การบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานในอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ

SLUDGE TREATMENT FROM WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF SLAUGHTERHOUSE FACTORY BY USING ANAEROBIC DIGESTION SYSTEM

ทวิภพ อัครสันตติกุล

TAWIPOP AKKARASANTATIKUL

การค้นคว้านี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อมและการจัดการงานก่อสร้าง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2567
KMITL-2023-EN-M-097-220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SLUDGE TREATMENT FROM WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF SLAUGHTERHOUSE FACTORY BY USING ANAEROBIC DIGESTION SYSTEM

TAWIPOP AKKARASANTATIKUL

A INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING ENVIROMENTAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2024

KMITL-2023-EN-M-097-220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อค้นคว้าอิสระ การบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานในอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ

นักศึกษา นาย ทวิภพ อัครสันตติกุล

รหัสประจำตัว 62601176

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อมและการจัดการงานก่อสร้าง

พ.ศ. 2566

อาจารย์ที่ปรึกษาค้นคว้าอิสระ รศ.ดร. ภาสกร ขันทองทิพย์

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการฆ่าสัตว์และการแปรรูปอาหารเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญมากในปัจจุบันเนื่องมาจากเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำที่ผลิตวัตถุดิบหลักในประกอบอาหารหลากหลายชนิด ดังนั้นจึงมีการเกินของเสียขึ้นในกระบวนการการผลิตและต้องมีการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นตามกฎหมายของกรมโรงงาน ด้วยคุณลักษณะน้ำเสียมีจำนวนไขมันเป็นจำนวนมาก ทำให้การบริหารจัดการของเสียหรือการกำจัดของเสียมีต้นทุนที่สูงขึ้น จึงต้องมีการประเมินแนวทางในการลดต้นทุนที่เหมาะสม

การศึกษาค้นคว้าในงานวิจัยนี้มีเป้าหมาย 2 ประการ โดยประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ และประการที่สองคือออกแบบแนวทางการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้ออกซิเจนและประเมินต้นทุนที่ลดลงหลังจากเพิ่มระบบย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ

จากการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งการดำเนินงานเป็น 1) การศึกษาตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย 2) การวิเคราะห์วิธีการจัดการของเสีย 3) การวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการจัดการของเสีย 4) วิเคราะห์และประเมินทางเลือกในการจัดการของเสีย พบว่าการเลือกใช้ระบบหมักตะกอนเป็นทางเลือกที่เหมาะสม แต่ต้องมีการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์เป็นสม่ำเสมอ จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้คือค่าของแข็งทั้งหมดมีการลดลงร้อยละ15.40 เปรียบเทียบกับตะกอนที่ส่งกำจัดต่อวัน จะมีค่าลดลง 3.615 ตันต่อวัน ประเมินค่าการลงทุนในการก่อสร้างถังหมักตะกอนประมาณ 12 ล้านบาท ดังนั้นประเมินค่าการคืนทุนจะอยู่ที่ 13.63 ปี เพื่อเสนอเป็นทางเลือกลดต้นทุนในการส่งกำจัดตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Independent Study	Sludge treatment form wastewater treatment system of slaughterhouse factory by using anaerobic digestion system
Student	Mr. Tawipop Akkarasantatikul
Student ID.	62601176
Degree	Master of Engineering
Program	Civil engineering Environmental engineering and Construction management
Year	2566
Independent Study Advisor	Assoc. Prof. Passkorn Khanthongthip

ABSTRACT

Industries related to animal slaughter and food processing are very important industries today because they are upstream industries that produce the main raw materials for various types of food. Therefore, there is an excess of waste in the production process and waste must be managed according to the laws of the Department of Industrial Works. Due to the wastewater's characteristics, it contains a large amount of fat oil and grease (FOG). This causes waste management to have higher costs.

The research in this research has two goals, evaluating the efficiency before and after anaerobic sludge digestion. And the second is to design a method for anaerobic sludge digestion and evaluate the cost reduction after adding the anaerobic sludge digestion system.

From the research operations, operations can be divided into 1 .studying excess sludge from wastewater treatment systems 2 .analyzing waste management methods 3 . analyzing costs in waste management 4.analyzing and evaluating Waste management options. The sludge digestion system was the right choice. But the parameters must be checked regularly. From the obtained parameters, the total solids value decreased by 15.40 percent. Compared to the sludge sent for disposal per day, there will be a decrease of 3.615 tons per day. Evaluate the investment in construction of a sludge digester tank about 12 Million baht, so the payback estimate will be 13.63 year.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในหัวข้อเรื่อง การศึกษาการบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานในอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ ได้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงได้ดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากหลายส่วน ผู้วิจัย อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในการช่วยเหลือทางวิชาการอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ พร้อมด้วยอนุเคราะห์ข้อมูลและวัตถุดิบในงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนบุคคลต่างๆที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมด ณ ที่นี้ ที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นแรงผลักดันให้ผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำค้นคว้าอิสระซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการศึกษาและวิจัย

นายทวิภพ อัครสันตติกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ 5
ABSTRACT 6
กิตติกรรมประกาศ 7
สารบัญ 8
สารบัญตาราง 11
สารบัญรูป 12
รายการคำย่อและสัญลักษณ์ 13
บทที่ 1 14
บทนำ 14
1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์ 14
1.2 คำสำคัญ (Keyword) 14
1.3 ที่มาและความสำคัญ 14
1.4 วัตถุประสงค์ 16
1.5 สมมุติฐานของการศึกษา 17
1.6 ขอบเขตของการศึกษา 17
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 17
บทที่ 2 18
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18
2.1 ลักษณะน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฆ่าสัตว์และการแปรรูป 18
2.2 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์และการแปรรูป 19
2.2.1 ลักษณะกากตะกอน 19
2.2.2 การบริหารจัดการกากตะกอน (Sludge Management) 20
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้และไม่ใช้อากาศ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion)..... 26
2.4.1 การไฮโดรไลซิส(Hydrolysis)..... 26
2.4.2 การสร้างกรด(Acidogenesis)..... 27
2.4.3 กระบวนการผลิตอะซิติก (Acetogenesis)..... 27
2.4.4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis) 29
2.5 หลักการพื้นฐานและสภาวะแวดล้อมของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ 30
2.5.1 อุณหภูมิ 30
2.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 30
2.5.3 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk) 31
2.5.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFA) 31
2.5.5 อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR) 32
2.5.6 สารพิษ (Toxic substances) 33
2.5.7 ข้อจำกัดของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ 33
2.5.8 การคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวเคมี 34
2.6 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36
บทที่ 3 39
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 39
3.1 การศึกษาตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย (Identify wastes from waste generator) 39
3.1.1 การสอบถามผู้ปฏิบัติงานและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง 40
3.1.2 การจัดทำฐานข้อมูลของของเสีย (Waste Inventory)..... 40
3.2 การวิเคราะห์วิธีการจัดการของเสีย..... 40
3.2.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง..... 40
3.2.2 การเตรียมการดำเนินงานและการเตรียมอุปกรณ์ 41
3.2.3 วิธีการทดลองเพื่อประเมินแนวทางในการจัดการของเสีย 42
3.2.4 การแปรผล 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 44
ผลการทดลองและอภิปรายผล 44
4.1 ผลการดำเนินงาน 44
4.1.1 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน 44
4.1.2 เก็บตัวอย่างน้ำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย 45
4.2 ผลการทดลองจากการเก็บตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและแปรผลการทดลอง 47
4.2.1 ประเมินแนวทางในการจัดการกากตะกอน 50
4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการจัดการของเสีย 52
4.3.1 การประเมินการกำจัด (Disposal cost) 52
4.3.2 ประมาณการลงทุน (Investment Cost) 52
4.3.3 ประมาณราคาค่าก่อสร้างถังหมักตะกอน 54
4.4 ประสิทธิภาพของระบบหมักตะกอน (Efficiency and Investigate AD) 54
4.4.1 ผลการทดลองของแข็งทั้งหมด 54
4.4.2 ประเมินกากตะกอนที่เกิดขึ้น 55
4.5 ประมาณการคืนทุน (Investment cost) 57
บทที่ 5 58
สรุปผลการศึกษา 58
รายการอ้างอิง 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 กระบวนการย่อยสลายของจุลชีพที่แบ่งตามชนิดของปฏิกิริยารีดอกซ์ 23
ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของกระบวนการบำบัดแบบใช้และไม่ใช้อากาศ..... 25
ตารางที่ 2.3 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ..... 35
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 41
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย 45
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของถังปฏิกิริยา..... 47
ตารางที่ 4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองแบบ Biochemical Methane Potential (BMP) ในสภาวะมาตรฐาน..... 48
ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปผลการผลิตก๊าซ(มีเทน) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ จากการทดลองศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) ในสภาวะมาตรฐาน..... 49
ตารางที่ 4.5 กากตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสีย..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ 19
รูปที่ 2.2 ลักษณะน้ำตะกอนส่วนเกินก่อนผ่านกระบวนการทำตะกอนข้น 20
รูปที่ 2.3 ลักษณะของถังทำข้นตะกอน (Sludge Thickener) 21
รูปที่ 2.4 กระบวนการย่อยสลายแบบใช้และไม่ใช้อากาศ 24
รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ 24
รูปที่ 2.6 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ 28
รูปที่ 2.7 ลักษณะไหลของน้ำเมื่อถูกตะกอนลอยปิดกั้นทางไหลของน้ำ 34
รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย (Overview Methodology) 39
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเลี้ยงตะกอนของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ 42
รูปที่ 3.3 การประเมินประสิทธิภาพของการทดลองเลี้ยงตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ 43
รูปที่ 4.1 ผังแสดงขั้นตอนในการวิจัยนี้ 44
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างตะกอน 45
รูปที่ 4.3 ตะกอนในถังหมักตะกอนระยะเริ่มทำการทดลอง 46
รูปที่ 4.4 ตะกอนในถังหมักตะกอนระยะเวลา 2 สัปดาห์ 46
รูปที่ 4.5 ตะกอนในถังหมักตะกอนระยะเวลา 4 สัปดาห์ 46
รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในการทดลอง BMP ที่สภาวะมาตรฐาน 49
รูปที่ 4.7 แผนผังการไหล (Flow Diagram) ที่ทำการปรับปรุง 50
รูปที่ 4.8 ภาพรายละเอียดการไหลของกากตะกอน 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

pH	พีเอช
TS	ของแข็งทั้งหมด
TDS	ของแข็งละลายน้ำ
TSS	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
VS	ของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด
VFA	กรดไขมันระเหยง่าย
TCOD	ซีโอดีทั้งหมด
SCOD	ซีโอดีละลายน้ำ
TBOD	บีโอดีทั้งหมด
SBOD	บีโอดีละลายน้ำ
Fat oil and grease (FOG)	ปริมาณน้ำมันและไขมัน
Total alkalinity	ค่าความเป็นด่าง
MLSS	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์
Q	อัตราการไหล
A	พื้นที่สุทธิ
V	ปริมาณกักเก็บน้ำสุทธิ
Vt	ปริมาตรกักเก็บสูงสุด
HRT	ระยะเวลากักพัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย การบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานในอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ

ภาษาอังกฤษ Sludge treatment from wastewater treatment system of slaughterhouse factory by using anaerobic digestion system

1.2 คำสำคัญ (Keyword)

กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย (Sludge from wastewater treatment system)

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion)

กลุ่มอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์และแปรรูป (Slaughterhouse Industry)

การจัดการของเสีย (Waste Management)

การจัดการกากตะกอน (Sludge Management)

1.3 ที่มาและความสำคัญ

การบริหารการจัดการของเสียอุตสาหกรรมเริ่มตั้งแต่ผู้ก่อกำเนิดของเสีย (อุดมพงศ์, ม.ป.ป) แจ้งปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเพื่อขออนุญาตนำของเสียออกจากโรงงานกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในการขอรับพิจารณารหัสของของเสีย 6 หลักตามกิจกรรมการผลิตและรหัสวิธีการจัดการของเสียตามกระบวนการผลิตและลักษณะของของเสียตามกฎหมายผู้ก่อกำเนิดของเสียไม่สามารถเก็บของเสียได้เกิน 90 วัน จึงจำเป็นต้องส่งของเสียออกจากโรงงาน ซึ่งการขนส่งของเสียสามารถทำได้โดยผ่านผู้รับขนส่งของเสียอันตรายจะมารับของเสียไปยังผู้รับกำจัดที่มีใบอนุญาตประกอบกิจการ 101 โรงงานจัดการของเสียคุณภาพรวม (Central Waste Treatment) 105 โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการคัดแยกหรือฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและ 106 คือโรงงานประกอบกิจการที่เกี่ยวกับการนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ใช้แล้วมาผลิตเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่โดยผ่านกรรมวิธีการผลิตทางอุตสาหกรรม การแจ้งของเสียจะต้องทำผ่านระบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์และระบบเอกสารที่จะต้องยืนยันปริมาณของเสียจากต้นทางไปยังปลายทางว่าได้รับของเสียในปริมาณที่เท่ากัน เพื่อไม่ให้เกิดการทำผิดข้อบังคับในการลักลอบทิ้งของเสียข้างทาง จะเห็นได้ว่าการบริหารจัดการของเสียอุตสาหกรรมประกอบด้วยกันหลายขั้นตอน การดำเนินงานที่มีความซับซ้อนเนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้องหลายส่วน(คุณประเสริฐ, ม.ป.ป) ส่งผลทำให้การจัดการของเสียมีต้นทุนในการจัดการที่สูงขึ้น โดยต้นทุนที่เกิดขึ้นต่อการจัดการของเสีย คิดตามปริมาณของของเสีย ขั้นตอนการดำเนินงานตั้งแต่โรงงานก่อกำเนิดของเสียไปยังผู้รับกำจัดของเสีย รวมไปถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดของเสีย โดยเทคโนโลยีดังกล่าวต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการฆ่าสัตว์และการแปรรูปอาหารเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญมากในปัจจุบันเนื่องมาจากเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำที่ผลิตวัตถุดิบหลักในประกอบอาหารหลากหลายชนิด เป็นสถานที่ที่ทำการแปรรูปสัตว์ให้กลายเป็นเนื้อสัตว์ที่สามารถนำมาประกอบอาหารได้ วิธีการต่างๆในระบบการผลิตเนื้อสัตว์ล้วนแต่เป็นตัวชี้วัดว่าเนื้อสัตว์ต่างๆจะมีคุณภาพดีหรือไม่ เพื่อเป็นการคุ้มครองสุขอนามัยของผู้บริโภค ส่งผลให้อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารและโรงฆ่าสัตว์มีกำลังการการผลิตที่มากขึ้นเพื่อสนับสนุนต่อความต้องการของผู้บริโภค และการเจริญเติบโตของประชากร ต่อเนื่องต่างๆ ด้วยกำลังการผลิตที่สูงขึ้นส่งผลให้มีการใช้วัตถุดิบในการผลิตจำนวนมาก และก่อให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก ประกอบด้วยของเสียประเภทของแข็ง ที่เป็นเศษวัสดุ จำพวกกระดูก และของเสียประเภทของเหลวซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปอาหาร ซึ่งน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตจะพบความเข้มข้นสูงของน้ำมันและไขมัน(FOG) ในปริมาณมาก ก่อนที่ของเสียจะไปถึงกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วย กระบวนการบำบัดทางเคมีร่วมกับกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ อนึ่งกระบวนการบำบัดทางเคมีเป็นกระบวนการที่มีการเติมสารเคมีเข้าไปในถังปฏิกิริยา เพื่อสร้างตะกอนที่มีขนาดเล็กให้กลายเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ ภายใต้เงื่อนไขของค่าพีเอชและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมกับคุณลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบ เนื่องจากคุณลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์และการแปรรูปอาหาร จะมีคุณลักษณะน้ำที่มีค่าบีโอดี ซีโอดี และค่าไขมันและน้ำมันค่อนข้างสูง ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ค่าไขมันและน้ำมันจะต้องถูกลดค่าความสกปรกในการเปลี่ยนรูปเป็นตะกอน ด้วยกระบวนการทำให้ตะกอนลอย (ระบบ DAF - Dissolved Air Floatation) ที่เป็นการแยกตะกอนไขมันโดยวิธีการทำให้ตะกอนไขมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ แล้วจึงทำการกวาดตะกอนแยกออกไป การทำให้ตะกอนลอยขึ้นได้โดยอาศัยหลักการทำงานคือทำให้ความถ่วงจำเพาะของตะกอนมีค่าน้อยกว่าน้ำเสียโดยใช้วิธีการสร้างฟองอากาศเล็กๆเพื่อเกาะกับตะกอนแล้วลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ น้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวบรวมเข้าสู่กระบวนการถัดไป และตะกอนที่เกิดขึ้น จะถูกรวบรวมเข้าสู่ถังพักตะกอน เพื่อเข้าสู่กระบวนการลดปริมาตรน้ำและส่งให้ผู้กำจัดต่อไป

