



การออกแบบและสำรวจสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบรีเวอร์สเอโทเอในการสร้างพลังงาน
และกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

วิทยานิพนธ์
ของ
สุภาวดี ศิริประทุม

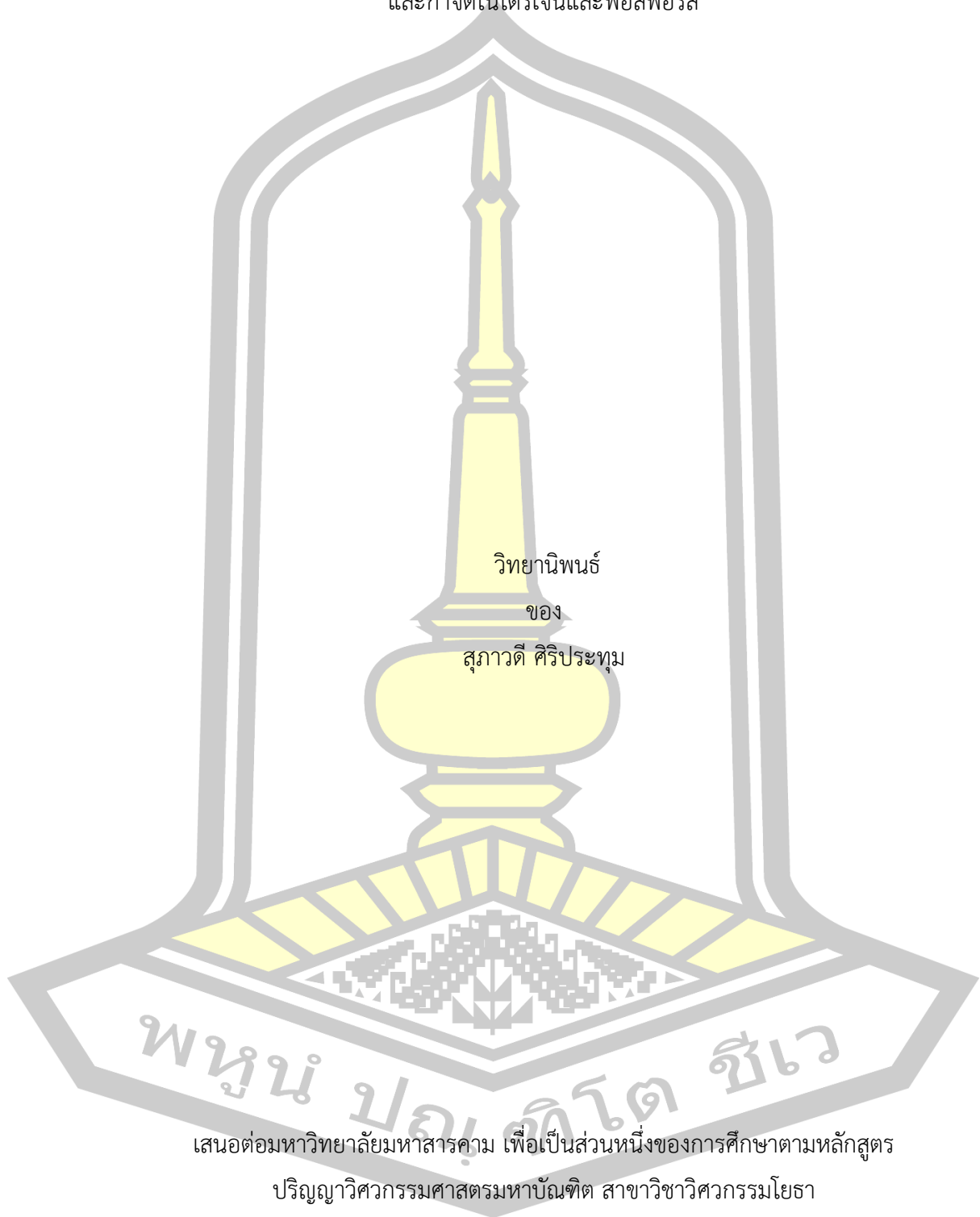
พหุ ประจักษ์ วิเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มิถุนายน 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การออกแบบและสำรวจสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบรีเวอร์สเอทัวโอในการสร้างพลังงาน
และกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส



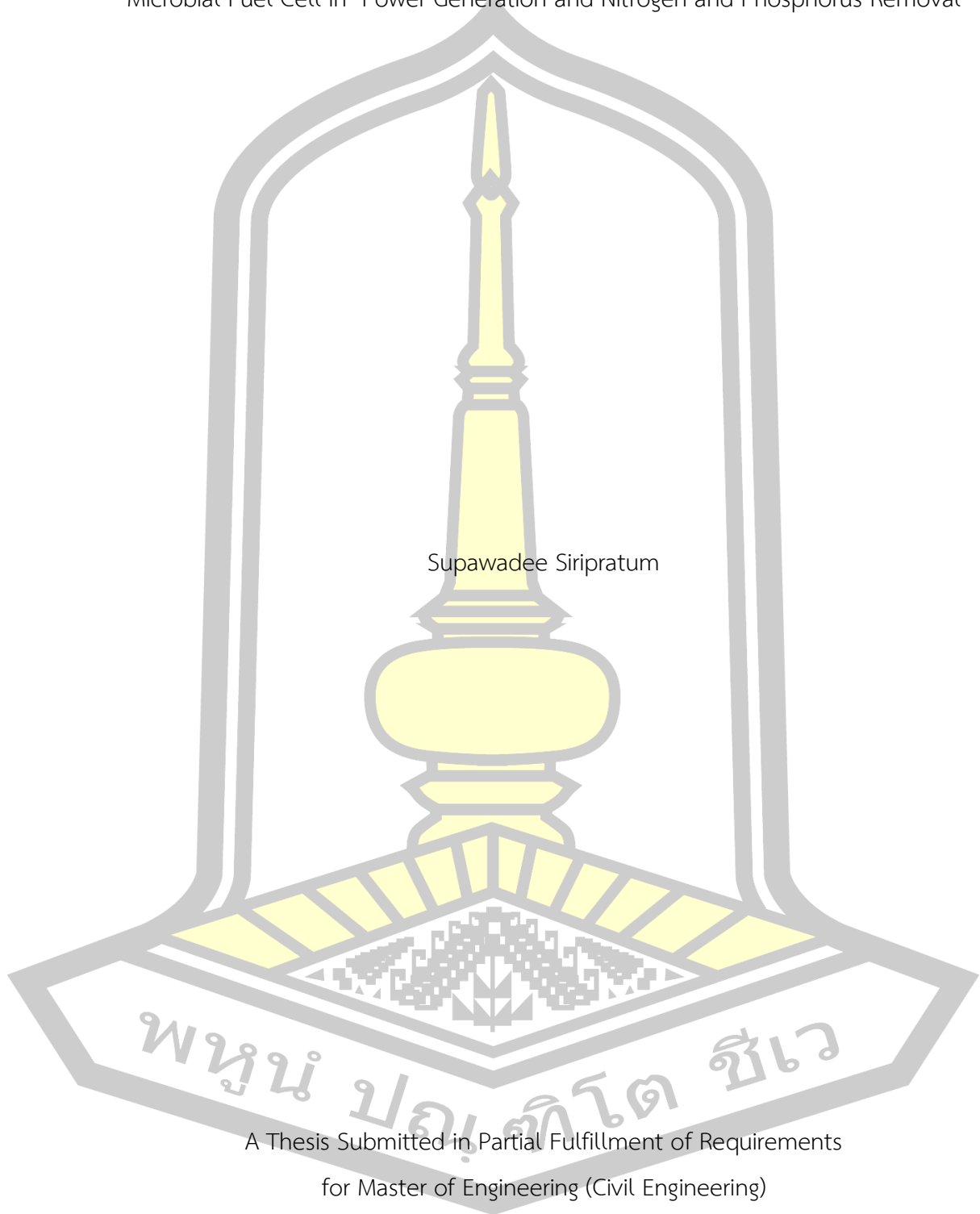
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มิถุนายน 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Design and Investigation Performance of Reverse A2O (Anaerobic-Anoxic-Oxic)
Microbial Fuel Cell in Power Generation and Nitrogen and Phosphorus Removal



Supawadee Siripratum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

June 2021

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวสุภาวดี ศิริประทุม แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ชลทีศา สุขเกษม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. เพชร เท็งชัย)

กรรมการ

(ผศ. ดร. นิดา ชัยมูล)

กรรมการ

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การออกแบบและสำรวจสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบรีเวอร์สเอทอโนในการสร้างพลังงานและกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส		
ผู้วิจัย	สุภาวดี ศิริประทุม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพชร เฟ็งชัย		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียและสร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ชนิด reverse anaerobic-anoxic-oxic microbial fuel cell (Reverse A2O-MFCs) เพื่อศึกษาสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดน้ำเสียของ Reverse A2O-MFCs การต่อขั้วแอโนดและแคโทดของ Reverse A2O-MFCs นี้แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ กลุ่มละ 3 กรณี รวมเป็น 9 กรณีด้วยกันคือ กลุ่มที่ 1 วางขั้วแคโทดที่ถึง anoxic และขั้วแอโนดที่ถึง anaerobic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH01), 35 เซนติเมตร (CH02) และ 45 เซนติเมตร (CH03) กลุ่มที่ 2 วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anaerobic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH04), 35 เซนติเมตร (CH05) และ 45 เซนติเมตร (CH06) และกลุ่มที่ 3 วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 50 เซนติเมตร (CH07), 70 เซนติเมตร (CH08) และ 90 เซนติเมตร (CH09) ผลการทดลองพบว่าระบบ Reverse A2O-MFCs มีประสิทธิภาพการกำจัด บีโอดี ซีโอดี ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม แอมโมเนียรวม ไนโตรท ไนเตรต ไนโตรเจนรวมสูงสุด เท่ากับ 90, 85, 79, 91, 82, 97, 52 และ 78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกรณีวางขั้วแคโทดในถึง anoxic ห่างกับขั้วแอโนดในถึง anaerobic เป็นระยะ 35 เซนติเมตร ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 12.6 ไมโครวัตต์ และผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดการทดลอง 30 วัน เท่ากับ 828 ไมโครวัตต์ชั่วโมง

คำสำคัญ : กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า, การวางขั้วแคโทดและขั้วแอโนด, ระยะห่างระหว่างขั้ว

TITLE	Design and Investigation Performance of Reverse A2O (Anaerobic-Anoxic-Oxic) Microbial Fuel Cell in Power Generation and Nitrogen and Phosphorus Removal		
AUTHOR	Supawadee Siripratum		
ADVISORS	Assistant Professor Petch Pengchai		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Civil Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2021

ABSTRACT

This research designed and constructed a reverse anaerobic-anoxic-oxic microbial fuel cell (Reverse A2O-MFCs) and investigated its performance in electricity generation and wastewater treatment. The installation of anode and cathode was divided into 3 patterns which were further classified into 3 types of electrode distances. As the first pattern, cathodes and anodes were installed in anoxic and anaerobic reactors, respectively with the distance between each of 25 cm. (CH01), 35 cm. (CH02) and 45 cm. (CH03). For the second pattern, cathodes and anodes were installed in oxic and anaerobic reactors, respectively with the distance between each of 25 cm. (CH04), 35 cm. (CH05) and 45 cm. (CH06). In the case of the third pattern, cathodes and anodes were installed in oxic and anoxic reactors, respectively with the distance between each of 50 cm. (CH07), 70 cm. (CH08) and 90 cm. (CH09). The result revealed that Reverse A2O-MFCs could remove 90 % of BOD, 85 % of COD, 79 % of phosphate, 91 % of total phosphorus, 82 % of total ammonia, 97 % of nitrite, 52 % of nitrate and 78 % of total ammonia nitrogen. The highest power output of 12.6 microwatt and the highest total electrical energy of 828 microwatt-hour for 30 day operation were observed in the case of 35 cm electrode distance.

Keyword : electric power, electrical energy, placing a cathode and anode, distance between the electrodes



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการช่วยเหลือแนะนำของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร เพ็งชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบ และแก้ไขร่าง วิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศา สุขเกษม ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธาน โดยมีศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ ฤทธิ์ แข็งแรง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตา ชัยมูล เป็นกรรมการในการสอบ วิทยานิพนธ์ซึ่งได้กรุณา ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงอาจารย์จรศักดิ์ แซ่เต็ง ที่ให้ความ กรุณาใช้พื้นที่ในการวางระบบบำบัดน้ำเสียในการทำวิจัย เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ค่าต่างๆ เจ้าหน้าที่บัณฑิตมหาวิทยาลัย มหาสารคาม ทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยความสะดวกและประสานงาน ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ทรงยศ มงคลพิศ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมโยธา ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือ ในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา

สุภาวดี ศิริประทุม



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ปัญหาและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 แผนการดำเนินการศึกษา.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ลักษณะน้ำเสีย.....	6
2.2 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial fuel cell: MFCs).....	13
2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 ช่วงออกแบบสร้างระบบ Reverse A2O-MFCs.....	26
3.2 ช่วงเลี้ยงเชื้อ.....	33
3.3 ช่วงดำเนินการทดลอง.....	34
3.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางจุลพลศาสตร์.....	36

3.5 การทดลอง Polarization.....	37
3.6 การคำนวณค่าทางไฟฟ้า.....	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	39
4.1 ช่วงเลี้ยงเชื้อ.....	39
4.2 ช่วงเดินระบบ.....	46
4.3 วิเคราะห์การออกแบบระบบ Reverse A2O-MFCs.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สมรรถนะการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของ Reverse A2O-MFCs.....	86
5.2 สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ Reverse A2O-MFCs.....	87
5.3 การออกแบบ Reverse A2O-MFCs.....	88
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	88
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	321



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แผนการดำเนินการศึกษา.....	5
ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของลักษณะน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย.....	6
ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยของลักษณะน้ำเสียจากบ้านเรือนในกรุงเทพมหานคร.....	7
ตาราง 4 ลักษณะน้ำเสียบางประเภทในประเทศไทย.....	7
ตาราง 5 มาตรฐานไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำปิดของบางประเทศ.....	9
ตาราง 6 ค่าศักยภาพการเกิดรีดักชันของครึ่งปฏิกิริยา.....	15
ตาราง 7 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	22
ตาราง 8 พารามิเตอร์การออกแบบทั่วไปสำหรับกระบวนการ BNR ทั่วไป (ดัดแปลงจาก (Metcalf & Eddy, 2003)).....	33
ตาราง 9 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการศึกษา.....	34
ตาราง 10 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการศึกษา.....	35
ตาราง 11 ปฏิกริยารับอิเล็กตรอนของ reverse-HURM (Hanson et al., 2013).....	57
ตาราง 12 เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณภาพน้ำ กับงานวิจัยอื่น ๆ.....	62
ตาราง 13 เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าทางไฟฟ้า กับงานวิจัยอื่น ๆ.....	81
ตาราง 14 สัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์ของแบบจำลองจลพลศาสตร์ Modified Stover-Kincannon ของระบบ Reverse A2O-MFCs.....	83

พูน ปรณ ทิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ระบบเอโอ หรือ anaerobic-oxic, AO process	11
ภาพประกอบ 2 ระบบเอทูโอ หรือ anaerobic-anoxic-oxic, A2O process	11
ภาพประกอบ 3 แผนผังของกระบวนการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพสองกระบวนการ.....	12
ภาพประกอบ 4 แผนผังกระบวนการกำจัดสารอาหารชีวภาพ (A) A2O และ (B) Reverse A2O	13
ภาพประกอบ 5 องค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	14
ภาพประกอบ 6 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยตรงผ่านไซโตโครมที่ผนังเซลล์ชั้นนอก	16
ภาพประกอบ 7 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนด้วยเมดิเอเตอร์	17
ภาพประกอบ 8 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านเส้นลวดนาโนของแบคทีเรีย	18
ภาพประกอบ 9 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่	19
ภาพประกอบ 10 ลักษณะของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวใช้เมมเบรน	20
ภาพประกอบ 11 ลักษณะของเซลล์เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ห้องเดี่ยวแบบไม่ใช้เมมเบรน	20
ภาพประกอบ 12 แผนผังแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	24
ภาพประกอบ 13 น้ำเสียปล่อยเปิด	25
ภาพประกอบ 14 บริเวณที่ตั้งระบบ Reverse A2O-MFCs	25
ภาพประกอบ 15 รายละเอียดการวางระบบ Reverse A2O-MFCs.....	26
ภาพประกอบ 16 ถังพลาสติกใสที่ใช้ทำถังปฏิกรณ์	27
ภาพประกอบ 17 มอเตอร์กวนผสมสำหรับ ถัง anaerobic และ ถัง anoxic.....	28
ภาพประกอบ 18 ป้อนเติมอากาศในถัง oxic ยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-208	29
ภาพประกอบ 19 ถังตกตะกอน ทำจากถังน้ำดื่มนำมาตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการ	30
ภาพประกอบ 20 แผ่นกราฟไฟท์ (ซ้าย) รูปแบบขนาดของขั้วแอโนดและขั้วแคโทด (ขวา)	31
ภาพประกอบ 21 Breadboard แบบ Block ขนาด 45 จุด สำหรับต่อสายไฟและตัวต้านทาน	31

ภาพประกอบ 22 การวางขั้วและระยะห่างของขั้ว ทั้ง 9 กรณี.....	32
ภาพประกอบ 23 ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเลี้ยงเชื้อ.....	40
ภาพประกอบ 24 ค่าศักย์ภาพในการออกซิเดชันรีดักชันในช่วงเลี้ยงเชื้อ	41
ภาพประกอบ 25 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเลี้ยงเชื้อ.....	41
ภาพประกอบ 26 ความเข้มข้นซีไอดีในช่วงเลี้ยงเชื้อ.....	42
ภาพประกอบ 27 ความเข้มข้นฟอสเฟตในช่วงเลี้ยงเชื้อ.....	43
ภาพประกอบ 28 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในช่วงเลี้ยงเชื้อ	43
ภาพประกอบ 29 ความเข้มข้นไนโตรเจนในช่วงเลี้ยงเชื้อ	43
ภาพประกอบ 30 ความเข้มข้นไนเตรทในช่วงเลี้ยงเชื้อ	44
ภาพประกอบ 31 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมในช่วงเลี้ยงเชื้อ	44
ภาพประกอบ 32 ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV ช่วงเลี้ยงเชื้อ	46
ภาพประกอบ 33 ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเดินระบบ.....	46
ภาพประกอบ 34 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเดินระบบ.....	47
ภาพประกอบ 35 ค่าศักย์ภาพในการออกซิเดชันรีดักชันในช่วงเดินระบบ	47
ภาพประกอบ 36 ความเข้มข้นบีไอดี และประสิทธิภาพการบำบัดบีไอดี.....	48
ภาพประกอบ 37 ความเข้มข้นซีไอดี และประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี.....	50
ภาพประกอบ 38 ความเข้มข้นฟอสเฟต และประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต.....	52
ภาพประกอบ 39 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม และประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสรวม	54
ภาพประกอบ 40 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม และประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวม.....	56
ภาพประกอบ 41 ความเข้มข้นไนโตรท์ และประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรท์.....	58
ภาพประกอบ 42 ความเข้มข้นไนเตรท และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท.....	60
ภาพประกอบ 43 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวม และประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนรวม	62
ภาพประกอบ 44 ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV และ CCV ตลอดช่วงเดินระบบ	64
ภาพประกอบ 45 ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV ตลอดช่วงเดินระบบ.....	66

ภาพประกอบ 46 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 1 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณี	68
ภาพประกอบ 47 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ที่ให้ P_{max} ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 1	68
ภาพประกอบ 48 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 2 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณี	69
ภาพประกอบ 49 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ที่ให้ P_{max} ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 2	70
ภาพประกอบ 50 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 3 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณี	71
ภาพประกอบ 51 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ที่ให้ P_{max} ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 3	71
ภาพประกอบ 52 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 4 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณี	73
ภาพประกอบ 53 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 4.....	73
ภาพประกอบ 54 ความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV ตลอดช่วงเดินระบบ	75
ภาพประกอบ 55 กำลังไฟฟ้าหลังจากการทำโพลาริเซชันทั้ง 4 ครั้ง.....	77
ภาพประกอบ 56 พลังงานไฟฟ้าหลังจากการทำ polarization ทั้ง 4 ครั้ง.....	78
ภาพประกอบ 57 พลังงานไฟฟ้าหลังตลอดช่วงเดินระบบ.....	79
ภาพประกอบ 58 แบบจำลองจลพลศาสตร์ Modified Stover-Kincannon ของระบบ Reverse A2O-MFCs	83



พหุณฺ์ ปณฺุ ทิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มา

แม้ว่าพื้นผิว 2 ใน 3 ส่วนของโลกปกคลุมไปด้วยน้ำ แต่น้ำจืดที่สามารถนำมาใช้ในการดำรงชีวิตของมนุษย์กลับมีไม่ถึง 1% น้ำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งกับพืชและสัตว์ โดยเฉพาะมนุษย์ ซึ่งใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาคุณภาพน้ำต่ำเนื่องจากการปล่อยสิ่งปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจากแหล่งต่าง ๆ อย่างเช่น การเกษตรที่มีการเติมสารใส่ลงในดินเพื่อให้ธาตุอาหารแก่พืชโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แอลจีบลูม (algae bloom) เป็นสภาวะที่ในน้ำมีสิ่งมีชีวิตกลุ่มออโตโทรป (autotrophs) เช่น แพลงก์ตอนพืช สาหร่าย หรือพืชน้ำเจริญเติบโตมากกว่าปกติ (พงค์ศักดิ์ หนูพันธ์ และ รัฐชา ชัยชนะ, 2557) จนปิดผิวหน้าน้ำ ทำให้แสงแดดส่องลงไปไม่ถึงพืชที่เติบโตบริเวณก้นของแหล่งน้ำ และออกซิเจนจากอากาศก็ละลายลงในระดับความลึกต่าง ๆ ของน้ำ ได้น้อยลงโดยเฉพาะในเวลากลางคืน ส่งผลให้แหล่งน้ำมีสี และกลิ่นไม่พึงประสงค์อันเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผลิตก๊าซไข่เน่า และการตายของปลาที่ขาดออกซิเจนหายใจ ไม่สามารถนำน้ำในแหล่งน้ำนั้นไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้ สาเหตุหลักของยูโทรฟิเคชันคือ การมีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชน้ำปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำมากเกินไป (นรุตตม์ สหาวิน และ จิราวรรณ ตอฤทธิ, 2555) ยูโทรฟิเคชันเป็นปัญหาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่สำคัญปัญหาหนึ่งพบได้ทั่วไปในหลายพื้นที่ทั้งต่างประเทศ เช่น เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในทะเลบอลติก (“เปรียบทะเลบอลติกเป็นเครื่องย่นกาลเวลา,” 2561) และในประเทศ เช่น อ.ศรีราชา อ.ชะอำ อ.หัวหิน อ.เมืองพะเยา (เสาวภา ไวยสุศรี, 2559) รวมทั้งน้ำจากบ่อเลี้ยงเปิดบริเวณบ้านอาจารย์ขจรศักดิ์ แซ่เต็ง บ้านโนนแสง ต.บิลขามเรียง อ.แก่งกั้นทริชัย จังหวัดมหาสารคาม ในช่วงปี พ.ศ. 2560 – 2562

การป้องกันและแก้ไขสภาวะยูโทรฟิเคชันสามารถทำได้โดยกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยวิธีการต่าง ๆ ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น การกำจัดไนโตรเจนโดยใช้กระบวนการทางกายภาพ/เคมี (physical/chemical processes) ได้แก่ การเติมคลอรีน (chlorination) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) และการเป่าอากาศ (air stripping) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีราคาแพงถ้าเปรียบเทียบกับ การบำบัดทางชีวภาพ (พงค์ศักดิ์ หนูพันธ์ และ รัฐชา ชัยชนะ, 2557) ในกรณีโรงบำบัดน้ำเสียเทศบาล

ส่วนใหญ่ใช้กระบวนการกระบวนการตะกอนเร่ง (activated sludge: AS) ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์ทั้งหลายในการย่อยสลาย ดูดซับหรือเปลี่ยนรูปของมลสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง และเป็นที่ทราบกันว่ากำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ไม่ดีนัก จึงต้องมีการดัดแปลงระบบเพื่อให้เอื้อต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยออกแบบระบบกำจัดไนโตรเจนผนวกเอาการกำจัดฟอสฟอรัสเข้าไว้ด้วยกันสำหรับการกำจัดธาตุอาหารทั้งสองเกิดเป็นกระบวนการเออูเอ (anaerobic-anoxic-oxic: A2O)

กระบวนการ A2O มีขั้นตอนหลักๆ อยู่สามขั้นตอนคือ anaerobic, anoxic และ oxic อัตราการสูบสารแขวนลอย (mixed liquor suspended solids: MLSS) กลับไปเข้าถัง anoxic อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 1 – 3 เท่า ของอัตราการไหลของน้ำเสีย โดยแต่ละถังจะถูกใช้งานในลักษณะถึงกวนสมบูรณ์ ในการกำจัดไนโตรเจนจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ที่ขั้นตอน oxic โดยกระบวนการนี้จะแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนย่อย ในขั้นตอนย่อยแรกแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียมไปเป็นไนไตรท์ เรียกรวมๆว่า เอโอบี (ammonium oxidation bacteria: AOB) โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้แก่กลุ่มไนโตรโซโมนาส และในขั้นตอนย่อยที่สองแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์ไปเป็นไนเตรท เรียกรวมๆว่า เอ็นโอบี (nitrite oxidation bacteria: NOB) โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้แก่กลุ่มไนโตรแบคเตอร์ เมื่อไนโตรเจนถูกแปรรูปมาอยู่ในรูปของไนเตรทแล้ว จะมาสามารถถูกลดรูปหรือถูกกำจัดออกโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ในขั้นตอน anoxic โดยจุลินทรีย์จำพวกดีไนตริฟายเออร์ใช้ในเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และได้ก๊าซไนโตรเจนเป็นผลผลิตสุดท้าย ทั้งนี้ดีไนตริฟายเออร์เป็นจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟ ซึ่งต้องการคาร์บอนอินทรีย์จากนอกเซลล์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมอินทรีย์คาร์บอนเข้าสู่ระบบ ในส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพอย่างเพิ่มพูน (enhanced biological phosphorus removal: EBPR) ในขั้นตอน anaerobic กลุ่มสิ่งมีชีวิตพีเอโอ (polyphosphate accumulating organisms: PAOs) จะปล่อยฟอสฟอรัสออกมาจากการย่อยสลายโพลีฟอสเฟตซึ่งให้เอดีพี (adenosine diphosphate: ADP) จากเอทีพี (adenosine triphosphate: ATP) และคายพลังงานออกมาภายนอกเซลล์ เมื่อน้ำเสียถูกส่งต่อมายังขั้นตอน oxic การกำจัดฟอสฟอรัสจะอาศัยจุลินทรีย์พีเอโอเอาฟอสฟอรัสไปใช้ในกระบวนการชีวสังเคราะห์เป็นเซลล์ใหม่ในขณะที่จุลินทรีย์นั้น ๆ ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ จุลินทรีย์พีเอโอที่อาศัยอยู่ในระบบมีความสามารถพิเศษ คือสามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ในรูปโพลีฟอสเฟตได้มากกว่าเซลล์ปกติ และยังสามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ได้ถึงเฉลี่ยร้อยละ 4 – 12 (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมากกว่าในจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟธรรมดาที่พบอยู่ในระบบ AS อยู่มาก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551)

อย่างไรก็ตามในกระบวนการ A2O นั้นมีข้อจำกัดอยู่บ้างในด้านความสิ้นเปลืองพลังงานในขั้นตอนการกวนผสมและการเติมอากาศ หากสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการกวนผสมและการเติมอากาศ หรือสามารถใช้กระบวนการ A2O ผลิตไฟฟ้าขึ้นมาใช้เองในการเติมอากาศได้ จะถือเป็นทางเลือกใหม่ที่ น่าสนใจยิ่งในการแก้ไขปัญหาโทรฟิเคชันแบบประหยัดพลังงาน

เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (microbial fuel cell: MFC) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง สามารถเปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีไปเป็นกระแสไฟฟ้า โดยไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ แต่อาศัยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์กลุ่มเคมีไฟฟ้าแปลงเป็นไฟฟ้าได้โดยตรง (ชลธิศา สุขเกษม, 2554) นั่นคือเมื่อเติมน้ำเสียเข้าไปยังห้อง anode ของระบบ จุลินทรีย์ในนั้นจะย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในน้ำ เช่น สารอินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่เดียวกันก็จะมีอิเล็กตรอนและโปรตอนถูกปล่อยออกมาขณะย่อยจากนั้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้ว anode ไหลผ่านสายไฟไปยังขั้ว cathode เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า ส่วนโปรตอนนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนไปยังขั้ว cathode เพื่อไปจับกับอิเล็กตรอนที่ไหลมาถึงขั้ว cathode โดยจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนแล้วเกิดเป็นน้ำ ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนในขั้ว cathode ถูกถ่ายเทออกไปรักษาความต่างศักย์ (Voltage) ที่ทำให้อิเล็กตรอนไหลเวียนไปได้เรื่อย ๆ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง

ในปี 2015 พบว่าสามารถนำขั้วไฟฟ้ามาต่อเข้ากับกระบวนการ A2O เพื่อให้กลายเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แล้วผลิตไฟฟ้าจากการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้ (Li et al., 2015) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD) ไนโตรเจนรวม (TN) และฟอสฟอรัสรวม (TP) ของ MFC ที่สร้างโดยติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบแปรปรองคาร์บอนลงในขั้นตอน anaerobic และขั้นตอน anoxic ในช่วงเดินระบบมีค่า 94, 88 และ 57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากระบวนการ A2O ที่ไม่ติดตั้งขั้วไฟฟ้าเล็กน้อย (92 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ COD, 87 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ TN และ 46 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ TP)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยศึกษากระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดีกว่ากระบวนการ A2O นั่นคือกระบวนการรีเวอร์สเอทูโอ (reverse anaerobic-anoxic-oxic: Reverse A2O) เป็นวิธีกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ในตะกอนเร่ง (activated sludge) ประกอบด้วยสามขั้นตอนคือ anoxic, anaerobic และ oxic เนื่องจากมีนักวิจัยพบว่ากระบวนการ Reverse A2O สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ถึง 76 ± 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่ากระบวนการ A2O แบบธรรมดาที่กำจัดได้เพียง 70 ± 6 เปอร์เซ็นต์ (Xu et al., 2014) และงานวิจัยในปี 2018 ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการ A2O และ Reversed A2O ผลการศึกษาคือ

กระบวนการ Reversed A2O กำจัดซีโอดี แอมโมเนียไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสรวม (92, 81 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ได้มากกว่ากระบวนการ A2O (90, 78 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (Xie et al., 2018) ผลนี้ชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ ที่จะใช้กระบวนการ Reverse A2O แก้ไขปัญหายูโทรฟิเคชันแทนการใช้ A2O แบบธรรมดาซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการวิชาการมานานกว่า 20 ปี (Qiu et al., 2010)

จากข้อมูลข้างต้นกระบวนการที่สามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดีกว่ากระบวนการ A2O นั่นคือการนำขั้วไฟฟ้ามาต่อเข้ากับกระบวนการ A2O เพื่อให้กลายเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ และยังมีอีกกระบวนการคือกระบวนการ Reverse A2O และถ้าหากกระบวนการ Reverse A2O ผลิตไฟฟ้าขึ้นมาใช้เองในการกวนผสมและการเติมอากาศได้ จะถือเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจยิ่งในการแก้ไขปัญหายูโทรฟิเคชันแบบประหยัดพลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่ออกแบบพัฒนาระบบ Reverse A2O ให้กลายเป็น MFC เป็นระบบ Reverse A2O-MFCs เรียกว่า “เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบรีเวอร์สเอทูโอ” แล้วทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง เพื่อออกแบบและสำรวจสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ศักยภาพของกระบวนการ Reverse A2O ในการแก้ไขปัญหายูโทรฟิเคชันแบบประหยัดพลังงาน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและศึกษาสมรรถนะในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตลอดจนการผลิตไฟฟ้าของ Reverse A2O-MFCs

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยคือ น้ำจากบ่อเลี้ยงเป็ดบริเวณบ้านอาจารย์จรศักดิ์ แซ่เต็ง บ้านโนนแสวง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

1.3.2 ใช้ Reverse A2O-MFCs ในการบำบัด

1.3.3 ตัวแปรของการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ

ได้แก่ น้ำจากบ่อเลี้ยงเป็ดบริเวณบ้านอาจารย์จรศักดิ์ แซ่เต็ง บ้านโนนแสวง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

2. ตัวแปรตาม

ได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี, ฟอสฟอรัส, ไนโตรเจน และกำลังไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบรีเวอร์สเอทูโอผลิตได้ เป็นต้น

3. ตัวแปรควบคุม

ได้แก่ อัตราการไหล ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ ของแข็งแขวนลอยในน้ำ และการวางขั้วแอโนดและแคโทด เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ระบบบำบัดน้ำเสียเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบรีเวอร์สเอทูโอที่ออกแบบสามารถนำไปใช้ในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้จริงและมีประสิทธิภาพ

1.4.2 เพื่อพัฒนาศักยภาพ นำข้อมูลที่ได้ศึกษามาพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบรีเวอร์สเอทูโอ ไปประยุกต์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

1.5 แผนการดำเนินการศึกษา

ตาราง 1 แผนการดำเนินการศึกษา

รายการ	ระยะเวลา														
	ภาคเรียนที่ 2/2561					ภาคเรียนที่ 2/2562					ภาคเรียนที่ 2/2563				
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. กำหนดหัวเรื่องและจัดทำเค้าโครง	←	→													
2. ศึกษาระบบการทำงานและออกแบบ MFC			←	→											
3. เสนอเค้าโครงร่างวิจัย			←	→											
4. สร้าง MFC			←	→											
5. ทดสอบวัตถุประสงค					←	→									
6. วิเคราะห์ข้อมูลสรุปผล								←	→						
7. จัดทำรูปเล่ม										←	→				
8. เสนอผลงานวิจัย												←	→		

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะน้ำเสีย

1. ลักษณะน้ำเสียชุมชนของประเทศไทย

น้ำเสียชุมชนของประเทศไทยมีลักษณะไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับว่าเป็นน้ำเสียสด (fresh) หรือดิบ (raw) จากอาคารชุดหรือเป็นน้ำเสียที่ผ่านบ่อเกรอะมาแล้วหรือเป็นน้ำเสียที่มีน้ำใต้ดินและน้ำฝนเข้ามาปะปนมาก (หรือน้อย) หรือเป็นน้ำเสียที่ถูกหมัก (ferment) และ/หรือย่อย (digest) มาแล้วในระบบท่อ ฯลฯ ความเข้มข้นของบีโอดีและอื่น ๆ จึงแปรผันไปตามสภาพของท้องถิ่น ตาราง 2 - 4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะน้ำเสียต่าง ๆ ของชุมชนหลายประเภทในประเทศไทย

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของลักษณะน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย

ชุมชน	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)
อาคารชุดพักอาศัย					
- น้ำส้วม	110	220	-	40.8	1.3
- น้ำเสียอื่น	151	285	-	21	2.1
โรงแรมชั้นหนึ่ง	190	311	84	23	1.8
หอพัก					
- น้ำส้วม	123	1290	666	32.9	6.8
- น้ำเสียอื่น	75	135	29	19.2	3.9
โรงพยาบาล	172	282	69	27.6	2.9
ภัตตาคาร	919	1,785	401	55.1	3.2
ตลาด	1,123	2,242	551	53.9	4.0
ศูนย์การค้า	81	224	61	66.8	10.1

ที่มา: (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ 2530)

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยของลักษณะน้ำเสียจากบ้านเรือนในกรุงเทพมหานคร

แหล่งกำเนิด	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)
ส้วม	695	1350	4800	295	24
อาบ	170	285	57	13.5	3.3
ซักล้าง	92	250	51	12	17.2
ครัว					
- มีตะแกรง	500	925	200	18	12.7
- ไม่มีตะแกรง	1600	2550	1080	100	8.72

ที่มา: (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ 2530)

ตาราง 4 ลักษณะน้ำเสียบางประเภทในประเทศไทย

ต้นกำเนิด	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)
โรงพยาบาล					
- เฉลี่ยจากทั่วประเทศ	116	237	-	42.2	9.2
- ความน่าจะเป็นร้อยละ 50	92	200	-	40.0	-
ชุมชนห้วยขวาง					
- เฉลี่ย	117	513	82.5	26.0	-
- ความน่าจะเป็นร้อยละ 50	80	300	-	20.0	-
โรงแรมในภูเก็ต	138	277	46.8	25.3	3.1
บ้านเรือนเดี่ยวในภูเก็ต					
- น้ำส้วม	1000	2688	1720	400	23.0
- น้ำเสียอื่น	121	297	59	31.0	9.0

ที่มา: (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ 2532, 2525)

อย่างไรก็ตามระบบบำบัดแบบเดิมที่มุ่งเน้นกำจัดเฉพาะบีโอดีไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ ถ้าระบบบำบัดเหล่านี้ลดบีโอดีจาก 100 ไปเป็น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรตามมาตรฐานจะลดความต้องการออกซิเจนในลำน้ำลงเพียง 80 มิลลิกรัมออกซิเจน/ลิตร น้ำแต่ถ้าไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์และแอมโมเนียมหรือที่เรียกว่า ค่าทีเคเอ็น (TKN) ถูกปล่อยระบายลงลำน้ำในอัตรา 30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร แล้วจะเกิดความต้องการออกซิเจนเพื่อมาออกซิไดส์สารไนโตรเจนนี้ให้เป็นไนเตรท (เรียกว่า nitrogenous Oxygen demand หรือ เอ็นโอดี, NOD หรือความต้องการออกซิเจนโดยไนโตรเจน) เท่ากับ $30 \times 4.57 = 137$ มิลลิกรัมออกซิเจน/ลิตร ที่เดี่ยวดังสมการ (2.1) ถึง (2.3) ซึ่งเห็นได้ชัดว่าค่าความต้องการออกซิเจนโดยไนโตรเจนนี้มากพอๆหรือมากกว่าค่าความต้องการออกซิเจนจากสารอินทรีย์คาร์บอน (หรือบีโอดี) เสียอีกและค่าเอ็นโอดีนี้สามารถเสริมให้เกิดเส้นหย่อนออกซิเจน (Oxygen sag curve) ในลำน้ำได้เร็วและมากขึ้นได้การกำจัดแอมโมเนียม-ไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจนออกจากน้ำเสียจึงมีความจำเป็นในแง่



2. ยูโทรฟิเคชัน

หากมีธาตุอาหารไนโตรเจนและ/หรือฟอสฟอรัสมากเกินไปในแหล่งน้ำปิดเช่นอ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบหรือหนองบึงที่มีเวลากักน้ำมากกว่า 20 วันก็จะเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันขึ้นได้ ทำให้น้ำประปามีกลิ่นคาวของสาหร่ายหรือปลาตายในช่วงกลางคืน (ที่ไม่มีแสงสว่างและค่าดีออกซิเจนถึงศูนย์) ฯลฯ อนึ่งเคยมีรายงานว่าค่าวิกฤต (critical value) ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเท่ากับ 0.05 – 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.007 – 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หากเกินค่านี้แล้วก็จะสามารถเกิดปรากฏการณ์ “น้ำขึ้นลงสีแดง” หรือ red tide อันเป็นรูปแบบหนึ่งของยูโทรฟิเคชันได้ทั้งนี้ถ้าทะเลสาบตั้งซึ่งวัดได้ด้วยอัตราส่วน V:A ของทะเลสาบ (เมื่อ V = ปริมาตรของน้ำ และ A = พื้นผิวน้ำ) ถ้าน้อยกว่า 5 เมตร แล้วโอกาสเกิดเป็นทะเลสาบยูโทรฟิเคต (eutrophicated lake) ก็เป็นไปได้มาก ดังตาราง 5 แสดงค่ามาตรฐานของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำปิดของบางประเทศจะเห็นได้ว่ามาตรฐานของสองธาตุนี้มีค่าต่ำมากการปล่อยธาตุอาหารสองชนิดนี้ลงแหล่งน้ำปิดจึงจึงไม่ให้เกิดขึ้นและนี่ก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งว่าการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียนั้นมีความจำเป็นและสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมากเพียงใด

ตาราง 5 มาตรฐานไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำปิดของบางประเทศ

	มาตรฐาน	เหตุผล	อ้างอิง
แอมโมเนีย	0.016 มก.N/ลิตร	ความเป็นพิษ	U.S.EPA 1987a
	0.02 มก.NH ₃ /ลิตร	-	-
	0.4 มก.NH ₃ /ลิตร	อนุรักษ์ปะการัง, แหล่งธรรมชาติ, เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายทะเล	กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2534
ไนไตรท์	0.06 มก.N/ลิตร	ความเป็นพิษ	CCREM 1986

3. วิวัฒนาการการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

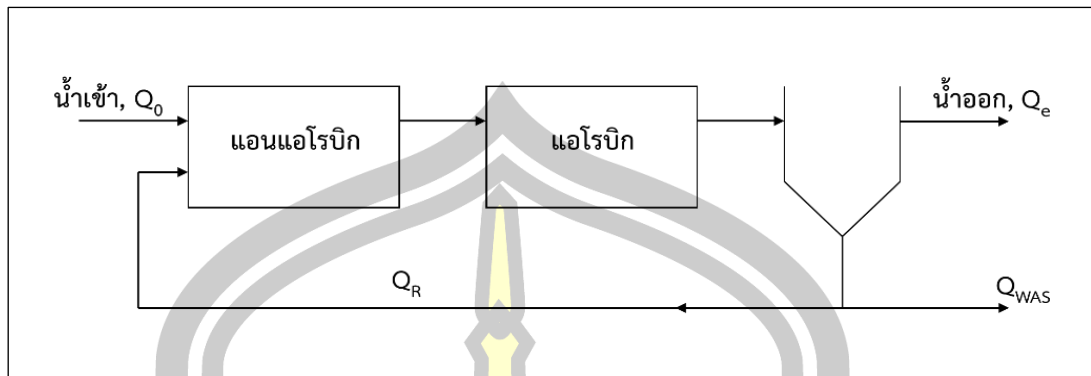
วิวัฒนาการของกระบวนการบีเอ็นอาร์ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบีเอ็นอาร์ปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นระบบสลัดจ์เดี่ยวหรือสลัดจ์ผสม (single or mixed sludge system) ซึ่งหมายถึงเป็นระบบๆ ที่มีปฏิกรณ์หลายตั้งแต่มีถังตกตะกอนหรือถังทำไสไบเดี่ยวและมีการเวียนสลัดจ์กลับไปให้ถึงได้ในทุกถังปฏิกรณ์วิธีการที่ใช้นี้ใช้สำหรับคัดพันธุ์จุลินทรีย์ (ที่จำเป็นมากสำหรับระบบกำจัดธาตุอาหารให้เป็นไปตามที่ต้องการทั้งนี้ปรากฏการณ์การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพที่ได้มากเป็นพิเศษนี้ได้ค้นพบกันตั้งแต่ช่วงต้นคริสต์ทศวรรษ 1960 แล้วเพียงแต่ขณะนั้นไม่ทราบว่าเป็นสาเหตุใดมันจึงเกิดขึ้นได้ (Sedlak, 1991) จนมาในช่วงทศวรรษ 1970 เป็นต้นมาจึงได้มีการวิจัยหาเหตุผลและกลไกของกระบวนการซึ่งมีลำดับวิวัฒนาการดังแสดงไว้ในย่อหน้าถัดไปและต่อไปนี้จะแสดงวิวัฒนาการของการคิดค้นระบบบีเอ็นอาร์ซึ่งกำจัดไนโตรเจนและ/หรือฟอสฟอรัสทางชีวภาพตามลำดับของกาลเวลาดังนี้

เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1954 วูร์มานและคณะ ได้เสนอระบบกำจัดไนโตรเจนแบบสลัดจ์เดี่ยวโดยใช้เป็นแบบดีไนตริฟิเคชันที่หลังหรือโพสต์-ดีเอ็น (post DN) กล่าวคือมีถัง anoxic อยู่ตามท้ายถัง aerobic ไนเตรทที่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันในถังเติมอากาศถูกส่งไปยังถัง anoxic และเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันหรือดีเอ็นที่นั่นโดยไม่มีการเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอก (Wuhrmann, 1954) วิธีการนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนไม่สูงนัก ต่อมาในปี ค.ศ. 1955 กรีนเบิร์กและคณะ เป็นกลุ่มแรกที่พูดถึงระบบเอเอสบางประเภทที่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่าที่ควรพบโดยทฤษฎีในระบบเอเอสปกติ (Greenburg et al., 1955) แต่อลาร์คอน และ ศรีนาถและคณะ เป็นนักวิจัยกลุ่มแรกที่รายงานว่าการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพได้มากเป็นพิเศษสามารถเป็นไปได้

โดยพวกเขาเอาสลัดจ์ที่ได้จากระบบเอเอสแบบไหลตามกัน หรือปลักโฟลวมาผสมกับน้ำเสีย และกวนให้เข้ากันจากนั้นจึงตามด้วยการเติมอากาศและได้พบว่ามีการจับใช้ฟอสฟอรัสขึ้นอย่างมาก แต่ในขณะนั้นพวกเขาก็ไม่รู้ว่ามันเป็นเพราะเหตุใด (Alarcon, 1961; Srinath et al., 1959)

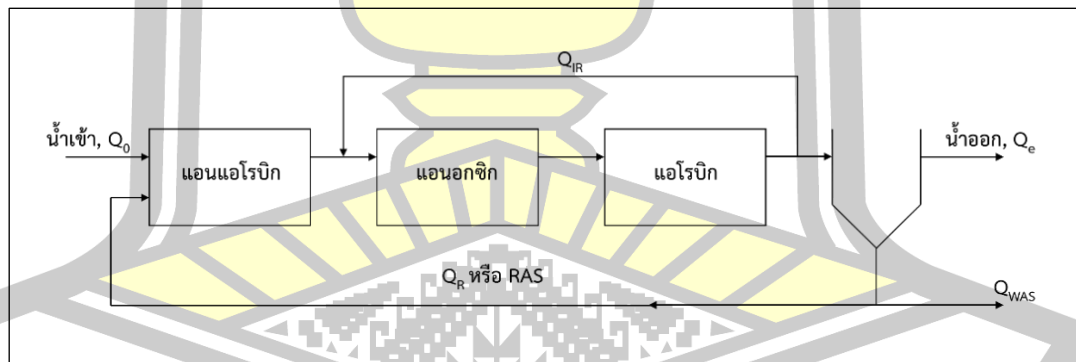
ในปี ค.ศ.1962 ลูดแซคและเอ็ดทิงเกอร์ เป็นบุคคลกลุ่มแรกที่พัฒนาระบบเอเอสให้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้น (Ludzack and Ettinger, 1962) ระบบนี้มีส่วนแรกของถังปฏิกิริยาเป็นขั้นตอน anoxic และส่วนหลังเป็น aerobic ที่เขาเรียกว่า “ออกซิก” (oxic) ซึ่งมีความหมายเหมือน aerobic นั่นคือ ต้องมีการเติมอากาศจนมีออกซิเจนอิสระเพียงพอถึงปฏิกิริยาเป็นถึงเดียวเหมือนถังเอเอสทั่วไป แต่เป็นถังยาวในลักษณะไหลตามกันหรือปลักโฟลว และไม่มีการกั้นถังให้เป็นสองขั้นตอนอย่างเด็ดขาด เพียงแต่ส่วนหน้าไม่มีการเติมอากาศและอาศัยเพียงการกวนในถัง (intermixing) ให้เข้ากัน มาทำให้เกิดสภาพ anoxic สำหรับดีไนตริฟิเคชัน ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจึงยังไม่สูงนักและแปรผันได้ตลอดเวลา ระบบนี้มีชื่อเรียกว่า กระบวนการ แอลอี (LE. Process)

