

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
ด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

นางสาวกนกพร ทัตญะเชียงพิณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
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.

ENHANCING BIOGAS PRODUCTION FROM PALM OIL MILL WASTEWATER BY
ELECTROCOAGULATION

Miss Kanokporn Thunyachiangpin

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

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการรวมตะกอน
ด้วยไฟฟ้า

โดย

นางสาวกนกพร ทัศนุฑะเชียงพิณ

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

----- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

----- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มะลิ หุ่นสม)

----- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จินต์ อโณทัย)

กนกพร ทัตญะเชียงพิน : การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า. (ENHANCING BIOGAS PRODUCTION FROM PALM OIL MILL WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร พิชญ รัชฎาวงศ์, 106 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและน้ำเสียที่ไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยวิธีการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ด้วยวิธี Biochemical Methane Potential (BMP) ทำการทดลองโดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ความหนาแน่น 0.02, 0.05 และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 5, 10 และ 15 นาที โดยใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด ระยะห่างระหว่างขั้ว 2.5 เซนติเมตร มีพื้นที่ 65 ตารางเซนติเมตร โดยใช้ น้ำเสีย ปริมาตร 400 มิลลิลิตร บรรจุในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที มีค่าซีโอดีละลายเฉลี่ย เท่ากับ $31,157 \pm 137$ มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้ 94.00 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยซีโอดีละลาย เท่ากับ $22,494.67 \pm 105$ มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้ 98.42 ± 0.42 ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $19,730 \pm 204$ ถึง $20,320 \pm 374$ มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบจะเกิดความร้อนทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นน้ำมันละลายได้ และสามารถเพิ่มฟองก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยารีดักชันทำให้เกิดกำจัดน้ำมันและไขมันโดยติดไปกับฟองก๊าซและถูกแยกออกไปจากน้ำเสียได้ เนื่องจากน้ำมันและไขมันที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก จึงส่งผลกระทบต่อกิจกรรมแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายน้ำมันละลายได้เร็วขึ้นและไม่เกิดการสะสมของกรดไขมันสายยาวในระบบ ส่งผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 30 วัน เท่ากับ 24.02 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เต็ม มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทน 74.35 เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 30 วัน เท่ากับ 23.31 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เต็ม มีความเข้มข้นก๊าซมีเทน เท่ากับ 20.10 เปอร์เซ็นต์ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 30 วัน เท่ากับ 11.33 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เต็ม มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทน เท่ากับ 59.59 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ.....

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

5187101620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: PALM OIL MILL/ELECTROCOAGULATION/ BIOCHEMICAL METHANE POTENTIAL/
ANAEROBIC DIGESTION/BIOGAS

KANOKPORN THUNYACHIANGPIN : ENHANCING BIOGAS PRODUCTION FROM PALM
OIL MILL WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION. ADVISOR: ASST.PROF.PICHAYA
RACHDAWONG, Ph.D., 106 pp.

This research aimed to compare biogas production of pretreatment method using electrocoagulation processes for palm oil mill wastewater. The efficiency of anaerobic digestion was conducted by BMP method. The experiments were operated in batch processes using direct current power supply with varying current density at 0.02, 0.05 and 0.1 A/cm² and using the retention time of 5, 10 and 15 minutes, respectively. Iron was used as an electrode material with separating distance of 2.5 cm and surface area of 65 cm². The electrodes were submerged in wastewater 400 ml and contained in 600 ml beaker. The experiments showed that current density at 0.05 A/cm² for 5 minutes could enhance soluble COD the most. The soluble COD produced was 31,157 mg/L and FOG removal was 94.00±0.17%. The current density at 0.1 A/cm² for 5 minutes could produce soluble COD at 22,494.67±105 mg/L and FOG removal 98.42±0.42%. This was because high current density cause high temperature which could breakdown oil into soluble oil and could complete oil removal by through hydrogen gas flotation. This cause reduction in high molecular weight oil that bacteria in anaerobic digestion could not digest in short time and also could enhance cumulative biogas production in 30 days. At current density 0.05A/cm² for 5 minutes, we could get cumulative biogas production in 30 days at 24.02 ml/g VS and had methane gas 74.35%. For 0.1A/cm², we could get cumulative biogas production in 30 days to be 23.31 ml/g VS and had methane gas at 20.10%. In terms of palm oil mill wastewater without electrocoagulation pretreatment, we got the cumulative biogas production and methane gas of less than palm oil mill with pretreatment by electrocoagulation. The biogas obtained was 11.33 ml/g VS and methane gas at 59.59 %.

Field of Study Environmental Science Student 's Signature_____

Academic Year 2011 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านดังนี้

ผลแห่งความสำเร็จด้วยดีเป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาในการให้ความช่วยเหลือแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัยด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่ให้คำแนะนำและดูแลลูกศิษย์อย่างดียิ่ง ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบและให้คำแนะนำต่างๆ อย่างดียิ่ง ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำอย่างดียิ่ง และให้ความกรุณาเป็นอย่างยิ่งสำหรับการทำงานวิจัยล่วงเวลา ขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มะลิ หนูสม ขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จินต์ อโณทัย ที่กรุณาเข้าร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบพระคุณหลักสูตรสหสาขาวิชาสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเอกสาร และคอยเป็นกำลังใจในทุกเรื่อง ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยให้แนะนำในเรื่องอุปกรณ์และสารเคมี ตลอดจนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท สุขสมบุญธรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสีย และตะกอนจุลินทรีย์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในบริษัทที่อำนวยความสะดวกในขั้นตอนการเก็บน้ำเสียให้เป็นไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ ให้กำลังใจด้วยความรักและความห่วงใย ทำให้ผู้วิจัยมีจิตใจที่มั่นคง มานะ บากบั่น เข้มแข็ง อดทน และมีกำลังใจในการเผชิญอุปสรรคต่างๆ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตลอดจนเพื่อนๆ พี่ ๆ น้องๆ ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้ออาทรพร้อมทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และคอยเป็นกำลังใจเสมอมาจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม.....	3
2.1.1 การขัดแยกกะลาและเนื้อใน.....	5
2.1.2 น้ำมันปาล์ม.....	6
2.1.3 น้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม.....	8
2.1.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....	10
2.1.5 ปฏิกริยาและขั้นตอนของกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	11
2.1.6 แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน....	15
2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	16
2.2 การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Biochemical Methane Potential BMP).....	21
2.3 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation).....	22
2.3.1 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell).....	25
2.3.2 หลักการออกแบบรูปแบบเซลล์อิเล็กโทรไลต์.....	26

บทที่	หน้า
2.3.3 ขั้วไฟฟ้า (Electrode).....	27
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารต่างๆในน้ำเสียในกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	28
2.3.5 ข้อดีของการใช้การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในน้ำเสีย.....	28
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.2 วิธีการทดลอง.....	34
3.2.1 เตรียมขั้วเหล็กที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด.....	35
3.2.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.2.3 การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	36
3.2.4 ตะกอนจุลินทรีย์ (Seed).....	37
3.2.5 Biochemical Methane Potential (BMP).....	38
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	42
4.1 ผลการศึกษาตัวแปรน้ำเสียเบื้องต้น.....	42
4.1.1 ที่มาและลักษณะของน้ำเสีย.....	42
4.1.2 ผลการตรวจสอบตัวแปรต่างๆของน้ำเสีย.....	44
1) ซีโอดี (COD).....	44
2) ซีโอดีละลาย (sCOD).....	46
3) น้ำมันและไขมัน (FOG).....	51
4) ของแข็งแขวนลอย (SS).....	53
5) ของแข็งทั้งหมด (TS).....	55
6) ของแข็งระเหยได้ (VS).....	56
7) พีเอช (pH).....	57
4.2 การทดลองหาระดับคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าด้วยวิธี BMP.....	58

บทที่	หน้า
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์เบื้องต้น.....	58
4.2.2 ผลการทดลองหาค่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	59
4.2.2.1 ผลการวัดก๊าซชีวภาพรายวัน (ml).....	60
4.2.2.2 ผลการวัดก๊าซชีวภาพรายวัน (ml/g VS).....	61
4.2.2.3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทน.....	65
4.2.2.4 ผลการวัดค่าพีเอช.....	66
4.2.2.5 ผลการทดลองสภาพความเป็นกรด (VFA) และความเป็นด่าง (Alkalinity).....	69
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	73
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	84
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ตัวแปรหลังกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	86
ภาคผนวก ค ปริมาณก๊าซชีวภาพและผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทน.....	91
ภาคผนวก ง ภาพฟองตะกอน สี และของแข็งแขวนลอยที่คงค้างบนแผ่นกระดาษกรองหลังกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	97
ภาคผนวก จ วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	106

สารบัญญัตราจ

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้จากส่วนเปลือกนอกและเนื้อในของผลปาล์ม.....	7
2.2	ประมาณการมลภาวะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....	9
2.3	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	19
3.1	วิธีที่ใช้การวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสีย.....	35
3.2	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	36
3.3	สารสารอาหาร.....	39
3.4	ตัวแปรที่ใช้ในการทำBMP.....	40
4.1	ค่าตัวแปรน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง.....	43
4.2	จุดหลอมเหลว ของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	49
4.3	ผลการวิเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์.....	58
ก	สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	85
ข-1	ผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	87
ข-2	ผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีละลายและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	87
ข-3	ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำมันและไขมันและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	88
ข-4	ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	88

ตารางที่		หน้า
ข-5	ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	89
ข-6	ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้และอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	89
ข-7	ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช อุณหภูมิ และความต่างศักย์ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า....	90
ค-1	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ml) ของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	92
ค-2	ก๊าซชีวภาพ (ml) รายวันของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	93
ค-3	ก๊าซชีวภาพ (ml/g vs) รายวันของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	94

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนปฏิบัติการการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	14
2.2	การใช้สารโคแอกกูแลนทในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์.....	24
2.3	เซลล์อิเล็กโทรไลต์.....	25
3.1	ขั้นตอนในการการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	37
3.2	ขั้นตอนในการทำ BMP.....	41
4.1	น้ำเสียก่อนบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอน.....	42
4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ.....	44
4.3	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีละลายของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	46
4.4	ก-ค เปรียบเทียบปริมาณค่าซีโอดีละลายกับค่าซีโอดี.....	47
4.5	ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดน้ำมันและไขมันของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ.....	51
4.6	ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอย ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ.....	53
4.7	ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ.....	55
4.8	ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งระเหยได้ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ.....	56

ภาพที่	หน้า	
4.9	ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าพีเอช.....	57
4.10	ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจุลินทรีย์.....	58
4.11	ก-ค ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน ของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	60
4.12	ก-ค ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	61
4.13	กราฟเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน.....	65
4.14	ก-ค ผลการวัดค่าพีเอชในการทดลองในการหมักน้ำเสียเป็นเวลา 30 วัน.....	67
4.15	ก-ข ผลการวัดค่าสภาพความเป็นกรด (VFA) ต่อความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำเสียหมักเป็นเวลา 30 วัน.....	71
ค-4	ใบรายงานผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน.....	95
ค-5	ใบรายงานผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน.....	96
ง-1	ฟองตะกอนที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.02A/cm^2$	98
ง-2	ฟองตะกอนที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.05A/cm^2$	98
ง-3	ฟองตะกอนที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.1A/cm^2$	98
ง-4	สีที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.02A/cm^2$	99
ง-5	สีที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.05A/cm^2$	99
ง-6	สีที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.1A/cm^2$	99
ง-7	ลักษณะของของแข็งแขวนลอยบนกระดาษกรองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $0.02A/cm^2$	100
ง-8	ลักษณะของของแข็งแขวนลอยบนกระดาษกรองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $0.05A/cm^2$	100
ง-9	ลักษณะของของแข็งแขวนลอยบนกระดาษกรองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $0.1A/cm^2$	100
ง-10	ลักษณะของของแข็งแขวนลอยบนกระดาษกรองของน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	101

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อนำมาสกัดเป็นน้ำมันปาล์มของประเทศไทยจัดเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญประเภทหนึ่ง เนื่องจากในปัจจุบันรัฐบาลไทยได้มีการสนับสนุนให้มีการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (Engineering Today, 2548) เพราะสามารถนำมาใช้แทนพลังงานฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปในอนาคต และอีกทั้งยังถือเป็นพลังงานที่ยั่งยืนอีกด้วย ทำให้ทางภาคใต้ของประเทศไทยเพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกมากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของภาคใต้ และก่อให้เกิดอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มในปัจจุบันของประเทศไทยมีโรงงานทั้งหมด 49 โรงงาน ซึ่งเป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน 17 โรงงาน โดยมีกำลังการผลิตรวมถึง 405,000 ตันน้ำมันปาล์มต่อปี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540) โดยการสกัดแบบมาตรฐานจะเป็นการการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำและแยกเมล็ดปาล์มออก แล้วสกัดน้ำมันจากส่วนเปลือก และส่งผลให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มข้นของตัวแปรต่างๆสูง เช่น บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) และน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) พบว่าการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน เมื่อใช้ทะเลลายปาล์มสด 1 ตัน มีน้ำเสียประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยมีค่า บีโอดี 27 กิโลกรัม ซีโอดี 52 กิโลกรัม ของแข็งแขวนลอย 13 กิโลกรัม และมีน้ำมันและไขมัน 9 กิโลกรัม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540) ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝัง (Oxidation Pond) ซึ่งระบบดังกล่าวนอกจากจะใช้พื้นที่มากแล้วระบบยังทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าตัวแปรต่างๆในน้ำเสียได้น้อยอีกด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการมาแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะตามมา หากปล่อยให้ น้ำเสียดังกล่าวออกไปสู่สิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงมีความนิยมกันมาก ซึ่งนอกจากสามารถลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียได้แล้ว ยังเกิดผลพลอยได้จากระบบ คือ ก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังสามารถทดแทนพลังงานน้ำมันเตา และก๊าซหุงต้มได้อีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ระบบการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยการ

รวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดความสกปรกในน้ำเสีย อีกทั้งยังสามารถกำจัดกลิ่นได้ และระบบดังกล่าวยังสามารถกำจัด น้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้ ซึ่งจะส่งผลดีต่อระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เนื่องจากน้ำมันและไขมันในน้ำเสียย่อยสลายยากได้ยาก ซึ่งถ้าอยู่ในระบบเป็นเวลานานจะทำให้พีเอชของน้ำเสียลดลงจนทำให้ระบบล้มเหลวได้ (ธนวรรณ ติลกการย์, 2553) จากงานวิจัยของ อมรภัคร ชูทอง (2551) กล่าวว่า น้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะส่งผลดีต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้นทำให้สามารถลดระยะเวลาการเก็บกักในระบบได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและน้ำเสียที่ไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
2. สรุปภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด
2. งานวิจัยนี้ใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการ
3. ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเป็นขั้วเหล็ก
4. ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธี Biochemical Methane Potential (BMP)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อนำไปผลิตไบโอดีเซล จึงทำให้เกิดโรงงานที่สกัดน้ำมันปาล์มมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดน้ำเสียที่เกิดจากการสกัดน้ำมันปาล์มมากขึ้นตามมาด้วย โดยกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีขั้นตอนดังนี้

2.1 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทยสามารถแบ่งเป็น 3 กระบวนการ คือ กระบวนการสกัดแบบมาตรฐาน กระบวนการสกัดแบบอย่างผลปาล์ม กระบวนการสกัดแบบทอดผลปาล์ม (ผาสุข กุลวนิชย์, เสาวลักษณ์ จิตบรรเจิดกุล และอรุณ หันพงษ์กิตติกุล, 2534) โดยการสกัดแบบอย่างผลปาล์มเป็นการใช้ความร้อน ซึ่งเป็นการสกัดแบบแห้ง ส่วนกระบวนการสกัดแบบทอด จะใช้น้ำมันปาล์มเป็นตัวสกัดน้ำมันออกจากผลปาล์มโดยตรงจึงไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย (พูนสุข ประเสริฐสรรพ, เสาวลักษณ์ จิตบรรเจิดกุล และอรุณ หันพงษ์กิตติกุล, 2533) ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่สนใจมาจาก กระบวนการสกัดแบบมาตรฐานเพราะเป็นกระบวนการเดียวที่ใช้น้ำดังขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรับและการเก็บทะลายปาล์มสดที่โรงงาน ทะลายปาล์มสดจะถูกขนส่งโดยขนถ่ายใส่พื้นที่รองรับ (Ramp) และใส่ตู้ขนาดใหญ่ โดยระยะเวลาในการขนส่งจนถึงระยะเวลาในการนึ่งทะลายปาล์มไม่ควรเกิน 72 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) จากเอนไซม์ที่อยู่ในเปลือก น้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดมีกรดไขมันอิสระอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากทิ้งผลปาล์มไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ขั้นตอนที่ 2 การนึ่งปาล์ม (Sterilization) การนึ่งปาล์มจะใช้หม้อฆ่าเชื้อที่มีขนาด 20 ถึง 30 ตันทะลายปาล์ม โดยใช้อุณหภูมิ 120 ถึง 130 องศาเซลเซียส ความดัน 2 บาร์ ระยะเวลาในการนึ่งประมาณ 2 ชั่วโมง ไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งปาล์ม 200 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด ทำให้เกิดน้ำเสียจากการนึ่งนี้ประมาณ 150 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด โดยการนึ่งปาล์มนี้จะทำให้ข้าวปาล์มนิ่ม หลุดร่วงออกจากผลปาล์มได้ง่ายและผลปาล์มจะเกิดการยุ่ย ซึ่งง่ายต่อการบีบอัดน้ำมัน

จากผลปาล์ม และการนึ่งปาล์มยังมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระที่เป็นสาเหตุของการสูญเสียน้ำมัน

ขั้นตอนที่ 3 การแยกผลปาล์ม (Bunch Stripping) ทะลายปาล์มที่นึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้ายังเครื่องที่ทำหน้าที่แยกผลปาล์มและทะลายปาล์มออกจากกันโดยใช้เครื่องที่ชื่อว่า Rotary Drum Thresher โดยทะลายปาล์มเปล่าจะถูกนำไปเผาเพื่อผลิตถ่านใช้ทำปุ๋ยต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 การย่อยผลปาล์ม (Digestion) ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อย (Vertical Steam-jacketed Drums Digesters) ซึ่งจะมีแผ่นตีผลปาล์มให้แตกและมีการเติมน้ำร้อนลงไปเพื่อช่วยให้ผลปาล์มยุ่ย และถูกส่งไปยังขั้นตอนสกัดน้ำมันต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 การหีบน้ำมันปาล์ม การใช้เครื่องหีบเกลียวอัด (Screw Press) ใช้ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ขนาดเครื่องจักรที่มีขนาดเล็กจะสามารถหีบได้ 3 ตันต่อชั่วโมง ส่วนเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่จะหีบได้ถึง 13 ตันต่อชั่วโมง ถ้าเครื่องปั่น (Centrifuge) ใช้ความเร็วรอบ 950 ถึง 1,250 รอบต่อนาที กำลังการผลิต 1 ถึง 2 ชั่วโมง ใช้เวลาในการปั่นประมาณ 10 นาที โดยการหีบด้วยเครื่องปั่นนี้จะมีข้อดีคือ ได้น้ำมันที่ไม่มีเศษกาก และถ้าการหีบน้ำมันปาล์มแบบใช้เครื่องอัด (Hydraulic) จะสามารถหีบน้ำมันได้ประมาณ 5 ตันผลปาล์มสดต่อชั่วโมง น้ำมันที่ได้จากการจากเครื่องอัด จะมีน้ำ 55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำมันที่ได้จากเครื่องหีบเกลียวอัด จะมีน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์ และมีสิ่งเจือปนมาก และการหีบด้วยเครื่องปั่น จะมีน้ำ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีสิ่งเจือปนน้อย ซึ่งน้ำมันที่มาจากเครื่องหีบน้ำมันปาล์มนี้จะมีสิ่งเจือปนและความชื้นอยู่ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผ่านไปสู่ขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 การกรองน้ำมัน ในขั้นตอนนี้จะมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกน้ำมันออกจากของผสม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมน้ำร้อนลงไปใต้น้ำมันดิบ แล้วจากนั้นจึงนำไปผ่านเครื่องกรองน้ำมัน ซึ่งจะเป็นตะแกรงสั่น (Vibrating Screen) แบบมีการกรองหลายชั้น เมื่อเสร็จสิ้นการกรองจะได้ น้ำมันที่สะอาดปราศจากกากน้ำมัน

ขั้นตอนที่ 7 เครื่องเหียง ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้เครื่องเหียงความเร็วสูง โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 89 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อแยกเอาน้ำและสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบ โดยน้ำมันจะอยู่ส่วนบนน้ำ

จะถูกแยกออกมาตามท่อ ซึ่งน้ำมันที่ได้จะยังคงมีน้ำประมาณ 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์และสิ่งเจือปนอยู่

ขั้นตอนที่ 8 การสกัดความชื้น โดยน้ำมันที่ผ่านการสกัดความชื้นนี้จะต้องได้ตามมาตรฐานความชื้นที่กำหนด คือ มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และสิ่งเจือปนไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการนำไปบรรจุถังเพื่อส่งต่อไปยังโรงงานแปรรูป ซึ่งในระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมันดิบจะมีการขัดแยกกะลาและเนื้อในของผลปาล์มดังนี้

2.1.1 การขัดแยกกะลาและเนื้อใน

1) กากใยและเมล็ด ซึ่งกากใยจะมาจากส่วนของกากใยเมล็ดที่ถูกแยกออกมาจากชั้น Mesocarp ส่วนเมล็ดจะมาจากเมล็ดทั้งเมล็ดของส่วนชั้นของกะลา (Shell) และเนื้อใน (Kernel) ซึ่งกากใยและเมล็ดดังกล่าวจะมาจากขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานตั้งแต่ขั้นที่ 2 ถึง 3 ซึ่งเมื่อสิ้นสุดขั้นที่ 3 จะได้น้ำมันปาล์มมาจากกากใยและเมล็ดที่เรียกว่า Palm Oil และมาจากเนื้อในที่เรียกว่า Palm Kernel Oil

2) แยกเมล็ด ซึ่งขั้นตอนนี้จะส่งกากใยและเมล็ดไปยังเครื่องแยกที่แยกกากใยไปทางหนึ่ง และเมล็ดไปอีกทางหนึ่ง โดยกากใยที่ถูกส่งไปนั้นจะนำไปทำปุ๋ยหรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงาน แต่เมล็ดจะถูกส่งไปยังขั้นต่อไป

3) อบเมล็ด ซึ่งขั้นตอนนี้จะอบเมล็ดเพื่อไล่น้ำออกจากส่วนของเมล็ด

4) กะเทาะเมล็ด ซึ่งขั้นตอนนี้จะกะเทาะเมล็ดทั้งเมล็ด (Seed) และจะได้ของเหลือจากขั้นตอนนี้ คือ กะลาและเนื้อใน

5) แยกเศษกะลา (Shell) ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำการแยกกะลาและเนื้อในออกจากกัน โดยส่วนของกะลาสามารถนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงในโรงงาน หรือนำไปทำถ่านกัมมันต์ได้ และส่วนของเนื้อในนั้นจะถูกส่งไปยังขั้นตอนต่อไปเพราะเนื้อในนั้นจะมีน้ำมันที่เรียกว่า Palm Kernel Oil

6) อบเนื้อใน ซึ่งขั้นนี้จะมีการอบเนื้อในเพื่อไล่ความชื้นออก โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ 50 ถึง 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ถึง 16 ชั่วโมง โดยเนื้อในที่ผ่านการอบจะมีความชื้นต่ำกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ และถูกนำส่งต่อไปยังการสกัดน้ำมันปาล์มจากส่วนเนื้อในต่อไป

2.1.2 น้ำมันปาล์ม (Palm Oil)

น้ำมันปาล์มที่ได้จากการสกัดผลปาล์มน้ำมันจะได้มาจาก 2 ส่วนของผลปาล์ม ดังนี้

1) เปลือกนอก (Mesocarp)

น้ำมันที่ได้จากการสกัดส่วนของเปลือกนอก เรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) มีลักษณะเป็นสีแดงเข้ม โดยน้ำมันส่วนนี้ได้มากจากการหีบส่วนเปลือกนอกของผลปาล์ม ลักษณะน้ำมันที่ได้จะมีน้ำปนอยู่ ซึ่งจะต้องมีการกำจัดความชื้นเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และกรองเพื่อแยกสิ่งสกปรกออกก่อนนำไปกลั่นเป็นน้ำมันบริสุทธิ์ โดยองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันส่วนนี้จะป็นไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งจะนำไปผลิตเป็นน้ำมันพืช และเนยเทียมได้ ดังแสดงองค์ประกอบของไขมันไม่อิ่มตัวดังในตารางที่ 2.1

2) เนื้อใน (Kernel)

น้ำมันที่ได้จากการสกัดส่วนเนื้อในเรียกว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil) ซึ่งสีของน้ำมันจากส่วนนี้จะต่างจากสีของส่วนของเปลือกนอก โดยมีลักษณะไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน และน้ำมันมีองค์ประกอบของไขมันอิ่มตัวสูง นิยมนำไปทำ ไอศกรีม หรือมายองเนส เป็นต้น โดยแสดงองค์ประกอบของไขมันอิ่มตัวในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้จากส่วนเปลือกนอกและเนื้อ
ในของผลปาล์ม

ชนิดของกรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (%)	น้ำมันเมล็ดใน (%)
กรดไขมันอิ่มตัว	50	82
กรดคาไพริก (C6:0)	-	0.1 - 0.5
กรดคาไพริก (C8:0)	-	3.4 - 5.9
กรดคาปริก (C10:0)	-	3.3 - 4.4
กรดลอริก (C12:0)	0.1 - 0.4	46.3 - 51.1
กรดไมริสติก (C14:0)	1.0 - 1.4	14.3 - 16.8
กรดปาล์มิติก (C16:0)	40.9 - 47.5	6.5 - 8.9
กรดสเตียริก (C18:0)	3.8 - 4.8	1.6 - 2.6
กรดอะราคิติก (C20:0)	0 - 0.8	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	50	18
กรดปาล์มมิโตเลอิก (C16:1)	0 - 0.6	-
กรดโอเลอิก (C18:1)	36.4 - 41.2	13.2 - 16.4
กรดลิโนเลอิก (C18:2)	9.2 - 11.6	2.2 - 3.4
กรดลิโนเลนิก (C18:3)	0 - 0.5	-

ที่มา: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2550)

2.1.3 น้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

จากความต้องการการใช้น้ำมันปาล์มดิบเพื่อนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น ซึ่งจากความต้องการดังกล่าวทำให้มีการส่งเสริมการปลูกปาล์มและมีโรงงานสกัดน้ำมันจากผลปาล์มมากขึ้น และส่งผลให้เกิดน้ำเสียมากขึ้นตามมาเช่นกัน ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวนอกจากจะมีความสกปรกมาก มีกลิ่นเหม็นแล้ว น้ำเสียยังมีสีเข้ม โดยสีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียมาจากองค์ประกอบสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาล เช่น รงควัตถุพวก แอนโทไซยานิน และแคโรทีน ซึ่งรงควัตถุดังกล่าวถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันและไอน้ำ เนื่องจากเซลล์ผลปาล์มถูกทำลาย และในน้ำเสียยังประกอบด้วยสารประกอบดังนี้ โพลีฟีนอล เพคติน แทนนิน และโพลีแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังพบสารพวกเมลานอยดิน(Melanoidin) ซึ่งเป็นผลผลิตกัณฑ์ของปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง และสารพวก Gum เมื่อถูกความร้อนในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจะทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำ สามารถรวมตัวกับเกลือของโลหะ เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และทองแดง เกิดความคงตัวของสีของน้ำเสีย (พูนสุข ประเสริฐสรรพ, อรัญ หันพงศัศิตติกุล และโสภา จันภาโส, 2544) โดยสามารถแยกประเภทของน้ำเสียได้เป็น 2 ประเภทดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

1. น้ำเสียที่ไม่สกปรก เช่น น้ำเสียที่เกิดจากการควบแน่น และน้ำหล่อเย็นจากเครื่องระเหยน้ำออกจากน้ำมัน เครื่องลดความร้อนของน้ำมัน และน้ำจากเครื่องผลิตไอน้ำส่วนใหญ่จะมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

