Equal variances not assumed | | | -7.654 | 82.541 | .000 | -75.2554 | 9.8317 | -94.8119 | -55.6989 |
| WUSE | Equal variances assumed | .048 | .827 | -2.748 | 106 | .007 | -166.6840 | 60.6627 | -286.9536 | -46.4144 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.769 | 89.683 | .007 | -166.6840 | 60.1933 | -286.2743 | -47.0936 |
| WWASH | Equal variances assumed | .277 | .599 | 5.518 | 105 | .000 | 61.7860 | 11.1963 | 39.5859 | 83.9862 |
| | Equal variances not assumed | | | 5.703 | 93.825 | .000 | 61.7860 | 10.8333 | 40.2758 | 83.2963 |

**Group Statistics**

| | KOK | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| WEIGHT | Normal | 79 | 82.2911 | 34.4049 | 3.8709 |
| | CT | 79 | 82.8987 | 35.5552 | 4.0003 |

**Independent Samples Test**

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | Lower | Upper |
| WEIGHT | Equal variances assumed | .231 | .631 | -.109 | 156 | .913 | -.6076 | 5.5665 | -11.6030 | 10.3878 |
| | Equal variances not assumed | | | -.109 | 155.832 | .913 | -.6076 | 5.5665 | -11.6031 | 10.3879 |

**Independent Samples Test**

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | Lower | Upper |
| Drink | Equal variances assumed | 2.350 | .128 | -7.785 | 106 | .000 | -75.2554 | 9.6665 | -94.4202 | -56.0907 |
| | Equal variances not assumed | | | -7.654 | 82.541 | .000 | -75.2554 | 9.8317 | -94.8119 | -55.6989 |
| Use | Equal variances assumed | .048 | .827 | -2.748 | 106 | .007 | -166.6840 | 60.6627 | -286.9536 | -46.4144 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.769 | 89.683 | .007 | -166.6840 | 60.1933 | -286.2743 | -47.0936 |
| Wash | Equal variances assumed | .277 | .599 | 5.518 | 105 | .000 | 61.7860 | 11.1963 | 39.5859 | 83.9862 |
| | Equal variances not assumed | | | 5.703 | 93.825 | .000 | 61.7860 | 10.8333 | 40.2758 | 83.2963 |

**Group Statistics**

| | KOK | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| WEIGHT | Normal | 79 | 82.2911 | 34.4049 | 3.8709 |
| | CT | 79 | 82.8987 | 35.5552 | 4.0003 |

**Independent Samples Test**

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | Lower | Upper |
| WEIGHT | Equal variances assumed | .231 | .631 | -.109 | 156 | .913 | -.6076 | 5.5665 | -11.6030 | 10.3878 |
| | Equal variances not assumed | | | -.109 | 155.832 | .913 | -.6076 | 5.5665 | -11.6031 | 10.3879 |

**ตารางภาคผนวก ค – 18** การทดสอบทางสถิติร้อยละการเกิดแก๊สมีเทนช่วงเริ่มต้นระบบ 25 วัน ที่ความเข้มข้นของของแข็งทีสนใจที่ร้อยละ 5, 1, 0.5 และ 0.2

**ANOVA**

METTS

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 2290.024 | 3 | 763.341 | 18.553 | .000 |
| Within Groups | 3949.881 | 96 | 41.145 | | |
| Total | 6239.905 | 99 | | | |

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: METTS

| | (I) PER1 | (J) PER1 | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| Tukey HSD | TS 0.2 | TS 0.5 | -1.990E-03 | 1.8143 | 1.000 | -4.7456 | 4.7416 |
| | | TS 1.0 | -.7917 | 1.8143 | .972 | -5.5353 | 3.9519 |
| | | TS 5.0 | -11.2908* | 1.8143 | .000 | -16.0345 | -6.5472 |
| | TS 0.5 | TS 0.2 | 1.990E-03 | 1.8143 | 1.000 | -4.7416 | 4.7456 |
| | | TS 1.0 | -.7897 | 1.8143 | .972 | -5.5333 | 3.9539 |
| | | TS 5.0 | -11.2889* | 1.8143 | .000 | -16.0325 | -6.5452 |
| | TS 1.0 | TS 0.2 | .7917 | 1.8143 | .972 | -3.9519 | 5.5353 |
| | | TS 0.5 | .7897 | 1.8143 | .972 | -3.9539 | 5.5333 |
| | | TS 5.0 | -10.4992* | 1.8143 | .000 | -15.2428 | -5.7555 |
| | TS 5.0 | TS 0.2 | 11.2908* | 1.8143 | .000 | 6.5472 | 16.0345 |
| | | TS 0.5 | 11.2889* | 1.8143 | .000 | 6.5452 | 16.0325 |
| | | TS 1.0 | 10.4992* | 1.8143 | .000 | 5.7555 | 15.2428 |
| Tamhane | TS 0.2 | TS 0.5 | -1.990E-03 | 1.8143 | .136 | -4.34E-03 | 3.570E-04 |
| | | TS 1.0 | -.7917* | 1.8143 | .005 | -1.3901 | -.1932 |
| | | TS 5.0 | -11.2908* | 1.8143 | .001 | -18.6200 | -3.9617 |
| | TS 0.5 | TS 0.2 | 1.990E-03 | 1.8143 | .136 | -3.57E-04 | 4.338E-03 |
| | | TS 1.0 | -.7897* | 1.8143 | .005 | -1.3882 | -.1912 |
| | | TS 5.0 | -11.2889* | 1.8143 | .001 | -18.6180 | -3.9597 |
| | TS 1.0 | TS 0.2 | .7917* | 1.8143 | .005 | .1932 | 1.3901 |
| | | TS 0.5 | .7897* | 1.8143 | .005 | .1912 | 1.3882 |
| | | TS 5.0 | -10.4992* | 1.8143 | .002 | -17.8441 | -3.1542 |
| | TS 5.0 | TS 0.2 | 11.2908* | 1.8143 | .001 | 3.9617 | 18.6200 |
| | | TS 0.5 | 11.2889* | 1.8143 | .001 | 3.9597 | 18.6180 |
| | | TS 1.0 | 10.4992* | 1.8143 | .002 | 3.1542 | 17.8441 |

*. The mean difference is significant at the .05 level.

**<u>ตารางภาคผนวก ค-19</u>** การทดสอบทางสถิติที่ความเข้มข้นของของแข็งที่ร้อยละ 5, 2.5, 1, และ 0.5 ของคอกควบคุมกับคอกที่ใช้ระบบเทคโนโลยีสะอาดที่ระยะเวลา 90 วัน

**Group Statistics**

| | FACTOR | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| TS | habit1 | 71 | 13052.35 | 1013.1595 | 120.2399 |
| | HBCT | 42 | 27293.62 | 2247.7279 | 346.8320 |
| VS | habit1 | 71 | 6405.9577 | 548.7566 | 65.1254 |
| | HBCT | 42 | 13708.40 | 1628.6373 | 251.3042 |
| SS | habit1 | 71 | 7772.3944 | 234.5358 | 27.8343 |
| | HBCT | 42 | 15960.31 | 1056.4665 | 163.0163 |

**Independent Samples Test**

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | Lower | Upper |
| TS | Equal variances assumed | 33.273 | .000 | -46.145 | 111 | .000 | -14241.27 | 308.6203 | -14852.8 | -13629.7 |
| | Equal variances not assumed | | | -38.796 | 51.016 | .000 | -14241.27 | 367.0831 | -14978.2 | -13504.3 |
| VS | Equal variances assumed | 26.538 | .000 | -34.686 | 111 | .000 | -7302.4470 | 210.5289 | -7719.62 | -6885.27 |
| | Equal variances not assumed | | | -28.129 | 46.569 | .000 | -7302.4470 | 259.6057 | -7824.83 | -6780.06 |
| SS | Equal variances assumed | 40.728 | .000 | -62.916 | 111 | .000 | -8187.9152 | 130.1412 | -8445.80 | -7930.03 |
| | Equal variances not assumed | | | -49.511 | 43.404 | .000 | -8187.9152 | 165.3755 | -8521.34 | -7854.49 |

**ตารางภาคผนวก ค-20** การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองกับถังปฏิกรณ์สองขั้นตอน

**ANOVA**

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CO2 | Between Groups | 15.252 | 3 | 5.084 | 55.209 | .000 |
| | Within Groups | 32.782 | 356 | 9.208E-02 | | |
| | Total | 48.033 | 359 | | | |
| METHANE | Between Groups | 165.080 | 3 | 55.027 | 133.949 | .000 |
| | Within Groups | 146.246 | 356 | .411 | | |
| | Total | 311.326 | 359 | | | |
| TOTALS | Between Groups | 34794.948 | 3 | 11598.316 | 60.771 | .000 |
| | Within Groups | 67943.630 | 356 | 190.853 | | |
| | Total | 102738.6 | 359 | | | |
| VOLS | Between Groups | 22697.287 | 3 | 7565.762 | 76.998 | .000 |
| | Within Groups | 17293.534 | 176 | 98.259 | | |
| | Total | 39990.821 | 179 | | | |
| COD | Between Groups | 6980.038 | 3 | 2326.679 | 26.526 | .000 |
| | Within Groups | 31225.927 | 356 | 87.713 | | |
| | Total | 38205.965 | 359 | | | |