ด้วยคุณลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฆ่าสัตว์และแปรรูปมีจำนวนไขมันเป็นจำนวนมาก ทำให้การบริหารจัดการของเสียหรือการกำจัดของเสียมีต้นทุนที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมที่ดำเนินการกิจการการเลี้ยง ฆ่าสัตว์ และการแปรรูปเป็นสินค้าส่งออกไปยังภูมิภาคเอเชีย โรงงานเลี้ยงและแปรรูปไก่ส่งออก ปัจจุบันมีตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียวันละ 20 – 40 ตัน ตามกำลังการผลิต ซึ่งเป็นผลทำให้มีต้นทุนในการกำจัดตะกอนสูง ดังนั้นงานวิจัยจะทำการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุนการกำจัดของเสียโดยมุ่งเน้นตะกอน (Sludge) ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งในส่วนของตะกอนเคมีและตะกอนชีวภาพ ทำการประเมินแนวทางในการลดปริมาณการกำจัดของเสียจากการศึกษาการประสิทธิภาพของการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ที่เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ระบุว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซและลดต้นทุนด้านพลังงานด้วยการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ (Ortner, 2557) นอกจากนี้ยังสามารถใช้การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการจัดการของเสีย ในการปล่อยมลพิษและสารที่ได้รับอาจใช้หรือขายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณค่าต่อการปรับปรุงดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย

การประเมินแนวทางในการลดต้นทุนที่เหมาะสม จึงทำให้งานวิจัยมีเป้าหมายสำคัญทั้งหมด 2 ประการ โดยประการแรก ประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศและประการที่สองคือ ออกแบบแนวทางการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศและประเมินต้นทุนที่ลดลงหลังจากเพิ่มระบบย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงความสามารถในการลดการกำจัดกากตะกอนที่ยั่งยืน ทั้งทางด้านเศรษฐกิจที่ส่งผลต่อต้นทุนในการจัดการที่ลดลง ลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและชุมชนข้างเคียงได้อีกด้วย

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศจากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย

1.4.2 เพื่อประเมินต้นทุนที่เหมาะสมของการกำจัดของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 สมมุติฐานของการศึกษา

1.5.1 ถ้ามีการเพิ่มระบบการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) จะทำให้กากตะกอนที่เหลือจากระบบบำบัดน้ำเสียลดลง

1.5.2 ถ้ามีการเพิ่มระบบการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) จะทำให้ลดต้นทุนในการส่งกำจัดตะกอน

1.6 ขอบเขตของการศึกษา

1.6.1 การศึกษาข้อมูลกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วย ภาพรวมของกระบวนการบำบัดน้ำเสียและการจัดการตะกอน แหล่งกำเนิดกากตะกอน พารามิเตอร์แสดงคุณลักษณะกากตะกอน ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อวัน ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวันทั้งในส่วนตะกอนน้ำและตะกอนแห้ง

1.6.2 การศึกษาข้อมูลการบริหารจัดการกากตะกอนของเสีย ประกอบด้วยแนวทางการจัดการที่ดำเนินการอยู่ ณ ปัจจุบัน ค่าบริหารจัดการที่เกิดขึ้นต่อเดือน

1.6.3 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วยตะกอนเคมี (Chemical sludge) และตะกอนชีวภาพ (Biological sludge)

1.6.4 การศึกษาข้อมูลและการประเมินแนวทางในการเลือกการจัดการกากตะกอนของเสีย เป็นการศึกษาข้อมูลทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะของของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อใช้ในการจัดการของเสียที่ดีขึ้น ตามประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน

1.7.2 ได้แนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีของการจัดการการตะกอนที่เหมาะสมและช่วยลดต้นทุนของการบริหารจัดการตะกอน และเป็นแนวทางในการจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นให้กับอุตสาหกรรมที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการประเมินแนวทางในการจัดการตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น คือการวิเคราะห์คุณลักษณะของเสีย การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ และสามารถประเมินแนวทางที่เหมาะสมกับลักษณะของตะกอนได้ จึงมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอุตสาหกรรม โดยเรียงลำดับตามเทคโนโลยีที่ใช้กันมากที่สุด ทฤษฎีของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อใช้ในการเลือกแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการของเสียรวมไปถึงสถานการณ์ปัจจุบัน ประกอบกับของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต วิธีการจัดการของเสียในปัจจุบัน มีรายละเอียดดังนี้

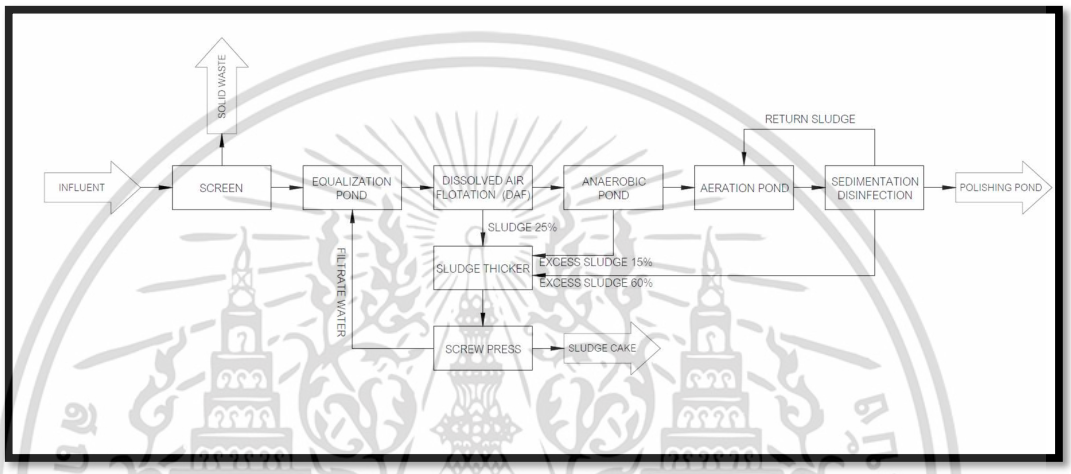
2.1 ลักษณะน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฆ่าสัตว์และการแปรรูป

น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง เนื่องจากการสะสมขององค์ประกอบต่างๆรวมทั้งเลือด ไขมัน พุง โปรตีนและสิ่งที่ขับออกมาในน้ำ องค์ประกอบของโรงบำบัดน้ำเสียอาจแตกต่างกันกับโรงบำบัดน้ำเสียของแต่ละประเทศ เนื่องจากสิ่งอำนวยความสะดวกแบบครบวงจร ซึ่งรวมถึงกระบวนการฆ่าการทำกระดูกและการแสดงผลของโรงงานชนิดเดียวกัน ตัวอย่างเช่น โรงฆ่าสัตว์ในเยอรมันมีกฎหมายกำหนดให้ทำการแสดงผลในสถานที่สิ่งอำนวยความสะดวก (UNEP & DEPA, 2543) นอกจากนี้ยังผลิตน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ในโรงฆ่าสัตว์ในประเทศไทยมักจะมีค่าไขมันอยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับโรงงานประเภทอื่นๆ ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการเปรียบเทียบรายงานจากโรงฆ่าสัตว์ต่างๆทั่วโลก

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์และการแปรรูปอาหารถูกออกแบบให้เป็นระบบ Activated Sludge (AS) ซึ่งเป็นระบบที่พบโดยทั่วไปในประเทศไทยซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียชนิดนี้จะใช้จุลินทรีย์ในการลดค่าความสกปรกของน้ำก่อนปล่อยออกสู่ระบบแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิด Activated Sludge (AS) นี้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นพื้นฐานที่จะสามารถลดค่าความสกปรกของน้ำเสียเฉพาะกลุ่มของสารอินทรีย์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้เท่านั้น จะมีสิ่งปนเปื้อนหลากหลายชนิดทั้งในส่วนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ รวมถึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical treatment system) เข้าไปช่วยสำหรับลดค่าความสกปรกของระบบ โดยจุลินทรีย์ไม่สามารถบำบัดได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบสามารถบำบัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ผ่านตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์

2.2 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์และการแปรรูป

2.2.1 ลักษณะกากตะกอน

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเคมี (Chemical sludge) ส่วนใหญ่เกิดจากกากไขมันและสารปนเปื้อนอื่นๆที่ถูกสร้างตะกอนจากการเติมสารเคมีเข้าไปในถังปฏิกิริยา ส่วนกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ส่วนเกินจากการบำบัดน้ำเสียจะอยู่ในรูปกึ่งของเหลวสีน้ำตาลเข้ม เมื่อมีการผลิตตะกอนออกมาแล้ว จำเป็นต้องมีวิธีการจัดการตะกอนเหล่านี้ออกจากระบบต่อไป ถือว่าเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากและต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง ทั้งนี้กากตะกอนจะมีปริมาณ ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณและแหล่งกำเนิดน้ำเสียชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

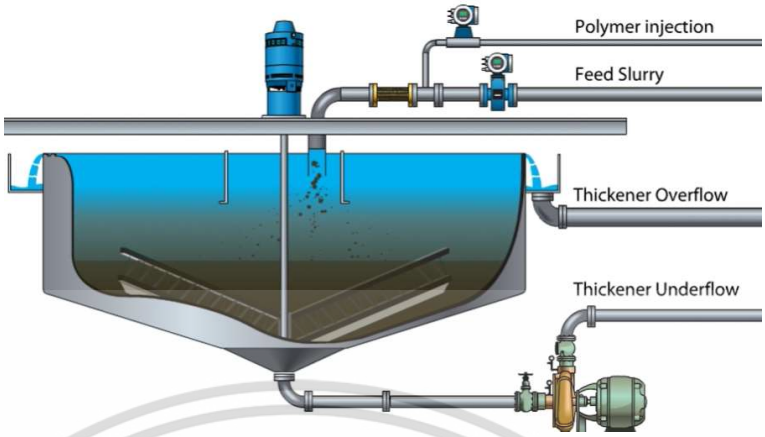
รูปที่ 2.2 ลักษณะน้ำตะกอนส่วนเกินก่อนผ่านกระบวนการทำตะกอนข้น

2.2.2 การบริหารจัดการกากตะกอน (Sludge Management)

หากตะกอนซึ่งเป็นกากตะกอนสารอินทรีย์ยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัว และทิ้งไว้โดยไม่มีการจัดการจะทำให้เกิดสภาพไร้อากาศทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ก๊าซและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนจุลินทรีย์อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2544) จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดหรือบำบัดด้วยวิธีการที่เหมาะสม โดยการลดปริมาตรก่อนที่จะนำไปกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

ก) การทำตะกอนข้น (Sludge Thickener) เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากตะกอนให้ได้มากที่สุด โดยหลักการของถังทำข้นซึ่งมีทั้งที่ใช้กลไกการตกตะกอน (Sedimentation) และใช้กลไกการลอยตัว (Floatation) ทำหน้าที่ในการลดปริมาณสลัดจ์ก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะของถังทำข้นตะกอน (Sludge Thickener)
(ที่มา : Bill Hancock, 2558)

ข) การทำให้สลัดจ์คงตัว (Sludge Stabilization) โดยการย่อยสลัดจ์ด้วยกระบวนการไร้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ในการลดสารอินทรีย์ในสลัดจ์ ทำให้สลัดจ์คงตัวสามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น ทำให้สลัดจ์มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตรเป็นต้น โดยกรรมวิธีที่ใช้ได้แก่ การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน การเปลี่ยนสภาพด้วยปูนขาว การย่อยแบบไร้อากาศและการย่อยแบบใช้อากาศ โดยมีหลักการดังนี้

1. การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน โดยใช้คลอรีนปริมาณสูง ทำปฏิกิริยากับสลัดจ์ในถังปิดสั้นๆ ซึ่งเหมาะกับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดเล็กกว่า 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