2. น้ำเสียที่สกปรก เช่น น้ำเสียจากหม้อหนึ่งฆ่าเชื้อซึ่งใช้อบทะเลลายปาล์มด้วยไอน้ำ น้ำส่วนนี้จะมีน้ำมันอยู่แต่มีสารแขวนลอยต่ำและไม่มีสภาพเป็นอิมัลชัน โดยทั่วไปการอบทะเลลายปาล์ม 25 ตัน จะมีน้ำหนึ่งปาล์มเกิดขึ้นประมาณ 2 ถึง 3 ลูกบาศก์เมตรและน้ำเสียจากห้องน้ำมัน (Oil Room) โดยสามารถแบ่งน้ำเสียที่สกปรกจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1) น้ำเสียที่มีค่าของแข็งแขวนลอย(SS) ต่ำ เช่น น้ำเสียจากหม้อหนึ่งและน้ำมันที่รั่วไหลออกมา โดยมีปริมาณน้ำสลัดจ์ที่เกิดจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำเสียประมาณ 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันทะเลลายปาล์มสด

2.2) น้ำเสียที่มีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) สูง จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.65 ลูกบาศก์เมตร ต่อ 1 ตันทะเลลายปาล์มสด ซึ่งสามารถวัดค่าตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้ ค่าบีโอดี(COD), ค่าซีโอดี(BOD) ค่าของแข็งแขวนลอย(SS) และค่าน้ำมันและไขมัน(Oil and Grease) ประมาณ 27,52,13 และ 9 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นจะเท่ากับน้ำเสียที่เกิดจากแหล่งชุมชนหรือ

บ้านเรือนของประชากรถึง 3 ล้านคน ดังแสดงการประมาณการน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานสกัดน้ำมัน
ปาล์ม แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประมาณการมลภาวะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Name of Palm Oil Mill	Production ton/year	Average COD Load		Average BOD Load		Suspended Solid Load		Oil & Grease Load		Population Equivalent 60g
		ton /year	ton /day	ton /year	ton /day	ton /year	ton /day	ton /year	ton /day	BOD/Person /day
Chumpom	216,000	11,329	37.76	5,741	19.14	2,773	9.24	1,890	6.3	318,960
POT Industry	72,000	3,776	12.59	3,776	12.59	924	3.08	630	2.1	106,320
Vichipan	144,000	7,553	25.18	7,553	25.18	1,849	6.16	1,260	6.16	212,640
Asian	72,000	3,776	12.59	3,776	12.59	924	3.08	630	2.1	106,320
Siam Palm	144,000	7,553	25.18	7,553	25.18	1,849	6.16	1,260	4.2	212,640
Thai Palm	144,000	7,553	25.18	7,553	25.18	1,849	6.16	1,260	4.2	212,640
United	216,000	11,329	37.76	11,329	37.76	2,773	9.24	1,890	6.3	318,960
Thai Pattana	54,000	2,832	9.44	2,832	9.44	693	2.13	473	1.58	79,740
Purified	50,000	2,623	8.74	2,623	8.74	642	2.14	438	1.46	73,833
Prasang	144,000	7,553	25.18	7,553	25.18	1,849	6.16	1,260	4.2	212,640
Southern	252,000	13,217	44.06	13,217	44.06	3,236	10.79	2,205	7.35	372,120
Unipalm	216,000	11,329	37.76	11,329	37.76	2,773	9.24	1,890	6.3	318,960
Asscinted	216,000	11,329	37.76	11,329	37.76	2,773	9.24	1,890	6.3	318,960
Trang	144,000	7,553	25.18	7,553	25.18	1,849	6.16	1,260	4.2	212,640
Total	2,084,000	109,306	364	55,393	185	26,759	89	18,235	61	3,007,373

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2540)

จะเห็นได้ว่าความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดน้ำเสียที่มาจากโรงสกัดน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้นตามมาด้วยเช่นกัน ดังนั้นการออกแบบและจัดการกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นจึงจำเป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นดังกล่าวและเกิดผลพลอยได้จากการบำบัดคือ ได้ก๊าซชีวภาพที่ประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และแอมโมเนีย ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทน ทั้งทดแทนน้ำมันเตา ก๊าซหุงต้ม และใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังถือว่าก๊าซมีเทนเป็นพลังงานสะอาดอีกด้วย โดยการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้มีดังนี้

2.1.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

1) การบำบัดน้ำเสียขั้นปฐมภูมิ

น้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีแหล่งกำเนิดจากหลายแหล่ง ได้แก่ หม้อต้มฆ่าเชื้อ ห้องน้ำมัน น้ำหล่อเย็นจากเครื่องระเหยน้ำออกจากน้ำมัน เครื่องลดความร้อนของน้ำมัน ซึ่งน้ำเสียแต่ละแหล่งจะมีความสกปรกต่างกัน จากนั้นจะทำการแยกน้ำเสียที่มีความสกปรกมากและน้อยออกจากกันโดยน้ำเสียที่มีความสกปรกน้อยจะหมุนเวียนนำกลับไปใช้ ส่วนน้ำเสียที่มีความสกปรกมากจะส่งต่อไปยังระบบบำบัดของโรงงานต่อไป น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะมีอุณหภูมิสูงและมีน้ำมันปนอยู่ ในการบำบัดทำให้บดักไขมันกับน้ำเสียเอาไว้เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิในน้ำเสีย และทำให้ไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวของบ่อ จากนั้นจะมีการกวาดไขมันออกเป็นระยะๆ ส่วนไขมันที่ตกตะกอนบริเวณก้นบ่อจะมีการขูดลอกก้นบ่อเพื่อนำไปทำปุ๋ย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

2) การบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะบำบัดด้วยการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์และไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ จะเป็นระบบบำบัดที่ใช้เป็นระบบบ่อกังตัว (Stabilization Pond) หรือระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) ประกอบด้วยบ่อดินหรือบ่อกักเก็บน้ำทิ้งจำนวนหลายๆ บ่อ เรียงต่อกัน ซึ่งจะใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก แต่มีการออกแบบไม่ซับซ้อน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

2.15 ปฏิกริยาและขั้นตอนของกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแม้จะผ่านการบำบัดขั้น ปฐมภูมิมาแล้วน้ำเสียก็ยังคงมีปริมาณไขมัน และของแข็งเจือปนอยู่มาก จึงก่อให้เกิดการอุดตันในท่อบำบัดน้ำเสียได้ง่าย ธนวรรณ ติลกการย์ (2553) อ้างถึงใน Lalman และ David (2001) และไขมันและน้ำมันในน้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาในระบบการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือทำให้การกระจายตัวของน้ำเสียและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไม่สม่ำเสมอ และการเกิดหลุดลอยของตะกอนแบคทีเรียออกจากระบบ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดต่ำลง ดังนั้นจึงควรเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มให้เหมาะสม สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันที่ปนมากับน้ำเสียได้กล่าว

โดยทั่วไปปฏิกริยากระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนจะมีความแตกต่างกัน คือ เป็นปฏิกริยาแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือเรียกรวมกันว่าปฏิกริยารีดอกซ์ ซึ่งเป็นปฏิกริยาการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่าง สารที่ให้อิเล็กตรอนหรือ Electron Donation และสารที่รับอิเล็กตรอน หรือ Electron Receiver โดยสารที่มีพลังงานสูงจะเป็นสารที่ให้อิเล็กตรอน ส่วนสารอื่นๆ ในน้ำเสียจะเป็นสารที่รับอิเล็กตรอน แต่ถ้าสารที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจนจะเป็นปฏิกริยาในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน แต่ถ้าสารที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ในเตรท หรือ ซัลเฟต จะเป็นปฏิกริยาในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นระบบที่ใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นระบบที่นิยมในพื้นที่เขตร้อนเนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์เกิดได้ดีกว่าอุณหภูมิต่ำ (มันสิน ต้นสกุลเวศน์, 2542)

กระบวนการบำบัดที่นิยมใช้คือกระบวนการทางชีวภาพโดยการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment) เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพราะน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียค่อนข้างสูง และมีข้อดีดังนี้ (จิรวรรณ ออตยะกุล, 2549)

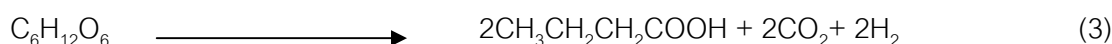
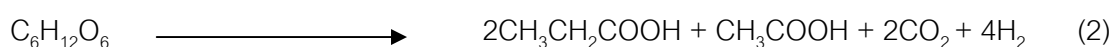
- (1) กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการพลังงานในการทำงานที่ต่ำทำให้ต้องการสารอาหารเสริมต่ำ
- (2) มีปริมาณกากตะกอน (Sludge) น้อย
- (3) มีพลังงานสะอาดเกิดขึ้น คือ ก๊าซมีเทนที่เป็นพลังงานทดแทนพลังงานต่างๆ ได้เช่น น้ำมันเตา ก๊าซหุงต้ม และยังสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้
- (4) สามารถลดพื้นที่ในการติดตั้งเนื่องจากใช้ถังปฏิกริยารขนาดเล็ก

- (5) ไม่จำเป็นต้องใช้มวงวดในการดูแลระบบมากเนื่องจากระบบมีความคงตัวสูงและสามารถตอบสนองต่อสารตั้งต้นที่นำไปเข้าสู่ระบบได้รวดเร็ว หลังจากที่หยุดป้อนสารตั้งต้นดังกล่าวเป็นเวลานาน

โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนมีขั้นตอนดังนี้

1. Hydrolysis คือ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยที่อาศัยแบคทีเรียในระบบเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้เป็นสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง และสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งจะมีแบคทีเรียประเภทสร้างกรด (Acid Forming Bacteria) ที่สร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารเชิงซ้อนภายนอกเซลล์ในขั้นตอนนี้ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าพีเอช ระยะเวลาในการกักเซลล์ และอัตราส่วนของพื้นผิวสัมผัสต่อปริมาตรของสารอินทรีย์ เป็นต้น

2. Acidogenesis คือ ปฏิกิริยาการสร้างกรดอินทรีย์ โดยอาศัยแบคทีเรียประเภทสร้างกรด (Acid Forming Bacteria) ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ให้เป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลสั้นๆที่ระเหยได้ง่ายหรือ Volatile Fatty Acid (VFA) เช่น อะซิติก (CH_3COOH) โพรไพโอนิก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) และบิวทิริก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) โดยชนิดของกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะอยู่กับชนิดของอาหารที่แบคทีเรีนั้นย่อย และความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน ดังนี้

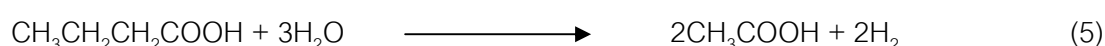
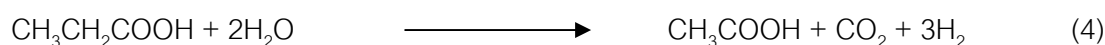


จากสมการที่ 1 มีน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนโดยผ่านกระบวนการ Emden – Meyerhof Pathway ที่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ

จากสมการที่ 2 มีน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายกลายเป็นกรดโพรไพโอนิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนที่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง

จากสมการที่ 3 มีน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายกลายเป็นกรดบิวทิริก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนสูง

3. Acetogenesis เป็นปฏิกิริยาที่จะเปลี่ยนผลผลิตจากการหมักกรด ไปเป็นสารที่เรียกว่า Intermediate Metabolites ซึ่งเป็นสาระสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างมีเทน โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนนั้นต้องการสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่อาจใช้เป็นสารอาหารที่ผลิตมีเทนได้ ดังนั้นแบคทีเรียในขั้นตอนนี้ (Acetoclastic หรือ Acidogen) จะมีความสามารถในการย่อยกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจนโดยการย่อยสลายกรดไพรูโวนิก และกรดบิวทิริก ซึ่งสามารถกระทำได้ที่ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ ตามลำดับ ดังสมการดังต่อไปนี้

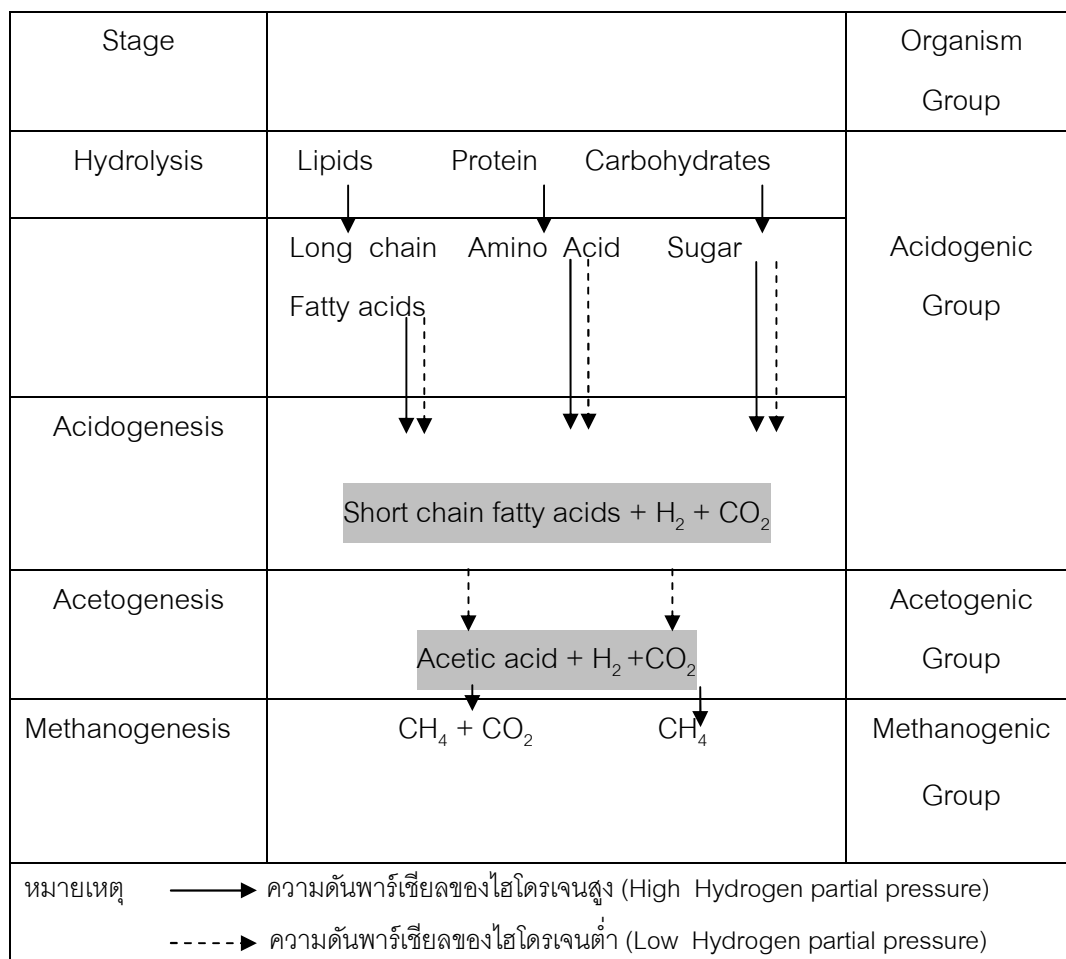


ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะสภาวะที่ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเท่านั้น เนื่องจากกรดไขมันระเหยไม่สามารถถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนที่สูง เนื่องจากปฏิกิริยา Hydrolysis, Acidogenesis และ Acetogenesis มักจะเกิดต่อเนื่องกันไป จึงเรียกรวมกันว่า กระบวนการสร้างกรดอินทรีย์ (Acidification) และเรียกแบคทีเรียในปฏิกิริยานี้ว่าเป็นแบคทีเรียสร้างกรด (Acid Forming Bacteria)

4. Methanogenesis คือ ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนหรือ Methanogen (Strictly Anaerobic Bacteria) ที่เปลี่ยนผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากปฏิกิริยา Acidogenesis คือ กรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้เป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการดังต่อไปนี้



นอกจากกรดอะซิติก และไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียยังสามารถใช้ เมทานอล และกรดฟอร์มิก เป็นต้นสารตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทนได้ ซึ่งแสดงขั้นตอนกลไกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา: Sam-soon และคณะ (1990)

2.16 แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

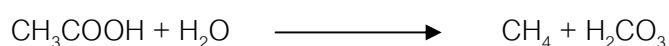
1. Acid Forming Bacteria

กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรด (Acid Forming Bacteria) จัดเป็นแบคทีเรียประเภท Facultative Anaerobic Bacteria คือ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนอิสระในปฏิกิริยาการสร้างกรดแต่สามารถทนสภาวะที่มีออกซิเจนในปริมาณน้อยได้ ซึ่งแบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลงได้ โดยแบคทีเรียดังกล่าวจะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลงจนแบคทีเรียสามารถดูดซึมได้ ซึ่งชนิดของเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ที่จะถูกย่อยด้วย จากนั้นแบคทีเรียจะมีกลไกเปลี่ยนสารที่ดูดซึมให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยได้ เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก และกรดไพรูโวนิก และใช้กรดระเหยดังกล่าว เป็นสารอาหารในมีการสร้างเซลล์ใหม่ แต่กรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อระบบไม่ใช้ออกซิเจนได้หากสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) ของระบบไม่เพียงพอ เนื่องจากจะส่งผลให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ซึ่งถ้าระบบมีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.4 จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงได้

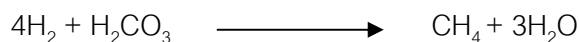
2. Methane Producing Bacteria

กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methane Producing Bacteria) จัดเป็นแบคทีเรียประเภท Obligate Anaerobic Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียไม่ต้องการออกซิเจน ถ้ามีปริมาณออกซิเจนเพียงเล็กน้อยก็สามารถเกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ และส่งผลให้ไม่สามารถสร้างก๊าซมีเทนตามมาด้วย โดยสามารถ แบ่งประเภทของแบคทีเรียกลุ่มนี้ตามลักษณะของการใช้สารตั้งต้น (Substrate) ในการสร้างก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. Obligate Acetoclastic Methanogen สามารถใช้กรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนได้เพียงอย่างเดียว ดังสมการดังต่อไปนี้



2. Obligate Hydrogenotrophic Methanogen ใช้ไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทน ดังสมการดังต่อไปนี้



3. Hydrogenotrophic หรือ Acetoclastic Methanogen เป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้ได้ทั้งกรดอะซิติก และไฮโดรเจนในการสร้างก๊าซมีเทนได้ แต่แบคทีเรียประเภทนี้มักใช้ไฮโดรเจนมากกว่า โดยมีอัตราการเจริญเติบโตที่จำเพาะ (Specific Growth Rate) และมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างมีเทนคือ 6.8 ถึง 7.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นช่วงพีเอชที่แคบ จึงส่งผลให้เกิดปัญหาในการควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อกระบวนการดังกล่าว

2.17 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1. พีเอช (pH)

ค่าพีเอชในระบบจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะในระบบไร้อากาศได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชที่เกิดจากการมีกรดไขมันระเหยในระบบอยู่มากหรือน้อย และควรมีการแก้ไขระบบเมื่อระบบมีค่าพีเอชลดต่ำลง เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนนั้นต้องอยู่ในช่วงของพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.8 ถึง 7.2 (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2545) โดยในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่มคือ

1.1 แบคทีเรียชนิดสร้างกรด (Acid Forming Bacteria) แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียที่มีค่าพีเอชช่วง 5.0 ถึง 8.0 และสามารถทนได้ถึง 4.5

1.2 แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน (Methane Producing Bacteria) แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียที่มีค่าพีเอชช่วง 6.8 ถึง 7.2 แต่จะไม่สามารถทนอยู่ได้ถ้ามีค่าต่ำกว่า 5

จากค่าพีเอชข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพีเอชในระบบควรจะมีค่าอยู่ในช่วงพีเอชที่เป็นกลางระบบถึงจะดี แต่ถ้าระบบมีพีเอชที่ไม่เป็นกลางแล้วนั้น ควรจะมีการปรับพีเอชให้อยู่ในที่เหมาะสมโดยการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาว หรือ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) หรือถ้าไม่เติมสารเคมีดังกล่าวอาจใช้การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบ (ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนออกจากที่ปนอยู่กับปริมาณก๊าซชีวภาพลดลง) แต่การกระทำเช่นนี้จะสามารถเพิ่มค่าพีเอชได้ชั่วคราวเท่านั้น เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกสร้างเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าพีเอชลดลง

เท่าเดิม (มันซิน ตันทูลเวศม์, 2542) โดยระบบหลักที่ใช้ในการควบคุมพีเอชคือ ความสมดุลของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไบคาร์บอเนต

2) สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพต่างในระบบไม่ใช้ออกซิเจนจะอยู่ในรูปไบคาร์บอเนตโดยมีความสำคัญคือมี หน้าที่เป็นตัวสะเทินคาร์บอนไดออกไซด์และกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อให้พีเอชเป็น กลาง ซึ่งปริมาณไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมไม่ควรน้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าระบบมีปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์สูงซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ระบบจะมีความต้องการสภาพต่าง อยู่ในช่วง 2,000 ถึง 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตโดยสภาพต่างจะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียด้วยเนื่องจาก ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นมาก ก็จะมีโอกาสที่จะมีปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นได้ และความต้องการสภาพต่างของระบบก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยสภาพ ต่างของระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนควรอยู่ในช่วง 1,500 ถึง 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันซิน ตันทูลเวศม์, 2542) แต่ปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาคืออัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้น สภาพต่างไบคาร์บอเนต (VFA:ALK) ซึ่งอัตราส่วนระหว่างค่าดังกล่าวถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบ อยู่ในสภาวะที่ดี ถ้าค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะล้มเหลว ซึ่งหมายถึง ค่าพีเอชจะลดลง อย่างรวดเร็วแม้ว่าปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

3) กรดไขมันระเหยได้ (Volatile Fatty Acids)

3.1) กรดอะซิติก (Acetic Acid)

กรดไขมันระเหยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างกรด โดยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงและสามารถละลายน้ำได้เพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้น ได้ง่ายขึ้นโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยใน รูปกรดอะซิติกประมาณ 200 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยกรดอะซิติกจะได้มาจากสารประกอบอินทรีย์ ประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งคาร์โบไฮเดรตดังกล่าวเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซมีเทน จะเห็นได้ว่า กรดอะซิติกแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจนจะใช้เป็นสารตั้งต้น (Substrate) หลักถ้าระบบทำงานได้ดี และระบบจะต้องมีปริมาณกรดดังกล่าวในน้ำเสียน้อยลงเมื่อออกจากระบบ โดยระบบยังสามารถทำงาน ได้ดีที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติกสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณ

ของกรดไขมันกับความเข้มข้นของกรดไขมันจะมีความแตกต่างกันโดย ความเข้มข้นของกรดไขมันจะมีความสำคัญมากกว่าปริมาณเนื่องจากถ้าความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดการเสียสมดุลของระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ใช้ออกซิเจน จนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบคทีเรียในระบบจนเกิดความล้มเหลวในที่สุด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

3.2) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid)

กรดไขมันระเหยในรูปโพรไพโอนิกนั้นจะได้มาจากตัวกลางของกระบวนการเมทาบอลิซึมของสารอินทรีย์ น้ำตาล โปรตีน โดยในระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนนั้นการส่งผ่านของสารตั้งต้น (Substrate) จะต้องไม่ถูกขัดขวางจากกรดโพรไพโอนิก ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกรดโพรไพโอนิกมีความสัมพันธ์กับระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยกรดโพรไพโอนิกสามารถเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนได้ เมื่อความดันก๊าซไฮโดรเจนต่ำกว่า 10^{-4} บรรยากาศ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการลดลงของกรดโพรไพโอนิกจะเป็นผลดีต่อระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกรดโพรไพโอนิกสามารถไปยับยั้งการเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนได้ แต่การเพิ่มขึ้นของกรดโพรไพโอนิกก็ไม่ได้หมายความว่าในระบบจะมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีปัจจัยอื่นที่เกิดขึ้นร่วมได้ โดยปริมาณกรดโพรไพโอนิกในระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถมีได้มากถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจะไม่ทำให้เกิดการยับยั้งขึ้นในระบบ (Speece, 1996)

4) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียกลุ่มไซโคฟิลิก (Psychophilic) จะอยู่ในช่วง 5 ถึง 15 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของกลุ่มแบคทีเรียมีไซฟิลิก (Mesophilic) 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของกลุ่มแบคทีเรียเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) 55 ถึง 65 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่ระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะอยู่ในช่วงมีไซฟิลิก และถ้าอุณหภูมิในระบบต่ำกว่านี้แบคทีเรียในระบบจะย่อยสลายสารอินทรีย์หรือสารอาหารในระบบได้ช้าลงเพราะใช้เวลาในการสัมผัสนาน ผลที่ตามมาคือจะทำให้ระบบมีปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างกรดจะได้รับผลกระทบที่ต่ำกว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ทำให้ระบบต้องการสภาพต่างมากขึ้นเพื่อมาสะท้อนความเป็นกรด จึงส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชในระบบ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในระบบ เพราะถ้าอุณหภูมิลดลงแล้วก็จะส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่นๆในระบบได้ สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบไม่ใช้ออกซิเจนในประเทศไทยจะอยู่ในช่วง 25 ถึง 37 องศาเซลเซียส (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

5) สารพิษ (Toxicant)

สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะแบคทีเรียชนิดที่สร้างมีเทนนั้นมีหลายชนิด ฉะนั้นความรุนแรงที่มีต่อแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 สารเป็นพิษบางตัวเป็นอาหารที่จำเป็นแต่ต้องมีปริมาณที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจน

โลหะหนัก	ความเข้มข้น (มก./ล.)
Arsenic (As)	0.5 - 1.0
Cadmium (Cd)	0.01 - 0.02
Chromium (Cr ⁺⁶)	1.0 - 1.5
Copper (Cu)	0.5 - 1.0
Nickle (Ni)	1.0 - 2.0
Zinc (Zn)	0.5 - 1.0

ที่มา: Mignone (2005)

6) พิษของสารอินทรีย์

สารอินทรีย์บางชนิดมีผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ โพลีฟีนอล(Polyphenols) และไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันที่มีโมเลกุลสายยาว(Long Chain Fatty Acids) เช่น กรดโพรพิโอนิก และสารประกอบฟีนอล(Phenolic Compound) ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะยากต่อการย่อยสลายและเป็นพิษสามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ (Gelegenis และคณะ, 2007)

7) พิษของซัลไฟด์

ซัลไฟด์ถ้ามีปริมาณมากไปในระบบไร้ออกซิเจนจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน แต่ถ้าในระบบมีโลหะหนักปนอยู่ซัลไฟด์จะจับกับโลหะหนักแล้วตกตะกอนลงมา ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของซัลไฟด์ลดลง ค่าของซัลไฟด์ที่มีผลต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนอยู่ในช่วง 200 ถึง 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าในระบบมีพีเอชต่ำกว่า 7 รูปของซัลไฟด์จะอยู่ในรูปของ $H_2S_{(sol)}$ มากขึ้นซึ่งมีอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรีย ดังนั้น ในระบบจึงควรรักษาพีเอชให้อยู่ในระดับสูงเพื่อป้องกันความเป็นพิษของซัลไฟด์ (McCarty, 1964)

8) การกวนผสม (Mixing)

การกวนผสมจะส่งผลดีต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากแบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารมากขึ้น แต่การกวนผสมที่รุนแรงอาจมีผลต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนในระบบได้ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการกวนผสมที่รุนแรง (Rapid Mixing) จากงานวิจัยของ Gerardi (2003) กล่าวว่าในระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนนั้นควรหลีกเลี่ยงการกวนผสมที่รุนแรงที่อาจก่อให้เกิดการหลุดออกของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งการหลุดออกนั้นอาจหมายถึงการล้มเหลวของระบบ

2.2 การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Biochemical Methane Potential (BMP)