มาจนถึงปี ค.ศ.1974 นายบาร์นาร์ดซึ่งขณะนั้นเป็นอาจารย์อยู่ที่มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในอาฟริกาใต้ได้ตระหนักถึงความสำคัญของขั้นตอนแอนแอโรบิกสำหรับกระบวนการอีบีพีอาร์ จึงได้เสนอรูปแบบของการจัดวางถังใหม่ และใช้ชื่อว่าระบบโฟเรโดกซ์หรือ Phoredox (Barnard 1974, 1975) ซึ่งสามารถกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพได้ที่สายหลัก กล่าวคือระบบฯ มีเพียงสองขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอน anaerobic และขั้นตอน aerobic ตามด้วยถังทำใส โดยที่ไม่ได้ไปดำเนินการจดสิทธิบัตรไว้ ภาพประกอบ 1 ระบบฯนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานจริงแบบขนาดจริง (full-scale) ที่เมือง Germiston ประเทศอาฟริกาใต้ในปี ค.ศ.1974 (Randall et al., 1992) และที่โรงบำบัดอเล็กซานเดอร์ที่เมืองโจฮานเนสเบิร์กประเทศอาฟริกาใต้ (Nicholls, 1975) ส่วนที่โรงบำบัด Olifantsvlei ได้มีการทดลองเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศในระบบบาร์เดนโฟแบบสี่ขั้นตอนพบว่าสามารถผลิตน้ำออกให้มีฟอสฟอรัสเหลือต่ำเพียง 0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ (Venter et.al., 1978) อย่างไรก็ตามจะด้วยเหตุใดไม่ชัดเจนในภายหลัง (ค.ศ. 1979) บริษัทอเมริกันแห่งหนึ่งชื่อ Air Products and Chemicals, Inc. ได้นำกระบวนการนี้ไปจดสิทธิบัตร (Spector 1979) ภายใต้ชื่อว่า ระบบเอโอ (หรือ anaerobic-oxic, AO process)



ภาพประกอบ 1 ระบบเอโอ หรือ anaerobic–oxic, AO process

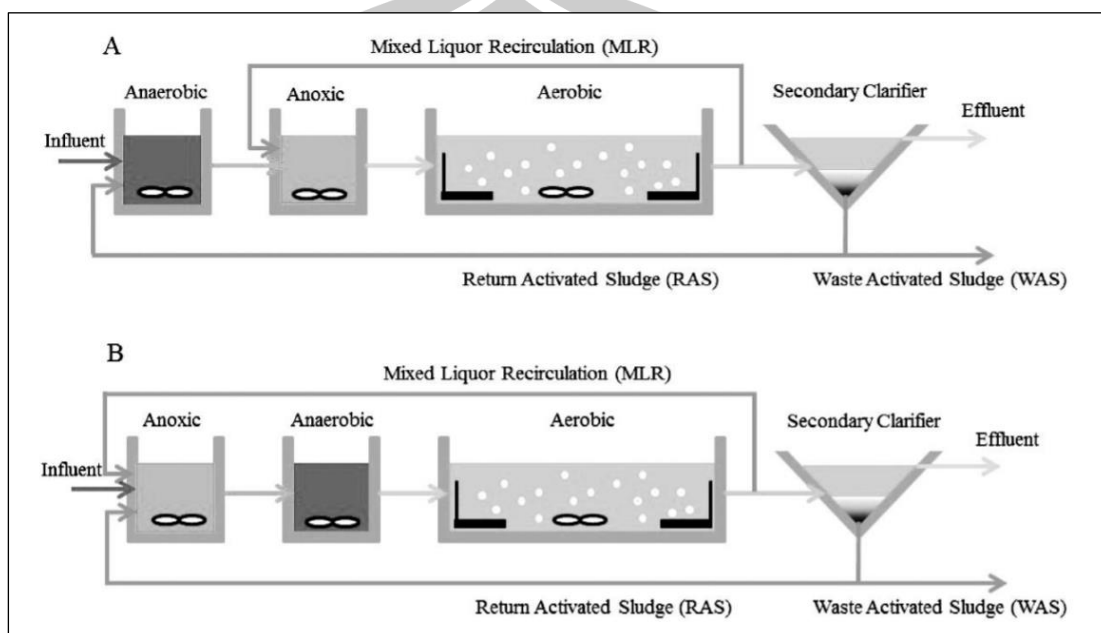
จากนั้นนายบาร์นาร์ดได้พัฒนาต่อไปโดยปรับปรุงระบบเอ็มแอลอีและไฟรีด็อกซ์ขึ้นไปอีกให้สามารถกำจัดได้ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในกระบวนการเดียวกัน และเรียกระบบนี้ว่าไฟรีด็อกซ์ 3 ขั้นตอน หรือไฟรีด็อกซ์แบบดัดแปร (modified) ภาพประกอบ 2 โดยมีถัง anaerobic เพิ่มขึ้นจากกระบวนการเอ็มแอลอีหรือมีถัง anoxic เพิ่มจากกระบวนการไฟรีด็อกซ์นั่นเอง บาร์นาร์ดได้นำความคิดนี้ไปศึกษาในขนาดโรงทดลองและสร้างจริงที่เมือง Klerksdorp ประเทศอาฟริกาใต้ ในปี ค.ศ. 1974 ซึ่งต่อมาบริษัทเดียวกันกับที่จดทะเบียนสิทธิบัตรระบบเอโอก็ได้นำกระบวนการไฟรีด็อกซ์สามขั้นตอนไปจดสิทธิบัตรเป็นระบบเอทูโอ (anaerobic/anoxic/oxic)



ภาพประกอบ 2 ระบบเอทูโอ หรือ anaerobic–anoxic–oxic, A2O process

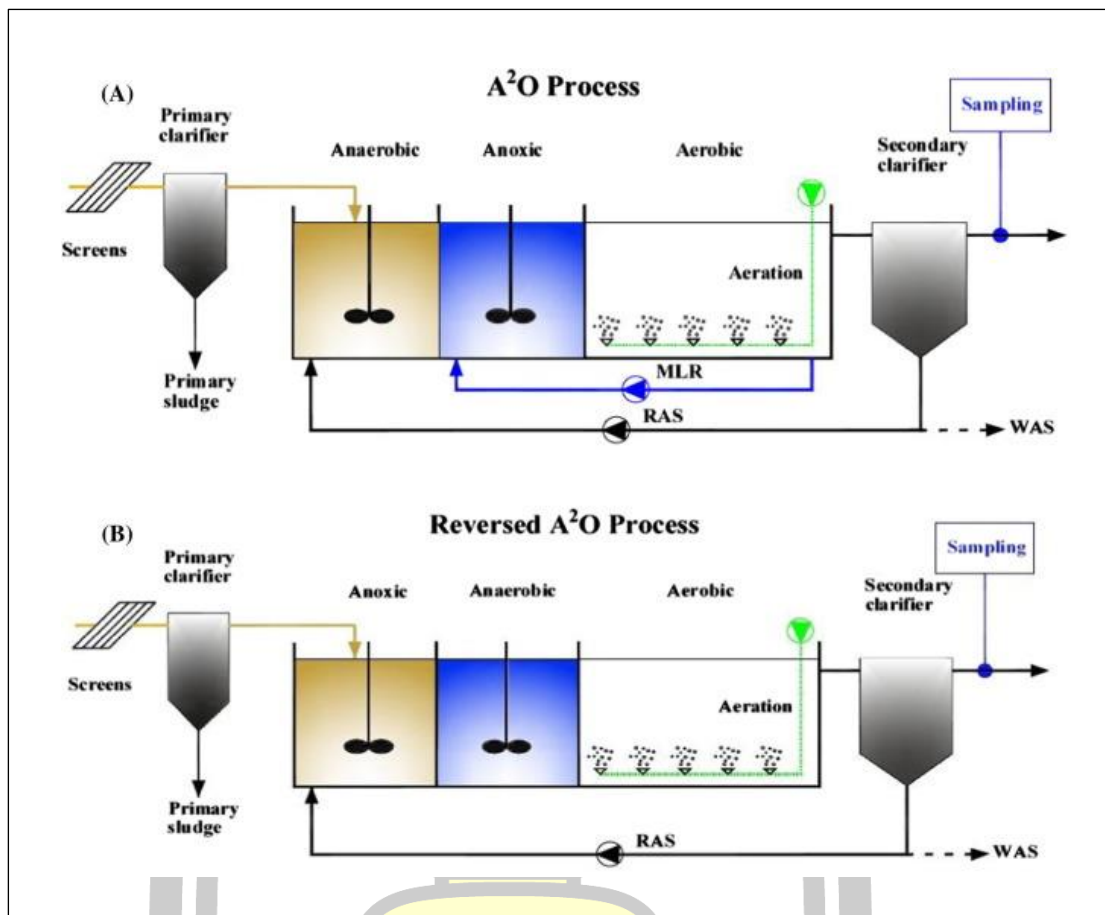
ต่อมา เจิ้งหนาน เสี่ยว และคณะ ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบ A2O และ Reverse A2O ดังภาพประกอบ 3 ดำเนินการในห้องปฏิบัติการที่ระยะเวลาพัก 0.75 วัน พบว่า กระบวนการทั้งสองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดียเยี่ยมสำหรับสารอินทรีย์ (>96 เปอร์เซ็นต์) และไนโตรเจนทั้งหมด (>85 เปอร์เซ็นต์) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในกิจกรรมของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามการกำจัดฟอสฟอรัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญโดยมีประสิทธิภาพ

การกำจัดฟอสฟอรัสรวมในระบบ Reverse A2O และ A2O ที่ 76 ± 6 เปอร์เซ็นต์ และ 70 ± 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Xu et al., 2014)



ภาพประกอบ 3 แผนผังของกระบวนการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพสองกระบวนการ
 (A) A2/O และ (B) reverse A2/O ที่มา: (Xu et al., 2014)

และในปี ค.ศ. 2016 ฟางฟางและคณะ ได้มีการพัฒนาแบบจำลองใหม่เพื่อประเมินเชิงปริมาณและเปรียบเทียบ A2O และ Reverse A2O ดังภาพประกอบ 4 สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้วิธีการฉายภาพตามการเพิ่มประสิทธิภาพจับกลุ่มอนุภาค (PSO) ทิศทางการฉายภาพที่ดีที่สุดนั้นได้มาจากการปรับฟังก์ชันดัชนีการฉายภาพให้ดีที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม PSO โดยการปรับสมการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมโมเดลการประเมินจะถูกสร้างขึ้น จากนั้นทำการคำนวณอันดับของตัวอย่างการประเมินผลประสิทธิภาพโดยรวมของทั้ง A2O และ Reverse A2O (Fang Fang et al., 2016) ถูกประเมินโดยใช้แบบจำลองที่จัดตั้งขึ้นเป็นกรณีศึกษา ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการ A2O (1.79 ± 0.39) นั้นต่ำกว่ากระบวนการ Reverse A2O (1.97 ± 0.41) ซึ่งบ่งชี้ว่าอดีตนั้นดีกว่าในภายหลังภายใต้สภาพการทำงานเดียวกันด้วยการแก้ไขปัญหาการประเมินแบบหลายปัจจัยแบบจำลองที่ใช้ PSO นั้นแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการประเมินกระบวนการบำบัดน้ำเสียเชิงปริมาณ



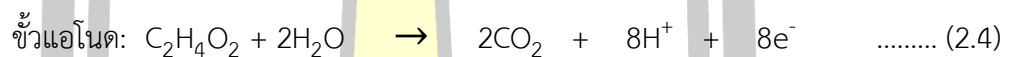
ภาพประกอบ 4 แผนผังกระบวนการกำจัดสารอาหารชีวภาพ (A) A²O และ (B) Reverse A²O
ที่มา: (Fang Fang et al., 2016)

2.2 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial fuel cell: MFCs)

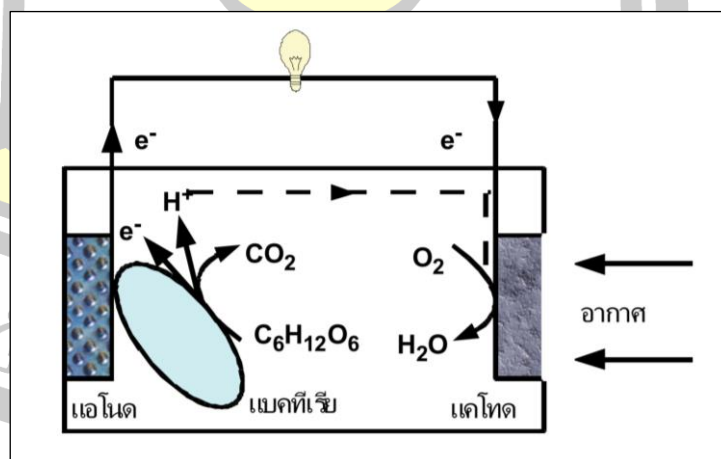
เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial fuel cell : MFCs) เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เป็นพลังงานรูปแบบใหม่ที่สามารถเปลี่ยนน้ำเสียให้เป็นพลังงานกระแสไฟฟ้าโดยใช้จุลินทรีย์เป็นตัวกระตุ้นภายใต้สภาวะไร้อากาศ ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาพลังงานรูปแบบใหม่นี้ขึ้น โดยมีการนำน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ มาเป็นสารตั้งต้นในการกระตุ้น ให้จุลินทรีย์ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ก็เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย ให้เป็นพลังงานที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ น้ำเสียที่มีองค์ประกอบหลัก เป็นสารอินทรีย์เปลี่ยนให้เป็นกระแสไฟฟ้า

1. หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์คือเครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่มีอยู่ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของจุลินทรีย์โดยผ่านปฏิกิริยาแคทาไลติก (catalytic) ของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยที่เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ได้แก่ ขั้วแอโนด (anode) และขั้วแคโทด (cathode) ประกบติดกับสารอิเล็กโทรไลต์ ดังแสดงในภาพประกอบ 5 เมื่อทำการป้อนสารอินทรีย์ตั้งต้น เช่น กลูโคส เข้าไปในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกจุลินทรีย์ที่อยู่รอบๆ ขั้วแอโนดย่อยสลายได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โปรตอน (H⁺) และอิเล็กตรอน (e⁻) ดังสมการที่ (2.4) โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านสารอิเล็กโทรไลต์ ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนด ไปตามวงจรไฟฟ้าด้านนอกไปยังขั้วแคโทดเพื่อรวมตัวกับโปรตอนและตัวรับอิเล็กตรอน เช่น ออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์คือน้ำและเกิดกระแสไฟฟ้า ดังสมการที่ (2.5) โดยที่ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดผลักดันให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอน (ชนิชฐา หมูโสภิญ, 2554)



ปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แสดงดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 5 องค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

ที่มา: (ชนิชฐา หมูโสภิญ, 2554)

การคำนวณค่าความต่างศักย์ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ทำได้โดยการนำค่าศักย์ภาพการเกิดรีดักชันของครึ่งปฏิกิริยา (E^0) ของซัลเฟอร์ (1.123 โวลต์) ตั้ง ลบด้วยค่า E^0 ของซัลเฟอร์ (-0.014 โวลต์) จากสมการที่ 2.4 และได้ค่าความต่างศักย์ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ เท่ากับ $1.123 - (-0.014)$ เท่ากับ 1.124 โวลต์ ทั้งนี้ค่า E^0 ของครึ่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้รวบรวมไว้ในตาราง 6

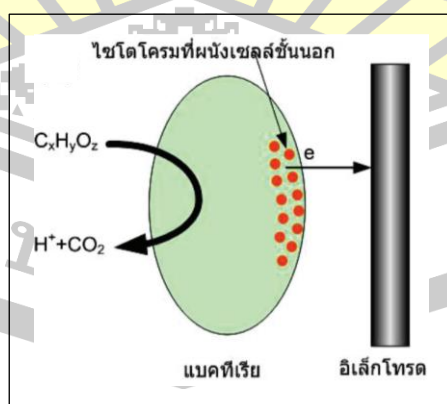
ตาราง 6 ค่าศักย์ภาพการเกิดรีดักชันของครึ่งปฏิกิริยา

Redox Pair(ox/red)	Electron donor compound	E^0 (volt)	ΔG^0 (kj/e)
$\text{CO}_2/\text{CH}_2\text{O}$	Carbohydrate	-0.43	+41.5
$\text{CO}_2/\text{CH}_3\text{OH}$	methanol	-0.39	+37.5
$\text{CO}_2/\text{CH}_3\text{COCOO}^-$	pyruvate	-0.37	+35.8
$\text{CO}_2/\text{CH}_2\text{CHOHCOO}^-$	lactate	-0.34	+32.9
$\text{CO}_2/\text{C}_{16}\text{H}_{24}\text{O}_5\text{N}_4$	protein	-0.333	+32.2
$\text{CO}_2/\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}$	Domestic wastewater BOD	-0.33	+31.8
$\text{CO}_2/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	ethanol	-0.33	+31.8
$\text{CO}_2/\text{CH}_3\text{COO}^-$	acetate	-0.29	+28.0
$\text{CO}_2/\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	propionate	-0.29	+28.0
$\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$	Oil and Grease	-0.29	+28.0
CO_2/CH_4	methane	-0.25	+24.1
$\text{SO}_4^{2-}/\text{HS}^-$	sulfide	-0.217	+20.9
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	ammonium	+0.36	-34.7
NO_3^-/N_2	nitrogen	+0.75	-72.4
$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$	water	+0.82	-79.1

การสร้างอิเล็กตรอนโดยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์มีกระบวนการสร้างสารตั้งต้นของเซลล์เชื้อเพลิง จุลินทรีย์สองตัวหลักที่สำคัญ คือ อิเล็กตรอนและ โปรตอน ผ่านขั้นตอนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ในกระบวนการหายใจในระดับเซลล์การถ่ายทอดอิเล็กตรอนหรือลูกโซ่การหายใจเกิดขึ้นที่เยื่อหุ้ม เซลล์หรือเซลล์เมมเบรน จะเดินควบคู่กันไปทุกขั้นตอน โดยมีไฮโดรเจนเกิดขึ้นในทุกกระบวนการ ไฮโดรเจนจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนทันที อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากสาร ที่มีศักย์ไฟฟ้า (E_0) ต่ำไปยังสารที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงในการสังเคราะห์ ATP อิเล็กตรอนที่หลุดออกจาก โมเลกุลของสารอาหารจะมีสารมารับอิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวนำอิเล็กตรอน แล้วถ่ายทอดอิเล็กตรอน ตัวอื่น ขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จะมีพลังงานปล่อยออกจากอิเล็กตรอน พลังงานเหล่านั้น นำไปสังเคราะห์ ATP กระบวนการนี้จึงเกี่ยวข้องกับสาร 2 ประเภท คือ สารที่เป็นตัวนำอิเล็กตรอน (Mediator) และสารที่เป็นตัวรับพลังงานจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

กลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอน จากจุลินทรีย์ไปยังขั้วแอโนดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

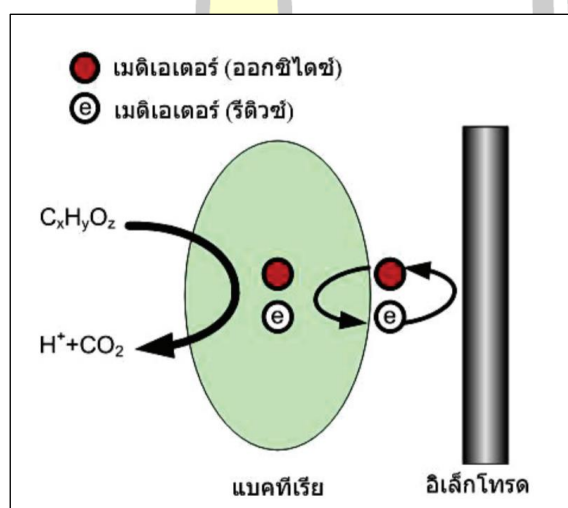
1. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนดโดยตรงผ่านไซโตโครม (Cytochrome) ที่ผนังเซลล์ ชั้นนอกดังแสดงในภาพประกอบ 6 จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่ใช่สื่อไฟฟ้า (Nonconductive) เนื่องจากเยื่อหุ้มผนังเซลล์ชั้นนอกของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยไขมัน ได้แก่ เปปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan) และไลโปพอลิแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) ซึ่งขัดขวางไม่ให้ถ่ายโอน อิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนดได้โดยตรง แต่มีจุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Geobacter sulfurreducens* และ *Shewanella putrefaciens* สามารถถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ จะมีไซโตโครมอยู่ที่ผนังเซลล์ชั้นนอกเป็นจำนวนมาก ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอน จากเซลล์จุลินทรีย์ไปยังขั้วแอโนด (ชนิษฐา หมูโสภิญ, 2554)



ภาพประกอบ 6 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยตรงผ่านไซโตโครมที่ผนังเซลล์ชั้นนอก

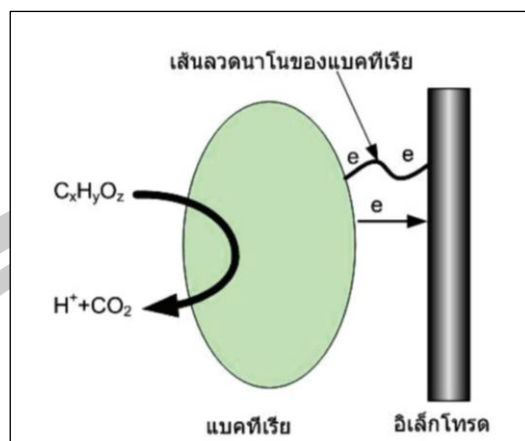
ที่มา: (ชนิษฐา หมูโสภิญ, 2554)

2. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนด้วยเมดิเอเตอร์ (Mediator) ในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากภายในเซลล์จุลินทรีย์ไปยังขั้วแอโนดสามารถทำได้โดยใช้เมดิเอเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 7 เช่น นิวทรอลเรด (Neutral red) และเมธิลีนบลู (Methyleneblue) เป็นต้น โดยเมดิเอเตอร์จะแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในเซลล์จุลินทรีย์และนำเอาอิเล็กตรอนออกมาออกเซลล์ในรูปของรีดิวซ์เมดิเอเตอร์ และปลดปล่อยอิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนด Park และ Zeikus ใช้ นิวทรอลเรด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจาก *Escherichia coli* ไปยังขั้วแอโนด นอกจากนี้แบคทีเรียบางสายพันธุ์ยังสามารถผลิตเมดิเอเตอร์ให้แบคทีเรียสายพันธุ์อื่นนำไปใช้ได้ เช่น *Pseudomonas aeruginosa* สามารถผลิตฟีนาซีน (Phenazine) เพื่อกระตุ้นการถ่ายโอนอิเล็กตรอนสำหรับแบคทีเรียหลายสายพันธุ์ อย่างไรก็ตาม เมดิเอเตอร์มีข้อเสียคือ มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และเพิ่มต้นทุนในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 7 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนด้วยเมดิเอเตอร์
 ที่มา: (ชนิษฐา หมูโสภิญ, 2554)

3. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านเส้นลวดนาโน (Nanowire) ของแบคทีเรีย ดังแสดงในภาพประกอบ 8 มีการค้นพบว่าเส้นลวดนาโนของแบคทีเรียซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเส้นผม (Pilus-like) พบอยู่ที่ผนังเซลล์ชั้นนอกของจุลินทรีย์ มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า และอาจเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยมีการพบเส้นลวดนาโนใน *Geobacter sulfurreducens* PCA, *Shewanella oneidensis* MR-1, สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Synechocystis* sp. PCC6803 และแบคทีเรีย *Pelotomaculum thermopropionicum* ที่มา: (ชนิษฐา หมูโสภิญ, 2554)

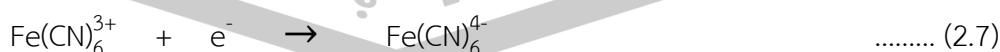


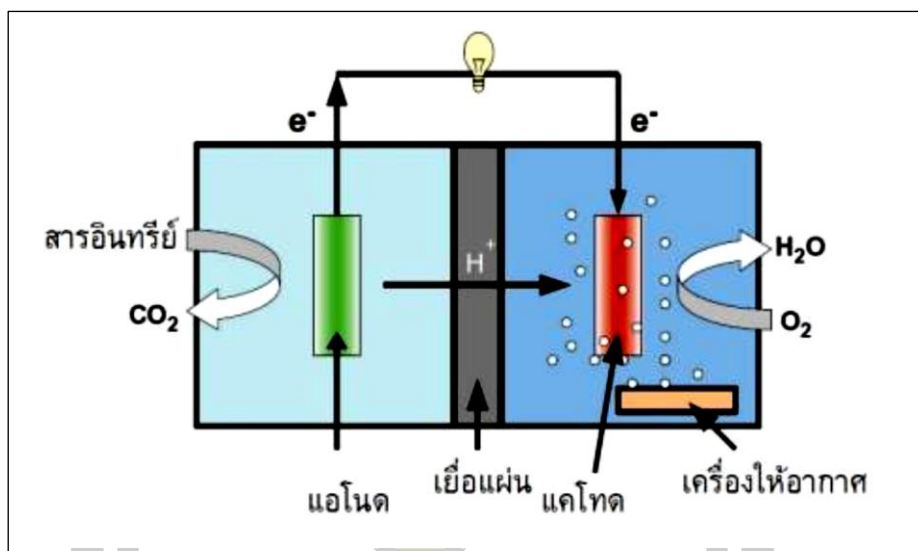
ภาพประกอบ 8 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านเส้นลวดนาโนของแบคทีเรีย

ที่มา: (ชนิษฐา หมูโสภิญ, 2554)

2. ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Type of Microbial Fuel Cell) เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยใช้ลักษณะโครงสร้างเป็นดังต่อไปนี้

1. เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ (Two-Compartment Microbial Fuel Cell or Two-Chamber Microbial Fuel Cell; TCMFC) เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่สามารถทำงานได้ทั้งแบบกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง และนิยมใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ประกอบด้วยห้องแอโนดและห้องแคโทดที่กั้นกลางด้วยเยื่อแผ่นเลือกผ่านโปรตอน (Proton exchange membrane) หรือในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์บางชนิดอาจใช้สะพานเกลือ (Salt bridge) ที่ยอมให้โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านเป็นตัวเชื่อมระหว่างห้องแอโนดและห้องแคโทด โปรตอนจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแผ่นไปยังห้องแคโทดได้ แต่ออกซิเจนในห้องแคโทดไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นไปยังห้องแอโนดได้ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์บางชนิดจะใช้น้ำเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ในห้องแคโทดหรือแคโทไรต์ (Catholyte) โดยจะพ่นอากาศผ่านน้ำเพื่อให้ได้ออกซิเจนละลายในน้ำส่งไปที่ขั้วแคโทด วิธีนี้สิ้นเปลืองพลังงานและมีประสิทธิภาพต่ำ การใช้เฟอร์ริไซยาไนด์ (Ferricyanide) เป็นแคโทไรต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ได้อย่างมาก แต่กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่ยั่งยืน เพราะเฟอร์ริไซยาไนด์ถูกใช้ในปฏิกิริยาในห้องแคโทด ดังสมการที่ (2.7) จึงจำเป็นต้องมีการเติมเฟอร์ริไซยาไนด์ ในระหว่างการผลิตกระแสไฟฟ้า

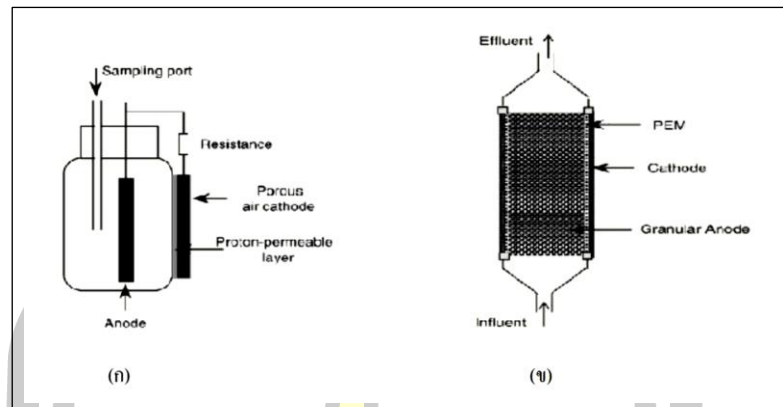




ภาพประกอบ 9 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่
ที่มา: (ชนิษฐา หมูโสภิญ, 2554)

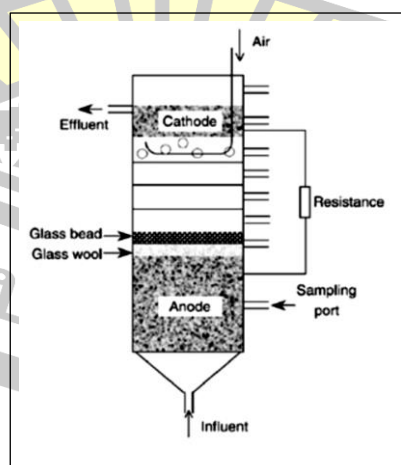
2. เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว (Single-Compartment Microbial Fuel Cell หรือ Single Chamber Microbial Fuel Cell; SCMFC) เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยอาศัยลักษณะโครงสร้างเป็นเกณฑ์ มีดังต่อไปนี้

2.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวใช้เมมเบรน (Membrane Single Chamber Microbial Fuel Cell; M-SCMFC) ประกอบด้วยส่วนแอโนดที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์ (Bioreactor) กับส่วนแคโทดที่อยู่ภายนอกถังโดยมีเยื่อเลือกผ่านโปรตอนเป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนแอโนดและแคโทด ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวใช้เมมเบรนนี้ อาจมีรูปร่างลักษณะของขั้วไฟฟ้าที่ แตกต่างกันไปตามลักษณะของการออกแบบและการใช้งาน ดังแสดงในภาพประกอบ 10 ในการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวที่ใช้เมมเบรน ประกอบด้วยแอโนดในกล่องสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular anode chamber) ที่ทำให้เข้ากันกับรูอากาศแคโทดซึ่งจะถูกใช้เส้นทางออกของอากาศ ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 10 (ก) โปรตอนจะถูกส่งถ่ายจากสารละลายในส่วนแอโนดไปยังรูอากาศแคโทดซึ่งถูกติดไว้ด้านนอก ส่วนการออกแบบแอโนดที่มีลักษณะเป็นเม็ดกราไฟท์ แคโทดจะถูกติดไว้ที่ผิวด้านข้างทั้งสองด้านของทรงกระบอก (Tubular MFC system) ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 10 (ข) ที่มา: (ชนิษฐา หมูโสภิญ, 2554)



ภาพประกอบ 10 ลักษณะของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวใช้เมมเบรน
 (ก) เมมเบรนเคลือบอยู่ที่ช่องทางออกติดกับแคโทด
 (ข) แอโนดมีลักษณะเป็นเม็ดกราไฟท์ส่วนแคโทด อยู่ที่ผิวด้านข้างทั้งสองของทรงกระบอก
 ที่มา: (ธัญนันท์ ไชยอินปัน และ ณัฐวุฒิ เชื้อนแก้ว, 2553)

2.2 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวไม่ใช้เมมเบรน (Membrane-less Single Chamber Microbial Fuel Cell; ML-SCMFC) เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวไม่ใช้เมมเบรน จะสร้างจากท่อที่มีลักษณะเป็นคอลัมน์ประกอบด้วยส่วนแอโนดที่ถูกติดตั้งไว้ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ ซึ่งประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ขั้วแอโนด อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์และส่วนแคโทดที่วางอยู่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์โดยที่ใกล้ๆกับแอโนดมีชั้นของสาสีและใยแก้วทำหน้าที่เป็นชั้นกั้นระหว่างส่วนแอโนดกับแคโทดและมีตัวให้อากาศที่ขั้วแคโทด ดังภาพประกอบ 11 (ธัญนันท์ ไชยอินปัน และ ณัฐวุฒิ เชื้อนแก้ว, 2553)



ภาพประกอบ 11 ลักษณะของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ห้องเดี่ยวแบบไม่ใช้เมมเบรน
 ที่มา: (ธัญนันท์ ไชยอินปัน และ ณัฐวุฒิ เชื้อนแก้ว, 2553)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

1. แรงดันของไฮโดรเจน (Hydrogen partial pressure) แรงดันไฮโดรเจนในของเหลวเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตไฮโดรเจนที่แรงดันไฮโดรเจนต่ำ ($P_{H_2} < 60$ Pa) ทิศทางการเกิดปฏิกิริยาเป็นการออกซิเดชันของ NADH ได้เป็นไฮโดรเจนแรงดันไฮโดรเจนต่ำ เพียงพอ NADH จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนเท่านั้นสำหรับที่แรงดันไฮโดรเจนสูง ($P_{H_2} > 60$ Pa), NADH อาจจะถูกออกซิไดส์ผ่านกระบวนการอื่น ๆ เช่นการสร้างบิวทีเรท ดังนั้นแรงดันไฮโดรเจนสูงจะมีการสร้างไฮโดรเจนต่ำ ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

2. การสูญเสียความต่างศักย์ไฟฟ้าการสูญเสียความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วลบ คุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า การมีอยู่ของสารที่สื่อกลางและอุณหภูมิ ความต่างศักย์ไฟฟ้าอาจมีการสูญเสียในระหว่างการขนส่งอิเล็กตรอนผ่านตัวต้านทานภายนอกและภายใน ซึ่งความต้านทานภายในมักเกิดจากกระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากตัวจุลินทรีย์สู่ขั้วไฟฟ้า ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

3. ขั้วไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าการลดความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถทำได้โดยการลดระยะห่างระหว่างขั้วลบและขั้วบวก และการเลือกวัสดุที่เหมาะสม ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554.) การใช้วัสดุขั้วไฟฟ้าที่ทำงานได้ดีสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ให้ดีขึ้นเพราะวัสดุขั้วลบที่แตกต่างกันมีผลกระตุ้นให้เกิดโพลาริเซชัน ที่แตกต่างกัน มีวัสดุหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้เป็นขั้วลบ เช่น แทงกราไฟท์ ผ้คาร์บอน กระดาษคาร์บอน และแผ่นกราไฟท์ ที่มา : (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

4. สารสื่อกลาง (mediator) เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ใช้จุลินทรีย์ทั่วไปจะต้องการสารสื่อกลางในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากระบบการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของเชื้อจุลินทรีย์ไปยังขั้วไฟฟ้า สารสื่อกลางชนิดต่างกันจะทำให้กำลังไฟฟ้าต่างกันด้วย ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

5. เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane: PEM) โดยปกติแล้วขั้วไฟฟ้าลบและบวกจะถูกแยกออกจากกันโดยเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งจะยอมให้มีการถ่ายโอนของโปรตอนจากขั้วลบไปยังขั้วบวก และช่วยป้องกันการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในช่องขั้วลบว่า เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่า เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์มีเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

6. อัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารตั้งต้น ขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้นปริมาณของจุลินทรีย์ภายในเซลล์จลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ ปริมาณออกซิเจน รวมถึงอัตราการระบรทุก (Organic Loading Rate: OLR) และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบ (Hydraulic Retention Time: HRT) ที่มา: (Rabaey et al., 2003.) ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ จะช่วยให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าและบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

7. การเกิดก๊าซมีเทน การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียเกิดจากการบำบัดแบบไม่ใช้แสง การสร้างก๊าซไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพต้องใช้ทรัพยากรร่วมจากการผลิตก๊าซมีเทนในระบบหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นการทำงานแบบผสมผสานของจุลินทรีย์สองกลุ่มในสองกระบวนการทางชีวเคมี ดังนั้นการยับยั้งการใช้ทรัพยากรร่วมจึงมีความสำคัญ การสร้างไฮโดรเจนต้องยับยั้งกลุ่มที่ใช้ไฮโดรเจน เช่น กลุ่ม homoacetogens และกลุ่ม methanogens ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

8. อุณหภูมิเป็นที่ทราบกันว่าอุณหภูมิมีผลต่อกิจกรรมของแบคทีเรียในการผลิตกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบช่องเดียว พบว่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงเมื่อมีสูงทำให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้วบวกสูงขึ้น ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

9. พีเอชค่าพีเอชที่เหมาะสมในการผลิต H_2 คือพีเอช 5.5 จะมีผลต่อรูปแบบของกรดที่ผลิตในระหว่างการผลิตไฮโดรเจน ความเข้มข้นของกรดอะซิติก หรือกรดบิวทริกในรูปแบบที่ไม่แตกตัว จะเกิดที่พีเอช 4.5 มากกว่าที่พีเอช 5.5 ดังนั้นกรดรูปแบบที่ไม่แตกตัวที่มีมากที่พีเอชต่ำทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตไฮโดรเจน ที่มา: (ชลธิศา สุขเกษม, 2554)

2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

ตาราง 7 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	มาตรฐาน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 – 9.0
2. บีโอดี (biochemical oxygen demand) *	< 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอย (suspended solids) **	< 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง 7 (ต่อ)

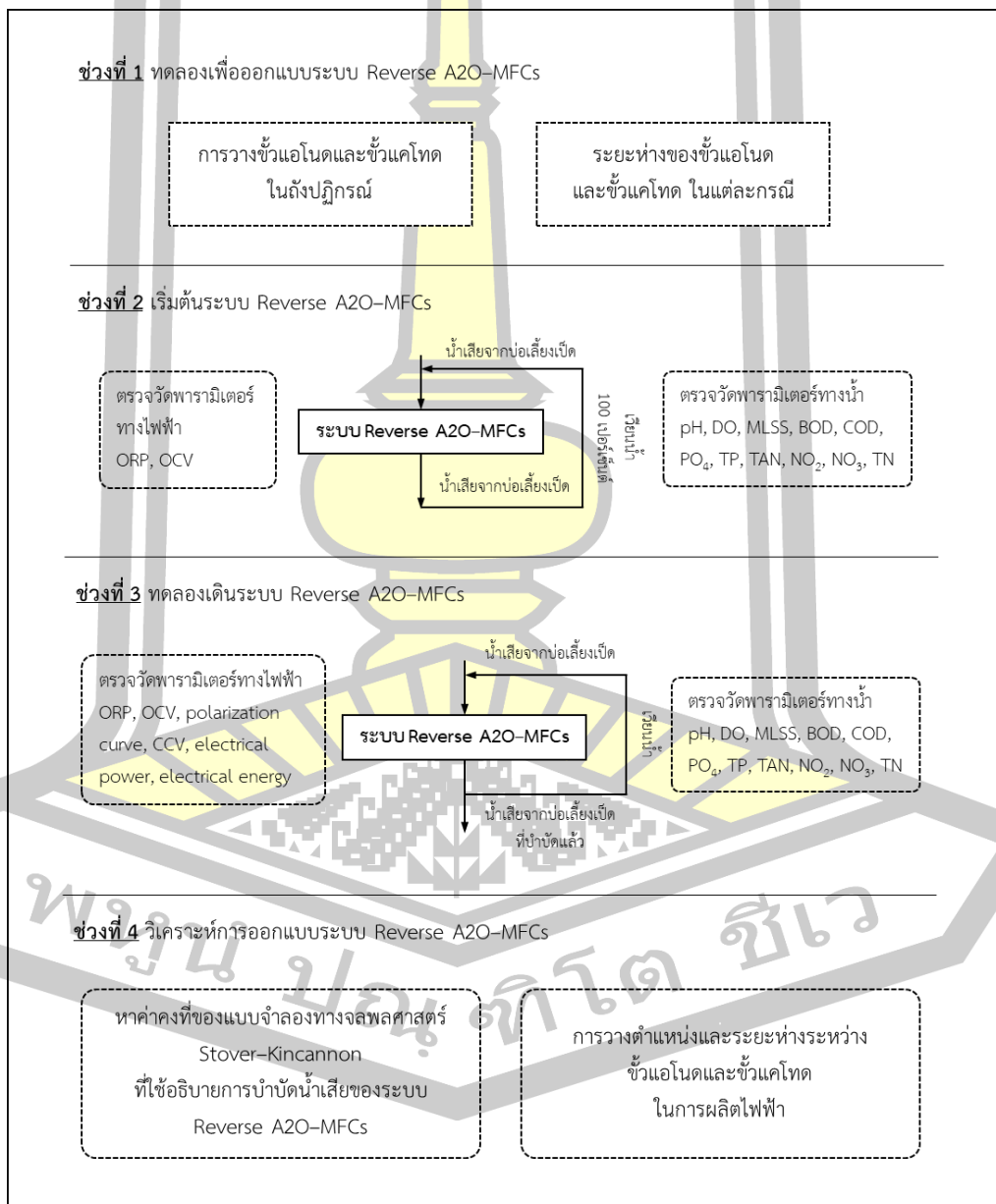
พารามิเตอร์	มาตรฐาน
4. น้ำมันและไขมัน (fat, oil and grease)	< 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	< 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	< 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

ที่มา: ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน ลงวันที่ 7 เมษายน 2553 ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 127 ตอนพิเศษ 69 วันที่ 2 มิถุนายน 2553



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองจะออกแบบระบบ Reverse A2O–MFCs จำนวน 1 ชุด เพื่อนำมาศึกษาการออกแบบและสำรวจสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบ Reverse A2O–MFCs การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงออกแบบสร้างระบบ Reverse A2O–MFCs ช่วงเลี้ยงเชื้อ ช่วงดำเนินการทดลอง และช่วงวิเคราะห์การออกแบบระบบ ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แผนผังแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ในการเลือกแหล่งน้ำที่เพื่อทดลองระบบ Reverse A2O-MFCs ผู้วิจัยต้องการน้ำเสียที่เกิดจากสภาวะยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) และไม่ไกลจากบริเวณมหาวิทยาลัยมหาสารคามมากนัก เพื่อง่ายต่อการเดินทางในการดูแลระบบ และนำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการในการสำรวจแหล่งน้ำผู้วิจัยได้สำรวจทั้งหมด 9 แหล่งที่มา พร้อมกับตรวจวัดความเข้มข้นซีโอดีทั้ง 9 แหล่ง และแหล่งน้ำที่ได้ค่าความเข้มข้นซีโอดีสูงสุดคือ น้ำจากบ่อเลี้ยงเป็ดบริเวณบ้านอาจารย์จรศักดิ์ แซ่เต็ง บ้านโนนแสวง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นน้ำเสียยูโทรฟิเคชันที่เกิดจากการเกษตร ตรงตามผู้วิจัยต้องการติดตั้งระบบเพื่อทดลองระบบ Reverse A2O-MFCs



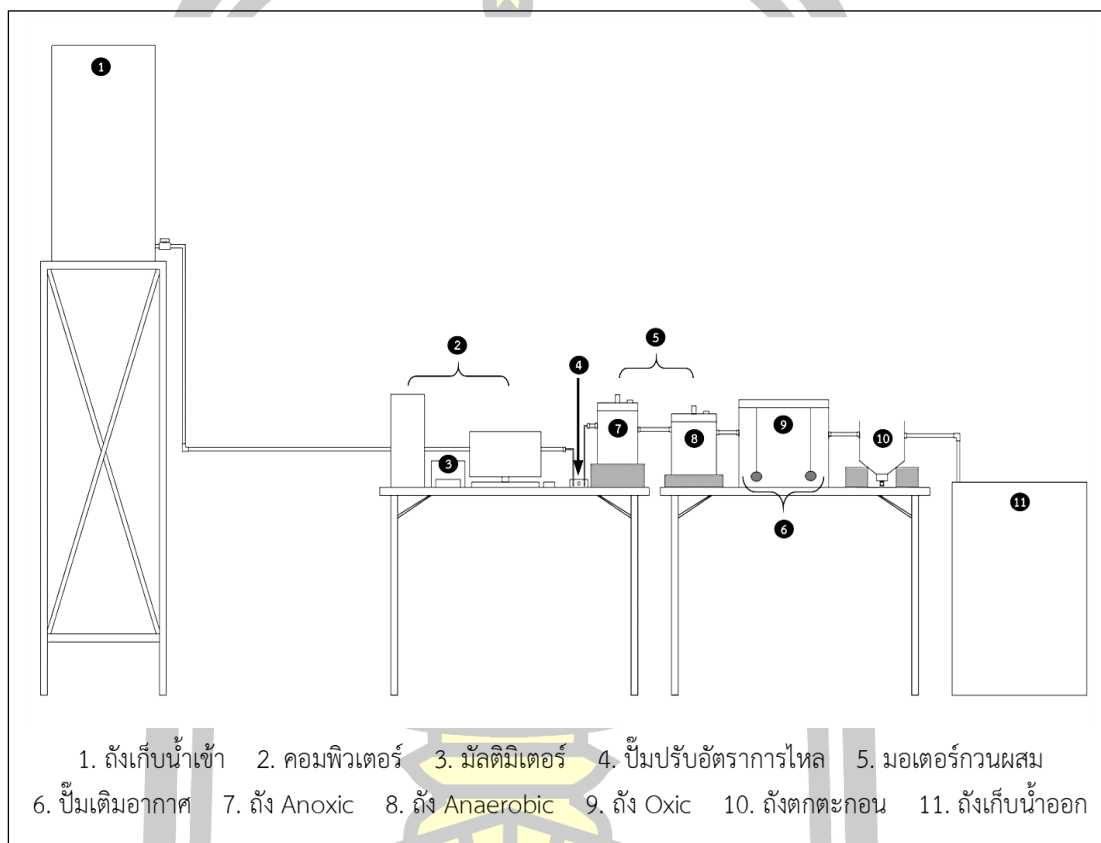
ภาพประกอบ 13 น้ำเสียบ่อเลี้ยงเป็ด



ภาพประกอบ 14 บริเวณที่ตั้งระบบ Reverse A2O-MFCs

3.1 ช่วงออกแบบสร้างระบบ Reverse A2O-MFCs

ในกระบวนการ Reverse A2O-MFCs ของผู้วิจัยประกอบด้วยถังรับน้ำขาเข้าและขาออก, ถังปฏิกรณ์ anoxic, anaerobic, oxic, มอเตอร์กวนผสม, ปั๊มเติมอากาศ และถังตกตะกอน ดังแสดงในภาพประกอบ 15 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพประกอบ 15 รายละเอียดการวางระบบ Reverse A2O-MFCs

1. ถังรับน้ำขาเข้าและขาออก ทำจากพลาสติกปริมาตร 120 ลิตร และ 200 ลิตร ตามลำดับ
2. กำหนดให้ MLSS ในระบบเท่ากับ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ถังปฏิกรณ์ประกอบด้วย ถังแอนออกซิก (anoxic) ถังแอนแอโรบิก (anaerobic) และ ถังเติมอากาศ (oxic) ดังภาพประกอบ 16

ถัง anoxic ถูกออกแบบให้มีระยะเวลาในการกักเก็บสูงสุดไม่เกิน 1 ชั่วโมง ตามค่าแนะนำในการออกแบบซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 – 1 ชั่วโมง (Metcalf & Eddy, 2003) โดยมีอัตราการไหล 80 ลิตร/วัน จากข้อกำหนดข้างต้นสามารถคำนวณปริมาตรถัง anoxic ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรถัง anoxic} &= \text{อัตราการไหล} \times \text{ระยะเวลาการกักเก็บ} \\ &= 80 \times (1/24) \\ &= 3.33 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

ถัง anaerobic ถูกออกแบบให้มีระยะเวลาในการกักเก็บสูงสุดไม่เกิน 1.5 ชั่วโมง ตามค่าแนะนำในการออกแบบซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 – 1.5 ชั่วโมง (Metcalf & Eddy, 2003) จากข้อกำหนดข้างต้นสามารถคำนวณปริมาตรถัง anaerobic ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรถัง anaerobic} &= \text{อัตราการไหล} \times \text{ระยะเวลาการกักเก็บ} \\ &= 80 \times (1.5/24) \\ &= 5.0 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

ถัง oxic ถูกออกแบบให้มีระยะเวลาในการกักเก็บสูงสุดไม่เกิน 8 ชั่วโมง ตามค่าแนะนำในการออกแบบซึ่งอยู่ในช่วง 4 – 8 ชั่วโมง (Metcalf & Eddy, 2003) จากข้อกำหนดข้างต้นสามารถคำนวณปริมาตรถัง oxic ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรถัง oxic} &= \text{อัตราการไหล} \times \text{ระยะเวลาการกักเก็บ} \\ &= 80 \times (8/24) \\ &= 26.7 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$



ภาพประกอบ 16 ถังพลาสติกใสที่ใช้ทำถังปฏิกรณ์



ภาพประกอบ 17 มอเตอร์กวนผสมสำหรับ ถัง anaerobic และ ถัง anoxic

4. ป้อนเติมอากาศ ถูกติดตั้งในถังเติมอากาศแบบหัวฟู ความต้องการออกซิเจนถูกออกแบบให้เป็น 1.3 เท่าของภาระบรรทุกบิโอตี ซึ่งภาระบรรทุกบิโอตีกำหนดให้เท่ากับ 0.03 กิโลกรัมบิโอตี/วัน เนื่องจากการสำรอน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงเป็ดมีค่าบิโอตีอยู่ระหว่าง 260 – 300 มิลลิกรัมบิโอตี/ลิตร และอัตราการไหลเท่ากับ 80 ลิตร/วัน จากข้อกำหนดข้างต้นสามารถคำนวณกำลังม้าในการเติมอากาศได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ความต้องการออกซิเจน} &= 1.3 \times \text{ภาระบรรทุกบิโอตี} \\
 &= 1.3 \times 0.03 \\
 &= 0.039 \text{ กิโลกรัมออกซิเจน/วัน} \\
 \text{หรือ} &= 0.0016 \text{ กิโลกรัมออกซิเจน/ชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