2. การเปลี่ยนสภาพด้วยการเติมปูนขาว โดยการเติมปูนขาวให้ตะกอนมีค่าพีเอชสูงถึง 12 ที่ค่าพีเอชนี้จุลินทรีย์จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่หลังจากเปลี่ยนสภาพแล้วสารอินทรีย์ที่คงอยู่อาจเน่าเปื่อยได้อีกเมื่อค่าพีเอชลดต่ำลง

3. การย่อยแบบไร้อากาศ อาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่สร้างกรดและกลุ่มที่สร้างมีเทน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง

4. การย่อยแบบใช้อากาศ โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อากาศที่สามารถจำแนกได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เป็นกระบวนการนำสารอินทรีย์หรือสารอาหารเข้าไปในเซลล์ โดยจุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มาเกาะติดที่ผนังเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารโมเลกุลเล็กที่จะสามารถผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้

ขั้นตอนที่ 2 : เป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่างๆและการสร้างเซลล์ใหม่

เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนรูปมาเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ จะรวมกันเป็นฟล็อคและมีน้ำหนักมากขึ้น สามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ด้วยวิธีการตกตะกอน

ค) การรีดน้ำ (Sludge Dewatering) เพื่อลดปริมาณสลัดจ์ที่จะนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (Filter press) หรือเครื่องกรองหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รวมถึงการลานตากสลัดจ์ (Sludge drying bed)

2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้และไม่ใช้อากาศ

กลไกพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพไม่ว่าจะเป็นแบบใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศ จะมีลักษณะกลไกของปฏิกิริยาในการย่อยสลายเหมือนกันคือเป็นปฏิกิริยาเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นกระบวนการเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน(Oxidation-Reduction) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์(Redox) หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้อิเล็กตรอนและสารรับอิเล็กตรอน สารให้อิเล็กตรอนในน้ำเสียส่วนใหญ่มักเป็นสารอินทรีย์ ส่วนสารรับอิเล็กตรอนในน้ำเสียมักเป็นสารอื่นๆที่ไม่ใช่สารอินทรีย์เช่น ออกซิเจน ไนเตรทหรือซัลเฟต เป็นต้น การถ่ายเทอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์ จะเกิดพลังงานขึ้นจำนวนหนึ่ง พลังงานที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน อีกส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นสารอินทรีย์จึงเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนของจุลชีพ ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอน เช่น ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่เรียกว่ากระบวนการสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Oxidation) ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นไนเตรทจะทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน(Denitrification) เป็นต้น กระบวนการย่อยสลายสารอาหารของจุลชีพสามารถแบ่งตามชนิดของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของจุลชีพได้เป็น 2 ประเภทตามสารรับอิเล็กตรอน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 กระบวนการย่อยสลายของจุลชีพที่แบ่งตามชนิดของปฏิกิริยารีดอกซ์

กระบวนการย่อยสลาย	สภาวะที่ไม่มีสารรับอิเล็กตรอน	สภาวะที่มีสารรับอิเล็กตรอน
ความหมาย	ปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในภาวะที่ไม่มีสารรับอิเล็กตรอนภายนอก	ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่มีสารรับอิเล็กตรอนภายนอก เป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย
ตัวอย่างปฏิกิริยา	การหมัก (Fermentation)	การแลกเปลี่ยน (Respiration)

จากตารางที่ 2.1 กระบวนการที่มีสารรับอิเล็กตรอนภายนอกเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย สามารถแบ่งย่อยลงไปได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

ก) การสลายสารอินทรีย์หรือสารอาหารแบบใช้อากาศ (Aerobic Respiration) เป็นการแลกเปลี่ยนที่มีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย

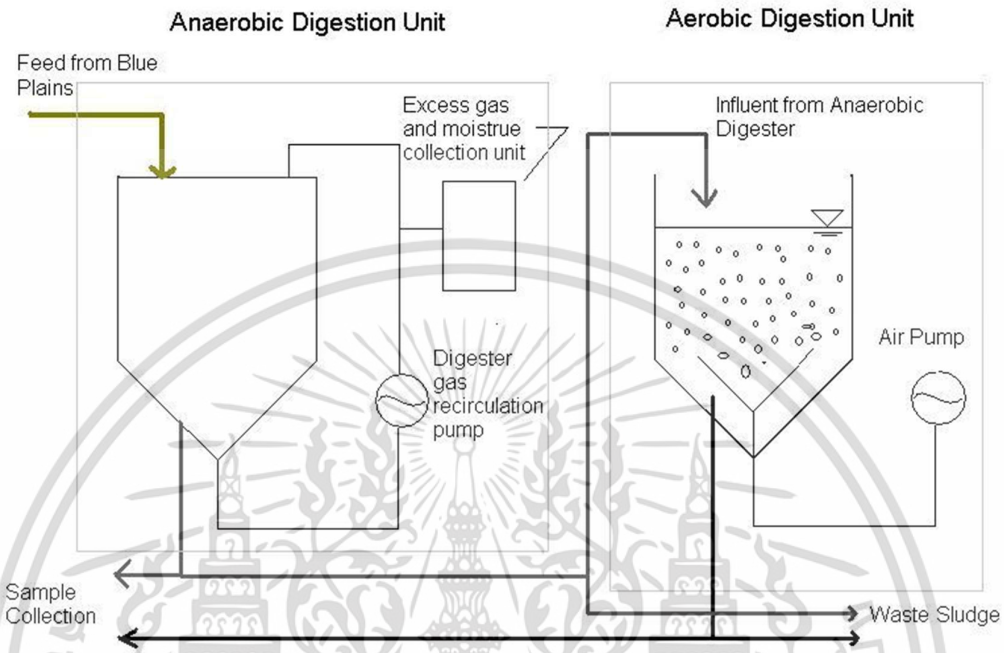
ข) การสลายสารอินทรีย์หรือสารอาหารแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Respiration) เป็นการแลกเปลี่ยนที่ไม่ใช้โมเลกุลออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสภาพแวดล้อมเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย แต่ใช้โมเลกุลของออกซิเจนที่อยู่กับสารประกอบที่ละลายในน้ำหรือสภาพแวดล้อมเป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนได้แก่ โมเลกุลของออกซิเจนในสารประกอบไนเตรท (Nitrate; NO_3^-) โมเลกุลของออกซิเจนในสารประกอบซัลเฟต (Sulfate; SO_4^{2-}) เป็นต้น

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ใช้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลชีพเพื่อการเจริญเติบโตในปัจจุบันจึงมีความแตกต่างกันดังแสดงรูปที่ 2.4 ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบและองค์ประกอบอื่นที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองชนิดจึงมีความต่างที่สารรับอิเล็กตรอนที่จะนำไปสู่กระบวนการย่อยสลายรวมถึงปฏิกิริยาในการย่อยสลายดังแสดงในตารางที่ 2.2

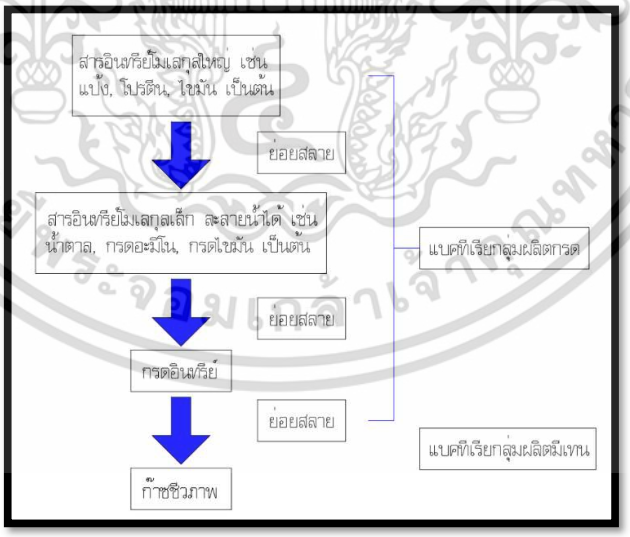
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศก็เป็นเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในธรรมชาติในบริเวณที่ไม่มีอากาศ แต่สิ่งที่ระบบบำบัดน้ำเสียต่างออกไปจากธรรมชาติคือปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียจะมีมากกว่าในธรรมชาติมาก สารอินทรีย์ถูกทำให้ลดลงได้ในเวลาที่รวดเร็วโดยปริมาณจุลินทรีย์จำนวนมากที่อยู่ในระบบ อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบที่ซับซ้อนมีกลุ่มจุลชีพอาศัยอยู่ร่วมกันมากมายหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของกลุ่มจุลชีพเหล่านี้มีทั้งการพึ่งพาอาศัยกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปไป เนื่องจากการย่อยสลายโดยกลุ่มจุลชีพหลายๆกลุ่มต่อๆกัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายของกลุ่มจุลชีพหนึ่งจะถูกย่อยสลายต่อโดยกลุ่มตัวรับอิเล็กตรอนอนินทรีย์เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO_4^{2-} หรือ CO_2 ถูกนำมาใช้ในกระบวนการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ การสลายตัวของสารอินทรีย์มักจะถือว่าเป็นกระบวนการสองขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 กระบวนการย่อยสลายแบบใช้และไม่ใช้อากาศ
(**ที่มา:** Nitin Kumar, Sudhir Murthy 2549)



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ
(**ที่มา:** กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของกระบวนการบำบัดแบบใช้และไม่ใช้อากาศ

กระบวนการบำบัด	กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ	กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ
สารรับอิเล็กตรอน	โมเลกุลออกซิเจนจากการเติมอากาศ	โมเลกุลออกซิเจนที่ไม่ได้เกิดจากการเติมอากาศ เป็นการใช้ออกซิเจนจากสารประกอบที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย เช่น ไนเตรท ซัลเฟต เป็นต้น
การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเร็ว	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state)
ความต้องการพลังงาน	ต้องใช้พลังงานในการเติมอากาศจากเครื่องจ่ายอากาศ	ไม่ต้องใช้พลังงานในการเติมออกซิเจนจากเครื่องจ่ายอากาศ
การผลิตพลังงาน	ไม่ได้พลังงานกลับคืนในรูปของก๊าซมีเทนมาใช้	ให้พลังงานกลับคืนในรูปของก๊าซมีเทนประมาณได้ว่าก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้น 5.62 ลูกบาศก์ฟุตต่อปอนด์ซีโอดีที่ถูกทำลาย ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่สภาวะมาตรฐาน (32 ^{o}F , 1 บรรยากาศ)

รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ตามชนิดของแบคทีเรียในขั้นตอนแรกกลุ่มของแบคทีเรียที่สามารถกำจัดและหมักแบบไม่ใช้อากาศ (โดยการย่อยสลายและหมักสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อน เช่นคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน เป็นกรดไขมัน ในขั้นตอนที่สองกรดอินทรีย์และไฮโดรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงนี้ดำเนินการโดยกลุ่มพิเศษของจุลินทรีย์ชื่อ Methanogens ซึ่งเป็นเซลล์แบบไม่ใช้ออกซิเจน Methanogenic bacteria ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นที่ได้จากจุลินทรีย์ที่ก่อตัวเป็นกรด ดังนั้นในการทำงานร่วมกันของ Syntrophic methanogens ทำหน้าที่สองอย่างแรกในระบบนิเวศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion)

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ (2542) กล่าวว่าสภาพแวดล้อมแบบไม่ใช้อากาศ หมายถึง สภาวะที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำน้อย จนไม่เพียงพอต่อการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในสภาวะเช่นนี้ สารตัวสุดท้ายที่รับอิเล็กตรอนจนเป็นสารชนิดอื่นที่ไม่ใช้ออกซิเจน ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์ กระบวนการนี้จะเรียกว่าการหมัก(Fermentation) แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอนินทรีย์ (ที่ไม่ใช้ออกซิเจน) กระบวนการนี้จะเรียกว่าการแลกเปลี่ยนแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration) ซึ่งการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน(Methane producing bacteria) และแบ่งตามปฏิกิริยาได้ 4 ขั้นตอน คือ กระบวนการไฮโดรไลซิส(Hydrolysis) กระบวนการสร้างกรด(Acidogenesis) กระบวนการสร้างกรดระเหยง่าย(Acetogenesis) และกระบวนการสร้างมีเทน(Methanogenesis) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

2.4.1 การไฮโดรไลซิส(Hydrolysis)

แบคทีเรียใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน จะต้องถูกดูดซึมสารอินทรีย์เข้าสู่เซลล์เสียก่อนจึงจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นภายในเซลล์และได้พลังงานในการดำรงชีวิตดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ การขนส่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดเข้าสู่เซลล์มีความยากง่ายต่างกัน สารอินทรีย์ขนาดใหญ่จะไม่สามารถขนส่งเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงก่อน ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียสร้างกรดจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ให้มีขนาดเล็กลงโดยการผลิตเอนไซม์ขึ้นภายในเซลล์และปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เอนไซม์ที่ออกมาจะช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์และช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น แต่เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาและตัวทำปฏิกิริยา ดังนั้นแบคทีเรียต้องสร้างเอนไซม์ที่ใช้ได้เฉพาะกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น ต้องใช้อะไมเลส(Amylase) ย่อยสลายแป้งและไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาล หรือใช้เอนไซม์ไลเปส(Lipase) เอสเตอเรส(Esterase) ย่อยสลายไขมันไลปิด (Lipid) ให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน และใช้เอนไซม์โปรตีส(Protease) ย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การสร้างกรด(Acidogenesis)

สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกย่อยให้เล็กลงกลายเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลเล็กลงและถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าสู่เซลล์ แบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างกรดในกระบวนการแบบไม่ใช้อากาศเป็นจำพวกบังคับไม่ใช้ออกซิเจน และแบคทีเรียที่สามารถอาศัยได้โดยมีและไม่มีออกซิเจน (Facultative bacteria) แต่แบคทีเรียจำพวกบังคับไม่ใช้ออกซิเจนจะมีจำนวนมากกว่า จึงเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักที่ทำหน้าที่ผลิตกรด ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียหลายๆกลุ่มของ Pseudomonas Flavobacterium Alcaligenes Escherichia และ Aerobacter หลังจากสารอินทรีย์ถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนโดยผ่านกระบวนการหมักภายในเซลล์ เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เข้าสู่เซลล์ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย คาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกเป็นต้น กระบวนการหมักภายในเซลล์ที่สำคัญมาก คือ การหมักกลูโคสเป็นไพรูเวตโดยผ่านวิธีทางชีวเคมีที่เรียกว่า Emden-Meyerhof Pathway หรือวิธีไกลโคไลซิส กลูโคสจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นกรดไพรูวิก