การที่จะนำการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปใช้กับน้ำเสียจากกิจกรรมใดๆ ควรจะต้องทำการทดสอบค่า BMP ก่อนเพื่อเป็นการประเมินศักยภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นๆ ที่นำมาบำบัดด้วยระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตเป็นก๊าซมีเทนซึ่งอยู่ในรูปของกรัมซีโอดีหรือกรัมของแข็งระเหย โดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเหมาะสมกับสภาพอากาศในภูมิภาคประเทศไทย เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบส่วนใหญ่จะเป็นพวก Mesophilic Microorganism เช่น ประเทศไทย โดยค่า BMP สามารถคำนวณได้จาก (วีรนุช หลาง, 2551)

$$\text{BMP} = \frac{\text{ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด (มิลลิลิตร)}}{\text{กรัมของแข็งระเหยหรือกรัมของซีโอดี}}$$

BMP จะใช้ Serum Vial Technique ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในขวดซีรัมจนปริมาณก๊าซเข้าสู่ช่วง Steady State และนำปริมาณก๊าซที่เกิดมาพลอตกราฟเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และตรวจวิเคราะห์หาก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas Chromatography

BMP สามารถใช้ประเมินจำนวนของ Organic Carbon ที่แบคทีเรียจะเปลี่ยนคาร์บอนจากสารดังกล่าวเพื่อสร้างก๊าซมีเทน และสามารถประเมินค่าศักยภาพของระบบจากการประสิทธิผลของปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราการย่อยสลายสารตั้งต้นที่เกิดขึ้นในระบบ (Moody และคณะ, 2009)

2.3 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation)

เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจากเซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic Cell) โดยใช้หลักการการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) ซึ่งใช้สารเคมี (Coagulant) ในการตกตะกอนคอลลอยด์ซึ่งคอลลอยด์มีอนุภาคเล็กมาก จนไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยตนเอง โดยอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดตั้งแต่ 10^{-6} ถึง 10^{-3} มิลลิเมตร คอลลอยด์ที่มีความเสถียรภาพจะสามารถแขวนลอยอยู่ได้และไม่ตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลกเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากเมื่อเทียบกับน้ำหนัก นอกจากนี้เมื่อคอลลอยด์อยู่ในน้ำจะมีประจุประจําตัวจึงสามารถแบ่งคอลลอยด์ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Hydrophilic Colloid คอลลอยด์ประเภทนี้จะชอบน้ำมีแรงดึงดูดกับน้ำได้ดีมีประจุบวกซึ่งส่งผลทำให้คอลลอยด์แยกออกจากน้ำได้ยาก ยกตัวอย่างคอลลอยด์ ได้แก่ สบู่ แป้ง และสารซักฟอกที่สามารถละลายน้ำได้ หรือสารจําพวกสารลดแรงตึงผิว

2. Hydrophobic Colloid เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่พบในน้ำที่มีความขุ่นโดยทั่วไปซึ่งคอลลอยด์ประเภทนี้ไม่ชอบน้ำจึงไม่มีแรงดึงดูดกับน้ำ แต่ความเป็นเสถียรภาพจะขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าที่พื้นผิว ซึ่งพื้นผิวของคอลลอยด์ส่วนใหญ่จะเป็นประจุลบ เช่น หยดน้ำมัน จึงทำให้เกิดแรงผลักดันระหว่างอนุภาคเนื่องจากประจุบนอนุภาคเป็นประจุชนิดเดียวกัน จึงทำให้อนุภาคดังกล่าวมีเสถียรภาพสูง

สำหรับการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ (Destabilization) สำหรับคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพนั้น จะมีแรงผลักรมากกว่าแรงดึงดูด แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ เรียกว่า Vander Waals Force เป็นแรงที่เมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้าใกล้กันแล้วจะเกิดแรงดึงดูดกันแต่แรงนี้จะมีสภาพอ่อนมาก ส่วนแรงผลักรจะเกิดจากประจุไฟฟ้าระหว่างอนุภาคคอลลอยด์นั้นๆ ทั้งนี้ผลลัพธ์ของแรงดึงดูดและแรงผลักรจะเกิดจากระยะห่างระหว่างอนุภาคนั้นเอง ดังนั้นการที่จะทำให้คอลลอยด์สามารถเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Flocculation) ได้นั้นจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำ และทำให้คอลลอยด์ในน้ำนั้นเคลื่อนที่มารวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้ โดยอาศัยกลไก 4 แบบดังนี้ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

(1) การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer)

เป็นการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของคอลลอยด์ เมื่อมีไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของคอลลอยด์มาออกันบริเวณใกล้ผิวประจุของคอลลอยด์จะทำให้อำนาจของประจุเดิมของคอลลอยด์ลดลง หรือเป็นการลดความหนาของชั้นประจุเดิมของคอลลอยด์ เช่น การลดความหนาของชั้นประจุลบที่มีอยู่เดิม ทำให้มีประจุบวกสามารถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้บริเวณผิวประจุคอลลอยด์ได้มากขึ้น ทำให้คอลลอยด์สามารถเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้นเกิดเป็นกลุ่มก้อนได้

(2) การดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization)

กลไกการดูดติดผิว คือ การที่ไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับประจุของคอลลอยด์สามารถดูดติดผิวของคอลลอยด์นั้นๆ จนสามารถเปลี่ยนประจุบนคอลลอยด์ได้ ตัวอย่างเช่น การเติมสารที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ เช่น เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ซึ่งเฟอร์ริกคลอไรด์จะเป็นตัวปรับปรุงประจุบนพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนทำให้ประจุบนพื้นผิวดังกล่าวกลายเป็นกลาง และทำให้แรงผลักดันประจุอ่อนแรงลงจนสามารถเคลื่อนตัวมาเกาะรวมกันจนเป็นตะกอนขนาดเล็ก ที่มีขนาด 10^{-9} ถึง 10^{-7} มิลลิเมตร

จากนั้นเฟอร์ริกคลอไรด์จะเป็นตัวรวมตะกอนที่มีขนาดเล็กจากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นโดยมีขนาดมากกว่า 10^{-7} มิลลิเมตรซึ่งลักษณะตะกอนเช่นนี้มีข้อดีคือสามารถตกออกได้ง่ายและรีดน้ำออกได้เพราะมีขนาดใหญ่และหยาบ(กองการจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ, 2551)

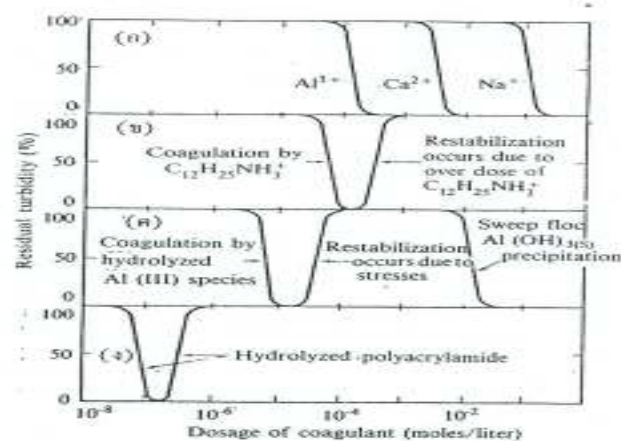
(3) การใช้ผลึกสารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (Sweep Coagulation)

การเติมสารโคแอกกูแลนต์ เช่น ปูนขาว หรือ สารส้ม ซึ่งจะทำให้เกิด CaCO_3 และ $\text{Al}(\text{OH})_3$ มีลักษณะเป็นวุ้นสีขาว และไม่ละลายน้ำ ซึ่งวุ้นที่เกิดขึ้นจะเปรียบเสมือนเป็นเป้าสัมผัสของสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียทำให้สามารถรวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้ จึงถือเป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ซึ่งการเติมสารโคแอกกูแลนต์ของวิธีนี้จะแตกต่างจาก 2 กลไกแรก คือ จะต้องเติมสารโคแอกกูแลนต์ให้มีความเหมาะสม (Optimum Dosage) โดยน้ำที่มีความขุ่นน้อยจะมีความต้องการสารโคแอกกูแลนต์มาก ส่วนน้ำที่มีความขุ่นมากจะมีความต้องการสารโคแอกกูแลนต์น้อย เนื่องจากน้ำที่มีความขุ่นมากมีโอกาสสัมผัสกับสารโคแอกกูแลนต์ได้มาก

(4) การใช้สารอินทรีย์โพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging)

สามารถอธิบายได้ดังนี้ การเกาะติดของสารพอลิเมอร์บนอนุภาคคอลลอยด์ การเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดจากการที่อนุภาคคอลลอยด์มีพอลิเมอร์เกาะติดอยู่และที่ปลายสารพอลิเมอร์สามารถจับกับอนุภาคอื่นๆ ได้อีก แต่ถ้าปลายสารพอลิเมอร์กลับมาจับที่คอลลอยด์เดิมก็จะทำคอลลอยด์นั้นกลับมามีเสถียรภาพอีกได้

โดยสามารถเปรียบเทียบการใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์จากกลไกทั้ง 4 ดังภาพที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า (ก) จะใช้สารเคมีมากที่สุด โดยเป็นกลไกการลดความหนาของชั้นกระจายด้วย Al^{3+} , Ca^{2+} และ Na^+ ส่วน (ง) มีความต้องการใช้โพลิเมอร์ในการทำลายเสถียรภาพน้อยที่สุด ซึ่งเป็นการใช้โพลิเมอร์เป็นตัวเชื่อมโยง (สะพาน) ให้อนุภาคคอลลอยด์มาเชื่อมกัน

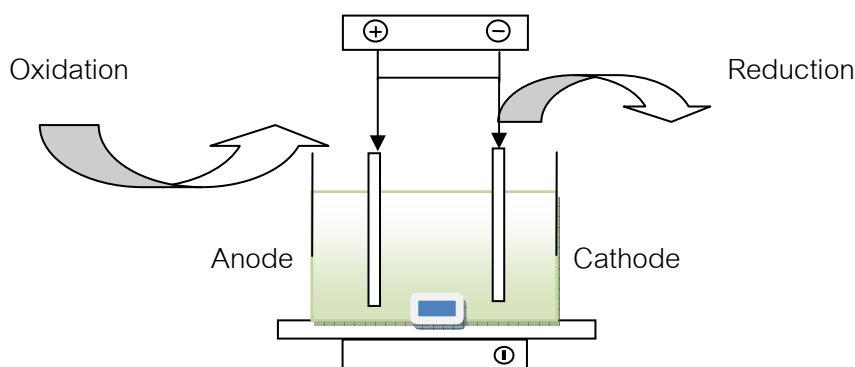


ภาพที่ 2.2 การใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์

ดังนั้นการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ด้วยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะอาศัยวิธีทางไฟฟ้าเคมีที่ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญดังนี้

2.3.1 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell)

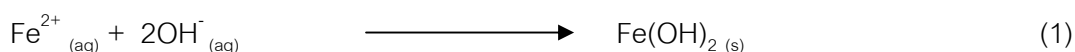
ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่หนึ่ง สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ ส่วนที่สอง คือ ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และส่วนที่สาม คือ อุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นคัลย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ซึ่งอิเล็กโทรดสองขั้วจะจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยขั้วหนึ่งทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอน เรียกว่าขั้วแอโนด (Anode) หรือเรียกว่าครึ่งเซลล์แอโนดิก (Anodic Half Cell) จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน และอีกขั้วหนึ่งทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน เรียกว่า ขั้วแคโทด (Cathode) หรือเรียกว่าครึ่งเซลล์แคโทดิก (Cathodic half Cell) จะทำปฏิกิริยารีดักชัน ดังภาพที่ 2.3 โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์สามารถอธิบายได้ตามชนิดของขั้วไฟฟ้างดังนี้



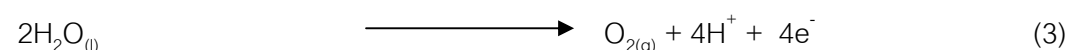
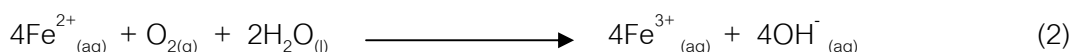
ภาพที่ 2.3 เซลล์อิเล็กโทรไลต์

ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจากขั้วเหล็ก (Iron) แสดงได้ดังสมการที่ (1) ถึง (4) (Chen, 2004)

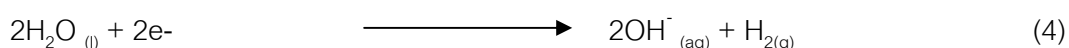
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด (สารละลายเป็นเบส)



ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด (สารละลายเป็นกรด)



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



จากปฏิกิริยา(1)ถึง(4)สามารถอธิบายได้ดังนี้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดหรือขั้วบวกนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดการสึกกร่อนของแผ่นเหล็กและละลายออกมาในรูปของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) และปฏิกิริยาการเกิดก๊าซออกซิเจนได้ ดังสมการ (3) ส่วนที่ขั้วลบหรือขั้วแคโทดนั้นจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และจากปฏิกิริยารวม(ปฏิกิริยารีดอกซ์) จะทำให้เกิด $\text{Fe}(\text{OH})_n$ เมื่อ $n=3$ หรือ $n=3$ จะขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเบส-เบสของสารละลาย โดยสารดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับ จะแขวนลอยอยู่ในลักษณะเจล สามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้โดยเกิดการตกตะกอนบนพื้นผิวของสารดังกล่าว และฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากขั้วลบจะเป็นตัวพาสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ให้แยกออกไปและลอยขึ้นบนผิวน้ำ

Fe^{3+} จะเกิดจากปฏิกิริยาต่อเนื่องในน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในน้ำเสีย โดยถ้าพีเอชของน้ำเป็นกรดจะทำให้เกิด $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ดังสมการดังต่อไปนี้



จากปฏิกิริยาในสมการที่ (5), (6) และ (7) จะเกิดไฮดรอกไซด์ที่มีประจุทั้งบวกและลบ ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้ขั้วเหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด

2.3.2 หลักการออกแบบรูปแบบเซลล์อิเล็กโทรไลต์

- 1) ออกแบบให้ง่ายที่สุด และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด
- 2) ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้อย่างสมบูรณ์
- 3) ออกแบบให้มีการกระจายความต่างศักย์ไฟฟ้าสม่ำเสมอ ทั่วพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรด
- 4) ระยะห่างอิเล็กโทรดน้อย เพราะระยะห่างมาก ศักย์ไฟฟ้าสูง ทำให้สิ้นเปลืองไฟฟ้า
- 5) การเลือกวัสดุที่ใช้บรรจุสารอิเล็กโทรไลต์ ควรจะคงทนและไม่สึกกร่อน
- 6) การเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรดนั้น ต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้น ให้สอดคล้องกับความต้องการของระบบบำบัดและปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้น เช่น แกรไฟต์ไม่นิยม

นำมาทำอิเล็กโทรดมากนักรื่องจากจะถูกออกซิไดซ์ด้วย CO_2 และมีราคาแพง

7) การวางอิเล็กโทรดนั้นมี 2 แบบ ขึ้นกับความต้องการของวิธีที่ใช้ในการบำบัด ถ้าต้องการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทำให้ลอยควรวางอิเล็กโทรดในแนวตั้งเพื่อให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เป็นตัวพาสารแขวนลอยดังกล่าวขึ้นมาพร้อมกับตะกอนเบาที่เกิดขึ้น แต่ถ้าต้องการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีการตกตะกอนควรวางอิเล็กโทรดในแนวนอนโดยให้ขั้วแอโนดอยู่ด้านล่าง (กัญทมาศ สุทธิเรืองวงศ์, 2539)

2.3.3 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

ขั้วไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบของแต่ละครึ่งเซลล์ไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยต่อเชื่อมระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า สามารถแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ ขั้วที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Active Electrodes) ขั้วที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Inert Electrodes) และขั้วแก๊ส (Gas Electrodes) โดยวัสดุที่นำมาทำเป็นขั้วไฟฟ้านั้นมีหลายชนิด ได้แก่ เหล็ก อะลูมิเนียม ไททาเนียม แพลทินัม และ แกรไฟต์ เป็นต้น โดยขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ขั้วเหล็ก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เหล็ก (Steel) เป็นโลหะหนักที่มีจุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง มีความว่องไวปานกลาง มีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 และมีเลขออกซิเดชันสูงๆ แต่ไม่เสถียรและยังเป็นตัวออกซิไดส์อย่างรุนแรงอีกด้วย ซึ่งเมื่อทิ้งไว้ในที่มีความชื้นจะเกิดสนิมเกิดขึ้น (สนิม) เมื่ออยู่ในสารละลายเหล็กจะอยู่ในรูปของ Fe^{2+} และ Fe^{3+} ปนกันเหล็กที่มีเลขออกซิเดชัน +2 จะมีความเสถียรมากและสามารถเกิดเกลือต่างๆ กับแอนไอออนที่มีความเสถียรได้ ถ้าสารละลาย Fe^{2+} ถูกออกซิไดส์ด้วยอากาศจะกลายเป็น Fe^{3+} ที่อยู่ในสารละลายของน้ำเป็น Hydrated Ion เนื่องจาก Fe^{3+} มีขนาดไอออนเล็กและมีประจุมากจึงแสดงสมบัติเป็นกรด ซึ่งทั้ง Fe^{2+} และ Fe^{3+} ทำปฏิกิริยากับสารที่ให้อิเล็กตรอนและเกิดสารเชิงซ้อนได้ ซึ่งข้อดีของการใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด คือ หาซื้อได้ง่าย มีราคาถูกกว่าวัสดุชนิดอื่น และมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายโลหะหนักได้ดี ปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสที่ขั้วแอโนดจะเกิดการกัดกร่อนเหล็กโดยมีการปลดปล่อยไอออนออกมาในรูปของ Fe^{2+} ส่วนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดจะทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่ทำให้น้ำเสียมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณการตกตะกอนของเหล็กจึงขึ้นอยู่กับปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนที่มาจากขั้วแคโทด (อภิรดี สุนทรภา, 2549)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารต่างๆน้ำเสียในกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

1. แรงแเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้ามีส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าภายนอกที่ให้แก่ระบบ
2. การเคลื่อนที่ของประจุไอออน ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของไอออนขึ้นอยู่กับขนาดและประจุบนไอออน
3. อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิในการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของสารละลาย โดยที่ความสามารถในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ต่อการเพิ่มของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส
4. พื้นที่สัมผัสของขั้วกระแสไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดของผิวสัมผัสใหญ่จะดีสำหรับการถ่ายเทและรับอิเล็กตรอน โดยที่กระแสไฟฟ้าจะมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าน้อย กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้น
5. ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า จำนวนกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระยะทางที่ไอออนเคลื่อนที่ระหว่างขั้วไฟฟ้า ถ้ามีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าน้อยกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้น
6. ความเข้มข้นของสารละลายนำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายนำไฟฟ้ามีส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายนำไฟฟ้านั้นๆ (ปริเมษ เจริญนพคุณ, 2545)

2.3.5 ข้อดีของการใช้การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในน้ำเสีย

1. ใช้เครื่องมือธรรมดาที่สามารถเดินระบบได้ง่าย
2. กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า สามารถลดกลิ่น สีสได้
3. สลัดจ์ที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนได้เร็ว รีดน้ำออกได้ง่าย และเกิดสลัดจ์ปริมาณน้อยกว่าการใช้สารเคมีในการตกตะกอน
4. ตะกอนที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับตะกอนที่เกิดจากการใช้สารเคมีแต่จะมีขนาดใหญ่กว่าและคงตัวกว่า ทำให้สามารถกำจัดได้ง่ายโดยสามารถตักออกได้ และกรองได้เร็วกว่า
5. น้ำทิ้งจากกระบวนการ มีค่าของแข็งละลายนำน้อยกว่าการใช้สารเคมีในการตกตะกอน ซึ่งทำให้ค่าการบำบัดน้ำสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าต่ำ

6. ไม่ต้องใช้สารเคมี จึงไม่มีปัญหาการใช้สารเคมีในการปรับค่าพีเอชเมื่อเกิดปัญหาเนื่องจากการเติมสารเคมีที่มากเกินไป

7. ฟองก๊าซขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจะเกาะกับของแข็งแขวนลอยและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้สามารถกำจัดออกได้ง่าย

8. บำรุงรักษาง่ายเนื่องจากใช้เครื่องมือธรรมดาไม่ซับซ้อน

9. สามารถใช้ได้ทุกที่แม้ในที่ไม่มีไฟฟ้า โดยสามารถใช้แผงผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับแบตเตอรี่และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบ ก็เพียงพอต่อการเดินระบบขนาดเล็ก (สมพงษ์ ธีรภูมิศาสตร์สุวรรณ, 2551)

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จันทพรพร ผลการกุล และคณะ (2553) ทำการศึกษาค่าพีเอชที่มีผลต่อการบำบัดน้ำมัน (Oil) ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยทำการปรับค่าพีเอชก่อนทำการทดลอง พบว่าพีเอช 5 สามารถกำจัดน้ำมันได้มากกว่าน้ำเสียที่ไม่ได้ปรับพีเอช อยู่ 5 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า เมื่อทำการจ่าย ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.045 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 39.85 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ อะลูมิเนียม 5 คู่ เป็นขั้วอิเล็กโทรด ระยะห่างระหว่างขั้ว 1 เซนติเมตร พื้นที่ขั้วที่ใช้ 440 ตารางเซนติเมตร โดยใช้น้ำเสียปริมาณ 1.5 ลิตร ที่บรรจุในบีกเกอร์ ที่มีขนาด 2 ลิตร จะสามารถกำจัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียได้มากที่สุด คือ สามารถกำจัดค่าน้ำมัน(Oil) ได้ 72 เปอร์เซ็นต์ กำจัดซีไอดี(COD)ได้ 64เปอร์เซ็นต์กำจัดค่าของแข็งแขวนลอย(SS)ได้53เปอร์เซ็นต์ และสามารถกำจัดค่าของแข็งทั้งหมด(TS)ได้43เปอร์เซ็นต์

สมบัติ เชาวพูนผล (2546) ได้ศึกษาการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในการจับ สารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แป้ง โปรตีน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และน้ำตาลโมเลกุลคู่ พบว่าการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะทำให้เกิด โลหะไฮดรอกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ(Adsorbent) หรือเป็นตัวช่วยในการตกตะกอน(Co-precipitation) มีลักษณะเป็นเจล (Gelatin) ที่สามารถดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไฮโดรคาร์บอนสายยาว และสารประกอบฟีนอลิก เช่น แทนนินได้ และทำให้เกิดเป็นตะกอนได้ แต่จะไม่ดูดซับสารที่มี โมเลกุลขนาดเล็กๆ เช่น น้ำตาล และแอลกอฮอล์ เป็นต้น

สุดสิริ วิฑูรย์วัฒน์ (2552) ทำการทดลองโดยการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ใช้น้ำมันปาล์ม มรกตที่มีความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรเติมสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Sodium Dodecyl Sulphate, SDS) โดยมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0.008 โมลต่อลิตรทำการปั่นกวนตัวอย่าง 125 รอบต่อนาที นาน 30 นาที เพื่อนำไปทำการทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะโดยทั่วไปของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเพื่อหาขนาดอนุภาคน้ำมันเริ่มต้น การทดลองที่ 2 ศึกษาการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันด้วยการทำลายเสถียรภาพโดยใช้วิธีจาร์เจสต์ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีและค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอนุภาคน้ำมันคงตัวที่แขวนลอยในน้ำเสีย ผลการทดลองที่ 1 พบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ($D_{mean}, \mu m$) 10.33 ไมครอน และมีค่าซีไอดี (COD) 13,860 มิลลิกรัมต่อลิตร จากขนาดอนุภาคน้ำมันเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่าน้ำเสียมีลักษณะเป็นอิมัลชันชั้นสอง (Secondary emulsion) คือ มีขนาดอนุภาคน้ำมันเล็กกว่า 20 ไมครอน

การทดลองที่ 2 พบว่า การเติมเพอร์ริคคลอไรด์ 1 กรัมต่อลิตร จะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชเริ่มต้น 5 ถึง 6 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด ซีโอดี 90 เปอร์เซ็นต์

สุรพงศ์ นนทประเสริฐ (2553) ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากไบโอดีที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น โดยวิธีการทำ Biochemical Methane Potential (BMP) โดยทำการหมักในขวดซีรัมที่มีขนาด 125 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 80 วัน ซึ่งทำการเปรียบเทียบไบโอดีที่ไม่ผ่านและผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่า การบำบัดเบื้องต้นด้วยไอน้ำใช้เวลา 60 นาที สามารถละลายสารอินทรีย์ในไบโอดีออกมาได้มากที่สุด โดยดูจากค่าซีโอดีละลาย (Soluble COD) ที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 5,634 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนไบโอดีที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นพบว่ามีค่าซีโอดีละลาย อยู่ในช่วง 1,176 ถึง 1,980 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีละลายที่มีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพของไบโอดีที่ไม่ผ่านและผ่านการบำบัดเบื้องต้น โดยมีก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 82.57 มิลลิลิตรต่อกกรัมของแข็งระเหย ในไบโอดีที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น และ 373.46 มิลลิลิตรต่อกกรัมของแข็งระเหย ในไบโอดีที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยไอน้ำ

อมรรักษ์ ชูทอง (2551) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ที่พิจารณาร่วมกับความคุ้มค่าทางด้านทางเศรษฐศาสตร์ และการนำไปใช้ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าพลังงานไฟฟ้า 9.1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (kW/m^2) ใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด โดยใช้พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 54 ตารางเซนติเมตร เวลา 30 นาที โดยใช้ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 2.5 เซนติเมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 7.16 m^3 และพบว่าการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบขนาน และการใช้การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในน้ำเสีย สามารถทำให้สารประกอบอินทรีย์มีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงและลดค่าสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ซึ่งเหมาะสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ เพราะสามารถลดระยะเวลาในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้

Ayhan และ Mahmut (2006) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตนมโดยใช้วิธีการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ากับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี (COD) ค่าน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ในปริมาณสูง โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ความเป็นกรดเบส เวลาในการบำบัด และค่าซีโอดี โดยใช้การทดลองกับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 18,300 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณน้ำมันและไขมัน เท่ากับ 4,570 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วเหล็ก ผลการศึกษา พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม คือ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่พีเอช 7 เวลาใน

การทำปฏิกิริยา 1 นาที่ สามารถลดค่าซีไอดีได้ 98 เปอร์เซ็นต์ และลดค่าไขมันและน้ำมันได้ 99 เปอร์เซ็นต์

Azbar และคณะ (2007) ศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันมะกอกที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบในน้ำเสียโดยใช้วิธีการรวมตะกอนน้ำเสียด้วยสารเคมีที่เรียกว่า Coagulation-Flocculation โดยใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต (Al_2SO_4) เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) และเฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) เป็นสารโคแอกกูแลนทีในการปรับคุณภาพน้ำเสีย ก่อนการวิเคราะห์หาคักยภาพของสารอินทรีย์เพื่อสร้างมีเทน หรือ เรียกว่า Biochemical Methane Potential (BMP) พบว่าน้ำเสียน้ำมันมะกอกที่ไม่มีเติมสารเคมีสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 90 มิลลิลิตร เมื่อเติม Al_2SO_4 ลงไปในน้ำเสียสามารถเพิ่มแก๊สชีวภาพได้ 100 มิลลิลิตร เมื่อเติม $FeCl_3$ สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 111 มิลลิลิตร และเมื่อเติม $FeSO_4$ สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้เพิ่มขึ้นเป็น 124 มิลลิลิตร

Canizares และคณะ (2007) ศึกษากระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ในการกำจัดน้ำมันที่ปนอยู่ในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของอิมัลชัน (Oil in Water Emulsions) ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารหล่อลื่นผสมกับน้ำมันละลาย (Soluble Oil) อัตราส่วน 50:50 w/w บรรจุในถังแก้วขนาด 5 ลิตร โดยการใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 10 เซนติเมตร ระยะห่างขั้ว 9 มิลลิเมตร พบว่าที่ช่วงของพีเอช (pH) 5 ถึง 9 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดี โดยสามารถกำจัดค่าซีไอดีได้ 80 เปอร์เซ็นต์