ใช้เครื่องเติมอากาศแบบ Submersible Aerator ซึ่งมีประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่ สภาวะมาตรฐาน

$$= 1.5 \text{ กิโลกรัมออกซิเจน/แรงม้า-วัน}$$

$$\text{คำนวณประสิทธิภาพ ณ สภาวะการใช้งานจริง (Nf)} = \frac{\text{No (Csa}^\beta - \text{Cr) (1.024)}^{T-20}}{\text{Cso}^\alpha}$$

$$\text{เมื่อ No} = \text{อัตราการถ่ายเทออกซิเจน ที่สภาวะมาตรฐาน, กิโลกรัม ออกซิเจน/ชั่วโมง-แรงม้า}$$

$$\text{Csa} = \text{ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ T, องศาเซลเซียส}$$

C_{so} = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำสะอาดที่ 20 องศาเซลเซียส, 1 ATM

= 9.17 มิลลิกรัม/ลิตร

C_r = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำทิ้ง

β = 0.95

α = 0.80 - 0.95

} ค่าที่ใช้ทั่วไป ค่าจริงได้จากการทดลอง

$$\text{คำนวณประสิทธิภาพ ณ สภาวะการใช้งานจริง (Nf)} = \frac{1.5 (7.77 \times 0.95 - 1) (1.024)^{33-20} \times 0.85}{9.17}$$

$$\text{คำนวณประสิทธิภาพ ณ สภาวะการใช้งานจริง (Nf)} = 1.208 \text{ กิโลกรัมออกซิเจน/ชั่วโมง- แรงม้า}$$

กำลังม้าที่ต้องการ = Nf × ออกซิเจนที่ต้องการ

= 1.208 × 0.0016

= 0.002 แรงม้า หรือ 1.5 วัตต์

ปั๊มที่มีขาย = 0.5 แรงม้า



ภาพประกอบ 18 ปั๊มเติมอากาศในถัง oxig ยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-208

5. ถังตกตะกอน ถูกรอกแบบให้มีระยะเวลาในการกักเก็บสูงสุดไม่เกิน 2.5 ชั่วโมง ตามค่าแนะนำในการออกแบบซึ่งอยู่ในช่วง 1.5 – 2.5 ชั่วโมง (Metcalf & Eddy, 2003) จากข้อกำหนดข้างต้นสามารถคำนวณปริมาตรถังตกตะกอนได้ดังนี้

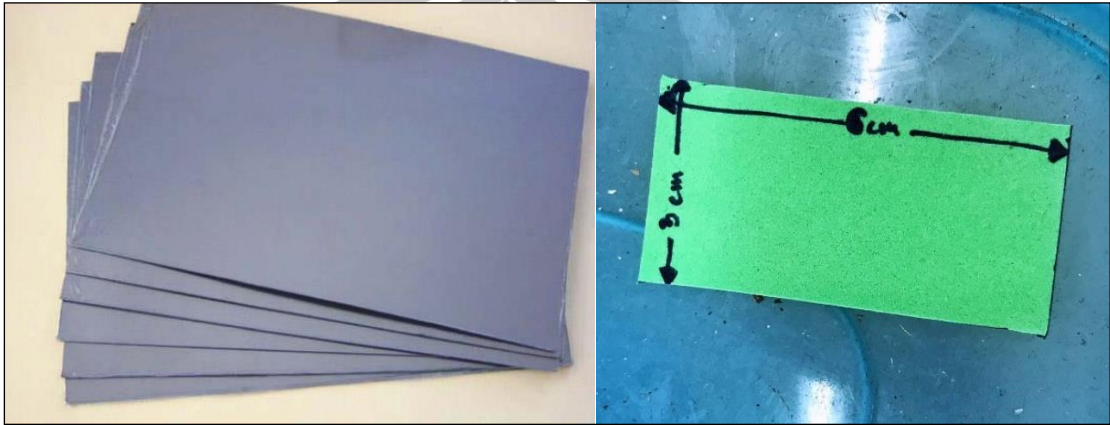
$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรถังตกตะกอน} &= \text{อัตราการไหล} \times \text{ระยะเวลาการกักเก็บ} \\
 &= 80 \times (2.5/24) \\
 &= 8.3 \quad \text{ลิตร}
 \end{aligned}$$



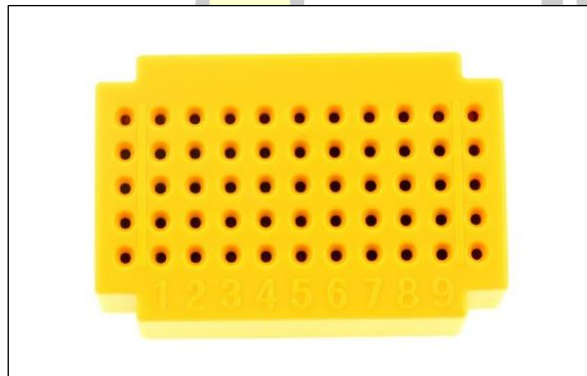
ภาพประกอบ 19 ถังตกตะกอน ทำจากถังน้ำดื่มนำมาตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการ

6. หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใส่ลงใน ถัง anoxic ถัง anaerobic และถัง oxic คือกากตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงพยาบาลมหาสารคาม
7. ใช้แผ่นกราฟไฟท์ในการทำเป็นขั้วแอโนดและแคโทด ดังภาพประกอบ 20 โดยนำแผ่นกราฟไฟท์ไปอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปใช้งาน (Choudhury et al., 2017) โดยรูปแบบการวางขั้วนั้นแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 3 กรณี รวมเป็น 9 กรณี ดังแสดงในภาพประกอบ 22 กลุ่มที่ 1: วางขั้วแคโทดที่ถัง anoxic และวางขั้วแอโนดที่ถัง anaerobic โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากับ 25, 35 และ 45 เซนติเมตร (CH01, CH02 และ CH03 ตามลำดับ) กลุ่มที่ 2: วางขั้วแคโทดที่ถัง oxic และวางขั้วแอโนดที่ถัง anaerobic โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากับ 25, 35 และ 45 เซนติเมตร (CH04, CH05 และ CH06 ตามลำดับ)

กลุ่มที่ 3: วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และ วางขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากับ 50, 70 และ 90 เซนติเมตร (CH07, CH08 และ CH09 ตามลำดับ)

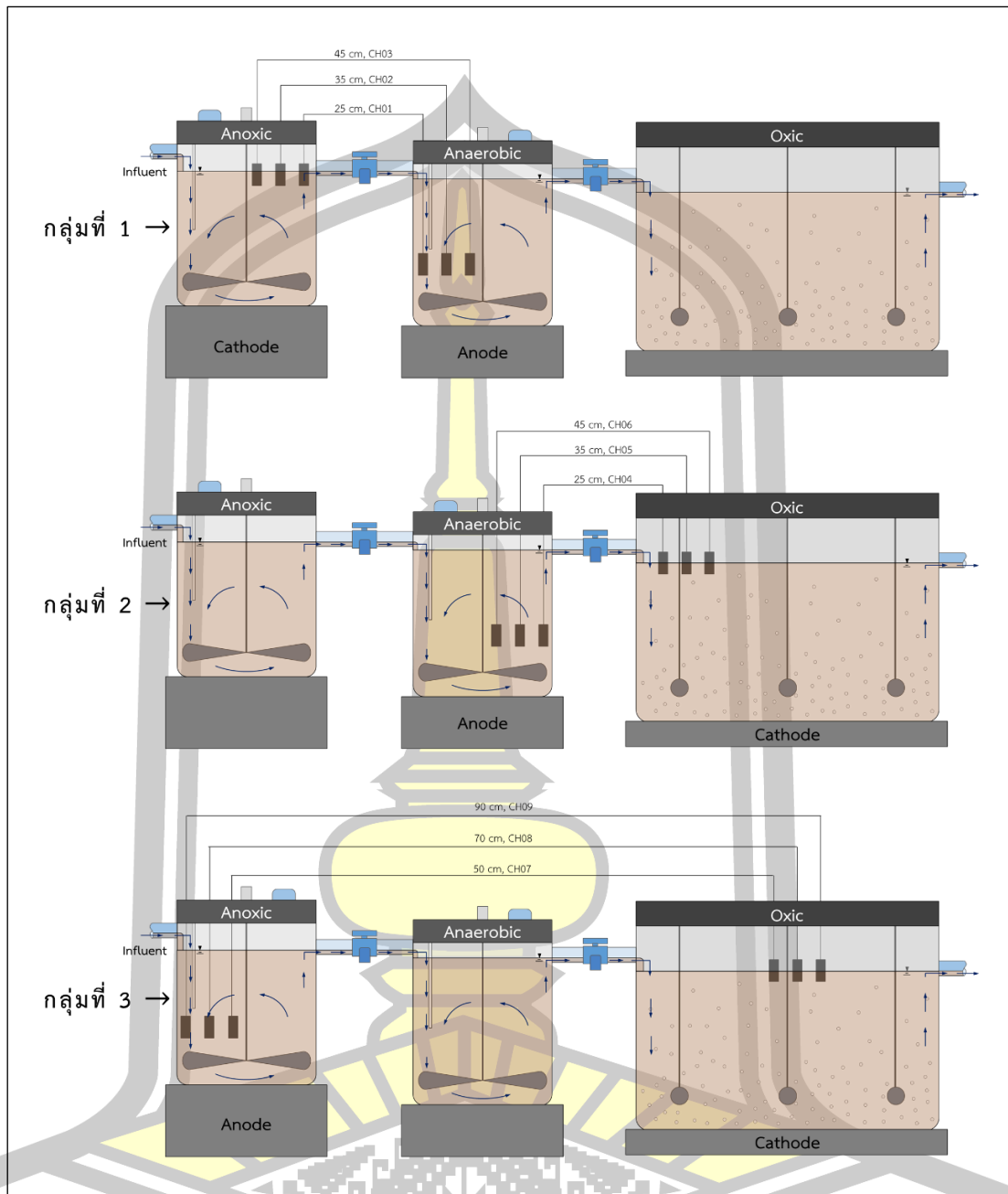


ภาพประกอบ 20 แผ่นกราฟไฟท์ (ซ้าย) รูปแบบขนาดของขั้วแอโนดและขั้วแคโทด (ขวา)



ภาพประกอบ 21 Breadboard แบบ Block ขนาด 45 จุด สำหรับต่อสายไฟและตัวต้านทาน





ภาพประกอบ 22 การวางขั้วและระยะห่างของขั้ว ทั้ง 9 กรณี

8. การเวียนสัลดจคิดเป็น 50% เพื่อให้ได้ตามคำแนะนำในการออกแบบในตาราง 8 แต่ทั้งนี้หากระยะเวลาเอื้ออำนวยอาจมีการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนสัลดจเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม

ตาราง 8 พารามิเตอร์การออกแบบทั่วไปสำหรับกระบวนการ BNR ทั่วไป (ดัดแปลงจาก (Metcalf & Eddy, 2003))

กระบวนการ	พารามิเตอร์				อัตราการรีไซเคิล (% ของน้ำขาเข้า)
	HRT (ชั่วโมง)				
	Anaerobic	Anoxic	Oxic	RAS	
A2O	0.5-1.5	0.5-1	4-8	25-100	100-400
UCT	1-2	2-4	4-12	80-100	200-400 (Anoxic)
					100-300 (Oxic)
VIP	1-2	1-2	4-6	80-100	100-200 (Anoxic)
					100-300 (Oxic)
Modified Bardenpho	0.5-1.5	1-3 (1 st stage)	4-12 (1 st stage)	50-100	200-400
		2-4 (2 nd stage)	0.5-1 (2 nd stage)		

3.2 ช่วงเลี้ยงเชื้อ

ช่วงเลี้ยงเชื้อมีวัตถุประสงค์เพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เติบโตเพื่อบำบัดน้ำเสียในระบบ Reverse A2O–MFCs โดยจะสูบน้ำที่บ่อน้ำเลี้ยงเปิดในบ้านของ อาจารย์ขจรศักดิ์ แซ่เต็ง บ้านโนนแสง ตำบลท่าขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เข้าระบบด้วยอัตราการไหล 80 ลิตร/วัน โดยเวียนน้ำเสียที่ออกจากถังตกตะกอนกลับมาเข้าถัง anoxic และกำหนดความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS) เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบ Reverse A2O–MFCs นำมาจากโรงพยาบาลมหาสารคาม ระหว่างเดินระบบช่วงเลี้ยงเชื้อจะเก็บน้ำจากระบบจำนวน 5 ตำแหน่ง คือ น้ำขาเข้า, ขาออกจากถัง anoxic, ขาออกจากถัง anaerobic, ขาออกจากถัง oxic และน้ำขาออกจากระบบ มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ชี้วัดคุณภาพน้ำและมีความถี่ในการตรวจวัดดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์
pH	ตรวจวัดด้วยเครื่อง pH มิเตอร์	ทุก 3 วัน
DO	ตรวจวัดด้วยเครื่อง DO มิเตอร์	ทุก 3 วัน
ORP	ตรวจวัดด้วยเครื่อง ORP มิเตอร์	ทุก 3 วัน
MLSS	วิธีหาของแข็งแขวนลอยในน้ำ	ทุก 3 วัน
ซีโอดี	Closed Reflux, Titrimetric Method	ทุก 3 วัน
ฟอสเฟต	Vanadomolybdophosphoric Acid Method	ทุก 3 วัน
ฟอสฟอรัสรวม	Sulfuric acid - Nitric acid Digestion Method	ทุก 3 วัน
ไนไตรท์	Colorimetric Method	ทุก 3 วัน
ไนเตรต	Phenol Disulphonic Acid Method	ทุก 3 วัน
ไนโตรเจนรวม	Spectrophotometry using phenol after alkaline peroxodisulfate digestion method	ทุก 3 วัน
ความต่างศักย์	ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัด	ทุกชั่วโมง

3.3 ช่วงดำเนินการทดลอง

ช่วงเดินระบบมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตไฟฟ้าและบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงเปิดด้วยระบบ Reverse A2O-MFCs ระหว่างเดินระบบในช่วงนี้จะตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำทั้ง 5 ตำแหน่ง คือ น้ำขาเข้า, ขาออกจากถัง anoxic, ขาออกจากถัง anaerobic, ขาออกจากถัง oxic และน้ำขาออกจากระบบดังแสดงในตาราง 10 ในขณะเดียวกันก็มีการตรวจวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้ง 9 รูปแบบการวางขั้ว (CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09) ตลอดระยะเวลาทดลอง โดยเชื่อมขั้วแอโนดและแคโทดเข้ากับเครื่องมือวัด (GW INSTRUMENT Model: GDM - 8255A) เมื่อค่าความต่างศักย์วงจรเปิดของ (Open Circuit Voltage : OCV) มีค่าสูงและเริ่มคงที่ ผู้วิจัยจะทำการทดลอง polarization เพื่อหาค่าความต้านทานภายนอกที่ทำให้แต่ละรูปแบบการวางขั้วให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

ทั้งนี้การทดลอง polarization นั้นทำโดยการนำตัวต้านทานภายนอกตั้งแต่ 10 ถึง 60,000 โอห์ม มาต่อขั้วแอโนดเข้ากับขั้วแคโทดแล้ววัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานภายนอกนั้นเพื่อนำไปพล็อต polarization curve หรือ กราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์และกราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า แล้วระบุค่าความต้านทานภายนอกที่นำมาต่อแล้วทำให้ MFC มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งนี้ ณ จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น ความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ถือว่ามีค่าเท่ากับค่าความต้านทานภายนอกที่นำมาต่อในขณะนั้นเลย (JM et al., 2017) โดยรายละเอียดขั้นตอนการทดลอง polarization เป็นดังข้อ 3.5 (การทดลอง polarization)

เมื่อเลือกความต้านทานภายนอกหลังจากการทำทดลอง polarization ผู้วิจัยนำค่าความต้านทานภายนอกที่เลือกและค่าความต่างศักย์ในรูปแบบวงจรปิด (close circuit voltage: CCV) นำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าตามสมการ 3.2 เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าแล้วผู้วิจัยได้คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้ตลอดระยะเวลาเดินระบบตามวิธีคำนวณที่แสดงไว้ในสมการ 3.3 ในหัวข้อ 3.5

ตาราง 10 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์
pH	ตรวจวัดด้วยเครื่อง pH มิเตอร์	ทุก 3 วัน
DO	ตรวจวัดด้วยเครื่อง DO มิเตอร์	ทุก 3 วัน
ORP	ตรวจวัดด้วยเครื่อง ORP มิเตอร์	ทุก 3 วัน
MLSS	วิธีหาของแข็งแขวนลอยในน้ำ	ทุก 3 วัน
บีโอดี	Dilution Method	ทุก 3 วัน
ซีโอดี	Closed Reflux, Titrimetric Method	ทุก 3 วัน
ฟอสเฟต	Vanadomolybdophosphoric Acid Method	ทุก 3 วัน
ฟอสฟอรัสรวม	Sulfuric acid - Nitric acid Digestion Method	ทุก 3 วัน
แอมโมเนียรวม	Nesslerization Method	ทุก 3 วัน
ไนไตรท์	Colorimetric Method	ทุก 3 วัน
ไนเตรต	Phenol Disulphonic Acid Method	ทุก 3 วัน

ตาราง 10 (ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ไนโตรเจนรวม	Spectrophotometry using phenol after alkaline peroxodisulfate digestion method	ทุก 3 วัน
ความต่างศักย์	ตรวจวัดด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์	ทุกชั่วโมง
กระแสไฟฟ้า	คำนวณจาก polarization curve	ทุกชั่วโมง
กำลังไฟฟ้า	คำนวณจากสมการ 3.1	ทุกชั่วโมง
พลังงานไฟฟ้า	คำนวณจากสมการ 3.2	วันสุดท้าย ของการเดินระบบ

3.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางจลพลศาสตร์

เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้น นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งหมดอันได้แก่ บีโอดี ซีโอดี ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม แอมโมเนียรวม ไนโตรท์ ไนเตรต และไนโตรเจนรวมอย่างน้อย 3 จำนวน มาคำนวณและสร้างกราฟตามแบบจำลองจลพลศาสตร์ Stover-Kincannon (Stover EL. and Kincannon DF., 1982) ดังสมการ 3.1 เพื่อทราบถึงแบบจำลองจลพลศาสตร์ที่แสดงถึงความสามารถปฏิกิริยาการบำบัดน้ำของระบบ Reversed A2O-MFC

$$\frac{V}{Q(S_0 - S_e)} = \frac{K_B}{U_{max}} \times \frac{V}{QS_0} + \frac{1}{U_{max}} \quad \text{..... (3.1)}$$

เมื่อ Q	คือ อัตราการไหล	หน่วยเป็นลิตร/วัน (l/day)
V	คือ ปริมาตรน้ำในระบบ	หน่วยเป็นลิตร (l)
S ₀	คือ ความเข้มข้นของมลพิษขาเข้า	หน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร (mg/l)
S _e	คือ ความเข้มข้นของมลพิษขาออก	หน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร (mg/l)
U _{max}	คือ อัตราเร็วสูงสุดในการกำจัดมลพิษ	หน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร-วัน (mg/l-d)
K _B	คือ ค่าคงที่ความอิ่มตัวของมลพิษ	หน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร-วัน (mg/l-d)

ทั้งนี้หมายถึงความเข้มข้นของมลพิษที่อัตราเร็วครึ่งหนึ่งของอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาสูงสุด

3.5 การทดลอง Polarization

ในงานวิจัยนี้ใช้การทดลอง polarization เพื่อหาความต้านทานภายนอกที่เหมาะสมสำหรับระบบ Reverse A2O–MFCs โดยนำตัวต้านทานภายนอกตัวนั้นมาเชื่อมต่อระหว่างขั้วแคโทดเข้ากับขั้วแอโนดแล้วทำให้ Reverse A2O–MFCs ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ทั้งนี้ ณ จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น ความต้านทานภายใน ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ถือว่ามีค่าเท่ากับค่าความต้านทานภายนอกที่นำมาต่อในขณะนั้นเลย (JM et al., 2017) วิธีการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

3.5.1 นำตัวต้านทานภายนอกจำนวนต่าง ๆ มาเชื่อมต่อระหว่างขั้วแคโทดเข้ากับขั้วแอโนดเชื่อมต่อเป็นระยะเวลา 5 นาทีต่อความต้านทานภายนอก 1 ค่า เหตุผลที่ใช้ระยะเวลา 5 นาทีเป็นเพราะ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีความเสถียรภายในระยะเวลา 5 นาที (Papaharalabos et al., 2015; Zhang et al., 2015)

3.5.2 ขณะที่ต่อตัวต้านทานภายนอกแต่ละค่า ใช้เครื่องมัลติมิเตอร์ (GW INSTEK Model: GDM–8255A) เพื่อบันทึกผลความต่างศักย์

3.5.3 พล็อตกราฟ polarization curve นำค่าตัวต้านทานที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ขณะเกิดกำลังไฟฟ้า สูงสุดมาใช้ในการทดลองต่อไปตามความเหมาะสม

3.6 การคำนวณค่าทางไฟฟ้า

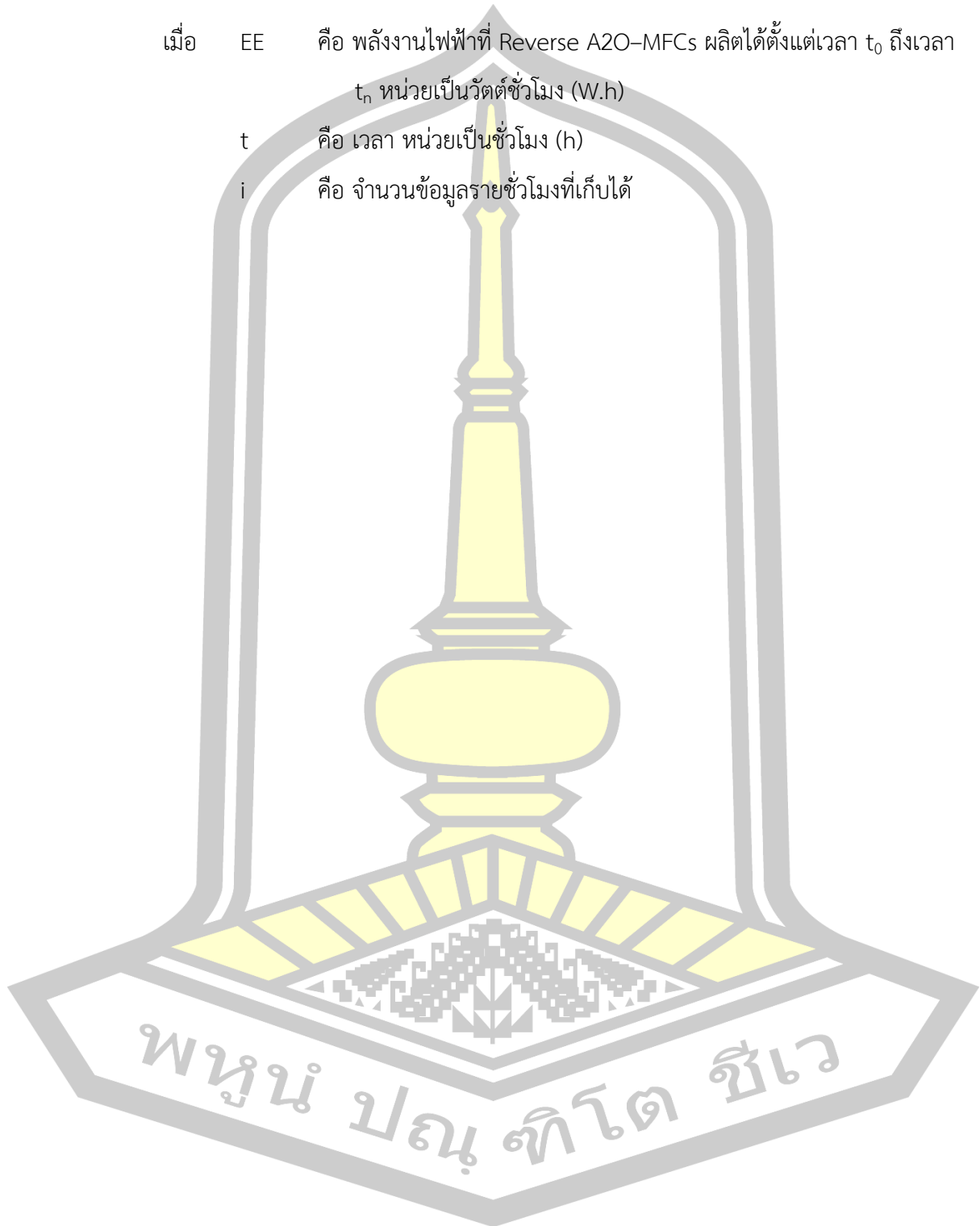
วิธีวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าที่ใช้แสดงความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้แก่ กำลังไฟฟ้า (P: Power) คำนวณจากสมการที่ 3.2 พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ Reverse A2O–MFCs ผลิตได้ตลอดระยะเวลาเดินระบบ (EE: Electrical Energy) คำนวณจากสมการที่ 3.3

$$P = V \times I \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

เมื่อ	P	คือ กำลังไฟฟ้า	หน่วยเป็นวัตต์ (W)
	V	คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	หน่วยเป็นโวลต์ (V)
	I	คือ ค่ากระแสไฟฟ้า	หน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

$$EE = \int_{t_0}^{t_n} P dt = \sum_i P_i \times t_i \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

เมื่อ EE คือ พลังงานไฟฟ้าที่ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้ตั้งแต่เวลา t_0 ถึงเวลา t_n หน่วยเป็นวัตต์ชั่วโมง (W.h)
 t คือ เวลา หน่วยเป็นชั่วโมง (h)
 i คือ จำนวนข้อมูลรายชั่วโมงที่เก็บได้



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

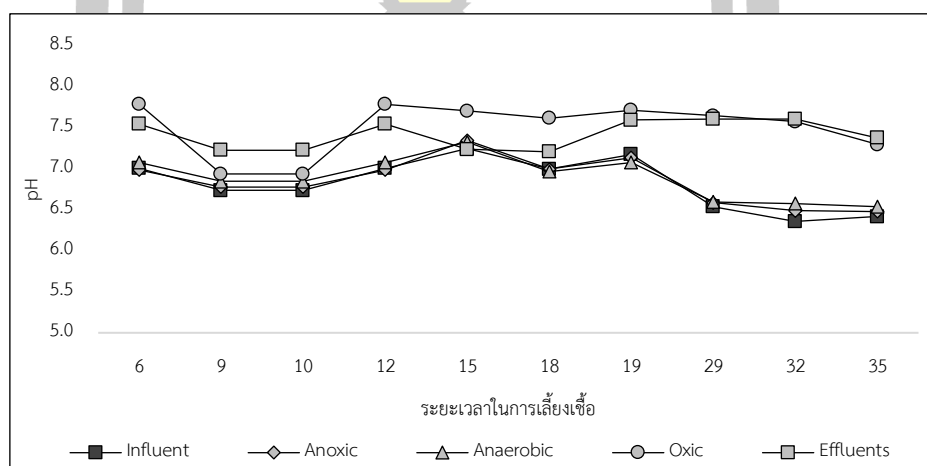
การทดสอบสมรรถนะในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และการผลิตไฟฟ้าของ Reverse A2O–MFCs โดยบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงเปิดบริเวณบ้านอาจารย์ขจรศักดิ์ แซ่เต็ง บ้านโนนแสง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม พร้อมกับใช้จุลินทรีย์จากโรงพยาบาลมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ในการบำบัดใช้อัตราการไหล 80 ลิตร/วัน และควบคุมจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในการเดินระบบแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ช่วงเลี้ยงเชื้อ มีวัตถุประสงค์เพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เติบโตเพื่อบำบัดน้ำเสียในระบบ Reverse A2O–MFCs ช่วงที่ 2 ช่วงเดินระบบมีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงเปิดด้วยระบบ Reverse A2O–MFCs และนำตัวต้านทานภายนอกที่มีค่าระหว่าง 10–60,000 โอห์ม มาต่อเข้ากับขั้วแอโนดและแคโทดพร้อมเก็บข้อมูลค่าความต่างศักย์ ณ ความต้านทานนั้น ๆ จากนั้น นำผลที่ได้มาสร้าง polarization curves พร้อมเลือกตัวต้านทานที่ทำให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (power maximum: P_{max}) พร้อมกับเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ระบบ Reverse A2O–MFCs ผลิตได้ตลอดการทดลอง และช่วงที่ 3 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าคงที่ของแบบจำลองทางจลพลศาสตร์ Stover–Kincannon เพื่อใช้อธิบายการบำบัดน้ำเสียของระบบ Reverse A2O–MFCs รวมถึงเปรียบเทียบการวางขั้วที่ระยะห่างต่าง ๆ ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดทั้ง 9 กรณี ซึ่งมีผลการทดสอบตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ช่วงเลี้ยงเชื้อ

ช่วงเลี้ยงเชื้อของการเดินระบบ Reverse A2O–MFCs ใช้ระยะเวลาในการศึกษาตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2563 จนถึงวันที่ 7 มีนาคม 2563 เป็นระยะเวลาทั้งหมด 35 วัน แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนคุณภาพน้ำในช่วงเลี้ยงเชื้อ และส่วนพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในช่วงเลี้ยงเชื้อ มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

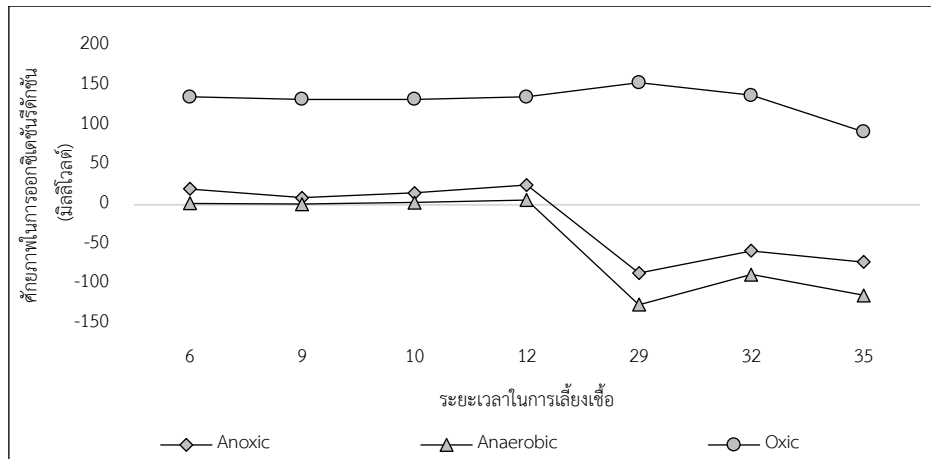
4.1.1 คุณภาพน้ำในช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของช่วงเลี้ยงเชื้อในน้ำขาเข้า, ถึง anoxic, ถึง anaerobic, ถึง oxic และน้ำขาออก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.83 ± 0.31 , 6.86 ± 0.29 , 6.90 ± 0.26 , 7.50 ± 0.33 และ 7.42 ± 0.18 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 23 จากข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (activated sludge: AS) ควรควบคุมสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วง 6.8–7.2 ซึ่งจะทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีและตะกอนแบคทีเรียของระบบบำบัดน้ำเสียสามารถจมตัวได้ดี (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) จึงกล่าวได้ว่าระบบ Reverse A2O–MFCs ในช่วงช่วงเลี้ยงเชื้อนี้มีพีเอชที่เหมาะสมไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใด ๆ ในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง



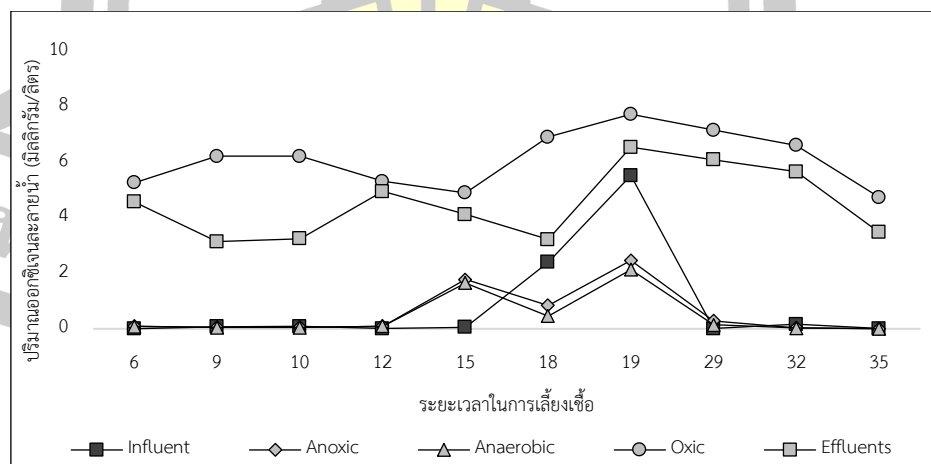
ภาพประกอบ 23 ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเลี้ยงเชื้อ

ค่าศักยภาพในการออกซิเดชันรีดักชัน หรือค่าโออาร์พี (Oxidation Reduction Potential : ORP) ของช่วงเลี้ยงเชื้ออยู่ประมาณ -126–154 มิลลิโวลต์ ดังแสดงในภาพประกอบ 24 จากการวัดค่าโออาร์พี พบว่ากรณีการวางขั้วแบบกลุ่มที่ 1 ห้องแอนโอดมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -126–6 มิลลิโวลต์ ห้องแคโทดมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -86–25 มิลลิโวลต์ กรณีการวางขั้วแบบกลุ่มที่ 2 ห้องแอนโอดมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -126–6 มิลลิโวลต์ ห้องแคโทดมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง 92–154 มิลลิโวลต์ และกรณีการวางขั้วแบบกลุ่มที่ 3 ห้องแอนโอดมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -86–25 มิลลิโวลต์ ห้องแคโทดมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -86–25 มิลลิโวลต์ การที่ห้องแอนโอดมีค่า ORP ตีลบและน้อยกว่าค่าโออาร์พีในห้องแคโทดนั้นแสดงว่าระบบพร้อมจะทำงานเป็น MFC โดยห้องแอนโอดจะทำงานได้ดีควรมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542)



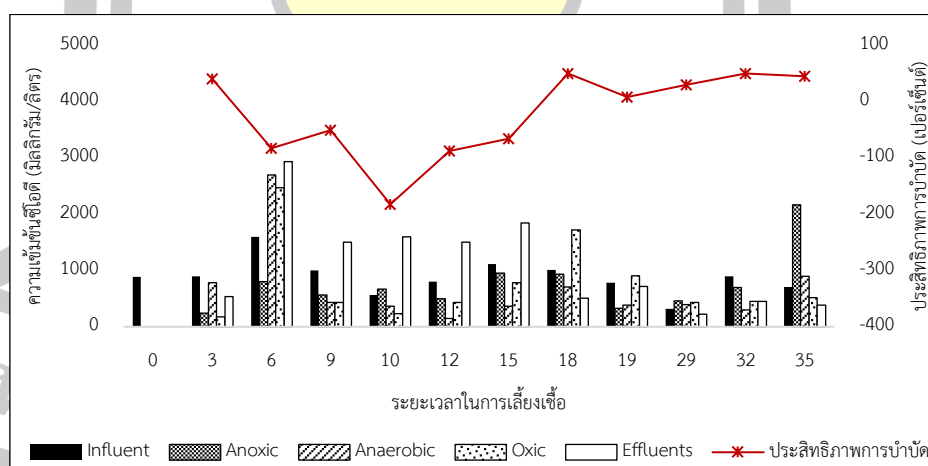
ภาพประกอบ 24 ค่าศักยภาพในการออกซิเดชันรีดักชันในช่วงเลี้ยงเชื้อ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหรือค่าดีโอ (dissolved oxygen: DO) ของช่วงเลี้ยงเชื้อในน้ำขาเข้า, ถัง anoxic, ถัง anaerobic, ถัง oxic และน้ำขาออก อยู่ในช่วง 0.0012–5.52, 0.0057–2.46, 0.0024–2.13, 4.74–7.73 และ 3.14–6.54 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 25 จากปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ถัง anoxic, ถัง anaerobic และ ถัง oxic มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงค่าที่กำหนดนั่นคือเงื่อนไข anoxic ต้องมีดีโอไม่น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (Urbini et al., 2015) กรณี anaerobic ควรรักษาดีโอให้ต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร (Wei et al., 2020) ในสภาวะ oxic หรือ aerobic ควรให้ดีโอมีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร (Zheng et al., 2009) จึงกล่าวได้ว่าทุกถังมีค่าดีโอตรงตามเงื่อนไขการออกแบบ

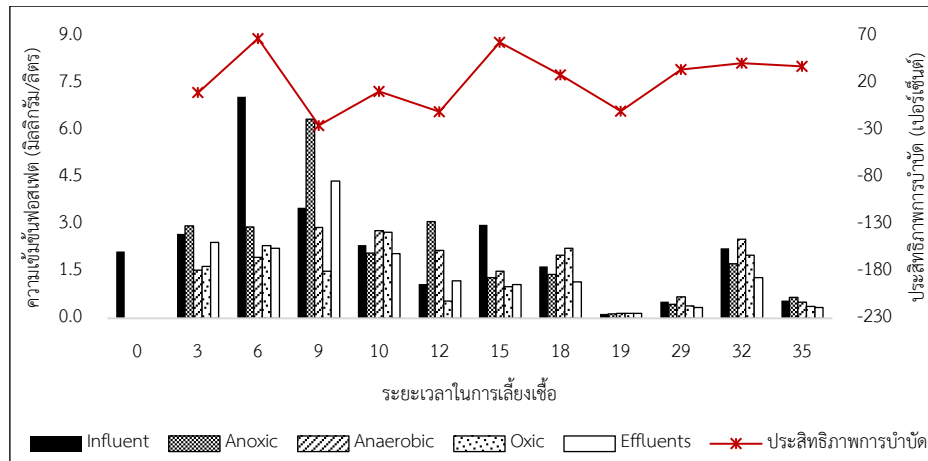


ภาพประกอบ 25 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเลี้ยงเชื้อ

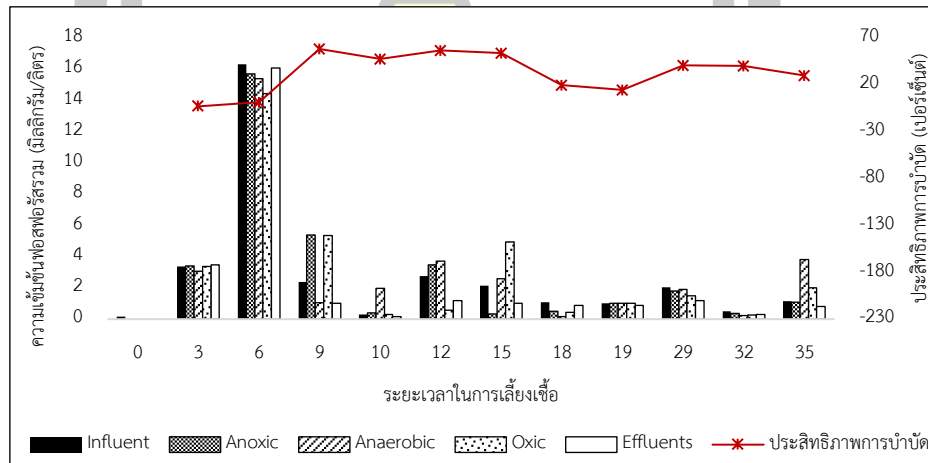
วันที่ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำของช่วงเลี้ยงเชื้อ คือวันที่ 3, 6, 9, 10, 12, 15, 18, 19, 29, 32 และ 35 ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีของช่วงเลี้ยงเชื้อมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 40, -83, -50, -182, -88, -65, 50, 8, 30, 50 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 26 ความเข้มข้นฟอสเฟตของช่วงเลี้ยงเชื้อมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 10, 68, -24, 12, -10, 64, 29, -9, 35, 42 และ 39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 27 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมของช่วงเลี้ยงเชื้อมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ -3, 1, 58, 48, 56, 53, 19, 14, 41, 40 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 28 ความเข้มข้นไนโตรเจนของช่วงเลี้ยงเชื้อมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 44, 71, 22, 27, 31, 54, 35, 32, 34, 17 และ -69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 29 ความเข้มข้นไนเตรทของช่วงเลี้ยงเชื้อมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 35, 16, 2, -1, 5, 55, 4, -9, 29, 16 และ -15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 30 ความเข้มข้นไนโตรเจนของช่วงเลี้ยงเชื้อมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 30, 74, 6, 6, -47, 86, 39, -64, 2, 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 31 เมื่อสังเกตความเข้มข้นซีโอดี ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม และไนโตรเจนรวม หลังจากวันที่ 29 ของช่วงเลี้ยงเชื้อ มีประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างคงที่ ผู้วิจัยจึงยุติในการเลี้ยงเชื้อที่ 35 วัน และเริ่มเดินระบบในเวลาถัดไป



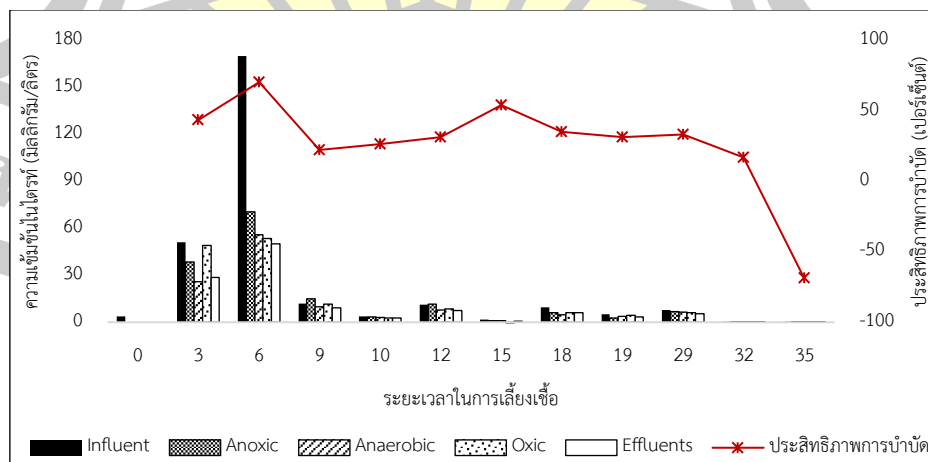
ภาพประกอบ 26 ความเข้มข้นซีโอดีในช่วงเลี้ยงเชื้อ



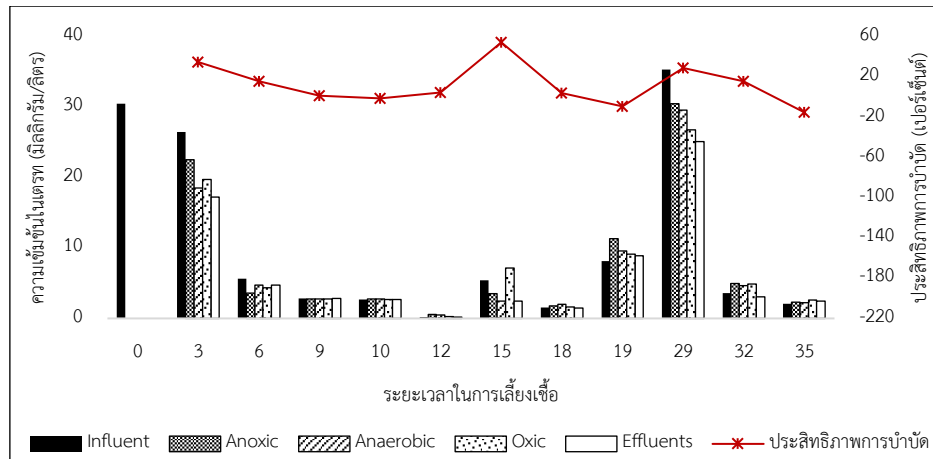
ภาพประกอบ 27 ความเข้มข้นฟอสเฟตในช่วงเลี้ยงเชื้อ



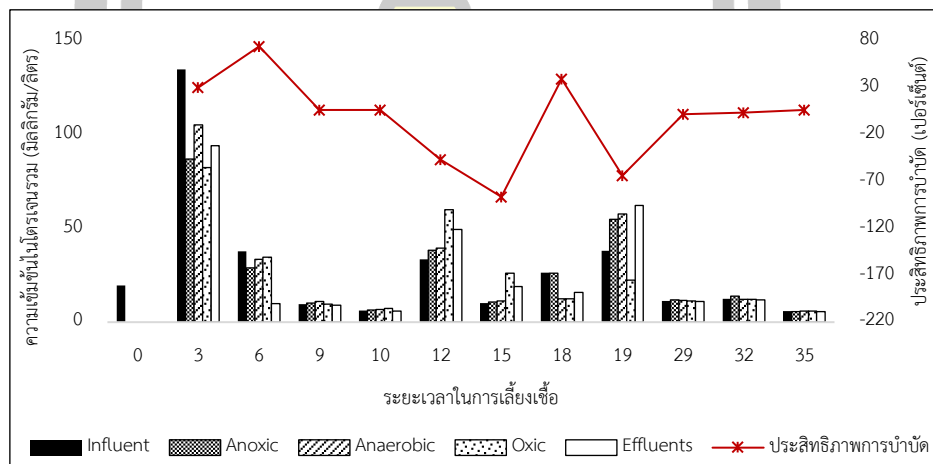
ภาพประกอบ 28 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในช่วงเลี้ยงเชื้อ



ภาพประกอบ 29 ความเข้มข้นไนเตรทในช่วงเลี้ยงเชื้อ



ภาพประกอบ 30 ความเข้มข้นไนเตรทในช่วงเลี้ยงเชื้อ



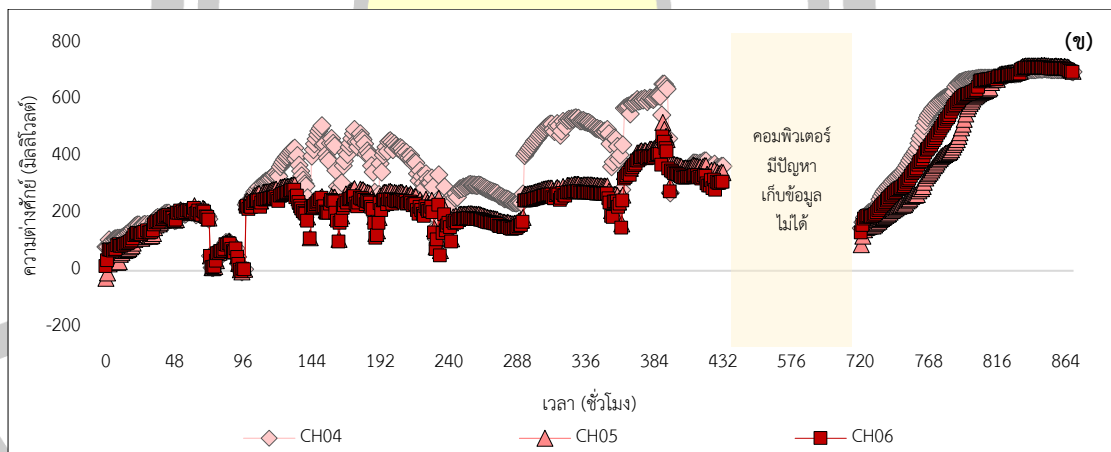
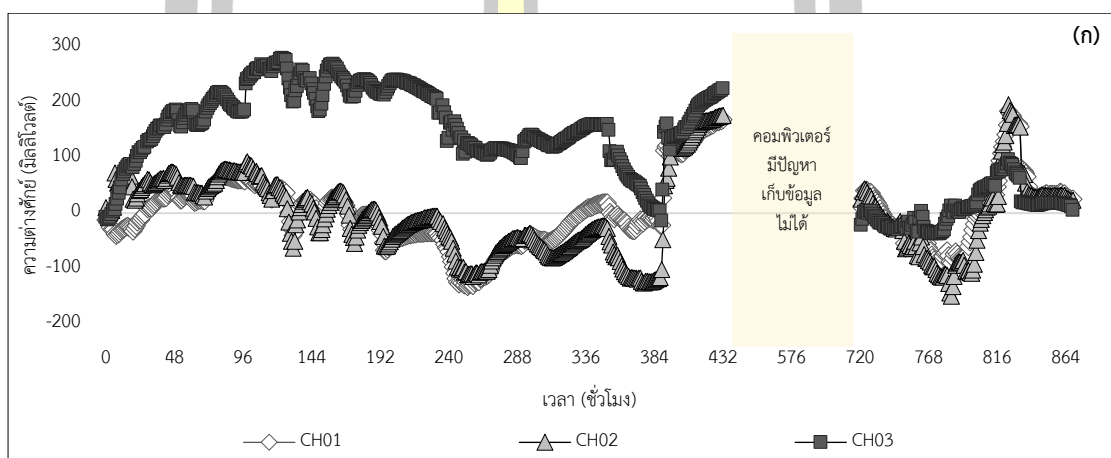
ภาพประกอบ 31 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมในช่วงเลี้ยงเชื้อ