**ANOVA**

ALKALIN

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 5.5E+07 | 3 | 1.8E+07 | 373.785 | .000 |
| Within Groups | 8654847 | 176 | 49175.267 | | |
| Total | 6.4E+07 | 179 | | | |

**ANOVA**

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BOD | Between Groups | 3263.408 | 3 | 1087.803 | 83.820 | .000 |
| | Within Groups | 882.489 | 68 | 12.978 | | |
| | Total | 4145.897 | 71 | | | |
| TKN | Between Groups | 6.7E+07 | 3 | 2.2E+07 | 928.326 | .000 |
| | Within Groups | 1626453 | 68 | 23918.426 | | |
| | Total | 6.8E+07 | 71 | | | |
| VFA | Between Groups | 1263597 | 3 | 421199.1 | 940.290 | .000 |
| | Within Groups | 30460.333 | 68 | 447.946 | | |
| | Total | 1294058 | 71 | | | |

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

| Dependent Variable | (I) TYPE | (J) TYPE | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| CO2 | .50 | 1.00 | -.1836* | 4.524E-02 | .000 | -.2998 | -6.74E-02 |
| | | 2.50 | -.3395* | 4.524E-02 | .000 | -.4557 | -.2233 |
| | | 5.00 | -.5603* | 4.524E-02 | .000 | -.6765 | -.4441 |
| | 1.00 | 1 | .1836* | 4.524E-02 | .000 | 6.735E-02 | .2998 |
| | | 2.50 | -.1559* | 4.524E-02 | .003 | -.2721 | -3.97E-02 |
| | | 5.00 | -.3767* | 4.524E-02 | .000 | -.4929 | -.2605 |
| | 2.50 | 1 | .3395* | 4.524E-02 | .000 | .2233 | .4557 |
| | | 1.00 | .1559* | 4.524E-02 | .003 | 3.969E-02 | .2721 |
| | | 5.00 | -.2208* | 4.524E-02 | .000 | -.3370 | -.1046 |
| | 5.00 | 1 | .5603* | 4.524E-02 | .000 | .4441 | .6765 |
| | | 1.00 | .3767* | 4.524E-02 | .000 | .2605 | .4929 |
| | | 2.50 | .2208* | 4.524E-02 | .000 | .1046 | .3370 |
| METHANE | .50 | 1.00 | -.3784* | 9.555E-02 | .000 | -.6239 | -.1329 |
| | | 2.50 | -.9495* | 9.555E-02 | .000 | -1.1949 | -.7040 |
| | | 5.00 | -1.7978* | 9.555E-02 | .000 | -2.0432 | -1.5523 |
| | 1.00 | 1 | .3784* | 9.555E-02 | .000 | .1329 | .6239 |
| | | 2.50 | -.5711* | 9.555E-02 | .000 | -.8165 | -.3256 |
| | | 5.00 | -1.4194* | 9.555E-02 | .000 | -1.6648 | -1.1739 |
| | 2.50 | 1 | .9495* | 9.555E-02 | .000 | .7040 | 1.1949 |
| | | 1.00 | .5711* | 9.555E-02 | .000 | .3256 | .8165 |
| | | 5.00 | -.8483* | 9.555E-02 | .000 | -1.0937 | -.6028 |
| | 5.00 | 1 | 1.7978* | 9.555E-02 | .000 | 1.5523 | 2.0432 |
| | | 1.00 | 1.4194* | 9.555E-02 | .000 | 1.1739 | 1.6648 |
| | | 2.50 | .8483* | 9.555E-02 | .000 | .6028 | 1.0937 |
| TOTALS | .50 | 1.00 | 7.9121* | 2.0594 | .001 | 2.6214 | 13.2028 |
| | | 2.50 | 17.8805* | 2.0594 | .000 | 12.5898 | 23.1712 |
| | | 5.00 | 25.9584* | 2.0594 | .000 | 20.6677 | 31.2491 |
| | 1.00 | 1 | -7.9121* | 2.0594 | .001 | -13.2028 | -2.6214 |
| | | 2.50 | 9.9683* | 2.0594 | .000 | 4.6776 | 15.2590 |
| | | 5.00 | 18.0463* | 2.0594 | .000 | 12.7556 | 23.3370 |
| | 2.50 | 1 | -17.8805* | 2.0594 | .000 | -23.1712 | -12.5898 |
| | | 1.00 | -9.9683* | 2.0594 | .000 | -15.2590 | -4.6776 |
| | | 5.00 | 8.0780* | 2.0594 | .001 | 2.7873 | 13.3687 |
| | 5.00 | 1 | -25.9584* | 2.0594 | .000 | -31.2491 | -20.6677 |
| | | 1.00 | -18.0463* | 2.0594 | .000 | -23.3370 | -12.7556 |
| | | 2.50 | -8.0780* | 2.0594 | .001 | -13.3687 | -2.7873 |
| VOLS | .50 | 1.00 | 15.4244* | 2.0897 | .000 | 10.0557 | 20.7930 |
| | | 2.50 | 23.2753* | 2.0897 | .000 | 17.9066 | 28.6439 |
| | | 5.00 | 30.1801* | 2.0897 | .000 | 24.8115 | 35.5488 |
| | 1.00 | 1 | -15.4244* | 2.0897 | .000 | -20.7930 | -10.0557 |
| | | 2.50 | 7.8509* | 2.0897 | .001 | 2.4823 | 13.2196 |
| | | 5.00 | 14.7558* | 2.0897 | .000 | 9.3871 | 20.1244 |
| | 2.50 | 1 | -23.2753* | 2.0897 | .000 | -28.6439 | -17.9066 |
| | | 1.00 | -7.8509* | 2.0897 | .001 | -13.2196 | -2.4823 |
| | | 5.00 | 6.9049* | 2.0897 | .005 | 1.5362 | 12.2735 |
| | 5.00 | 1 | -30.1801* | 2.0897 | .000 | -35.5488 | -24.8115 |
| | | 1.00 | -14.7558* | 2.0897 | .000 | -20.1244 | -9.3871 |
| | | 2.50 | -6.9049* | 2.0897 | .005 | -12.2735 | -1.5362 |
| COD | .50 | 1.00 | 7.0368* | 1.3961 | .000 | 3.4501 | 10.6235 |
| | | 2.50 | 9.8697* | 1.3961 | .000 | 6.2829 | 13.4564 |
| | | 5.00 | 11.5126* | 1.3961 | .000 | 7.9259 | 15.0993 |
| | 1.00 | 1 | -7.0368* | 1.3961 | .000 | -10.6235 | -3.4501 |
| | | 2.50 | 2.8328 | 1.3961 | .177 | -.7539 | 6.4195 |
| | | 5.00 | 4.4758* | 1.3961 | .007 | .8891 | 8.0625 |
| | 2.50 | 1 | -9.8697* | 1.3961 | .000 | -13.4564 | -6.2829 |
| | | 1.00 | -2.8328 | 1.3961 | .177 | -6.4195 | .7539 |
| | | 5.00 | 1.6430 | 1.3961 | .642 | -1.9438 | 5.2297 |
| | 5.00 | 1 | -11.5126* | 1.3961 | .000 | -15.0993 | -7.9259 |
| | | 1.00 | -4.4758* | 1.3961 | .007 | -8.0625 | -.8891 |
| | | 2.50 | -1.6430 | 1.3961 | .642 | -5.2297 | 1.9438 |

*. The mean difference is significant at the .05 level.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: ALKALIN

Tukey HSD

| (I) TYPE2 | (J) TYPE2 | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| .50 | 1.00 | -1025.6667* | 46.7501 | .000 | -1145.77 | -905.5642 |
| | 2.50 | -1192.0667* | 46.7501 | .000 | -1312.17 | -1071.96 |
| | 5.00 | -1462.0444* | 46.7501 | .000 | -1582.15 | -1341.94 |
| 1.00 | .50 | 1025.6667* | 46.7501 | .000 | 905.5642 | 1145.7691 |
| | 2.50 | -166.4000* | 46.7501 | .002 | -286.5025 | -46.2975 |
| | 5.00 | -436.3778* | 46.7501 | .000 | -556.4802 | -316.2753 |
| 2.50 | .50 | 1192.0667* | 46.7501 | .000 | 1071.9642 | 1312.1691 |
| | 1.00 | 166.4000* | 46.7501 | .002 | 46.2975 | 286.5025 |
| | 5.00 | -269.9778* | 46.7501 | .000 | -390.0802 | -149.8753 |
| 5.00 | .50 | 1462.0444* | 46.7501 | .000 | 1341.9420 | 1582.1469 |
| | 1.00 | 436.3778* | 46.7501 | .000 | 316.2753 | 556.4802 |
| | 2.50 | 269.9778* | 46.7501 | .000 | 149.8753 | 390.0802 |

*. The mean difference is significant at the .05 level.