Khoufi และคณะ (2006) ศึกษาผลของการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานน้ำมันมะกอก โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด มีพื้นที่ของขั้วเท่ากับ 400 ตารางเซนติเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างขั้ว 2 เซนติเมตร มีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบอนุกรม ที่แบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะประกอบด้วย 2 ขั้ว แอโนด และ 2 ขั้วแคโทด ใช้ถังตะกอนเป็นทรงกระบอกสูง 2 เมตร กว้าง 20 เซนติเมตร โดยใช้เวลาเก็บกัก คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน ซึ่งจะเก็บตัวอย่างตามระดับความสูงดังนี้ 25, 50, 75, 100, 125 และ 150 เซนติเมตร ซึ่งพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TS) และความขุ่นจะลดลงตามระยะเวลา และจุดเก็บที่ต่างกัน คือ จะลดตามระยะเวลาในการตกตะกอนที่มากที่สุดและตามระยะความสูงที่สูงจากกันถึงมากที่สุด และพบว่าหลังจากกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถกำจัดค่า

ซีโอดี(COD) ได้ 33.6 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มค่าบีโอดี (BOD₅) จาก 12,500 เป็น 14,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการเพิ่มค่าบีโอดีในน้ำเสียจึงส่งผลดีต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

Moreno และคณะ (2007) ศึกษากลไกของกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อการกำจัดซีโอดี(COD) พบว่าสารประกอบที่มีผลต่อค่าซีโอดีที่เป็นสารอินทรีย์ คือ ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) คอลลอยด์(Colloids) อิมัลชัน(Emulsion)และน้ำมันและไขมัน(Oil and Grease) โดยกระบวนการรวมตะกอนที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Oxidation) ที่ขั้วบวก(แอโนด) โดยมีการปล่อย Coagulant ที่เป็นโลหะไฮดรอกไซด์ออกมาที่ขั้วลบ(แคโทด) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) มีก๊าซไฮโดรเจน และไฮดรอกไซด์ไฮดรอกไซด์(OH) เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดอกซ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะสามารถลดสารปนเปื้อนต่างๆ(Contaminants) สารแขวนลอย(Particulate Suspension) อิมัลชัน(Emulsion) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้ 86.40 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply) ยี่ห้อ GW
2. เครื่องเขย่า ยี่ห้อ GFL
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert
4. ตู้บซีโอดี (COD) ยี่ห้อ Memmert
5. เต้าเผา ยี่ห้อ Naberthern
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo
7. เครื่องดูด ยี่ห้อ Vacuubrand ME 1C
8. pH meter ยี่ห้อ Consort
9. Magnetic Stirrer ยี่ห้อ Velp
10. ขั้วเหล็ก ขนาด $4 \times 12.5 \times 0.5$ เซนติเมตร
11. Beaker ขนาด 600 มิลลิลิตร
12. ขวดซีรัม ขนาด 125 มิลลิลิตร
13. จุกยางและฝาแค็ปอะลูมิเนียม
14. อุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซ
15. อุปกรณ์เก็บก๊าซ
16. น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ของบริษัท สุขสมบุญรณน้ำมันปาล์ม จำกัด

3.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยได้มุ่งเน้นการใช้การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบไม่ใช้ออกซิเจน ด้วยวิธีการ Biochemical Methane Potential (BMP) ซึ่งในการทดลองสามารถแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองหลัก คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และนำน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามาศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธี BMP โดยมีวิธีการดังนี้

3.2.1 เตรียมขั้วเหล็กที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด

นำขั้วเหล็กที่ตัดได้ขนาดแล้วแช่ในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 20 เปอร์เซ็นต์ (V/V) ประมาณ 20 นาที จากนั้นนำมาขัดและล้างด้วยน้ำสะอาด เช็ดให้แห้ง นำไปอบที่อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นและเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้น (Dessicator)

3.2.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสียก่อนการทดลองดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีที่ใช้การวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสีย

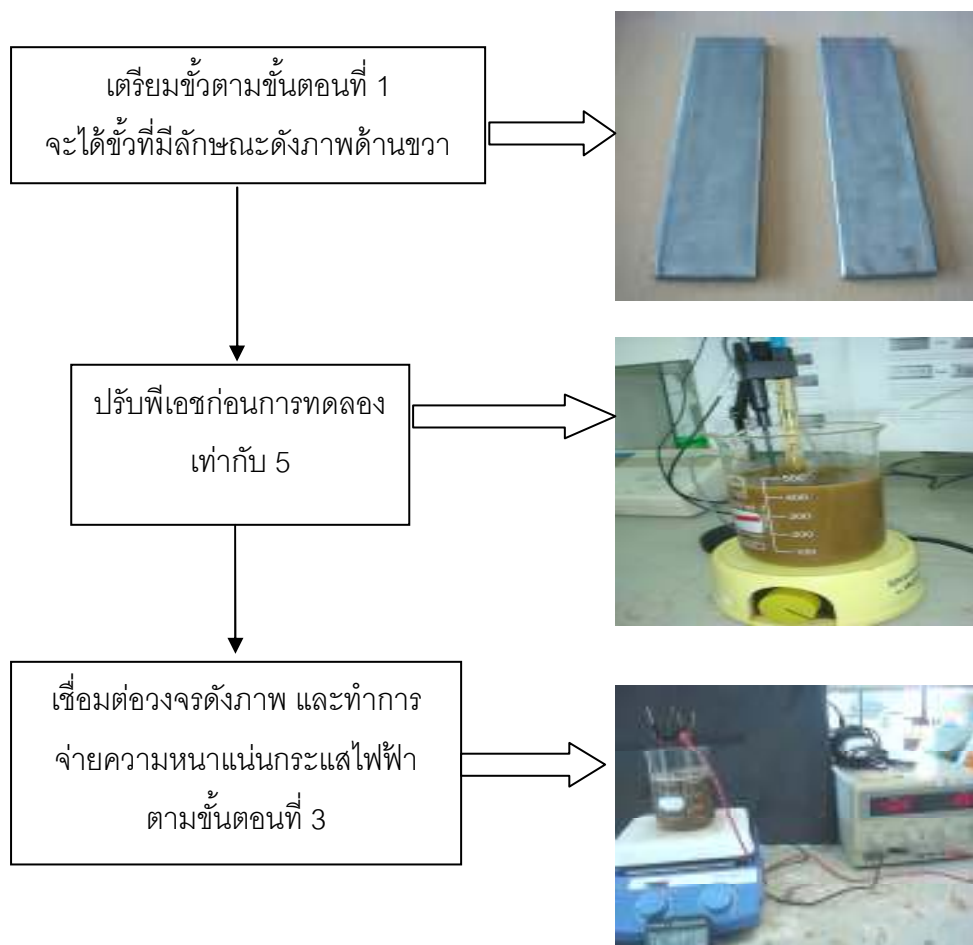
พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์	วิธีการ
ซีโอดี (Total COD)	Standard Methods for Wastewater Examination No. 5220C (Closed Reflux)
ซีโอดีละลาย (Soluble COD)	Standard Methods for Wastewater Examination No. 5220C (Closed Reflux)
น้ำมันและไขมัน (FOG)	Separating Funnel Extraction
ของแข็งแขวนลอย (SS)	Standard Methods for Wastewater Examination No. 2540B (Dried at 103 -105 °C)
ของแข็งทั้งหมด (TS)	Standard Methods for Wastewater Examination No. 2540B (Dried at 103 -105 °C)
ของแข็งระเหยได้ (VS)	Standard Methods for Wastewater Examination No. 2540E (Ignited at 550 °C)
พีเอช (pH)	Standard Methods for Wastewater Examination No. 4500B (Electrometric Method)
ความนำไฟฟ้า (Conductivity)	Standard Methods for Wastewater Method 2501B (Electrometric Method)

3.2.3 การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

โดยจะทำการจ่ายค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าออกเป็น 3 ค่าคือ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร การเลือกการจ่ายกระแสไฟฟ้า ดังกล่าวข้างต้นได้มีการทำการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มากที่สุดที่ระบบจะจ่ายได้ คือ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นจึงไล่ระดับลงมาจนถึง 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และนำมาตรวจสอบค่าสCOD และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ในน้ำเสียก่อน จากนั้นจึงนำน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามาบำบัดด้วยวิธีไม่ใช้ออกซิเจน ด้วยวิธีการ Biochemical Methane Potential (BMP) เพื่อทำการประเมินศักยภาพสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าไปในระบบนั้น โดยดูจากความสามารถการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีตัวแปรในการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้างดตารางที่ 3.2 ขั้นตอนดังภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
พีเอช	ปรับพีเอชของน้ำเสีย เป็น 5 ด้วย NaOH
ปริมาณน้ำเสีย	ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
ระยะห่างขั้วอิเล็กโทรด	2.5 เซนติเมตร
พื้นที่ขั้วที่ใช้	56 ตารางเซนติเมตร
ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ระยะเวลาการจ่ายกระแสไฟฟ้า	5 นาที, 10 นาที และ 15 นาที 0.02, 0.05 และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร
ตัวแปรตามที่ต้องการศึกษา	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ประสิทธิภาพการบำบัด	ซีโอดี (Total COD)
	ซีโอดีละลาย (Soluble COD)
	น้ำมันและไขมัน (FOG)
	ของแข็งแขวนลอย (SS)
	ของแข็งทั้งหมด (TS)
	ของแข็งระเหยได้ (VS) และ พีเอช (pH)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนในการการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

จากนั้นนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามาบำบัดด้วยระบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยวิธี BMP

3.2.4. ตะกอนจุลินทรีย์ (Seed)

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากสลัดจ์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนของบริษัท สุขสมบุญธรมน้ำมันปาล์ม จำกัด โดยทำการเก็บตะกอนจุลินทรีย์ และเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำการทดลอง และทำการตรวจค่า MLSS และค่า MLVSS ก่อนทำการทดลอง

3.2.5 Biochemical Methane Potential (BMP)

BMP คือ การวิเคราะห์หาค่าศักยภาพของสารอินทรีย์ในการถูกย่อยสลายเพื่อสร้างเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งใช้ระบบไม่ใช้ออกซิเจน โดย BMP มีวิธีการดังนี้

1. เตรียมอาหารสำหรับตะกอนจุลินทรีย์ (Seed) ดังตารางตารางที่ 3.3 (Speece, 1996)
2. นำน้ำเสีย (ส่วนที่อยู่ถัดจากฟองตะกอน) ที่ผ่านการรวมตะกอนโดยเติมลงในขวดซีรัม โดยปริมาตรน้ำเสียต่อตะกอนจุลินทรีย์ เป็นอัตราส่วน 2:1 (Owen และคณะ, 1979) ซึ่งผู้วิจัยได้ (ใช้น้ำเสีย+สารอาหารปริมาตร 40 มิลลิลิตร) และใช้ตะกอนจุลินทรีย์ 20 มิลลิลิตร และนำน้ำเสียที่ไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านำมาเติมส่วนผสมตามอัตราส่วนดังกล่าวข้างต้น จากนั้นทำการปรับพีเอชของน้ำเสียให้เหมาะสมต่อระบบไร้อากาศซึ่งอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.2 โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ขวด โดยแต่ละชุดการทดลองจะทำชุดทดลองควบคู่กัน 6 ชุดเพื่อวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน ระเหย สภาพต่าง และพีเอช ร่วมด้วย โดยจำนวนขวดซีรัมที่ใช้ในการรวมทดลองทั้งหมด 88 ขวด
3. ทำชุดควบคุมโดยใส่เฉพาะตะกอนจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว โดยควบคุมปริมาณให้เท่ากับตัวอย่างที่ใส่ร่วมกับน้ำเสียดังกล่าวข้างต้น
4. นำมาใส่ก๊าซออกซิเจนออกจากขวดซีรัม โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 70:30 ฟันลงในขวดโดยใช้เวลา 30 วินาที
5. ปิดฝาขวดด้วยจุกยางและปิดแค็ปอะลูมิเนียมให้เรียบร้อยทุกขวด
6. เขย่าด้วยเครื่องเขย่า และนำมาวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน

ตารางที่ 3.3 สารอาหาร

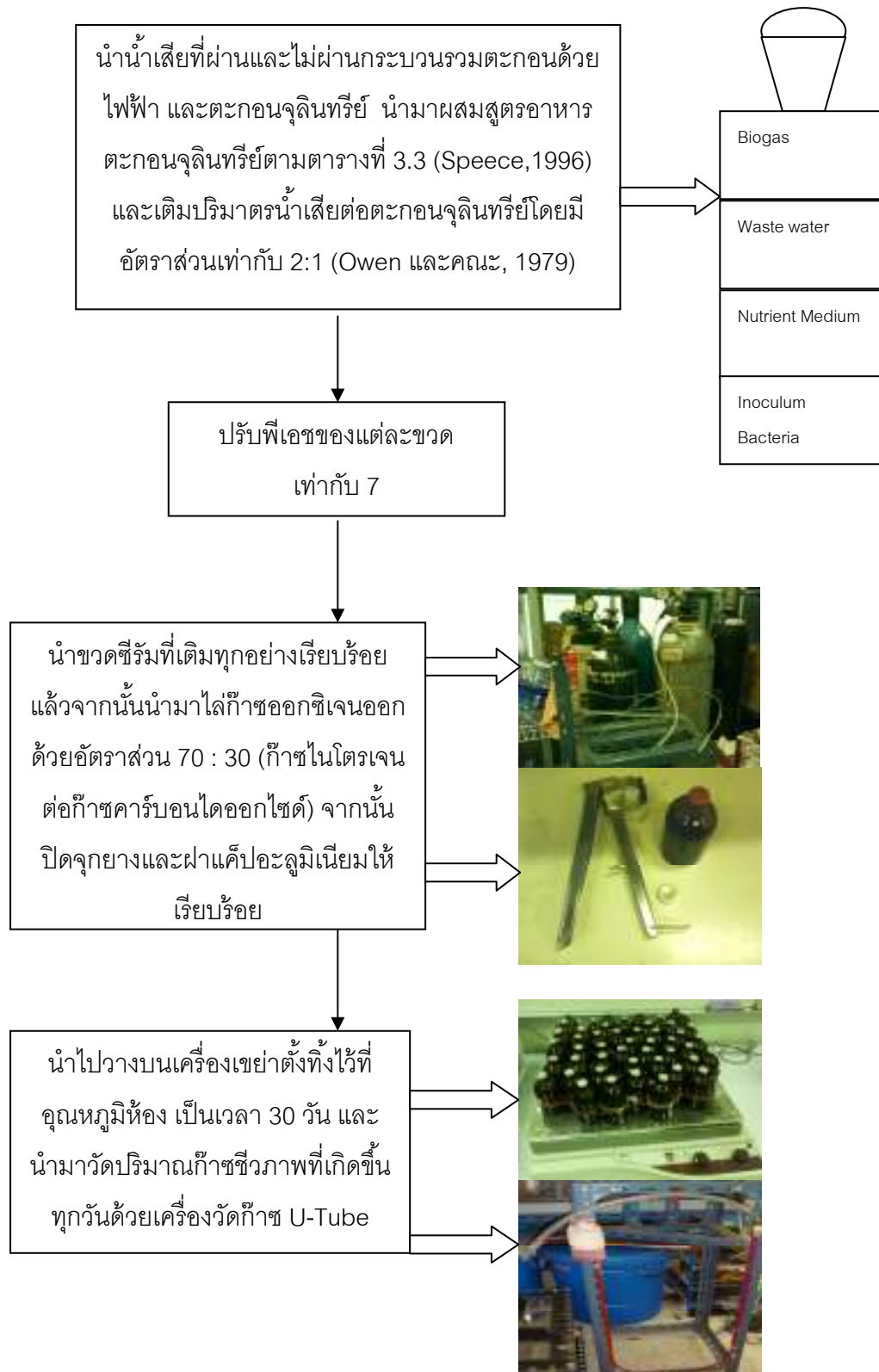
สารเคมี	ความเข้มข้นที่ต้องการ (มก./ล.)	สารเคมี	ความเข้มข้นที่ต้องการ (มก./ล.)
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5	KI	10
ZnCl_2	0.5	$(\text{NaPO}_3)_6$	10
$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40
H_3BO_3	0.5	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	80
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5	NH_4Cl	400
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5	KCl	400
Na_2SeO_4	0.5	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	400
NH_4VO_3	0.5	NaHCO_3	6,000
$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5	$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	300
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10		

ที่มา: Speece (1996)

โดยการประเมินศักยภาพสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าไปในระบบไร้อากาศด้วยวิธี BMP นั้น ได้แสดงตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 3.4 และขั้นตอนการทดลองดังภาพที่ 3.2

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการทำ BMP

ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
น้ำเสีย	ใช้น้ำเสียที่ไม่ผ่านและผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
ปริมาณน้ำเสีย	40 มิลลิลิตร
ตะกอนจุลินทรีย์	20 มิลลิลิตร
อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้อง
ระยะเวลาการในการทดลอง	30 วัน
ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	Inverted glass cylinder method
ปริมาณก๊าซมีเทน	Gas Chromatography (GC)
ตัวแปรตามที่ต้องการศึกษา	วิธีวิเคราะห์
กรดไขมันระเหย	Standard method 5560 (Titration Method)
สภาพต่าง	Standard method 2320 (Titration Method)
พีเอช	Standard Methods for Wastewater Examination No. 4500B (Electrometric Method)



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนในการทำ BMP

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพื่อบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสีย โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง คือ (1) ผลการทดลองจากการนำน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาทำการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และ (2) ผลการทดลองการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ด้วยวิธีการ Biochemical Methane Potential (BMP)

4.1 ผลการศึกษาตัวแปรน้ำเสียเบื้องต้น

4.1.1 ที่มาและลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่นำมาทำการวิจัยในครั้งนี้ เป็นน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านบ่อดักไขมันโดยมีการแยกไขมันที่ลอยออกไปบางส่วน ของบริษัท สุขสมบุญธรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด โดยน้ำเสียนี้อาจมีลักษณะทางกายภาพ คือ มีสีเหลืองอมน้ำตาล มีตะกอนและสารแขวนลอยปนอยู่ และน้ำเสียนี้อาจมีลักษณะหนืด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียดังกล่าวมีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียค่อนข้างมาก ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 น้ำเสียก่อนบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอน

4.1.2 ผลการตรวจสอบตัวแปรต่างๆ ของน้ำเสีย

เมื่อนำน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้นก่อนจะนำไปทำการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบได้ว่าค่าตัวแปรต่างๆ ที่วัดได้นั้นเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมากและมีความแตกต่างจากค่ามาตรฐานน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่วิเคราะห์ได้	มาตรฐานกรม โรงงานอุตสาหกรรม	
			A	B
ซีโอดีทั้งหมด (Total COD)	mg/L	42,953 - 43,501	< 1000	120 - 400
ซีโอดีละลาย (Soluble COD, (sCOD))	mg/L	19,730 - 20,060	-	-
FOG (น้ำมันและไขมัน)	mg/L	3,046 - 3,282	<25	5 - 15
SS (ของแข็งแขวนลอย)	mg/L	1,943 - 2,170	<150	50 - 150
TS (ของแข็งทั้งหมด)	mg/L	34,617 - 35,170	-	-
VS (ของแข็งระเหยได้)	mg/L	28,103 - 28,809	-	-
pH (พีเอช)	-	4.2 - 4.5	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
Conductivity (ความนำไฟฟ้า)	mS/cm	10.20 - 12.50	-	-

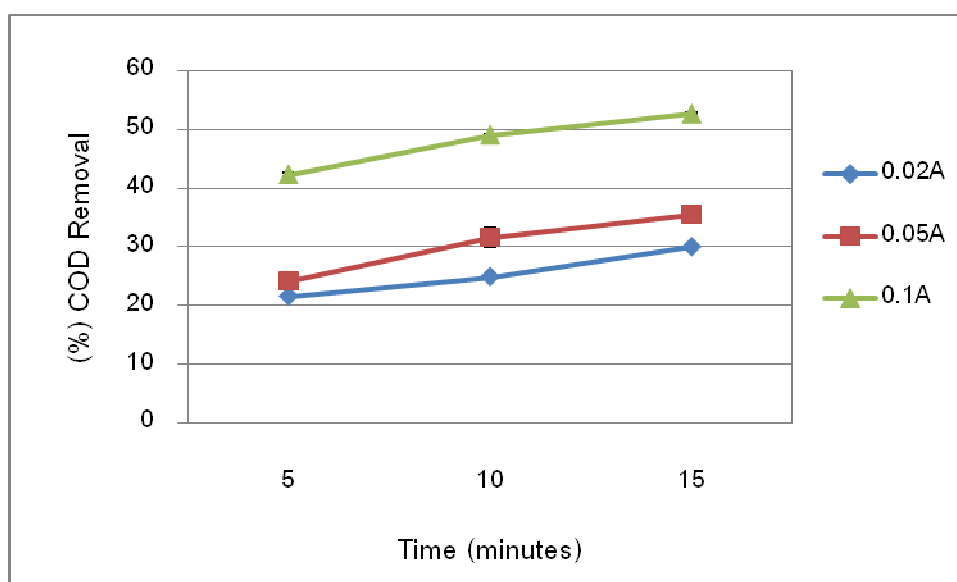
หมายเหตุ: A ค่าสำหรับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

B ค่าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

4.1.2 ผลการตรวจสอบตัวแปรต่างๆ ของน้ำเสีย

การทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าออกเป็น 3 ค่า คือ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร โดยแต่ละค่ากระแสจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 นาที เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรวมตะกอน ผู้วิจัยจะตั้งน้ำเสียทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงก่อนที่จะใช้น้ำน้ำเสียมาวิเคราะห์ ซึ่งน้ำเสียที่วิเคราะห์จะเป็นน้ำเสียส่วนที่อยู่ใต้ฟองตะกอน

1) ซีโอดี (COD)



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ

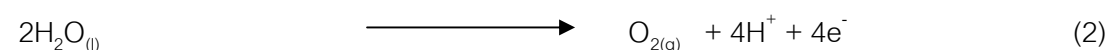
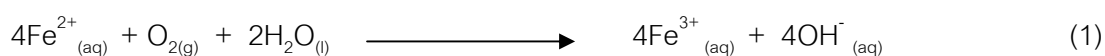
จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบจะมีผลต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีมากกว่าเวลาที่จ่ายให้แก่ระบบ ซึ่งจะเห็นว่าที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้มากที่สุด 52.67 ± 0.20 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ 35.5 ± 0.49 เปอร์เซ็นต์ และ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ 30 ± 0.45 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากการจ่ายความหนาแน่นที่มากขึ้นทำให้ขั้วเหล็กเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวกมากขึ้นส่งผลให้มีปริมาณเหล็กไอออน

ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ประกอบกับมีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันที่ช้าลงมากขึ้น จึงส่งผลทั้งเหล็กไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถมาทำปฏิกิริยากันเกิดเป็น Monomeric และ Polymeric hydroxides (Asselin และคณะ, 2007) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้และแยกออกจากน้ำเสียได้ด้วยการลอย ซึ่งเป็นการแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียได้ และส่วนหนึ่งของตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากสามารถเกิดการตกตะกอนลงสู่ก้นบึงเกอร์ได้ แต่เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีสีค่อนข้างเข้มจึงไม่สามารถมองเห็นการตกตะกอนที่เกิดจากสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากได้

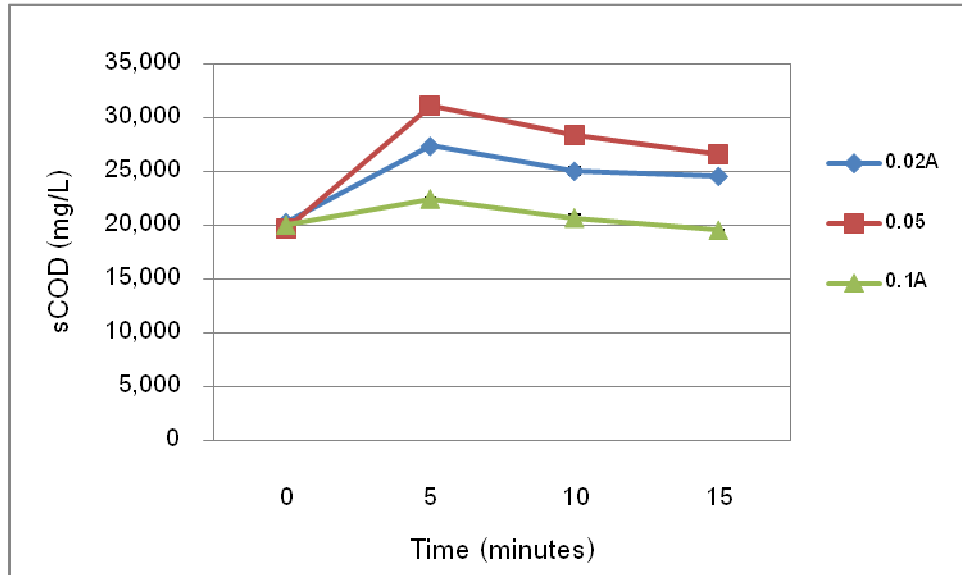
ดังนั้นกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้โดยการเกิดเฟอริกไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_3$ โดยเฟอริกไฮดรอกไซด์จะแขวนลอยอยู่ในลักษณะของเจล (Gelatin) (สมบัติ เชาวน์พูนผล, 2546) ซึ่งเจลที่เกิดขึ้นจะเป็นเป้าสัมผัสให้สารแขวนลอยในน้ำเสียมาเกาะและเกิดเป็นตะกอน โดยเรียกลักษณะการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำเสียในลักษณะนี้ว่า Flotation โดยฟองก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่ช้าลงจะเป็นตัวพาสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ให้แยกออกและลอยขึ้นบนผิวน้ำได้จึงสามารถกำจัดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้

โดยปริมาณฟองไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นมากตามปริมาณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ระบบ (จันทพร ผลากรกุล และคณะ, 2553) โดยส่งผลให้ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีฟองตะกอนน้อยที่สุด และที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีฟองตะกอนมากที่สุด และเริ่มล้นออกที่นาที่ 8 ของการทดลองและน้ำเสียจะมีสีเข้มขึ้น แต่มีความโปร่งแสงมากขึ้นจากการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และสีจะแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเวลาต่างกัน ดังแสดงภาพใน ภาคผนวก ค และในปฏิกิริยาการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดก๊าซออกซิเจนได้ที่ขั้วบวก แต่จากการสังเกตของผู้วิจัย พบว่าฟองก๊าซไฮโดรเจนจะเกิดขึ้นรอบๆขั้วลบทันทีเมื่อเริ่มจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบ และแพร่กระจายอย่างรวดเร็วจนเต็มบึงเกอร์ จนไม่สามารถมองเห็นก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกได้ ดังแสดงการเกิดก๊าซออกซิเจนในปฏิกิริยาที่ 1 และ 2

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก

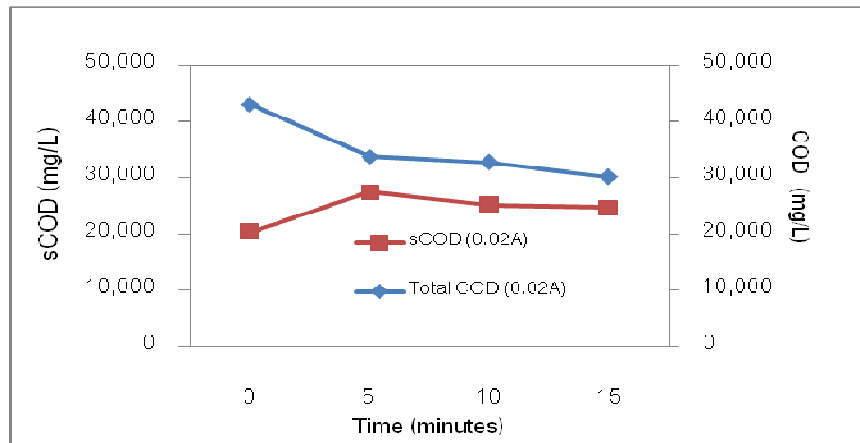


2) ซีโอดีละลาย (sCOD)