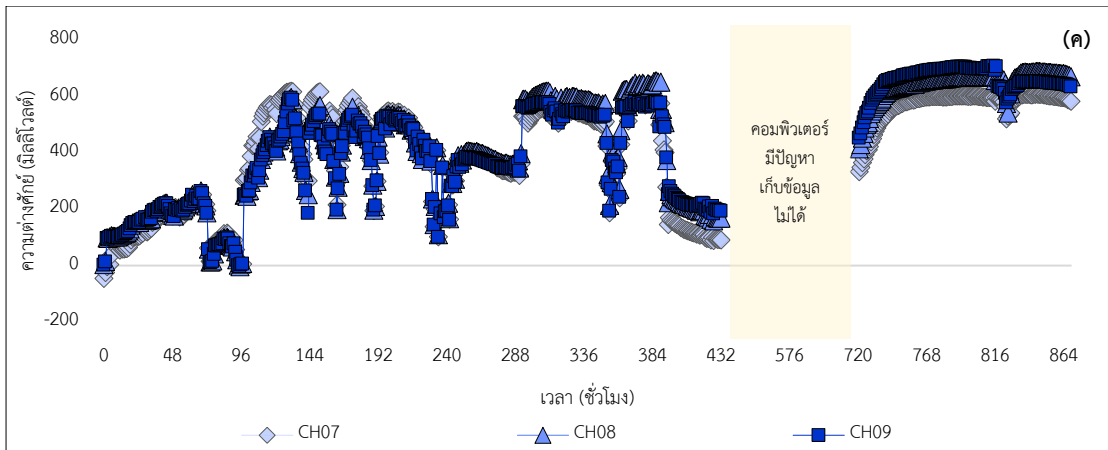
4.1.2 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในช่วงเลี้ยงเชื้อ

1. ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV: open circuit voltage ช่วงเลี้ยงเชื้อ

จากภาพประกอบ 32 สังเกตได้ชัดว่าเส้นกราฟเรียงตัวเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดกล่าวคือ กลุ่มที่ 1 (ภาพประกอบ 32ก) วางขั้วแคโทดที่ถึง anoxic และขั้วแอโนดที่ถึง anaerobic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH01), 35 เซนติเมตร (CH02) และ 45 เซนติเมตร (CH03) ได้ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยเท่ากับ 9.7 ± 73 , 10.2 ± 83 และ 169 ± 67 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 (ภาพประกอบ 32ข) วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH04), 35 เซนติเมตร (CH05) และ 45 เซนติเมตร (CH06) ได้ค่าความต่างศักย์เฉลี่ย

เท่ากับ 335 ± 148 , 239 ± 99 และ 222 ± 86 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และกลุ่มที่ 3 (ภาพประกอบ 32ค) วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด คือ 50 เซนติเมตร (CH07), 70 เซนติเมตร (CH08) และ 90 เซนติเมตร (CH09) ได้ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยเท่ากับ 341 ± 196 , 357 ± 185 และ 344 ± 169 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ เมื่อสังเกตระยะเวลาของการเดินระบบในช่วงเลี้ยงเชื้อตั้งแต่ชั่วโมงที่ 816 เริ่มมีความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV ค่าข้างที่จะคงที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงยุติในการเลี้ยงเชื้อและเริ่มเดินระบบในเวลาถัดไป



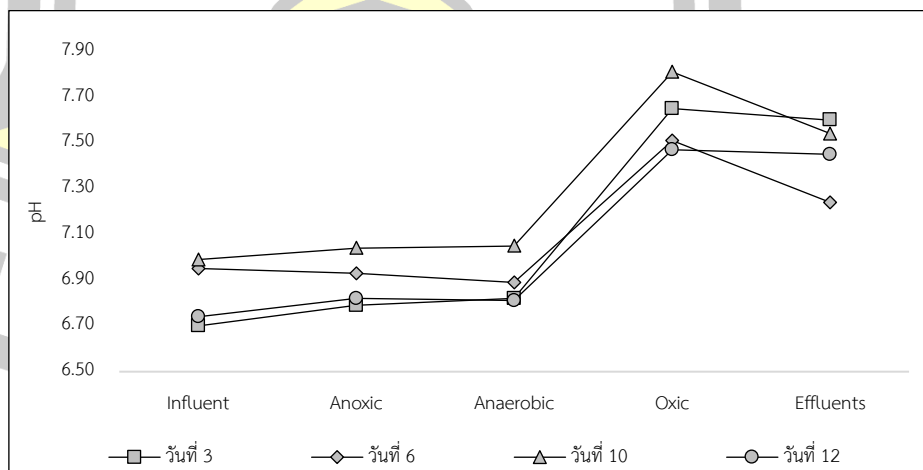


ภาพประกอบ 32 ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV ช่วงเลี้ยงเชื้อ

4.2 ช่วงเดินระบบ

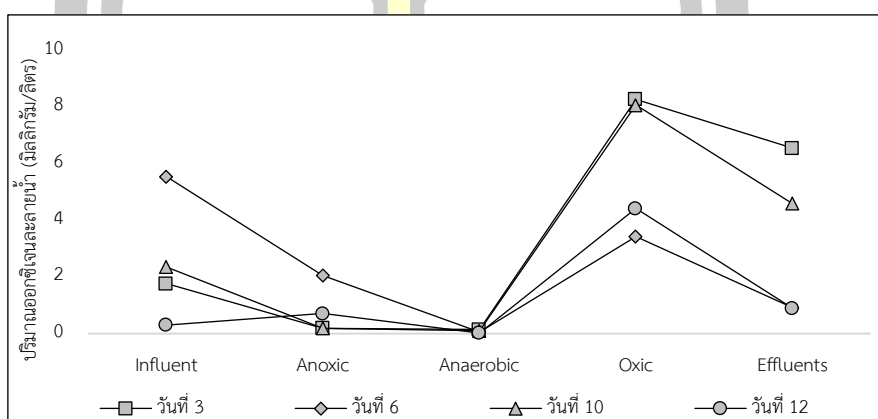
4.2.1 คุณภาพน้ำในช่วงเดินระบบ

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในช่วงเดินระบบของน้ำขาเข้า, ถึง anoxic, ถึง anaerobic, ถึง oxic และน้ำขา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.85 ± 0.15 , 6.90 ± 0.11 , 6.89 ± 0.11 , 7.61 ± 0.15 และ 7.46 ± 0.16 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 33 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบ Reverse A2O-MFCs สามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 5.5-9.0 ตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ 2559



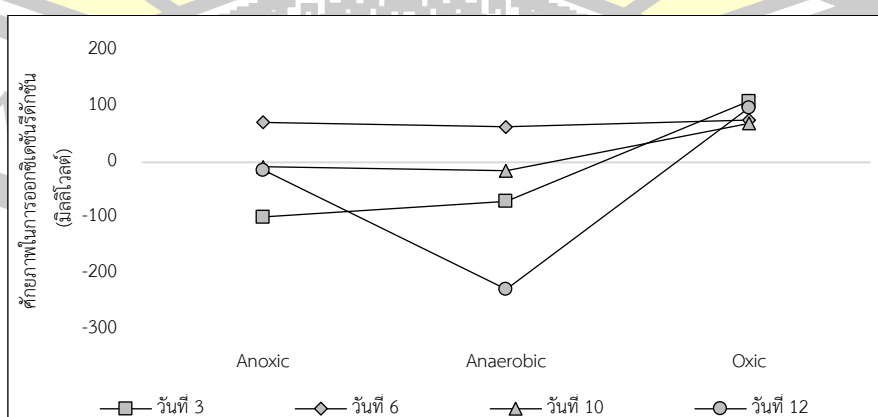
ภาพประกอบ 33 ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเดินระบบ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen: DO) ในช่วงเดินระบบของน้ำขาเข้า, ถึง anoxic, ถึง anaerobic, ถึง oxic และน้ำขาออก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.50 ± 2.21 , 0.79 ± 0.88 , 0.08 ± 0.06 , 6.05 ± 2.49 และ 3.24 ± 2.81 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 34 จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าระบบ Reverse A2O-MFCs สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำทิ้ง มากกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ



ภาพประกอบ 34 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเดินระบบ

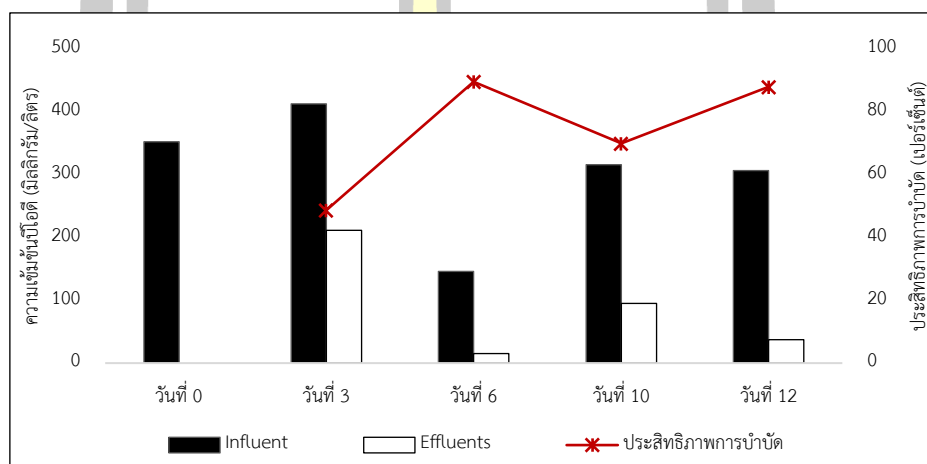
ค่าศักย์ภาพในการออกซิเดชันรีดักชัน (Oxidation Reduction Potential : ORP) ในช่วงเดินระบบ พบว่าค่าโออาร์พีกรณีการวางขั้วแบบกลุ่มที่ 1 ห้องแอนดออยู่ในช่วง -228 – 66 มิลลิโวลต์ ห้องแคโทดอยู่ในช่วง -98 – 72 มิลลิโวลต์ กรณีการวางขั้วแบบกลุ่มที่ 2 ห้องแอนดออยู่ในช่วง -228 – 66 มิลลิโวลต์ ห้องแคโทดอยู่ในช่วง 70 – 110 มิลลิโวลต์ และกรณีการวางขั้วแบบกลุ่มที่ 3 ห้องแอนดอมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -98 – 72 มิลลิโวลต์ ห้องแคโทดอยู่ในช่วง 70 – 110 มิลลิโวลต์



ภาพประกอบ 35 ค่าศักย์ภาพในการออกซิเดชันรีดักชันในช่วงเดินระบบ

1. ความเข้มข้นบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นบีโอดี พบว่าความเข้มข้นบีโอดีในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 353 ± 256 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ 49, 90, 70 และ 88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 36 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบ Reverse A2O-MFCs สามารถกำจัดบีโอดีในน้ำได้ สังเกตจากความเข้มข้นบีโอดีที่ลดลงจากน้ำขาเข้า



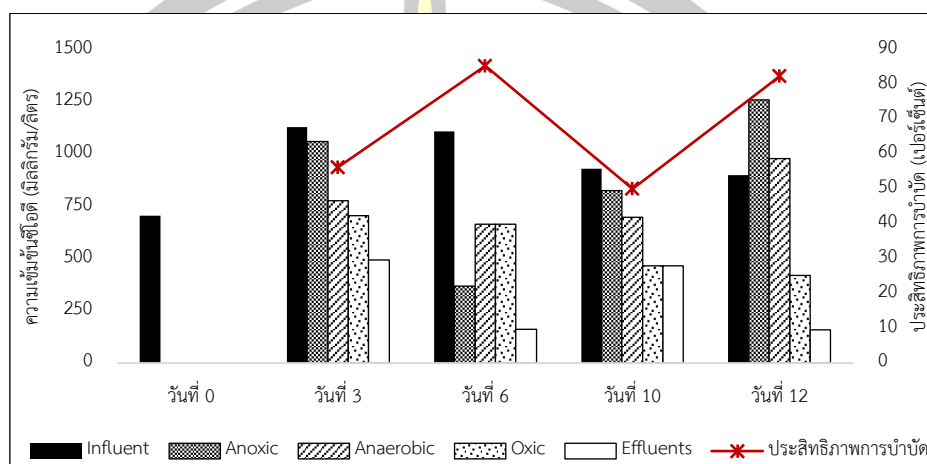
ภาพประกอบ 36 ความเข้มข้นบีโอดี และประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี

2. ความเข้มข้นซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นซีโอดี แสดงไว้ในภาพประกอบ 37 พบว่าความเข้มข้นซีโอดีในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 706 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ 56, 85, 50 และ 82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบ Reverse A2O-MFCs สามารถกำจัดซีโอดีในน้ำได้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นซีโอดีในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ที่ออกจากถัง anoxic มีค่าเท่ากับ $1,059 \pm 99.8$, 369 ± 0.00 , 826 ± 146 และ $1,258 \pm 264$ มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่ออกจากถัง anaerobic มีค่าเท่ากับ 776 ± 99.8 , 665 ± 0.00 , 697 ± 109 และ 979 ± 132 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่ออกจากถัง oxic มีค่า 706 ± 0.00 , 665 ± 295 , 465 ± 310 และ 419 ± 132 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลข้างต้นสำหรับน้ำที่ออกจากถัง anoxic นั้นพบว่า ในวันที่ 3, 6 และ 10 มีค่าความเข้มข้นซีโอดีลดลงจากน้ำขาเข้า อธิบายได้ว่าเป็นเพราะจุลินทรีย์ในตะกอนมีจำนวนและความแข็งแรงมากพอจึงสามารถย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำ เช่น สารอินทรีย์ ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้แตกตัวกลายเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงเรื่อย ๆ เพื่อที่จะเข้าสู่เซลล์

ของแบคทีเรีย แล้วสารโมเลกุลเล็กเหล่านั้นก็ถูกออกซิไดซ์ต่อหลายครั้งจนกระทั่งได้ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่น ๆ เป็นผลผลิตสุดท้ายดังสมการ สารอินทรีย์ + N + P \rightarrow เซลล์ใหม่ + CO_2 + H_2O + CH_4 + พลังงาน (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) ส่วนในวันที่ 12 ที่ความเข้มข้นซีโอตีเพิ่มขึ้นหลังไหลผ่านถัง anaerobic นั้น สันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการ dissimilatory nitrate reduction to ammonium: DNRA ซึ่งเกิดได้ในถังปฏิกิริยาที่เกิด anaerobic ammonium oxidation: ANAMOX โดยไนเตรตถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียรวมขึ้นในถังดังสมการ $\text{NH}_3 + 1.3\text{HNO}_2 \rightarrow 0.3\text{HNO}_3 + 1\text{N}_2 + 1.7\text{H}_2\text{O} + 0.6\text{H}^+ + 0.6\text{e}^-$ (Schmidt et al., 2002) ทำให้ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมและไนโตรเจนรวมเพิ่ม (ดูความเข้มข้นแอมโมเนียรวมและไนโตรเจนรวมของวันที่ 12) ส่งผลให้ความเข้มข้นซีโอตีเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับน้ำที่ออกจากถัง anaerobic วันที่ 3, 10 และ 12 นั้นพบว่ามีความเข้มข้นซีโอตีลดลง อธิบายได้ว่าเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้ออกซิเจนจากสมการ สารอินทรีย์ + N + P \rightarrow เซลล์ใหม่ + CO_2 + H_2O + CH_4 + พลังงาน (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนในวันที่ 6 นั้นพบว่าความเข้มข้นซีโอตีเพิ่มขึ้นเมื่อไหลผ่านถัง anaerobic สันนิษฐานว่าแบคทีเรียในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศกลุ่มที่สร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น มีการสร้างกรดอินทรีย์และผลผลิตต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนซึ่งมีความสามารถในการเจริญเติบโตต่ำกว่า ไม่สามารถย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้ทัน ทำให้มีปริมาณกรดอินทรีย์สะสมเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าระบบไม่มีกำลั้งบัฟเฟอร์เพียงพอค่า pH ของระบบที่ลดลง (pH = 6.89 ในถัง anaerobic ลดลงจากน้ำเข้าถัง pH = 6.93) ก็จะไปมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน จนอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) ทำให้ความเข้มข้นซีโอตีเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำที่ออกจากถัง oxic วันที่ 3, 10 และ 12 นั้นมีความเข้มข้นซีโอตีลดลง อธิบายได้ว่าเกิดเนื่องจากการย่อยสลายอาหารของจุลินทรีย์ประเภท aerobic ในถัง กล่าวคือ จุลินทรีย์ได้ส่งเอนไซม์ (enzyme) ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มาเกาะติดที่ผนังเซลล์เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารโมเลกุลเล็กที่จะสามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ และการสร้างเซลล์ใหม่ดังสมการ สารอินทรีย์ + N + P \rightarrow เซลล์ใหม่ + CO_2 + H_2O + พลังงาน เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนรูปมาเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่จะรวมตัวกันเป็นฟล็อก (biological flocculation) ทำให้มีน้ำหนักรวมมากขึ้นและแยกออกจากน้ำเสียได้ง่าย (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) ทำให้ความเข้มข้นซีโอตีลดลง ส่วนวันที่ 6 ความเข้มข้นซีโอตีในถัง oxic เท่ากับน้ำขาออกถัง anaerobic อธิบายได้ว่า

ในถังนี้ อาจมีจุลินทรีย์พวก nitrifying bacteria จำนวนมาก ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้อยู่ในกลุ่ม autotrophs ซึ่งเปลี่ยนแอมโมเนียรวมเป็นไนโตรทและเปลี่ยนไนโตรทเป็นไนเตรท โดยไม่จำเป็นต้องย่อยสลายสารอินทรีย์จากภายนอกเป็นแหล่งคาร์บอน จึงทำให้ไม่มีการกำจัดซีโอดี



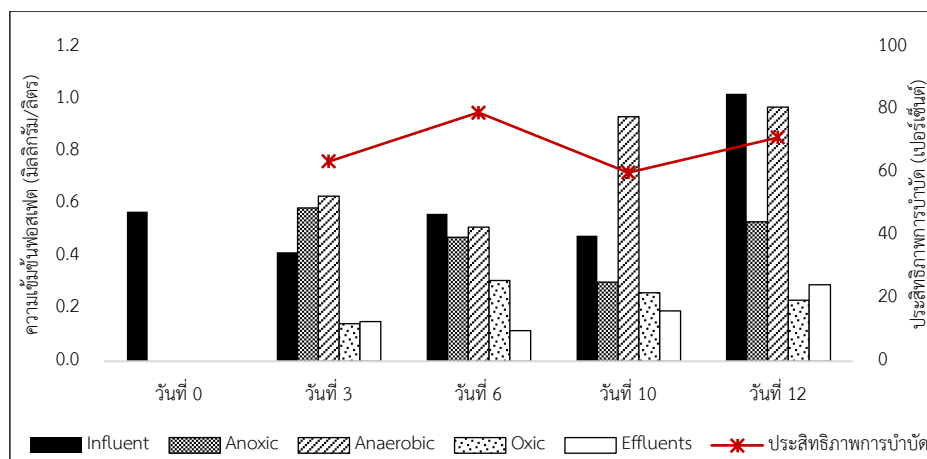
ภาพประกอบ 37 ความเข้มข้นซีโอดี และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

3. ความเข้มข้นฟอสเฟต (Phosphate)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสเฟต แสดงไว้ในภาพประกอบ 38 พบว่าความเข้มข้นฟอสเฟตในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 0.57 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ 64, 79, 60 และ 71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบ Reverse A2O-MFCs สามารถกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นฟอสเฟตในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ที่ออกจากถัง anoxic มีค่าเท่ากับ 0.59 ± 0.01 , 0.47 ± 0.00 , 0.30 ± 0.00 และ 0.53 ± 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ถัง anaerobic มีค่าเท่ากับ 0.63 ± 0.02 , 0.51 ± 0.02 , 0.94 ± 0.03 และ 0.97 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่ออกจากถัง oxidic มีค่าเท่ากับ 0.14 ± 0.00 , 0.31 ± 0.01 , 0.26 ± 0.01 และ 0.23 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลข้างต้นพบว่าถัง anoxic กำจัดฟอสเฟตไม่ได้ในวันที่ 3 อีกทั้งยังผลิตฟอสเฟตเพิ่มด้วย สังเกตจากความเข้มข้นฟอสเฟตในน้ำออกจากถังมีค่าสูงกว่าน้ำขาเข้า สันนิษฐานว่าเป็นเพราะในถังมีไนเตรทอยู่มาก (ดูความเข้มข้นไนเตรทวันที่ 3) จนเอื้อต่อการเติบโตของ denitrifying bacteria ทำให้เกิดการแย่งชิงไนเตรทระหว่าง denitrifying bacteria กับจุลินทรีย์จำพวก polyphosphate accumulating organisms: PAOs ชนิดที่เป็น denitrifying polyphosphate accumulating

organisms: DNPAOs กรณีที่ DNPAOs สู้ไม่ได้จะไม่สามารถนำไนเตรทมารับอิเล็กตรอนได้ DNPAOs จึงแสดงพฤติกรรมเหมือนอยู่ในสภาวะ anaerobic ที่หายใจธรรมดาไม่ได้ ต้องย่อย polyphosphate ในเซลล์ออกมาเพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีพ ส่งผลให้มีการปล่อยฟอสเฟตออกมาภายนอกเซลล์ (Akin and Ugurlu, 2004) ทำให้ความเข้มข้นฟอสเฟตเพิ่มขึ้น สำหรับวันที่ 6 ความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำในน้ำขาออกมีค่าน้อยกว่าน้ำขาเข้าแต่ถือว่ายังมีค่าที่สูง (2.06 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งเพียงพอต่อการที่ PAOs จะนำออกซิเจนไปใช้ในการรับอิเล็กตรอน ดังนั้น จึงอธิบายได้ว่าการกำจัดฟอสเฟตตามปกติวิสัยของจุลินทรีย์จำพวก PAOs ที่ใช้ออกซิเจนรับอิเล็กตรอนในเงื่อนไข oxic แล้วนำพลังงานจากการใช้ออกซิเจนในการรับอิเล็กตรอนนั้นสะสมฟอสเฟตในน้ำเข้าไปในเซลล์แล้วนำไปสังเคราะห์เป็น polyphosphate เก็บไว้เพื่อใช้ย่อยเป็นพลังงานเมื่อต้องเผชิญหน้ากับสภาวะที่ออกซิเจนต่ำต่อไป (Gebremariam et al., 2011) ส่วนในวันที่ 10 และ 12 พบว่าถึง anoxic สามารถกำจัดฟอสเฟตได้ทั้ง ๆ ที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังน้อย (0.2 และ 0.7 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ) และในน้ำมีไนเตรทด้วย (ดูความเข้มข้นไนเตรทวันที่ 10 และ 12) สันนิษฐานว่าในวันที่ 10 และ 12 นั้นจุลินทรีย์จำพวก PAOs ที่อยู่ในถังน่าจะเป็นชนิด DNPAOs เป็นส่วนใหญ่ ซึ่ง DNPAOs สามารถใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนได้ ถึง anoxic ในวันที่ 10 และ 12 ของการเดินระบบจึงสามารถกำจัดได้ทั้งฟอสเฟตและไนเตรทในเงื่อนไข anoxic (Gebremariam et al., 2011) กรณีถึง anaerobic ในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 พบว่าความเข้มข้นฟอสเฟตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำขาออกจากถัง anoxic อธิบายได้ว่าเกิดจากจุลินทรีย์จำพวก PAOs ย่อยสลาย polyphosphate เพื่อให้พลังงานในสภาวะขาดแคลนออกซิเจน ซึ่งส่งผลให้มีฟอสเฟตถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ตามปกติวิสัยของ PAOs (Gebremariam et al., 2011) และในกรณีถึง oxic พบว่าสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ทั้งในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ของการทดลอง อธิบายได้ว่าเกิดจากปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนโดยใช้ออกซิเจน และสะสมฟอสเฟตเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์จำพวก PAO ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในผลข้างต้น

พูน ปณ ทิโต ชิว

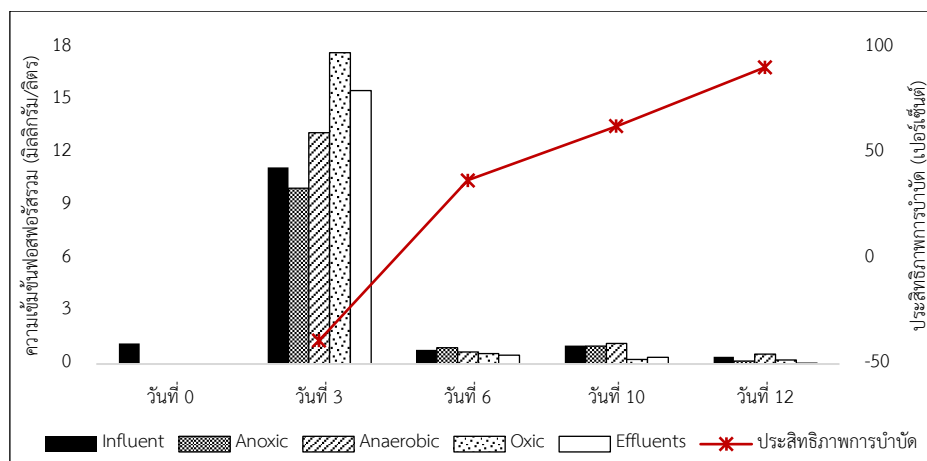


ภาพประกอบ 38 ความเข้มข้นฟอสเฟต และประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต

4. ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus: TP)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม แสดงในภาพประกอบ 39 พบว่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 1.17 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวม ในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ -39, 37, 63 และ 91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าระบบ Reverse A2O-MFCs มีการกำจัดฟอสฟอรัสรวมได้ดีเมื่อระยะเวลาเดินระบบนานขึ้น เมื่อพิจารณาความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ที่ออกจากถัง anoxic มีค่าเท่ากับ 9.99 ± 0.09 , 0.92 ± 0.00 , 1.01 ± 0.00 และ 0.17 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่ออกจากถัง anaerobic มีค่าเท่ากับ 13.14 ± 0.10 , 0.69 ± 0.00 , 1.16 ± 0.01 และ 0.55 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่ออกจากถัง oxic มีค่าเท่ากับ 17.69 ± 0.07 , 0.59 ± 0.01 , 0.27 ± 0.00 และ 0.22 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในกรณีของถัง anoxic ในวันที่ 3, 10 และ 12 กำจัดฟอสฟอรัสรวมได้ สำหรับวันที่ 3 นั้น สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์บางส่วนในน้ำขาเข้ามารวมตัวกันกับตะกอนในระบบแล้วลงไปอยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าทางน้ำออกจากถัง ทำให้เมื่อเก็บน้ำขาออกไปตรวจวัดความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมแล้วพบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่าน้ำขาเข้า ทั้ง ๆ ที่ความเข้มข้นฟอสเฟตในน้ำขาออกมีค่าสูงกว่าน้ำขาเข้า (ดูภาพประกอบ 38) ส่วนในวันที่ 10 และ 12 นั้น อธิบายได้ว่าเพราะในน้ำมีความเข้มข้นไนเตรตสูง จุลินทรีย์กลุ่ม DNPAOs จึงสามารถใช้ไนเตรตในน้ำเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้สามารถสะสมฟอสเฟตในน้ำเข้าไปในเซลล์เพื่อสร้าง polyphosphate ได้ (Gebremariam et al., 2011) ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 3 (ความเข้มข้นฟอสเฟต) ส่วนวันที่ 6 นั้น พบว่าถัง anoxic กำจัดฟอสฟอรัสรวมไม่ได้ อีกทั้งยังผลิตฟอสฟอรัสรวม

เพิ่มด้วย สังเกตจากความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในน้ำออกจากถังมีค่าสูงกว่าน้ำเข้า อธิบายได้จากข้อสันนิษฐานในข้อ 3 (ความเข้มข้นฟอสเฟต) นั่นคือน้ำในถังมีไนเตรตอยู่ในปริมาณมากจนเอื้อต่อการเติบโตของ denitrifying bacteria ทำให้เกิดการแก่งแย่งไนเตรตกัน ระหว่าง denitrifying bacteria กับจุลินทรีย์จำพวก DNPAOs กรณีที่ DNPAOs สู้อยู่ไม่ได้จึงไม่สามารถนำไนเตรตมารับอิเล็กตรอนได้ DNPAOs จึงแสดงพฤติกรรมเหมือนอยู่ในสภาวะ anaerobic ที่หายใจธรรมดาไม่ได้ ต้องย่อย polyphosphate ในเซลล์ออกมาเพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีพ (Akin and Ugurlu, 2004) ทำให้มีการปล่อยฟอสเฟตออกมาภายนอกเซลล์ เมื่อฟอสเฟตในน้ำมีค่าสูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าฟอสฟอรัสรวมในน้ำสูงขึ้นด้วย กรณีถึง anaerobic พบว่าในวันที่ 3, 10 และ 12 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำขาออกจากถัง anoxic สำหรับวันที่ 3, 10 และ 12 นั้น อธิบายได้ว่าเกิดจากจุลินทรีย์จำพวก PAOs ย่อยสลาย polyphosphate เพื่อให้พลังงานในสภาวะขาดแคลนออกซิเจน ซึ่งส่งผลให้มีฟอสเฟตถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ตามปกติวิสัยของ PAOs ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 3 (ความเข้มข้นฟอสเฟต) ทำให้ค่าฟอสฟอรัสรวมในน้ำออกจากถังสูงกว่าน้ำเข้าถัง ส่วนในวันที่ 6 นั้น ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำขาออกจากถัง anoxic และในกรณีถึง oxic พบว่าในวันที่ 3 มีความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในน้ำขาออกสูงกว่าน้ำขาเข้าทั้ง ๆ ที่ฟอสเฟตถูกบำบัดไป (ดูภาพประกอบ 38) สันนิษฐานได้ว่าเป็นเพราะในน้ำออกมีฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ (ตะกอนซึ่งมีจุลินทรีย์จำพวก PAOs ที่เก็บสะสม polyphosphate ไว้ในเซลล์) ปะปนออกมาในน้ำออก ทำให้น้ำขาออกมีฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์เพิ่มเข้ามา เมื่อนำไปตรวจวัดจึงได้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมสูงกว่าน้ำขาเข้า ส่วนในวันที่ 6, 10 และ 12 ของการทดลองนั้น พบว่าถึง oxic สามารถกำจัดฟอสฟอรัสรวมได้ ผลนี้สามารถอธิบายได้ว่ามาจากการที่จุลินทรีย์จำพวก PAOs นำฟอสเฟตในน้ำเข้ามาสะสมไว้ในเซลล์ขณะที่สามารถหายใจตามปกติแบบใช้ออกซิเจนตามปกติวิสัยของ PAOs ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในการอธิบายผลข้อ 3 (ความเข้มข้นฟอสเฟต)

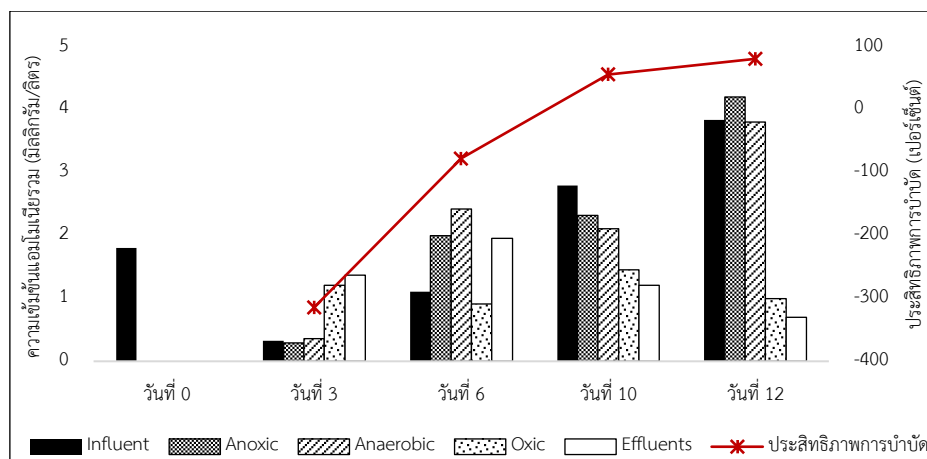


ภาพประกอบ 39 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม และประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสรวม

5. ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม (Total Ammonia Nitrogen: TAN)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม แสดงไว้ในภาพประกอบ 40 พบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียรวมในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 1.81 ± 0.24 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียรวมในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ -314, -77, 57 และ 82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าระบบ Reverse A2O–MFCs มีการกำจัดแอมโมเนียรวมได้ดีเมื่อระยะเวลาเดินระบบนานขึ้น เมื่อพิจารณาความเข้มข้นแอมโมเนียรวมในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ที่ออกจากถัง anoxic มีค่าเท่ากับ 0.29 ± 0.00 , 2.00 ± 0.01 , 2.32 ± 0.02 และ 4.21 ± 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่ออกจากถัง anaerobic มีค่าเท่ากับ 0.36 ± 0.02 , 2.43 ± 0.00 , 2.12 ± 0.00 และ 3.81 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่ออกจากถัง oxidic มีค่าเท่ากับ 1.21 ± 0.00 , 0.92 ± 0.01 , 1.46 ± 0.01 และ 1.00 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลข้างต้น สำหรับถัง anoxic พบว่าค่าความเข้มข้นแอมโมเนียรวมที่ออกจากถังในวันที่ 3 และ 10 ลดลงจากน้ำขาเข้า (ความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำในถัง anoxic ในวันที่ 3 และ 10 เท่ากับ 0.19 และ 0.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) สันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะมีจุลินทรีย์กลุ่ม ANAMMOX อยู่ในถังซึ่งสามารถใช้ไนโตรเจนที่มีในน้ำเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตามปฏิกิริยา completely autotrophic nitrogen removal over nitrite process: CANON ซึ่งปฏิกิริยานี้จะออกซิไดซ์แอมโมเนียรวมให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนในสถานะ anoxic ได้ (McCarty, 2018) โดยสมการเคมีในการเกิดปฏิกิริยาอาจแตกต่างกันไปตามชนิดจุลินทรีย์ เช่นกรณีจุลินทรีย์ *B.anammoxidans* เมื่อเกิดกระบวนการ ANAMMOX แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือความเข้มข้นไนเตรทในน้ำที่สูงขึ้นดังสมการ $\text{NH}_3 + 1.3\text{HNO}_2 \rightarrow 0.3\text{HNO}_3 + 1\text{N}_2 + 1.7\text{H}_2\text{O} +$

$0.6\text{H}^+ + 0.6\text{e}^-$ ในขณะที่จุลินทรีย์ *Nitrosomonas* ผลิตที่ออกซิเจนน้อยก็สามารถเกิดกระบวนการ ANAMMOX ได้ โดยหลังเกิดปฏิกิริยาจะมีไนโตรเจนเพิ่มขึ้นดังสมการ $2\text{NH}_3 + 2\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 0.5\text{N}_2 + 4\text{NO} + 1\text{H}^+ + 1\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O}$ (Schmidt et al., 2002) โดยสังเกตได้จากความเข้มข้นไนโตรเจนในน้ำ ออกจากถัง anoxic ในวันที่ 3 และ 10 ของงานวิจัยนี้ก็มีค่าเพิ่มขึ้น (ดูภาพประกอบ 42) ส่วนในวันที่ 6 และในวันที่ 12 นั้น พบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียรวมที่ออกจากถัง anoxic มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากน้ำเข้า สำหรับในวันที่ 6 นั้นสันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการ ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการที่สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียรวม (Beretta and Cossu, 2018) จึงทำให้แอมโมเนียรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อน้ำไหลผ่านถัง anoxic ส่วนวันที่ 12 นั้นสันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการ DNRA ซึ่งเกิดได้ในถังปฏิกิริยาที่เกิดกระบวนการ ANAMMOX โดยใช้ไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนลดรูปเป็นไนโตรต จากนั้นไนโตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนลดรูปเป็นแอมโมเนียรวม ทำให้ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมเพิ่มขึ้น (Keren et al., 2020) สังเกตจากในวันที่ 12 ความเข้มข้นไนโตรเจนลดลงเมื่อผ่านถัง anoxic (ดูภาพประกอบ 42) สำหรับถัง anaerobic พบว่าวันที่ 3 และ 6 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมในน้ำออกจากถังมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าถัง สันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการ ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการที่สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียรวมจึงทำให้แอมโมเนียรวมเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำไหลผ่านถัง (Beretta and Cossu, 2018) ส่วนในวันที่ 10 และ 12 พบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียรวมลดลงหลังออกจากถัง anaerobic คาดว่าเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยา ANAMMOX ดังกล่าวข้างต้น สังเกตได้จากความเข้มข้นไนโตรเจนในน้ำออกจากถัง anaerobic ในวันที่ 10 และ 12 ของงานวิจัยนี้ก็มีค่าเพิ่มขึ้น (ดูภาพประกอบ 41) และในกรณีถัง oxic พบว่าวันที่ 3 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมในน้ำขาออกจากถังมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าถัง อธิบายได้ว่าเกิดกระบวนการ ammonification ทำให้แอมโมเนียรวมเพิ่มขึ้น ส่วนในวันที่ 6, 10 และ 12 พบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียรวมในน้ำขาออกมีค่าต่ำกว่าน้ำขาเข้า อธิบายได้ว่าเมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดการหายใจโดยกระบวนการ nitrification ขึ้น โดยกระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนย่อยคือ ขั้นตอนแรกเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrosomonas* แบคทีเรียกลุ่มนี้จะออกซิไดซ์แอมโมเนียรวมให้เป็นไนโตรตดังสมการ $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Energy}$ และขั้นตอนที่สองโดยแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrobacter* แบคทีเรียกลุ่มนี้จะออกซิไดซ์ไนโตรตต่อให้กลายเป็นไนเตรตดังสมการ $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + \text{Energy}$ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551) สังเกตได้จากความเข้มข้นไนโตรเจนในน้ำออกจากถัง oxic วันที่ 6, 10 และ 12 มีค่าเพิ่มขึ้น (ดูภาพประกอบ 41)



ภาพประกอบ 40 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม และประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียรวม

6. ความเข้มข้นไนไตรท์ (Nitrite)

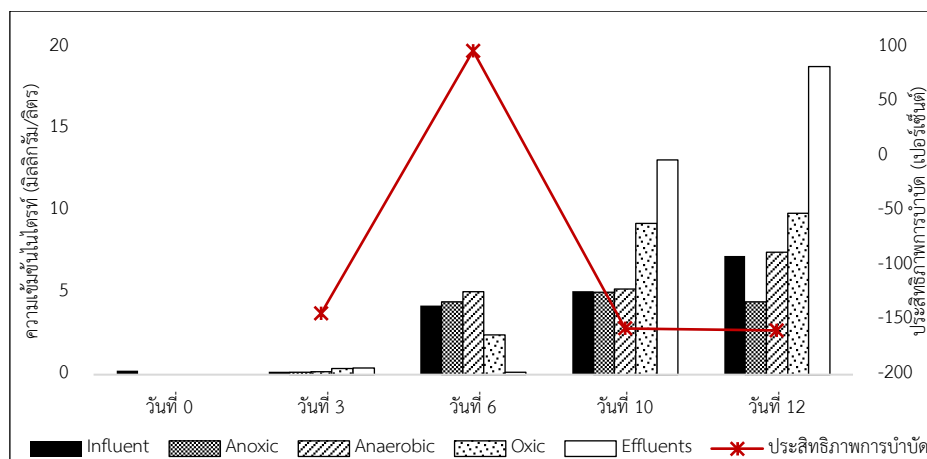
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นไนไตรท์ แสดงไว้ในภาพประกอบ 41 พบว่าความเข้มข้นไนไตรท์ในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 0.24 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดไนไตรท์ในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ -144, 97, -158 และ -159 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นไนไตรท์ในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ที่ออกจากถัง anoxic มีค่าเท่ากับ 0.16 ± 0.00 , 4.43 ± 0.17 , 5.04 ± 0.02 และ 4.44 ± 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่ออกจากถัง anaerobic มีค่าเท่ากับ 0.17 ± 0.00 , 5.08 ± 0.00 , 5.24 ± 0.00 และ 7.47 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่ออกจากถัง oxidic มีค่าเท่ากับ 0.37 ± 0.00 , 2.42 ± 0.02 , 9.23 ± 0.16 และ 9.86 ± 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลข้างต้นความเข้มข้นไนไตรท์ในน้ำขาเข้าและออกจากถัง anoxic ในวันที่ 3, 6 และ 10 ไม่ค่อยต่างกันนักในวันที่ 3, 6 และ 10 แต่ในวันที่ 12 ของการเดินระบบพบว่าไนไตรท์ถูกกำจัด อธิบายได้ว่าในวันที่ 12 ของการเดินระบบอาจเกิดกระบวนการ denitrification เป็นกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรทให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจนหรือบางทีมีก๊าซอื่น ๆ เกิดขึ้นด้วย โดยอาศัยจุลินทรีย์จำพวก denitrifying bacteria ซึ่งสามารถใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระที่สภาวะ anoxic จะมีขั้นตอนการเกิดของปฏิกิริยา 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ ไนตริกออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นไนตรัสออกไซด์ ไนเตรทเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นไนตรัสออกไซด์ และได้ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการ denitrification โดยมีเอนไซม์ที่กระตุ้นการลดรูปของไนโตรเจน (มันซิน ตัณทูลเวคม์ และ มันรักซ์ ตัณทูลเวคม, 2547) มีผลทำให้ความเข้มข้นไนไตรท์ในถังถูกกำจัดไป สำหรับถัง anaerobic พบว่าตลอดการ

ทดลองในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ความเข้มข้นไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำไหลผ่านถัง คาดว่าเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยา ANAMMOX ขึ้นในถังดังสมการ $2\text{NH}_3 + 2\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 0.5\text{N}_2 + 4\text{NO} + 1\text{H}^+ + 1\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O}$ (Schmidt et al., 2002) ที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) และถึง oxic ในวันที่ 3, 10 และ 12 พบว่าความเข้มข้นไนโตรเจนในน้ำออกสูงกว่าน้ำเข้า สำหรับวันที่ 10 และ 12 อธิบายได้ว่าเกิดปฏิกิริยา nitrification ทำให้แอมโมเนียรวมถูกออกซิไดซ์กลายเป็นไนโตรเจน สังเกตได้จากความเข้มข้นแอมโมเนียรวมลดลงหลังไหลผ่านถัง oxic ดังอธิบายไว้ในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) ส่วนวันที่ 3 นั้น ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมในน้ำออกมีค่ามากกว่าน้ำเข้าด้วย จึงสันนิษฐานว่าเกิดปฏิกิริยา ammonification ในถัง oxic โดยปฏิกิริยาที่ยังเกิดไม่สมบูรณ์จะมีการผลิตไนโตรเจนออกมาด้วยดังแสดงไว้ในสมการเคมีในตาราง 11 (Hanson et al., 2013) สำหรับวันที่ 6 พบว่าความเข้มข้นไนโตรเจนลดลงเมื่อน้ำไหลผ่านถัง oxic ประกอบกับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมก็ลดลงด้วย (ดูภาพประกอบ 40) จึงสันนิษฐานได้ว่าขณะนั้นเกิดกระบวนการ nitrification ที่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียรวมให้กลายเป็นไนโตรเจนและเปลี่ยนจากไนโตรเจนที่ให้กลายเป็นไนเตรต ดังที่อธิบายไปแล้วในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) ทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนลดลง

ตาราง 11 ปฏิกิริยารับอิเล็กตรอนของ reverse-HURM (Hanson et al., 2013)

	Reaction	Enzyme
(1)	$2\text{H}^+ + \text{NO}_3^- + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	Nitrate reductase
(2)	$5\text{H}^+ + \text{NO}_2^- + 4\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	HURM
(3)	$3\text{H}^+ + \text{NH}_2\text{OH} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$	Hydroxylamine reductase
(4)	$10\text{H}^+ + \text{NO}_3^- + 8\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	Sum

พหุ ประถมศึกษา



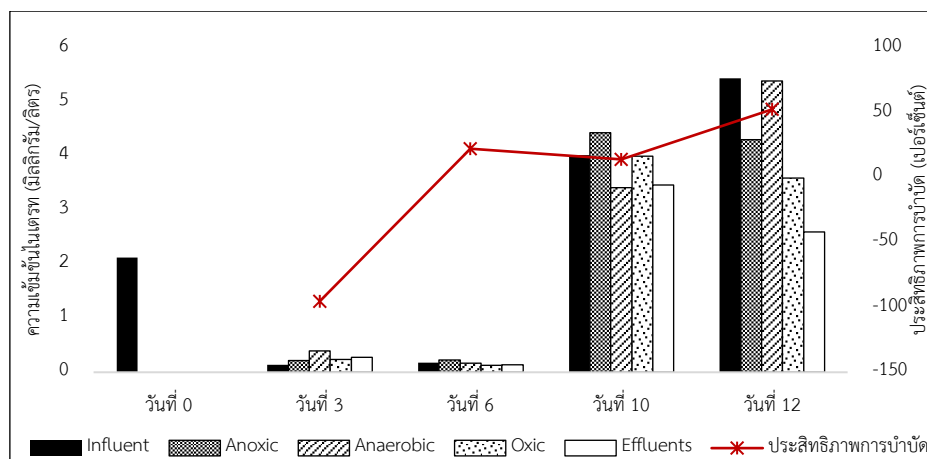
ภาพประกอบ 41 ความเข้มข้นไนเตรท และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท

7. ความเข้มข้นไนเตรท

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นไนเตรท แสดงไว้ในภาพประกอบ 42 พบว่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 2.12 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรทในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ -95, 22, 14 และ 52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นไนเตรทในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ที่ออกจากถัง anoxic มีค่าเท่ากับ 0.21 ± 0.00 , 0.23 ± 0.00 , 4.42 ± 0.12 และ 4.30 ± 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่ออกจากถัง anaerobic มีค่าเท่ากับ 0.40 ± 0.00 , 0.16 ± 0.00 , 3.41 ± 0.00 และ 5.38 ± 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่ออกจากถัง oxic มีค่าเท่ากับ 0.24 ± 0.00 , 0.13 ± 0.00 , 3.99 ± 0.10 และ 3.59 ± 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลข้างต้นพบว่าถัง anoxic ในวันที่ 3, 6 และ 10 ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำขาออกจากถังมีค่าสูงกว่าน้ำขาเข้า สันนิษฐานได้ว่าเกิดปฏิกิริยา ANAMMOX ดังสมการ $2\text{NH}_3 + 2\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 0.5\text{N}_2 + 4\text{NO} + 1\text{H}^+ + 1\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O}$ ที่กล่าวไว้ในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) จึงทำให้ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำขาออกจากถังสูงกว่าน้ำขาเข้า สังเกตได้จากความเข้มข้นแอมโมเนียรวมที่ออกจากถัง anoxic ในวันที่ 3 กับ 10 (ดูภาพประกอบ 40) ส่วนวันที่ 6 นั้นสันนิษฐานว่าเกิดปฏิกิริยา ammonification ผลิตแอมโมเนียรวมเพิ่มดังที่กล่าวไว้ในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) ควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแอมโมเนียรวมที่เกิดให้กลายเป็นไนเตรทด้วยกระบวนการ ANAMMOX โดยความเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ยังไม่เร็วพอจะเปลี่ยนแอมโมเนียรวมทั้งหมดที่ถูกผลิตขึ้นมาให้กลายเป็นไนเตรททั้งหมด สำหรับวันที่ 12 ของการเดินระบบพบว่าถัง anoxic กำจัดไนเตรทได้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้น สันนิษฐานว่า เกิดกระบวนการ DNRA ซึ่งเกิดได้