**ANOVA**

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PERCENTM | Between Groups | 34606.974 | 3 | 11535.658 | 67152.542 | .000 |
| | Within Groups | 13.055 | 76 | .172 | | |
| | Total | 34620.030 | 79 | | | |
| METLDAY | Between Groups | 99.904 | 3 | 33.301 | 23687.884 | .000 |
| | Within Groups | .107 | 76 | 1.406E-03 | | |
| | Total | 100.011 | 79 | | | |
| CO2LDAY | Between Groups | 6.505 | 3 | 2.168 | 5012.447 | .000 |
| | Within Groups | 3.288E-02 | 76 | 4.326E-04 | | |
| | Total | 6.538 | 79 | | | |

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

| Dependent Variable | (I) TYPE2 | (J) TYPE2 | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| PCMET | .50 | 1.00 | 15.1378* | 2.0426 | .000 | 9.8904 | 20.3852 |
| | | 2.50 | -29.3422* | 2.0426 | .000 | -34.5896 | -24.0948 |
| | | 5.00 | 5.7275* | 2.0426 | .026 | .4801 | 10.9749 |
| | 1.00 | .50 | -15.1378* | 2.0426 | .000 | -20.3852 | -9.8904 |
| | | 2.50 | -44.4800* | 2.0426 | .000 | -49.7274 | -39.2326 |
| | | 5.00 | -9.4103* | 2.0426 | .000 | -14.6577 | -4.1629 |
| | 2.50 | .50 | 29.3422* | 2.0426 | .000 | 24.0948 | 34.5896 |
| | | 1.00 | 44.4800* | 2.0426 | .000 | 39.2326 | 49.7274 |
| | | 5.00 | 35.0697* | 2.0426 | .000 | 29.8223 | 40.3171 |
| | 5.00 | .50 | -5.7275* | 2.0426 | .026 | -10.9749 | -.4801 |
| | | 1.00 | 9.4103* | 2.0426 | .000 | 4.1629 | 14.6577 |
| | | 2.50 | -35.0697* | 2.0426 | .000 | -40.3171 | -29.8223 |
| METLD | .50 | 1.00 | 1.0435* | 9.229E-02 | .000 | .8064 | 1.2806 |
| | | 2.50 | -1.2562* | 9.229E-02 | .000 | -1.4933 | -1.0191 |
| | | 5.00 | .6031* | 9.229E-02 | .000 | .3661 | .8402 |
| | 1.00 | .50 | -1.0435* | 9.229E-02 | .000 | -1.2806 | -.8064 |
| | | 2.50 | -2.2997* | 9.229E-02 | .000 | -2.5368 | -2.0626 |
| | | 5.00 | -.4404* | 9.229E-02 | .000 | -.6775 | -.2033 |
| | 2.50 | .50 | 1.2562* | 9.229E-02 | .000 | 1.0191 | 1.4933 |
| | | 1.00 | 2.2997* | 9.229E-02 | .000 | 2.0626 | 2.5368 |
| | | 5.00 | 1.8593* | 9.229E-02 | .000 | 1.6222 | 2.0964 |
| | 5.00 | .50 | -.6031* | 9.229E-02 | .000 | -.8402 | -.3661 |
| | | 1.00 | .4404* | 9.229E-02 | .000 | .2033 | .6775 |
| | | 2.50 | -1.8593* | 9.229E-02 | .000 | -2.0964 | -1.6222 |
| CO2LD | .50 | 1.00 | .5987* | 3.721E-02 | .000 | .5031 | .6943 |
| | | 2.50 | -.2498* | 3.721E-02 | .000 | -.3454 | -.1542 |
| | | 5.00 | .4068* | 3.721E-02 | .000 | .3112 | .5024 |
| | 1.00 | .50 | -.5987* | 3.721E-02 | .000 | -.6943 | -.5031 |
| | | 2.50 | -.8484* | 3.721E-02 | .000 | -.9440 | -.7528 |
| | | 5.00 | -.1919* | 3.721E-02 | .000 | -.2875 | -9.63E-02 |
| | 2.50 | .50 | .2498* | 3.721E-02 | .000 | .1542 | .3454 |
| | | 1.00 | .8484* | 3.721E-02 | .000 | .7528 | .9440 |
| | | 5.00 | .6565* | 3.721E-02 | .000 | .5610 | .7521 |
| | 5.00 | .50 | -.4068* | 3.721E-02 | .000 | -.5024 | -.3112 |
| | | 1.00 | .1919* | 3.721E-02 | .000 | 9.628E-02 | .2875 |
| | | 2.50 | -.6565* | 3.721E-02 | .000 | -.7521 | -.5610 |

*. The mean difference is significant at the .05 level.

**ตารางภาคผนวก ค-22** ตารางทดสอบทางสถิติศึกษาการเกิดปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS (gTS/l.day), VS(gVS/l.day), COD (gCOD/l.day)ที่ถูกกำจัด

**ANOVA**

METLTS

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 1.798E-02 | 3 | 5.994E-03 | 1.305 | .273 |
| Within Groups | 1.617 | 352 | 4.595E-03 | | |
| Total | 1.635 | 355 | | | |

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: METLTS

Tukey HSD

| (I) TYPE2 | (J) TYPE2 | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| .50 | 1.00 | -1.461E-02 | 1.016E-02 | .476 | -4.07E-02 | 1.150E-02 |
| | 2.50 | -8.075E-04 | 1.016E-02 | 1.000 | -2.69E-02 | 2.530E-02 |
| | 5.00 | 4.332E-03 | 1.016E-02 | .974 | -2.18E-02 | 3.044E-02 |
| 1.00 | .50 | 1.461E-02 | 1.016E-02 | .476 | -1.15E-02 | 4.071E-02 |
| | 2.50 | 1.380E-02 | 1.016E-02 | .526 | -1.23E-02 | 3.990E-02 |
| | 5.00 | 1.894E-02 | 1.016E-02 | .244 | -7.17E-03 | 4.504E-02 |
| 2.50 | .50 | 8.075E-04 | 1.016E-02 | 1.000 | -2.53E-02 | 2.691E-02 |
| | 1.00 | -1.380E-02 | 1.016E-02 | .526 | -3.99E-02 | 1.231E-02 |
| | 5.00 | 5.139E-03 | 1.016E-02 | .958 | -2.10E-02 | 3.124E-02 |
| 5.00 | .50 | -4.332E-03 | 1.016E-02 | .974 | -3.04E-02 | 2.177E-02 |
| | 1.00 | -1.894E-02 | 1.016E-02 | .244 | -4.50E-02 | 7.166E-03 |
| | 2.50 | -5.139E-03 | 1.016E-02 | .958 | -3.12E-02 | 2.097E-02 |

**ANOVA**

METLVS

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | .294 | 3 | 9.816E-02 | 6.493 | .000 |
| Within Groups | 2.661 | 176 | 1.512E-02 | | |
| Total | 2.955 | 179 | | | |

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: METLVS
Tukey HSD

| (I) TYPE2 | (J) TYPE2 | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| .50 | 1.00 | -7.964E-02* | 2.592E-02 | .011 | -.1462 | -1.31E-02 |
| | 2.50 | 1.587E-02 | 2.592E-02 | .928 | -5.07E-02 | 8.246E-02 |
| | 5.00 | 2.046E-02 | 2.592E-02 | .859 | -4.61E-02 | 8.705E-02 |
| 1.00 | .50 | 7.964E-02* | 2.592E-02 | .011 | 1.305E-02 | .1462 |
| | 2.50 | 9.551E-02* | 2.592E-02 | .001 | 2.892E-02 | .1621 |
| | 5.00 | .1001* | 2.592E-02 | .001 | 3.351E-02 | .1667 |
| 2.50 | .50 | -1.587E-02 | 2.592E-02 | .928 | -8.25E-02 | 5.072E-02 |
| | 1.00 | -9.551E-02* | 2.592E-02 | .001 | -.1621 | -2.89E-02 |
| | 5.00 | 4.592E-03 | 2.592E-02 | .998 | -6.20E-02 | 7.118E-02 |
| 5.00 | .50 | -2.046E-02 | 2.592E-02 | .859 | -8.70E-02 | 4.613E-02 |
| | 1.00 | -.1001* | 2.592E-02 | .001 | -.1667 | -3.35E-02 |
| | 2.50 | -4.592E-03 | 2.592E-02 | .998 | -7.12E-02 | 6.200E-02 |

*. The mean difference is significant at the .05 level.