2.4.3 กระบวนการผลิตอะซิติก (Acetogenesis)

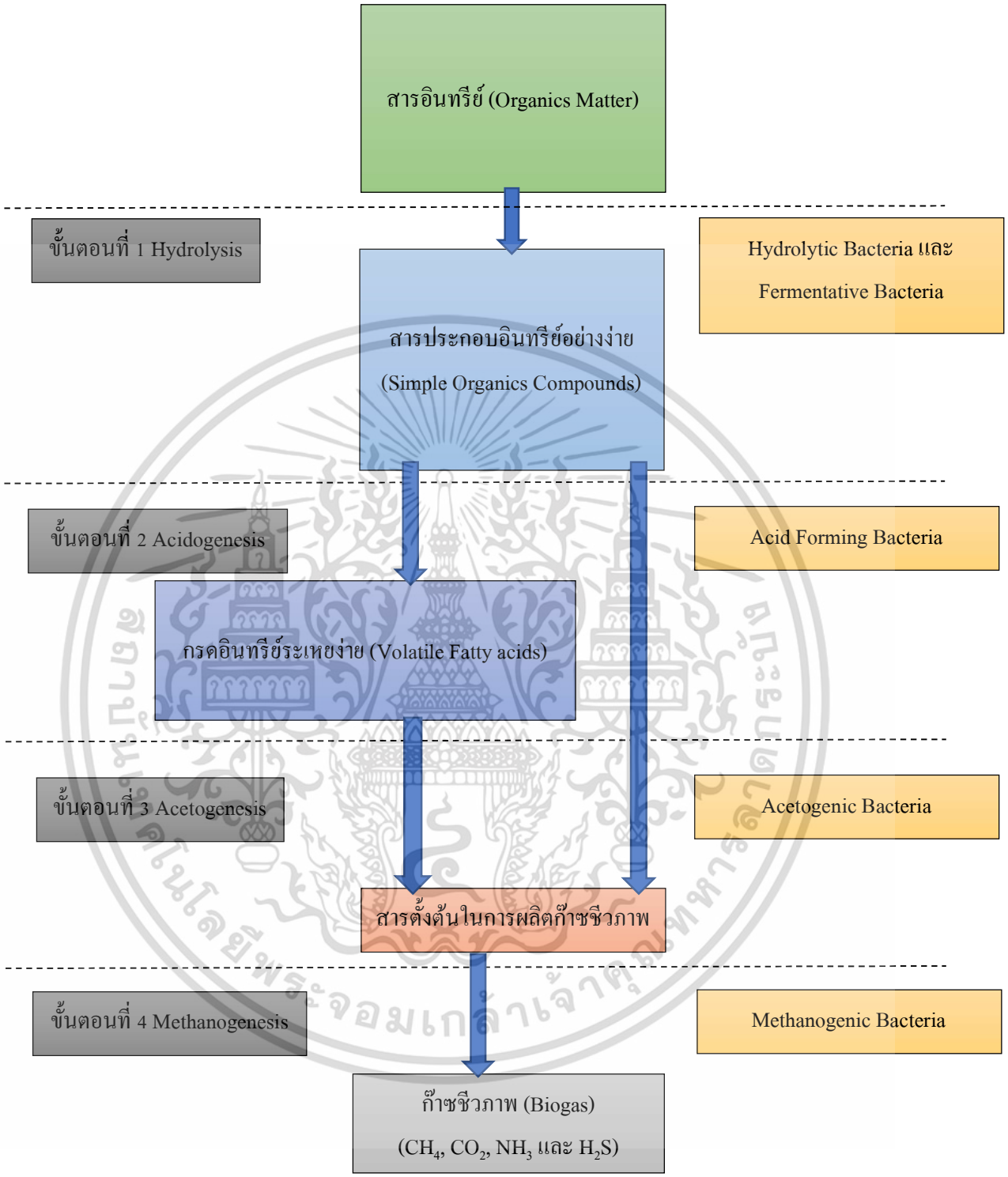
อะซิโตเจนิก แบคทีเรีย(Acetogenic Bacteria) มีหน้าที่ในการออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้นในเฟสอะซิโตเจนิก(Acidogenic) เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์เมทาโนเจนิก(Methanogenic) ด้วยวิธีนี้อะซิโตเจนิก แบคทีเรีย(Acetogenic Bacteria) ที่ผลิตสารตั้งต้นสำหรับจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากแบคทีเรียอะซิติก ได้แก่ กรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างการก่อตัวของกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก จะเกิดไฮโดรเจนจำนวนมากทำให้ค่า pH ลดลง อย่างไรก็ตามมีสองวิธีที่ไฮโดรเจนจะถูกใช้ดังต่อไปนี้

ก) แบคทีเรียมีเทน โดยใช้ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ในการผลิตก๊าซมีเทน

ข) การก่อตัวของกรดอินทรีย์เช่น กรดโพรพิโอนิค และบูไทริก ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์และกรดอะซิติก

ในบรรดาผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ถูกเมแทบอลิซึมโดยแบคทีเรียที่เป็นกรด จะมีเพียงไฮโดรเจนและอะซิเตทเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้โดยตรงกับจุลินทรีย์มีทาโนเจนเนซิส อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศ จะย่อยสลายได้อย่างน้อยร้อยละ 50 ของค่าซีโอดีจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดโพรพิโอนิคและบิวริก ซึ่งจะถูกย่อยสลายในภายหลังกลายเป็นกรดอะซิเตรทและไฮโดรเจน โดยการกระทำของแบคทีเรียอะซิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ
(ที่มา: Breure, A.M. and Andel, J.G., 1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศของสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดย methanogenic bacteria โดยมีกระบวนการที่จำกัด ประกอบด้วยกรดอะซิติก ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก เมทานอลเมธิลามีนและคาร์บอนมอนอกไซด์ สารตั้งต้นและขอบเขตของการผลิตก๊าซมีเทน จุลินทรีย์มีเทนจะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก กลุ่มหนึ่งที่มีเทนจากกรดอะซิติกหรือเมทานอล และอีกกลุ่มหนึ่งที่ผลิตก๊าซมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ดังนี้

ก) การใช้จุลินทรีย์ (Acetophilic methanogens)

ข) ไฮโดรเจนที่ใช้จุลินทรีย์ (Hydrogenotrophic methanogens)

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \quad (2.11)$$

$$CO_2 + 4\ H_2 \longrightarrow CH_4 + 2\ H_2O \quad (2.12)$$

กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่าสองอะตอมไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนก่อน จึงจะผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจน แบคทีเรียใช้สารอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมททานอล กรดฟอร์มิก

$$4\ CH_3OH \longrightarrow 3\ CH_4 + CO_2 + 2\ H_2O \quad (2.13)$$

$$4\ HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2\ H_2O \quad (2.14)$$

Acetoclastic methanogens มีความสามารถในการสร้างมีเทนจาก Methanogenic bacteria จะเป็นจุลินทรีย์ส่วนมากในการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ประมาณร้อยละ 60 ถึง 70 ของการผลิตก๊าซมีเทนทั้งหมด

Hydrogenotrophic methanogens ซึ่งต่างจากสิ่งมีชีวิตที่เป็น Aceticlastic แทบทุกสายพันธุ์ methanogenic มีความสามารถในการผลิตมีเทนจากไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากทำหน้าที่สำคัญในการดูดซึมไฮโดรเจนที่ผลิตในขั้นตอนก่อนหน้า ดังนั้นความดันบางส่วนของไฮโดรเจนในตัวกลางจึงลดลง ของกระบวนการผลิตกรดและกระบวนการผลิตอะซิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการพื้นฐานและสภาวะแวดล้อมของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้นในการเริ่มต้นเดินระบบจึงต้องมีสภาวะแวดล้อมและปัจจัยในระบบที่เหมาะสม หากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่เจริญเติบโต ก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจนอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นจึงต้องเข้าใจถึงสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสภาวะแวดล้อมและปัจจัยดังกล่าวมีดังนี้

2.5.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาชีวเคมี จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และอุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ อุณหภูมิถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงไซโครฟิลิค(Psychrophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

2) ช่วงมีโซฟิลิค(Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส

3) ช่วงเทอร์โมฟิลิค(Thermophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส

สำหรับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วงที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในระบบได้ดีคือ ช่วง 30 – 38 องศาเซลเซียส และช่วง 48 – 57 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเดินระบบที่ช่วงอุณหภูมิสูง มีข้อเสียที่ Thermophilic bacteria มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับ Mesophilic bacteria จึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวของระบบสูง และการเดินระบบที่อุณหภูมิสูงยังสิ้นเปลือง พลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของระบบอีกด้วย

2.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เป็นตัวที่วัดค่าความเป็นกรดหรือด่างในระบบ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.6–7.6 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งพบว่าในระบบบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบไม่ใช้อากาศนั้น มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเกิดขึ้นอยู่เป็นประจำ โดยสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างภายในระบบ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าสู่ระบบ โดยถ้ามีการใส่สารอินทรีย์เข้าในปริมาณมากเกินไป ก็จะทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีปริมาณมาก จนแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบลดลง ดังนั้นระบบจะต้องมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ดี เพื่อป้องกันกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ หากระบบมีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่มากพอก็จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างในระบบได้

2.5.3 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk)

ค่าความเป็นด่างเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่างและยังเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ กล่าวคือถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าความเป็นด่างของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นด่างได้ง่ายเมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างภายในระบบควรมีอยู่ในช่วง 1,000 – 3,000 มิลลิกรัมของ $CaCO_3$/ลิตร ค่าความเป็นด่างที่มีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ไม่ควรจะต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมของ $CaCO_3$/ลิตร ที่จะช่วยต้านทานกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่าง ดังนั้นในการควบคุมระบบให้ทำงานเป็นปกติจำเป็นต้องรักษาค่าความเป็นด่างไม่ให้มีค่าต่ำจนเกินไป เพื่อรักษาระดับค่าความเป็นด่าง ในระบบบำบัด

2.5.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ กรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริกและกรดโพรพิออนิก เป็นต้น ผลผลิตเหล่านี้เป็นสารตัวกลางส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด หากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีมากขึ้น มักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ ในระบบที่มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมาก ช่วงแรกจะทำให้ค่าความเป็นด่างของระบบลดลงและถ้ายังไม่มีการกำจัดปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้ลดน้อยลง ต่อมาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)ของระบบก็จะลดต่ำลง และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) มีค่าต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน หากยังไม่ได้ทำการแก้ไขปล่อยให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ลดต่ำลงถึง 4.5 – 5.0 ก็จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้ระบบล้มเหลวได้ ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ภายในถังปฏิกิริยาไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติก/ลิตร และวิธีการควบคุมระบบที่ดีที่สุดควรให้มีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3 – 0.4

วิธีการแก้ไขให้ระบบกลับสู่สภาพสมดุลอาจทำได้ดังนี้

1) ตรวจสอบที่มาของการป้อนสารอินทรีย์ที่มากเกิน

2) การแก้ไขอาจเป็นการลดการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบ และควรมีบ่อเก็บน้ำเสียสำรอง

3) กรณีฉุกเฉินถ้าต้องการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมกับระบบ อาจจะใช้วิธีการเติมสารเคมี เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นต้น ไม่ควรใช้ปูนขาว $Ca(OH)_2$ เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบบำบัดน้ำเสียได้

2.5.5 อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR)

อัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีหน่วยเป็นน้ำหนักของซีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อปริมาตรของบ่อบำบัดต่อวัน (kg COD/m^3-day) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด (Feeding rate) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่ การเปลี่ยนอัตราภาระการรับสารอินทรีย์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1) ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งวิธีนี้จะมีผลต่อระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic retention time: HRT) ภายในระบบบำบัด

2) การเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสีย ซึ่งวิธีนี้ค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงานแต่ละประเภทมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดทำได้ง่ายกว่า โดยต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดให้สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกัน ระหว่างแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อให้ระบบบำบัดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 สารพิษ (Toxic substances)

โดยทั่วไปในน้ำเสียมักมีสารพิษหลายชนิดปะปนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารนั้นๆ หากมีการสะสมของสารบางอย่างภายในถังปฏิกรณ์ในปริมาณที่มากเกินจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ โดยอาจมีผลต่อการยับยั้ง (Inhibition) การเจริญเติบโต จนถึงทำให้แบคทีเรียตายได้ และจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพหรือเสถียรภาพของระบบลดลง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศได้แบ่งชนิดของสารพิษที่มีผลต่อแบคทีเรีย เช่น พิษของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งมีผลต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน พิษของสารโลหะหนักชนิดต่างๆ พิษของแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) เป็นต้น ระดับความเข้มข้นของสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ แสดงดังตารางที่ 2.3

2.5.7 ข้อจำกัดของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

ส่วนประกอบน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ตัวอย่างที่เกิดขึ้นในโรงฆ่าสัตว์สามารถก่อให้เกิดปัญหา เช่นการอุดตันของท่อ การยึดเกาะกับตะกอน ก่อให้เกิดทั้งการยับยั้งการถ่ายเทมวลของสารอาหารและเกิดการลอยของตะกอน (Girault et al. 2555; Long et al. 2555) การเกิดการล้มเหลวของสาเหตุนี้ จะเกิดจากการที่ไม่มีการกวนผสมในบ่อทำให้น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) เกิดตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำของบ่อ แม้ว่าการสะสมนี้จะห่างไกลจากอุดมคติ แต่ความหนาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการลดปริมาณไอน้ำ ฉนวนกันความร้อนในบ่อ ดังนั้นน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ที่ลอยสะสมทำให้เกิดการขัดขวางของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (AMPC 2555; Golder Associates Pty Ltd. 2552)