ในถังปฏิกรณ์ที่ เกิดกระบวนการ ANNAMOX โดยใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนลดรูปเป็นไนไตรท์ จากนั้นไนไตรท์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนลดรูปเป็นแอมโมเนียรวม ทำให้ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมเพิ่มขึ้นแต่ไนเตรทลดลง ดังอธิบายไว้ในข้อที่ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) สำหรับถัง anaerobic พบว่าในวันที่ 3 และ 12 ของการเดินระบบความเข้มข้นไนเตรทหลังออกจากถังมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นไนเตรทขาเข้า สันนิษฐานว่าเกิดกระบวนการ ANNAMOX ขึ้นในถัง ดังสมการ $\text{NH}_3 + 1.3\text{HNO}_2 \rightarrow 0.3\text{HNO}_3 + 1\text{N}_2 + 1.7\text{H}_2\text{O} + 0.6\text{H}^+ + 0.6\text{e}^-$ และ $2\text{NH}_3 + 2\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 0.5\text{N}_2 + 4\text{NO} + 1\text{H}^+ + 1\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O}$ (Schmidt et al., 2002) ที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) ส่วนในวันที่ 6 และ 10 นั้นพบว่าถัง anaerobic กำจัดไนเตรทได้ สันนิษฐานว่าเกิดกระบวนการ denitrification ควบคู่ไปกับอีกหลายๆกระบวนการ ทำให้ไนเตรทกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนหายไปจากน้ำได้ สำหรับถัง oxic ในวันที่ 3, 6 และ 12 ความเข้มข้นไนเตรทลดลงจากน้ำเข้าถัง ในกรณีวันที่ 3 และ 12 นั้นสันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการ DNRA โดยไนเตรทถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ทำให้ความเข้มข้นไนไตรท์เพิ่มขึ้น (Keren et al., 2020) สังเกตจากความเข้มข้นไนไตรท์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านถัง oxic (ดูภาพประกอบ 41) แต่วันที่ 6 พบว่าความเข้มข้นไนเตรทลดลงเมื่อไหลผ่านถัง oxic ประกอบกับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนไตรท์นั้นได้ลดลงด้วย (ดูภาพประกอบ 40 และ 41 ตามลำดับ) จึงสันนิษฐานได้ว่าขณะนั้นเกิดกระบวนการ nitrification ที่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียรวมให้กลายเป็นไนไตรท์และเปลี่ยนจากไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรทได้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) ทำให้ความเข้มข้นไนเตรทลดลง ส่วนในวันที่ 10 พบว่าความเข้มข้นไนเตรทเพิ่มขึ้นเมื่อไหลผ่านถัง oxic ประกอบกับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมนั้นลดลงด้วย (ดูภาพประกอบ 40) จึงสันนิษฐานได้ว่าขณะนั้นเกิดกระบวนการ nitrification ที่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียรวมให้กลายเป็นไนไตรท์และเปลี่ยนจากไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรท โดยอาศัยทำหน้าที่ของแบคทีเรีย nitrifying ทำให้ความเข้มข้นไนเตรทเพิ่มขึ้น

พหุ ประสิทธิภาพ



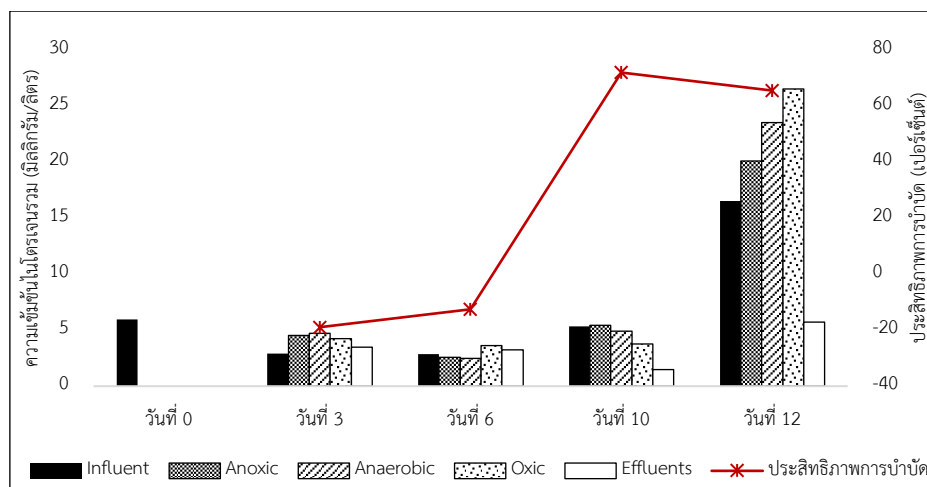
ภาพประกอบ 42 ความเข้มข้นไนเตรท และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท

8. ความเข้มข้นไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen: TN)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมแสดงไว้ในภาพประกอบ 43 พบว่าความเข้มข้นไนโตรเจนรวมในน้ำขาเข้าวันที่ 0 เท่ากับ 5.96 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 มีค่าเท่ากับ -19, -13, 72 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าระบบ Reverse A2O-MFCs มีการกำจัดไนโตรเจนรวมได้แค่ วันที่ 10 และ 12 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นไนโตรเจนรวมในวันที่ 3, 6, 10 และ 12 ที่ออกจากถัง anoxic มีค่าเท่ากับ 4.52 ± 0.00 , 2.59 ± 0.01 , 5.45 ± 0.04 และ 20.07 ± 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ถัง anaerobic มีค่าเท่ากับ 4.73 ± 0.00 , 2.46 ± 0.12 , 4.88 ± 0.02 และ 23.46 ± 0.18 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และถัง oxidic มีค่าเท่ากับ 4.25 ± 0.00 , 3.63 ± 0.18 , 3.76 ± 0.03 และ 26.46 ± 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลข้างต้นพบว่าถัง anoxic ในวันที่ 6 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมลดลงจากน้ำขาเข้า แม้ว่าความเข้มข้นแอมโมเนียรวม ไนโตรต์ และไนเตรทจะเพิ่ม (ดูภาพประกอบ 40, 41 และ 42 ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะไนโตรเจนที่อยู่ในรูป organic-nitrogen ลดลงทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมมีค่าลดลงด้วย ส่วนวันที่ 3, 10 และ 12 มีความเข้มข้นไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้น ในวันที่ 3, 10 คาดว่าอาจเกิดปฏิกิริยา ANNAMOX ขึ้นในถังแล้วทำให้ความเข้มข้นไนเตรทเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากความเข้มข้นไนเตรทในน้ำออกจากถัง anoxic ในวันที่ 3 และ 10 มีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำขาเข้า (ดูภาพประกอบ 42) ทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนวันที่ 12 นั้น สันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการ DNRA ซึ่งเกิดได้ในถังปฏิกิริยาที่เกิดกระบวนการ ANNAMOX โดยใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนลดรูปเป็นไนโตรต์ จากนั้นไนโตรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนลดรูปเป็น

แอมโมเนียรวม ดังอธิบายไว้แล้วในข้อที่ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) เป็นผลให้ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมเพิ่มขึ้น (ดูภาพประกอบ 40) ให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อน้ำไหลออกจากถังเช่นกัน กรณีถึง anaerobic วันที่ 3 และ 12 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นจากน้ำขาเข้า เป็นไปได้ว่าเกิดกระบวนการ ANNAMOX ขึ้นในถังที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) และในวันที่ 6 และ 10 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมลดลง สันนิษฐานว่าเกิดกระบวนการ denitrification ควบคู่ไปกับอีกหลายๆกระบวนการ ทำให้ไนเตรทกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนหายไปจากน้ำ ให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมลดลง ส่วนกรณีของถัง oxic พบว่าวันที่ 6 และ 12 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมในน้ำขาออกเพิ่มขึ้นเมื่อไหลออกจากถัง ในวันที่ 6 ถึงแม้ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ และไนเตรทจะลดลง (ดูภาพประกอบ 40, 41 และ 42 ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะไนโตรเจนที่อยู่ในรูป organic-nitrogen เพิ่มขึ้น ให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่วนวันที่ 12 นั้นอธิบายได้ว่าเกิดปฏิกิริยา nitrification ทำให้แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์กลายเป็นไนไตรท์สังเกตได้จากค่าความเข้มข้นไนไตรท์เพิ่มขึ้นหลังไหลผ่านถัง oxic ดังอธิบายไว้ในข้อ 5 (ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม) ให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และในวันที่ 3 และ 10 มีความเข้มข้นไนโตรเจนรวมลดลง ในกรณีวันที่ 3 สันนิษฐานได้ว่าเกิดจากกระบวนการ DNRA โดยไนเตรทถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ ให้ความเข้มข้นไนเตรทลดลง สังเกตจากความเข้มข้นไนเตรทที่ลดลงเมื่อผ่านถัง oxic เป็นผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมลดลงด้วยเช่นกัน ส่วนวันที่ 10 อธิบายได้ว่าเกิดปฏิกิริยา nitrification แบบขั้นตอนเดียว โดยแบคทีเรียกลุ่ม Nitrosomonas แบคทีเรียกลุ่มนี้จะออกซิไดซ์แอมโมเนียรวมให้เป็นไนไตรท์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551) สังเกตได้จากความเข้มข้นแอมโมเนียรวมมีค่าลดลงและความเข้มข้นไนไตรท์มีค่าเพิ่มขึ้นในน้ำออกจากถัง oxic ของวันที่ 10 เป็นผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมลดลงด้วย





ภาพประกอบ 43 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวม และประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนรวม

9. ความสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบ Reverse A2O–MFCs เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ

ตาราง 12 เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณภาพน้ำ กับงานวิจัยอื่น ๆ

ระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)					ที่มา
	บีโอดี	ซีโอดี	ฟอสฟอรัสรวม	แอมโมเนียรวม	ไนโตรเจนรวม	
Reverse A2O–MFCs	74	68	63	69	72	งานวิจัยนี้
AD(UASB) + MFC	-	61	-	77	-	Kim et al., 2015
D-A2O	-	95	90	90	81	Ye et al., 2018
A2O-MBR	92	84	75	-	69	Wang et al., 2019
A2O	-	95	70	-	86	Xu., 2014
Reverse A2O	-	96	76	-	87	
A2O	96	91	91	85	69	Fang., 2016
Reverse A2O	96	91	95	75	60	

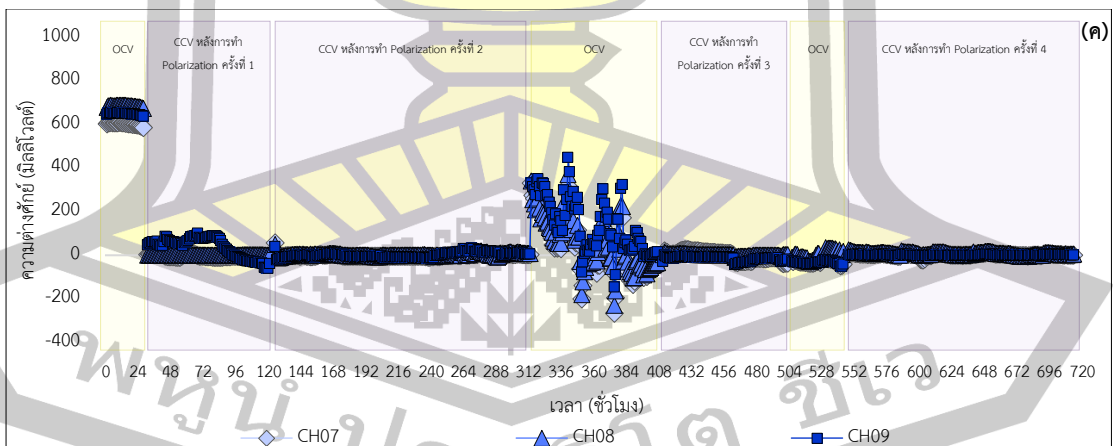
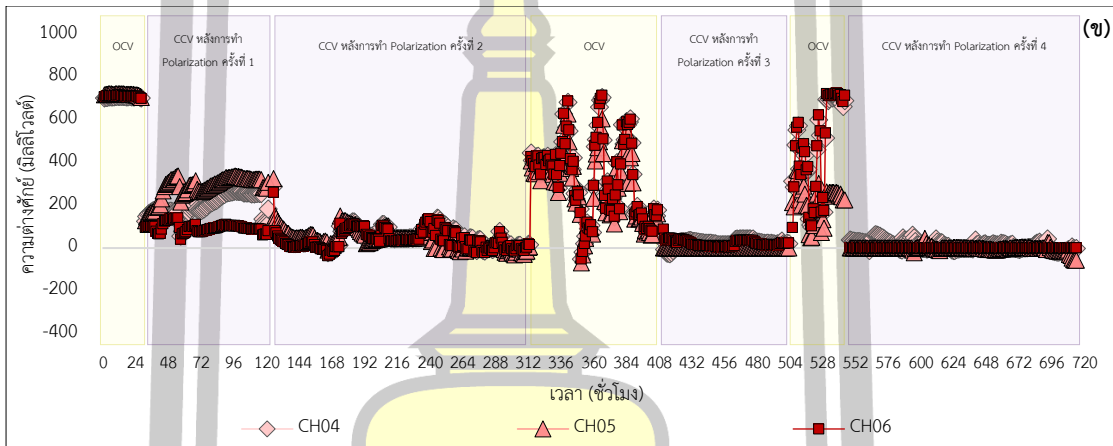
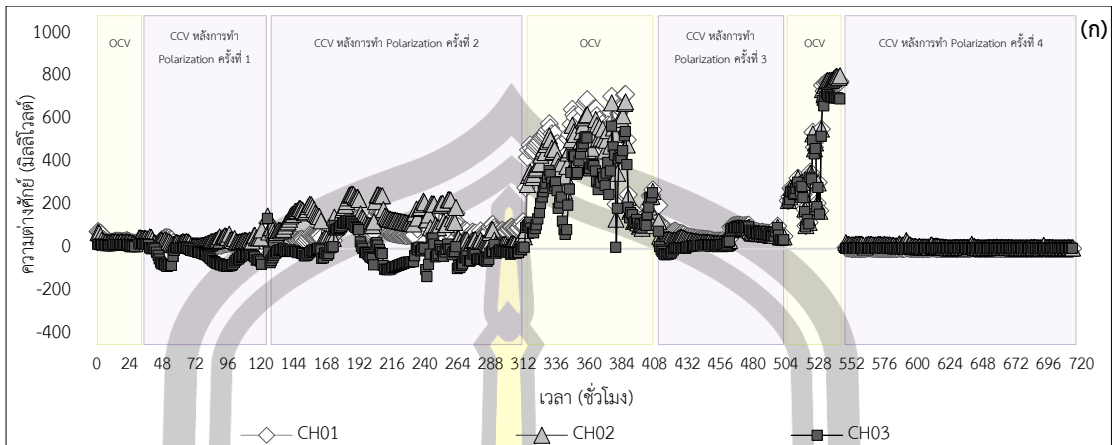
ตาราง 12 (ต่อ)

ระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)					ที่มา
	บีโอดี	ซีโอดี	ฟอสฟอรัส รวม	แอมโมเนีย รวม	ไนโตรเจน รวม	
Reverse A2O– MFCs	74	68	63	69	72	งานวิจัยนี้
MFC+A2O-A	-	95	57	-	88	Li., 2015
MFC+A2O-B	-	94	61	-	87	
MFC - AO (HRT=5hr)	-	91	-	-	53	Chang., 2018
MFC - AO (HRT=8hr)	-	96	-	-	74	

จากตาราง 12 แสดงเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณภาพน้ำ กับงานวิจัยอื่น ๆ จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าเกือบทุกงาน อาจเป็นเพราะ MLSS ไม่ได้อยู่ระหว่างค่าที่ออกแบบไว้ เนื่องจากใช้ความเร็วรอบในการกวนมากเกินไปทำให้ตะกอนไม่จับตัวกันเป็นฟล็อกเป็นผลให้ ประสิทธิภาพการกำจัดได้ไม่ดีนัก

4.2.2 ค่าทางไฟฟ้าในช่วงเดินระบบ

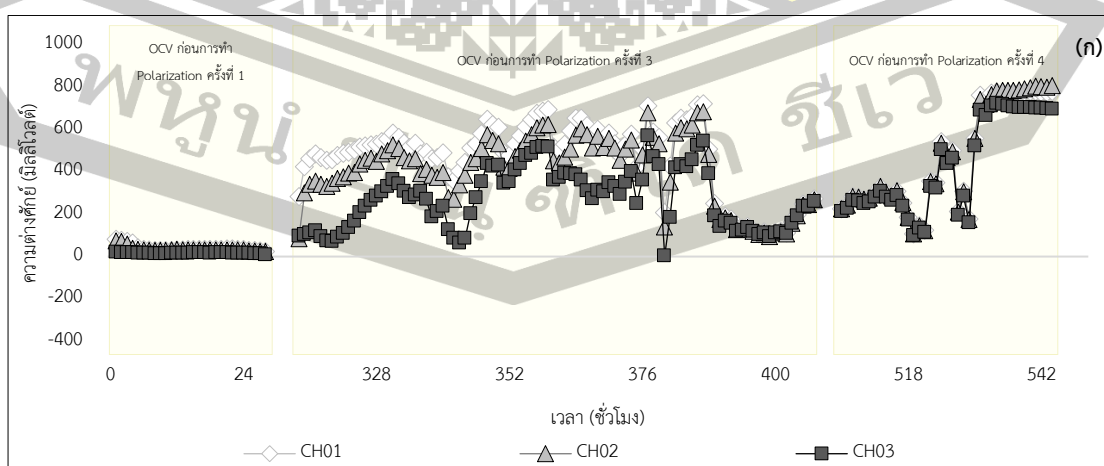
ในการเดินระบบ Reverse A2O–MFCs ผู้วิจัยได้ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ช่วงคือ ช่วงที่ 1: หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 1, ช่วงที่ 2: หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 2, ช่วงที่ 3: หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 3 และ ช่วงที่ 4: หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 4 ดังภาพประกอบ 44 โดยการทดลองช่วงที่ 3 และ 4 เป็นการเก็บพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ไม่มีการวัดคุณภาพน้ำเป็นเพราะห้องปฏิบัติการปิดทำการเนื่องจากสถานการณ์ COVID-19 และผลการทดลองพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในช่วงเดินระบบเป็นดังหัวข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้

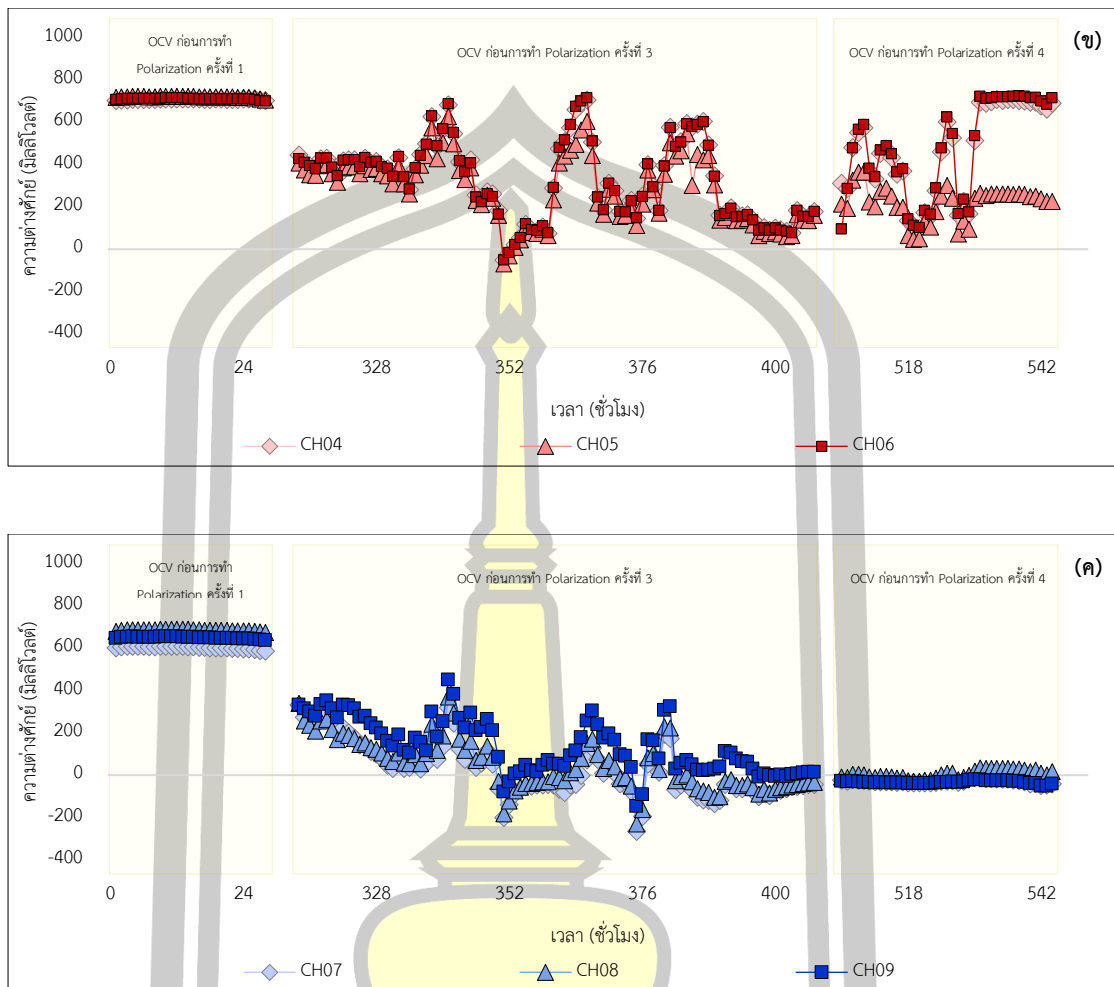


ภาพประกอบ 44 ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV และ CCV ตลอดช่วงเดินระบบ

1. ค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV: open circuit voltage ช่วงเดินระบบ

จากภาพประกอบ 45 สังเกตได้ชัดว่าเส้นกราฟเรียงตัวเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดกล่าวคือ กลุ่มที่ 1 (ภาพประกอบ 45ก) วางขั้วแคโทดที่ถึง anoxic และขั้วแอโนดที่ถึง anaerobic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH01), 35 เซนติเมตร (CH02) และ 45 เซนติเมตร (CH03) ได้ค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV เฉลี่ยก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 1 เท่ากับ 38 ± 15 , 35 ± 13 และ 17 ± 2 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 3 เท่ากับ 462 ± 174 , 406 ± 163 และ 274 ± 140 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 4 เท่ากับ 467 ± 251 , 470 ± 255 และ 429 ± 226 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 (ภาพประกอบ 45ข) วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH04), 35 เซนติเมตร (CH05) และ 45 เซนติเมตร (CH06) ได้ค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV เฉลี่ยก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 1 เท่ากับ 707 ± 2 , 718 ± 4 และ 710 ± 3 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 3 เท่ากับ 322 ± 182 , 282 ± 159 และ 322 ± 183 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 4 เท่ากับ 469 ± 212 , 218 ± 80 และ 478 ± 225 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และกลุ่มที่ 3 (ภาพประกอบ 45ค) วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 50 เซนติเมตร (CH07), 70 เซนติเมตร (CH08) และ 90 เซนติเมตร (CH09) ได้ค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV เฉลี่ยก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 1 เท่ากับ 602 ± 6 , 684 ± 4 และ 648 ± 5 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 3 เท่ากับ 26 ± 127 , 49 ± 121 และ 138 ± 126 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 4 เท่ากับ -30 ± 9 , 2 ± 20 และ -34 ± 7 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ





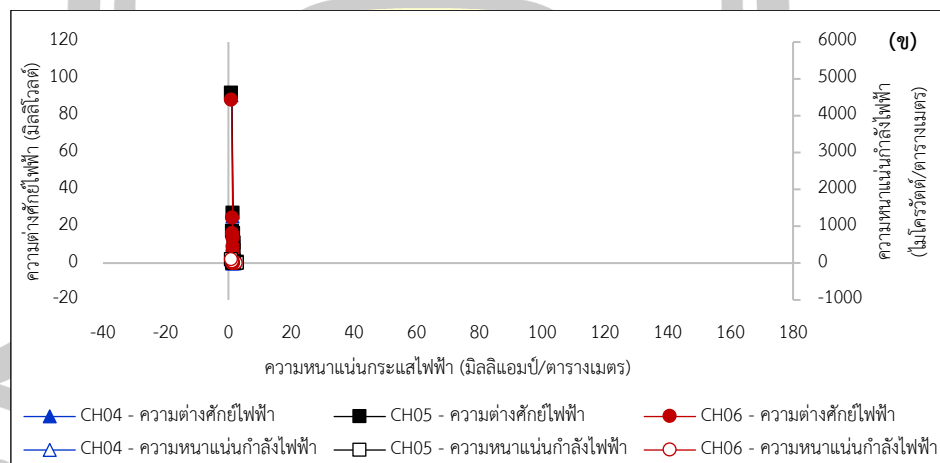
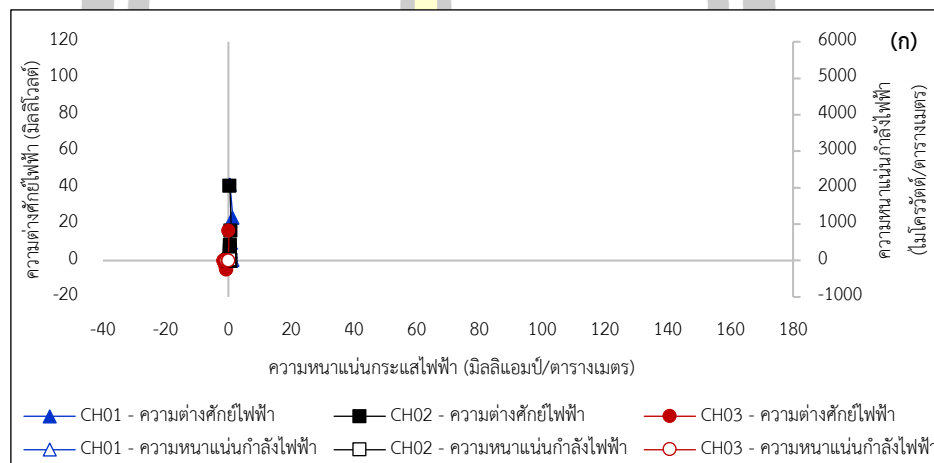
ภาพประกอบ 45 ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV ตลอดช่วงเดินระบบ

2. เส้นโค้งโพลาริเซชัน (polarization curves)

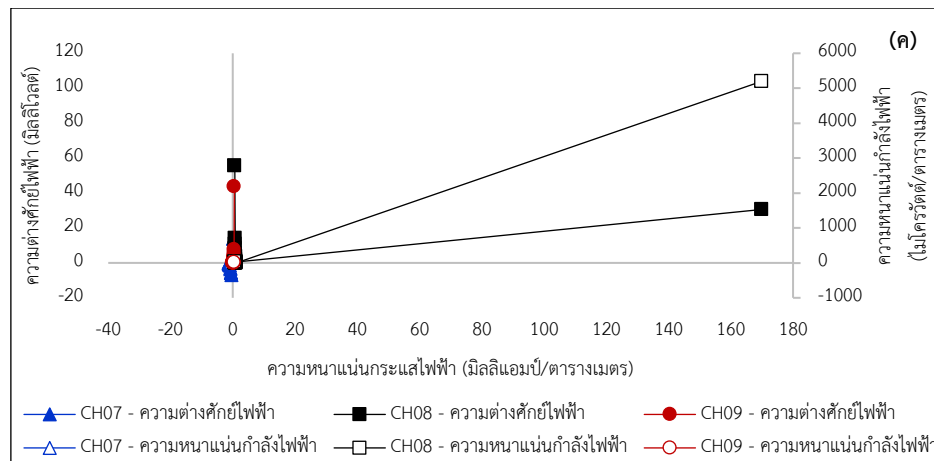
การทดลอง polarization ผู้วิจัยได้ทดลองนำความต้านทานภายนอก (resistor external: R_{ext}) ที่มีจำนวนต่าง ๆ กันมาต่อเข้ากับขั้วแอโนดและแคโทดทั้ง 9 กรณี แล้ววัดค่าความต่างศักย์ ความต้านทานนั้น ๆ ใช้เวลาเก็บข้อมูล 5 นาที ต่อความต้านทาน 1 ค่า เพื่อนำผลที่ได้คำนวณหาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มาพล็อตกราฟ polarization เพื่อเลือกตัวต้านทานที่ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองทั้งหมด 4 ครั้งดังนี้

การทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ผู้วิจัยได้ทดลองนำความต้านทานภายนอก จำนวน 10 ค่า ได้แก่ 0.1, 0.25, 0.68, 1.0, 2.2, 3.3, 5.1, 6.8, 10 และ 47 กิโลโอห์ม มาต่อเข้ากับขั้วแอโนดและแคโทดทั้ง 9 กรณี โดยมีผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 เป็นดังแสดงในภาพประกอบ 46 – 47 พบว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้ ในการทดลอง

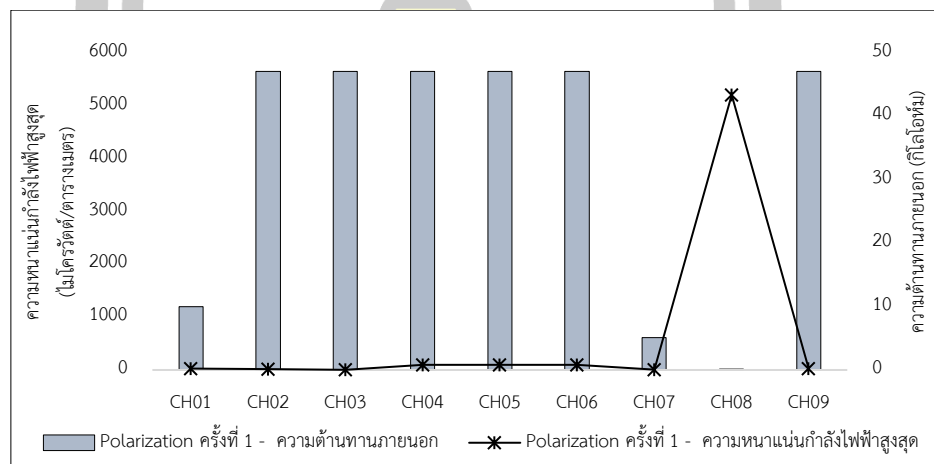
polarization ครั้งที่ 1 คือ 30.9, 19.8, 3.16, 98.0, 100.7, 93.0, 3.40, 5199 และ 22.6 ไมโครวัตต์/ตารางเมตร สำหรับ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 ตามลำดับ ซึ่งขณะนั้นใช้ความต้านทานภายนอกเท่ากับ 10, 47, 47, 47, 47, 47, 5.1, 0.1 และ 47 กิโลโอห์ม ตามลำดับ จากผลข้างต้นเห็นได้ว่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ CH08 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 8 กรณี



พหุ ประถมศึกษา



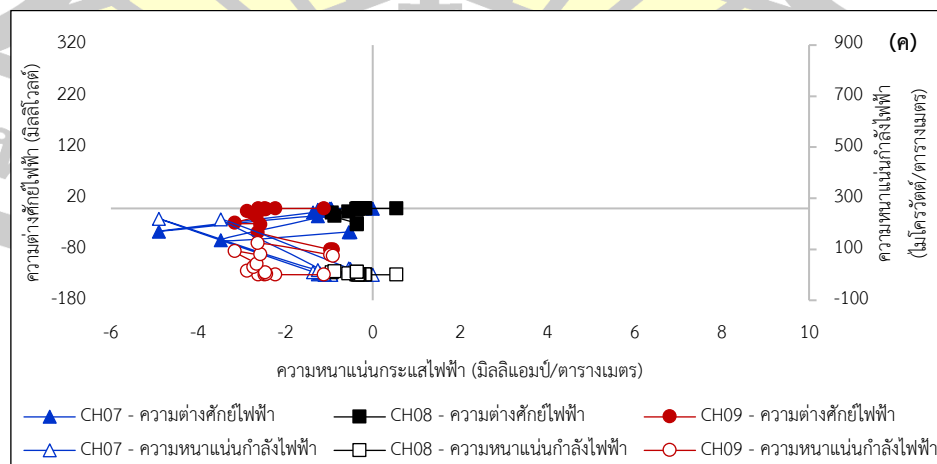
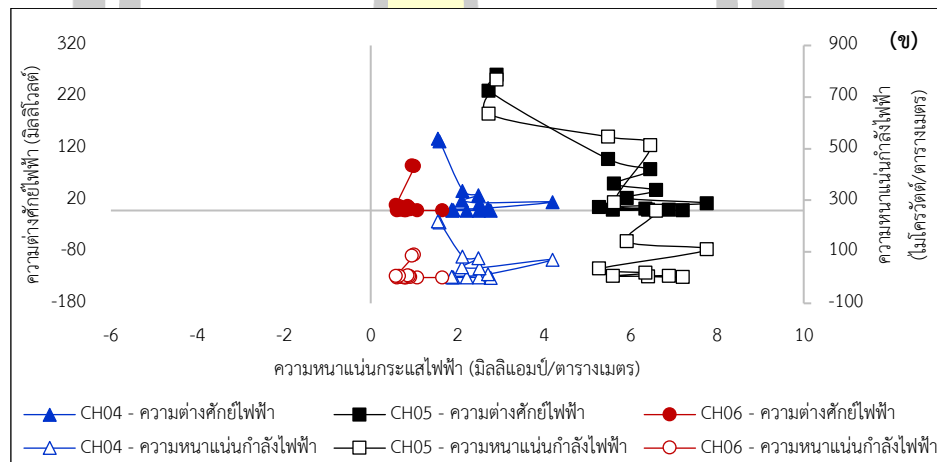
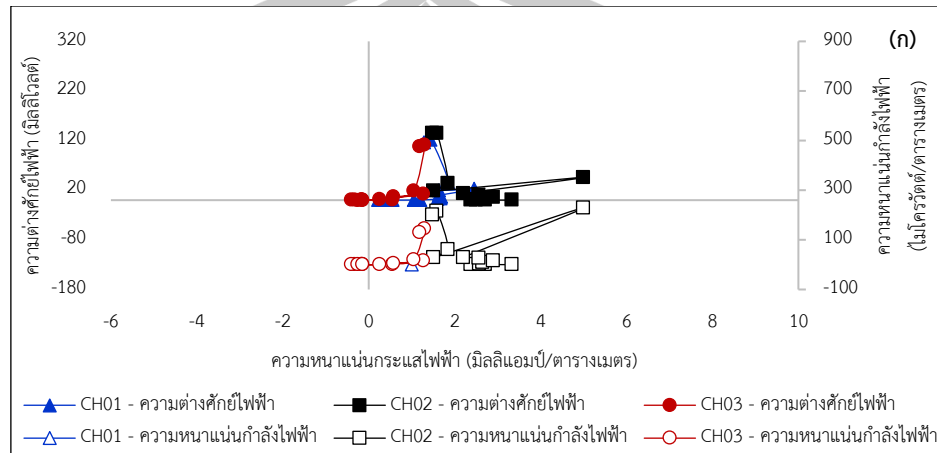
ภาพประกอบ 46 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 1 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณี



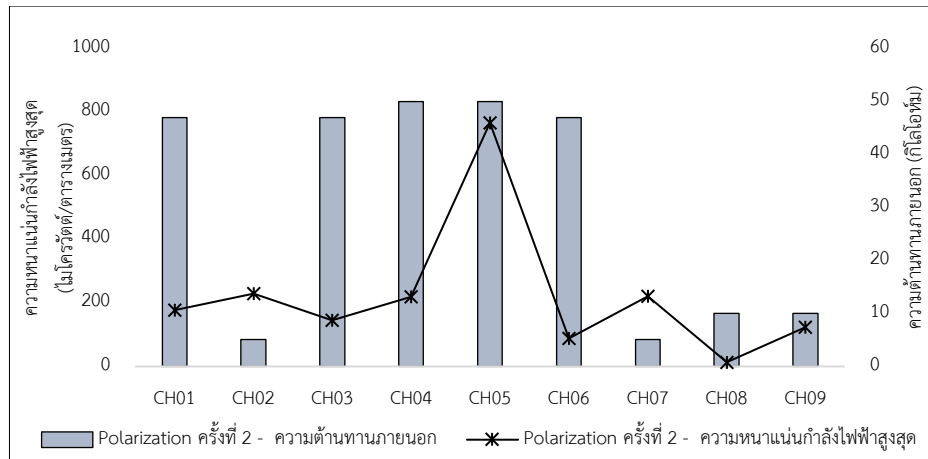
ภาพประกอบ 47 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ที่ให้ P_{max} ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 1

การทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มจำนวนความต้านทานภายนอกเป็นจำนวน 14 ค่า ได้แก่ 0.01, 0.051, 0.07, 0.1, 0.25, 0.68, 1.0, 2.2, 3.3, 5.1, 6.8, 10, 47 และ 50 กิโลโอห์ม มาต่อเข้ากับขั้วแอโนดและแคโทดทั้ง 9 กรณี โดยมีผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 เป็นดังแสดงในภาพประกอบ 48 – 49 พบว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ Reverse A20-MFCs ผลิตได้ ในการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 คือ 176.6, 229.3, 144.7, 218.5, 766.3, 87.4, 219.9, 13.2 และ 123.6 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 ตามลำดับ ซึ่งขณะนั้นใช้ความต้านทานภายนอกเท่ากับ 47, 5.1,

47, 50, 50, 47, 5.1, 10 และ 10 กิโลโอห์ม ตามลำดับ จากผลข้างต้นเห็นได้ว่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ CH05 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 8 กรณี

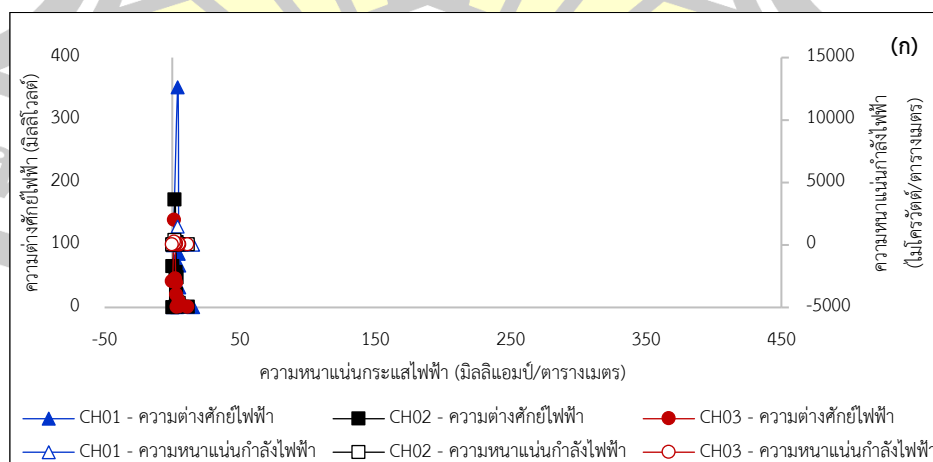


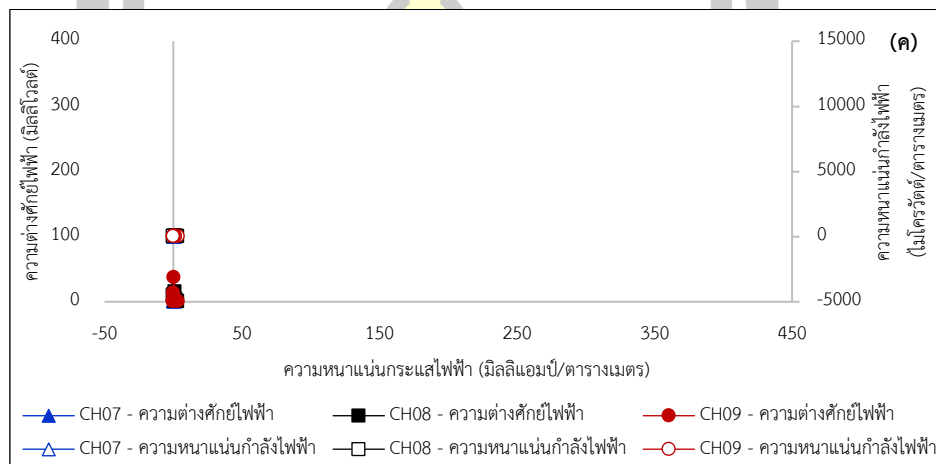
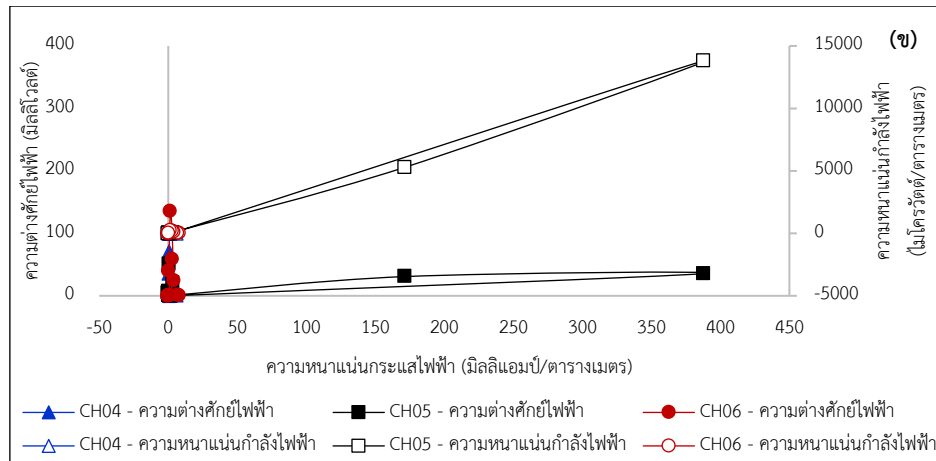
ภาพประกอบ 48 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 2 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณี



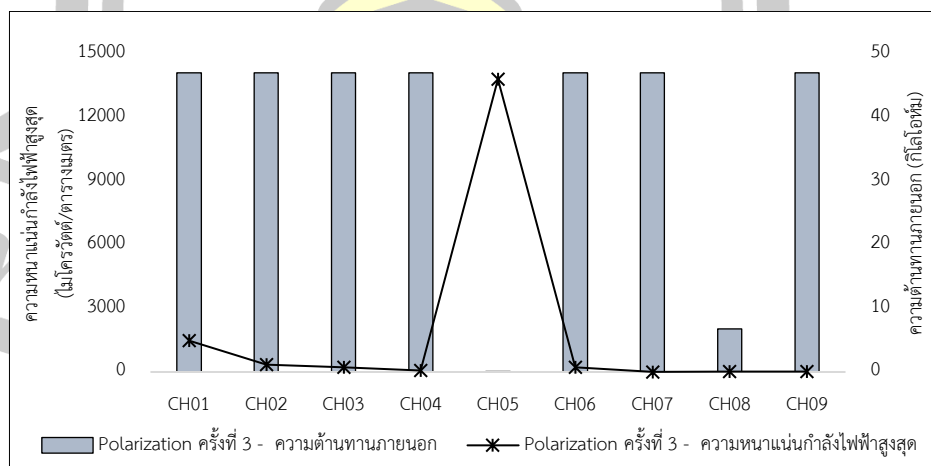
ภาพประกอบ 49 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ที่ให้ P_{max} ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 2

ในการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ผู้วิจัยได้ทดลองลดจำนวนความต้านทานภายนอกเหลือจำนวน 11 ค่า ได้แก่ 0.01, 0.051, 0.1, 0.25, 0.68, 1.0, 3.3, 6.8, 10, 47 และ 69 กิโลโอห์ม มาต่อเข้ากับขั้วแอโนดและแคโทดทั้ง 9 กรณีนี จากภาพประกอบ 50 – 51 ความต้านทานภายนอกที่ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 47, 47, 47, 47, 0.051, 47, 47, 6.8 และ 47 กิโลโอห์ม ตามลำดับ โดยได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1470, 349.6, 230.2, 61.0, 13806, 217.5, 5.5, 17.8 และ 16.2 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ จากผลข้างต้นเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ของ CH05 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 8 กรณี



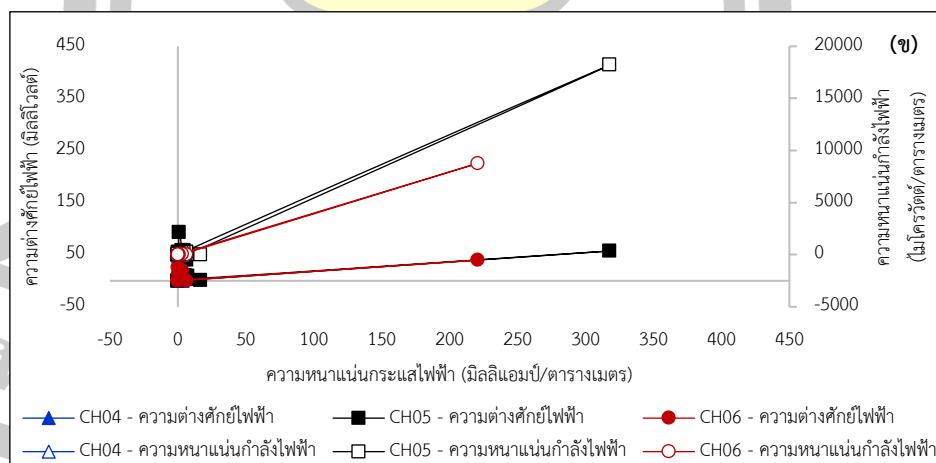
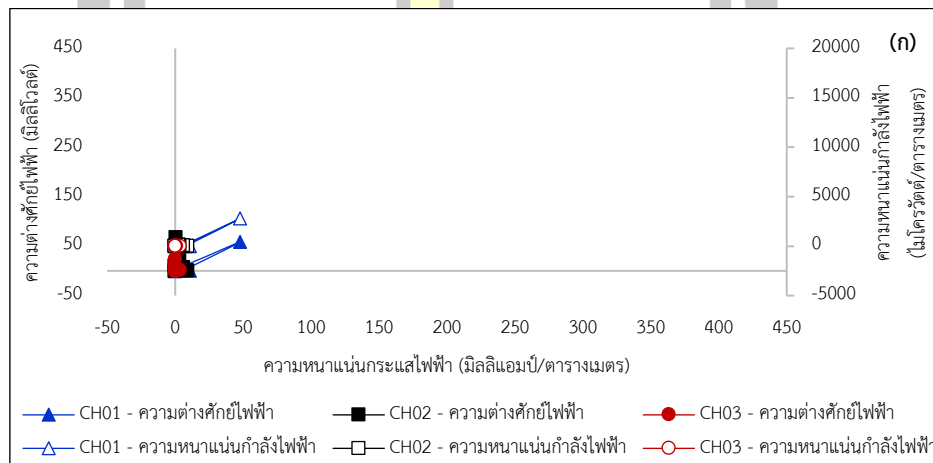


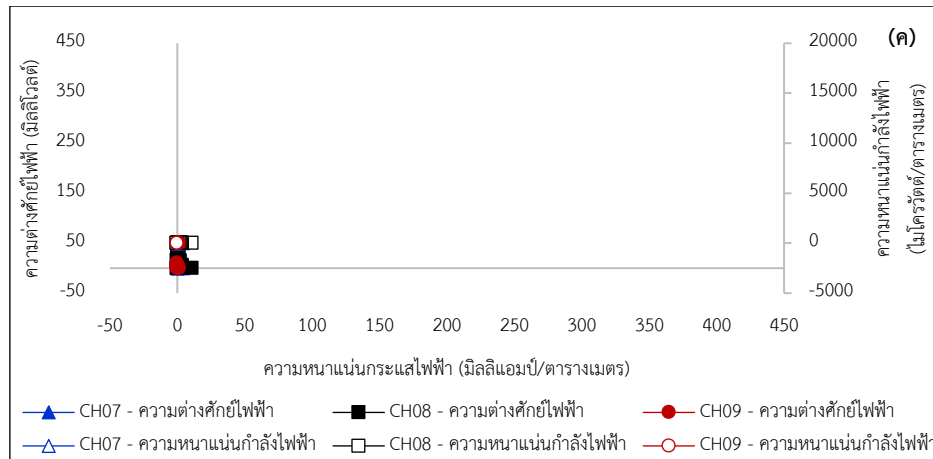
ภาพประกอบ 50 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 3 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณ



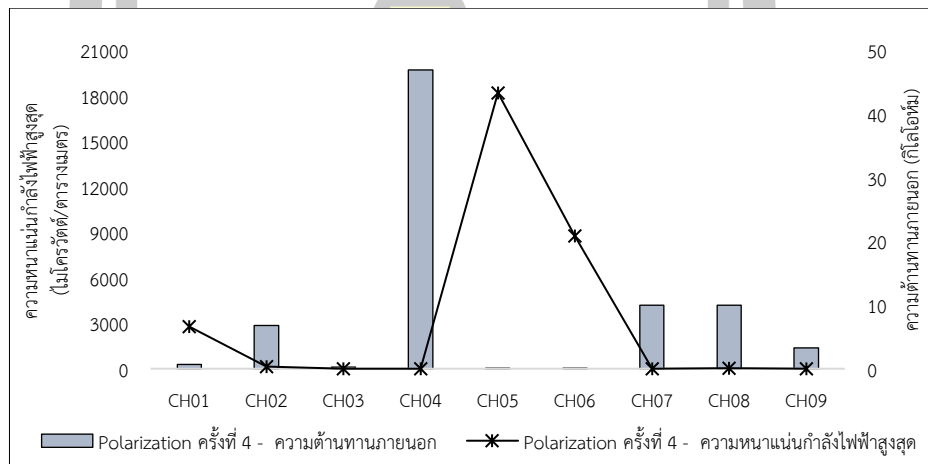
ภาพประกอบ 51 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ที่ให้ P_{max} ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 3

และการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ผู้วิจัยได้ทดลองนำจำนวนความต้านทานภายนอกจำนวน 11 ค่า ซึ่งมีค่าเช่นเดียวกับการทำ Polarization ครั้งที่ 3 มาต่อเข้ากับขั้วแอโนดและแคโทดทั้ง 9 กรณี จากภาพประกอบ 52 – 53 ความต้านทานภายนอกที่ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 0.68, 68, 0.25, 47, 0.1, 0.1, 10, 10 และ 3.3 กิโลโอห์ม ตามลำดับ โดยได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 2791, 127.2, 6.2, 9.1, 18215, 8774, 5.4, 45.5 และ 2.6 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ จากผลข้างต้นเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ของ CH05 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 8 กรณี





ภาพประกอบ 52 เส้นโค้งโพลาริเซชันในการทดลองครั้งที่ 4 ของการวางขั้วทั้ง 9 กรณี



ภาพประกอบ 53 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum: P_{max}) และความต้านทานภายนอก (Resistor external: R_{ext}) ของการทำโพลาริเซชันครั้งที่ 4

จากผลข้างต้นพบว่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ CH08 มีค่าสูงสุดในการทำ polarization ครั้งที่ 1 และ CH05 มีค่าสูงสุดในการทำ polarization ครั้งที่ 2, 3 และ 4 นอกจากนี้พบว่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเรียงจากมากไปหาน้อยคือ 18.2 มิลลิวัตต์/ตารางเมตร สำหรับการทำให้ polarization ครั้งที่ 4, 13.8 มิลลิวัตต์/ตารางเมตร สำหรับการทำให้ polarization ครั้งที่ 3, 5.2 มิลลิวัตต์/ตารางเมตร สำหรับการทำให้ polarization ครั้งที่ 1 และ 0.77 มิลลิวัตต์/ตารางเมตร สำหรับการทำให้ polarization ครั้งที่ 2 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบ Reverse A2O-MFCs มีแนวโน้มผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เพิ่มขึ้นเมื่อการเดินระบบมีระยะเวลาเพิ่มขึ้น

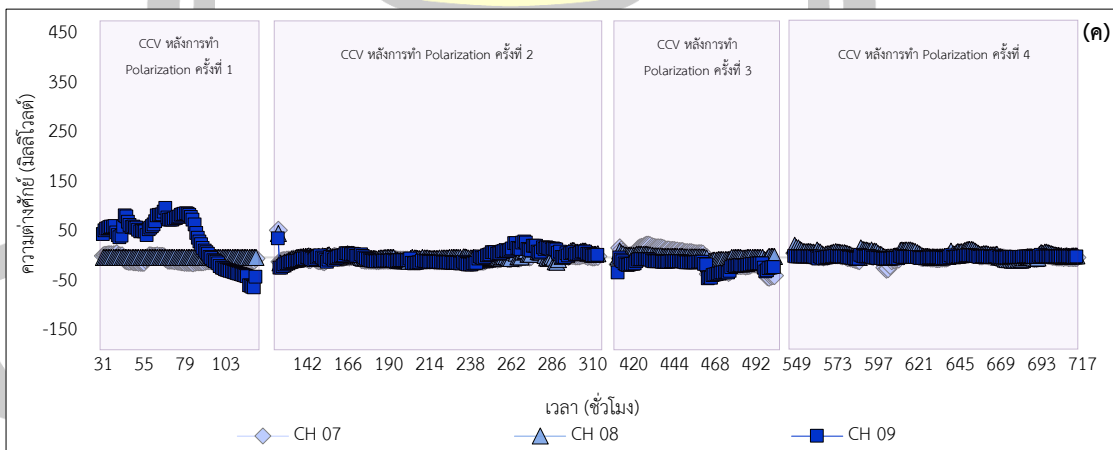
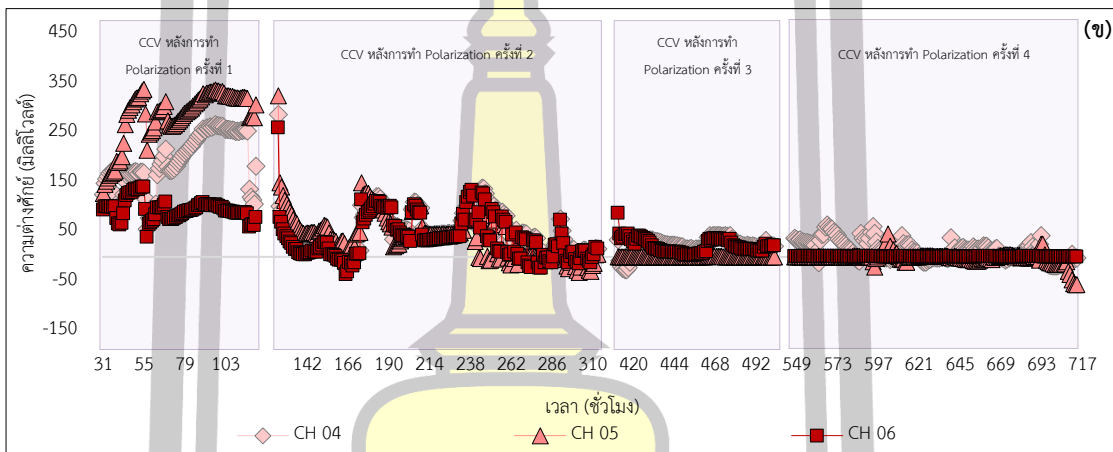
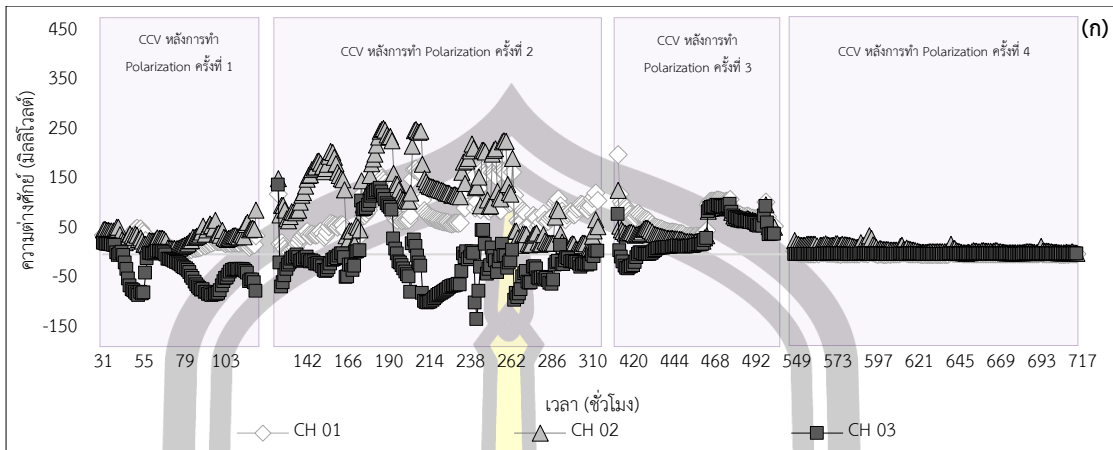
แต่ผลนี้เป็นเพียงการทดลองในระยะเวลาสั้นๆ 5 นาทีต่อ 1 ตัวต้านทาน กรณีเดินระบบจริงเป็นระยะเวลา นานอาจมีปัจจัยอื่นเข้าแทรก ทำให้ผลที่ได้อาจไม่ตรงกับผลจากการทดลอง polarization นี้

3. ค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV: Close Circuit Voltage ในช่วงเดินระบบ

เมื่อทำการทดลอง polarization เสร็จในแต่ละครั้ง ผู้วิจัยได้นำความต้านทานภายนอกที่ให้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการทดลอง polarization มาต่อเข้ากับขั้วแอโนดและขั้วแคโทด แล้วเก็บ ข้อมูลค่าความต่างศักย์ ซึ่งความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะเป็ค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV ผลการทดลองที่ได้เป็นดังแสดงภาพประกอบ 54

หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 คือ 23 ± 11 , 36 ± 15 , -34 ± 33 , 194 ± 57 , 285 ± 53 , 95 ± 20 , -3.5 ± 4.8 , 0.07 ± 0.11 และ 35 ± 47 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 คือ 83 ± 43 , 118 ± 72 , -15 ± 53 , 45 ± 42 , 43 ± 47 , 38 ± 44 , -1.7 ± 6.1 , 2.0 ± 6.7 และ 0.5 ± 11 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 คือ 72 ± 28 , 56 ± 25 , 37 ± 38 , 22 ± 15 , 0.008 ± 0.034 , 22 ± 14 , -2.8 ± 6.1 , 1.4 ± 3.8 และ -15 ± 10 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และหลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 คือ 1.1 ± 1.0 , 9.9 ± 6.9 , 0.5 ± 0.3 , 13 ± 19 , -2.5 ± 12 , 0.08 ± 0.1 , 2.0 ± 5.3 , 6.9 ± 6.2 และ 0.36 ± 1.6 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

จากผลข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV หลังการทำ polarization ครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่ามากที่สุดใกรณี CH05, CH02, CH01 และ CH02 ตามลำดับ โดยมีค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 285 ± 53 , 118 ± 72 , 72 ± 28 , และ 9.9 ± 6.9 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 54 ความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV ตลอดช่วงเดินระบบ

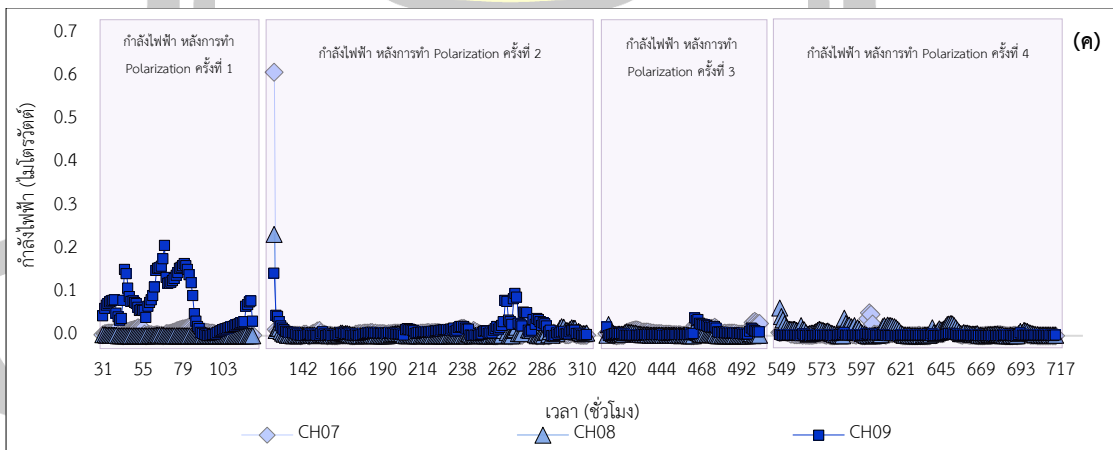
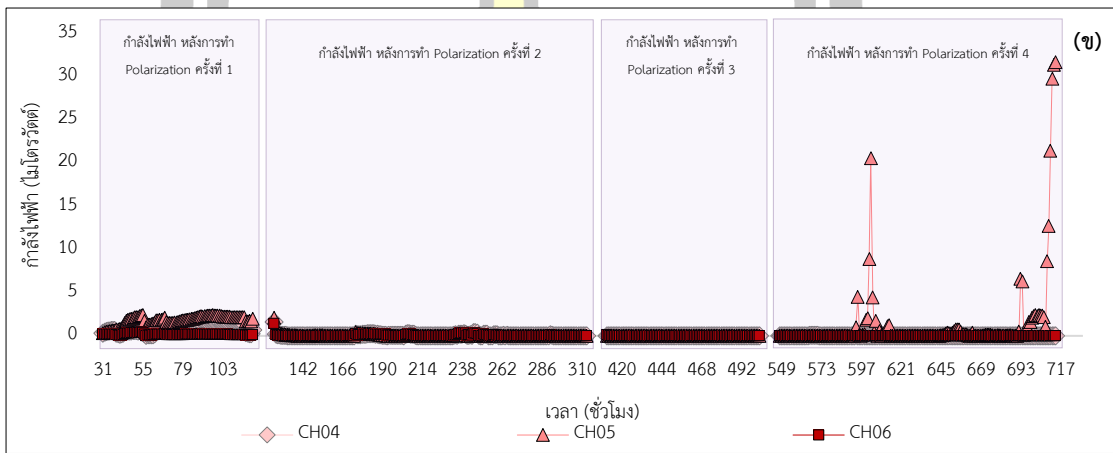
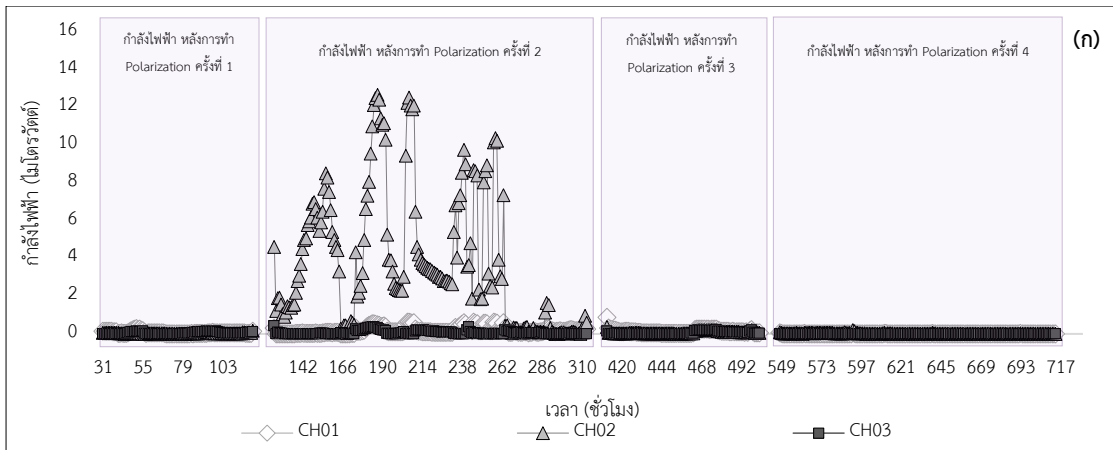
4. กำลังไฟฟ้า (power)

เมื่อทำการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV เสร็จในแต่ละครั้ง ผู้วิจัยได้นำค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ CCV และค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากค่าความต้านทานที่ใช้ก็นำมาคำนวณดังสมการที่ 3.2 ผลที่ออกมานั้นเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ผลการทดลองที่ได้เป็นดังแสดงภาพประกอบ 55

หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 1 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 0.07 ± 0.06 , 0.03 ± 0.03 , 0.05 ± 0.05 , 0.87 ± 0.45 , 1.79 ± 0.56 , 0.20 ± 0.08 , 0.01 ± 0.01 , 0.0002 ± 0.0004 และ 0.07 ± 0.05 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 2 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 0.19 ± 0.17 , 3.76 ± 3.59 , 0.06 ± 0.09 , 0.08 ± 0.18 , 0.07 ± 0.14 , 0.01 ± 0.04 , 0.01 ± 0.04 , 0.01 ± 0.02 และ 0.01 ± 0.02 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 3 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 0.13 ± 0.11 , 0.08 ± 0.07 , 0.06 ± 0.07 , 0.02 ± 0.01 , 0.00002 ± 0.00004 , 0.01 ± 0.02 , 0.01 ± 0.01 , 0.002 ± 0.004 และ 0.01 ± 0.01 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 4 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 0.003 ± 0.007 , 0.02 ± 0.03 , 0.001 ± 0.001 , 0.01 ± 0.02 , 1.39 ± 4.88 , 0.0001 ± 0.0003 , 0.003 ± 0.007 , 0.009 ± 0.01 และ 0.0008 ± 0.001 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ

จากผลข้างต้นเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.79 ± 0.56 ไมโครวัตต์ (CH05), 3.76 ± 3.59 ไมโครวัตต์ (CH02), 0.13 ± 0.11 ไมโครวัตต์ (CH01) และ 1.39 ± 4.88 ไมโครวัตต์ (CH05) ตามลำดับ

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

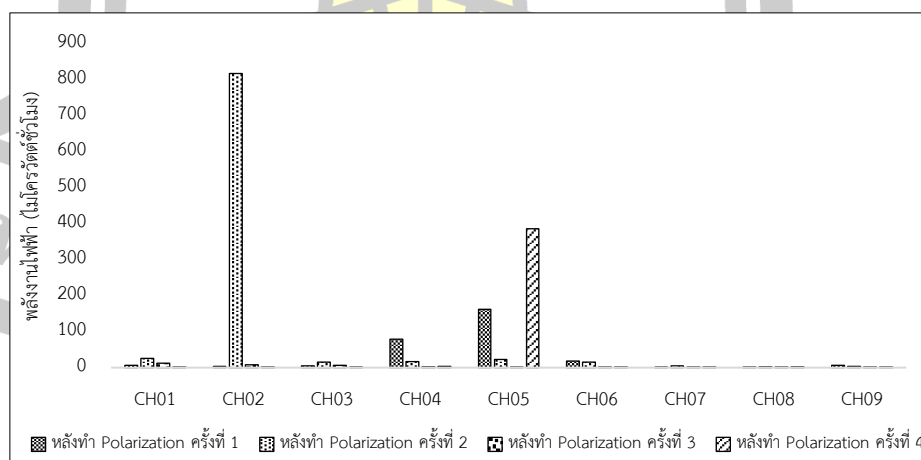


ภาพประกอบ 55 กำลังไฟฟ้าหลังจากการทำโพลาริเซชันทั้ง 4 ครั้ง

5. พลังงานไฟฟ้า (electrical energy)

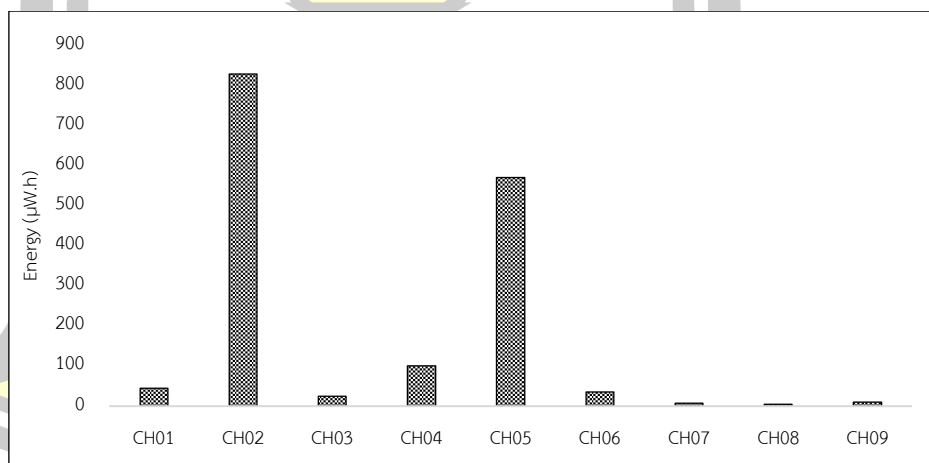
หลังจากคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้นั้น ผู้วิจัยอยากทราบถึงพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ระบบ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้ ผู้วิจัยจึงนำค่ากำลังไฟฟ้ามาคำนวณดังสมการที่ 3.3 ผลที่ออกมาเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดการทดลอง ผลการทดลองที่ได้เป็นดังแสดงภาพประกอบ 56 - 57

หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 6.2, 3.1, 4.4, 79, 162, 18, 0.7, 0.02 และ 6.5 ไมโครวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 1 คือกรณีที่ CH05 หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 26, 817, 15, 17, 23, 16, 5.3, 2.2 และ 2.9 ไมโครวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 2 คือกรณีที่ CH02 หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 12, 7.6, 5.8, 1.5, 0.003, 1.4, 0.8, 0.3 และ 0.7 ไมโครวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 3 คือกรณีที่ CH01 และหลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของ CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เท่ากับ 1.0, 0.6, 0.3, 3.1, 385, 0.05, 0.9, 2.3 และ 0.3 ไมโครวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้หลังจากการทำ polarization ครั้งที่ 4 คือกรณีที่ CH05 ดังแสดงภาพประกอบ 56



ภาพประกอบ 56 พลังงานไฟฟ้าหลังจากการทำ polarization ทั้ง 4 ครั้ง

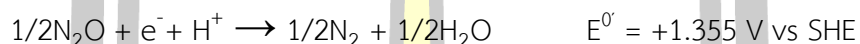
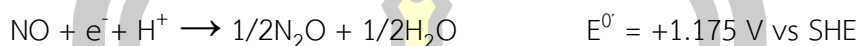
เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าหลังจากการทำ polarization ทั้ง 4 ครั้งมารวมกันพบว่า CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 มีพลังงานผลิตได้ตลอดการเดินระบบเท่ากับ 45.3, 828, 25.3, 100, 570, 35.5, 7.63, 4.77 และ 10.4 ไมโครวัตต์ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงภาพประกอบ 57 พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ตลอดการเดินระบบคือกรณีที่ CH02 รองลงมาคือ CH05 ทั้งนี้การที่วางขั้วแคโทดไว้ในถัง anoxic (CH02) แล้ว MFC ผลิตกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าการวางขั้วแคโทดไว้ในถัง oxic (CH05) นั้นอาจดูแตกต่างกับทฤษฎีหากคิดว่าครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ถัง oxic คือ $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ ที่มีค่า E^0 เท่ากับ 1.23 โวลต์ (Ucar et al., 2017) โดยค่า E^0 นี้คิดภายใต้เงื่อนไข pH = 0 (Bajracharya et al., 2016) และครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ถัง anoxic คือ $2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 + 6H_2O$ ที่มีค่า E^0 เท่ากับ 0.74 โวลต์ (Lefebvre et al., 2008; Ucar et al., 2017) โดยค่า E^0 นี้คิดภายใต้เงื่อนไข pH = 7 (Bajracharya et al., 2016) เพราะหากเป็นเช่นนั้นแล้ว ความต่างศักย์ของกรณีวางขั้วไว้ที่ CH02 ย่อมมีค่าน้อยกว่าความต่างศักย์ของกรณีวางขั้วไว้ที่ CH05 ดังนั้น CH02 จึงไม่ควรผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่า CH05



ภาพประกอบ 57 พลังงานไฟฟ้าหลังตลอดช่วงเดินระบบ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาลงในรายละเอียด พบว่าในงานวิจัยนี้ ของเหลวในถัง oxic มีค่า pH เท่ากับ 7.61 ± 0.15 ซึ่งเป็นกลางจนถึงด่างอ่อน ๆ ดังนั้นครึ่งปฏิกิริยา $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ ที่เกิดขึ้นที่ถัง oxic ณ สภาวะ pH ประมาณ 7 นั้น จึงเป็นไปได้สูงที่จะมีค่า E^0 เพียง 0.82 โวลต์ (Bajracharya et al., 2016) ในขณะที่ค่า E^0 ของครึ่งปฏิกิริยา $2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 +$

$6\text{H}_2\text{O}$ ที่เกิดที่ถึง anoxic ยังคงมีโอกาสเท่ากับ 0.74 โวลต์ตามที่ คาดเนื่องจากของเหลว ในห้อง anoxic มีค่า pH เท่ากับ 6.90 ± 0.11 ซึ่งเป็นกลางจนถึงกรดอ่อน ๆ นอกจากนี้ หากพิจารณา รายละเอียดของปฏิกิริยาย่อยของ denitrification ซึ่งมีหลายปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



กรณีที่ปฏิกิริยาเกิดไม่สิ้นสุด เช่น อยู่ในขั้นตอน $\text{NO} + \text{e}^- + \text{H}^+ \rightarrow 1/2\text{N}_2\text{O} + 1/2\text{H}_2\text{O}$ หรือ $1/2\text{N}_2\text{O} + \text{e}^- + \text{H}^+ \rightarrow 1/2\text{N}_2 + 1/2\text{H}_2\text{O}$ ก็เป็นไปได้ว่าค่า E^0 ของครึ่งปฏิกิริยาในห้อง anoxic จะสูงกว่าห้อง oxic ทำให้ CH_2O มีโอกาสที่จะมีกำลังไฟฟ้ามากกว่า CH_5O ได้ นอกจากนี้ (Zhuang et al., 2010) พบว่าเมื่อห้องแอนโอดมีสภาวะเป็นด่าง (pH 10) ห้องแคโทดมีสภาวะเป็นกรด (pH 2) MFC จะให้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 29.9 วัตต์/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเป็น 3.8 เท่าของกรณีที่ทั้งสองห้องมีสภาวะเป็นกลาง โดยอธิบายจากเหตุผล 3 ประการ 1) อธิบายจากผลการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (potential) ในแต่ละกรณีว่า เมื่อห้องแอนโอดมีสภาวะเป็นด่าง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ห้องแอนโอดก็จะติดลบมากขึ้น และเมื่อห้องแคโทดมีสภาวะเป็นกรด ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ห้องแคโทดก็จะเป็นบวกมากขึ้น ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าของ MFC สูงขึ้นไปด้วยจึงผลิตไฟฟ้าได้สูง 2) ค่า concentration loss และ ohmic loss ของ MFC ลดลงเมื่อห้องแคโทดมีสภาวะเป็นกรด เพราะการที่ห้องแคโทดมีสภาวะเป็นกรดแสดงว่าห้องแคโทดมีความเข้มข้นโปรตอนมาก ดังนั้น concentration loss อันเกิดจากการที่บริเวณใกล้ขั้วแคโทดมีโปรตอนไม่พอจึงมีโอกาสดลดลง และค่า ohmic loss อันเกิดจากโปรตอนเคลื่อนจากขั้วแอนโอดไปขั้วแคโทดช้า ทำให้ที่ขั้วแคโทดมีจำนวนโปรตอนไม่พอที่จะทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนที่ไหลมาตามสายไฟ ก็ย่อมลดลงเมื่อในห้องแคโทดมีความเข้มข้นโปรตอนมาก 3) การที่ห้องแอนโอดมีสภาวะเป็นด่างสูง ทำให้จุลินทรีย์ในห้องแอนโอดชนิด methanogenic เติบโตได้ไม่ดี ดังนั้นอิเล็กตรอนในห้องแอนโอดจึงสามารถไหลเข้าขั้วแอนโอดขึ้นสายไฟไปยังขั้วแคโทดได้มาก เพราะไม่ต้องสูญเสียไปกับการผลิตก๊าซมีเทน ทำให้มีค่า coulombic efficiency สูง (Zhuang et al., 2010) บางส่วนของเหตุผลเหล่านี้สามารถนำมาอธิบายสาเหตุที่ CH_2O มีกำลังไฟฟ้ามากกว่า CH_5O ได้เช่นกัน แต่ทั้งนี้ผู้วิจัยไม่สามารถระบุชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงได้จากงานวิจัยนี้ เนื่องจากเกินขอบเขตของวัตถุประสงค์การวิจัย จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยต่อไปจึงจะสามารถสรุปได้ ทั้งนี้สาเหตุที่ค่า

pH ของถัง anoxic มีค่าต่ำกว่าถัง oxic นั้นอาจเป็นผลมาจากน้ำขาเข้าระบบมีค่า pH ต่ำกว่า (6.85 ± 0.15) ถัง anoxic (6.90 ± 0.11) ทำให้ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้นได้สูง ส่งผลทำให้การวางขั้วในแบบของ CH02 ผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าการวางขั้วในแบบของ CH05

6. ความสามารถการผลิตไฟฟ้าของระบบ Reverse A2O–MFCs เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ

ตาราง 13 เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าทางไฟฟ้า กับงานวิจัยอื่น ๆ

ระบบ	ความต่างศักย์ OCV (มิลลิโวลต์)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์/ตารางเมตร)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์/ลูกบาศก์เมตร)	ที่มา
Reverse A2O–MFCs	$35 \pm 13^*/718 \pm 4^{**}$	$2.11 \pm 2.02^*/0.99 \pm 0.31^{**}$	$0.76 \pm 0.73^*/0.36 \pm 0.11^{**}$	งานวิจัยนี้
A2O + MFC	168.8 ± 8.2	-	14.3 ± 1.4	Xie., 2013
AD(UASB) + MFC	-	40 (สูงสุด)	-	Kim., 2015
MFC+A2O-A	418 ± 89	-	-	Li., 2015
MFC+A2O-B	114 ± 40	-	-	
MFC-AO (HRT=5hr)	-	29.12	-	Chang., 2018
MFC-AO (HRT=8hr)	-	162.74	-	

หมายเหตุ * คือประสิทธิภาพที่ CH02 ผลิตได้ และ ** คือประสิทธิภาพที่ CH05 ผลิตได้

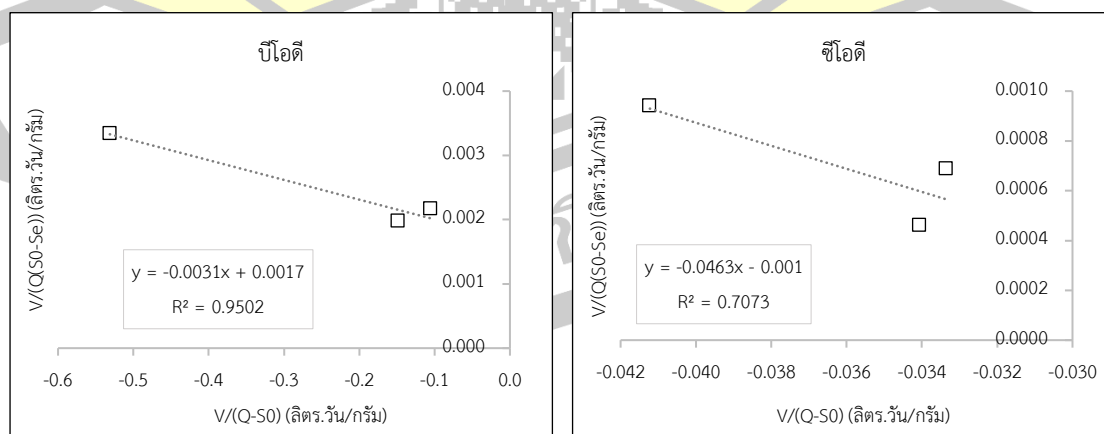
จากตาราง 13 แสดงเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าทางไฟฟ้า กับงานวิจัยอื่น ๆ เห็นได้ว่าระบบ Reverse A2O–MFCs ในงานวิจัยนี้ผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าทุกงาน อธิบายได้ว่าเป็นเพราะความต้านทานภายใน Reverse A2O–MFCs ในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยอื่น ๆ (สังเกตได้จากผลการทดลอง polarization ที่ได้ความต้านทานภายนอกที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าสูง) สาเหตุที่ MFC ในงานวิจัยนี้มีความต้านทานภายในสูง ได้แก่ การใช้ขั้วที่ไม่ได้ตัดแปลงกล่าวคือการนำลวดทองแดงธรรมดามาต่อเข้ากับแผ่นกราฟไฟที่ไม่ได้มีเหล็กหรือเคลือบสารเคมีใด ๆ หรืออาจเป็นเพราะผู้วิจัยใช้น้ำเสียจริงเข้าป้อนระบบ ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีอยู่ในช่วง 709 – 1129 มิลลิกรัม/ลิตร

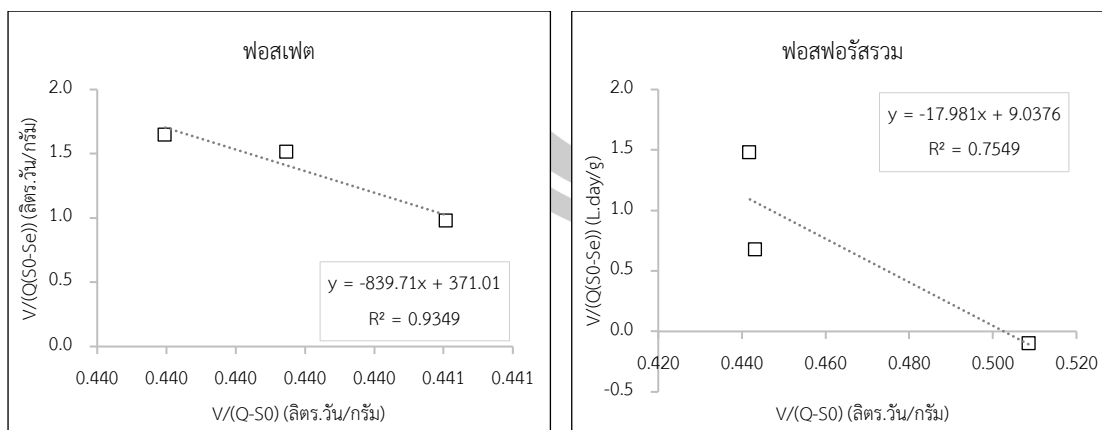
ซึ่งอาจไม่สูงมากพอจะสร้างสภาวะ anoxic และ anaerobic ในระบบตามที่ตั้งใจไว้ อาจทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและค่า E^0 ของการทำปฏิกิริยาในห้องแอกไซด์และห้องแคโทดไม่ต่างกันมากนัก ส่งผลให้ความต่างศักย์ไม่สูงมาก จึงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ต่ำ

4.3 วิเคราะห์การออกแบบระบบ Reverse A2O-MFCs

4.3.1 สัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์ของระบบ Reverse A2O-MFCs

เมื่อนำพารามิเตอร์แสดงคุณภาพน้ำทั้ง 7 พารามิเตอร์ (บีโอดี ซีโอดี ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม) จำนวน 3 ข้อมูล (วันที่ 3, 6 และ 10) มาคำนวณและสร้างกราฟ แบบจำลองจลพลศาสตร์ที่แสดงถึงความสามารถปฏิกิริยาการบำบัดน้ำของระบบ Reverse A2O-MFCs แล้วพบว่าปฏิกิริยาการกำจัด บีโอดี ซีโอดี ฟอสเฟต และ ฟอสฟอรัสรวม สามารถแสดงอยู่ในรูปแบบจำลองจลพลศาสตร์ Modified Stover-Kincannon ได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 58 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.7073 – 0.9502 ดังแสดงในตาราง 14 กล่าวได้ว่าอัตราการระบรทุกสารมลพิษกับความเร็วในการกำจัดสารเหล่านั้นมีแนวโน้มที่จะความสัมพันธ์กันตามแบบจำลอง Modified Stover-Kincannon หากต้องการกำจัดฟอสฟอรัสรวมจาก 12 มิลลิกรัม/ลิตร (ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมขาเข้าในระบบสูงสุด) ให้เหลือ 2 มิลลิกรัม/ลิตร (ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมขาออกมาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน) โดยให้อัตราการไหลเท่ากับ 80 ลิตร/วัน (อัตราการไหลที่ทดลองกับระบบนี้) จากสมการในแบบจำลองดังกล่าวคำนวณได้ว่าควรให้ระยะเวลาพักเก็บในระบบ Reverse A2O-MFCs เพิ่มเป็น 135.7 ชั่วโมง (จากเดิม 10.5 ชั่วโมง) ถึงจะกำจัดฟอสฟอรัสรวมจาก 12 มิลลิกรัม/ลิตร ให้เหลือ 2 มิลลิกรัม/ลิตร ได้





ภาพประกอบ 58 แบบจำลองจลพลศาสตร์ Modified Stover-Kincannon
ของระบบ Reverse A2O-MFCs

ตาราง 14 สัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์ของแบบจำลองจลพลศาสตร์ Modified Stover-Kincannon
ของระบบ Reverse A2O-MFCs

รายการ	บีโอดี	ซีโอดี	ฟอสเฟต	ฟอสฟอรัสรวม
K_B/U_{max}	-0.0031	-0.0463	-839.71	-17.981
$1/U_{max}$	0.0017	-0.0010	371.01	9.0376
U_{max}	588.24	-1000.0	0.0027	0.1106
K_B	-1.8235	46.300	-2.2633	-1.9896
R^2	0.9502	0.7073	0.9349	0.7549

หมายเหตุ U_{max} คือ อัตราเร็วสูงสุดในการกำจัดมลพิษ (มิลลิกรัม/ลิตร-ชั่วโมง)

K_B คือ ค่าคงที่ของความอิ่มตัว (มิลลิกรัม/ลิตร-ชั่วโมง)

เป็นค่าสัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองนี้

R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

4.3.2 การวางตำแหน่งและระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดของระบบ Reverse A2O-MFCs

จากผลการทดลองกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าทั้ง 4 ช่วงพบว่า มีผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ หลังทำ polarization ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 CH05 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด หลังทำ polarization ครั้งที่ 2 CH02 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด ส่วนหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 CH01 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด และเมื่อรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดการเดินระบบพบว่ากรณี CH02 มีค่ามากที่สุดรองลงมาเป็นกรณี CH05

จึงกล่าวได้ว่าลักษณะการวางขั้วในรูปแบบที่ 1 ซึ่งวางขั้วแอโนดไว้ในถัง anaerobic วางขั้วแคโทดไว้ในถัง anoxic (CH02 และ CH01) และรูปแบบที่ 2 ซึ่งวางขั้วแอโนดไว้ในถัง anaerobic วางขั้วแคโทดไว้ในถัง oxic (CH05) ทำให้ MFCs ผลิตกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าได้สูงเมื่อเทียบกับการวางขั้วในรูปแบบที่ 3 ซึ่งวางขั้วแอโนดไว้ในถัง anoxic วางขั้วแคโทดไว้ในถัง oxic (CH07- CH 09) ดังนั้นในการใช้ระบบ Reverse A2O-MFCs เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ควรวางขั้วแอโนดไว้ในถัง anaerobic จึงเป็นผลดีต่อ MFC ทำให้ MFC ผลิตกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าได้สูง ทั้งนี้การที่วางขั้วแคโทดไว้ในถัง anoxic (CH02) แล้ว MFC ผลิตกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าการวางขั้วแคโทดไว้ในถัง oxic (CH05) นั้น อาจดูแตกต่างกับทฤษฎีหากคิดว่าครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ถัง oxic คือ $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ ที่มีค่า E^0 เท่ากับ 1.23 โวลต์ (Ucar et al., 2017) โดยค่า E^0 นี้ คิดภายใต้เงื่อนไข pH = 0 (Bajracharya et al., 2016) และครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ถัง anoxic คือ $2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 + 6H_2O$ ที่มีค่า E^0 เท่ากับ 0.74 โวลต์ (Lefebvre et al., 2008; Ucar et al., 2017) โดยค่า E^0 นี้ คิดภายใต้เงื่อนไข pH = 7 (Bajracharya et al., 2016) เพราะหากเป็นเช่นนั้นแล้ว ความต่างศักย์ของกรณีวางขั้วไว้ที่ CH02 ย่อมมีค่าน้อยกว่าความต่างศักย์ของกรณีวางขั้วไว้ที่ CH05 ดังนั้น CH02 จึงไม่ควรผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่า CH05 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาลงในรายละเอียด พบว่ามีความเป็นไปได้หลายประการ เช่น 1) กรณีที่ปฏิกิริยา denitrification เกิดไม่สิ้นสุด เช่น อยู่ในขั้นตอน $NO + e^- + H^+ \rightarrow 1/2N_2O + 1/2H_2O$ หรือ $1/2 N_2O + e^- + H^+ \rightarrow 1/2N_2 + 1/2H_2O$ ก็เป็นไปได้ว่าค่า E^0 ของครึ่งปฏิกิริยาในห้อง anoxic จะสูงกว่าห้อง oxic ทำให้ CH02 มีโอกาสที่จะมีกำลังไฟฟ้ามากกว่า CH05 ได้ นอกจากนี้เมื่อห้องแอโนดมีสถานะเป็นต่าง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ห้องแอโนดก็จะติดลบมากขึ้น และเมื่อห้องแคโทดมีสถานะเป็นกรด ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ห้องแคโทดก็จะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าของ MFC สูงขึ้นไปด้วย จึงผลิตไฟฟ้าได้สูง อีกทั้งค่า concentration loss และ ohmic loss ของ MFC

มีโอกาสลดลง เมื่อห้องแคโทดมีสภาวะเป็นกรด เพราะการที่ห้องแคโทดมีสภาวะเป็นกรดแสดงว่าห้องแคโทดมีความเข้มข้นโปรตอนมาก ดังนั้น concentration loss อันเกิดจากการที่บริเวณใกล้ขั้วแคโทดมีโปรตอนไม่พอจึงมีโอกาสลดลง และค่า ohmic loss อันเกิดจากโปรตอนเคลื่อนจากขั้วแอโนดไปขั้วแคโทดช้า ทำให้ที่ขั้วแคโทดมีจำนวนโปรตอนไม่พอที่จะทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนที่ไหลมาตามสายไฟ ก็ย่อมลดลงเมื่อในห้องแคโทดมีความเข้มข้นโปรตอนมาก (Zhuang et al., 2010) แต่ทั้งนี้ผู้วิจัยไม่สามารถระบุชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงได้จากงานวิจัยนี้ เนื่องจากเกินขอบเขตของวัตถุประสงค์การวิจัย จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยต่อไปจึงจะสามารถสรุปได้

ในส่วนของการเลือกระยะห่างระหว่างขั้วนั้น เนื่องจาก CH02 และ CH05 เว้นระยะห่างของขั้ว 35 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างจาก CH01, CH04, CH03, CH06, CH07, CH08 และ CH09 เว้นระยะห่างของ 25, 25, 45, 45, 70, 80 และ 90 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 22 จึงกล่าวได้ว่าระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ MFC ในการทดลองนี้คือ 35 เซนติเมตร ที่เป็นเช่นนี้สันนิษฐานว่าที่ระยะห่างระหว่างขั้วสั้นกว่า 35 เซนติเมตร อาจทำให้เกิดการเคลื่อนที่มายังขั้วแคโทดมากเกินไป ส่งผลให้ MFCs เกิดการไหลลัดวงจรของประจุไฟฟ้า ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อระยะห่างระหว่างขั้วยาวกว่า 35 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ของโปรตอนมายังขั้วแคโทดอาจเกิดขึ้นได้น้อยลงทำให้การส่งมอบโปรตอนล่าช้า ซึ่งในที่สุดความต้านทานภายในจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความพร้อมใช้งานของโปรตอนที่ช้าลงหรือเนื่องจากระยะห่างที่ยาวทำให้ต้องใช้สายลวดทองแดงยาวตามไปด้วย ส่งผลให้ความต้านทานของเส้นลวดเพิ่มตามไปด้วย ซึ่งส่งผลต่อการไหลของอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนจากขั้วแอโนดไหลไปยังขั้วแคโทดได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณของไฟฟ้าที่ MFC ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย (Sangeetha and Muthukumar, 2012) คาดว่าเมื่อวางขั้วไฟฟ้าให้มีระยะห่างพอดี 35 เซนติเมตร จะทำให้อิเล็กตรอนและโปรตอนไหลมายังขั้วไฟฟ้าในปริมาณที่พอเหมาะ ทำให้ MFCs ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ไห่เหลียง ซ่ง และคณะ. (2017) ที่ใช้ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 เซนติเมตร แล้วพบว่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.09 ± 0.01 , 0.15 ± 0.02 , 0.13 ± 0.02 และ 0.08 ± 0.01 วัตต์/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากข้อมูลผลการทดลองของ ไห่เหลียง ซ่ง และคณะ (2017) แสดงให้เห็นว่าเมื่อวางขั้วไฟฟ้าให้มีระยะห่างพอดี (20 และ 30 เซนติเมตร) MFC จะผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น (Song et al., 2017)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมรรถนะในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และการผลิตกระแสไฟฟ้าของระบบบำบัดน้ำเสีย Reverse A2O–MFCs โดยน้ำเสียที่ถูกป้อนเข้าระบบเป็นน้ำเสียจากการเลี้ยงเป็ดบริเวณบ้านอาจารย์จรศักดิ์ แซ่เต็ง บ้านโนนแสบง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ในการบำบัดใช้อัตราการไหล 80 ลิตร/วัน พร้อมกับใช้กากตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงพยาบาลมหาสารคามเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการเดินระบบ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อออกแบบและศึกษาสมรรถนะในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พร้อมทั้งการผลิตไฟฟ้าของระบบ Reverse A2O–MFCs รวมถึงเปรียบเทียบการวางขั้วในรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง 9 กรณี โดยแต่ละกรณีสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ กลุ่มที่ 1 วางขั้วแคโทดที่ถึง anoxic และขั้วแอโนดที่ถึง anaerobic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH01), 35 เซนติเมตร (CH02) และ 45 เซนติเมตร (CH03) กลุ่มที่ 2 วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 25 เซนติเมตร (CH04), 35 เซนติเมตร (CH05) และ 45 เซนติเมตร (CH06) และกลุ่มที่ 3 วางขั้วแคโทดที่ถึง oxic และขั้วแอโนดที่ถึง anoxic โดยวางระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดคือ 50 เซนติเมตร (CH07), 70 เซนติเมตร (CH08) และ 90 เซนติเมตร (CH09) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สมรรถนะการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของ Reverse A2O–MFCs

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า Reverse A2O–MFCs มีประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ บีโอดีกำจัดได้ 49–90 เปอร์เซ็นต์ ซีโอดีกำจัดได้ 50–85 เปอร์เซ็นต์ ฟอสเฟตกำจัดได้ 60–79 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสรวมกำจัดได้ -39–91 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียรวมกำจัดได้ -314–82 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรท์กำจัดได้ -159–97 เปอร์เซ็นต์ ไนเตรตกำจัดได้ -95–52 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนรวมกำจัดได้ -19–78 เปอร์เซ็นต์

5.2 สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ Reverse A2O-MFCs

ระบบ Reverse A2O-MFCs ของรูปแบบการวางขั้ว CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 ให้ความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV สูงสุดก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 1 เท่ากับ 81, 75, 20, 710, 721, 713, 609, 688 และ 653 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ OCV สูงสุดก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 3 เท่ากับ 721, 684, 571, 705, 626, 714, 330, 369 และ 449 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และ OCV สูงสุดก่อนการทำ polarization ครั้งที่ 4 เท่ากับ 780, 807, 724, 707, 365, 724, -10, 33 และ -21 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

เมื่อระบบ Reverse A2O-MFCs เข้าสู่ช่วง CCV ผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 4 ช่วง ช่วงแรก (หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 1) ระบบ Reverse A2O-MFCs สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 0.27, 0.17, 0.15, 1.52, 2.43, 0.42, 0.02, 0.002 และ 0.21 ไมโครวัตต์ สำหรับรูปแบบการวางขั้ว CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08, CH09 ตามลำดับ ช่วงที่ 2 (หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 2) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้คือ 0.63, 12.6, 0.42, 1.65, 2.11, 1.44, 0.61, 0.23 และ 0.14 ไมโครวัตต์ สำหรับรูปแบบการวางขั้ว CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08, CH09 ตามลำดับ ช่วงที่ 3 (หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 3) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้คือ 0.86, 0.35, 0.22, 0.04, 0.0002, 0.16, 0.03, 0.03 และ 0.04 ไมโครวัตต์ สำหรับรูปแบบการวางขั้ว CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08, CH09 ตามลำดับ ส่วนช่วงสุดท้าย (หลังการทำ Polarization ครั้งที่ 4) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้คือ 0.05, 0.21, 0.01, 0.09, 31.7, 0.002, 0.05, 0.06 และ 0.01 ไมโครวัตต์ สำหรับรูปแบบการวางขั้ว CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08, CH09 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ระบบ Reverse A2O-MFCs ผลิตได้ตลอดการทดลองรวมทั้ง 4 ช่วง พบว่า รูปแบบการวางขั้ว CH01, CH02, CH03, CH04, CH05, CH06, CH07, CH08 และ CH09 ให้พลังงานไฟฟ้าตลอดการทดลองเท่ากับ 45.3, 828, 25.3, 100, 570, 35.5, 7.63, 4.77 และ 10.4 ไมโครวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งค่าที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากตำแหน่งและระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับแคโทด กล่าวได้ว่า CH02 ที่มีการวางขั้วแคโทดในถัง anoxic ห่างกับขั้วแอโนดในถัง anaerobic เป็นระยะ 35 เซนติเมตร สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด

5.3 การออกแบบ Reverse A2O–MFCs

จากผลการทดลองข้างต้นกล่าวได้ว่าในการออกแบบระบบ Reverse A2O–MFCs นั้น ควรติดตั้งขั้วแอโนดไว้ที่ถึง **anaerobic** ส่วนขั้วแคโทดนั้นสามารถติดตั้งไว้ที่ถึง **oxic** หรือถึง **anoxic** ก็ได้ โดยกรณีเดินระบบระยะสั้นนั้น การติดตั้งขั้วแคโทดไว้ที่ถึง **anoxic** สามารถให้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่า แต่กรณีเดินระบบระยะยาวนั้น มีแนวโน้มว่าติดตั้งขั้วแคโทดไว้ที่ถึง **oxic** อาจให้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่า สำหรับระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดนั้น พบว่าระยะ 35 เซนติเมตร ให้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่า ระยะ 25 และ 45 ซม.