**ANOVA**

METLCOD

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | .714 | 3 | .238 | 18.614 | .000 |
| Within Groups | 4.500 | 352 | 1.278E-02 | | |
| Total | 5.214 | 355 | | | |

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: METLCOD

Tukey HSD

| (I) TYPE2 | (J) TYPE2 | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| .50 | 1.00 | 7.949E-02* | 1.695E-02 | .000 | 3.595E-02 | .1230 |
| | 2.50 | .1045* | 1.695E-02 | .000 | 6.096E-02 | .1480 |
| | 5.00 | .1138* | 1.695E-02 | .000 | 7.027E-02 | .1574 |
| 1.00 | .50 | -7.949E-02* | 1.695E-02 | .000 | -.1230 | -3.59E-02 |
| | 2.50 | 2.501E-02 | 1.695E-02 | .452 | -1.85E-02 | 6.856E-02 |
| | 5.00 | 3.433E-02 | 1.695E-02 | .179 | -9.21E-03 | 7.787E-02 |
| 2.50 | .50 | -.1045* | 1.695E-02 | .000 | -.1480 | -6.10E-02 |
| | 1.00 | -2.501E-02 | 1.695E-02 | .452 | -6.86E-02 | 1.853E-02 |
| | 5.00 | 9.315E-03 | 1.695E-02 | .947 | -3.42E-02 | 5.286E-02 |
| 5.00 | .50 | -.1138* | 1.695E-02 | .000 | -.1574 | -7.03E-02 |
| | 1.00 | -3.433E-02 | 1.695E-02 | .179 | -7.79E-02 | 9.214E-03 |
| | 2.50 | -9.315E-03 | 1.695E-02 | .947 | -5.29E-02 | 3.423E-02 |

*. The mean difference is significant at the .05 level.

**ตารางภาคผนวก ค-13** แสดงค่า TS removal ที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5

| | ค่า TS | mg/l | dif | |
|---|---|---|---|---|
| day | feed in | flow out | B-C | %Removal |
| 1 | 47,380 | 0 | | 0 |
| 2 | 0.00 | 41,030 | 6,350 | 13.40228 |
| 3 | | 40,087 | 7,293 | 15.39257 |
| 4 | | 36,680 | 10,700 | 22.58337 |
| 5 | | 36,130 | 11,250 | 23.7442 |
| 6 | | 33,630 | 13,750 | 29.0125 |
| 7 | | 32,480 | 14,900 | 31.439 |
| 8 | | 30750 | 16,630 | 35.0893 |
| 9 | | 29981 | 17,399 | 36.71189 |
| 10 | 51,250 | 31943 | 19,307 | 37.64865 |
| 11 | 0.001951 | 31477 | 19,773 | 38.55735 |
| 12 | | 31441 | 19,809 | 38.62755 |
| 13 | | 31480 | 19,770 | 38.5515 |
| 14 | | 31175 | 20,075 | 39.14625 |
| 15 | | 31060 | 20,190 | 39.3705 |
| 16 | | 30933 | 20,317 | 39.61815 |
| 17 | | 29790 | 21,460 | 41.847 |
| 18 | | 29810 | 21,440 | 41.808 |
| 19 | | 29273 | 21,977 | 42.85515 |
| 20 | 50,420 | 29640 | 20,780 | 42.9107 |
| 21 | 0.001983 | 29230 | 21,190 | 42.02697 |
| 22 | | 28865 | 21,555 | 42.75089 |
| 23 | | 28740 | 21,680 | 42.99881 |
| 24 | | 28537 | 21,883 | 43.40143 |
| 25 | | 28313 | 22,107 | 43.8457 |
| 26 | | 27,335 | 21,075 | 41.79889 |
| 27 | | 27,465 | 20,945 | 41.54106 |
| 28 | | 26,162 | 22,248 | 44.12535 |
| 29 | | 26,183 | 22,227 | 44.0837 |
| 30 | 48,410 | 26,430 | 21,980 | 46.3778 |
| 31 | 0.002066 | 25,730 | 22,680 | 46.84982 |
| 32 | | 25,520 | 22,890 | 47.28362 |
| 33 | | 25,150 | 23,260 | 48.04792 |
| 34 | | 25,831 | 22,579 | 46.64119 |
| 35 | | 25,331 | 24,919 | 51.4749 |
| 36 | | 25,017 | 25,233 | 52.12353 |
| 37 | | 24541 | 25,709 | 53.1068 |
| 38 | | 24180 | 26,070 | 53.85251 |
| 39 | | 23225 | 27,025 | 55.82524 |
| 40 | 49,220 | 21990 | 28,260 | 55.107 |
| 41 | 0.002032 | 21273 | 28,977 | 56.50515 |
| 42 | | 21890 | 28,360 | 55.302 |
| 43 | | 21310 | 28,940 | 56.433 |
| 44 | | 21013 | 29,237 | 57.01215 |
| 45 | | 21140 | 28,080 | 57.9852 |

| | ค่า TS | mg/l | dif | |
|---|---|---|---|---|
| day | feed in | flow out | B-C | %Removal |
| 46 | | 21830 | 27,964 | 57.74566 |
| 47 | | 21265 | 28,529 | 58.91239 |
| 48 | | 21540 | 28,254 | 58.34451 |
| 49 | | 21337 | 28,457 | 58.76371 |
| 50 | 50,250 | 21013 | 28,781 | 59.43277 |
| 51 | 0.00199 | 21,205 | 28,589 | 59.03629 |
| 52 | | 21,530 | 28,264 | 58.36516 |
| 53 | | 20972 | 28,822 | 59.51743 |
| 54 | | 21080 | 28,714 | 59.29441 |
| 55 | | 21450 | 28,344 | 58.53036 |
| 56 | | 21728 | 27,364 | 55.54892 |
| 57 | | 20565 | 28,527 | 57.90981 |
| 58 | | 20080 | 29,012 | 58.89436 |
| 59 | | 19873 | 29,219 | 59.31457 |
| 60 | 49,092 | 19665 | 29,427 | 59.73681 |
| 61 | 0.002037 | 19291 | 29,801 | 60.49603 |
| 62 | | 19380 | 29,712 | 60.31536 |
| 63 | | 19271 | 29,821 | 60.53663 |
| 64 | | 19675 | 29,417 | 59.71651 |
| 65 | | 19595 | 29,497 | 59.87891 |
| 66 | | 19175 | 29,917 | 60.73151 |
| 67 | | 19292 | 29,800 | 60.494 |
| 68 | | 19163 | 29,929 | 60.75587 |
| 69 | | 19301 | 29,791 | 60.47573 |
| 70 | 51074 | 20100 | 30974 | 60.64534 |
| 71 | 0.001958 | 20200 | 30874 | 60.44954 |
| 72 | | 20190 | 30884 | 60.46912 |
| 73 | | 20300 | 30774 | 60.25375 |
| 74 | | 20201 | 30873 | 60.44759 |
| 75 | | 20310 | 30764 | 60.23417 |
| 76 | | 20139 | 30935 | 60.56898 |
| 77 | | 20190 | 30884 | 60.46912 |
| 78 | | 20200 | 30874 | 60.44954 |
| 79 | | 20123 | 30951 | 60.60031 |
| 80 | 51050 | 20169 | 30905 | 60.51024 |
| 81 | 0.001959 | 20076 | 30998 | 60.69233 |
| 82 | | 20130 | 30944 | 60.5866 |
| 83 | | 20122 | 30952 | 60.60226 |
| 84 | | 20121 | 30953 | 60.60422 |
| 85 | | 20120 | 30930 | 60.58766 |
| 86 | | 20130 | 30920 | 60.56807 |
| 87 | | 20120 | 30930 | 60.58766 |
| 88 | | 20133 | 30917 | 60.56219 |
| 89 | | 20125 | 30925 | 60.57786 |
| 90 | | 20131 | 30919 | 60.56611 |

**ตารางภาคผนวก ค-14** แสดงค่า TS removal ที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดร้อยละ

| | ค่า TS | mg/l | Dif | |
|---|---|---|---|---|
| day | feed in | flow out | B-C | %Removal |
| 1 | 25,521 | 0 | | 0 |
| 2 | 0.003918 | 21590 | 3,931 | 15.403 |
| 3 | | 21575 | 3,946 | 15.46178 |
| 4 | | 19733 | 5,788 | 22.67936 |
| 5 | | 19070 | 6,451 | 25.27722 |
| 6 | | 18039 | 7,482 | 29.31703 |
| 7 | | 17153 | 8,368 | 32.78868 |
| 8 | | 16980 | 8,541 | 33.46656 |
| 9 | | 16831 | 8,690 | 34.05039 |
| 10 | 25,450 | 16070 | 9,380 | 36.85658 |
| 11 | 0.003929 | 15704 | 9,746 | 38.2947 |
| 12 | | 15105 | 10,345 | 40.64833 |
| 13 | | 15731 | 9,719 | 38.18861 |
| 14 | | 15162 | 10,288 | 40.42436 |
| 15 | | 14539 | 10,911 | 42.8723 |
| 16 | | 13060 | 12,390 | 48.68369 |
| 17 | | 12968 | 12,482 | 49.04519 |
| 18 | | 12102 | 13,348 | 52.44794 |
| 19 | | 11775 | 13,675 | 53.73281 |
| 20 | 25,752 | 11027 | 14,725 | 57.18002 |
| 21 | | 11015 | 14,737 | 57.22662 |
| 22 | 0.003883 | 10718 | 15,034 | 58.37993 |
| 23 | | 10913 | 14,839 | 57.62271 |
| 24 | | 10612 | 15,140 | 58.79155 |
| 25 | | 10678 | 15,074 | 58.53526 |
| 26 | | 10835 | 14,917 | 57.9256 |
| 27 | | 10885 | 14,867 | 57.73144 |
| 28 | | 10841 | 14,911 | 57.9023 |
| 29 | | 11203 | 14,549 | 56.49658 |
| 30 | 25103 | 10877 | 14,875 | 57.7625 |
| 31 | 0.003984 | 10762 | 14,341 | 57.12866 |
| 32 | | 10820 | 14,283 | 56.89762 |
| 33 | | 10656 | 14,447 | 57.55092 |
| 34 | | 10520 | 14,583 | 58.09269 |
| 35 | | 10507 | 14,596 | 58.14448 |
| 36 | | 10670 | 14,433 | 57.49515 |
| 37 | | 10401 | 14702 | 58.56674 |
| 38 | | 10191 | 14912 | 59.40329 |
| 39 | | 10050 | 15053 | 59.96498 |
| 40 | 25210 | 10019 | 15191 | 60.25783 |
| 41 | 0.003967 | 10083 | 15127 | 60.00397 |
| 42 | | 9927 | 15283 | 60.62277 |
| 43 | | 9783 | 15427 | 61.19397 |
| 44 | | 9121 | 16089 | 63.81991 |
| 45 | | 8633 | 16577 | 65.75565 |