บ่อย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศอย่างต่อเนื่องเป็นกระบวนการที่อาจจะไม่ยั่งยืน โดยที่การสะสมของน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) จะเกิดตะกอนลอยที่มากกว่าการกำจัด หากมีการสะสมของน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ที่ไม่ได้รับการดูแลและจัดการจะเกิดตะกอนลอยสะสมได้หนา ทำให้การกำจัดตะกอนออกจากบ่อขนาดใหญ่เป็นเรื่องที่ยากและมีราคาแพง การสะสมของตะกอนลอยบนพื้นผิวบ่อทำให้เกิดข้อจำกัดอย่างมาก ปริมาณการใช้งานของบ่อลดลง เกิดการปิดกั้นส่งผลให้เกิดการลัดวงจร (Shilton & Harrison 2546) รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังของผลกระทบของการสะสมของตะกอนต่อปริมาณการทำงานของบ่อย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ นอกจากนี้วัสดุอินทรีย์เองส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้งานได้สำหรับการย่อยสลายโดยกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศเนื่องจากมีพื้นที่ผิวน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนลอยสามารถเข้าถึงได้โดยเอนไซม์ไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกวิธีหนึ่งคือระบบการให้ความร้อนและการผสมจะทำให้จุลินทรีย์สามารถพบกันได้ง่ายขึ้น การใช้กากตะกอนแบบเม็ดมีความไวต่อการความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) มากกว่าและมีความเสี่ยงสูงกว่าที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในบ่อย่อยสลายไม่ใช้อากาศ (Jensen et al. 2558; Dereli et al. 2555). ในขณะที่จุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้ชินกับความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ได้ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช้า โดยทั่วไปต้องเพิ่มอัตราส่วนเวลาที่ต้องใช้ในการปรับสภาพให้เข้ากันกับความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) (Fernandez, Sanchez & Font 2548) ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์จึงมีอัตราส่วนสูง การตรวจสอบระบบจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการประเมินผลกระทบโดยรวมของความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) และประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

รูปที่ 2.7 ลักษณะไหลของน้ำเมื่อถูกตะกอนลอยปิดกั้นทางไหลของน้ำ
(ที่มา: Bernadette McCabe, 2560)

2.5.8 การคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวเคมี

การคำนวณหาปริมาณของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลายได้ดังสมการที่ 2.4 (กลิ่นประทุม ปัญญาปิง และคณะ, 2555)

ของแข็งระเหย$_{(เข้า)}$ - ของแข็งระเหย$_{(ออก)}$ = ของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

$$VS_{(in)}\ (mg/l) - VS_{(out)}\ (mg/l) = VS_{(removal)}\ (mg/l) \qquad (2.15)$$

การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัด TS และ VS สามารถคำนวณได้ดังสมาการที่ 2.16

$$\%\ \text{การบำบัด VS} = \frac{VS\ (in)\ (mg/l) - VS\ (out)\ (mg/l)}{VS\ (in)\ (mg/l)} \times 100 \qquad (2.16)$$

การคำนวณประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Specific Methane Yield) สามารถคำนวณได้ดังสมาการที่ 2.17

$$\text{Methane yield} = \frac{\text{Cummulative methane (l)}}{\text{TVS input} - \text{TVS output}} \times (\%CH_4) \qquad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ TVS_{input} คือปริมาณของแข็งระเหยที่เข้าสู่ระบบทั้งหมด

TVS_{output} คือปริมาณของแข็งระเหยที่ออกจากระบบทั้งหมด

การหาศักยภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้ก๊าซมีเทน (% BMP) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.18

$$\%BMP = \frac{\text{อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์}}{\text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี}} \times 100 \qquad (2.18)$$

หมายเหตุ จากทฤษฎี COD 1 kg เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ 350 L

ตารางที่ 2.3 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ

สารพิษ	**ความเข้มข้นสูงสุด ที่ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย**(มิลลิกรัมต่อลิตร)
Cu	1
Zn	5
Cr^{6+}	5
Cr3+	2,000
Total Chromium (Cr)	5
Ni	2
Cd	0.02
S-	100
SO4-	500
Ammonia	1,500
Na+	3,500
K+	2,500
Ca2+	2,500
Mg2+	2,500
Acrylonitrile	1,000
Benzene	50
CCl_4	10
Chloroform	0.1
Pentachlorophenol	0.4
Cyanide	1

ที่มา: ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการประเมินทางเลือกในการจัดการของเสียเพื่อนำไปสู่แนวคิดและหลักการที่สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยจึงรวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการของเสียของ Jadea S. และคณะ, 2008

การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการของเสีย เราสามารถใช้การประเมินต้นทุนในการจัดการของเสีย (Massarutto A., 2015) เพื่อนำไปสู่แนวทางที่ดีกว่า อย่างเช่น งานวิจัยของ (Jadea S. และคณะ, 2008) ได้ระบุว่าเราสามารถเลือกแนวทางในการจัดการของเสียได้จากการประเมินต้นทุน ต้นทุนในการจัดการของเสียประกอบด้วย ค่าการกำจัด (Disposal Cost) และค่าการขนส่ง(Transportation Cost)

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของ Jay N. Meegoda และคณะ, 2018

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศถูกนำมาใช้ในหนึ่งของกระบวนการสร้างพลังงานทดแทน ต้องผ่านกระบวนการย่อยถึง 4 ขั้นตอนก่อนที่จะเกิดขึ้นเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) ประสิทธิภาพของการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time; HRT) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (Temperature regime) ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะเกิดขึ้นเหมาะสมที่ระยะเวลากักพัก 27 วัน ที่อุณหภูมิช่วงมีโซฟิลิค(Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส และระยะเวลากักพัก 11 วัน ที่อุณหภูมิช่วงเทอโมฟิลิค(Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส

อีกทั้งในการตรวจสอบกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ สามารถตรวจสอบ ร้อยละผลทดลองที่ได้ก๊าซชีวภาพ (% biogas yield) ได้จากค่าของแข็งที่อยู่ในระบบ (Total Solids) เนื่องมาจากมีการเจริญเติบโตของมวลจุลินทรีย์จนถึงระยะเวลาหนึ่งแล้วจะมีแนวโน้มของปริมาณของแข็งแขวนลอยคงที่ ตามสภาวะแวดล้อมและตะกอนส่วนเกินที่อยู่ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศกับตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย ของ Peter William Harris, B.Sci.(Hons), B.Biomed.Sci, 2017

กระบวนการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ที่มีไขมันสูง โดยใช้วิธีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยได้น้ำตะกอนการกระบวนการบำบัดเบื้องต้น มาทำการวิจัยการย่อยสลายของตะกอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย นำมาเปรียบเทียบการใช้ขั้นตอนเบื้องต้นก่อนการใช้วิธีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยการใช้ความร้อน เคมี และความร้อนร่วมกับเคมี ในกระบวนการบำบัดแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง พบว่าการใช้ความร้อน เคมี และความร้อนร่วมกับเคมีเป็นขั้นตันก่อนทำการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้มากกว่าร้อยละ 50 สามารถเพิ่มปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน โดยใช้การบวนการแบบไม่ต่อเนื่องในห้องทดลองในระยะเวลา 49 วัน

2.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศกับตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย ของ Simjanoski Zlatko, 2012

การนำขยะมูลฝอยอินทรีย์ภายในชุมชนมาผสมกับตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง เพื่อเข้ากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยนำผลที่ได้รับมาประเมินพลังงานที่จะได้กลับคืนมา เพื่อเป็นพลังงานไฟฟ้าทดแทนในระบบบำบัดน้ำเสียและชุมชนใกล้เคียง โดยทำการตรวจสอบพีเอช กรดไขมันระเหย ความเป็นด่าง ซีโอดี ของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ระเหยได้ จากผลวิจัยพบว่า หากนำขยะมูลฝอยอินทรีย์มาใช้ร่วมกับตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง โดยคิดจากอัตราส่วนสารตั้งต้นต่อก๊าซชีวภาพ จะทำให้เกิดมีเทนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 36 เป็นร้อยละ 57

2.6.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการผลิตก๊าซมีเทนโดยการย่อยร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนของเศษอาหาร น้ำมันและไขมัน และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ระบบทดสอบศักยภาพมีเทนอัตโนมัติ ของ Nikita Bahri, 2017

ตรวจสอบการผลิตมีเทนโดยการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยใช้ระบบทดสอบศักยภาพมีเทนอัตโนมัติ (AMPTS) โดยใช้ เศษอาหาร (FW) น้ำมันที่ใช้แล้วทิ้ง(FOG) และกากตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบบำบัดน้ำเสีย (TWAS) ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งที่ระเหยได้ทั้งหมด ซีโอดี และไนโตรเจน พบว่า FW สร้างก๊าซมีเทนสูงสุด รองลงมาคือ TWAS มีเทนน้อยมากที่ผลิตขึ้นจาก FOG ผลลัพธ์ที่ได้จากชุดแรกระบุว่า FOG ไม่ใช่สารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.6.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยร่วมของเชื้อจุรินทรีย์ มูลไก่ และหญ้าเนเปียร์ ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพระบบบ่อปิดแบบน้ำวน ของ ชุติมา คุณภักดี, 2017

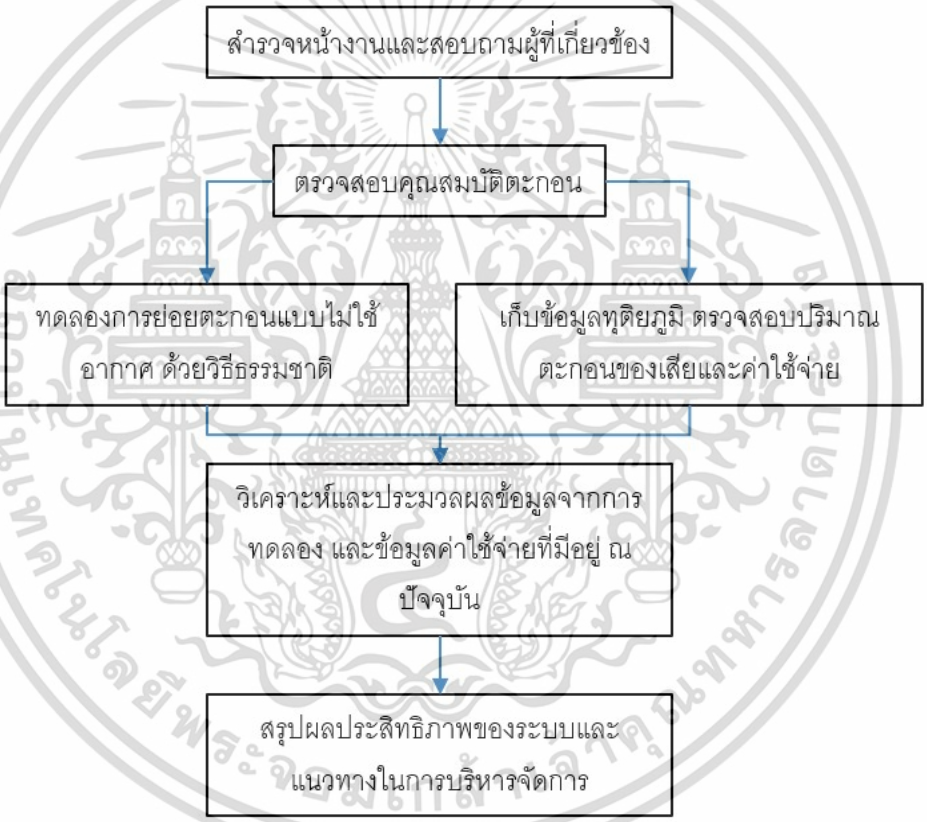
การทดลองในถังหมักต้นแบบซึ่งมีรูปแบบถังหมักเป็นแบบบ่อปิดน้ำวน ขนาด 250 ลิตร มีปริมาตรการหมักอยู่ที่ 220 ลิตร พบว่ามีระยะเวลากักเก็บน้ำ 38 วัน ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด 81.5 ลิตรต่อวัน ประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 74.8 โดยมีความเป็นกรดด่างที่ 7.9 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ 2,274 มก./ล. ความเป็นด่างเท่ากับ 31,827 มิลลิกรัมของ $CaCO_3$/ลิตร อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อความเป็นด่างเท่ากับ 0.07 และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 19:1 นอกจากนี้ ยังพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าร้อยละ 52.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีถึง ร้อยละ 65 รวมทั้งระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.17 $m^3.CH_4$/kgVS และมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน 0.21 และ 0.18 m3/kg $COD_{removed}$ ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์มีเทนจากการทดลอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ก๊าซมีเทน ร้อยละ 75.05 และยังพบว่ามีค่าใกล้เคียง กับค่าที่ได้จากการทดลองทางสถิติเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทนสามารถใช้ได้จริงในถังหมักต้นแบบก๊าซชีวภาพระบบบ่อปิดแบบน้ำวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4 ขั้นตอนดังนี้ การรวบรวมฐานข้อมูลของของเสีย การวิเคราะห์แนวทางการจัดการของเสีย การศึกษาค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียและการประเมินผลเพื่อใช้เลือกแนวทางการจัดการตะกอนของเสียโดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย (Overview Methodology)

3.1 การศึกษาตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย (Identify wastes from waste generator)

การรวบรวมข้อมูลของของเสียเกิดจากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากกระบวนการผลิตประกอบไปด้วย ชื่อของของเสีย แหล่งกำเนิดของของเสีย ลักษณะของของเสีย ปริมาณของของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียในหน่วยตัน กระบวนการจัดการของเสีย เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องและชัดเจน และสามารถจัดทำต้นทุนในการบริหารจัดการ โดยมีวิธีการศึกษาที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.1.1 การสอบถามผู้ปฏิบัติงานและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

เป็นการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเพื่อใช้ในการวิจัย จากการสอบถามผู้ปฏิบัติงานและส่วนที่เกี่ยวข้องในลักษณะของของเสียที่เกิดขึ้นว่ามีลักษณะอย่างไร ของเสียชนิดไหนที่เกิดขึ้นเป็นประจำ มีปริมาณเท่าไหร่ ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานภายในโรงงาน รวมไปถึงกระบวนการจัดการของเสีย เพื่อจัดทำรายละเอียดของของเสีย (Waste Profiled) และนำข้อมูลดังกล่าวตรวจสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลจากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อวันที่สามารถประเมินปริมาณตะกอนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหรือสามารถตรวจสอบได้จากรายงานประจำปีที่ผู้ก่อกำเนิดของเสียรายงานผลกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม

3.1.2 การจัดทำฐานข้อมูลของของเสีย (Waste Inventory)

การจัดทำฐานข้อมูลของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำนั้นประกอบไปด้วย เดือนที่เกิดของเสีย ชื่อของเสีย แหล่งกำเนิดของเสีย ปริมาณของเสีย(ในหน่วยตัน)