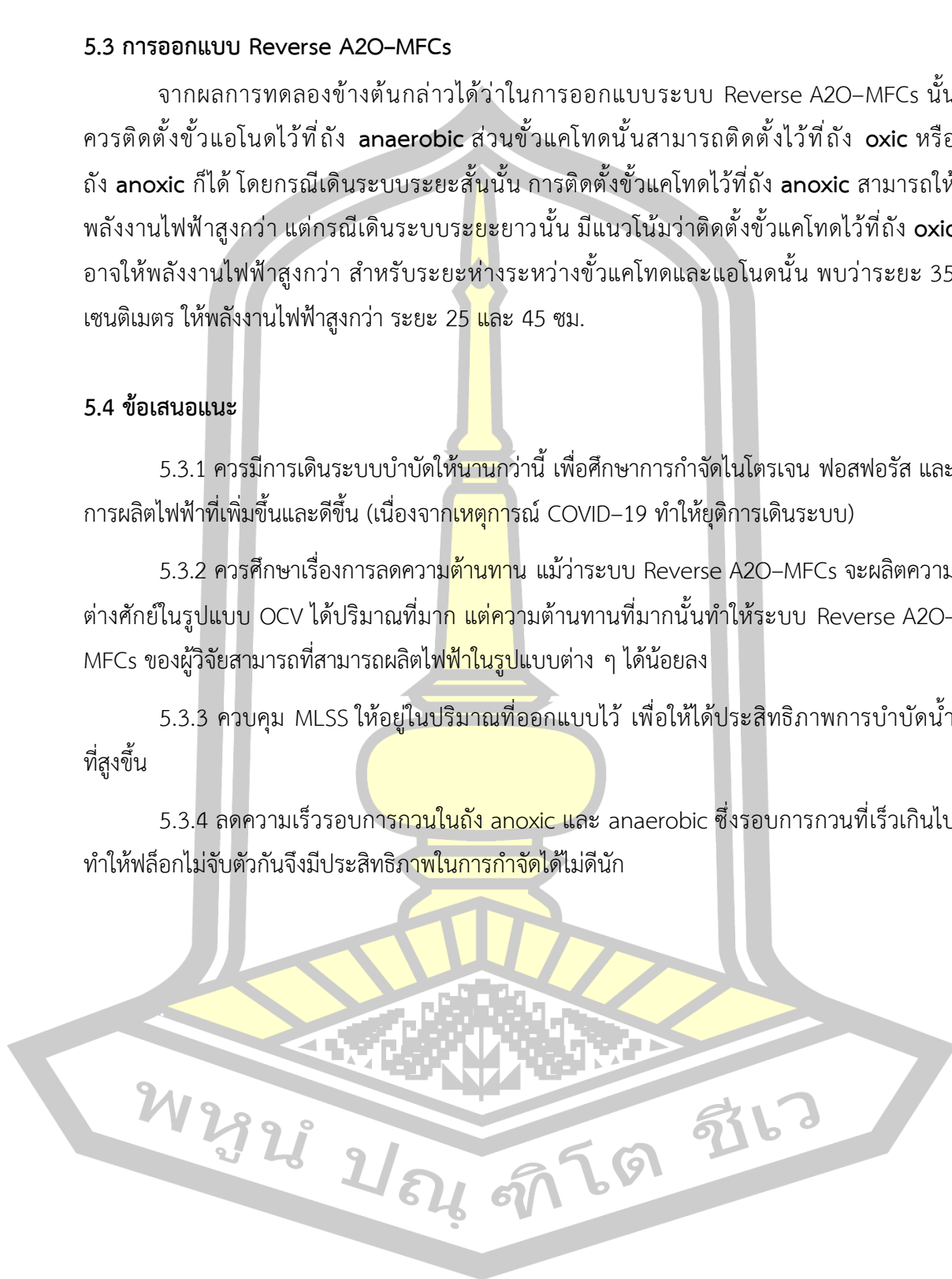
5.4 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการเดินระบบบำบัดให้นานกว่านี้ เพื่อศึกษาการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและดีขึ้น (เนื่องจากเหตุการณ์ COVID-19 ทำให้ยุติการเดินระบบ)

5.3.2 ควรศึกษาเรื่องการลดความต้านทาน แม้ว่าระบบ Reverse A2O–MFCs จะผลิตความต่างศักย์ในรูปแบบ OCV ได้ปริมาณที่มาก แต่ความต้านทานที่มากนั้นทำให้ระบบ Reverse A2O–MFCs ของผู้วิจัยสามารถที่สามารถผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ได้น้อยลง

5.3.3 ควบคุม MLSS ให้อยู่ในปริมาณที่ออกแบบไว้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่สูงขึ้น

5.3.4 ลดความเร็วรอบการกวนในถัง **anoxic** และ **anaerobic** ซึ่งรอบการกวนที่เร็วเกินไปทำให้ฟล็อกไม่จับตัวกันจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ไม่เต็มที่



บรรณานุกรม



พหุบัน ปรณ ทิโต ชีเว

ชนิษฐา หมูโสภัญญ, 2554. เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์: แนวทางใหม่เพื่อการผลิตพลังงาน. วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 13, 20-28.

<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008>

ชลทิตา สุขเกษม, 2554. เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ : เทคโนโลยีนวัตกรรม “แปลงน้ำเสียเป็นไฟฟ้า.”
วิศวกรรมสาร มข 38, 347-362.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. วิศวกรรมสถานแห่ง
ประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ ร่วมกับ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย,
กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2532. การจัดการคุณภาพน้ำของกลุ่มน้ำกระน จังหวัดภูเก็ต. กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2525. ค่าสมมูลประชากร. จุลสารสภาวะแวดล้อม 1, 1-9.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, วีรวรรณ ปัทมาภีรัต, จิรายุ พรพิสุทธีวรกุล, ชัยยา เจริญจิตรธรรม, สมชาติ อัสวธิตา
นนท์, ชัยวัฒน์ เครือชะเอม, 2530. น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขต กทม. และ
ปริมณฑล. กรุงเทพมหานคร.

ธัญนันท์ ไชยอินปัน และ ณัฐวดี เชื้อนแก้ว, 2553. การผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโด
กระบวนการเติบโตของพืชในสวนราก. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นรุตต์ม สหาวิน และ จิรวรรณ ตอฤทธิ์, 2555. ปรัชญาการณียุโทรพีเคชั่น. วารสารคณะพลศึกษา
15, 154-159.

เปรียบเทียบเลบอลติกเป็นเครื่องย่นกาลเวลา, 2561. . ไทยรัฐฉบับพิมพ์.

พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ และ รัฐชา ชัยชนะ, 2557. ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเกิดยู
โทรพีเคชั่นในแหล่งน้ำและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส. วิศวกรรมสาร มก. 27, 57-67.

มันสิน ตันตุลเวศม์, 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม, 1st ed. แชน. อี 68 คอนซัลตติ้งเอ็น
จิเนียรส์, กรุงเทพมหานคร.

มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มันรัชต์ ตัณฑุลเวศม์, 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย, 2nd ed.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สันทัต ศิริอนันต์ไพบุลย์, 2557. ระบบบำบัดน้ำเสีย. ท้อป.

เสาวภา ไวยสุศรี, 2559. การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียม ออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 26, 475–486. <https://doi.org/10.14416/j.kmutnb.2016.01.003>

Akin, B.S., Ugurlu, A., 2004. The effect of an anoxic zone on biological phosphorus removal by a sequential batch reactor. *Bioresour. Technol.* 94, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.11.022>

Alarcon, G.O., 1961. Removal of Phosphorus from Sewage. Johns Hopkins University, Baltimore, MD.

Bajracharya, S., ElMekawy, A., Srikanth, S., Pant, D., 2016. Cathodes for microbial fuel cells, in: *Microbial Electrochemical and Fuel Cells: Fundamentals and Applications*. Elsevier Ltd., Sadat City, Egypt, pp. 179–213. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-375-1.00006-X>

Beretta, G. Pietro, Cossu, R., 2018. Groundwater Quality Monitoring in Landfill Areas, *Solid Waste Landfilling*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407721-8.00048-6>

Choudhury, P., Prasad Uday, U.S., Bandyopadhyay, T.K., Ray, R.N., Bhunia, B., 2017. Performance improvement of microbial fuel cell (MFC) using suitable electrode and Bioengineered organisms: A review. *Bioengineered* 0, 1–17. <https://doi.org/10.1080/21655979.2016.1267883>

- Fang Fang, Li-Li Qiao, Jia-Shun Cao, Yi Li, Wen-Ming Xie, Guo-Ping Sheng, Han-Qing Yu, 2016. Quantitative evaluation of A2O and reversed A2O processes for biological municipal wastewater treatment using a projection pursuit method. *Sep. Purif. Technol.* 166, 164–170. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2016.04.036>
- Gebremariam, S.Y., Beutel, M.W., Christian, D., Hess, T.F., 2011. Research Advances and Challenges in the Microbiology of Enhanced Biological Phosphorus Removal-A Critical Review. *Water Environ. Res.* 83, 195–219. <https://doi.org/10.2175/106143010x12780288628534>
- Greenburg, A.E., Levin, G., Kauffman, W.J., 1955. Effect of Phosphorus Removal on the Activated Sludge Process. *Sew. Ind. Wastes* 27, 227.
- Hanson, T.E., Campbell, B.J., Kalis, K.M., Campbell, M.A., Klotz, M.G., 2013. Nitrate ammonification by *Nautilia profundicola* AmH: Experimental evidence consistent with a free hydroxylamine intermediate. *Front. Microbiol.* 4, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00180>
- Keren, R., Lawrence, J.E., Zhuang, W., Jenkins, D., Banfield, J.F., Alvarez-Cohen, L., Zhou, L., Yu, K., 2020. Increased Replication of Dissimilatory Nitrate-Reducing Bacteria Leads to Decreased Anammox Bioreactor Performance. *Microbiome* 8, 1–21. <https://doi.org/10.1101/534925>
- Lefebvre, O., Al-Mamun, A., Ng, H.Y., 2008. A microbial fuel cell equipped with a biocathode for organic removal and denitrification. *Water Sci. Technol.* 58, 881–885. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.343>
- Li, B., Dong, W., Liu, B., Xie, B., Liu, H., 2015. Electricity Generation Performance of Microbial Fuel Cell Embedded in Anaerobic-Anoxic-Oxic Wastewater Treatment Process. *J. Biosci. Med.* 03, 32–37. <https://doi.org/10.4236/jbm.2015.39005>

Ludzack, F.J., Ettinger, M.B., 1962. Controlling operation to minimize activated sludge effluent nitrogen. *Water Pollut. Control Vederation* 34, 920–931.

<https://doi.org/10.2307/25034693>

McCarty, P.L., 2018. What is the Best Biological Process for Nitrogen Removal: When and Why? *Environ. Sci. Technol.* 52, 3835–3841.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05832>

Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4th ed.

McGraw-Hill Science/Engineering/Math, New York. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(91\)90038-K](https://doi.org/10.1016/0191-2615(91)90038-K)

Nicholls, H.A., 1975. Full Scale Experimentation on the New Johannesburg Extended Aeration Plants. *Water SA* 1, 121.

Papaharalabos, G., Greenman, J., Melhuish, C., Ieropoulos, I., 2015. A novel small scale Microbial Fuel Cell design for increased electricity generation and waste water treatment. *Int. J. Hydrogen Energy* 40, 4263–4268.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.01.117>

Randall, C.W., Barnard, J.L., Stensel, H.D., 1992. *Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal*, Technomic Publishing Company, Inc. Technomic Publishing CO., INC., United of America.

Sangeetha, T., Muthukumar, M., 2012. Influence of Electrode Material and Electrode Distance on Bioelectricity Production from Sago-Processing Wastewater Using Microbial Fuel Cell. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 0, 1–6.

<https://doi.org/10.1002/ep>

- Schmidt, I., Hermelink, C., Pas-Schoonen, K. van de, Strous, M., Camp, H.J. op den, Kuenen, J.G., Jetten, M.S.M., 2002. Anaerobic Ammonia Oxidation in the Presence of Nitrogen Oxides (NO_x) by Two Different Lithotrophs. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 5351–5357. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.11.5351-5357.2002>
- Sedlak, R., 1991. Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewaters: Principles and Practices, 2nd ed, The Soap and Detergent Association. Lewis, New York.
- Song, H., Zhang, S., Long, X., Yang, X., Li, H., Xiang, W., 2017. Optimization of bioelectricity generation in constructed wetland-coupled microbial fuel cell systems. *Water (Switzerland)* 9, 1–13. <https://doi.org/10.3390/w9030185>
- Srinath, E.G., Sastry, C.A., Pillai, S.C., 1959. Rapid Removal of Phosphorus from Sewage by Activated Sludge. *Water and Waste Treat* 15, 410–415.
- Stover EL. and Kincannon DF., 1982. Rotating biological contactor scale-up and Design. *Proc. 1st Int. Conf. Fixed Film Biol. Process* 15, 410–415.
- Ucar, D., Zhang, Y., Angelidaki, I., 2017. An overview of electron acceptors in microbial fuel cells. *Front. Microbiol.* 8, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00643>
- Urbini, G., Gavasci, R., Viotti, P., 2015. Oxygen control and improved denitrification efficiency by means of a post-anoxic reactor. *Sustain.* 7, 1201–1212. <https://doi.org/10.3390/su7021201>
- Venter S.L.V. et.al., 1978. Optimization of the Johannesburg Olifantsvlei Extended Aeration Plant for Phosphorus Removal. *MnrasProg. Wat. Technol.* 10, 279.

Wei, Y., Jin, Y., Zhang, W., 2020. Domestic sewage treatment using a one-stage

ANAMMOX process. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17.

<https://doi.org/10.3390/ijerph17093284>

Wuhrmann, K., 1954. High-rate activated sludge treatment and its relation to stream sanitation. *Sewage Ind. Waste*. 26, 1–27.

Xie, W.-M., Zeng, R.J., Li, W.-W., Wang, G.-X., Zhang, L.-M., 2018. A modeling understanding on the phosphorus removal performances of A2O and reversed A2O processes in a full-scale wastewater treatment plant. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 22810–22817. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2317-3>

Xu, S., Bernards, M., Hu, Z., 2014. Evaluation of Anaerobic/Anoxic/Oxic (A2/O) and Reverse A2/O Processes in Biological Nutrient Removal. *Water Environ. Res.* 86, 2186–2193. <https://doi.org/10.2175/106143014x14062131178394>

Zhang, P., Liu, X.-H., Li, K.-X., Song, Z.-Q., 2015. Optimization of Fabrication Parameters to Enhance the Performance of Activated Carbon Air-Cathode. *J. Electrochem. Soc.* 162, F1347–F1355. <https://doi.org/10.1149/2.0501512jes>

Zheng, X., Tong, J., Li, H., Chen, Y., 2009. The investigation of effect of organic carbon sources addition in anaerobic-aerobic (low dissolved oxygen) sequencing batch reactor for nutrients removal from wastewaters. *Bioresour. Technol.* 100, 2515–2520. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.003>

Zhuang, L., Zhou, S., Li, Y., Yuan, Y., 2010. Enhanced performance of air-cathode two-chamber microbial fuel cells with high-pH anode and low-pH cathode.

Bioresour. Technol. 101, 3514–3519.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.105>

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลการทดลองด้านคุณภาพน้ำ

1. การทดลองช่วงเลี้ยงเชื้อ

ตาราง ก1.1 ความเป็นกรด-ด่างของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเป็นกรด - ด่าง					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/2/2563	7.01	6.99	7.08	7.79	7.55
10/2/2563	6.74	6.78	6.85	6.94	7.23
11/2/2563	6.74	6.78	6.85	6.94	7.23
13/2/2563	7.01	6.99	7.08	7.79	7.55
16/2/2563	7.25	7.35	7.33	7.71	7.24
19/2/2563	7.00	7.00	6.97	7.62	7.21
20/2/2563	7.18	7.14	7.08	7.72	7.6
1/3/2563	6.54	6.59	6.6	7.65	7.61
4/3/2563	6.36	6.49	6.58	7.58	7.61
7/3/2563	6.42	6.48	6.54	7.3	7.38

ตาราง ก1.2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำช่วงเลี้ยงเชื้อ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/2/2563	0.001	0.095	0.088	5.263	4.567
10/2/2563	0.071	0.056	0.050	6.209	3.141
11/2/2563	0.085	0.056	0.049	6.210	3.246
13/2/2563	0.011	0.095	0.090	5.311	4.945
16/2/2563	0.058	1.776	1.653	4.892	4.115
19/2/2563	2.399	0.840	0.460	6.909	3.217
20/2/2563	5.519	2.462	2.129	7.726	6.542
1/3/2563	0.011	0.287	0.146	7.157	6.088
4/3/2563	0.164	0.039	0.025	6.610	5.655
7/3/2563	0.011	0.006	0.002	4.738	3.472

ตาราง ก1.3 ศักยภาพในการออกซิเดชันรีดักชันของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ศักยภาพในการออกซิเดชันรีดักชัน (มิลลิโวลต์)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/2/2563	-	20	2	136	-
10/2/2563	-	9	1	133	-
11/2/2563	-	15	3	133	-
13/2/2563	-	25	6	136	-
1/3/2563	-	-86	-126	154	-
4/3/2563	-	-58	-88	138	-
7/3/2563	-	-72	-114	92	-

ตาราง ก1.4 ความเข้มข้นบีโอดีของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
10/2/2563	731	-	-	-	441
19/2/2563	262	-	-	-	155
1/3/2563	312	-	-	-	194
4/3/2563	233	-	-	-	57
7/3/2563	353	-	-	-	202

ตาราง ก1.5 ความเข้มข้นซีโอดีของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
1/2/2563	891	-	-	-	-
4/2/2563	900	240	780	180	540
7/2/2563	1600	800	2700	2467	2933
10/2/2563	1000	567	433	433	1504
11/2/2563	567	667	367	233	1600
13/2/2563	800	501	143	430	1504
16/2/2563	1116	949	363	781	1846
19/2/2563	1011	935	707	1718	505
20/2/2563	780	331	386	910	717
1/3/2563	320	461	394	430	224

ตาราง ก1.5 (ต่อ)

ความเข้มข้นซีไอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
4/3/2563	900	700	300	450	450
7/3/2563	706	2165	894	518	388

ตาราง ก1.6 ความเข้มข้นฟอสเฟตของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
1/2/2563	2.13	-	-	-	-
4/2/2563	2.71	2.95	1.54	1.67	2.43
7/2/2563	7.09	2.92	1.96	2.33	2.23
10/2/2563	3.54	6.37	2.91	1.51	4.39
11/2/2563	2.35	2.09	2.80	2.76	2.08
13/2/2563	1.09	3.09	2.17	0.54	1.20
16/2/2563	2.99	1.31	1.51	1.01	1.08
19/2/2563	1.66	1.40	2.03	2.25	1.17
20/2/2563	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16
1/3/2563	0.54	0.45	0.68	0.40	0.35
4/3/2563	2.23	1.75	2.52	2.02	1.30
7/3/2563	0.57	0.67	0.51	0.38	0.35

ตาราง ก1.7 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
1/2/2563	0.17	-	-	-	-
4/2/2563	3.36	3.42	3.06	3.36	3.46
7/2/2563	16.3	15.7	15.4	14.4	16.1
10/2/2563	2.38	5.38	1.06	5.37	1.00
11/2/2563	0.29	0.40	1.98	0.29	0.15
13/2/2563	2.75	3.48	3.71	0.56	1.20
16/2/2563	2.15	0.32	2.59	4.95	1.00
19/2/2563	1.08	0.52	0.16	0.42	0.87
20/2/2563	1.02	1.02	1.01	1.02	0.87

ตาราง ก1.7 (ต่อ)

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
1/3/2563	2.02	1.81	1.90	1.50	1.20
4/3/2563	0.50	0.37	0.23	0.27	0.30
7/3/2563	1.17	1.10	3.80	2.00	0.82

ตาราง ก1.8 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/2/2563	13.6	12.5	13.1	17.1	13.6
13/2/2563	2.76	11.7	15.1	2.44	9.40
20/2/2563	1.02	1.02	1.09	1.16	1.15
1/3/2563	1.82	2.30	1.60	1.20	1.70
4/3/2563	2.28	1.23	1.01	1.03	1.96
7/3/2563	1.81	1.48	1.27	1.41	1.90

ตาราง ก1.9 ความเข้มข้นไนโตรเจนของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
1/2/2563	3.88	-	-	-	-
4/2/2563	51.2	38.4	26.1	49.1	28.8
7/2/2563	170	70.8	55.9	53.7	50.0
10/2/2563	11.8	15.1	9.98	11.5	9.13
11/2/2563	3.72	3.29	3.23	2.56	2.73
13/2/2563	11.1	11.8	7.86	8.41	7.64
16/2/2563	1.72	0.86	1.06	0.91	0.78
19/2/2563	9.53	6.30	4.92	6.03	6.16
20/2/2563	4.97	2.90	3.90	4.41	3.40
1/3/2563	7.98	6.71	6.40	5.98	5.30
4/3/2563	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06
7/3/2563	0.24	0.19	0.18	0.42	0.40

ตาราง ก1.10 ความเข้มข้นไนเตรทของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
1/2/2563	30.5	-	-	-	-
4/2/2563	26.5	22.6	18.5	19.8	17.2
7/2/2563	5.65	3.56	4.74	4.32	4.76
10/2/2563	2.86	2.76	2.77	2.75	2.81
11/2/2563	2.70	2.77	2.76	2.72	2.72
13/2/2563	0.18	0.54	0.48	0.23	0.17
16/2/2563	5.43	3.52	2.49	7.16	2.46
19/2/2563	1.56	1.81	2.04	1.60	1.50
20/2/2563	8.13	11.32	9.58	9.10	8.87
1/3/2563	35.4	30.5	29.6	26.8	25.1
4/3/2563	3.62	4.95	4.64	4.93	3.04
7/3/2563	2.12	2.31	2.23	2.59	2.44

ตาราง ก1.11 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมของช่วงเลี้ยงเชื้อ

ความเข้มข้นไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
1/2/2563	19.5	-	-	-	-
4/2/2563	135	87.0	105	82.5	94.1
7/2/2563	37.6	28.9	33.5	34.6	9.8
10/2/2563	9.59	10.05	10.91	9.64	9.01
11/2/2563	6.19	6.37	6.65	7.41	5.80
13/2/2563	33.6	38.3	39.4	60.0	49.3
16/2/2563	10.2	10.8	11.3	26.0	18.9
19/2/2563	26.3	26.1	12.3	12.5	16.0
20/2/2563	37.9	54.9	57.7	22.3	62.2
1/3/2563	11.2	12.0	11.5	11.2	11.0
4/3/2563	12.4	13.9	12.3	12.1	12.0
7/3/2563	5.96	5.73	5.85	5.90	5.60

2. การทดลองช่วงเดินระบบ

ตาราง ก.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของช่วงเดินระบบ

ความเป็นกรด - ด่าง					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
10/3/2563	6.70	6.79	6.82	7.65	7.60
13/3/2563	6.95	6.93	6.89	7.51	7.24
17/3/2563	6.99	7.04	7.05	7.81	7.54
19/3/2563	6.74	6.82	6.81	7.47	7.45

ตาราง ก.2.2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของช่วงเดินระบบ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
10/3/2563	1.768	0.187	0.147	8.277	6.554
13/3/2563	5.548	2.058	0.056	3.434	0.921
17/3/2563	2.362	0.190	0.103	8.081	4.606
19/3/2563	0.305	0.710	0.021	4.426	0.899

ตาราง ก.2.3 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำของช่วงเดินระบบ

ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
10/3/2563	36	158	39	200	6
13/3/2563	18	11	241	3398	11
17/3/2563	11	85	215	479	0
19/3/2563	39	28	152	470	6

ตาราง ก.2.4 ศักยภาพในการออกซิเดชันรีดักชันของช่วงเดินระบบ

ศักยภาพในการออกซิเดชันรีดักชัน (มิลลิโวลต์)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
10/3/2563	-	-98	-70	110	-
13/3/2563	-	72	64	76	-
17/3/2563	-	-8	-15	70	-
19/3/2563	-	-14	-228	98	-

ตาราง ก2.5 ความเข้มข้นบีโอดีของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	494	-	-	-	-
	212	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
10/3/2563	691	-	-	-	370
	361	-	-	-	181
	187	-	-	-	84
13/3/2563	-	-	-	-	-
	167	-	-	-	20
	125	-	-	-	10
17/3/2563	316	-	-	-	95
	316	-	-	-	95
	-	-	-	-	-
19/3/2563	307	-	-	-	37
	307	-	-	-	37
	-	-	-	-	-

ตาราง ก2.6 ความเข้มข้นซีโอดีของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	-	-	-	-	-
	988	-	-	-	-
	424	-	-	-	-
10/3/2563	1129	1129	-	-	424
	1129	988	706	706	-
	-	-	847	706	565
13/3/2563	1108	-	-	665	-
	1108	369	665	369	155
	-	369	665	960	170
17/3/2563	929	722	619	774	-
	929	929	774	155	465
	-	-	-	465	465

ตาราง ก2.6 (ต่อ)

ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
19/3/2563	900	1445	1072	-	150
	900	1072	885	326	168
	-	-	-	513	-

ตาราง ก2.7 ความเข้มข้นฟอสเฟตของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	0.5721	-	-	-	-
	0.5734	-	-	-	-
	0.5696	-	-	-	-
10/3/2563	0.4175	0.5825	0.6488	0.1479	0.1575
	0.4189	0.5997	0.6265	0.1413	0.1495
	0.4168	0.5783	0.6171	0.1422	0.1484
13/3/2563	0.5699	0.4715	0.5058	0.3179	0.1124
	0.5651	0.4728	0.5367	0.3088	0.1113
	0.5573	0.4802	0.4943	0.3023	0.1272
17/3/2563	0.4802	0.3033	0.9634	0.2576	0.1915
	0.4822	0.3037	0.9320	0.2615	0.1969
	0.4811	0.3030	0.9120	0.2684	0.1876
19/3/2563	1.0229	0.5065	0.9791	0.2344	0.2910
	1.0229	0.5492	0.9664	0.2333	0.2931
	1.0229	0.5427	0.9692	0.2309	0.2955

ตาราง ก2.8 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	1.1908	-	-	-	-
	1.1218	-	-	-	-
	1.1908	-	-	-	-

ตาราง ก2.8 (ต่อ)

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
10/3/2563	11.181	10.037	13.222	17.619	15.443
	11.181	10.049	13.178	17.765	15.600
	11.215	9.8804	13.032	17.675	15.566
13/3/2563	0.8020	0.9274	0.6855	0.5979	0.5016
	0.8003	0.9203	0.6846	0.5988	0.5029
	0.7923	0.9252	0.6850	0.5874	0.5025
17/3/2563	1.0416	1.0049	1.1574	0.2705	0.3873
	1.0321	1.0081	1.1741	0.2705	0.3873
	1.0392	1.0073	1.1621	0.2705	0.3873
19/3/2563	0.4021	0.1717	0.5481	0.2167	0.0378
	0.4021	0.1717	0.5481	0.2167	0.0378
	0.4021	0.1717	0.5481	0.2167	0.0378

ตาราง ก2.9 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	1.9459	-	-	-	-
	1.5275	-	-	-	-
	1.9466	-	-	-	-
10/3/2563	0.3305	0.2941	0.3689	1.2124	1.3694
	0.3438	0.2894	0.3391	1.2104	1.3654
	0.3166	0.2921	0.3749	1.2124	1.3687
13/3/2563	1.1110	2.0137	2.4253	0.9121	1.9629
	1.1104	2.0042	2.4253	0.9286	1.9588
	1.1052	1.9949	2.4253	0.9106	1.9596
17/3/2563	2.7813	2.3439	2.1154	1.4676	1.2005
	2.7963	2.3179	2.1154	1.4519	1.2123
	2.8262	2.3061	2.1154	1.4566	1.2091

ตาราง ก2.9 (ต่อ)

ความเข้มข้นแอมโมเนียรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
19/3/2563	3.8428	4.1423	3.7916	1.0421	0.6473
	3.8247	4.2605	3.8530	0.9932	0.6977
	3.8735	4.2195	3.7766	0.9680	0.7576

ตาราง ก2.10 ความเข้มข้นไนโตรเจนของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	0.2360	-	-	-	-
	0.2456	-	-	-	-
	0.2362	-	-	-	-
10/3/2563	0.1659	0.1575	0.1747	0.3683	0.4035
	0.1689	0.1564	0.1679	0.3679	0.4044
	0.1627	0.1570	0.1761	0.3683	0.4042
13/3/2563	4.2370	4.6192	5.0819	2.4131	0.1481
	4.2770	4.3970	5.0819	2.4417	0.1215
	4.1881	4.2859	5.0819	2.4131	0.1215
17/3/2563	5.0434	5.0204	5.2379	9.0562	13.153
	5.0895	5.0664	5.2379	9.2672	13.127
	5.1393	5.0396	5.2379	9.3631	13.073
19/3/2563	7.1789	4.3847	7.5086	9.8574	18.796
	7.3016	4.4422	7.4779	9.9033	18.811
	7.2939	4.4805	7.4357	9.8114	18.888

ตาราง ก2.11 ความเข้มข้นไนโตรเจนของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	2.1212	-	-	-	-
	2.1202	-	-	-	-
	2.1170	-	-	-	-
10/3/2563	0.1406	0.2127	0.3986	0.2409	0.2676
	0.1406	0.2165	0.3922	0.2362	0.2732

ตาราง ก2.11 (ต่อ)

ความเข้มข้นไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
10/3/2563	0.1378	0.2146	0.3997	0.2383	0.2774
13/3/2563	0.1799	0.2296	0.1635	0.1296	0.1399
	0.1806	0.2322	0.1635	0.1298	0.1392
	0.1858	0.2298	0.1635	0.1328	0.1464
17/3/2563	4.1855	4.4199	3.4142	3.9805	3.4533
	4.0391	4.3027	3.4142	3.8926	3.5411
	3.8048	4.5370	3.4142	4.0977	3.3849
19/3/2563	5.3736	4.2600	5.3206	3.5479	2.6009
	5.6085	4.2221	5.3282	3.5630	2.5858
	5.3054	4.4039	5.4797	3.6464	2.5782

ตาราง ก2.12 ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมของช่วงเดินระบบ

ความเข้มข้นไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
วัน/เดือน/ปี	Influent	Anoxic	Anaerobic	Oxic	Effluents
7/3/2563	5.9632	-	-	-	-
	5.9632	-	-	-	-
	5.9632	-	-	-	-
10/3/2563	3.0019	4.5219	4.7268	4.2516	3.4802
	2.8483	4.5219	4.7268	4.2516	3.4802
	2.9251	4.5219	4.7268	4.2516	3.4802
13/3/2563	2.8669	2.5833	2.3870	3.5157	3.2281
	2.8421	2.5747	2.3967	3.5427	3.2227
	2.8777	2.6016	2.6016	3.8326	3.2130
17/3/2563	5.4218	5.4369	4.8556	3.7321	1.5034
	5.2557	5.4113	4.8844	3.7614	1.5034
	5.2813	5.4912	4.8940	3.7996	1.5007
19/3/2563	16.517	20.044	23.407	26.454	5.7320
	16.517	20.140	23.311	26.446	5.7127
	16.517	20.017	23.667	26.477	5.7159

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองด้านไฟฟ้า

1. การทดลองช่วงเลี้ยงเชื้อ

1.1 การทดลองค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ Open Circuit Voltage ช่วงเลี้ยงเชื้อ

ตาราง ข.1.1 ผลการทดลองค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ Open Circuit Voltage ช่วงเลี้ยงเชื้อในการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณี

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
1	-12	10	-8	85	-25	16	-46	4	2
2	-13	-2	-11	85	-7	35	-26	15	14
3	-21	0	-10	109	24	73	-4	98	96
4	-25	4	-7	97	30	74	2	96	95
5	-30	6	-2	104	33	72	4	103	101
6	-29	11	4	109	33	71	38	105	103
7	-37	73	6	113	33	73	82	105	103
8	-40	62	16	113	32	76	77	104	102
9	-38	55	26	114	31	89	75	103	101
10	-37	57	36	114	32	92	68	101	100
11	-32	60	46	115	59	87	59	102	100
12	-29	60	61	117	64	87	55	105	103
13	-28	63	70	120	71	92	60	110	109
14	-26	66	75	122	71	91	58	110	108
15	-24	68	80	129	73	94	58	114	112
16	-23	71	83	132	76	96	60	115	113
17	-25	72	87	135	80	98	61	118	116
18	-26	67	89	139	84	101	65	122	121
19	-28	48	85	142	88	106	75	131	130
20	-32	26	83	149	97	114	91	143	142
21	-28	24	88	157	111	124	100	151	150
22	-23	28	94	159	117	128	103	153	152
23	-16	36	103	162	122	132	104	154	153
24	-12	41	109	162	120	132	104	154	153
25	-12	43	109	155	116	128	105	153	152

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
26	-8	47	113	155	115	128	106	154	153
27	-4	50	117	162	120	134	112	163	162
28	-1	53	119	163	122	136	115	165	164
29	ปิดระบบเพื่อเวียนน้ำ								
30	9	61	129	163	128	141	124	172	171
31	10	61	131	155	122	134	119	162	161
32	9	55	132	153	121	133	124	162	161
33	10	51	133	153	124	136	128	164	163
34	14	52	138	157	131	141	133	167	166
35	17	54	143	178	152	162	153	189	188
36	20	56	148	184	161	168	160	195	194
37	23	58	152	187	166	173	164	198	197
38	25	60	154	183	165	170	161	193	192
39	28	62	158	189	171	176	169	200	199
40	28	63	158	194	176	181	176	207	206
41	28	63	157	195	179	181	179	209	208
42	28	59	155	201	186	187	186	215	214
43	29	63	160	203	191	191	191	219	218
30	9	61	129	163	128	141	124	172	171
31	10	61	131	155	122	134	119	162	161
32	9	55	132	153	121	133	124	162	161
33	10	51	133	153	124	136	128	164	163
34	14	52	138	157	131	141	133	167	166
35	17	54	143	178	152	162	153	189	188
36	20	56	148	184	161	168	160	195	194
37	23	58	152	187	166	173	164	198	197
38	25	60	154	183	165	170	161	193	192
39	28	62	158	189	171	176	169	200	199
40	28	63	158	194	176	181	176	207	206
41	28	63	157	195	179	181	179	209	208
42	28	59	155	201	186	187	186	215	214
43	29	63	160	203	191	191	191	219	218

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
44	33	69	168	203	195	194	194	222	220
45	37	72	174	203	196	194	194	221	219
46	40	74	178	195	191	189	188	213	211
47	42	75	182	191	188	187	186	200	198
48	43	74	184	187	186	184	184	186	184
49	42	72	185	177	178	176	176	179	177
50	41	70	186	178	181	178	180	176	174
51	37	66	184	202	206	202	207	200	198
52	28	55	168	204	207	203	193	199	197
53	24	50	158	210	213	209	188	205	203
54	24	50	155	202	206	203	173	196	194
55	28	50	164	205	210	207	177	200	198
56	31	50	171	199	205	202	175	195	193
57	33	51	177	202	208	204	181	200	198
58	33	51	182	207	214	210	190	209	207
59	34	51	185	210	217	213	197	216	214
60	34	51	186	209	216	211	199	219	217
61	33	50	188	206	213	207	200	222	220
62	31	48	185	208	217	210	210	231	229
63	20	38	163	219	228	220	232	252	250
64	21	37	159	197	207	198	212	229	227
65	23	37	159	202	211	202	220	236	234
66	23	37	159	209	219	209	233	248	246
67	24	36	160	199	208	199	227	239	237
68	24	36	162	195	204	195	227	238	236
69	23	33	164	210	220	210	254	264	262
70	23	29	169	209	217	207	252	258	256
71	30	40	183	193	198	190	221	220	219
72	36	45	190	191	195	187	217	212	210
73	39	48	195	182	187	179	196	188	186
74	41	49	198	52	53	51	62	59	57
75	44	51	202	12	12	11	15	14	12

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
76	46	53	206	12	12	11	16	14	11
77	49	55	209	15	15	14	20	17	15
78	54	60	213	37	37	35	50	42	40
79	59	66	217	66	65	61	86	72	70
80	62	71	218	68	67	63	86	73	70
81	65	75	219	74	73	68	91	77	74
82	67	77	218	75	73	68	90	76	74
83	67	79	215	76	74	69	89	76	73
84	67	79	213	82	81	76	95	81	78
85	66	79	209	99	98	92	113	98	95
86	66	79	205	97	98	91	109	95	93
87	65	78	201	102	103	96	115	100	98
88	64	78	197	98	101	93	111	96	95
89	63	77	194	79	81	75	90	78	77
90	63	77	191	70	73	68	81	71	69
91	62	77	189	66	70	64	76	67	65
92	61	76	186	79	84	77	90	80	78
93	61	75	184	49	53	47	57	48	47
94	61	75	183	24	27	23	26	21	19
95	60	75	183	3	4	2	5	2	1
96	61	75	183	-4	-3	-4	-3	-3	-5
97	60	75	184	6	6	5	7	5	4
98	59	74	187	5	5	5	6	8	6
99	64	90	234	233	241	223	302	250	249
100	65	93	241	240	245	228	307	252	251
101	61	89	244	233	234	216	309	247	245
102	58	86	247	247	244	226	339	265	263
103	58	85	251	248	243	224	344	267	266
104	54	80	253	266	258	237	388	295	294
105	51	74	254	277	265	242	426	319	317
106	54	76	260	283	267	243	426	320	319
107	52	72	261	289	270	245	441	332	330

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
108	50	67	262	294	272	247	459	345	343
109	49	67	260	269	247	223	414	312	310
110	50	69	268	291	264	239	454	338	336
111	44	56	265	307	276	249	511	377	375
112	41	52	265	311	277	250	529	391	389
113	39	48	266	315	277	250	541	403	401
114	37	45	266	318	277	251	550	414	412
115	33	37	261	321	278	252	561	428	426
116	30	32	259	325	280	253	566	443	441
117	25	26	256	329	284	256	572	456	454
118	33	41	265	336	286	257	570	447	445
119	37	50	268	338	284	256	561	433	431
120	39	52	271	344	287	259	567	434	432
121	39	52	271	338	279	252	552	420	418
122	40	47	273	332	270	244	539	406	404
123	44	46	279	367	292	264	585	443	441
124	44	43	280	375	293	265	589	447	445
125	41	36	279	384	295	268	596	458	456
126	40	33	278	393	296	271	602	467	465
127	38	29	276	399	295	272	608	477	475
128	21	8	261	404	296	274	612	509	507
129	1	-16	243	410	297	277	614	548	546
130	-15	-36	226	417	299	279	616	575	573
131	-28	-50	213	423	301	281	617	590	588
132	-40	-63	201	428	302	283	619	597	594
133	-34	-51	202	431	303	284	616	589	586
134	-10	-20	221	393	274	257	555	515	512
135	-3	-12	229	405	280	262	569	523	520
136	8	2	244	372	256	240	524	474	471
137	14	10	253	351	243	228	493	435	432
138	17	17	259	333	233	217	458	397	394
139	20	22	257	319	225	209	422	366	363

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
140	22	25	244	307	218	203	396	345	342
141	22	27	240	298	215	198	377	330	327
142	22	28	239	257	190	174	302	267	264
143	เปลี่ยนปี่ม								
144	24	21	244	225	117	114	300	253	185
145	20	17	234	403	225	221	562	481	469
146	18	9	224	425	227	222	577	494	484
147	16	3	216	447	233	227	589	508	498
148	8	-9	206	463	238	233	597	521	510
149	-5	-25	193	478	243	238	605	536	523
150	-15	-35	184	491	249	244	611	550	532
151	-15	-35	187	502	255	250	615	562	537
152	-11	-29	198	509	260	256	618	568	538
153	-3	-20	213	443	228	223	531	491	461
154	6	-10	233	447	232	225	531	490	459
155	13	-1	247	410	215	207	485	447	419
156	19	8	257	396	211	202	465	427	403
157	23	15	264	387	213	203	449	412	394
158	26	20	268	448	246	234	524	478	459
159	28	24	269	466	261	248	548	500	483
160	28	28	269	449	258	243	535	487	473
161	29	30	267	439	259	243	524	477	466
162	29	34	264	353	218	204	409	376	370
163	30	37	261	297	189	175	338	314	309
164	29	39	256	190	111	101	216	199	196
165	28	40	250	291	184	167	298	278	273
166	25	39	247	310	194	177	349	327	323
167	23	37	244	370	240	219	426	402	398
168	20	33	241	386	251	229	454	427	423
169	14	25	237	417	270	245	507	473	468
170	6	13	230	409	263	239	512	476	469
171	-4	-3	223	435	275	249	552	511	502

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
172	-22	-27	212	449	278	251	568	528	514
173	-30	-38	210	465	281	254	578	539	521
174	-32	-44	211	481	285	257	586	549	527
175	-38	-55	211	498	289	260	594	562	533
176	-27	-43	221	455	262	235	531	503	477
177	-16	-30	231	435	253	226	506	478	454
178	-10	-22	236	454	267	238	526	497	476
179	-7	-17	239	483	287	256	564	533	512
180	-5	-13	240	468	283	252	547	519	502
181	-3	-10	241	462	285	253	538	512	503
182	-3	-7	242	446	280	249	522	497	493
183	-3	-4	241	410	264	233	480	458	457
184	-3	-1	240	422	276	244	492	471	473
185	-3	1	238	413	274	242	478	461	464
186	-4	4	235	402	271	239	462	450	453
187	-5	6	231	369	253	223	418	412	414
188	-6	8	227	348	245	217	372	372	372
189	-8	8	224	276	192	168	282	285	283
190	-12	5	221	191	132	115	195	196	197
191	-17	0	219	204	141	124	209	210	211
192	-23	-7	217	268	189	167	300	299	302
193	-30	-15	215	377	264	236	461	456	458
194	-37	-24	215	346	237	212	402	395	397
195	-53	-42	214	407	274	246	518	507	508
196	-67	-59	214	421	276	247	531	520	519
197	-68	-61	219	436	277	248	536	524	521
198	-65	-59	224	420	260	233	500	489	484
199	-62	-56	229	454	279	249	545	533	527
200	-58	-51	234	457	279	250	548	536	530
201	-55	-47	238	451	277	247	544	533	525
202	-51	-42	240	427	263	235	520	509	500
203	-49	-39	241	446	276	247	547	535	525

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
204	-48	-37	241	439	274	245	542	530	520
205	-46	-35	241	431	271	242	536	524	514
206	-45	-33	240	432	274	244	540	528	519
207	-44	-31	240	434	277	247	545	533	524
208	-43	-28	239	430	276	246	544	531	523
209	-42	-26	238	419	271	242	532	520	512
210	-42	-25	238	410	267	238	524	512	504
211	-41	-23	236	416	272	243	534	521	514
212	-40	-21	235	399	263	235	513	500	494
213	-39	-19	235	397	264	236	513	501	496
214	-39	-18	234	406	271	242	524	512	508
215	-38	-17	232	395	266	237	511	499	496
216	-38	-16	231	379	257	230	491	481	479
217	-37	-15	230	383	262	234	496	487	486
218	-37	-14	228	380	261	234	490	482	482
219	-36	-13	227	341	237	212	442	436	437
220	-36	-13	225	316	222	199	410	405	407
221	-36	-12	224	354	250	224	458	454	456
222	-36	-11	223	332	237	212	430	427	429
223	-36	-10	221	308	223	200	399	398	399
224	-35	-8	220	292	213	191	377	377	379
225	-35	-8	218	341	251	225	440	442	444
226	-35	-7	217	324	240	216	418	421	423
227	-35	-7	214	310	232	209	398	403	404
228	-35	-6	214	310	234	210	396	404	405
229	-35	-6	211	327	248	223	412	423	422
230	-35	-5	211	294	227	205	361	372	369
231	-35	-5	209	196	149	133	228	237	235
232	-36	-5	208	112	84	74	138	146	143
233	-37	-5	207	155	119	108	200	209	207
234	-42	-11	181	338	256	231	408	418	409
235	-44	-14	181	113	71	53	102	109	99

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
236	เปลี่ยนปีม								
237	-49	-19	194	199	146	131	184	190	183
238	-57	-26	182	295	218	197	348	356	346
239	-62	-31	172	218	157	140	171	176	170
240	-64	-37	130	241	176	158	192	197	191
241	-69	-41	135	249	184	167	195	200	194
242	-78	-44	163	236	168	152	216	221	212
243	-87	-51	164	164	113	101	164	167	161
244	-97	-63	150	264	191	173	287	292	282
245	-109	-74	165	257	184	168	286	291	280
246	-118	-86	159	273	193	175	323	329	317
247	-125	-97	152	260	185	168	300	307	294
248	-127	-101	144	285	198	180	357	366	351
249	-124	-98	135	289	199	181	379	390	372
250	-126	-100	137	289	199	181	354	364	348
251	-120	-98	107	295	200	182	383	394	376
252	-130	-106	131	293	199	181	363	374	357
253	-125	-106	110	296	199	181	381	393	374
254	-132	-111	126	298	199	181	386	400	379
255	-130	-111	126	302	201	183	391	406	384
256	-128	-110	124	304	202	184	392	407	385
257	-127	-109	122	303	201	182	390	405	382
258	-131	-114	117	303	200	182	389	404	381
259	-126	-110	118	302	199	181	388	403	380
260	-122	-108	117	301	198	180	386	402	379
261	-122	-109	113	301	197	179	385	402	378
262	-123	-112	112	303	198	180	389	405	381
263	-118	-106	112	300	196	179	386	402	378
264	-117	-106	111	298	195	178	384	400	376
265	-116	-106	109	295	193	176	382	398	375
266	-114	-105	108	293	192	175	381	397	374
267	-113	-105	107	290	190	173	379	394	372

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
268	-112	-105	105	287	188	171	376	392	369
269	-109	-101	106	284	187	170	374	389	366
270	-104	-94	108	282	186	169	371	387	365
271	-97	-86	112	280	185	168	368	385	363
272	-91	-80	115	278	184	167	364	381	361
273	-87	-76	116	276	182	166	360	379	359
274	-83	-72	117	273	181	165	358	377	358
275	-80	-69	117	272	181	164	356	377	358
276	-77	-66	117	265	176	158	349	370	352
277	-75	-63	117	263	174	157	346	368	350
278	-72	-61	116	261	173	156	345	368	350
279	-70	-58	116	257	171	154	341	364	347
280	-68	-57	115	254	170	153	337	361	344
281	-66	-55	114	253	170	152	337	362	345
282	-65	-53	114	252	170	153	337	363	347
283	-63	-51	113	250	170	152	335	363	347
284	-61	-49	113	245	167	149	331	359	344
285	-59	-47	112	242	165	147	328	357	342
286	-58	-46	111	239	165	146	328	357	342
287	-57	-46	109	240	166	148	331	360	346
288	-56	-44	108	239	167	148	330	361	346
289	-56	-44	106	239	170	151	332	363	349
290	-57	-45	104	242	175	156	337	369	355
291	-58	-46	101	244	178	160	341	372	359
292	-59	-47	99	239	178	160	319	346	334
293	-56	-46	112	271	188	171	361	397	386
294	-48	-39	129	405	269	245	530	588	564
295	-47	-40	131	413	269	246	530	590	565
296	-46	-40	133	420	270	246	528	590	565
297	-43	-38	138	427	271	247	515	584	561
298	-40	-36	141	433	271	247	505	579	558
299	-40	-38	142	441	272	248	515	585	561