| | ค่า TS | mg/l | Dif | |
|---|---|---|---|---|
| day | feed in | flow out | B-C | %Removal |
| 46 | | 8552 | 16658 | 66.07695 |
| 47 | | 8405 | 16805 | 66.66006 |
| 48 | | 8427 | 16783 | 66.57279 |
| 49 | | 8520 | 16690 | 66.20389 |
| 50 | 25283 | 8183 | 17100 | 67.63438 |
| 51 | 0.003955 | 7959 | 17324 | 68.52035 |
| 52 | | 7965 | 17318 | 68.49662 |
| 53 | | 7938 | 17272 | 68.31468 |
| 54 | | 7940 | 17343 | 68.5955 |
| 55 | | 7754 | 17529 | 69.33117 |
| 56 | | 7756 | 17527 | 69.32326 |
| 57 | | 7740 | 17543 | 69.38654 |
| 58 | | 7710 | 17573 | 69.5052 |
| 59 | | 7754 | 17456 | 69.04244 |
| 60 | 25177 | 7721 | 17456 | 69.33312 |
| 61 | 0.003972 | 7738 | 17439 | 69.2656 |
| 62 | | 7732 | 17445 | 69.28943 |
| 63 | | 7735 | 17475 | 69.40859 |
| 64 | | 7740 | 17437 | 69.25766 |
| 65 | | 7741 | 17436 | 69.25368 |
| 66 | | 7743 | 17434 | 69.24574 |
| 67 | | 7742 | 17435 | 69.24971 |
| 68 | | 7763 | 17414 | 69.1663 |
| 69 | | 7721 | 17456 | 69.33312 |
| 70 | 25180 | 7732 | 17448 | 69.29309 |
| 71 | 0.003971 | 7712 | 17468 | 69.37252 |
| 72 | | 7731 | 17449 | 69.29706 |
| 73 | | 7721 | 17459 | 69.33678 |
| 74 | | 7730 | 17450 | 69.30103 |
| 75 | | 7732 | 17448 | 69.29309 |
| 76 | | 7743 | 17437 | 69.2494 |
| 77 | | 7753 | 17427 | 69.20969 |
| 78 | | 7723 | 17457 | 69.32883 |
| 79 | | 7743 | 17437 | 69.2494 |
| 80 | 25170 | 7698 | 17472 | 69.41597 |
| 81 | 0.003973 | 7680 | 17490 | 69.48749 |
| 82 | | 7688 | 17482 | 69.4557 |
| 83 | | 7686 | 17484 | 69.46365 |
| 84 | | 7685 | 17485 | 69.46762 |
| 85 | | 7688 | 17482 | 69.4557 |
| 86 | | 7684 | 17486 | 69.47159 |
| 87 | | 7655 | 17515 | 69.58681 |
| 88 | | 7681 | 17489 | 69.48351 |
| 89 | | 7680 | 17490 | 69.48749 |
| 90 | | 7678 | 17492 | 69.49543 |

**ตารางภาคผนวก ค-15** แสดงค่า TS removal ที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 1

| | ค่า TS | mg/l | Dif | | | ค่า TS | mg/l | Dif | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| day | feed in | flow out | B-C | %Removal | day | feed in | flow out | B-C | %Removal |
| 1 | 11,821 | 0 | | 0 | 46 | | 2721 | 9024 | 76.83269 |
| 2 | 0.00846 | 9540 | 2,281 | 20.36477 | 47 | | 2891 | 8854 | 75.38527 |
| 3 | | 8975 | 2,846 | 25.40909 | 48 | | 2690 | 9055 | 77.09664 |
| 4 | | 8693 | 3,128 | 27.92678 | 49 | | 2610 | 9135 | 77.77778 |
| 5 | | 7970 | 3,851 | 34.38173 | 50 | 12180 | 2897 | 9283 | 76.21511 |
| 6 | | 7519 | 4,302 | 38.40826 | 51 | 0.00821 | 2759 | 9421 | 77.34811 |
| 7 | | 6753 | 5,068 | 45.2471 | 52 | | 2651 | 9529 | 78.23481 |
| 8 | | 6080 | 5,741 | 51.25565 | 53 | | 2643 | 9537 | 78.30049 |
| 9 | | 5631 | 6,190 | 55.26432 | 54 | | 2773 | 9407 | 77.23317 |
| 10 | 11,450 | 5660 | 5,790 | 55.40451 | 55 | | 2675 | 9505 | 78.03777 |
| 11 | 0.008734 | 5644 | 5,806 | 55.55761 | 56 | | 2613 | 9567 | 78.5468 |
| 12 | | 5685 | 5,765 | 55.16529 | 57 | | 2645 | 9535 | 78.28407 |
| 13 | | 5431 | 6,019 | 57.59581 | 58 | | 2657 | 9523 | 78.18555 |
| 14 | | 5462 | 5,988 | 57.29917 | 59 | | 2744 | 9436 | 77.47126 |
| 15 | | 5189 | 6,261 | 59.91151 | 60 | 11385 | 2570 | 9610 | 78.89984 |
| 16 | | 5306 | 6,144 | 58.79194 | 61 | 0.008783 | 2540 | 8845 | 77.68994 |
| 17 | | 5168 | 6,282 | 60.11246 | 62 | | 2380 | 9005 | 79.0953 |
| 18 | | 4952 | 6,498 | 62.17936 | 63 | | 2350 | 9035 | 79.35881 |
| 19 | | 4875 | 6,575 | 62.91618 | 64 | | 2310 | 9075 | 79.71014 |
| 20 | 11,752 | 4770 | 6,680 | 63.92092 | 65 | | 2330 | 9055 | 79.53448 |
| 21 | 0.008509 | 4315 | 7,437 | 63.28143 | 66 | | 2335 | 9050 | 79.49056 |
| 22 | | 4418 | 7,334 | 62.40501 | 67 | | 2310 | 9075 | 79.71014 |
| 23 | | 4103 | 7,649 | 65.08534 | 68 | | 2346 | 9039 | 79.39394 |
| 24 | | 3912 | 7,840 | 66.71056 | 69 | | 2350 | 9035 | 79.35881 |
| 25 | | 3978 | 7,774 | 66.14897 | 70 | 11255 | 2360 | 9025 | 79.27097 |
| 26 | | 4207 | 7,545 | 64.20041 | 71 | 0.008885 | 2310 | 8945 | 79.47579 |
| 27 | | 4210 | 7,542 | 64.17488 | 72 | | 2302 | 8953 | 79.54687 |
| 28 | | 4161 | 7,591 | 64.59182 | 73 | | 2311 | 8944 | 79.4669 |
| 29 | | 3953 | 7,799 | 66.36169 | 74 | | 2308 | 8947 | 79.49356 |
| 30 | 12103 | 3983 | 7,769 | 66.10642 | 75 | | 2312 | 8943 | 79.45802 |
| 31 | 0.008262 | 4062 | 8,041 | 66.6028 | 76 | | 2309 | 8946 | 79.48467 |
| 32 | | 4420 | 7,683 | 63.63752 | 77 | | 2314 | 8941 | 79.44025 |
| 33 | | 4416 | 7,687 | 63.67065 | 78 | | 2313 | 8942 | 79.44913 |
| 34 | | 4430 | 7,673 | 63.55469 | 79 | | 2321 | 8934 | 79.37805 |
| 35 | | 4227 | 7,876 | 65.23612 | 80 | 11318 | 2313 | 9005 | 79.56353 |
| 36 | | 3870 | 8,233 | 68.19312 | 81 | 0.008835 | 2311 | 9007 | 79.5812 |
| 37 | | 3721 | 8382 | 69.25963 | 82 | | 2305 | 9013 | 79.63421 |
| 38 | | 3871 | 8232 | 68.18483 | 83 | | 2315 | 9003 | 79.54586 |
| 39 | | 3850 | 8253 | 68.35877 | 84 | | 2302 | 9016 | 79.66072 |
| 40 | 11745 | 3410 | 8335 | 70.96637 | 85 | | 2309 | 9009 | 79.59887 |
| 41 | 0.008514 | 3120 | 8625 | 73.4355 | 86 | | 2303 | 9015 | 79.65188 |
| 42 | | 3170 | 8575 | 73.00979 | 87 | | 2304 | 9014 | 79.64305 |
| 43 | | 3010 | 8735 | 74.37207 | 88 | | 2302 | 9016 | 79.66072 |
| 44 | | 3150 | 8595 | 73.18008 | 89 | | 2306 | 9012 | 79.62538 |
| 45 | | 2859 | 8886 | 75.65773 | 90 | | 2310 | 9008 | 79.59003 |