3.2 การวิเคราะห์วิธีการจัดการของเสีย

การวิเคราะห์การจัดการของเสียเกิดจากการรวบรวมวิธีการจัดการของเสียตามลักษณะของของเสียที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถดำเนินการจัดการด้วยวิธีใดดังกล่าวได้หรือไม่ โดยการจำลองสภาวะกระบวนการที่ทำภายในห้องปฏิบัติการ ควบคุมปัจจัยต่างๆ ตามเกณฑ์การออกแบบและการจำลองสภาวะกระบวนการโดยวิธีทางธรรมชาติ เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของการจัดการแต่ละแนวทาง มีความเข้าใจการวิเคราะห์วิธีจัดการของเสียเพื่อสามารถเลือกแนวทางได้อย่างเหมาะสม โดยมีขั้นตอนการศึกษาที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

3.2.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ สามารถตรวจสอบได้จาก ความสามารถในการลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจวัด
pH	-	Electrometric Method
Chemical Oxygen Demand; COD	mg/l	Closed Reflux
Biological Oxygen Demand; BOD	mg/l	Azide Modification
Total Suspended Solids; TSS	mg/l	Dried at 103 - 105 ºC
Oil and Grease; O&G	mg/l	Partition - Gravimetric Method
Volatile Fatty Acid; VFA	mg/l	Direct Titration Method
Volatile Solid; VS	mg/l	Dried at 550 - 600 ºC
Alkalinity	mg/l	Titration Method
% Solid content	% wt	Dried at 103 - 105 ºC
%BMP	%	Gas Chromatography (GC)

3.2.2 การเตรียมการดำเนินงานและการเตรียมอุปกรณ์

การประเมินความสามารถเริ่มจากการสำรวจ เก็บข้อมูล วางแนวทางในการเก็บตัวอย่าง โดยใช้หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

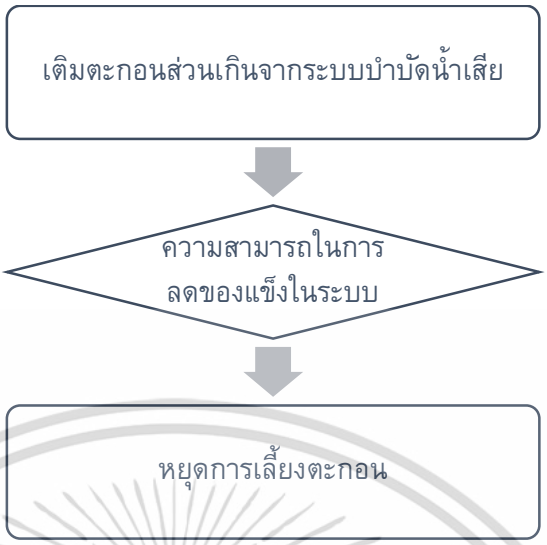
ก. การเตรียมอุปกรณ์

1) ถังปฏิกิริยา 1 ถัง ขนาด 500 ลิตร
2) เครื่องปั่นกวนผสม (Mixer) สำหรับถังปฏิกิริยา
3) ท่อหรือสายยางอ่อนสำหรับเก็บตัวอย่าง
4) ผ้าคลุมบ่อเพื่อจำลองสภาวะการย่อยสลาย

ข. การเตรียมตะกอนตัวอย่างสำหรับการทดลอง

นำตะกอนตัวอย่างจากระบบบำบัดน้ำเสียในถังพักตะกอน (Sludge holding tank) ปริมาตร 200 กิโลกรัมและทำการแบ่งใส่ถังปฏิกิริยาขนาด 500 ลิตร และทำการแบ่งใส่ถังปฏิกิริยาปริมาณ 200 กิโลกรัมจำนวน 1 ถังปฏิกิริยา การทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 30 วัน โดยการเลี้ยงตะกอนจะสิ้นสุดเมื่อมีประสิทธิภาพในการลดลงของค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดคงที่นับเป็นจุดสิ้นสุดของการเลี้ยงตะกอนดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเลี้ยงตะกอนของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

3.2.3 วิธีการทดลองเพื่อประเมินแนวทางในการจัดการของเสีย

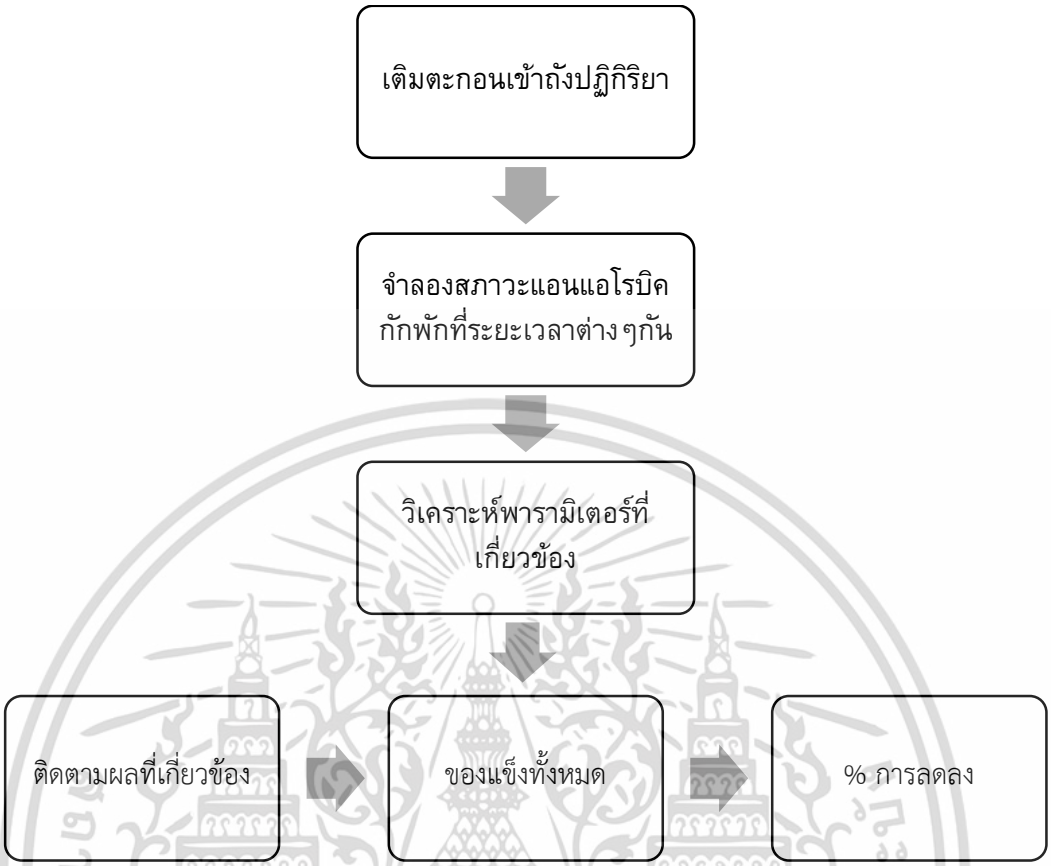
การทดลองจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ประกอบด้วย ค่าซีโอดี ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าของแข็งทั้งหมด สภาพความเป็นด่าง และค่าของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด ก่อนจะนำตะกอนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจำนวน 200 ลิตร กวนผสมตะกอนในถังปฏิกิริยา โดยจะศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักพักชลศาสตร์ในการบำบัดตะกอน จะทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลา 4 ช่วงคือ ระยะเวลา 7 14 21 และ 28 วัน มีขั้นตอนการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.2.4 การแปรผล

การแปรผลประสิทธิภาพของระบบ สามารถแปรได้จากความสามารถในการลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของแต่ละกระบวนการ (%Removal) ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\% \text{ Efficiency} = \frac{(Influent - Effl \quad)}{Influent} x\ 100 \qquad \text{----------(3.1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การประเมินประสิทธิภาพของการทดลองเลี้ยงตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งประกอบไปด้วย 1) การศึกษาตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย 2) การวิเคราะห์วิธีการจัดการของเสีย 3) การวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการจัดการของเสีย 4) วิเคราะห์และประเมินทางเลือกในการจัดการของเสีย

รูปที่ 4.1 ผังแสดงขั้นตอนของการทดลองในงานวิจัยนี้

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยที่แสดงดังภาพ 4.1 ทำให้ได้การวิจัยเรียงลำดับขั้นตอนดังนี้

4.1.1 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

จากข้อมูลที่ได้รับจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียระหว่างเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2564 โดยได้ข้อดังแสดงใน ตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment diary report)				
ระยะเวลารวบรวมข้อมูล	เดือน	สิงหาคม 2564	กันยายน 2564	ตุลาคม 2564
อัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ย (Flow rate)	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	3,028.00	4,411.00	4,269.00
อัตราการส่งกำจัดตะกอนเฉลี่ย (Sludge cake to disposal)	ตันต่อวัน	21.71	21.15	20.95

จากข้อมูลที่ได้รับพบว่าระหว่างเดือนสิงหาคม-ตุลาคม 2564 อัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ย (Flow rate) รวมทั้ง 3 เดือน เท่ากับ 3,902.67 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และอัตราการส่งกำจัดตะกอนเฉลี่ย (Sludge cake to disposal) เท่ากับ 21.27 ตันต่อวัน

4.1.2 เก็บตัวอย่างน้ำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำตะกอนระบบบำบัดน้ำ โดยเก็บในถังปฏิกิริยาปริมาตร 200 ลิตร กวนผสมตะกอนในถังปฏิกิริยา โดยจะศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักพักชลศาสตร์ในการบำบัดตะกอน จะทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลา 4 ช่วงคือ ระยะเวลา 7 14 21 และ 28 ตามรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ตะกอนในถังหมักตะกอนระยะเริ่มทำการทดลอง

รูปที่ 4.4 ตะกอนในถังหมักตะกอนระยะเวลา 2 สัปดาห์

รูปที่ 4.5 ตะกอนในถังหมักตะกอนระยะเวลา 4 สัปดาห์

ลักษณะตะกอนเมื่อเริ่มทำการทดลองรูปที่ 4.3 พบว่าจะมีกลิ่นค่อนข้างเหม็น สีของน้ำตะกอนสีน้ำตาลดำ ส่วนในรูปที่ 4.4 ทำการหมักตะกอนในถังหมักตะกอนระยะเวลา 2 สัปดาห์ จะมีกลิ่นเหม็นมากกว่าช่วงเริ่มทำการทดลอง จะมีชั้นตะกอนลอย(Scum)สีน้ำตาลเทาเกิดขึ้นปิดผิวหน้า สีของน้ำเปลี่ยนเป็นสีดำและมีการจับสารแขวงลอยเป็นกลุ่มก้อน หากหมักตะกอนไว้ระยะเวลา 4 สัปดาห์ดังรูปที่ 4.5 จะพบว่ากลิ่นจะลดน้อยลงเมื่อเทียบกับช่วงเริ่มต้นที่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลอง หากทิ้งตะกอนไว้ในระยะเวลาหนึ่งจะทำให้ตะกอนบางส่วนมีตะไคร่น้ำมาเกาะที่ชั้นตะกอนลอย

4.2 ผลการทดลองจากการเก็บตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและแปรผลการทดลอง

จากการเก็บตะกอนตัวอย่างจากถังปฏิกิริยาที่ได้สมมติลักษณะการหมักตะกอนเป็นประจำทุกๆ 1 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน ตั้งแต่วันที่ 30 กันยายน 2564 – 28 ตุลาคม 2564 โดยสรุปค่าคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของถังปฏิกิริยา

จุดเก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์	30/9/2021	08/10/2021	15/10/2021	25/10/2021	28/10/2021	% Efficiency
Influent Sludge thickener tank	pH	6.30	7.60	6.50	7.10	7.60	
	Chemical Oxygen Demand (SCOD)			1,393.33	1,743.33	2,003.33	
	Total Chemical Oxygen Demand (TCOD)	9,370.00	14,733.33	20,866.67	15,686.67	16,940.00	-80.79
	Biochemical Oxygen Demand (TBOD)	5,320.00	9,180.00	13,590.00	8,820.00	9,030.00	-69.74
	Total Dissolved Solids	1,375.00	1,000.00	870.00	1,150.00	1,220.00	11.27
	Total Solids (TS)	8,100.00	8,805.00	7,330.00	6,950.00	6,852.60	15.40
	Fat Oil & Grease	103.00	76.00	132.00	82.50	98.00	4.85
	Total Alkalinity	1,433.00	1,643.00	1,710.00	1,685.00	1,648.00	-15.00
	% Solid content	4.20					
	Volatile solid	5,670.00	6,420.00	5,236.00	4,522.00	3,277.26	42.20

หมายเหตุ วิเคราะห์ผลโดย บริษัท เพอร์เฟค โซลูชั่น แอนด์ คอนเซาส์แตนท์ จำกัด และ บริษัท เทสท์ เทค จำกัด ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำเสียและตะกอน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าพีเอชที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาเป็นกลางอยู่ในช่วงระหว่าง 6.3-7.6 อัตราการลดลงของซีโอดีละลายน้ำและซีโอดีทั้งหมดไม่สามารถลดลงได้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการกักพัก ค่าบีโอดีทั้งหมดไม่สามารถลดลงได้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงแบบเดียวกับซีโอดีทั้งหมด ค่าของแข็งละลายในน้ำที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นลดลงตามระยะเวลากักพักที่ 1 เดือนจะลดลงร้อยละ11.27 ค่าของแข็งทั้งหมดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นลดลงโดยคบเวลา 1 เดือนจะลดลงร้อยละ15.40 แสดงให้เห็นว่ามีการลดลงของปริมาณตะกอนที่อยู่ภายในถังปฏิกิริยา ค่าไขมันและน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงต่ำซึ่งจะอยู่ที่ร้อยละ 4.85 ค่าความเป็นด่างมีค่าสูงขึ้นจะเป็นผลดีต่อระบบแต่ในการเดินระบบ ค่าความเป็นด่างจะเป็นตัวบ่งบอกบัฟเฟอร์ของระบบ โดยควรรักษาค่าความเป็นด่างระหว่าง 1,000 – 3,000 มก./ล. และไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มก./ล.ซึ่งจากผลการทดลองพบว่ามีการเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.00 ซึ่งบ่งบอกได้ถึงความเสถียรภาพของระบบมีมากขึ้น ค่าของแข็งละเหยมีค่าที่ลดลงร้อยละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42.20 บ่งบอกได้ว่ามีการย่อยสลายเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซ มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีค่าลดลงร้อยละ 64.76 ซึ่งบ่งบอกถึงการผลิตกรดและยังอยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยควรรักษาค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ 2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติก/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน