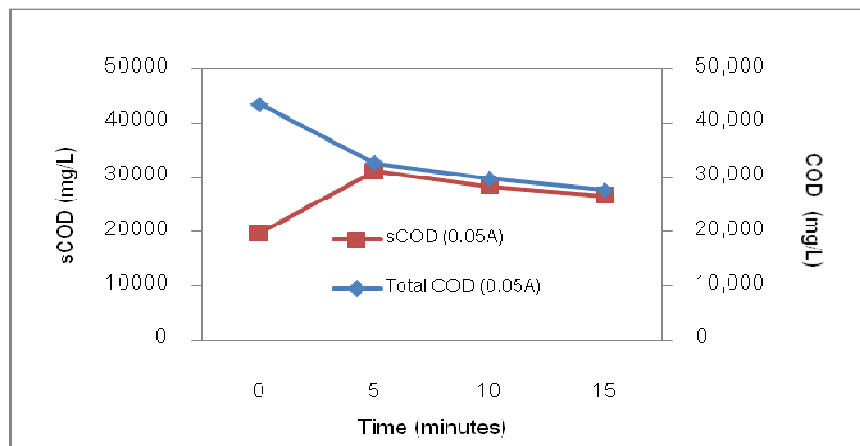


ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีละลายของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

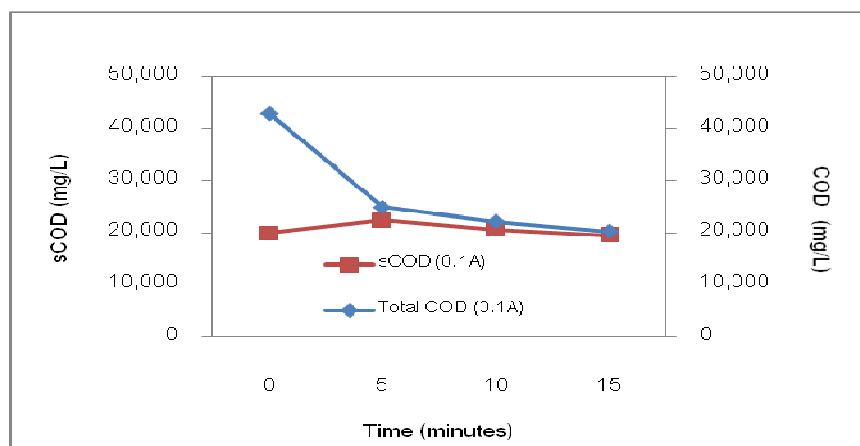
หมายเหตุ: เวลา 0 นาที คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.4 ก-ค เปรียบเทียบปริมาณค่าซีโอดีละลายกับค่าซีโอดี

หมายเหตุ: ก = $0.02/\text{cm}^2$, ข = $0.05/\text{cm}^2$ และ ค = $0.1/\text{cm}^2$

จากภาพที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบค่าซีไอดีละลายของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีค่าซีไอดีละลายมากกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และมีการการลดลงของค่าซีไอดีละลายในเวลาทำปฏิกิริยาที่ 10 และ 15 นาที จากภาพที่ 4.4 ก ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จะมีผลต่อการลดลงของค่าซีไอดีและค่าซีไอดีละลายน้อยที่สุด ส่วนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 4.4 ข จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้ามีผลต่อการลดค่าซีไอดีและค่าซีไอดีละลายเป็นอันดับที่สอง และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรนั้น สามารถลดค่าซีไอดีและซีไอดีละลายได้สูงที่สุด จนส่งผลให้ค่าซีไอดีคงเหลืออยู่จนเกือบมีค่าใกล้เคียงกับค่าซีไอดีละลาย ดังภาพที่ 4.4 ค เนื่องจากกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนดซึ่งจะทำให้ขั้วเหล็กเกิดการกัดกร่อนและละลายออกมาในน้ำเสียอยู่ในรูป Fe^{3+} และปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ขั้วแคโทด ทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) จากนั้น Fe^{3+} ทำปฏิกิริยากับ OH^- กลายเป็น $Fe(OH)_3$ ซึ่งสารดังกล่าวจะแขวนลอยอยู่ในน้ำเสียเปรียบเสมือนเป็นปัสสาวะที่ช่วยให้สารอินทรีย์ที่แขวนลอยมาเกาะติดและเกิดการตกตะกอน ในขณะที่เดียวกันสามารถแยกออกจากน้ำเสียโดยการลอย (Flotation) จากฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ขั้วลบ (Holt และคณะ, 2006) ซึ่งการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เล็กลง (จันทพร ผลการกุล และคณะ, 2553) ทำให้ฟองก๊าซมีพื้นที่สัมผัสและสามารถติดกับสารแขวนลอยในน้ำเสียได้มากขึ้นและส่งผลให้สามารถลดค่าซีไอดีละลายได้ที่เวลาที่ 10 และ 15 ของทุกความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า แต่การเพิ่มของค่าซีไอดีละลายทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียเพิ่มขึ้นโดยในน้ำเสียที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร อยู่ในช่วง 30.05 ถึง 32.80 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร อยู่ในช่วง 36.80 ถึง 45.00 องศาเซลเซียส และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 58.00 ถึง 84.00 องศาเซลเซียส ของระยะในการทำปฏิกิริยา 5 ถึง 15 นาที ซึ่งเพิ่มจากอุณหภูมิห้องที่วัดได้ก่อนการทดลองจะอยู่ในช่วง 29.30 ถึง 31.00 องศาเซลเซียส ดังแสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นดังตารางในภาคผนวก ข ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำมันในน้ำเสียสามารถแตกตัวกลายเป็นน้ำมันละลายจนทำให้ค่าซีไอดีละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากรายงานการวิจัยของรัฐพงศ์ ปานแก้ว (2552) พบว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมันทำ

ให้น้ำมันกลายเป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอลได้ โดยองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มมีจุดหลอมเหลวที่ต่างกันตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนต่อพันธะคู่ แสดงดัง ตารางที่ 4.2

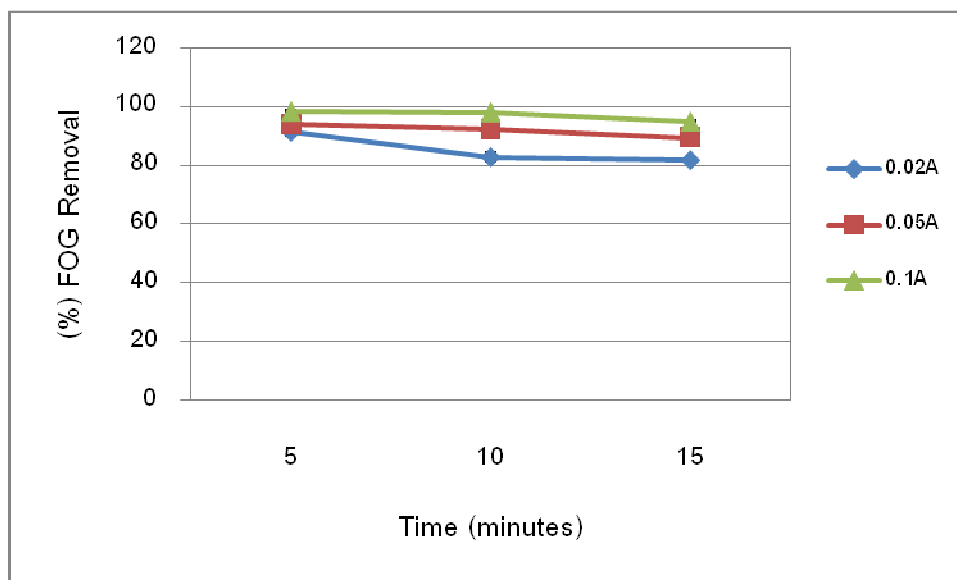
ตารางที่ 4.2 จุดหลอมเหลว ของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจำนวนอะตอมของคาร์บอนต่อพันธะคู่	จุดหลอมเหลว(องศาเซลเซียส)
กรดบิวทีริก 4:0	-7.90
กรดคาไพโรอิก 6:0	-3.40
กรดคาไพโรลิก 8:0	-16.70
กรดคาพริก 10:0	31.30 - 31.60
กรดลอลิก 12:0	44.00 - 44.20
กรดไมริสติก 14:0	53.90 - 54.40
กรดปาล์มิติก 16:0	62.70 - 63.10
กรดสเตียริก 18:0	69.60
กรดอะราคิติก 20:0	75.40 - 76.50
กรดลิกโนซีริก 24:0	84.20 - 86.00
กรดซีโรติก 26:0	87.70 - 88.50
กรดวาเลอริก 5:0	-34.50
กรดอีแนนโทอิก 7:0	-7.50
กรดฟีลาร์โกนิก 9:0	0 -12.40
กรดปาล์มิโตเลอิก 16: 1 (9)	0 - 0.50
กรดโอเลอิก 18 : 1 (9)	10.50 - 16.00
กรดลิโนเลอิก 18 : 2 (9, 12)	-5.00
แอลฟา-กรดลิโนเลนิก 18 : 3 (9, 12, 15)	-11.00
กรดอะราคิโนนิก 18 : 4 (5, 8, 11, 14)	-49.50

ที่มา: รัฐพงศ์ ปานแก้ว (2552)

จากการสังเกตของผู้วิจัยที่ได้จากการกรองน้ำเสียเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอไซด์ละลายพบว่าน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า จะกรองยากและใช้เวลานานที่สุด และน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จะกรองง่ายที่สุด รองลงมาจะเป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 และ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการที่น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านั้นจะยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในน้ำเสียอยู่เป็นจำนวนมากทำให้ไม่สามารถลอดผ่านกระดาษกรองได้ โดยงานวิจัยของ สมบัติ เขาวนพูนผล (2546) กล่าวว่า การใช้การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านั้น จะมีสารประกอบของเหล็กไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_n$ เกิดขึ้น ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) หรือเรียกว่า ตัวช่วยในการตกตะกอน (Co-precipitation) ซึ่งมีลักษณะเป็นเจล (Gelatin) ซึ่งเจลดังกล่าว สามารถดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไฮโดรคาร์บอนสายยาว และสารประกอบฟีนอลิก เช่น แทนนิน จึงทำให้เกิดการตกตะกอนได้ในน้ำเสียได้ แต่ไม่สามารถดูดซับสารโมเลกุลขนาดเล็กๆ ได้เช่น น้ำตาล และแอลกอฮอล์ได้ ดังนั้น การใช้การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จะเกิดสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ๆ และเกิดการแยกออกจากน้ำโดยวิธีทั้งตกตะกอนและลอยออกไปที่ผิวหน้าของน้ำเสีย และพบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเป็นค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ทำให้ค่าซีโอไซด์ละลายคงเหลือมากที่สุด $31,157 \pm 137$, $28,393 \pm 373$ และ $26,607 \pm 132$ มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ

3) น้ำมันและไขมัน (FOG)



ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดน้ำมันและไขมันของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ

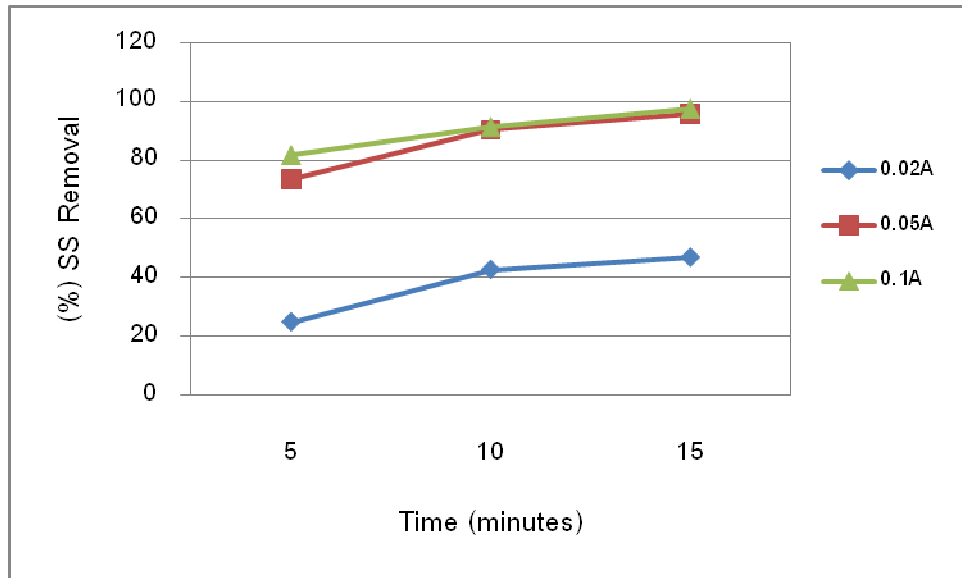
จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีผลต่อการกำจัดน้ำมันและไขมันที่อยู่ในน้ำเสีย จากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดน้ำมันและไขมัน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.02, 0.05 และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ 5 นาที สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้สูงสุด เท่ากับ 91.49 ± 1.25 , 94 ± 0.17 และ 98.42 ± 0.24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่เวลา 10 และ 15 นาที พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผู้วิจัยได้ทำการทดลองแบบ Batch (แบบทีละเท) ทำให้แต่ละการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะใช้ 1 ปีกเกอร์ที่บรรจุน้ำเสีย 400 มิลลิลิตรต่อการทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 นาที รวมใช้ปีกเกอร์ 3 ใบต่อการจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1 ค่า ทำให้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำเสียมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ไม่เพิ่มขึ้นแต่กลับลดลงเล็กน้อยในเวลา 10 และ 15 นาทีของแต่ละค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเมื่อพิจารณาอีกสาเหตุหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพที่ดีในช่วง 5 นาทีแรก เนื่องจากในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยาจะมีปริมาณน้ำมันและไขมันปริมาณมาก ทำให้ปริมาณ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีความเหมาะสมในการดูดซับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย ประกอบกับการเกิดฟองก๊าซ H_2 ที่ช่วยดักจับอนุภาคน้ำมันและไขมันให้สามารถลอยขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป เวลา 10 และ 15 นาที ปริมาณ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ที่มากขึ้นอาจมีผลต่อการดูดซับ

สารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียเพียงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะมีความขุ่นมากทำให้มีโอกาสดั้มผัสกับ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ได้มากในเวลา 5 นาที แต่ที่เวลา 10 และ 15 นาที นั้นมีการกำจัดน้ำมันและไขมันไปส่วนหนึ่งแล้วที่ 5 นาที จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลงเล็กน้อย

จากงานวิจัยของ จันทรพร ผลากรกุล และคณะ (2553) ที่ได้ศึกษาการกำจัดน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ได้ให้เหตุผลว่า ฟองก๊าซไฮโดรเจนนั้นจะสามารถกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้ด้วยการทำให้ลอยขึ้นไปบนผิวหน้าของน้ำเสีย แต่เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและใช้ระยะเวลาในการทดลองมากขึ้น จะเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนมีขนาดเล็กและเพิ่มจำนวนมากขึ้น จนกระบวนการกำจัดน้ำมันและส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดน้ำมันลดลงได้ เพราะจากการที่ผู้วิจัยได้ทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 0.02, 0.05, และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร พบว่าฟองตะกอนที่เวลา 5 นาที จะมีปริมาณน้อยที่สุด และฟองตะกอนที่ 15 นาทีมีฟองตะกอนมากที่สุด และฟองตะกอนจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าให้ระบบมากขึ้น

ดังนั้นจะเห็นว่าการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าน้ำมันและไขมันที่อยู่ในน้ำเสียได้ดี ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการนำมาบำบัดต่อในระบบไม่ใช้ออกซิเจน เพราะเนื่องจากน้ำมันและไขมันในน้ำเสียย่อยสลายยากได้ยาก ซึ่งถ้าอยู่ในระบบเป็นเวลานานจะทำให้พีเอชของน้ำเสียดลดลงจนทำให้ระบบล้มเหลวได้ และจากงานวิจัยของ ธนวรรณ ติลกการย์ (2553) อ้างถึงใน Lalman และ David (2001) อธิบายว่า น้ำมันและไขมันที่อยู่ในระบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถก่อให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบ เพราะน้ำมันและไขมันนั้นแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้เล็กน้อยเนื่องจากย่อยสลายได้ยาก และทำให้เกิดกรดไขมันสายยาว (Long Chain Fatty Acid) สะสมในระบบจนทำให้พีเอชลดลงจนส่งผลให้ระบบล้มเหลวได้ นอกจากนี้ น้ำมันและไขมันที่อยู่ในน้ำเสียสามารถเคลือบที่ผิวแบคทีเรียจนส่งผลต่อกิจกรรมของแบคทีเรียมีค่าลดลง และ ธนวรรณ ติลกการย์ (2553) อ้างถึงใน Halasheh และคณะ (2005) ว่า สารแขวนลอย (น้ำมันและไขมัน) ที่อยู่ในน้ำเสียยังเป็นสาเหตุของการเกิดฟองและชั้นตะกอนลอย (Scum Layers) ได้

4) ของแข็งแขวนลอย (SS)



ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอย ของน้ำเสียที่ผ่าน

กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ

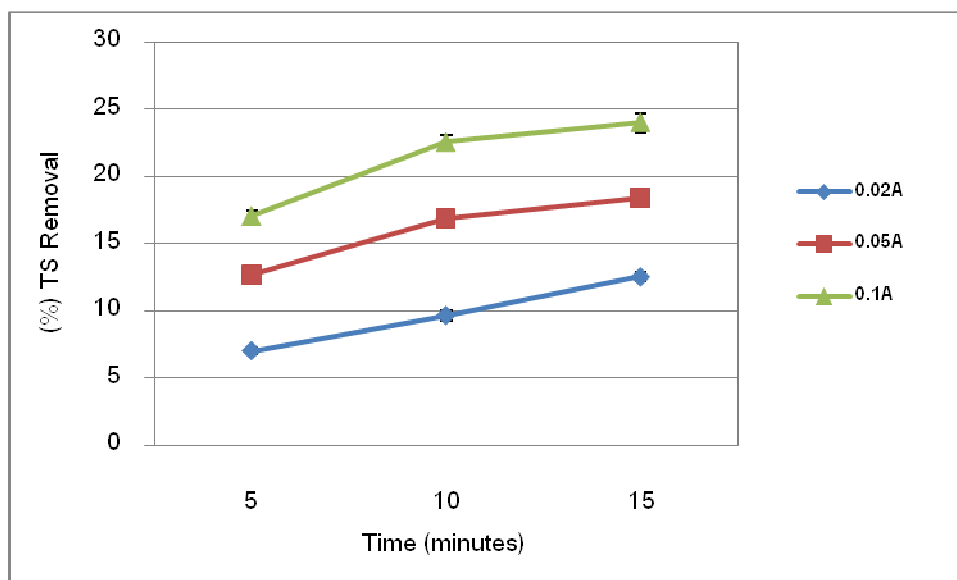
จากผลการทดลองดังภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยในระบบมากกว่าเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่กระแสไฟฟ้าที่มากที่สุด คือ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรนั้น จะสามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยในระบบได้มากที่สุด ทำให้คงเหลือของแข็งแขวนลอยคงค้างอยู่น้อยที่สุด เท่ากับ 54 ± 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 81.59 ± 0.54 , 91.40 ± 1.35 และ 97.52 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ เนื่องจากการจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จะมีฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบมากที่สุด โดยฟองก๊าซจำนวนมากนี้เป็นตัวพาตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียให้ลอยขึ้นด้านบนผิวน้ำ ซึ่งปริมาณฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจากการจ่ายค่าความหนาแน่นไฟฟ้าที่มากขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย ประกอบกับการจ่ายค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความต้านทานกระแสไฟฟาลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียไปยังขั้วไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น (Ugurlu และคณะ, 2007) และทำให้น้ำเสียมีปริมาณ Fe^{3+} เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่ง Fe^{3+} สามารถรวมกับ OH^- และทำให้เกิดเป็น $Fe(OH)_3$ ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับมากขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยในความหนาแน่น

กระแสไฟฟ้าดังกล่าวมากที่สุด รองลงมา คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัด เท่ากับ 73.75 ± 0.72 , 90.38 ± 0.33 และ 95.77 ± 0.33 เปอร์เซ็นต์ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดน้อยที่สุด เท่ากับ 25 ± 0.36 , 42.81 ± 0.66 และ 46.95 ± 0.72 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

Ugurlu และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรดพบว่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นที่ 4.75 สามารถทำให้ สารประกอบโลหะออกไซด์มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียได้มากขึ้น และ Inan และคณะ (2004) ได้ศึกษาพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ของโลหะไฮดรอกไซด์ พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น 4 ถึง 5 จะทำให้เกิดกลไกการดูดซับและการตกตะกอนได้ดี ซึ่งจากการทดลองผู้วิจัยได้มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนการทดลองเท่ากับ 5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าดังกล่าวจึงอาจส่งผลต่อ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ สามารถดูดซับสารแขวนลอยได้ดี และสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยโดยติดไปกับฟองก๊าซที่เกิดในปฏิกิริยารีดักชัน โดยสามารถวัดความหนาของฟองตะกอนที่เกิดขึ้นที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ได้ประมาณ 5 ถึง 6 เซนติเมตรที่เวลา 5 นาที และฟองตะกอนเริ่มล้นออกในนาทีที่ 8 ของการทดลอง และล้นออกมามากที่เวลา 15 นาที ส่วนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จะสามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยได้น้อยที่สุด ทำให้ของแข็งแขวนลอยยังคงค้างในน้ำเสียอยู่มาก เท่ากับ $1,037 \pm 35$ มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ต่ำ จะส่งผลให้มีการกีดรอนที่ทำให้ Fe^{3+} ละลายลงมาอยู่ในน้ำเสียได้น้อย ประกอบกับการเกิด OH^- ที่น้อย ทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่าง Fe^{3+} และ OH^- เป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีปริมาณน้อย และมีฟองก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้น้อย จึงส่งผลให้การกำจัดของแข็งแขวนลอยได้น้อยที่สุด โดยการทำวิจัยในครั้งนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนได้แต่เกิดได้น้อย และสังเกตเห็นได้ยากด้วยตาเปล่าดังที่ผู้วิจัยได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อค่าซีไอดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีการวิจารณ์ผลการทดลองเฉพาะก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเท่านั้นโดยความหนาของฟองตะกอนที่วัดได้ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าดังกล่าว มีความหนาประมาณ 0.5 ถึง 1.0 เซนติเมตร ที่เวลา 10 นาที ส่วนความหนาของฟองตะกอนที่เวลา 15 นาที ความหนาจะอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.5 เซนติเมตรและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จะสามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยได้เป็นอันดับสองรองจาก 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร พบว่าที่เวลา 5 นาที จะมีความหนาของฟองตะกอนหนาประมาณ 3 เซนติเมตรที่เวลา 10 นาที มีความหนาของฟองตะกอนประมาณ 5 เซนติเมตร และที่เวลา 15 นาที ฟองตะกอนจะมีความหนาเพิ่มขึ้น

จนเต็มปีกเกอร์และล้นออกเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดเวลาทำการทดลอง

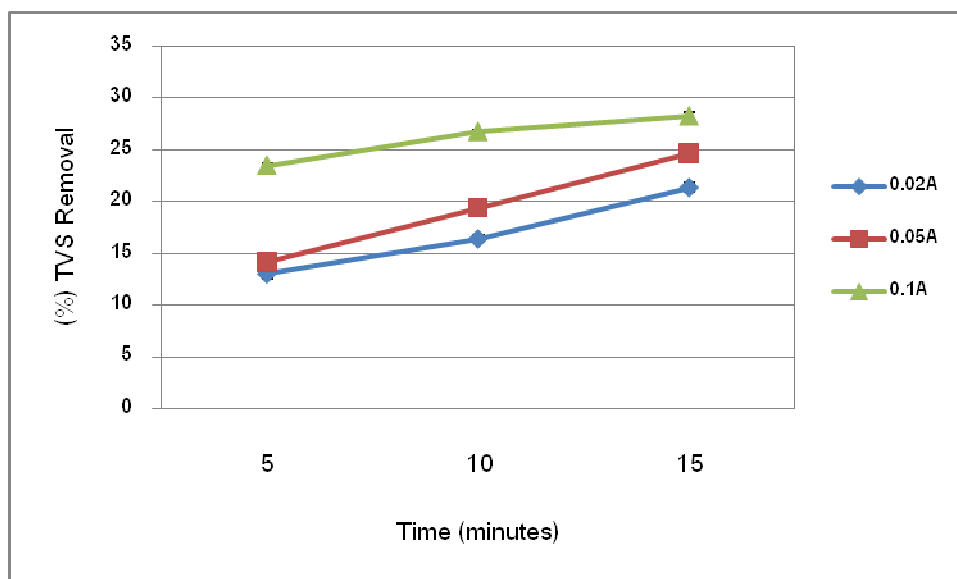
5) ของแข็งทั้งหมด (TS)



ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ

จากภาพที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดค่าของแข็งทั้งหมดได้มากที่สุดที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 12.55 ± 0.30 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดค่าของแข็งทั้งหมดได้มากที่สุดที่เวลา 15 นาที เท่ากับ 18.41 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรสามารถกำจัดค่าของแข็งทั้งหมดได้มากที่สุดที่เวลา 15 นาทีเช่นกันเท่ากับ 24 ± 0.72 เปอร์เซ็นต์ ดังกลไกการลดค่าของแข็งทั้งหมดดังได้อธิบายตามหัวข้อที่ 4 ของเชิงแขวนลอย

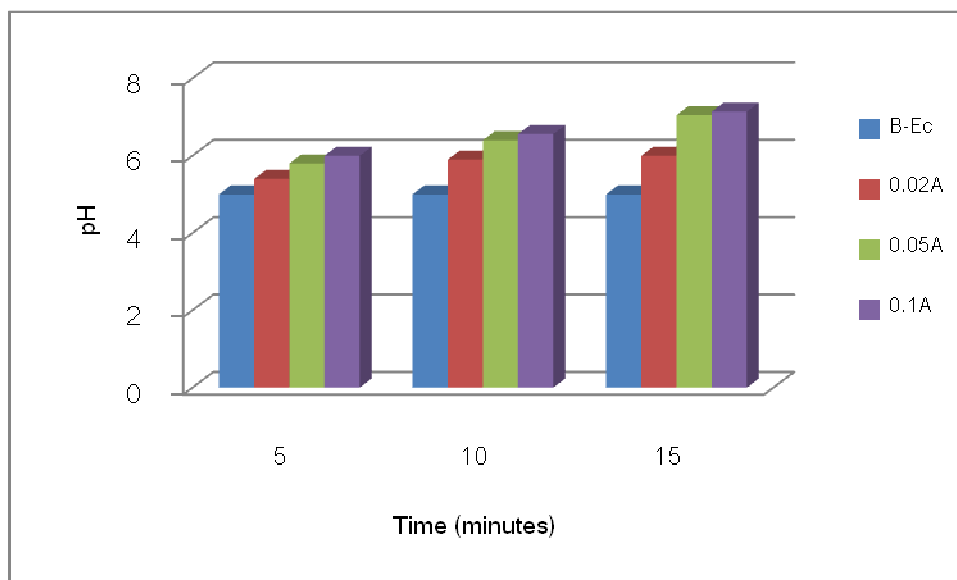
6) ของแข็งที่ระเหยได้ (VS)



ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งที่ระเหยได้ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ผลการทดลอง พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งระเหยมากขึ้น โดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรนั้น สามารถกำจัดค่าของแข็งระเหยได้มากที่สุด เท่ากับ 23.42 ± 0.49 , 26.72 ± 0.25 และ 28.22 ± 0.45 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ รองลงมา คือ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดของแข็งระเหยได้มากที่สุดเท่ากับ 14.08 ± 0.52 , 19.34 ± 0.45 และ 24.64 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดของแข็งระเหยได้น้อยที่สุดเท่ากับ 13.02 ± 0.17 , 16.40 ± 0.15 และ 21.34 ± 0.37 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ โดยการอธิบายกลไกการลดค่าของแข็งระเหยได้ในน้ำเสียดังเช่นในหัวข้อที่ 4 ของเชิงแขวนลอย

7) พีเอช (pH)