**<u>ตารางภาคผนวก ค-16</u>** แสดงค่า TS removal ที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 0.5

| | ค่า TS | | Dif | | | ค่า TS | | Dif | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| day | feed in | flow out | B-C | %Removal | day | feed in | flow out | B-C | %Removal |
| 1 | 5,150 | 0 | | 0 | 46 | | 1121 | 4,117 | 78.5987 |
| 2 | 0.019417 | 3420 | 1,730 | 32.3337 | 47 | | 1053 | 4,185 | 79.89691 |
| 3 | | 3305 | 1,845 | 34.48305 | 48 | | 981 | 4,257 | 81.27148 |
| 4 | | 2081 | 3,069 | 57.35961 | 49 | 5216 | 891 | 4,347 | 82.98969 |
| 5 | | 1764 | 3,386 | 63.28434 | 50 | 0.019172 | 987 | 4,229 | 81.07745 |
| 6 | | 1860 | 3,290 | 61.4901 | 51 | | 965 | 4,251 | 81.49923 |
| 7 | | 1912 | 3,238 | 60.51822 | 52 | | 938 | 4,278 | 82.01687 |
| 8 | | 1863 | 3,287 | 61.43403 | 53 | | 868 | 4,348 | 83.3589 |
| 9 | | 1871 | 3,279 | 61.28451 | 54 | | 863 | 4,353 | 83.45475 |
| 10 | 5,125 | 1752 | 3,373 | 65.16636 | 55 | | 857 | 4,359 | 83.56979 |
| 11 | 0.019512 | 1832 | 3,293 | 63.62076 | 56 | | 852 | 4,364 | 83.66564 |
| 12 | | 1745 | 3,380 | 65.3016 | 57 | | 861 | 4,355 | 83.4931 |
| 13 | | 1690 | 3,435 | 66.3642 | 58 | | 875 | 4,341 | 83.22469 |
| 14 | | 1610 | 3,515 | 67.9098 | 59 | 5265 | 835 | 4,381 | 83.99156 |
| 15 | | 1635 | 3,490 | 67.4268 | 60 | 0.018993 | 833 | 4,432 | 84.17854 |
| 16 | | 1520 | 3,605 | 69.6486 | 61 | | 861 | 4,404 | 83.64672 |
| 17 | | 1512 | 3,613 | 69.80316 | 62 | | 842 | 4,423 | 84.0076 |
| 18 | | 1535 | 3,590 | 69.3588 | 63 | | 843 | 4,422 | 83.9886 |
| 19 | | 1420 | 3,705 | 71.5806 | 64 | | 824 | 4,441 | 84.34948 |
| 20 | 5,207 | 1448 | 3,759 | 72.13521 | 65 | | 827 | 4,438 | 84.2925 |
| 21 | 0.019205 | 1330 | 3,877 | 74.39963 | 66 | | 835 | 4,430 | 84.14055 |
| 22 | | 1327 | 3,880 | 74.4572 | 67 | | 828 | 4,437 | 84.2735 |
| 23 | | 1315 | 3,892 | 74.68748 | 68 | | 814 | 4,451 | 84.53941 |
| 24 | | 1183 | 4,024 | 77.22056 | 69 | | 808 | 4,457 | 84.65337 |
| 25 | | 1215 | 3,992 | 76.60648 | 70 | 5193 | 798 | 4,395 | 84.63316 |
| 26 | | 1120 | 4,087 | 78.42953 | 71 | 0.019257 | 803 | 4390 | 84.53688 |
| 27 | | 1082 | 4,125 | 79.15875 | 72 | | 813 | 4380 | 84.34431 |
| 28 | | 1046 | 4,161 | 79.84959 | 73 | | 811 | 4382 | 84.38282 |
| 29 | | 1103 | 4,104 | 78.75576 | 74 | | 820 | 4373 | 84.20951 |
| 30 | 5277 | 1242 | 3,965 | 76.08835 | 75 | | 822 | 4371 | 84.171 |
| 31 | 0.01895 | 1165 | 4,112 | 77.9224 | 76 | | 825 | 4368 | 84.11323 |
| 32 | | 1136 | 4,141 | 78.47195 | 77 | | 826 | 4367 | 84.09397 |
| 33 | | 1202 | 4,075 | 77.22125 | 78 | | 797 | 4396 | 84.65242 |
| 34 | | 1029 | 4,248 | 80.4996 | 79 | | 798 | 4395 | 84.63316 |
| 35 | | 1083 | 4,194 | 79.4763 | 80 | 5180 | 798 | 4382 | 84.59459 |
| 36 | | 1225 | 4,052 | 76.7854 | 81 | 0.019305 | 803 | 4377 | 84.49807 |
| 37 | | 1193 | 4,084 | 78.37196 | 82 | | 797 | 4383 | 84.6139 |
| 38 | | 1128 | 4,149 | 79.61931 | 83 | | 795 | 4385 | 84.65251 |
| 39 | | 1241 | 4,036 | 77.45084 | 84 | | 799 | 4381 | 84.57529 |
| 40 | 5238 | 1101 | 4,137 | 78.98053 | 85 | | 796 | 4384 | 84.6332 |
| 41 | 0.019091 | 1132 | 4,106 | 78.3887 | 86 | | 797 | 4383 | 84.6139 |
| 42 | | 1173 | 4,065 | 77.60596 | 87 | | 795 | 4385 | 84.65251 |
| 43 | | 1253 | 3,985 | 76.07866 | 88 | | 797 | 4383 | 84.6139 |
| 44 | | 1120 | 4,118 | 78.61779 | 89 | | 798 | 4382 | 84.59459 |
| 45 | | 1100 | 4,138 | 78.99962 | 90 | | 810 | 4370 | 84.36293 |

**ตารางภาคผนวก ค-17** ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิด ต่อน้ำหนัก TS (gTS / l.d.)ที่ถูกกำจัด

| day | TS 5% | TS 2.5% | TS 1% | TS 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | 0.073655 | 0.100675 | 0.141954 | 0.124778 |
| 3 | 0.103596 | 0.10941 | 0.139056 | 0.117 |
| 4 | 0.087422 | 0.074591 | 0.092014 | 0.058614 |
| 5 | 0.086346 | 0.072502 | 0.121451 | 0.074378 |
| 6 | 0.081113 | 0.052894 | 0.091993 | 0.065612 |
| 7 | 0.070023 | 0.055892 | 0.085187 | 0.066666 |
| 8 | 0.073556 | 0.088459 | 0.068934 | 0.076618 |
| 9 | 0.078576 | 0.070382 | 0.075559 | 0.065833 |
| 10 | 0.076401 | 0.06904 | 0.074565 | 0.074664 |
| 11 | 0.081879 | 0.099671 | 0.111539 | 0.098329 |
| 12 | 0.087179 | 0.086944 | 0.09361 | 0.117087 |
| 13 | 0.085531 | 0.099948 | 0.107592 | 0.094264 |
| 14 | 0.094984 | 0.111905 | 0.114157 | 0.11259 |
| 15 | 0.105135 | 0.122002 | 0.120672 | 0.123705 |
| 16 | 0.111561 | 0.124861 | 0.146393 | 0.129739 |
| 17 | 0.119031 | 0.141235 | 0.160358 | 0.129451 |
| 18 | 0.125854 | 0.142854 | 0.160564 | 0.140302 |
| 19 | 0.142424 | 0.149961 | 0.169628 | 0.135947 |
| 20 | 0.136777 | 0.149041 | 0.188505 | 0.143566 |
| 21 | 0.127339 | 0.141596 | 0.198343 | 0.148476 |
| 22 | 0.153557 | 0.148371 | 0.161884 | 0.148361 |
| 23 | 0.134418 | 0.150321 | 0.174032 | 0.157147 |
| 24 | 0.156188 | 0.149708 | 0.174381 | 0.151993 |
| 25 | 0.135076 | 0.152751 | 0.161978 | 0.153211 |
| 26 | 0.162176 | 0.159182 | 0.185967 | 0.158452 |
| 27 | 0.164901 | 0.162137 | 0.186041 | 0.156993 |
| 28 | 0.160094 | 0.164072 | 0.18958 | 0.164281 |
| 29 | 0.181288 | 0.170627 | 0.189137 | 0.175329 |
| 30 | 0.175141 | 0.169306 | 0.189867 | 0.172402 |
| 31 | 0.17608 | 0.180628 | 0.187919 | 0.174988 |
| 32 | 0.171322 | 0.18388 | 0.201358 | 0.182451 |
| 33 | 0.173237 | 0.184283 | 0.201253 | 0.185406 |
| 34 | 0.186429 | 0.185031 | 0.206309 | 0.186324 |
| 35 | 0.174697 | 0.179937 | 0.20556 | 0.197302 |
| 36 | 0.175375 | 0.186954 | 0.196646 | 0.195337 |
| 37 | 0.176326 | 0.193322 | 0.197443 | 0.202616 |
| 38 | 0.178025 | 0.193012 | 0.205411 | 0.199442 |
| 39 | 0.175727 | 0.193595 | 0.204888 | 0.21394 |
| 40 | 0.171867 | 0.194204 | 0.207189 | 0.20002 |
| 41 | 0.171339 | 0.199783 | 0.204394 | 0.210292 |
| 42 | 0.178873 | 0.195389 | 0.209781 | 0.221264 |
| 43 | 0.179017 | 0.200562 | 0.205939 | 0.225706 |
| 44 | 0.18089 | 0.194546 | 0.213479 | 0.227153 |
| 45 | 0.192188 | 0.190989 | 0.210537 | 0.234749 |