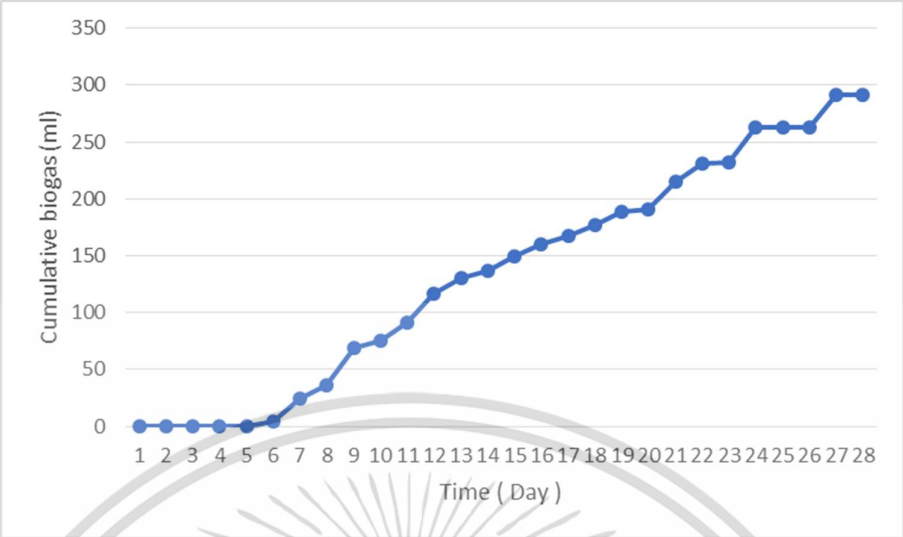
ตารางที่ 4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองแบบ Biochemical Methane Potential (BMP) ในสภาวะมาตรฐาน

Day	Biogas ml/d	Commulative ml/d	Day	Biogas ml/d	Commulative ml/d
0	0.0	0	15	12.9	149.8
1	0.0	0	16	10.6	160.4
2	0.0	0	17	7.1	167.4
3	0.0	0	18	9.4	176.8
4	0.0	0	19	11.8	188.6
5	4.7	4.7	20	2.4	190.9
6	19.4	24.1	21	24.7	215.6
7	11.8	35.8	22	15.3	230.9
8	32.9	68.7	23	1.2	232.1
9	7.1	75.8	24	30.6	262.6
10	15.0	90.8	25	0.0	262.6
11	12.9	103.8	26	0.0	262.6
12	12.9	116.7	27	28.2	290.8
13	14.1	130.8	28	0.0	290.8
14	6.1	136.9	Summary Average		133.45

ในการหมักแบบไร้อากาศเป็นเวลา 28 วัน ผลที่ได้จากการทดลอง คือก๊าซชีวภาพโดยได้ทำการทดลองวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยหลักการแทนที่น้ำ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวันแสดงในตารางที่ 4.3

จากข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่ผลิตได้ในแต่ละวัน เมื่อนำมาพล็อตกราฟก็จะได้กราฟแสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละช่วงเวลาแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงวันที่ 10-20 ปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะคงที่หลังจากวันที่ 25 ช่วงวันแรกๆ จะอยู่ในช่วงปรับตัวเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ จากนั้นจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากต่อไป หลังจากดำเนินการทดลองนานขึ้นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะเริ่มลดลงและสัดส่วนในการผลิตก๊าซมีเทนก็จะลดลงด้วย เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในระบบเหลือน้อยลงและย่อยสลายยาก เพราะการทดลองเป็นการเดินระบบแบบแบตช์ ซึ่งมีการเติมสารตั้งต้นเพียงครั้งเดียว เมื่อดำเนินการทดลองจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในการทดลอง BMP ที่สภาวะมาตรฐาน

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปผลการผลิตก๊าซชีวภาพ(มีเทน) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ จากการทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (BMP) ที่สภาวะมาตรฐาน

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
ปริมาณ Biogas เฉลี่ย (ml/d)	133.45
ก๊าซมีเทน (%)	47.80
% การบำบัด VS (mg/l)	42.20
Methane yield (ml/g VS removal)	2.67
BMP (%)	0.65

ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การบำบัด TS อยู่ร้อยละ 15.40 และ VS อยู่ร้อยละ 42.20 ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.2 โดยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 133.45 ml องค์ประกอบมีเทนอยู่ร้อยละ 47.80 ดังตารางที่ 4.4 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง VS ลดลงอย่างมาก แสดงว่าการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดี ทำให้สารตั้งต้นถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยา Acetogenesis และ Methanogenesis ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

สรุปจากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 133.45 ml/d อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุรินทรีย์เท่ากับ 2.67 ml/g $VS_{removal}$ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัด TS,VS และ BMP เท่ากับร้อยละ 15.40 42.20 และ 0.65 ตามลำดับ เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของวัสดุหมักภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ ในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อกรัมซีโอดีของของเสียที่ถูกย่อยสลายไป โดยค่าการหาศักยภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้ก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีเทนที่วัดได้มีปริมาณต่ำ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.1 ประเมินแนวทางในการจัดการกากตะกอน

จากขั้นตอนการดำเนินงานศึกษา คือการจัดทำฐานข้อมูลของของเสีย และการวิเคราะห์วิธีการจัดการของเสีย การวิเคราะห์ต้นทุนในการบริหารจัดการ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาประกอบด้วย

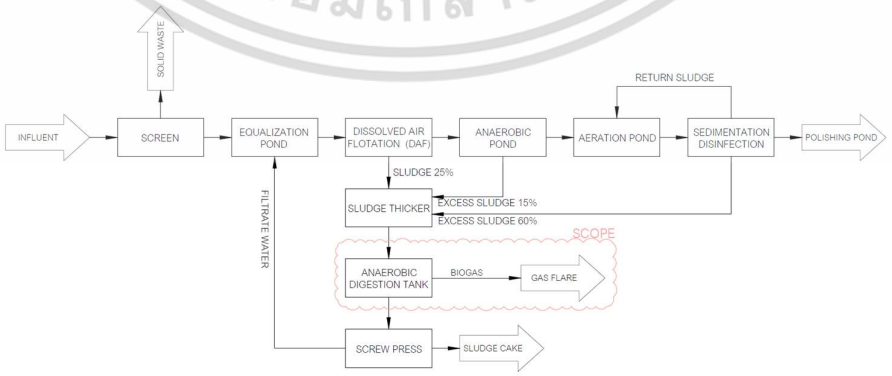
1) ฐานข้อมูลของของเสีย (Waste Profile)
2) ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการตะกอนของเสียที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน
3) แนวทางใหม่ในการจัดการของเสีย
4) ค่าบริหารจัดตะกอนทั้งแนวทางใหม่
5) ประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการตะกอนแบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

โดยมีดัชนีชี้วัดทางเลือกของการจัดการของเสีย 2 ชนิดดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียลดลง
2) ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลง

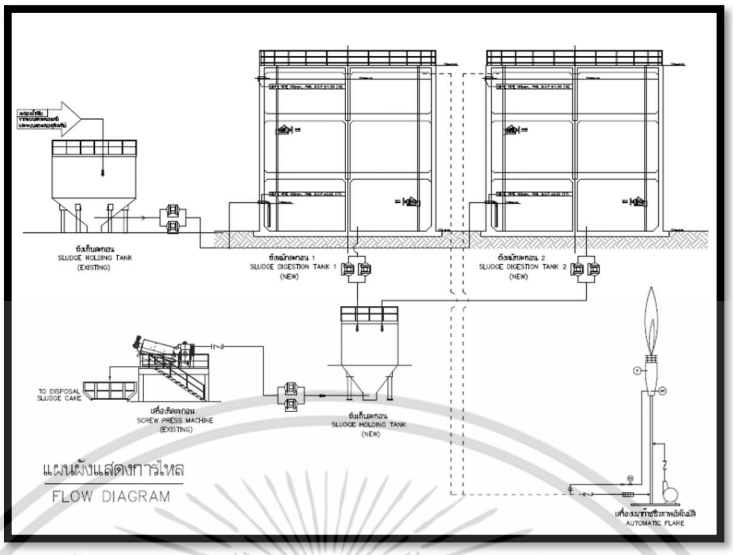
ดัชนีทั้งสองจะชี้วัดการจัดการของเสียอื่นๆให้เหมาะสมตามลักษณะของของเสีย ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ การเปรียบเทียบแนวทางในการลดปริมาณตะกอนเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์การจัดการที่เหมาะสม โดยวิธีการจัดการน้ำเสียนั้นจะต้องเป็นแนวทางที่ดีขึ้นจากการดำเนินการในปัจจุบัน โดยใช้การประเมินต้นทุนและลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ประเมินจากร้อยละในการลดความสกปรกหรือพารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง

แนวทางการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้น จึงมีการเพิ่มกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศก่อนที่จะทำไปรีดตะกอนก่อนที่จะส่งกำจัด (Disposal) ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.7 แผนผังการไหล (Flow diagram) ที่ทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ภาพรายละเอียดการไหลของกากตะกอน

แผนผังแสดงการไหล(Flow diagram) ตามรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะการไหลของตะกอนที่เกิดขึ้นของโรงงาน เริ่มจากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบเคมีและระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ ตะกอนทั้งสองส่วนมาเก็บไว้ที่ถังรวบรวมตะกอน 1 ซึ่งเป็นถังรวบรวมตะกอนเดิมของโรงงาน(Sludge holding tank 1) ก่อนที่จะใช้ปั๊มดูดตะกอนโดยมีการเดินสลับกันตามเวลาที่กำหนด โดยทำงานหนึ่งตัวและหยุดการทำงานหนึ่งตัว เพื่อจะดูดตะกอนที่เข้มข้นของถังรวบรวมตะกอนเดิมของโรงงานไปยังถังหมักตะกอน 1 และ 2(Sludge digestion tank 1,2) โดยแบ่งเข้าแต่ละบ่อโดยสม่ำเสมอ เพื่อที่จะเข้าสู่กระบวนการหมักตะกอน เมื่อทำการหมักตะกอนไปได้ระยะเวลาที่ระบบเกิดสภาวะคงตัว(Steady state) จะเกิดตะกอนส่วนเกินในระบบขึ้น จึงต้องมีการกำจัดตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นออกจากระบบ โดยใช้ปั๊มดูดตะกอนส่วนเกินของแต่ละบ่อทำงานหนึ่งตัวและหยุดการทำงานหนึ่งตัว เพื่อจะดูดตะกอนเข้มข้นที่ส่วนล่างของถังหมักตะกอน 1 และ 2(Sludge digestion tank 1,2) ไปยังถังรวบรวมตะกอน 2(Sludge holding tank 2) ที่จะต้องทำการก่อสร้างขึ้น โดยปั๊มจะทำงานหนึ่งตัวและหยุดการทำงานหนึ่งตัว เพื่อนำตะกอนส่วนเกินเข้าไปยังเครื่องรีดตะกอน(Screw press machine) เพื่อลดความชื้นออกจากตะกอนจะทำให้น้ำหนักของตะกอนมีการอัดแน่นขึ้น โดยตะกอนที่เกิดขึ้นจะโดนรีดด้วยสกูลไปยังด้านหน้าของเครื่องจักร แล้วตะกอนจะตกลงไปยังถังรองรับตะกอน(Roll off) เพื่อให้ง่ายต่อการขนกำจัดตะกอน

ส่วนก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในระบบจะมีการจัดการอีกวิธี โดยจะใช้เครื่องเผาก๊าซชีวภาพอัตโนมัติ(Automatic flare) เพื่อทำการเผาไหม้ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบก่อนทำการปล่อยไปตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการจัดการของเสีย

การวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการจัดการของเสียจะแสดงให้เห็นค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยแบ่งวิธีการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ ค่าประมาณการกำจัด (Disposal Cost) และค่าประมาณการลงทุน (Investment cost) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การประเมินการกำจัด (Disposal cost)

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการกำจัดคือ ปริมาณของของเสียในหน่วยตัน ลักษณะของของเสีย การดำเนินงานในการจัดการของเสีย และเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการของเสีย ดังนั้นในการประเมินค่าการกำจัดของเสีย ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินจะเป็นการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากการสอบถามผู้ปฏิบัติและมีผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเกี่ยวกับรายจ่ายของการกำจัดของเสียต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและเทคโนโลยีในการบริหารจัดการ

จากตารางที่ 4.1 จากข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าอัตราการส่งกำจัดตะกอนเฉลี่ยเดือนสิงหาคม กันยายน และตุลาคม ปี พ.ศ. 2564 มีค่าเท่ากับ 21.71 21.15 และ 20.95 ตันต่อวันตามลำดับ หากนำมาหาค่าเฉลี่ยการกำจัดของทั้ง 3 เดือนรวมกันเท่ากับ 21.27 ตันต่อวัน

ตารางที่ 4.5 กากตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสีย

ตะกอนที่เกิดขึ้น	=	21.27	ตันต่อวัน
ราคาการกำจัด	=	2,211.54	บาทต่อตัน
ประเมินการจ่ายค่าส่งกำจัด	=	47,039.42	บาทต่อวัน

การตรวจสอบราคาค่ากำจัดตะกอนจากผู้รับขนส่งตะกอน ได้เสนอราคาค่าขนส่ง 2,211.54 บาทต่อตัน เมื่อนำตะกอนที่เกิดขึ้นไปไปคิดกับราคาการขนส่งกำจัด โดยได้ค่าใช้จ่ายส่งกำจัดเท่ากับ 47,039.42 บาทต่อวัน

4.3.2 ประมาณการลงทุน (Investment Cost)

เป็นการประเมินต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นหากมีการลงทุนด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ในการบริหารจัดการ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1) พื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้างระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กระบวนการที่จำเป็นต้องติดตั้งในระบบ