ภาพที่ 4.9 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าพีเอช

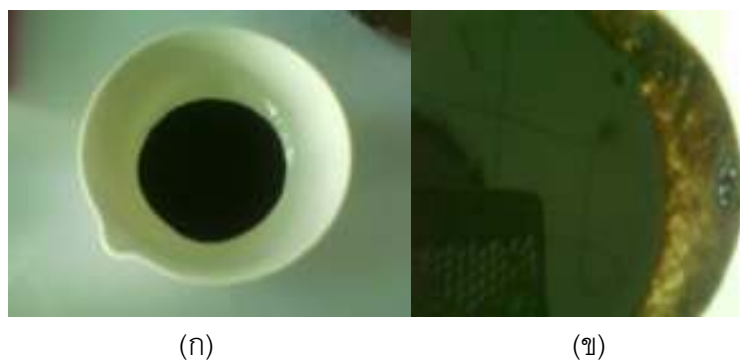
จากการทำการทดลอง น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะมีพีเอช ลดลงเมื่อถูกเก็บรักษาเป็นระยะหนึ่ง การปรับพีเอชเริ่มต้นของการทดลองจึงมีความจำเป็น ผู้วิจัยได้เลือกปรับค่าพีเอชในการทำการทดลอง เท่ากับ 5 เนื่องจากเป็นค่าพีเอชที่สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้มากกว่าพีเอชของน้ำเสียที่ไม่มีการปรับพีเอช จากงานวิจัยของ จันทรพร ผลากรกุล (2553) ได้ศึกษาการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพื่อกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่าการปรับพีเอชของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 5 สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้มากกว่าน้ำเสียที่ไม่ได้ปรับพีเอช อยู่ 5 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.9 จะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำเสียจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลา ในการทำการทดลองดังกล่าวได้มีการปรับค่าพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 ± 0.02 พบว่าการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรนั้นสามารถทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพิ่มมากที่สุดที่ 15 นาที เท่ากับ 7 ± 0.10 และที่การจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 และ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นได้สูงสุดที่ 15 นาที เท่ากับ 6 ± 0.10 และ 6.5 ± 0.11 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น สามารถเพิ่มปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน(OH) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบ ซึ่งไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นเป็นตัวที่ทำให้พีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้น

4.2 การทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าด้วยวิธี BMP

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์เบื้องต้น

งานวิจัยนี้ได้นำตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากบริษัท สุขสมบูรณ์ ปาล์ม จำกัด มาใช้ในการทดลองซึ่งลักษณะของตะกอนมีสีดำเข้ม เนื้อหยาบ ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และนำมาวิเคราะห์ค่าเบื้องต้น ดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.10 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์

พารามิเตอร์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
COD (mg/L)	79,595±2,190.75
MLVSS (mg/L)	17,500±500
MLSS (mg/L)	20,667±208.16
MLVSS/MLSS	0.84±0.01

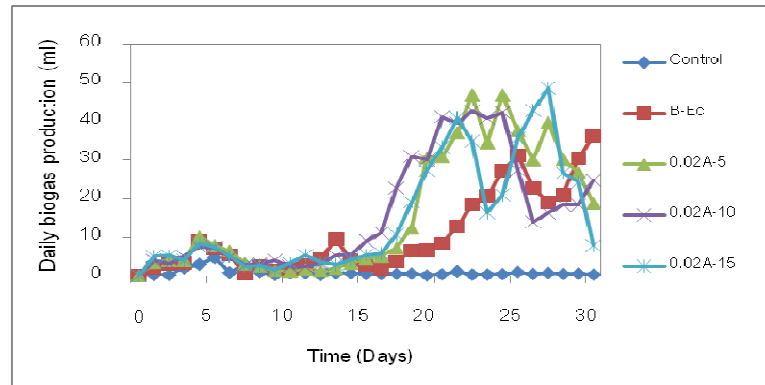
หมายเหตุ: MLVSS คือ Mixed liquor volatile suspended solids

MLSS คือ Mixed liquor suspended solids

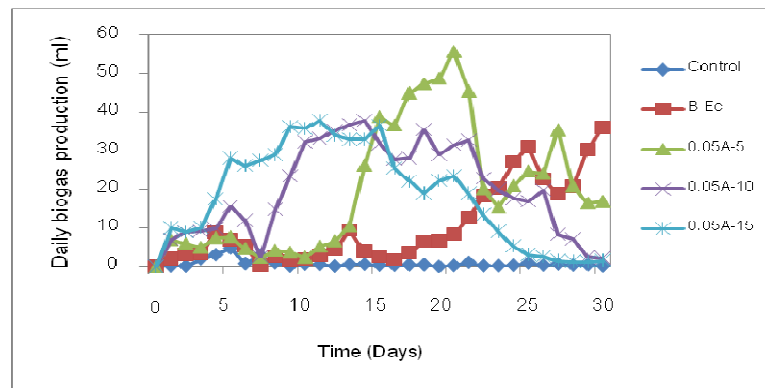
4.2.2 ผลการทดลองหาคักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ทดลองเพื่อหาคักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ผู้วิจัยได้นำมาทดลองได้มีการตกฟองตะกอนออก แต่อาจมีตะกอนเหลือบางส่วนที่เกิดจากการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าปอนอยู่ในน้ำเสียบางส่วน เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้กรองน้ำเสียก่อนนำไปทดลอง แต่เมื่อนำไปทำการทดลองหมักในสภาวะไร้อากาศด้วยวิธีการ Biochemical Methane Potential (BMP) ปริมาณเหล็กที่อยู่ในน้ำเสียไม่มีผลต่อแบคทีเรียในระบบเนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าการจ่ายค่าความหนาแน่นไฟฟ้า 0.02, 0.05 และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาทีสามารถนำไปใช้ได้จนถึงปฏิกรณ์จริงได้ โดยวิธี BMP จะหมักในขวดซีรัมขนาด 125 มิลลิลิตร และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันด้วยเครื่องวัด U-tube โดยใช้ระยะเวลา 30 วัน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดจากน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีปริมาณก๊าซชีวภาพรวมทั้งหมด 324.87 มิลลิลิตร ซึ่งคิดเป็น 19.59 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งที่เติม ส่วนน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีปริมาณมีก๊าซชีวภาพสะสมรวมสูงสุด ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เท่ากับ 613.37, 612.91 และ 574.45 มิลลิลิตร ตามลำดับที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 24.02, 26.31 และ 26.94 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งที่เติมตามลำดับ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 5, 10 และ 15 นาที ดังแสดงค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ml) ดังในภาคผนวกตาราง ค-1 และก๊าซชีวภาพรายวัน (ml/mg VS) ตาราง ค-3

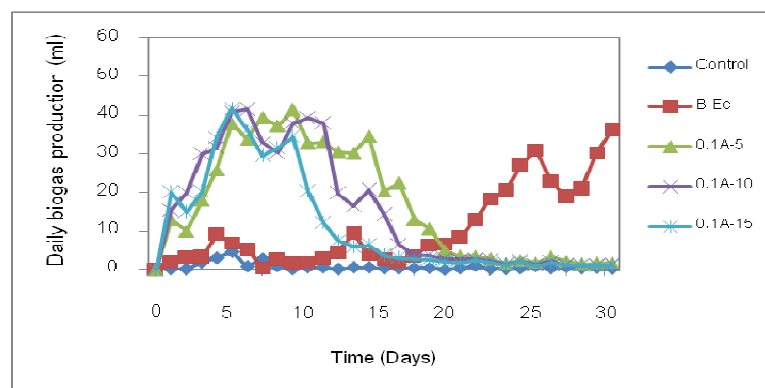
4.2.2.1 ผลการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (ml)



(ก)



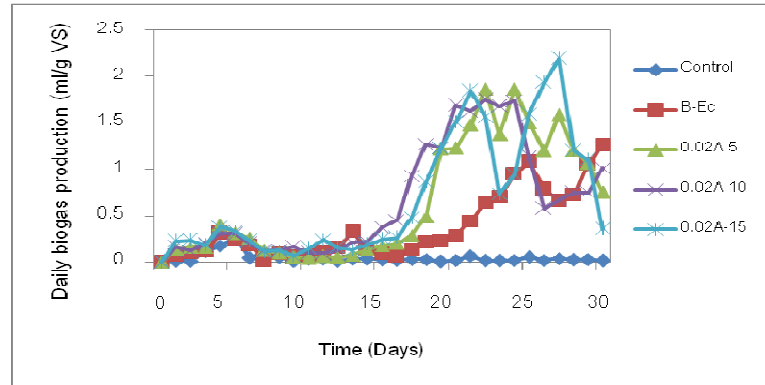
(ข)



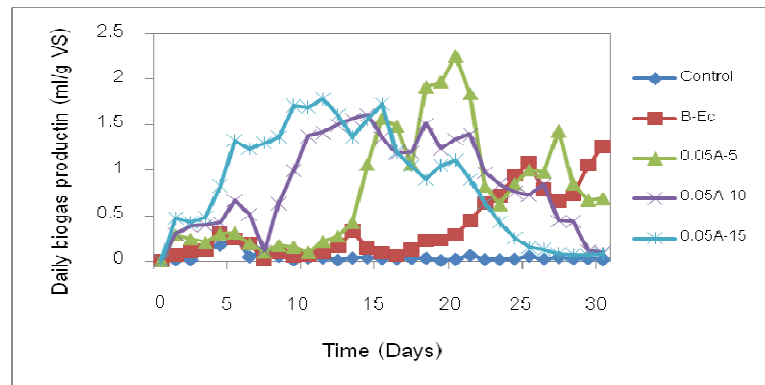
(ค)

ภาพที่ 4.11 ก-ค ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

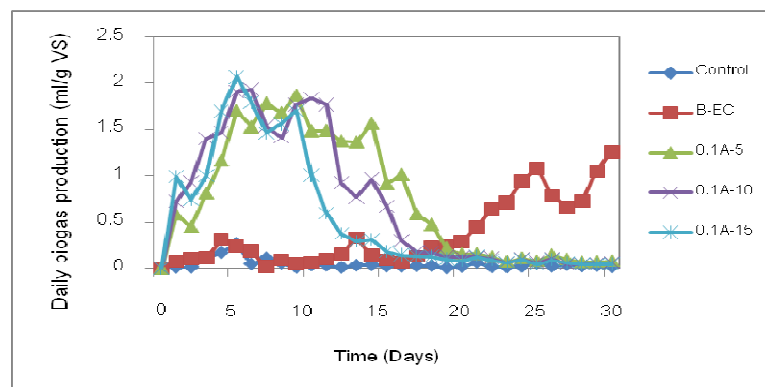
4.2.2.2 ผลการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (ml/g VS)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.12 ก-ค ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

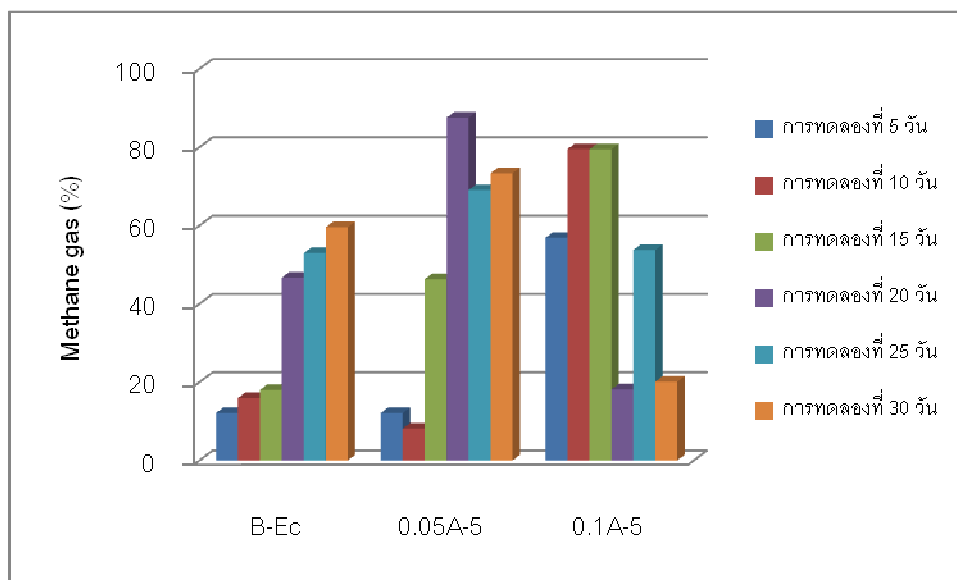
จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.11 ก และ ภาพที่ 4.12 ก จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นไปในทางเดียวกัน แต่ภาพที่ 4.12 เป็นภาพปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อกรัมของแข็งระเหยได้ที่เติมเข้าไปในระบบ จะเห็นได้ว่าการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรนั้น ยังทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่คงเหลือในน้ำเสียอยู่มากที่สุด ทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างช้าๆ ในช่วงวันที่ 1 ถึง 15 ของการทดลอง ส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพได้น้อยในช่วงของวันที่ 1 ถึง 15 ของการทดลอง และปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังวันที่ 15 ของการทดลอง และมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นได้สูงสุด ในวันที่ 22 และวันที่ 24 เท่ากับ 1.87 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เติม โดยน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีแนวโน้มของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นคล้ายกัน คือ มีการย่อยสลายอย่างช้าๆ ในช่วงแรกและเริ่มมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นหลังวันที่ 15 เช่นกัน และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 30 โดยมีปริมาณก๊าซ 1.26 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เติม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรทำให้เกิดการละลายของ Fe^{3+} ออกมาในน้ำเสีย และมีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนน้อยที่สุดทำให้เกิดสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับ คือ $Fe(OH)_3$ น้อยที่สุดส่งผลให้เกิดการดูดซับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียและแยกสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้น้อยที่สุด ทำให้น้ำเสียยังคงเหลือปริมาณสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่อยู่มาก แบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงย่อยสลายอย่างช้าๆ ในช่วง 15 วันแรกและสามารถย่อยสลายได้ดีขึ้นหลังวันที่ 15 ของการทดลอง โดยดูได้จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าทำให้น้ำเสียมีค่าซีไอดีละลายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้างกล่าวสามารถทำให้น้ำมันและไขมันแตกตัวเป็นน้ำมันละลาย จากรายงานการวิจัยของ รัฐพงศ์ ปานแก้ว (2552) พบว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมัน ทำให้น้ำมันและไขมันกลายเป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอลได้ เนื่องจากระบบใช้น้ำเสียที่มีปริมาณน้อยส่งผลให้น้ำเสียหลังการทำปฏิกิริยาด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้างกล่าว มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 30.05 ถึง 32.80 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิห้อง 29.30 ถึง 31.00 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิในการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของสารละลายในน้ำเสียทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยน้ำมันละลายและนำไปใช้ในกิจกรรมแบคทีเรียได้มากขึ้นจนส่งผลให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นหลังวันที่ 15 ของการทดลอง

จากผลการลองดังภาพที่ 4.12 ข จะเห็นได้ว่าการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ทำให้ Fe^{3+} จากปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ละลายออกมาในน้ำเสียได้มากขึ้น ประกอบกับทำให้มีปริมาณ OH^- ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้น จนสามารถทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็น $Fe(OH)_3$ มากขึ้น ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย และแยกตะกอนดังกล่าวได้ด้วยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบ จนกำจัดตะกอนขนาดโมเลกุลใหญ่และขนาดเล็กในน้ำเสียได้ และเนื่องด้วยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าง่ายกว่าทำให้อุณหภูมิในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่น้ำเสียนี้อุณหภูมิมากขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น โดยความสามารถในการเคลื่อนของ Fe^{3+} เพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ต่อการเพิ่มของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส (ปริเมษ เจริญนพคุณ, 2545) โดยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าดังกล่าวมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 36.80 ถึง 45.00 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวสามารถทำให้น้ำมันกลายเป็นน้ำมันละลายได้มากขึ้นและมากกว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ส่งผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดเท่ากับ 24.02 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ที่เวลา 5 นาที ส่วนที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 10 และ 15 นาที มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 26.31 และ 26.94 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากในภาวะปกติของการย่อยสลายน้ำมันและไขมันในระบบที่ไม่ใช้อากาศนั้นจะทำให้เกิดกรดไขมันสายยาว (Long Chain Fatty Acid) สะสมอยู่ในระบบเนื่องจากน้ำมันและไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่แบคทีเรียในระบบย่อยสลายได้ยาก ส่งผลให้ค่าพีเอชในระบบลดลงจนทำให้เกิดความล้นเหลวในระบบ เพราะแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนในระบบนั้นสามารถตอบสนองต่อการลดลงของค่าพีเอชได้อย่างรวดเร็ว พีเอชเหมาะสมอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.2 (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2545) ดังนั้นการทำให้น้ำมันกลายเป็นน้ำมันละลายที่มีโมเลกุลเล็กทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้นและไม่เกิดการสะสมของกรดไขมันสายยาวในระบบ และสามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพในแกระบบได้ แต่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาทีของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าดังกล่าว การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นไปอย่างช้าๆ ในวันที่ 1 ถึง 14 ของการทดลอง และมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ดีขึ้นในช่วงวันที่ 10 ถึง 20 ของการทดลอง และส่งผลให้มีปริมาณก๊าซสูงสุดในวันที่ 20 เท่ากับ 2.25 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหย ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าที่เวลา 5 นาทีซึ่งเป็นเวลาที่สั้นที่สุดในการทดลอง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันดูดซับตะกอนแขวนลอยถูกแยกออกจากน้ำเสียได้น้อยที่สุด จึงส่งผลให้ในน้ำเสียที่เวลาดังกล่าวคงเหลือสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และเล็กมากที่สุด แบคทีเรียจึงนำไปใช้ได้ช้าในช่วงวันที่ 1 ถึง 14 ของการทดลอง ซึ่งจะแตกต่างจากที่เวลา 10 และ 15 นาทีที่เกิดการย่อยสลาย

สารอินทรีย์ได้เร็วกว่าเพราะการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นสามารถทำให้เกิดการดูดซับสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้มากขึ้น จนส่งผลให้คงเหลือแต่สารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้เร็วกว่า จึงส่งผลทำให้เกิดกิจกรรมแบคทีเรียได้เร็วขึ้น และมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 14 ดีกว่า

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.12 ค จะเห็นได้ว่าผลของกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถทำให้ Fe^{3+} จากปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ละลายออกมาในน้ำเสียได้มากที่สุด ประกอบกับทำให้มีปริมาณ OH^- ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันมากที่สุดเช่นกัน จนสามารถทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็น $Fe(OH)_3$ ที่คุณสมบัติเป็นตัวดูดซับได้มากที่สุดในการจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทั้งหมด จนส่งผลให้ดูดซับตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียและกำจัดที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และขนาดเล็กในน้ำเสียได้มากที่สุดเนื่องจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้างกล่าวจะทำให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนที่มีขนาดเล็กงที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันจากขนาดของฟองก๊าซที่เล็กงทำให้ฟองก๊าซมีผิวสัมผัสมากขึ้น ทำให้ตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียดูดติดไปกับฟองก๊าซดังกล่าวได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คงเหลือในระบบน้อยที่สุด ประกอบกับความหนาแน่นไฟฟ้าดังกล่าวสามารถทำให้อุณหภูมิหลังการทำปฏิกิริยาของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้นถึง 57.00 ถึง 87.00 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิห้อง 29.30 ถึง 31.00 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิจากการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของสารละลายในน้ำเสีย โดยความสามารถในการเคลื่อนที่ Fe^{3+} จะเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ต่อการเพิ่มของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส (ปริเมซ เจริญนพคุณ, 2545) และจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิมียค่าสูงที่สุดในการจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 3 ค่าจนสามารถน้ำมันกลายเป็นน้ำมันละลายได้มากที่สุด ส่งผลให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายน้ำมันละลายได้เร็วที่สุด ซึ่งถ้าดูจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแล้วจะเห็นได้ว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงแรกของการทดลอง ซึ่งแตกต่างไปจากค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 และ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร แสดงถึงอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วที่สุดถ้าเปรียบเทียบกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทั้งสองดังกล่าว จึงส่งผลดีต่อกิจกรรมของแบคทีเรียในระบบจนเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพที่สูงในช่วง 16 วันของการทดลอง และเริ่มลดลงหลังวันที่ 18 เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียใช้เป็นอาหารนั้นเริ่มหมดลง จึงส่งผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละวันที่เริ่มลดลง และมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมด 30 วัน เท่ากับ 23.31, 21.73 และ 17.13 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เดิมทีเวลา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

4.2.2.3 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน



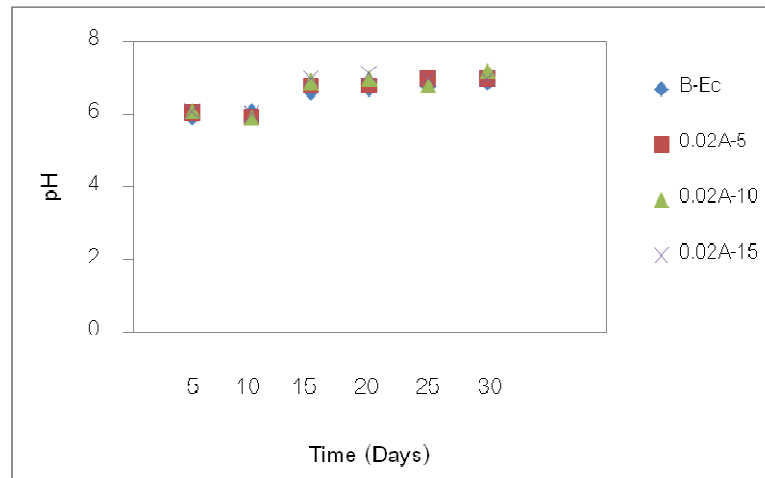
ภาพที่ 4.13 กราฟเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

การเลือกวิเคราะห์ความเข้มข้นก๊าซมีเทนนั้น ผู้วิจัยได้คาดการณ์จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นควบคู่กับปริมาณค่าซีไอดีละลายที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าที่เวลา 5 นาทีของการย่อย กระแสไฟฟ้านั้นมีปริมาณค่าซีไอดีละลายมากที่สุด โดยทำการสุ่มตรวจก๊าซมีเทนทุก 5 วัน โดยเปรียบเทียบกับก๊าซมีเทนของน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า จากภาพที่ 4.13 พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน เนื่องจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงสุดในช่วงแรกของการทดลอง โดยวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที โดยมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 56.86, 79.50, 79.45, 18.13, 53.74 และ 20.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนจะมากในวันที่ 5, 10 และ 15 ของการทดลอง และเริ่มลดลงในช่วงหลังของการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้างกล่าวว่าจะมีประสิทธิภาพดีในช่วงแรก ซึ่งเป็นข้อดีในการนำไปใช้ในระบบถังปฏิกรณ์จริงเนื่องจากสามารถลดระยะเวลาการเก็บกักสารอินทรีย์ เพิ่มการย่อยสลายอินทรีย์เกิดขึ้นได้รวดเร็ว จนส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์มีเทนที่สูงอีกด้วย ส่วนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่เวลา 5 นาที โดยในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 12.10, 8.13, 46.27, 87.53, 69.03 และ 74.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้างกล่าวสามารถ

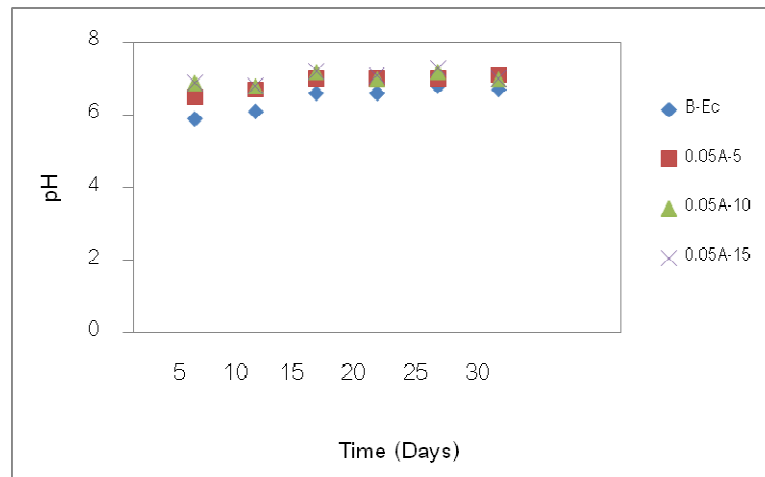
ทำให้เกิด $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารดูดซับสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ดี และอุณหภูมิต่ำที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำปฏิกิริยาสามารถทำให้เกิดซีโอไดต์ละลายได้มากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในระบบมีไม่มากเมื่อเทียบกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรจึงสามารถกำจัดตะกอนสารอินทรีย์แขวนลอยและซีโอไดต์ละลายได้น้อยกว่า ดังนั้นปริมาณซีโอไดต์ละลายจึงมีปริมาณมากที่สุดและส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์มีเทนที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วจะเห็นได้ชัดเจนว่าระบบมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ช้าที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เท่ากับ 12.10, 15.94, 18.01, 46.70, 52.95 และ 59.59 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

4.2.2.4 ผลการวัดค่าพีเอช

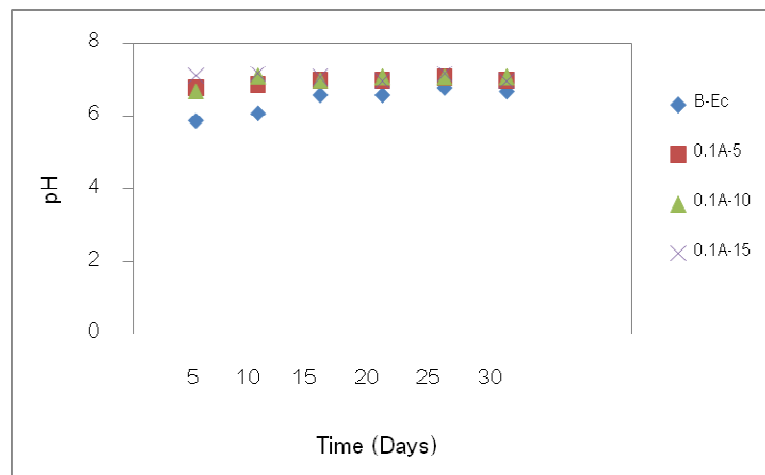
แบคทีเรียที่สร้างมีเทนในระบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.2 ส่วนแบคทีเรียที่สร้างกรดระบบจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.0 ถึง 8.0 (Diaz และคณะ, 1993) โดยค่าพีเอชสามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันระเหยในรูปอะซิติก โดยถ้าพีเอชลดลงจะส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันระเหยในรูปอะซิติกเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นหากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณในระบบการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น การปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากแบคทีเรียดังกล่าวมีตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเพียงเล็กน้อยเป็นอย่างมาก โดยผู้วิจัยได้มีการปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 ในช่วงซีรัมก่อนทำการปิดฝาขวดด้วยจุกยางและฝาแค็ปอะลูมิเนียม จากนั้นจึงนำไปหมักในอุณหภูมิห้อง และทำการสุ่มวัดค่าพีเอชตลอดการทดลองทุก 5 วัน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.14 ก-ค ผลการวัดค่าพีเอชในการทดลองในการหมักน้ำเสียเป็นเวลา 30 วัน