| day | TS 5% | TS 2.5% | TS 1% | TS 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| 46 | 0.20097 | 0.19438 | 0.207317 | 0.235946815 |
| 47 | 0.200769 | 0.19482 | 0.215361 | 0.232113031 |
| 48 | 0.204063 | 0.197219 | 0.214554 | 0.219735851 |
| 49 | 0.209029 | 0.200474 | 0.212675 | 0.223462856 |
| 50 | 0.210455 | 0.197771 | 0.21316 | 0.238205381 |
| 51 | 0.217034 | 0.199367 | 0.213856 | 0.236972608 |
| 52 | 0.223479 | 0.201514 | 0.211433 | 0.227067096 |
| 53 | 0.220338 | 0.204134 | 0.215028 | 0.231685961 |
| 54 | 0.226298 | 0.205372 | 0.221824 | 0.239684833 |
| 55 | 0.240973 | 0.229875 | 0.219537 | 0.255862151 |
| 56 | 0.240604 | 0.229901 | 0.223755 | 0.239080677 |
| 57 | 0.234578 | 0.235844 | 0.233939 | 0.247835958 |
| 58 | 0.231897 | 0.237489 | 0.230456 | 0.240347403 |
| 59 | 0.236411 | 0.243203 | 0.244019 | 0.238152951 |
| 60 | 0.23963 | 0.247325 | 0.235857 | 0.251647815 |
| 61 | 0.247488 | 0.253755 | 0.260323 | 0.253247756 |
| 62 | 0.244597 | 0.259855 | 0.259693 | 0.244025683 |
| 63 | 0.246116 | 0.263526 | 0.266795 | 0.235944839 |
| 64 | 0.265395 | 0.259974 | 0.269584 | 0.251137833 |
| 65 | 0.262236 | 0.262052 | 0.266206 | 0.235094204 |
| 66 | 0.262162 | 0.270337 | 0.274304 | 0.227397417 |
| 67 | 0.269228 | 0.266194 | 0.281477 | 0.251364236 |
| 68 | 0.27528 | 0.278912 | 0.278618 | 0.242490586 |
| 69 | 0.27414 | 0.282363 | 0.282723 | 0.234092007 |
| 70 | 0.272962 | 0.288678 | 0.287023 | 0.253766352 |
| 71 | 0.269185 | 0.290407 | 0.285568 | 0.262250714 |
| 72 | 0.273757 | 0.2866 | 0.29335 | 0.254635415 |
| 73 | 0.28175 | 0.282314 | 0.2856 | 0.262729492 |
| 74 | 0.276185 | 0.286583 | 0.285504 | 0.263270212 |
| 75 | 0.280672 | 0.288678 | 0.289655 | 0.255159715 |
| 76 | 0.28261 | 0.280607 | 0.293579 | 0.255334962 |
| 77 | 0.274922 | 0.293155 | 0.293743 | 0.246526903 |
| 78 | 0.278507 | 0.284407 | 0.297734 | 0.253708625 |
| 79 | 0.281301 | 0.286797 | 0.302028 | 0.286510397 |
| 80 | 0.273571 | 0.286222 | 0.303641 | 0.279150086 |
| 81 | 0.276232 | 0.287985 | 0.311563 | 0.271249293 |
| 82 | 0.280202 | 0.292232 | 0.307364 | 0.279086396 |
| 83 | 0.276643 | 0.290141 | 0.307705 | 0.270754425 |
| 84 | 0.282446 | 0.292182 | 0.311252 | 0.262789463 |
| 85 | 0.280329 | 0.286059 | 0.315487 | 0.287229287 |
| 86 | 0.273438 | 0.288051 | 0.315277 | 0.279086396 |
| 87 | 0.282656 | 0.289628 | 0.319303 | 0.270754425 |
| 88 | 0.281611 | 0.288001 | 0.315242 | 0.28729482 |
| 89 | 0.278048 | 0.290042 | 0.315382 | 0.262729492 |
| 90 | 0.282756 | 0.292065 | 0.319516 | 0.271683789 |

**<u>ตารางภาคผนวก ค-18</u>** ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิด ต่อน้ำหนัก VS (gVS / l.d.)ที่ถูกกำจัด

| day | TS 5% | TS 2.5% | TS 1% | TS 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | 0.100087 | 0.077904 | 0.119703 | 0.088 |
| 3 | | | | |
| 4 | 0.161529 | 0.092073 | 0.108041 | 0.074089 |
| 5 | | | | |
| 6 | 0.218601 | 0.074854 | 0.132006 | 0.092014 |
| 7 | | | | |
| 8 | 0.205241 | 0.135667 | 0.132536 | 0.099858 |
| 9 | | | | |
| 10 | 0.165572 | 0.111061 | 0.142438 | 0.103767 |
| 11 | | | | |
| 12 | 0.180188 | 0.149508 | 0.167806 | 0.157357 |
| 13 | | | | |
| 14 | 0.206432 | 0.162863 | 0.203808 | 0.157545 |
| 15 | | | | |
| 16 | 0.178485 | 0.211026 | 0.273302 | 0.182058 |
| 17 | | | | |
| 18 | 0.21975 | 0.2469 | 0.321327 | 0.194024 |
| 19 | | | | |
| 20 | 0.245294 | 0.273304 | 0.317662 | 0.210231 |
| 21 | | | | |
| 22 | 0.265709 | 0.272025 | 0.29007 | 0.226096 |
| 23 | | | | |
| 24 | 0.246866 | 0.260887 | 0.332558 | 0.237245 |
| 25 | | | | |
| 26 | 0.249899 | 0.260364 | 0.335917 | 0.254358 |
| 27 | | | | |
| 28 | 0.239721 | 0.268813 | 0.355246 | 0.265982 |
| 29 | | | | |
| 30 | 0.258345 | 0.245485 | 0.366024 | 0.266396 |
| 31 | | | | |
| 32 | 0.25397 | 0.252559 | 0.380387 | 0.305264 |
| 33 | | | | |
| 34 | 0.267635 | 0.254895 | 0.381816 | 0.320577 |
| 35 | | | | |
| 36 | 0.289534 | 0.255958 | 0.397103 | 0.315718 |
| 37 | | | | |
| 38 | 0.272845 | 0.269368 | 0.408638 | 0.327327 |
| 39 | | | | |
| 40 | 0.285637 | 0.271179 | 0.411564 | 0.332056 |
| 41 | | | | |
| 42 | 0.268262 | 0.276878 | 0.419025 | 0.360785 |
| 43 | | | | |
| 44 | 0.288968 | 0.287767 | 0.429909 | 0.375518 |
| 45 | | | | |