การศึกษาค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสีย เป็นการประมาณค่าใช้จ่ายที่พิจารณาจากปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนในการจัดการของเสียและการสอบถามผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง สามารถแบ่งค่าใช้จ่ายได้ 2 ส่วนดังนี้ ค่าประมาณการกำจัดของเสีย (Disposal Cost) เป็นราคาต่อปริมาณของตะกอนของเสียและต่อเทคโนโลยีในการจัดการของเสียนั้นๆ ค่าประมาณการลงทุน (Investment Cost) เป็นราคาที่จำเป็นต้องลงทุนหากมีการตกลงในการเพิ่มเติมระบบย่อยสลายตะกอนแบบไม่ใช้อากาศ

การคำนวณปริมาตรถังหมักตะกอน(Sludge digestion tank) ต้องคำนึงถึงอัตราการไหล(Flow rate) และภาระบรรทุกของแข็งระเหย(VS loading rate) โดยอ้างอิงค่าพารามิเตอร์ที่เข้าระบบตามที่ได้ทำการทดลอง โดยผลที่ได้ตามตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของถังปฏิกิริยา โดยใช้ค่าที่สูงที่สุดในการออกแบบถังหมักตะกอน

อัตราการไหล (Flow rate to Sludge digester)

Excess sludge ตะกอนที่ถูกสูบมาเก็บรวบรวมที่ถังเก็บตะกอน	=	264.66	m^3/d
	=	11.03	m^3/h
Design 4.2% Solid content ในถังทำข้น	=	11.49	m^3/h
Design Sludge feed	=	11.50	m^3/h
Design sludge	=	276.00	m^3/d

การออกแบบถังหมักตะกอน (Effective size of Anaerobic digestion tank)

Quantity	=	2.00	Sets
เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter of tank)	=	12.50	m
ความลึกของน้ำ (Depth of water)	=	11.50	m
ความลึกของถัง (Depth of tank)	=	12.00	m
ความลึกส่วนโคน(Depth cone of tank)	=	-	m
พื้นที่สุทธิ (Effective area (A))	=	245.31	m^2
ปริมาตรกักเก็บน้ำ (Effective volume (V))	=	2,821.09	m^3
ปริมาตรกักเก็บสูงสุด (Effective tank (Vt))	=	2,943.75	m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลากักพัก (HRT) = 245.31 h

ระยะเวลากักพัก (HRT) = 10.22 d/tank

ในการออกแบบถังหมักตะกอน (Sludge digestion tank) โดยกำหนดค่า HRT อยู่ที่ 20.44 วัน (WEP, 2539) และภาระบรรทุกของแข็งระเหย(Organic loading rate) อยู่ 1.20 kg-VS/m^3-d ต้องมีระบบหมุนเวียนน้ำและรูกระจายน้ำ

4.3.3 ประมาณราคาค่าก่อสร้างถังหมักตะกอน

ประเมินราคางานดิน	= 23,880.00	บาท
ประเมินราคางานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	= 11,816,402.00	บาท
งานระบบท่อเข้า ท่อออกและท่อก๊าซ	= 148,500.00	บาท
งานเครื่องจักร	= 690,000.00	บาท
งานไฟฟ้า	= 84,000.00	บาท
ราคารวม	= 12,762,782.00	บาท

หมายเหตุ

- ยังไม่รวมการเตรียมงานก่อสร้างและการจัดการโครงการ
- รายละเอียดแบบและการประเมินราคาอ้างอิง (โครงการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย บริษัท ไทยฟู้ดส์ กรุ๊ป จำกัด, 2022)
- ราคาค่าของอ้างอิงกลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

4.4 ประสิทธิภาพของระบบหมักตะกอน (Efficiency and Investigate AD)

4.4.1 ผลการทดลองของแข็งทั้งหมด

ของแข็งที่เข้าระบบ (TS Influent)	= 8,100.00 mg/l
ประสิทธิภาพในการลดลงของแข็งของกระบวนการหมัก (TS Digestion)	= 15.40 %
ของแข็งที่ผ่านการใช้กระบวนการหมัก (TS Effluent)	= 6,852.60 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ประเมินกากตะกอนที่เกิดขึ้น

อัตราการไหล Flow rate (Q) = 276 m³/d

การกำจัดกากตะกอนแบบเดิม โดยไม่มีกระบวนการหมักตะกอน

จะใช้ค่าของแข็งที่เข้าระบบในการคำนวณ

ของแข็งที่เข้าระบบโดยไม่มีระบบหมัก = 8,100.00 mg/l

แปลงค่าได้ = 8.10 kg/m³

กากตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวัน = $\frac{TS\ Influent}{Q}$

ตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวัน (Dry sludge) = 2,235.60 kg-Dry solid/d

การกำจัดตะกอนโดยมีกระบวนการหมักตะกอน

จะใช้ค่าของแข็งที่ผ่านการใช้กระบวนการหมักที่เข้าระบบในการคำนวณ

ของแข็งที่ผ่านการใช้กระบวนการหมัก = 6,852.60 mg/l

แปลงค่าได้ = 6.85 kg/m³

ตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวัน = $\frac{TS\ Effluent}{Q}$

ดังนั้น ตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวัน (Dry sludge) = 1,891.32 kg-Dry solid/d

ตรวจสอบความแตกต่างของปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น

ตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวันแบบเดิม (Dry sludge) = 2,235.60 kg-Dry solid/d

ตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวันแบบมีถังหมักตะกอน (Dry sludge) = 1,891.32 kg-Dry solid/d

ความแตกต่างตะกอนที่ลดลง = ตะกอนที่เกิดขึ้นแบบเดิม – ตะกอนที่เกิดขึ้นแบบมีถังหมักตะกอน

ความแตกต่างของปริมาณตะกอนที่ลดลง (Dry sludge) = 344.28 kg-Dry solid/d

Filter press can made dry solid content 40-50% (Hermans, Hada and Y.D.Linsay, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter press advantage for solid of more than 35% in cake (Jica, 2012)

จากการเก็บข้อมูลพบว่าตะกอนเฉลี่ยต่อวันที่เกิดขึ้นเท่ากับ 21.27 ตันต่อวัน จะเกิดตะกอนขึ้น(Dry sludge) 2,235 กิโลกรัมต่อวันที่ไม่มีความชื้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองเมื่อเพิ่มถังหมักตะกอนเข้าไป จะเกิดตะกอนขึ้น(Dry sludge) 1,891.32 กิโลกรัมต่อวันที่ไม่มีความชื้น จะได้ผลต่างของปริมาณที่ลดลง (Dry sludge) 344.28 กิโลกรัมต่อวันที่ไม่มีความชื้น โดยร้อยละของแข็ง (Solid content) มีค่าเท่ากับ 10.50%

ปริมาณตะกอนแบบเดิม (Sludge cake) (Solid content 10.50%) = 23,473.80 kg/d

ปริมาณตะกอนแบบใช้บ่อหมักตะกอน(Sludge cake)(Solid content 10.50%)

= 19,858.83 kg/d

ปริมาณตะกอนที่ลดลง (Sludge cake) (Solid content 10.50%) = 3,614.97 kg/d

ตรวจสอบความแตกต่างราคาค่าส่งกากตะกอน

ราคาค่าส่งกำจัดตะกอน = 2,211.54 Bath/ton

(ที่มา : บริษัทรับขนส่งกากตะกอน)

ดังนั้นค่าส่งกำจัดกากตะกอนแบบเดิม = 47,039.42 Bath/d

ค่าส่งกำจัดตะกอนแบบมีถังหมักกากตะกอน = 43,918.58 Bath/d

ความแตกต่างค่าส่งกำจัดตะกอน = ค่ากำจัดตะกอนแบบเดิม – ค่ากำจัดตะกอนแบบมีถังหมักตะกอน

ความแตกต่างค่าส่งกำจัดตะกอนที่ลดลงต่อวัน = 3,120.85 Bath/day

ความแตกต่างค่าส่งกำจัดตะกอนต่อเดือน (เฉลี่ย 25 วัน) = 78,021.15 Bath/month

ความแตกต่างค่าส่งกำจัดตะกอนต่อปี = 936,253.83 Bath/year

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ประมาณการคืนทุน (Investment cost)

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างมีการเพิ่มถังหมักตะกอนเข้ามาในระบบ เพื่อให้ทราบระยะเวลาการคืนทุน

ราคาการก่อสร้างถังหมักตะกอน = 12,762,782.00 บาท

ค่าส่งกำจัดตะกอนที่ลดลงต่อปี = 936,253.83 บาท

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ราคาการก่อสร้างถังหมักตะกอน}}{\text{ค่าส่งกำจัดที่ลดลงต่อปี}}$$

ระยะเวลาการคืนทุน = 13.63 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาการลดการกำจัดตะกอนที่ต้องส่งกำจัดจากการใช้ระบบการย่อยสลายกากตะกอนโดยไม่ใช้อากาศ โดยจำลองกระบวนการย่อยสลายกากตะกอนโดยไม่ใช้อากาศ ซึ่งเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ในการควบคุมระบบและการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวเคมี (Biochemical Methane Potential, BMP) ที่สภาวะมาตรฐาน โดยระยะเวลากักเก็บ 28 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ประสิทธิภาพในการเลือกใช้ระบบการย่อยสลายกากตะกอนโดยไม่ใช้อากาศเข้ามา พบว่าค่าพีเอชที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาเป็นกลางอยู่ในช่วงระหว่าง 6.3-7.6 ค่าของแข็งทั้งหมดการเปลี่ยนแปลงจะลดลงร้อยละ 15.40 ค่าความเป็นด่างมีค่าสูงขึ้นจะเป็นผลดีต่อระบบแต่ในการเดินระบบ ค่าความเป็นด่างจากผลการทดลองพบว่ามีการเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.00 ซึ่งบ่งบอกได้ถึงความเสถียรภาพของระบบมีมากขึ้น ค่าของแข็งละเหยมีค่าที่ลดลงร้อยละ 42.20 บ่งบอกได้ว่ามีการย่อยสลายเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซ โดยปริมาณผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.133 ลิตรต่อวัน และมีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพ(%BMP) เท่ากับร้อยละ 0.65 เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของวัสดุหมักภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ ในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อกรัมซีโอดีของของเสียที่ถูกย่อยสลายไป จากการทดแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าลดลง

ทางเลือกในการใช้ระบบการย่อยสลายกากตะกอนโดยไม่ใช้อากาศ เนื่องจากปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบจะมีมากกว่าในธรรมชาติมาก โดยมีปริมาณจุลินทรีย์จำนวนมากที่อยู่ในระบบซึ่งเกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาเป็นระบบที่ซับซ้อนมีกลุ่มจุลชีพอาศัยอยู่ร่วมกันมากมายหลายกลุ่ม ทั้งมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆและเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ พบว่าค่าของแข็งทั้งหมดลดลง 1,247.40 mg/l เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมด(%Solid content) และตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวัน ทำให้สามารถลดตะกอนการส่งกำจัดลงจากเดิม 3,614.97 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นค่าส่งกำจัดตะกอนเมื่อเพิ่มระบบการย่อยสลายกากตะกอนโดยไม่ใช้อากาศจะมีค่าใช้จ่ายลดลง 3,120.85 บาทต่อวัน เมื่อประเมินการลงทุนโดยออกแบบเป็นถังคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.50 เมตร จำนวน 2 ถัง ราคา 12,762,782.00 บาท ดังนั้นการคืนทุนของการเกิดโครงการนี้คือ 13.63 ปี อาจจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมหรือบริหารจัดการในด้านพลังงานก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

C. P. Hwang (2013). A CASE STUDY OF ANAEROBIC SLUDGE DIGESTER OPERATION.

Sebastian Borowski & Marcin Kucner (2015). Co-digestion of sewage sludge and dewatered residues from enzymatic hydrolysis of sugar beet pulp.

Irini Angelidaki, Lars Ellegaard and Birgitte Kioer Ahring. (2003). Applications of the Anaerobic Digestion Process.

Jay N. Meegoda 1, Brian Li, Kush Patel and Lily B. Wang. (2018). A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion.

Jeff Kuo & Jason Dow (2017). Biogas production from anaerobic digestion of food waste and relevant air quality implications.

JOSEPH R. ASZTALOS (2015). ENHANCED ANAEROBIC DIGESTION OF MUNICIPAL WASTEWATER SLUDGE USING MICROBIAL ELECTROLYSIS CELLS.

Laura Paige Griffin (2012). ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTES: THE IMPACT OF OPERATING CONDITIONS ON HYDROLYSIS EFFICIENCY AND MICROBIAL COMMUNITY COMPOSITION.

Lise Appels, Jan Baeyens, Jan Degreve and Ref Dewil (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge.

ชิตชนก คงแดง. (2554). การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราโดยการหมักร่วมกบั มูลสุกร สำหรับใช้ในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Yuanyuan Rena , Miao Yua , Chuanfu Wua, Qunhui Wanga, Ming Gaoa, Qiqi Huanga, Peter William Harris, B.Sci.(Hons), B.Biomed.Sci. (2017). ANAEROBIC DIGESTION OF PRE-TREATED SLAUGHTERHOUSE WASTE.

Simjanoski Zlatko (2012). Investigation of co-digestion of food waste and primary sludge at SNJ-wastewater treatment plant.

Yu Liuc (2017). A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: Research updates and tendencies.

คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (ไบโอก๊าซ) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. https://www.diw.go.th/km/safety/pdf/biogas_2.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกบุตร อุตมพงศ์.หน้าที่ของผู้ประกอบกิจการโรงงานในการจัดการกากอุตสาหกรรมตามกฎหมาย. Retrieved from www.induswaste.com/dowload/Present4.pdf

Shuyi Li, (2022). Biomimetic Materials for Bone Regeneration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายทวิภพ อัครสันตติกุล
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 14 กันยายน 2536
ที่อยู่	957 หมู่ที่ 27 ต.ศิลา อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
ประวัติการศึกษา	
	ปีการศึกษา 2558 : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประสบการณ์การทำงาน	
2565 - ปัจจุบัน	วิศวกรประเมินราคาและพัฒนาเชิงกลยุทธ์
	บริษัท ส.นภา (ประเทศไทย) จำกัด
2565	วิศวกรออกแบบอาวุโส บริษัท ส.นภา (ประเทศไทย) จำกัด
2564 - 2565	วิศวกรออกแบบอาวุโส บริษัท เอทีพี อินโนเวชั่น จำกัด
2560 - 2564	วิศวกรออกแบบ
	บริษัท เพอร์เฟค โซลูชั่น แอนด์ คอนเซาส์แตนท์ จำกัด
2558 - 2560	วิศวกรโครงการ
	บริษัท เพอร์เฟค โซลูชั่น แอนด์ คอนเซาส์แตนท์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้