จากภาพที่ 4.14 ก ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (B-Ec) ค่าพีเอช 5 วัน จะมีค่าพีเอชเฉลี่ย เท่ากับ 5.9 ± 0.01 และค่าพีเอชเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 10, 15 และ 20 เท่ากับ 6.1 ± 0.07 , 6.6 ± 0.01 และ 6.7 ± 0.07 และในช่วงวันที่ 25 และ 30 พีเอชเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 6.8 ± 0.02 และ 6.9 ± 0.03 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าใน 5 วันแรก มีค่าต่ำซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบเป็นไปอย่างช้าๆทำให้เกิดกรดไขมันสะสมในระบบจึงส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง และจะเห็นว่าค่าพีเอชเฉลี่ยค่อยๆเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าระบบมีค่าต่างในรูปไบคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นจึงสามารถสะเทินค่ากรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติกได้ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ 0.01 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่เวลา 5 นาที จะมีค่าพีเอชเฉลี่ยวันที่ 5 และ 10 เท่ากับ 6.0 ± 0.01 และ 5.9 ± 0.03 ตามลำดับ และค่าพีเอชเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในวันที่ 15, 20, 25 และ 30 เท่ากับ 6.8 ± 0.03 , 6.8 ± 0.04 , 7 ± 0.01 และ 7 ± 0.04 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ 0.01 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 10 นาที จะมีค่าพีเอชเฉลี่ย เท่ากับ 6.1 ± 0.01 และ 5.9 ± 0.02 ในวันที่ 5 และ 10 ตามลำดับ และจะมีพีเอชเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในวันที่ 15, 20, 25 และ 30 เท่ากับ 6.8 ± 0.03 , 6.8 ± 0.07 , 7 ± 0.07 และ 7 ± 0.01 ตามลำดับ และการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.01 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร 15 นาที มีค่าพีเอชเฉลี่ย เท่ากับ 6.1 ± 0.04 และ 6 ± 0.02 ในวันที่ 5 และ 10 ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 6.9 ± 0.07 , 7 ± 0.07 , 6.8 ± 0.02 และ 7.2 ± 0.03 ในวันที่ 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในวันที่ 5 และ 10 ของการทดลองของทุกช่วงกระแสไฟฟ้า จะมีค่าพีเอชต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบเป็นไปอย่างช้าๆทำให้เกิดกรดไขมันระเหยในรูปอะซิติกสะสมอยู่ในระบบจึงส่งผลต่อค่าพีเอชเฉลี่ยที่ลดลง และในวันที่ 15, 20, 25 และ 30 ของทุกการจ่ายกระแสไฟฟ้า พบว่ามีค่าพีเอชเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแบคทีเรียในระบบนำกรดไขมันระเหยไปใช้ไปผลิตเป็นก๊าซมีเทน

จากภาพที่ 4.14 ข ค่าพีเอชเฉลี่ยของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ 5 นาที ในวันที่ 5 ของการทดลอง มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 6.5 ± 0.01 และค่อยๆเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 ซึ่งค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 6.7 ถึง 7.1 ส่วนที่การจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ 10 นาที ในวันที่ 5 ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.9 ± 0.02 ในวันที่ 10 มีค่าพีเอชเฉลี่ย เท่ากับ 6.8 ± 0.07 และเพิ่มขึ้นในวันที่ 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.0 ถึง 7.1 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ เวลา 15 นาที พบว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.3 ในวันที่ 5, 10, 15 และ 20, 25 และ 30 ของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากในวันที่ 5 เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยในรูปกรด อะซิติกเนื่องจาก

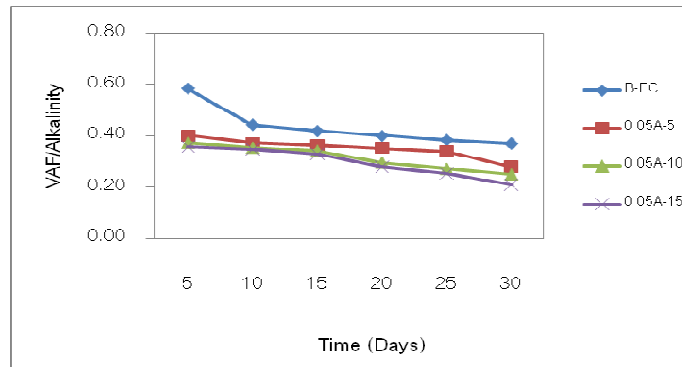
แบคทีเรียค่อยๆย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ช่วงวันที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลองแบคทีเรีย นำกรดไขมันระเหยไปผลิตก๊าซมีเทนค่าพีเอชจึงลดลง

จากภาพที่ 4.14 ค เป็นผลการทดลองวัดพีเอชของการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่เวลา 5, 10 และ 15 พบว่ามีค่าพีเอชเฉลี่ยวันที่ 5 เท่ากับ 6.8 ± 0.02 , 6.7 ± 0.02 และ 7.15 ± 0.01 ตามลำดับ และค่าพีเอชเฉลี่ยของการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อ ตารางเซนติเมตรที่ 10 นาที่ จะเพิ่มขึ้นในวันที่ 10 ของการทดลอง เท่ากับ 6.9 ± 0.07 และเพิ่มขึ้น สูงสุดในวันที่ 25 ของการทดลองเท่ากับ 7.1 ± 0.07 และการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อ ตารางเซนติเมตรที่ 15 นาที่ ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 10 และ 25 ของการทดลอง เท่ากับ 7.2 ± 0.01 และ 7.2 ± 0.02 ตามลำดับ จากค่าพีเอชดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระบบมีการ ใช้กรดไขมันระเหยในการผลิตก๊าซมีเทนจึงทำให้ค่าพีเอชมีค่าลดลง

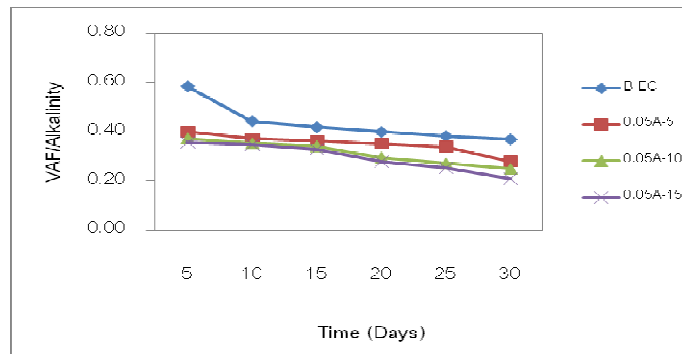
4.2.2.5 ผลการทดลองสภาพความเป็นกรด(VFA) และความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นกรดและความเป็นด่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากต่อการทำงาน ของแบคทีเรียในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งต้องอาศัยแบคทีเรียสองกลุ่ม คือ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด(Acidogens) และแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน(Methanogens) ทำงาน ร่วมกันอย่างต่อเนื่องของความเป็นกรดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาจากกรด คาร์บอนิกและกรดไขมันระเหย โดยกรดไขมันระเหยจะมีผลต่อระบบบำบัดมากกว่ากรดคาร์บอนิก โดยปริมาณกรดไขมันระเหยในรูปของกรดอะซิติก(CH_3COOH) ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ค่าควรจะอยู่ในช่วง 50 ถึง 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีปริมาณมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมี ผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นในระบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงควรมีการปรับกำลัง บัพเพอร์เพื่อสะท้อนกรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติก โดยการปรับบัพเพอร์ที่ใช้ในการสะท้อนกรด ไขมันระเหยจะอยู่ในรูปต่างไปคาร์บอนเนต โดยปริมาณต่างที่ใช้ในการสะท้อนกรดไขมันระเหยจะมี ค่าเท่ากับปริมาณกรดไขมันระเหย เนื่องจากจำนวนโมลที่เข้าทำปฏิกิริยาของกรดไขมันระเหยและ ต่างไปคาร์บอนเนตเป็นแบบ 1 ต่อ 1 ดังนั้นในบางครั้งการหาปริมาณต่างจากปริมาณกรดไขมันระเหย ที่ต้องการเติมเข้าไปในระบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นจึงทำให้เกิดความล่าช้าทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญห ไปได้ไม่ทันทั่วถึง ดังนั้นการประเมินปริมาณต่างที่ต้องเติมจากสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมัน ระเหยและปริมาณต่างที่มีอยู่ในระบบจึงรวดเร็วกว่า โดยถ้าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพ ความเป็นด่างในรูปของไปคาร์บอนเนต (VFA/ALK) มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัพเพอร์

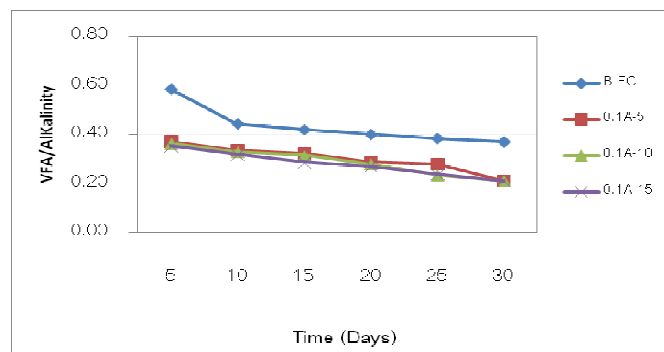
สูง หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าต่ำมาก พีเอชสามารถจะลดลงได้อย่างรวดเร็ว



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.15 ก-ข ผลการวัดค่าสภาพความเป็นกรด (VFA) ต่อความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำเสียหมักเป็นเวลา 30 วัน

จากภาพที่ 4.15 ก จะเห็นว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีพบว่าค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.58 ± 0.02 , 0.44 ± 0.05 , 0.42 ± 0.02 , 0.40 ± 0.02 และ 0.38 ± 0.02 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลองตามลำดับ เนื่องจากการทดลองเป็นการทดลองแบบทีละเท (Batch) ซึ่งค่าสารอินทรีย์ที่เดิมในระบบช่วงแรกมีปริมาณสูงทำให้อัตราการย่อยสลายในช่วง 5 วันเป็นไปอย่างช้าๆ ส่งผลให้ค่าสัดส่วนของกรดไขมันต่อสภาพต่างเฉลี่ยสูงในวันที่ 5 และลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 30 ของการทดลองเมื่อมีการใช้กรดไขมันระเหยในรูปอะซิติกเพื่อนำไปผลิตเป็นก๊าซมีเทน และจะเห็นว่าเป็นไปในทางเดียวกันกับการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยที่ 5 นาที มีค่าเท่ากับ 0.49 ± 0.01 , 0.45 ± 0.02 , 0.44 ± 0.01 , 0.41 ± 0.01 , 0.39 ± 0.02 และ 0.37 ± 0.03 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ และค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยที่ 10 นาที มีค่าเท่ากับ 0.55 ± 0.55 , 0.43 ± 0.03 , 0.41 ± 0.03 , 0.36 ± 0.02 , 0.32 ± 0.03 และ 0.29 ± 0.01 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ และค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยที่ 15 นาที มีค่าเท่ากับ 0.49 ± 0.05 , 0.42 ± 0.02 , 0.40 ± 0.03 , 0.32 ± 0.03 และ 0.29 ± 0.03 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.15 ข พบว่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นต่างเฉลี่ยของการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ 5 นาทีเท่ากับ 0.40 ± 0.05 , 0.37 ± 0.03 , 0.36 ± 0.01 , 0.35 ± 0.02 , 0.34 ± 0.03 และ 0.28 ± 0.03 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ การจ่ายกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ 10 นาที มีค่าสัดส่วนไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นต่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 ± 0.03 , 0.35 ± 0.02 , 0.34 ± 0.02 , 0.30 ± 0.02 , 0.27 ± 0.01 และ 0.25 ± 0.01 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ และการจ่ายกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ 15 นาที มีค่าสัดส่วนไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นต่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.36 ± 0.02 , 0.35 ± 0.02 , 0.33 ± 0.02 , 0.28 ± 0.01 , 0.25 ± 0.03 และ 0.21 ± 0.01 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าจากผลการทดลองการจ่ายกระแสไฟฟ้างวดข้างต้นที่เวลา 5, 10 และ 15 นาทีนั้น มีค่าเป็นไปในทางเดียวกัน คือ จะมีค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างที่สูงที่ 5 วัน และเริ่มลดลงมากที่สุดในวันที่ 30 ของการทดลอง

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.15 พบว่า สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยของการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 มีค่าใกล้เคียงกับการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกันเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปในระบบมีค่ามากในช่วงแรกและจากนั้นจะเกิดกิจกรรมของแบคทีเรียที่ทำให้สลายสารอินทรีย์จากโมเลกุลใหญ่ๆ ให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก จากนั้นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจะเกิดปฏิกิริยาการหมักในระบบจนกลายเป็นกรดไขมันระเหยที่แบคทีเรียนำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนจึงทำให้สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างมีค่าเฉลี่ยลดลงมากที่สุดในวันที่ 30 ของการทดลอง โดยที่ 5 นาทีของการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 มีค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง เท่ากับ 0.37 ± 0.01 , 0.34 ± 0.01 , 0.32 ± 0.02 , 0.29 ± 0.01 , 0.28 ± 0.01 และ 0.21 ± 0.02 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 10 นาที สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.36 ± 0.04 , 0.33 ± 0.02 , 0.31 ± 0.02 , 0.28 ± 0.01 , 0.23 ± 0.03 และ 0.21 ± 0.03 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ และที่เวลา 15 นาที สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 ± 0.02 , 0.32 ± 0.02 , 0.29 ± 0.03 , 0.27 ± 0.02 , 0.24 ± 0.04 และ 0.21 ± 0.01 ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลของการทดลองการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

1. การเพิ่มปริมาณของกระแสไฟฟ้ามีผลมากกว่าเวลาที่จ่ายให้แก่ระบบ โดยการจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดค่าสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียได้มากที่สุดที่เวลา 15 นาที โดยสามารถกำจัดค่าซีไอได้ 52.67 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ กำจัดค่าของแข็งแขวนลอยได้ 97.52 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ กำจัดของแข็งทั้งหมดได้ 23.63 ± 0.72 กำจัดค่าของแข็งระเหยได้ 24.64 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ และสามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้มากที่สุดที่ 5 นาที 98.42 ± 0.24 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี ที่เกิดขึ้นในกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านั้นสามารถทำให้เกิด $Fe(OH)_3$ ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับ ที่สามารถดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และแยกออกจากน้ำเสียได้ด้วยการทำให้ลอยจากฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบจึงทำให้ค่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง

2. น้ำเสียที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีค่าซีไอดีละลายมากกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าพบค่าซีไอดีละลายมากที่สุดที่เวลา 5 นาทีของทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีค่าซีไอดีละลายเฉลี่ยเท่ากับ $31,157 \pm 137$ มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ 0.02 และ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยซีไอดีละลายเท่ากับ $27,422 \pm 158$ และ $22,494.67 \pm 105$ มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $19,730 \pm 204$ - $20,320 \pm 374$ มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการจ่ายค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบจะเกิดความร้อนทำให้เกิดน้ำมันแตกตัวเป็นน้ำมันละลายได้ โดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30.05 ถึง 32.80 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 36.80 ถึง 45.00 องศาเซลเซียส และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 57.00 ถึง 87.00 องศาเซลเซียส ซึ่งเพิ่มจากอุณหภูมิห้อง 29.30 ถึง 31.00 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและความเข้มข้นก๊าซมีเทนน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

3. น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 30 วันมากกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยพบปริมาณสูงสุดที่การจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงที่สุดเท่ากับ 24.02, 26.31 และ 26.94 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เดิม รองลงมาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 23.31, 21.73 และ 17.13 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เดิม และที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 19.59, 20.13 และ 20.84 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เดิม ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 30 วันเท่ากับ 11.33 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่เดิม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มากที่สุดคือ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ส่งผลให้ค่าซีไอดีละลายมากที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหลังจากปฏิกิริยาการรวมตะกอนที่ทำให้น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่กลายเป็นน้ำมันละลายที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลงทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้ง่ายและนำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น แต่สารอินทรีย์ที่คงเหลือในน้ำเสียอาจยังคงมีโมเลกุลขนาดใหญ่และเล็กที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ยากอยู่มากถ้าเปรียบเทียบกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เนื่องจากการย่อยสลายในช่วงแรกของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆและค่อยเพิ่มขึ้นในช่วงกลางๆและดีขึ้นเรื่อยๆจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร น้ำเสียจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดจนทำให้น้ำมันในน้ำเสียแตกตัวจนกลายเป็นไขมันละลายได้มาก แต่ก็มีอาการกำจัดออกไปจากน้ำเสียได้มากเช่นกัน เนื่องจากฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะมีขนาดเล็กลงจึงเพิ่มพื้นที่สัมผัสทำให้น้ำมันละลายสามารถติดไปกับฟองก๊าซไฮโดรเจนและถูกแยกออกจากน้ำเสียได้มากขึ้นจนส่งผลให้การจ่ายกระแสไฟฟ้างดงามมีค่าซีไอดีละลายน้อยที่สุดและคงเหลือสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้อยที่สุดเช่นกัน แต่เนื่องจากสารอินทรีย์ที่คงเหลืออยู่นั้นจะมีข้อดี ทำให้แบคทีเรียในย่อยสลายอาหารได้อย่างทั่วถึงและได้อย่างรวดเร็ว จนส่งผลให้เกิดการย่อยสลายได้ดีมากในช่วงแรกและเรื่อยไปจนใกล้วันสิ้นสุดการทดลองและเริ่มลดลงเรื่อยๆเนื่องจากแบคทีเรียใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารในกิจกรรมของแบคทีเรียในระบบไปมากในช่วงแรกช่วงหลังการทดลองจึง

ทำให้อาหารเริ่มหมดลง และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ส่งผลให้มีสารอินทรีย์คงเหลืออยู่มากที่สุดแต่เกิดการแตกตัวของน้ำมันและไขมันเป็นน้ำมันละลายน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นการจ่ายความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดอุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นหลังการทำปฏิกริยาน้อยที่สุด จนส่งผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างช้าๆ ในช่วง 15 วันแรก และเริ่มย่อยสลายได้ดีขึ้นในช่วงหลังตั้งแต่วันที่ 17 ของการทดลองเนื่องจากปริมาณและความเข้มข้นสารอินทรีย์ในน้ำเสียมากจนทำให้แบคทีเรียย่อยสลายได้ยากและไม่ทั่วถึง

4. น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมากกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 12.10, 8.13, 46.27, 87.53, 69.03 และ 74.35 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลองตามลำดับ ส่วนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 56.86, 79.50, 79.45, 18.13, 53.74 และ 20.10 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลองตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 12.10, 15.94, 18.01, 46.70, 52.95 และ 59.59 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของการทดลองตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามากขึ้นที่ 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรมีข้อดีที่สามารถลดระยะเวลาในเก็บกักสารอินทรีย์และช่วยให้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวมเร็วจนสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนได้ดีในระยะแรกแต่เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารของแบคทีเรียในระบบน้อยและถูกนำไปใช้อย่างรวดเร็วจึงทำให้ช่วงหลังๆ เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเริ่มลดลง นอกจากนี้การใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าดังกล่าวมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากจนส่งผลให้น้ำเสียมีอุณหภูมิสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเนื่องจากอุณหภูมิหลังการปฏิกริยาการรวมตะกอนน้อยกว่าแต่เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนจะน้อยกว่าในวันที่ 5 และ 10 ของการทดลอง แต่จะมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมากขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านั้นจะมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนน้อยในวันที่ 5, 10 และ 15 ของการทดลองและมีเปอร์เซ็นต์มากขึ้นเรื่อยๆ และมากที่สุดเพียงแค่ 59.59 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาข้อดีข้อเสียและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อการเลือกใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแต่ละค่า เพื่อความเป็นไปได้ในการใช้ในถังหมักปฏิกรณ์จริง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบแบบต่อเนื่อง(Continuous) เพื่อนำประโยชน์ไปใช้ต่อไป
3. ศึกษาปริมาณตะกอนหลักที่เกิดหลังการทำปฏิกิริยาเพื่อจะได้ค่าที่แน่นอนเพื่อป้องกันถึงปริมาณหลักที่เกิดหลังปฏิกิริยาไม่มีผลต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจน
4. ศึกษาองค์ประกอบของฟองตะกอนที่เกิดจากกระบวนการรวมตะกอนด้วย เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กองจัดการสิ่งแวดล้อม, กอง.2551. กระบวนการ Coagulation และ Flocculation [ออนไลน์].

แหล่งที่มา: <http://www.mwa.ac.th/download/etc01coagulation.pdf> [10 มีนาคม, 2555].

กัณฑ์มาศ สุทธิเรืองวงศ์. 2539. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จันทร์พร ผลากรกุล จันทิภามังมีมาก และกนิษฐา อินทราโชติ. 2553. Pretreatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation and coagulation. *Journal of ScienceAsia*. 36: 142-149.

จิรวรรณ ออตยะกุล. 2549. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการแบบไร้อากาศสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนวรรณ ดิลกการย์. 2553. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปริเมษ เจริญนพคุณ. 2545. การกำจัดไนเตรทในน้ำทิ้งชุมชนด้วยไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหานคร.

ผาสุข กุลวนิชย์, เสาวลักษณ์จิตบรรเจิดกุล และอรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2534. โครงการแปรรูปผลิตภัณฑ์และพัฒนาด้านการตลาดของโรงบีบน้ำมันปาล์ม. *วารสารสงขลานครินทร์* 12(2):78-91.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ, เสาวลักษณ์จิตบรรเจิดกุล และอรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2533. น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. *วารสารสงขลานครินทร์*. 12: 169-176.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัฐพงศ์ ปกแก้ว. 2552. การทดสอบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสุปุด้า. ในรายงานผลการวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้, หน้า. 30-37. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่.

วารีย์ ช้วนรัก. 2548. นวัตกรรมน้ำมันปาล์มจากอุตสาหกรรมสู่แหล่งพลังงานทดแทน *Engineering Today* 3 (ธันวาคม 2548): 25.

- วีรนุช หลาง. 2551. จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์วิจัยน้ำมันปาล์มสุราษฎร์ธานี. 2550. องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://it.doa.go.th/> [14 กรกฎาคม 2550].
- สมบัติ เชาวพูนผล. 2546. สรรพภาพของกระบวนการจับก้อนด้วยไฟฟ้าและการคืนสภาพสารที่จับก้อนเพื่อการประยุกต์ในการแยกของคั่วจากเปลือกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2548. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า. วารสารเทคนิค 283 (มกราคม 2551): 1-9.
- สมาคมน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มแห่งประเทศไทย. 2553. ปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.palmoilthai.com/miraculous.htm> [6 กันยายน 2553].
- สุดสิริ วิฑิตสุวัฒน์. 2552. การบำบัดและแยกน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันด้วยอิเล็กโทรสถิติกโคอะเลสเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรพงษ์ นนทประเสริฐ. 2553. การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นโดยใช้วิธีทางความร้อนและทางชีวภาพต่อความสามารถในการย่อยสลายของไบโอดีในระบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2551. แผนผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/used/01-02.php> [22 มีนาคม 2555].
- อมรภาค ชูทอง. 2550. การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการรวมไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อภิรดี สุนทรภา. 2549. การนำกลับคืนจากน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและวิธีทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2540. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม.

ภาษาอังกฤษ

- Agustin, M.B., Sengpracha, W.P., and Phutdhawong, W. 2003. Electrocoagulation of Palm oil Mill Effluent. International Journal of Environmental Research and Public Health. 5 : 177–180.
- Asselin, M., Drogui, P., Brar, S.K., Benmoussa, H. and Blais, J.F., 2007. Organics removal in Oily bilgewater by electrocoagulation process, Journal of Hazardous Materials. 150 : 124-135.
- Ayhan, I. and Mahmut, O. 2006. Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes. Journal of Hazardous Materials. 137 : 1197-1205.
- Azbar, N., Keskin, T., Cokay, C.E. 2007. Improvement in anaerobic degradation of olive mill effluent(OME) by chemical pretreatment using batch systems. Biochemical Engineering Journal 38 : 379-383.
- Bande, M.R., Prasad, B., Mishra, I.M., and Wasewar, L.K. 2008. Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation. Journal of Chemical Engineering. 137:503-509.
- Banerjee S., Howard P.H., Rosenberg A.M., Dombrowski A.I., Sikka H., and Tullis D.L. 1984. Development of a general kinetic model for biodegradation and its application to chlorophenols and related compounds. Environ Sci Technol 18 : 416-422.
- Boyd S.A., Shelton D.R., Berry D., and Tiedje J.M. 1993 Anaerobic biodegradation of phenolic_compounds in degested sludge. Appl Environ Microbiol. Appl Environ Microbiol 46 : 50-54.
- Canizares P., Martinez, F., Lobato, J., and Rodrigo, A. M. 2007. Break-up of oil-in-water emulsions by electrochemical techniques. Journal of Hazardous Materials. 145 : 233-240.
- Chen, G. 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Sep. Purif. Technol. 38 : 11-41.
- Faisal, M., and Unno, H. 2001. Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. Journal of Biochemical Engineering. 9 : 25-31.

- Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Christopoulou, N., and Goumenaki, M. 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure. Applied Energy (84) : 646-663.
- Gelegenis, J., Georgakakis, Dimitris, G., Angelidaki, I., Christopoulou, N., and Goumenaki, M. 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater by codigester with diluted poultry-manure. Journal of ScienceDirect. 84 : 646-663.
- Gerardi, M.H. 2003. The microbiology of anaerobic digesters. New Jersey. John Wiley & Son. 34 : 56-63.
- Hamdi, M. 1990. Effects of agitation and pretreatment on the batch anaerobic digestion of olive mill wastewater. Bioresource Technology 38 : 1/5-1/8.
- Heguang, Z., Stadnyk, A., Beland, M., and Seto, P. 2008. Co-Production of hydrogen and methane from patato waste using a two-stage anaerobic process. Journal of Bioresoucece Technology. 99 : 5078-5084.
- Holt, P., Barton, G., and Mitchell., C. 2006. Electrocoagulation as a wastewater treatement. The third Annual Australian Environmental Engineering Research Event. 219 : 214-221.
- Ichikawa, T., Itoh, K., Yamamoto, S. and Sumita, M. 2004. Rapid demulsification of dense oil-in-water emulsion by low external electric field. Experiment evidence. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 242 : 21-26.
- Inan, H., Dimoglo, A., Simsek, K. and Karpuzeu, M., 2004. Olive oil mill wasterwater treatment by Means of Electrocoagulation, Sepearation and Purification Techonology. 36:23-31.
- Jiantuan, Ge., Jiuhui, Qu., Pengju, Lei., and Huijuan, Liu. 2004 New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. Separation and Purification Technology 36:33-39.
- Khoufi, S., Feki, F., and Sayadi, S. 2006. Detoxification of olive mill wastewater by electrocoagulation and sedimentation process. Journal of Hazardous Material. 151 : 531-539.

- Khoufi, S., Aloui, F., and Sayadi, S. 2006. Extraction of antioxidants from olive mill wastewater and electro-coagulation of exhausted fraction to reduce its toxicity on anaerobic digestion. Journal of Hazardous Material. 151 : 531-539.
- Metcalf and Eddy. 2004. Waste water engineering treatment and reuse. 4th ed New York: McGraw-Hill. 12 : 24-27.
- Macarty, O. 1964. Anaerobic waste treatment fundamental. Journal of Public work. 9 : 10-95.
- Mehmet, K., Orhan, T. C., and Mahmut, B. 2003. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Material. 163-178.
- Mignone, A.N. 2005. Biological inhibition/Toxicity control in municipal anaerobic digestion facilities. [Online]. Available from: [http://www.awpca.net/Biological Inhibition](http://www.awpca.net/Biological%20Inhibition). [2005, July 10].
- Moody, L., Burns, R., Wu-Haan, W., and Spajic, R. 2009. Use of Biochemical Methane Potential (BMP) assays for predicting and enhancing anaerobic digester performance. Original scientific paper.
- Moreno A. H., et al. 2007. Electrocoagulation mechanism for COD removal. Journal of Separation and Purification Technology. 56 : 204-211.
- Najafpour, G.D., Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Hasniin Isa, M., Nasrollahzadeh, H. 2006. High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor. Process Biochemistry 41 : 370-379.
- Owen, W.P., Stuckey, D.C., Healy, J.B., Young, L.Y., and McCarty, P.L. 1979. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. Water Res. 13 : 485-495.
- Phaik E. P.; Wei, J Y.; and Mei, F.; C. 2010. Palm Oil Mill Effluent (POME) Characteristic in High Crop Season and the Applicability of High-Rate Anaerobic Bioreactors for the Treatment of POME. Ind. Eng. Chem. Res. 49 : 11732-11740.