| day | TS 5% | TS 2.5% | TS 1% | TS 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| 46 | 0.285137 | 0.300369 | 0.435381 | 0.390117685 |
| 47 | | | | |
| 48 | 0.292485 | 0.30333 | 0.444879 | 0.375819814 |
| 49 | | | | |
| 50 | 0.295765 | 0.31253 | 0.447583 | 0.404404077 |
| 51 | | | | |
| 52 | 0.309345 | 0.320049 | 0.444559 | 0.395035802 |
| 53 | | | | |
| 54 | 0.319167 | 0.32761 | 0.450593 | 0.424989033 |
| 55 | | | | |
| 56 | 0.326339 | 0.370527 | 0.4712 | 0.424989033 |
| 57 | | | | |
| 58 | 0.336946 | 0.380541 | 0.471355 | 0.425509003 |
| 59 | | | | |
| 60 | 0.347849 | 0.393484 | 0.489543 | 0.452088819 |
| 61 | | | | |
| 62 | 0.359313 | 0.413761 | 0.498729 | 0.421611561 |
| 63 | | | | |
| 64 | 0.389072 | 0.416422 | 0.49108 | 0.436347072 |
| 65 | | | | |
| 66 | 0.386855 | 0.423683 | 0.533745 | 0.392125557 |
| 67 | | | | |
| 68 | 0.406937 | 0.438394 | 0.536064 | 0.421282434 |
| 69 | | | | |
| 70 | 0.430266 | 0.462266 | 0.558633 | 0.432288029 |
| 71 | | | | |
| 72 | 0.436914 | 0.450164 | 0.559633 | 0.448092855 |
| 73 | | | | |
| 74 | 0.433266 | 0.45061 | 0.53529 | 0.462733375 |
| 75 | | | | |
| 76 | 0.440474 | 0.440806 | 0.558325 | 0.447553417 |
| 77 | | | | |
| 78 | 0.435219 | 0.449109 | 0.564892 | 0.447553417 |
| 79 | | | | |
| 80 | 0.429086 | 0.460062 | 0.570833 | 0.458828085 |
| 81 | | | | |
| 82 | 0.446937 | 0.470511 | 0.589544 | 0.460382264 |
| 83 | | | | |
| 84 | 0.448796 | 0.470338 | 0.591162 | 0.432000239 |
| 85 | | | | |
| 86 | 0.434913 | 0.464226 | 0.587722 | 0.460209058 |
| 87 | | | | |
| 88 | 0.449951 | 0.463799 | 0.598867 | 0.472500261 |
| 89 | | | | |
| 90 | 0.448611 | 0.470945 | 0.606192 | 0.446169919 |

**ตารางภาคผนวก ค-18** ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิด ต่อน้ำหนัก COD (gCOD / l.d.)ที่ถูกกำจัด

| day | TS 5% | TS 2.5% | TS 1% | TS 0.5% | day | TS 5% | TS 2.5% | TS 1% | TS 0.5% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | 46 | 0.253608 | 0.238314 | 0.274597 | 0.390431 |
| 2 | 0.024554 | 0.038674 | 0.025336 | 0.128338 | 47 | 0.257915 | 0.240555 | 0.280248 | 0.392482 |
| 3 | 0.037639 | 0.042046 | 0.075425 | 0.115005 | 48 | 0.259843 | 0.243592 | 0.285159 | 0.377488 |
| 4 | 0.045048 | 0.041074 | 0.053399 | 0.081619 | 49 | 0.240563 | 0.246858 | 0.281604 | 0.392324 |
| 5 | 0.046756 | 0.044215 | 0.087308 | 0.113035 | 50 | 0.245251 | 0.251329 | 0.286777 | 0.416269 |
| 6 | 0.051361 | 0.037233 | 0.073179 | 0.094761 | 51 | 0.251518 | 0.256163 | 0.291949 | 0.417131 |
| 7 | 0.047792 | 0.044094 | 0.078697 | 0.093814 | 52 | 0.253654 | 0.256359 | 0.291907 | 0.4024 |
| 8 | 0.055924 | 0.070922 | 0.072856 | 0.106263 | 53 | 0.25601 | 0.259536 | 0.297076 | 0.417649 |
| 9 | 0.063218 | 0.054992 | 0.085022 | 0.090623 | 54 | 0.263196 | 0.262416 | 0.302245 | 0.432925 |
| 10 | 0.0695 | 0.056997 | 0.080517 | 0.113443 | 55 | 0.276933 | 0.295438 | 0.30207 | 0.463166 |
| 11 | 0.075927 | 0.08466 | 0.120505 | 0.137728 | 56 | 0.268884 | 0.296831 | 0.309927 | 0.433644 |
| 12 | 0.080296 | 0.077772 | 0.098749 | 0.171247 | 57 | 0.273069 | 0.304132 | 0.322808 | 0.448784 |
| 13 | 0.076628 | 0.082433 | 0.118088 | 0.141768 | 58 | 0.274179 | 0.305117 | 0.31751 | 0.434186 |
| 14 | 0.085943 | 0.097492 | 0.117675 | 0.169487 | 59 | 0.307898 | 0.311174 | 0.333222 | 0.434547 |
| 15 | 0.094991 | 0.113127 | 0.126618 | 0.183481 | 60 | 0.314186 | 0.316471 | 0.327305 | 0.458595 |
| 16 | 0.101531 | 0.130452 | 0.146036 | 0.199961 | 61 | 0.328145 | 0.326803 | 0.332308 | 0.457842 |
| 17 | 0.114286 | 0.145598 | 0.16227 | 0.19894 | 62 | 0.323314 | 0.334749 | 0.337549 | 0.442891 |
| 18 | 0.120434 | 0.156514 | 0.168745 | 0.211277 | 63 | 0.325993 | 0.340263 | 0.347784 | 0.427952 |
| 19 | 0.138455 | 0.167707 | 0.179079 | 0.210571 | 64 | 0.347601 | 0.334872 | 0.352924 | 0.457279 |
| 20 | 0.134499 | 0.170496 | 0.197617 | 0.217694 | 65 | 0.344122 | 0.33758 | 0.347835 | 0.428656 |
| 21 | 0.127912 | 0.160269 | 0.226239 | 0.232582 | 66 | 0.348149 | 0.348187 | 0.357959 | 0.41134 |
| 22 | 0.156609 | 0.173143 | 0.183134 | 0.232394 | 67 | 0.35596 | 0.340431 | 0.368282 | 0.45653 |
| 23 | 0.137851 | 0.172474 | 0.203761 | 0.246223 | 68 | 0.366415 | 0.356291 | 0.363043 | 0.441261 |
| 24 | 0.162407 | 0.17512 | 0.207678 | 0.243091 | 69 | 0.363135 | 0.361623 | 0.368495 | 0.428304 |
| 25 | 0.141974 | 0.175567 | 0.190357 | 0.242513 | 70 | 0.346491 | 0.369244 | 0.373631 | 0.465097 |
| 26 | 0.162215 | 0.181053 | 0.205435 | 0.258521 | 71 | 0.344261 | 0.371908 | 0.368867 | 0.480903 |
| 27 | 0.164125 | 0.183937 | 0.20619 | 0.257186 | 72 | 0.347216 | 0.366821 | 0.378711 | 0.46471 |
| 28 | 0.167487 | 0.186982 | 0.211384 | 0.272774 | 73 | 0.355643 | 0.362048 | 0.368176 | 0.480702 |
| 29 | 0.187618 | 0.189067 | 0.2167 | 0.286902 | 74 | 0.34844 | 0.367091 | 0.368229 | 0.4795 |
| 30 | 0.168694 | 0.191355 | 0.214807 | 0.272992 | 75 | 0.353573 | 0.369027 | 0.373577 | 0.463166 |
| 31 | 0.175469 | 0.194386 | 0.219375 | 0.286673 | 76 | 0.358154 | 0.360146 | 0.379039 | 0.464323 |
| 32 | 0.17249 | 0.196997 | 0.224566 | 0.30428 | 77 | 0.349483 | 0.375952 | 0.378929 | 0.478107 |
| 33 | 0.177175 | 0.198312 | 0.223981 | 0.305511 | 78 | 0.356716 | 0.365577 | 0.384009 | 0.464323 |
| 34 | 0.185312 | 0.201172 | 0.229688 | 0.319413 | 79 | 0.362532 | 0.36763 | 0.392711 | 0.525548 |
| 35 | 0.191648 | 0.193413 | 0.234398 | 0.334337 | 80 | 0.351226 | 0.36809 | 0.397773 | 0.502562 |
| 36 | 0.19118 | 0.199211 | 0.23484 | 0.320188 | 81 | 0.353128 | 0.370112 | 0.407944 | 0.486581 |
| 37 | 0.195953 | 0.209264 | 0.240163 | 0.334337 | 82 | 0.359745 | 0.376145 | 0.402831 | 0.501532 |
| 38 | 0.199583 | 0.212398 | 0.245563 | 0.333528 | 83 | 0.353434 | 0.372673 | 0.402246 | 0.486183 |
| 39 | 0.222855 | 0.213665 | 0.249475 | 0.34831 | 84 | 0.359154 | 0.376118 | 0.407234 | 0.472805 |
| 40 | 0.226316 | 0.216939 | 0.253735 | 0.333932 | 85 | 0.357742 | 0.368036 | 0.412574 | 0.516918 |
| 41 | 0.231885 | 0.222427 | 0.259746 | 0.349155 | 86 | 0.347259 | 0.370248 | 0.412275 | 0.501737 |
| 42 | 0.236749 | 0.219827 | 0.264307 | 0.364145 | 87 | 0.359923 | 0.373359 | 0.417675 | 0.486183 |
| 43 | 0.240865 | 0.227622 | 0.264152 | 0.362384 | 88 | 0.359374 | 0.368299 | 0.412335 | 0.514805 |
| 44 | 0.244474 | 0.230421 | 0.269554 | 0.37582 | 89 | 0.352403 | 0.371554 | 0.413414 | 0.471064 |
| 45 | 0.24959 | 0.233259 | 0.274678 | 0.390903 | 90 | 0.35833 | 0.376062 | 0.418404 | 0.488584 |

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปัณฑิตา บัวจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2527 จบการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2551 จนสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2554