- Sam-soon, P.A.L.N.S., Loewenthal, R.E., Wentzel, M.C., and Marais, G.V.R. 1990. Growth of biopellets on glucose in upflow anaerobic sludge bed (UASB) system. Water SA.16: 151-164.
- Speece, R.E. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater. Nashville, Tennessee: Archae Press.
- Ugurly, M., Gurses, A., DOgar, C. and Yalcin, M. 2007. The removal of lignin and Phenol from papermill effluents by electrocoagulation. Journal of Environment Management. 10 : 10-16.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัย

ตารางที่ ก สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

สัญลักษณ์	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
C	Control ในการทำ BMP โดยใส่น้ำกลั่นแทนน้ำเสีย
B-Ec	B-Ec = Before Electrocoagulation น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
0.02A-5	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที
0.02A-10	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 10 นาที
0.02A-15	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 15 นาที
0.05A-5	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 5 นาที
0.05A-10	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 10 นาที
0.05A-15	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.05 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 15 นาที
0.1A-5	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 5 นาที
0.1A-10	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 10 นาที
0.1A-15	น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรเวลา 15 นาที

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ หลังกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

เวลา (นาท)	COD (mg/L)					
	0.02A/cm ²	อุณหภูมิ	0.05A/cm ²	อุณหภูมิ	0.1A/cm ²	อุณหภูมิ
0	43,010 ±136	29.30 -31.00	43,501 ±351	29.30 -31.00	42,953 ±50	29.30 -31.00
5	33,733 ±252	30.05	32,607 ±526	36.80	24,953 ±136	57.00
10	32,665 ±408	32.00	29,759 ±294	41.00	22,163 ±55	75.80
15	30,067 ±288	32.80	27,709 ±226	45.00	20,324 ±86	87.00

หมายเหตุ: เวลา 0 นาท คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ขีด (-) คือ เป็นช่วงของอุณหภูมิ

ตารางที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีละลายและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

เวลา (นาท)	sCOD (mg/L)					
	0.02A/cm ²	อุณหภูมิ	0.05A/cm ²	อุณหภูมิ	0.1A/cm ²	อุณหภูมิ
0	20,320 ±374	29.30 -31.00	19,730 ±204	29.30 -31.00	20,060 ±393	29.30 -31.00
5	27,422 ±158	30.05	31,157 ±137	36.80	22,495 ±150	57.00
10	25,102 ±88	32.00	28,393 ±373	41.00	20,726 ±283	75.80
15	24,622 ±135	32.80	26,607 ±132	45.00	19,569 ±101	87.00

หมายเหตุ: เวลา 0 นาท คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ขีด (-) คือ เป็นช่วงของอุณหภูมิ

ตารางที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำมันและไขมันและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

เวลา (นาท)	FOG (mg/L)					
	0.02A/cm ²	อุณหภูมิ	0.05A/cm ²	อุณหภูมิ	0.1A/cm ²	อุณหภูมิ
0	3,047	29.30	3,150	29.30	3,282	29.30
	±42	-31.00	±50	-31.00	±11	-31.00
5	253	30.05	182	36.80	48±	57.00
	±27		±6		8	
10	534	32.00	245	41.00	57±	75.80
	±49		±6		3	
15	585	32.80	343	45.00	16	87.00
	±30		±51		0±8	

หมายเหตุ: เวลา 0 นาที คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ขีด (-) คือ เป็นช่วงของอุณหภูมิ

ตารางที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

เวลา (นาท)	SS (mg/L)					
	0.02A/cm ²	อุณหภูมิ	0.05A/cm ²	อุณหภูมิ	0.1A/cm ²	อุณหภูมิ
0	1,943	29.30	2,133	29.30	2,170	29.30
	±60.27	-31.00	±76.38	-31.00	±47.00	-31.00
5	1,494	30.05	540	36.80	338	57.00
	±51.00		±53.00		±34.00	
10	1,260	32.00	218	41.00	183	75.80
	±69.43		±23.07		±29.00	
15	1,037	32.80	92	45.00	54	87.00
	±35.00		±8.00		±4.00	

หมายเหตุ: เวลา 0 นาที คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ขีด (-) คือ เป็นช่วงของอุณหภูมิ

ตารางที่ ข-5 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

เวลา (นาท)	TS (mg/L)					
	0.02A/cm ²	อุณหภูมิ	0.05A/cm ²	อุณหภูมิ	0.1A/cm ²	อุณหภูมิ
0	35,170	29.30	35,049	29.30	34,617	29.30
	±157.00	-31.00	±85.00	-31.00	±104.00	-31.00
5	32,710	30.05	30,710	36.80	29,204	57.00
	±105.00		±105.00		±180.00	
10	31,663	32.00	29,133	41.00	27,151	75.80
	±139.00		±99.00		±117.00	
15	30,280	32.80	28,180	45.00	26,400	87.00
	±35.00		±159.00		±264.00	

หมายเหตุ: เวลา 0 นาที คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ขีด (-) คือ เป็นช่วงของอุณหภูมิ

ตารางที่ ข-6 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งที่ระเหยได้และอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

เวลา (นาท)	TVS (mg/L)					
	0.02A/cm ²	อุณหภูมิ	0.05A/cm ²	อุณหภูมิ	0.1A/cm ²	อุณหภูมิ
0	28,809	29.30	29,133	29.30	28,103	29.30
	±272	-31.00	±231	-31.00	±105	-31.00
5	25,056	30.05	24,754	36.80	22,122	57.00
	±50		±150		±69	
10	24,353	32.00	23,497	41.00	21,420	75.80
	±45		±134		±82	
15	22,103	32.80	21,176	45.00	20,170	87.00
	±105		±66		±154	

หมายเหตุ: เวลา 0 นาที คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ขีด (-) คือ เป็นช่วงของอุณหภูมิ

ตารางที่ ข-7 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช อุณหภูมิ และความต่างศักย์ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

เวลา (นาที)	pH								
	0.02A/cm ²	อุณหภูมิ	V	0.05A/cm ²	อุณหภูมิ	V	0.1A/cm ²	อุณหภูมิ	V
0	5	29.30		5	29.30		5	29.30	
	±0.02	-31.00		±0.02	-31.00		±0.02	-31.00	
5	5.4		<u>6.40</u>	5.9	36.80	<u>14.90</u>	6		<u>25.60</u>
	±0.03	30.05	/6.30	±0.04		/13.00	±0.03	57.00	/22.50
10	5.8		<u>6.50</u>	6.4		<u>14.95</u>	7.05		<u>27.40</u>
	±0.05	32.00	/6.34	±0.11	41.00	/12.40	±0.05	75.80	/23.00
15	6		<u>6.60</u>	6.56		<u>15.00</u>	7.14		<u>33.50</u>
	±0.10	32.80	/6.40	±0.11	45.00	/12.80	±0.11	87.00	/25.50

หมายเหตุ: เวลา 0 นาที คือ น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ขีด (-) คือ เป็นช่วงของอุณหภูมิ

V คือ Volt ความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยสัญลักษณ์ที่ใช้ตัวเอียงและขีดเส้นใต้ คือ

ค่าความต่างศักย์ขณะเริ่มจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและตัวเลขที่ไม่ได้ทำ

สัญลักษณ์ใดๆ คือ ความศักย์ไฟฟ้าเมื่อสิ้นสุดการจ่ายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ภาคผนวก ค
ปริมาณก๊าซชีวภาพและผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทน

ตาราง ค-1 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ml) ของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า


วันที่	C	B-Ec	0.02A-5	0.01A-10	0.01A-15	0.05A-5	0.05A-10	0.05A-15	0.1A-15	0.1A-10	0.1A-15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.2	2	3.5	4	5	7	7	10	13	15.5	20
2	0.42	5	7.5	7	10.2	13	16	19	23	35.5	35
3	2.42	8.3	11.5	12	14.2	18	25.2	29.2	41	65.5	55.2
4	5.42	17.25	21.6	19.53	22.6	25.5	35.1	46.7	66.85	97.3	89.5
5	10.15	24.2	29.45	26.93	30	33.2	50.7	74.7	104.65	137.93	131.24
6	10.95	29.6	35.85	31.76	35	37.9	62.7	100.85	138.5	179.43	167.49
7	13.85	30.13	39	34.56	37.47	40.37	65.3	128.38	178.03	212.36	196.99
8	14.81	32.73	41.5	37.76	40.13	44.62	80.2	157.28	215.29	242.66	228.49
9	15.01	34.23	42.8	41.79	41.58	48.35	103.7	193.48	256.72	280.59	262.82
10	15.66	35.99	43.9	44.24	44.78	50.75	136	229.28	289.57	319.89	283.12
11	16.26	38.79	45.5	46.59	50.13	56.05	169.15	267.08	322.57	357.84	295.17
12	16.46	43.26	46.8	49.64	53.58	62.75	204.35	301.11	353.02	377.69	302.72
13	17.06	52.72	48.7	54.89	56.48	73.28	241.02	334.01	383.25	394.14	308.58
14	17.71	56.78	51.96	60.34	60.68	99.63	278.87	366.96	417.95	414.87	314.88
15	18.14	59.38	56.36	69.39	66.08	138.48	310.67	403.51	438.3	429.22	318.58
16	18.54	61.13	61.42	80.44	71.88	175.18	338.45	429.06	460.75	435.62	321.61
17	19.04	64.76	68.62	103.14	82.53	220.24	366.55	451.22	473.81	439.48	324.34
18	19.59	71.21	80.92	134.07	101.58	267.67	402.05	470.25	484.31	443.18	326.94
19	19.69	77.91	111.55	164.17	128.83	316.47	431.05	492.55	489.24	445.98	329.04
20	20.04	86.21	142.4	205.37	162.08	372.27	462.55	516.05	492.74	448.68	330.79
21	21.14	98.96	179.43	245.07	202.88	417.82	495.3	535.05	496.34	451.38	333.39
22	21.44	117.36	226.29	287.77	237.73	438.07	518.16	548.5	499.14	453.78	335.19
23	21.74	137.79	260.79	328.67	254.03	453.5	538.06	557.55	500.77	455.11	336.44
24	22.14	164.89	307.65	371.03	274.93	474.53	555.81	562.85	503.27	457.27	338.47
25	23.09	195.89	345.25	398.48	310.38	499.33	572.71	565.95	505.07	458.67	339.47
26	23.54	218.59	375.35	412.48	353.18	523.58	592.56	568.55	508.32	460.97	341.4
27	24.24	237.52	415.11	428.81	401.71	559.01	600.86	570.15	510.57	426	342.63
28	24.69	258.42	445.31	447.14	428.31	579.94	608.03	571.55	512.1	463.07	343.63
29	25.22	288.72	472.01	465.47	452.61	596.47	610.66	572.85	513.8	464.07	344.53
30	25.52	324.87	490.81	490.22	460.46	613.37	612.91	574.45	515.65	465.37	345.53

ตาราง ค-2 ก๊าซชีวภาพ (ml) รายวันของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

วันที่	C	B-Ec	0.01A-5	0.01A-10	0.01A-15	0.05A-5	0.05A-10	0.05A-10	0.1A-10	0.1A-10	0.1A-15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.2	2	3.5	4	5	7	7	10	13	15.5	20
2	0.22	3	4	3	5.2	6	9	9	10	20	15
3	2	3.3	4	5	4	5	9.2	10.2	18	30	20.2
4	3	8.95	10.1	7.53	8.4	7.5	9.9	17.5	25.85	31.53	34.3
5	4.73	6.95	7.85	7.4	7.4	7.7	15.6	28	37.8	40.9	41.74
6	0.8	5.4	6.4	4.83	5	4.7	12	26.15	33.85	41.5	36.25
7	2.9	0.53	3.15	2.8	2.47	2.47	2.6	27.53	39.53	32.93	29.5
8	0.96	2.6	2.5	3.2	2.66	4.25	14.9	28.9	37.26	30.3	31.5
9	0.2	1.5	1.3	4.03	1.45	3.73	23.5	36.2	41.43	37.93	34.33
10	0.65	1.76	1.1	2.45	3.2	2.4	32.3	35.8	32.85	39.3	20.3
11	0.6	2.8	1.6	2.35	5.35	5.3	33.15	37.8	33	37.95	12.05
12	0.2	4.47	1.3	3.05	3.45	6.7	35.2	34.03	30.45	19.85	7.55
13	0.6	9.46	1.9	5.25	2.9	10.53	36.67	32.9	30.23	16.45	5.86
14	0.65	4.06	3.26	5.45	4.2	26.35	37.85	32.95	34.7	20.73	6.3
15	0.43	2.6	4.4	9.05	5.4	38.85	31.8	36.55	20.35	14.35	3.7
16	0.4	1.75	5.06	11.05	5.8	36.7	27.78	25.55	22.45	6.4	3.03
17	0.5	3.63	7.2	22.7	10.65	45.06	28.1	22.16	13.06	3.86	2.73
18	0.55	6.45	12.3	30.93	19.05	47.43	35.5	19.03	10.5	3.7	2.6
19	0.1	6.7	30.63	30.1	27.25	48.8	29	22.3	4.93	2.8	2.1
20	0.35	8.3	30.85	41.2	33.25	55.8	31.5	23.5	3.5	2.7	1.75
21	1.1	12.75	37.03	39.7	40.8	45.55	32.75	19	3.6	2.7	2.6
22	0.3	18.4	46.86	42.7	34.85	20.25	22.86	13.45	2.8	2.4	1.8
23	0.3	20.43	34.5	40.9	16.3	15.43	19.9	9.05	1.63	1.33	1.25
24	0.4	27.1	46.86	42.36	20.9	21.03	17.75	5.3	2.5	2.16	2.03
25	0.95	31	37.6	27.45	35.45	24.8	16.9	3.1	1.8	1.4	1
26	0.45	22.7	30.1	14	42.8	24.25	19.85	2.6	3.25	2.3	1.93
27	0.7	18.93	39.76	16.33	48.53	35.43	8.3	1.6	2.25	1.03	1.23
28	0.45	20.9	30.2	18.33	26.6	20.93	7.17	1.4	1.53	1.07	1
29	0.53	30.3	26.7	18.33	24.3	16.53	2.63	1.3	1.7	1	0.9
30	0.3	36.15	18.8	24.75	7.85	16.9	2.25	1.6	1.85	1.3	1
Total	25.52	324.87	490.81	490.22	460.46	613.37	612.91	574.45	515.65	465.37	345.53

ตาราง ค-3 ก๊าซชีวภาพ (ml/g vs) รายวันของน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

วันที่	Control	B-Ec	1A-5	1A-10	1A-15	3A-5	3A-10	3A-15	6A-5	6A-10	6A-15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.01	0.07	0.14	0.16	0.23	0.28	0.30	0.47	0.59	0.72	0.99
2	0.01	0.10	0.16	0.12	0.24	0.24	0.38	0.43	0.45	0.93	0.74
3	0.11	0.12	0.16	0.21	0.18	0.20	0.39	0.48	0.81	1.40	1.00
4	0.17	0.31	0.40	0.31	0.38	0.30	0.42	0.83	1.17	1.47	1.70
5	0.27	0.24	0.31	0.30	0.33	0.31	0.66	1.32	1.71	1.91	2.07
6	0.05	0.19	0.26	0.20	0.23	0.19	0.51	1.24	1.53	1.94	1.80
7	0.11	0.02	0.13	0.11	0.11	0.10	0.11	1.30	1.79	1.54	1.46
8	0.05	0.09	0.10	0.13	0.12	0.17	0.63	1.37	1.68	1.41	1.56
9	0.01	0.05	0.05	0.17	0.07	0.15	1.00	1.71	1.87	1.77	1.70
10	0.04	0.06	0.04	0.10	0.14	0.10	1.38	1.69	1.49	1.83	1.01
11	0.03	0.10	0.06	0.10	0.24	0.21	1.41	1.79	1.49	1.77	0.60
12	0.01	0.16	0.05	0.13	0.16	0.27	1.50	1.61	1.38	0.93	0.37
13	0.03	0.33	0.08	0.22	0.13	0.43	1.56	1.36	1.37	0.77	0.29
14	0.04	0.14	0.13	0.22	0.19	1.06	1.61	1.56	1.57	0.97	0.31
15	0.02	0.09	0.18	0.37	0.24	1.57	1.35	1.73	0.92	0.67	0.18
16	0.02	0.06	0.20	0.45	0.26	1.48	1.18	1.20	1.01	0.30	0.15
17	0.03	0.13	0.29	0.93	0.48	1.06	1.20	1.05	0.59	0.18	0.14
18	0.03	0.22	0.49	1.27	0.86	1.92	1.51	0.90	0.47	0.17	0.13
19	0.01	0.23	1.22	1.24	1.23	1.97	1.23	1.05	0.22	0.13	0.10
20	0.02	0.29	1.23	1.69	1.50	2.25	1.34	1.11	0.16	0.13	0.09
21	0.06	0.44	1.48	1.63	1.85	1.84	1.39	0.90	0.16	0.13	0.13
22	0.02	0.64	1.87	1.75	1.58	0.82	0.97	0.64	0.13	0.11	0.09
23	0.02	0.71	1.38	1.68	0.74	0.62	0.85	0.43	0.07	0.06	0.06
24	0.02	0.94	1.87	1.74	0.95	0.85	0.76	0.25	0.11	0.10	0.10
25	0.05	1.08	1.50	1.13	1.60	1.00	0.72	0.15	0.08	0.07	0.05
26	0.02	0.79	1.20	0.57	1.94	0.98	0.85	0.12	0.15	0.11	0.10
27	0.04	0.66	1.59	0.67	2.20	1.43	0.44	0.08	0.10	0.05	0.06
28	0.03	0.73	1.21	0.75	1.20	0.85	0.43	0.07	0.07	0.05	0.05
29	0.03	1.06	1.07	0.75	1.10	0.67	0.11	0.06	0.08	0.05	0.04
30	0.02	1.26	0.75	1.01	0.36	0.68	0.10	0.08	0.08	0.06	0.05
Total	1.40	11.33	19.59	20.13	20.84	24.02	26.31	26.94	23.31	21.73	17.13



ใบรายงานผล

ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ): ก๊าซมีเทน
 เลขที่ขอรับบริการ: 161/55
 วันที่รับตัวอย่าง: 19 เมษายน 2555
 ผู้ขอรับบริการ: ศูนย์กนกพร ทัตญะเชียงทิด บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเกษตรศาสตร์สิงหนครจังหวัดสงขลา
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B มีผลการทดสอบดังนี้
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์:


ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X
 ชนิดของ Carrier gas : Ar
 Injector temperature : 60° C
 Oven temperature : 40° C
 Detector temperature : 70° C

ตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ)	% ก๊าซมีเทน (% CH ₄)
1 5 day 3A-15	44.22
2 5 day 6A-5	56.86
3 5 day 3A-5	12.10
4 5 day NO EC	12.06
5 10 day 6A-5	79.50
6 10 day 3A-15	76.06
7 10 day 3A-5	8.13
8 10 day No EC	15.94
9 15 day 6A-5	79.45
10 15 day 3A-15	68.75
11 15 day 3A-5	46.27
12 15 day No EC	18.01

ภาพ ค-4 ใบรายงานผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

หมายเหตุ: No EC เท่ากับ B-Ec

- 5 day 3A-5 เท่ากับ 0.05A/cm² เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที เวลาในการหมัก 5 วัน
- 10 day 3A-15 เท่ากับ 0.05A/cm² เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที เวลาในการหมัก 10 วัน
- 15 day 6A-5 เท่ากับ 0.1A/cm² เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที เวลาในการหมัก 15 วัน



ใบรายงานผล

ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ): ก๊าซมีเทน
 เลขที่ขอรับบริการ: 179/55
 วันที่รับตัวอย่าง: 2 พฤษภาคม 2555
 ผู้ขอรับบริการ: คุณกนกพร ทัตตะเบียงพิณ บัณฑิตวิทยาลัย หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B มีสภาวะการทดลองดังนี้
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์:

ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X
 ชนิดของ Carrier gas : Ar
 Injector temperature : 60^o C
 Oven temperature : 40^o C
 Detector temperature : 70^o C

ตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ)	% ก๊าซมีเทน (% CH ₄)
20 day No EC	46.70
20 day 6A-5	18.35
20 day 3A-5	87.52
25 day No EC	52.95
25 day 6A-5	53.74
25 day 3A-5	69.03
30 day No EC	59.59
30 day 6A-5	20.10
30 day 3A-5	74.35

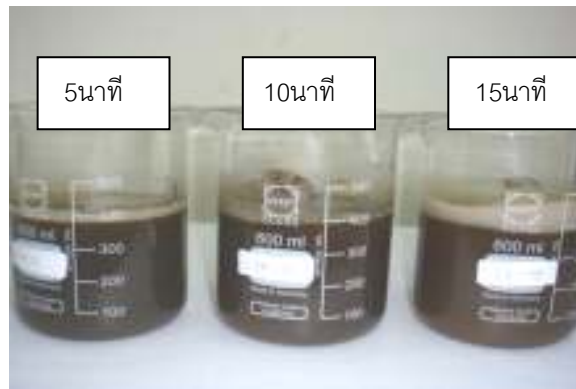
ภาพ ค-5 ใบรายงานผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

หมายเหตุ: 20 day No Ec เท่ากับ B-Ec เวลาในการหมัก 20 วัน

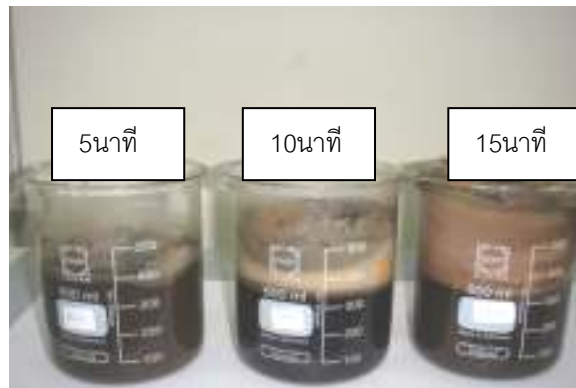
25 day 3A-5 เท่ากับ 0.05A/cm² เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที เวลาในการหมัก 25 วัน

30 day 6A-5 เท่ากับ 0.1A/cm² เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที เวลาในการหมัก 30 วัน

ภาคผนวก ง
ภาพฟองตะกอน สี และของแข็งแขวนลอยที่ค้ำบนแผ่นกระดาษกรองหลัง
กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า



ภาพ ง-1 ฟองตะกอนที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.02\text{A}/\text{cm}^2$



ภาพ ง-2 ฟองตะกอนที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.05\text{A}/\text{cm}^2$



ภาพ ง-3 ฟองตะกอนที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.1\text{A}/\text{cm}^2$

หมายเหตุ: การใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ $0.1\text{A}/\text{cm}^2$ จะทำให้ฟองตะกอนเริ่มดันออกในนาที่ที่ 8



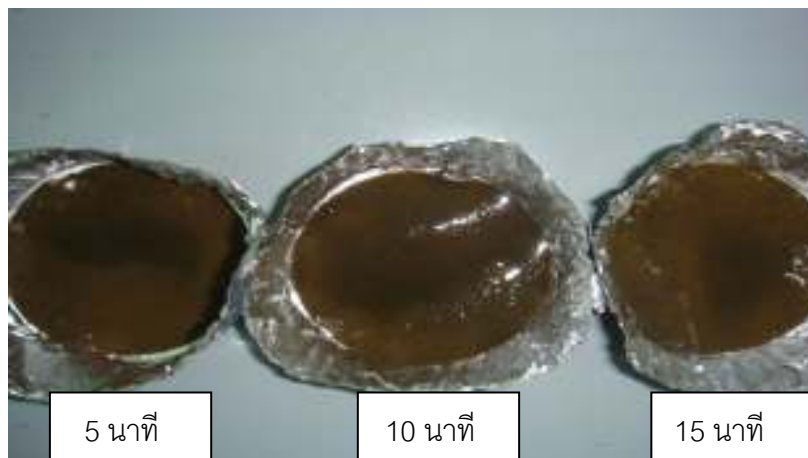
ภาพ ง-4 สีที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.02\text{A}/\text{cm}^2$



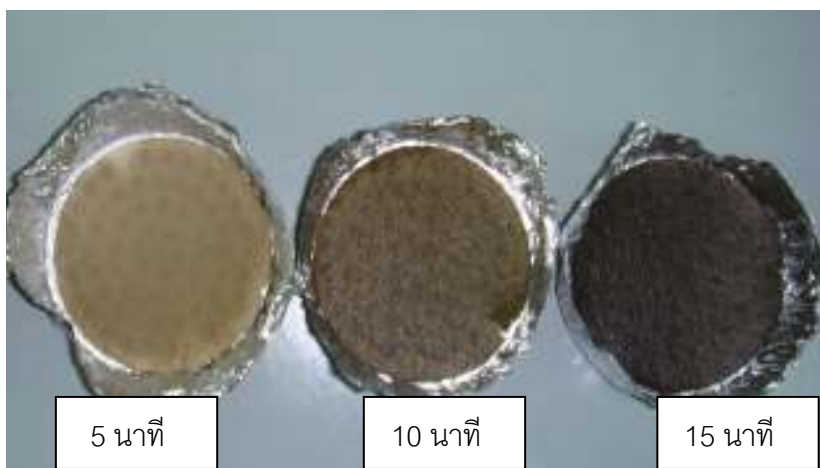
ภาพ ง-5 สีที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.05\text{A}/\text{cm}^2$



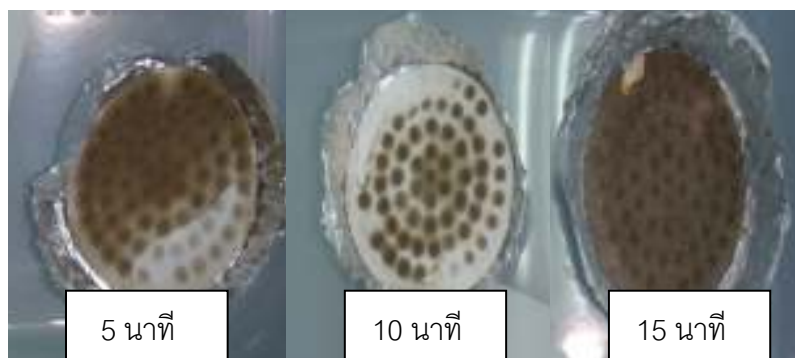
ภาพ ง-6 สีที่เกิดจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ $0.1\text{A}/\text{cm}^2$



ภาพ ง-7 ลักษณะของของแข็งแขวนลอยบนกระดาษกรองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $0.02\text{A}/\text{cm}^2$



ภาพ ง-8 ลักษณะของของแข็งแขวนลอยบนกระดาษกรองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $0.05\text{A}/\text{cm}^2$



ภาพ ง-9 ลักษณะของของแข็งแขวนลอยบนกระดาษกรองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $0.1\text{A}/\text{cm}^2$



ภาพ ง-10 ลักษณะของของแข็งแขนลอยบนกระดาษกรองของน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ภาคผนวก จ
วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. การวิเคราะห์ซีโอดีละลาย โดยใช้วิธี Closed Reflux

1. นำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามากรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.47 ไมครอน
2. นำน้ำเสีย 5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดที่มีขนาด 20×150 มิลลิลิตร
3. เติม 0.1N $K_2Cr_2O_7$ 3 มิลลิลิตร
4. เติม conc. H_2SO_4 (มี Ag_2SO_4 ปนอยู่ 7 มิลลิลิตร)
5. ผสมสารให้เข้ากันกับน้ำเสีย
6. นำไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. รอให้เย็น หยด เฟอโรโรอิน อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด
8. ทำการไทเทรตด้วย สารละลายมาตรฐาน 0.1N FAS จนถึงจุดยุติ(สีแดง)

2. การวิเคราะห์กรดไขมันระเหย

1. นำตัวอย่างใส่ปิเปตเตอร์ 50 มิลลิลิตร
2. ไตเตรทด้วย 0.05N H_2SO_4 จนค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 3.5-3.3
3. ต้มจนเดือด
4. ทิ้งให้เย็น
5. ไตเตรทด้วย 0.05N NaOH จนค่าพีเอชเท่ากับ 7 (จุดปริมาตร NaOH 4-7 เพื่อนำไปคำนวณค่ากรดไขมันระเหย)

3.วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solids)

1. นำตัวอย่างกระเบื้องที่ได้จากการหาของแข็งทั้งหมด
2. เเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที
3. ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น
4. ชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณค่าของแข็งระเหย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้านางสาวกนกพร ทัตญะเชียงพิณ ชื่อเล่น อู๋ม เกิดวันที่ 3 ธันวาคม 2527 ที่จังหวัดอุดรธานี จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาจุลชีววิทยา คณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในปีการศึกษา 2549 และได้เข้ามาศึกษาต่อใน สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551