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
300	-42	-43	140	448	274	249	525	591	564
301	-43	-47	138	455	276	251	532	596	568
302	-45	-51	136	462	278	253	539	600	570
303	-47	-55	134	468	280	254	543	603	572
304	-48	-57	132	475	281	256	546	606	573
305	-48	-60	131	480	282	257	548	607	573
306	-48	-62	130	488	285	259	554	612	577
307	-48	-65	128	494	287	261	556	613	577
308	-48	-67	127	499	288	262	557	615	578
309	-49	-70	126	504	289	263	560	617	578
310	-51	-75	124	508	289	264	561	617	578
311	-52	-78	123	513	291	266	563	619	578
312	-51	-79	122	516	291	267	563	618	577
313	-49	-81	121	515	291	267	560	613	571
314	-48	-80	120	498	281	258	533	585	543
315	-46	-79	121	490	277	254	524	574	533
316	-44	-78	121	510	288	265	541	592	549
317	-42	-76	123	518	293	270	550	600	556
318	-40	-75	125	511	289	266	542	590	545
319	-38	-73	126	477	269	247	506	547	506
320	-35	-72	128	491	278	255	520	563	519
321	-32	-70	130	525	297	272	551	595	548
322	-29	-68	132	512	289	265	538	581	535
323	-26	-66	134	507	286	262	531	573	527
324	-24	-64	135	530	300	274	552	596	548
325	-20	-62	137	532	301	275	554	599	550
326	-17	-60	139	529	299	273	548	593	545
327	-14	-58	141	534	302	276	550	596	548
328	-11	-55	143	532	301	275	547	593	545
329	-9	-54	144	537	304	278	552	600	550
330	-7	-52	145	538	305	278	551	599	550
331	-5	-49	147	535	304	276	547	596	547

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
332	-3	-49	148	536	305	278	549	598	548
333	-1	-47	149	528	301	274	541	590	541
334	1	-46	152	527	301	274	540	590	540
335	3	-43	153	528	302	275	541	592	542
336	5	-41	155	525	301	274	538	589	540
337	7	-38	157	524	302	274	536	589	540
338	9	-36	158	522	302	275	534	588	539
339	10	-34	159	521	303	275	533	587	539
340	10	-32	160	518	303	275	532	589	540
341	11	-30	161	514	302	274	528	586	539
342	12	-29	161	510	301	273	524	583	537
343	14	-27	161	506	300	272	519	579	533
344	15	-26	160	501	298	270	513	574	530
345	16	-26	160	500	300	271	515	578	534
346	17	-25	160	497	299	270	512	576	532
347	17	-24	160	497	299	271	513	577	533
348	18	-24	159	493	298	270	508	573	530
349	19	-23	159	489	296	268	502	568	527
350	19	-23	159	491	298	270	506	572	532
351	19	-24	159	489	297	269	504	570	530
352	19	-27	161	497	298	270	511	575	534
353	13	-42	150	483	280	253	424	468	433
354	1	-52	112	447	264	239	286	323	293
355	-3	-57	96	367	212	191	188	213	192
356	-7	-70	96	384	211	188	266	296	270
357	-10	-75	96	466	268	242	369	403	373
358	-6	-79	108	463	268	243	364	398	367
359	-3	-75	110	438	265	241	339	373	343
360	-6	-80	104	391	243	224	326	362	330
361	-9	-87	97	407	255	236	345	384	350
362	-12	-95	91	285	165	151	240	271	243
363	-14	-101	85	443	267	247	430	479	433

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
364	-14	-106	79	571	349	323	556	618	558
365	-17	-109	73	575	355	328	560	622	560
366	-19	-111	69	577	361	335	562	624	561
367	-26	-114	65	580	367	342	564	624	563
368	-29	-117	62	551	360	336	512	564	510
369	-30	-116	59	587	381	355	564	622	561
370	-31	-117	57	590	388	362	573	630	566
371	-31	-117	56	594	396	369	579	638	572
372	-28	-117	55	595	403	376	578	638	571
373	-21	-119	53	602	415	387	587	648	579
374	-16	-117	51	597	415	387	578	639	570
375	-12	-117	49	599	420	393	579	640	571
376	-15	-123	44	603	423	398	584	646	575
377	-18	-126	37	600	418	397	578	639	569
378	-14	-126	32	606	423	402	585	648	576
379	-8	-123	27	602	421	399	580	643	571
380	-10	-123	22	594	416	393	570	632	562
381	-9	-124	17	603	423	398	577	640	568
382	-8	-124	14	607	427	401	582	646	574
383	-10	-123	11	605	427	399	579	642	570
384	-12	-123	9	603	426	397	575	639	567
385	-8	-121	7	606	429	399	578	642	569
386	-5	-120	7	613	436	406	587	652	578
387	-9	-118	6	615	439	409	589	655	580
388	-14	-118	5	615	441	410	589	655	580
389	-21	-116	4	614	441	409	586	651	576
390	-22	-101	-13	547	406	372	500	555	492
391	27	-48	42	657	522	471	575	650	578
392	113	50	146	657	497	452	443	554	529
393	120	60	156	647	473	429	411	518	500
394	123	64	161	640	462	418	401	507	489
395	114	82	136	465	390	358	278	372	382

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
396	104	102	114	274	299	278	145	223	251
397	115	121	134	359	379	352	169	263	281
398	111	123	137	357	376	346	161	251	263
399	109	120	139	354	374	342	156	245	254
400	110	124	140	352	372	340	152	240	248
401	112	124	140	354	371	340	149	236	243
402	109	122	140	351	369	338	146	234	239
403	108	119	143	349	367	334	143	230	234
404	108	117	144	351	366	331	140	227	230
405	109	118	145	349	360	327	135	222	225
406	114	121	151	352	359	326	132	220	222
407	118	123	155	354	361	327	129	217	220
408	119	125	155	356	361	328	127	215	219
409	121	129	160	359	361	328	125	213	217
410	123	133	164	364	362	328	123	210	215
411	126	138	170	370	365	329	120	207	214
412	130	142	175	379	372	332	119	207	215
413	133	147	179	380	370	334	118	205	214
414	136	151	185	378	368	336	116	203	213
415	141	156	191	377	368	334	115	201	213
416	146	161	195	373	362	327	111	196	211
417	148	163	197	379	366	329	112	196	214
418	150	165	200	374	359	323	109	192	211
419	151	166	202	382	366	329	110	195	217
420	152	167	203	387	370	333	111	197	221
421	154	167	205	386	369	332	109	195	220
422	155	167	206	355	339	305	99	178	201
423	156	168	208	347	331	299	97	174	197
424	158	169	209	347	330	298	96	172	196
425	158	169	210	369	352	317	101	181	208
426	160	170	212	338	321	289	91	164	189
427	162	172	214	374	355	320	101	182	209

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
428	164	174	216	332	315	284	88	160	184
429	165	175	218	365	346	312	96	174	200
430	166	175	219	362	342	308	94	170	196
431	167	176	221	362	342	308	92	168	194
432	168	176	223	367	346	312	92	169	195
433	169	177	226	367	346	311	92	168	194
434-720	คอมพิวเตอร์มีปัญหาเก็บข้อมูลไม่ได้								
721	12	26	-22	151	93	133	332	414	451
722	27	39	-11	172	122	159	348	430	467
723	41	44	1	187	144	182	366	452	489
724	42	42	4	193	151	188	379	470	507
725	41	37	2	198	155	192	394	488	525
726	38	31	0	205	157	194	407	502	539
727	38	31	4	206	157	190	411	508	545
728	36	27	4	208	159	190	422	522	559
729	31	18	-1	211	157	192	439	539	576
730	26	12	-5	215	162	196	450	549	586
731	23	12	-8	222	167	200	463	558	595
732	19	7	-12	227	170	205	477	565	602
733	14	3	-14	236	174	211	488	571	608
734	8	-2	-18	252	180	219	498	577	614
735	2	-6	-18	264	184	225	505	583	620
736	-2	-9	-18	272	188	230	511	588	625
737	-8	-14	-22	280	191	235	518	594	631
738	-10	-15	-24	287	195	241	523	604	641
739	-13	-15	-24	293	198	246	528	611	648
740	-19	-17	-25	298	201	251	532	616	653
741	-22	-21	-27	304	207	257	537	620	657
742	-22	-24	-27	310	211	263	547	622	657
743	-22	-24	-25	315	215	267	554	624	659
744	-24	-27	-28	320	218	271	559	626	661
745	-26	-28	-28	325	222	276	563	628	663

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
746	-25	-25	-29	330	225	281	565	629	664
747	-25	-19	-30	335	227	285	566	630	665
748	-20	-15	-26	340	229	288	567	630	665
749	-20	-20	-25	344	231	291	570	632	667
750	-35	-31	-24	349	232	294	573	633	668
751	-55	-51	-22	354	233	297	576	635	670
752	-63	-64	-22	362	238	304	578	638	673
753	-62	-61	-27	371	245	311	580	639	674
754	-54	-55	-16	379	250	318	582	641	676
755	-52	-58	-26	388	253	324	583	641	676
756	-58	-63	-28	397	261	332	585	642	677
757	-55	-60	-21	406	265	341	586	643	678
758	-48	-50	-9	413	266	347	588	643	678
759	-50	-60	-17	421	266	352	586	644	679
760	-63	-77	-32	430	269	358	588	644	679
761	-61	-79	-34	449	281	372	593	649	684
762	-40	-53	-9	465	289	381	592	649	684
763	-32	-42	4	477	290	385	592	648	683
764	-42	-60	-7	492	297	390	594	651	686
765	-52	-74	-25	511	312	402	596	652	687
766	-56	-81	-33	526	327	416	597	653	688
767	-55	-81	-33	538	336	425	597	654	689
768	-62	-85	-34	548	342	429	598	655	690
769	-68	-88	-35	556	348	436	598	656	691
770	-76	-94	-37	563	355	442	599	657	692
771	-81	-96	-37	570	363	451	600	658	693
772	-84	-96	-36	576	369	457	600	658	693
773	-88	-101	-36	582	376	466	600	659	694
774	-90	-108	-37	588	383	474	600	660	695
775	-90	-111	-37	592	390	484	599	660	695
776	-89	-115	-37	597	396	492	599	660	695
777	-84	-115	-35	601	401	501	600	661	696

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
778	-78	-115	-34	604	405	509	599	661	696
779	-73	-112	-30	607	409	516	599	661	696
780	-71	-110	-20	610	412	525	599	662	697
781	-68	-113	-11	612	414	532	599	662	697
782	-77	-127	-7	614	416	538	599	663	698
783	-88	-144	5	616	420	545	599	664	699
784	-90	-150	13	620	427	556	600	665	700
785	-81	-133	5	623	436	568	600	666	701
786	-73	-114	2	629	445	577	601	667	702
787	-70	-94	13	646	452	582	601	667	702
788	-74	-90	4	656	461	589	601	668	703
789	-79	-89	2	660	473	595	602	668	703
790	-83	-89	1	663	486	600	603	669	704
791	-84	-88	7	665	502	605	603	669	704
792	-81	-85	9	666	516	609	602	670	705
793	-87	-94	7	668	532	613	602	669	704
794	-88	-104	7	669	551	616	602	669	704
795	-73	-106	9	670	570	619	601	669	704
796	-61	-104	11	671	580	620	601	669	701
797	-51	-107	12	671	589	622	601	669	701
798	-43	-108	12	672	597	624	601	669	701
799	-30	-103	12	673	604	626	601	669	701
800	-20	-92	13	674	611	629	601	670	698
801	-10	-70	16	675	616	632	601	670	698
802	-4	-49	19	676	620	635	601	670	698
803	-1	-31	34	676	623	646	601	670	698
804	5	-18	40	676	626	665	600	670	698
805	7	-11	43	676	628	667	600	670	698
806	10	-4	44	677	631	669	599	670	698
807	12	1	46	677	633	670	598	670	698
808	17	7	46	677	635	670	598	670	698
809	17	11	48	678	637	672	598	670	698

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
810	22	13	48	678	639	672	597	670	698
811	26	17	51	678	643	672	597	669	705
812	28	28	53	678	662	673	596	669	705
813	25	28	53	678	671	674	596	669	705
814	25	18	51	679	675	675	596	670	706
815	34	16	49	680	678	677	597	671	707
816	48	17	73	674	673	671	583	656	692
817	58	31	77	683	685	679	596	670	706
818	95	93	75	687	689	683	593	668	636
819	109	113	79	688	690	683	590	666	633
820	120	124	79	688	691	683	589	664	631
821	130	129	79	689	692	683	587	663	630
822	142	141	83	690	693	684	582	659	625
823	159	163	89	691	693	685	564	646	612
824	185	196	97	691	694	685	520	575	578
825	180	186	90	692	695	687	530	540	590
826	178	183	88	693	696	688	535	623	599
827	176	179	87	693	696	688	542	610	605
828	162	159	79	693	697	688	575	652	625
829	162	160	73	693	698	689	586	661	630
830	162	160	70	693	698	689	592	666	634
831	162	161	67	693	700	690	595	669	636
832	156	156	63	694	701	692	597	671	637
833	82	75	21	700	715	706	600	677	644
834	77	73	19	703	718	710	606	683	651
835	75	70	19	704	719	711	606	684	651
836	72	54	19	706	720	712	608	686	652
837	66	40	18	706	721	712	608	686	653
838	48	34	17	706	720	712	607	685	651
839	36	32	17	706	720	712	607	686	652
840	33	31	16	707	720	712	607	686	651
841	31	30	16	707	720	712	607	686	651

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
842	29	29	15	707	720	712	606	686	651
843	28	28	15	708	720	712	607	687	652
844	28	28	14	708	721	712	608	688	653
845	29	30	15	709	721	713	609	688	653
846	29	32	15	709	721	713	608	688	653
847	31	33	17	710	721	713	608	688	653
848	32	32	17	710	721	713	607	688	652
849	33	32	17	710	721	713	607	688	652
850	35	32	18	710	721	713	606	687	651
851	36	32	18	710	721	712	606	687	650
852	33	31	18	709	720	711	604	686	649
853	34	31	18	708	719	710	603	685	648
854	35	31	18	708	719	709	602	685	648
855	34	31	18	707	719	709	601	684	647
856	34	33	18	708	719	710	601	684	647
857	33	32	18	708	720	710	600	684	647
858	34	31	18	708	719	709	600	683	646
859	36	31	18	708	719	709	599	683	646
860	38	32	18	708	718	709	599	682	645
861	37	32	18	707	718	708	598	681	645
862	35	32	18	708	717	708	597	681	644
863	35	32	17	708	718	709	597	680	644
864	31	29	16	709	717	708	596	680	644
865	29	27	15	709	716	708	594	680	643
866	28	26	14	708	714	706	592	678	641
867	27	24	14	705	709	702	589	676	639
868	25	23	12	702	705	700	586	674	637
869	26	24	5	700	702	698	583	670	634

2. การทดลองช่วงเลี้ยงเชื้อ

2.1. การทดลองค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ Open Circuit Voltage ช่วงเดินระบบ

ตาราง ข2.1 ผลการทดลองค่าความต่างศักย์ในรูปแบบ Open Circuit Voltage ช่วงเดินระบบในการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณี

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
1	81	75	20	701	716	707	601	679	646
2	77	72	19	704	719	710	606	684	651
3	73	60	19	705	720	711	607	685	651
4	66	40	18	706	721	712	608	686	653
5	43	34	17	706	720	712	607	686	651
6	33	32	16	707	720	712	607	686	652
7	31	30	16	707	720	712	607	686	651
8	29	29	15	707	720	712	606	686	651
9	28	28	14	708	720	712	608	687	652
10	29	30	14	709	721	713	609	688	653
11	30	32	16	709	721	713	608	688	653
12	32	33	17	710	721	713	607	688	652
13	33	32	17	710	721	713	607	688	652
14	35	32	18	710	721	713	606	687	651
15	35	31	18	709	720	712	605	686	650
16	34	31	18	708	719	710	603	685	649
17	35	31	18	708	719	709	602	685	648
18	34	32	18	708	719	709	601	684	647
19	34	32	18	708	720	710	601	684	647
20	34	32	18	708	719	709	600	683	646
21	36	32	18	708	719	709	599	683	645
22	38	32	18	707	718	709	598	682	645
23	35	32	18	707	717	708	597	681	644
24	34	31	17	708	717	709	597	680	644
25	29	28	16	709	717	708	595	680	643
26	28	26	15	708	714	706	593	679	642

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
27	27	24	14	704	708	702	589	676	639
28	25	23	9	701	704	699	585	672	636
29-313	เก็บข้อมูลหลังการทดลองโพลาริเซชันครั้งที่ 2								
314	283	85	97	444	407	427	330	339	331
315	426	300	106	409	374	408	273	255	313
316	462	342	112	395	351	394	259	235	297
317	485	357	123	380	348	379	238	208	277
318	468	342	95	428	395	429	287	255	334
319	455	331	74	428	399	429	300	262	350
320	458	346	72	386	356	386	249	215	313
321	478	370	93	344	316	345	194	166	271
322	487	377	110	417	384	418	223	197	330
323	493	394	138	422	388	422	201	186	327
324	504	398	169	421	388	422	174	172	314
325	517	436	209	388	358	390	143	146	272
326	522	456	239	429	394	431	142	151	277
327	529	466	265	406	376	408	113	128	241
328	531	450	285	413	382	414	99	121	224
329	543	486	305	386	356	388	78	105	194
330	557	500	332	378	346	381	47	78	161
331	583	527	365	338	309	344	32	64	136
332	563	509	344	432	392	436	68	105	189
333	536	469	310	332	308	341	31	56	116
334	516	453	280	280	261	283	35	54	103
335	536	463	292	378	350	385	85	96	176
336	485	393	310	446	396	442	28	54	155
337	492	413	270	498	441	496	56	101	113
338	462	385	187	626	573	629	190	240	297
339	466	375	212	484	427	486	74	118	180
340	491	396	239	565	503	569	135	185	254

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
341	377	278	128	682	626	687	318	369	449
342	359	271	88	546	498	551	245	294	381
343	404	340	65	412	373	417	123	170	268
344	445	384	88	368	328	363	74	118	223
345	513	446	204	423	383	406	114	158	292
346	533	462	278	256	229	244	36	69	210
347	582	509	353	229	210	222	56	83	226
348	650	575	440	271	255	261	115	138	264
349	625	547	428	260	239	248	51	83	209
350	612	532	432	182	159	164	-64	-28	85
351	491	421	346	-53	-70	-51	-200	-182	-80
352	478	416	355	-19	-32	-17	-140	-122	-33
353	534	471	410	20	10	20	-87	-76	7
354	570	502	440	55	44	55	-68	-56	17
355	613	546	477	117	104	119	-54	-39	45
356	647	576	489	90	80	92	-51	-38	22
357	677	609	516	85	75	87	-47	-34	16
358	688	620	521	105	94	109	-48	-33	47
359	694	624	517	74	65	76	-45	-32	70
360	517	454	362	288	232	291	-46	-7	50
361	506	442	375	475	406	480	-66	-12	50
362	530	470	394	508	438	516	-83	-28	41
363	594	509	391	574	468	587	-48	11	91
364	654	573	387	659	496	674	-46	26	113
365	653	603	362	692	563	700	-1	79	176
366	619	576	312	705	603	714	71	149	254
367	563	513	274	505	442	509	127	170	303
368	600	569	313	243	217	245	75	96	238
369	540	515	306	184	166	184	9	31	173
370	584	557	348	311	284	312	34	68	194

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
371	532	512	333	275	250	276	7	38	164
372	476	455	293	178	156	177	-42	-16	97
373	529	507	351	176	160	175	-32	-12	90
374	578	552	402	230	204	229	-77	-52	37
375	423	394	252	145	113	148	-266	-231	-148
376	509	480	361	250	213	248	-195	-164	-91
377	711	680	571	400	374	403	50	82	166
378	590	563	473	295	280	294	89	102	163
379	564	534	436	184	171	182	14	27	76
380	208	139	5	395	355	391	192	226	306
381	427	351	187	576	502	574	172	223	324
382	631	582	419	486	441	484	-70	-28	30
383	654	608	435	508	463	506	-46	-7	56
384	648	604	425	592	544	590	-39	0	69
385	662	621	457	577	301	577	-71	-31	48
386	718	679	526	590	448	588	-104	-65	23
387	721	684	546	604	422	601	-118	-76	21
388	508	483	393	492	442	489	-119	-83	23
389	252	239	193	346	305	343	-134	-106	28
390	184	176	143	160	136	159	-120	-103	38
391	191	184	167	168	150	167	-44	-30	112
392	177	171	159	194	175	193	-38	-23	103
393	134	128	121	153	135	151	-64	-50	76
394	134	130	125	157	138	156	-64	-50	64
395	143	139	136	163	144	162	-55	-41	61
396	124	120	119	137	114	136	-73	-59	29
397	108	105	104	90	65	88	-103	-91	-8
398	116	113	112	101	83	100	-79	-67	6
399	99	96	95	90	74	89	-98	-85	-1
400	114	112	112	100	81	99	-78	-67	-7

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
401	120	117	117	91	72	90	-71	-61	0
402	112	108	109	83	60	84	-63	-56	-6
403	163	159	158	77	63	78	-54	-47	3
404	198	194	192	182	162	182	-55	-45	5
405	248	243	238	155	138	155	-50	-39	11
406	251	245	239	150	135	151	-45	-37	13
407	275	268	260	177	160	177	-44	-36	14
408-505	เก็บข้อมูลหลังการทดลองโพลาริเซชันครั้งที่ 3								
506	225	225	213	312	212	94	-25	-10	-28
507	242	242	227	285	193	285	-28	-12	-33
508	283	284	265	481	326	477	-23	2	-31
509	279	281	262	551	365	565	-25	4	-32
510	268	270	252	572	363	587	-27	1	-34
511	274	276	258	370	224	382	-31	-9	-35
512	298	300	280	332	201	342	-32	-12	-36
513	328	330	309	453	273	468	-32	-8	-36
514	301	302	282	471	289	488	-32	-8	-36
515	284	285	267	432	251	449	-32	-10	-37
516	309	310	289	353	199	364	-34	-13	-38
517	254	255	238	368	198	380	-33	-13	-37
518	184	185	172	135	64	142	-38	-27	-40
519	108	108	99	107	46	111	-38	-29	-40
520	146	145	135	97	49	102	-38	-29	-40
521	124	123	115	174	127	183	-37	-25	-39
522	357	353	331	157	104	165	-37	-24	-39
523	349	344	324	275	177	287	-34	-15	-37
524	543	535	506	460	251	477	-30	0	-35
525	474	468	440	600	302	622	-29	7	-33
526	501	495	465	526	241	546	-27	7	-32
527	212	209	195	160	72	167	-34	-21	-36

เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (มิลลิโวลต์)								
	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
528	310	306	285	226	132	235	-30	-13	-32
529	179	176	160	167	93	174	-18	-2	-24
530	558	559	523	514	241	536	-11	18	-21
531	762	741	691	695	262	722	-10	33	-22
532	734	720	666	690	252	712	-16	30	-26
533	772	764	711	697	259	714	-17	31	-26
534	776	783	724	706	261	720	-18	31	-26
535	775	786	719	703	260	719	-19	31	-26
536	774	785	711	707	260	718	-20	31	-26
537	774	785	706	705	257	722	-24	28	-28
538	776	788	705	701	261	724	-26	29	-29
539	778	793	704	700	258	721	-32	25	-33
540	779	798	704	695	247	715	-41	16	-40
541	779	805	702	694	251	716	-38	23	-39
542	775	801	703	677	239	699	-49	8	-51
543	776	800	700	661	225	684	-47	1	-51
544	780	807	697	690	226	714	-41	16	-42

2.2 การทดลองเลือกความต้านทาน (polarization) ของการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณี

ตาราง ข2.2.1 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	0.09	0.0009	0.0001	0.0018	0.045
250	0.33	0.0013	0.0004	0.0018	0.242
680	0.72	0.0011	0.0008	0.0018	0.424
1,000	1.55	0.0016	0.0024	0.0018	1.335
2,200	3.24	0.0015	0.0048	0.0018	2.651
3,300	4.90	0.0015	0.0073	0.0018	4.042
5,100	6.92	0.0014	0.0094	0.0018	5.216
6,800	9.85	0.0015	0.0143	0.0018	7.927

ตาราง ข2.2.1 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10,000	23.60	0.0024	0.0557	0.0018	30.94
47,000	41.85	0.0009	0.0373	0.0018	20.70

ตาราง ข2.2.2 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	0.01	0.0001	0.000001	0.0018	0.001
250	0.20	0.0008	0.0002	0.0018	0.089
680	0.44	0.0007	0.0003	0.0018	0.158
1,000	1.15	0.0012	0.0013	0.0018	0.735
2,200	2.55	0.0012	0.0030	0.0018	1.642
3,300	3.94	0.0012	0.0047	0.0018	2.613
5,100	5.63	0.0011	0.0062	0.0018	3.453
6,800	8.38	0.0012	0.0103	0.0018	5.737
10,000	16.20	0.0016	0.0262	0.0018	14.58
47,000	40.95	0.0009	0.0357	0.0018	19.82

ตาราง ข2.2.3 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	-0.23	-0.0023	0.0005	0.0018	0.294
250	-0.54	-0.0022	0.0012	0.0018	0.648
680	-1.29	-0.0019	0.0025	0.0018	1.360
1,000	-1.64	-0.0016	0.0027	0.0018	1.494
2,200	-2.90	-0.0013	0.0038	0.0018	2.124
3,300	-3.72	-0.0011	0.0042	0.0018	2.330
5,100	-4.84	-0.0010	0.0046	0.0018	2.552
6,800	-5.09	-0.0008	0.0038	0.0018	2.117
10,000	-0.76	-0.0001	0.0001	0.0018	0.032
47,000	16.36	0.0004	0.0057	0.0018	3.164

ตาราง ข2.2.4 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	0.25	0.0025	0.0006	0.0018	0.347
250	0.93	0.0037	0.0035	0.0018	1.922
680	1.54	0.0023	0.0035	0.0018	1.938
1,000	3.47	0.0035	0.0120	0.0018	6.689
2,200	6.19	0.0028	0.0174	0.0018	9.676
3,300	8.98	0.0027	0.0244	0.0018	13.58
5,100	15.49	0.0030	0.0471	0.0018	26.14
6,800	16.90	0.0025	0.0420	0.0018	23.33
10,000	25.52	0.0026	0.0651	0.0018	36.18
47,000	91.07	0.0019	0.1765	0.0018	98.03

ตาราง ข2.2.5 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	0.53	0.0053	0.0028	0.0018	1.561
250	0.96	0.0038	0.0037	0.0018	2.048
680	2.03	0.0030	0.0061	0.0018	3.367
1,000	3.14	0.0031	0.0099	0.0018	5.478
2,200	7.26	0.0033	0.0240	0.0018	13.31
3,300	10.80	0.0033	0.0354	0.0018	19.64
5,100	16.20	0.0032	0.0515	0.0018	28.59
6,800	17.21	0.0025	0.0436	0.0018	24.20
10,000	27.14	0.0027	0.0737	0.0018	40.92
47,000	92.32	0.0020	0.1813	0.0018	100.7

ตาราง ข2.2.6 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	0.46	0.0046	0.0021	0.0018	1.176
250	0.76	0.0030	0.0023	0.0018	1.284

ตาราง ข2.2.6 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
680	1.78	0.0026	0.0047	0.0018	2.589
1,000	2.89	0.0029	0.0084	0.0018	4.640
2,200	6.33	0.0029	0.0182	0.0018	10.12
3,300	9.03	0.0027	0.0247	0.0018	13.73
5,100	13.46	0.0026	0.0355	0.0018	19.74
6,800	16.05	0.0024	0.0379	0.0018	21.05
10,000	24.68	0.0025	0.0609	0.0018	33.84
47,000	88.69	0.0019	0.1674	0.0018	92.98

ตาราง ข2.2.7 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxitic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	-0.23	-0.0023	0.0005	0.0018	0.294
250	-0.57	-0.0023	0.0013	0.0018	0.722
680	-1.33	-0.0020	0.0026	0.0018	1.445
1,000	-1.55	-0.0016	0.0024	0.0018	1.335
2,200	-2.92	-0.0013	0.0039	0.0018	2.153
3,300	-3.74	-0.0011	0.0042	0.0018	2.355
5,100	-5.59	-0.0011	0.0061	0.0018	3.404
6,800	-5.79	-0.0009	0.0049	0.0018	2.739
10,000	-7.02	-0.0007	0.0049	0.0018	2.738
47,000	13.82	0.0003	0.0041	0.0018	2.258

ตาราง ข2.2.8 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxitic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	30.59	0.3059	9.3575	0.0018	5199
250	0.53	0.0021	0.0011	0.0018	0.624
680	1.03	0.0015	0.0016	0.0018	0.867
1,000	1.75	0.0018	0.0031	0.0018	1.701
2,200	3.72	0.0017	0.0063	0.0018	3.495
3,300	5.42	0.0016	0.0089	0.0018	4.946

ตาราง ข2.2.8 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
5,100	8.27	0.0016	0.0134	0.0018	7.450
6,800	10.66	0.0016	0.0167	0.0018	9.284
10,000	14.22	0.0014	0.0202	0.0018	11.23
47,000	55.75	0.0012	0.0661	0.0018	36.74

ตาราง ข2.2.9 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
100	0.04	0.0004	0.00002	0.0018	0.009
250	0.00	0.0000	0.0000	0.0018	0.000
680	-0.04	-0.0001	0.0000	0.0018	0.001
1,000	0.45	0.0005	0.0002	0.0018	0.113
2,200	1.41	0.0006	0.0009	0.0018	0.502
3,300	2.31	0.0007	0.0016	0.0018	0.898
5,100	3.32	0.0007	0.0022	0.0018	1.201
6,800	5.63	0.0008	0.0047	0.0018	2.590
10,000	7.64	0.0008	0.0058	0.0018	3.243
47,000	43.68	0.0009	0.0406	0.0018	22.55

ตาราง ข2.2.10 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 1 ในการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณีส

Channel	Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/ m^2)
01	10,000	23.60	0.0024	0.0557	30.94
02	47,000	40.95	0.0009	0.0357	19.82
03	47,000	16.36	0.0004	0.0057	3.164
04	47,000	91.07	0.0019	0.1765	98.03
05	47,000	92.32	0.0020	0.1813	100.7
06	47,000	88.69	0.0019	0.1674	92.98
07	5,100	-5.590	-0.0011	0.0061	3.404
08	100	30.59	0.3059	9.3575	5199
09	47,000	43.68	0.0009	0.0406	22.55

ตาราง ข2.2.11 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.010	0.0010	0.0000	0.0018	0.006
51	0.020	0.0004	0.0000	0.0018	0.004
70	0.060	0.0009	0.0001	0.0018	0.029
100	0.190	0.0019	0.0004	0.0018	0.201
250	0.542	0.0022	0.0012	0.0018	0.653
680	1.953	0.0029	0.0056	0.0018	3.116
1,000	3.020	0.0030	0.0091	0.0018	5.067
2,200	6.670	0.0030	0.0202	0.0018	11.23
3,300	9.770	0.0030	0.0289	0.0018	16.07
5,100	22.53	0.0044	0.0995	0.0018	55.29
6,800	19.99	0.0029	0.0588	0.0018	32.65
10,000	33.63	0.0034	0.1131	0.0018	62.83
47,000	122.2	0.0026	0.3178	0.0018	176.6
50,000	116.0	0.0023	0.2693	0.0018	149.6

ตาราง ข2.2.12 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.060	0.0060	0.0004	0.0018	0.200
51	0.230	0.0045	0.0010	0.0018	0.576
70	0.300	0.0043	0.0013	0.0018	0.714
100	0.490	0.0049	0.0024	0.0018	1.334
250	1.160	0.0046	0.0054	0.0018	2.990
680	3.250	0.0048	0.0155	0.0018	8.629
1,000	5.220	0.0052	0.0272	0.0018	15.14
2,200	10.17	0.0046	0.0470	0.0018	26.12
3,300	13.09	0.0040	0.0519	0.0018	28.85
5,100	45.88	0.0090	0.4127	0.0018	229.3
6,800	18.55	0.0027	0.0506	0.0018	28.11
10,000	33.26	0.0033	0.1106	0.0018	61.46
47,000	134.7	0.0029	0.3862	0.0018	214.6

ตาราง ข2.2.12 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
50,000	134.3	0.0027	0.3608	0.0018	200.4

ตาราง ข2.2.13 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.010	0.0010	0.00001	0.0018	0.006
51	-0.030	-0.0006	0.00002	0.0018	0.010
70	-0.050	-0.0007	0.00004	0.0018	0.020
100	-0.030	-0.0003	0.00001	0.0018	0.005
250	-0.060	-0.0002	0.00001	0.0018	0.008
680	-0.190	-0.0003	0.0001	0.0018	0.029
1,000	-0.450	-0.0005	0.0002	0.0018	0.113
2,200	-0.540	-0.0002	0.0001	0.0018	0.074
3,300	1.530	0.0005	0.0007	0.0018	0.394
5,100	11.71	0.0023	0.0269	0.0018	14.94
6,800	7.140	0.0011	0.0075	0.0018	4.165
10,000	18.91	0.0019	0.0358	0.0018	19.87
47,000	110.6	0.0024	0.2604	0.0018	144.7
50,000	107.5	0.0021	0.2310	0.0018	128.3

ตาราง ข2.2.14 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.050	0.0050	0.0003	0.0018	0.139
51	0.230	0.0045	0.0010	0.0018	0.576
70	0.280	0.0040	0.0011	0.0018	0.622
100	0.340	0.0034	0.0012	0.0018	0.642
250	0.860	0.0034	0.0030	0.0018	1.644
680	2.300	0.0034	0.0078	0.0018	4.322
1,000	4.880	0.0049	0.0238	0.0018	13.23
2,200	16.67	0.0076	0.1263	0.0018	70.17
3,300	14.91	0.0045	0.0674	0.0018	37.43

ตาราง ข2.2.14 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
5,100	19.35	0.0038	0.0734	0.0018	40.79
6,800	30.48	0.0045	0.1366	0.0018	75.90
10,000	38.29	0.0038	0.1466	0.0018	81.45
47,000	134.8	0.0029	0.3867	0.0018	214.8
50,000	140.2	0.0028	0.3932	0.0018	218.5

ตาราง ข2.2.15 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.130	0.0130	0.0130	0.0018	7.222
51	0.590	0.0116	0.0116	0.0018	6.427
70	0.870	0.0124	0.0124	0.0018	6.905
100	1.010	0.0101	0.0101	0.0018	5.611
250	2.860	0.0114	0.0114	0.0018	6.356
680	6.480	0.0095	0.0095	0.0018	5.294
1,000	14.00	0.0140	0.0140	0.0018	7.778
2,200	23.48	0.0107	0.0107	0.0018	5.929
3,300	39.22	0.0119	0.0119	0.0018	6.603
5,100	51.76	0.0101	0.0101	0.0018	5.638
6,800	79.22	0.0117	0.0117	0.0018	6.472
10,000	99.04	0.0099	0.0099	0.0018	5.502
47,000	231.6	0.0049	0.0049	0.0018	2.737
50,000	262.6	0.0053	0.0053	0.0018	2.918

ตาราง ข2.2.16 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.030	0.0030	0.0001	0.0018	0.050
51	0.100	0.0020	0.0002	0.0018	0.109
70	0.100	0.0014	0.0001	0.0018	0.079
100	0.150	0.0015	0.0002	0.0018	0.125
250	0.280	0.0011	0.0003	0.0018	0.174

ตาราง ข2.2.16 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
680	0.850	0.0013	0.0011	0.0018	0.590
1,000	1.660	0.0017	0.0028	0.0018	1.531
2,200	3.140	0.0014	0.0045	0.0018	2.490
3,300	5.340	0.0016	0.0086	0.0018	4.801
5,100	8.000	0.0016	0.0125	0.0018	6.972
6,800	8.200	0.0012	0.0099	0.0018	5.493
10,000	10.63	0.0011	0.0113	0.0018	6.278
47,000	85.98	0.0018	0.1573	0.0018	87.38
50,000	86.85	0.0017	0.1509	0.0018	83.81

ตาราง ข2.2.17 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.000	0.0000	0.0000	0.0018	0.000
51	-0.090	-0.0018	0.0002	0.0018	0.088
70	-0.120	-0.0017	0.0002	0.0018	0.114
100	-0.170	-0.0017	0.0003	0.0018	0.161
250	-0.490	-0.0020	0.0010	0.0018	0.534
680	-1.350	-0.0020	0.0027	0.0018	1.489
1,000	-2.250	-0.0023	0.0051	0.0018	2.813
2,200	-4.790	-0.0022	0.0104	0.0018	5.794
3,300	-8.110	-0.0025	0.0199	0.0018	11.07
5,100	-44.93	-0.0088	0.3958	0.0018	219.9
6,800	-15.27	-0.0022	0.0343	0.0018	19.05
10,000	-62.57	-0.0063	0.3915	0.0018	217.5
47,000	-46.02	-0.0010	0.0451	0.0018	25.03
50,000	-46.05	-0.0009	0.0424	0.0018	23.56

ตาราง ข2.2.18 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.010	0.0010	0.0000	0.0018	0.006

ตาราง ข2.2.18 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
51	-0.020	-0.0004	0.0000	0.0018	0.004
70	-0.020	-0.0003	0.0000	0.0018	0.003
100	-0.030	-0.0003	0.0000	0.0018	0.005
250	-0.130	-0.0005	0.0001	0.0018	0.038
680	-0.360	-0.0005	0.0002	0.0018	0.106
1,000	-0.610	-0.0006	0.0004	0.0018	0.207
2,200	-1.420	-0.0006	0.0009	0.0018	0.509
3,300	-1.910	-0.0006	0.0011	0.0018	0.614
5,100	-8.440	-0.0017	0.0140	0.0018	7.760
6,800	-6.700	-0.0010	0.0066	0.0018	3.667
10,000	-15.43	-0.0015	0.0238	0.0018	13.23
47,000	-29.55	-0.0006	0.0186	0.0018	10.32
50,000	-31.77	-0.0006	0.0202	0.0018	11.21

ตาราง ข2.2.19 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxalic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	-0.020	-0.0020	0.0000	0.0018	0.022
51	-0.240	-0.0047	0.0011	0.0018	0.627
70	-0.310	-0.0044	0.0014	0.0018	0.763
100	-0.400	-0.0040	0.0016	0.0018	0.889
250	-1.090	-0.0044	0.0048	0.0018	2.640
680	-3.000	-0.0044	0.0132	0.0018	7.353
1,000	-5.160	-0.0052	0.0266	0.0018	14.79
2,200	-10.75	-0.0049	0.0525	0.0018	29.18
3,300	-15.71	-0.0048	0.0748	0.0018	41.55
5,100	-28.89	-0.0057	0.1637	0.0018	90.92
6,800	-31.29	-0.0046	0.1440	0.0018	79.99
10,000	-47.16	-0.0047	0.2224	0.0018	123.6
47,000	-80.90	-0.0017	0.1393	0.0018	77.36
50,000	-80.66	-0.0016	0.1301	0.0018	72.29

ตาราง ข2.2.20 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 2 ในการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณี

Channel	Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)
01	47,000	122	0.003	0.318	177
02	5,100	46	0.009	0.413	229
03	47,000	111	0.002	0.260	145
04	50,000	140	0.003	0.393	218
05	50,000	263	0.005	1.379	766
06	47,000	86	0.002	0.157	87
07	5,100	-45	0.396	0.396	220
08	10,000	-15	-0.002	0.024	13
09	10,000	-47	-0.005	0.222	124

ตาราง ข2.2.21 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m ²)	Power Density (μ W/m ²)
10	0.282	0.0282	0.0080	0.0018	4.418
51	0.358	0.0070	0.0025	0.0018	1.396
100	1.215	0.0122	0.0148	0.0018	8.201
250	2.602	0.0104	0.0271	0.0018	15.05
680	0.802	0.0012	0.0009	0.0018	0.525
1000	11.11	0.0111	0.1235	0.0018	68.59
3300	32.09	0.0097	0.3120	0.0018	173.3
6800	66.87	0.0098	0.6576	0.0018	365.3
10000	86.06	0.0086	0.7406	0.0018	411.4
47000	352.7	0.0075	2.6462	0.0018	1470
69000	109.0	0.0016	0.1721	0.0018	95.59

ตาราง ข2.2.22 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m ²)	Power Density (μ W/m ²)
10	0.213	0.0213	0.0045	0.0018	2.521
51	0.058	0.0011	0.0001	0.0018	0.037
100	0.508	0.0051	0.0026	0.0018	1.434
250	2.568	0.0103	0.0264	0.0018	14.65

ตาราง ข2.2.22 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
680	6.574	0.0097	0.0636	0.0018	35.31
1000	7.448	0.0074	0.0555	0.0018	30.82
3300	20.78	0.0063	0.1308	0.0018	72.67
6800	47.11	0.0069	0.3263	0.0018	181.3
10000	55.76	0.0056	0.3110	0.0018	172.8
47000	172.0	0.0037	0.6293	0.0018	349.6
69000	65.51	0.0009	0.0622	0.0018	34.55

ตาราง ข2.2.23 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดไนตในถัง anaerobic ห้องแคโทดไนตในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.208	0.0208	0.0043	0.0018	2.404
51	0.339	0.0066	0.0023	0.0018	1.252
100	1.054	0.0105	0.0111	0.0018	6.172
250	2.428	0.0097	0.0236	0.0018	13.10
680	6.582	0.0097	0.0637	0.0018	35.39
1000	9.492	0.0095	0.0901	0.0018	50.05
3300	20.53	0.0062	0.1278	0.0018	70.98
6800	39.16	0.0058	0.2255	0.0018	125.3
10000	45.79	0.0046	0.2097	0.0018	116.5
47000	139.5	0.0030	0.4143	0.0018	230.2
69000	41.22	0.0006	0.0246	0.0018	13.68

ตาราง ข2.2.24 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดไนตในถัง anaerobic ห้องแคโทดไนตในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.110	0.0110	0.0012	0.0018	0.672
51	0.059	0.0012	0.0001	0.0018	0.038
100	0.344	0.0034	0.0012	0.0018	0.657
250	0.629	0.0025	0.0016	0.0018	0.879
680	2.283	0.0034	0.0077	0.0018	4.258
1000	2.802	0.0028	0.0079	0.0018	4.362

ตาราง ข2.2.24 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
3300	3.905	0.0012	0.0046	0.0018	2.567
6800	13.93	0.0020	0.0285	0.0018	15.84
10000	7.729	0.0008	0.0060	0.0018	3.319
47000	71.81	0.0015	0.1097	0.0018	60.96
69000	35.58	0.0005	0.0183	0.0018	10.19

ตาราง ข2.2.55 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.038	0.0038	0.0001	0.0018	0.080
51	35.60	0.6980	24.8502	0.0018	13806
100	30.85	0.3085	9.5185	0.0018	5288
250	0.116	0.0005	0.0001	0.0018	0.030
680	0.866	0.0013	0.0011	0.0018	0.613
1000	0.522	0.0005	0.0003	0.0018	0.151
3300	21.10	0.0064	0.1349	0.0018	74.95
6800	5.903	0.0009	0.0051	0.0018	2.847
10000	7.028	0.0007	0.0049	0.0018	2.744
47000	51.26	0.0011	0.0559	0.0018	31.06
69000	4.546	0.0001	0.0003	0.0018	0.166

ตาราง ข2.2.26 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.148	0.0148	0.0022	0.0018	1.217
51	0.106	0.0021	0.0002	0.0018	0.122
100	1.279	0.0128	0.0164	0.0018	9.088
250	0.747	0.0030	0.0022	0.0018	1.240
680	0.031	0.0000	0.0000	0.0018	0.001
1000	0.025	0.0000	0.0000	0.0018	0.000
3300	24.84	0.0075	0.1869	0.0018	103.9
6800	0.125	0.0000	0.0000	0.0018	0.001

ตาราง ข2.2.26 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10000	58.31	0.0058	0.3400	0.0018	188.9
47000	135.6	0.0029	0.3914	0.0018	217.6
69000	39.39	0.0006	0.0225	0.0018	12.49

ตาราง ข2.2.27 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxalic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

CH07					
Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.030	0.0030	0.0001	0.0018	0.0500
51	0.021	0.0004	0.0000	0.0018	0.0048
100	0.096	0.0010	0.0001	0.0018	0.0512
250	0.045	0.0002	0.0000	0.0018	0.0045
680	0.813	0.0012	0.0010	0.0018	0.5400
1000	1.373	0.0014	0.0019	0.0018	1.0473
3300	1.724	0.0005	0.0009	0.0018	0.5004
6800	6.698	0.0010	0.0066	0.0018	3.6653
10000	2.047	0.0002	0.0004	0.0018	0.2328
47000	21.47	0.0005	0.0098	0.0018	5.4467
69000	1.316	0.0000	0.0000	0.0018	0.0139

ตาราง ข2.2.28 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxalic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.061	0.0061	0.0004	0.0018	0.2067
51	0.143	0.0028	0.0004	0.0018	0.2228
100	0.277	0.0028	0.0008	0.0018	0.4263
250	0.521	0.0021	0.0011	0.0018	0.6032
680	2.336	0.0034	0.0080	0.0018	4.4582
1000	3.390	0.0034	0.0115	0.0018	6.3845
3300	6.010	0.0018	0.0109	0.0018	6.0808
6800	14.753	0.0022	0.0320	0.0018	17.782
10000	10.744	0.0011	0.0115	0.0018	6.4130

ตาราง ข2.2.28 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
47000	9.443	0.0002	0.0019	0.0018	1.0540
69000	9.063	0.0001	0.0012	0.0018	0.6613

ตาราง ข2.2.29 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

CH09					
Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.063	0.0063	0.0004	0.0018	0.2205
51	0.148	0.0029	0.0004	0.0018	0.2386
100	0.293	0.0029	0.0009	0.0018	0.4769
250	0.003	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
680	0.388	0.0006	0.0002	0.0018	0.1230
1000	0.496	0.0005	0.0002	0.0018	0.1367
3300	3.931	0.0012	0.0047	0.0018	2.6015
6800	2.174	0.0003	0.0007	0.0018	0.386
10000	9.024	0.0009	0.0081	0.0018	4.5240
47000	37.06	0.0008	0.0292	0.0018	16.230
69000	13.42	0.0002	0.0026	0.0018	1.4507

ตาราง ข2.2.30 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 3 ในการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณีส

Channel	Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/ m^2)
01	47,000	352.66	0.0075	2.6462	1470
02	47,000	171.98	0.0037	0.6293	349.6
03	47,000	139.55	0.0030	0.4143	230.2
04	47,000	71.811	0.0015	0.1097	60.96
05	51	35.600	0.6980	24.850	13806
06	47,000	135.63	0.0029	0.3914	217.5
07	47,000	21.466	0.0005	0.0098	5.447
08	6,800	14.753	0.0022	0.0320	17.78
09	47,000	37.055	0.0008	0.0292	16.23

ตาราง ข2.2.31 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.2000	0.0200	0.0040	0.0018	2.2222
51	0.0007	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	1.1200	0.0112	0.0125	0.0018	6.9689
250	3.5700	0.0143	0.0510	0.0018	28.322
680	58.450	0.0860	5.0241	0.0018	2791.2
1000	10.210	0.0102	0.1042	0.0018	57.913
3300	23.620	0.0072	0.1691	0.0018	93.923
6800	29.390	0.0043	0.1270	0.0018	70.570
10000	30.730	0.0031	0.0944	0.0018	52.463
47000	68.050	0.0014	0.0985	0.0018	54.738
69000	6.4000	0.0001	0.0006	0.0018	0.3298

ตาราง ข2.2.32 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.1700	0.0170	0.0029	0.0018	1.6056
51	0.0005	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	0.7400	0.0074	0.0055	0.0018	3.0422
250	2.2400	0.0090	0.0201	0.0018	11.150
680	7.4300	0.0109	0.0812	0.0018	45.102
1000	6.5400	0.0065	0.0428	0.0018	23.762
3300	19.920	0.0060	0.1202	0.0018	66.802
6800	39.450	0.0058	0.2289	0.0018	127.15
10000	47.620	0.0048	0.2268	0.0018	125.98
47000	68.010	0.0014	0.0984	0.0018	54.673
69000	9.8800	0.0001	0.0014	0.0018	0.7859

ตาราง ข2.2.33 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดไนถัง anaerobic ห้องแคโทดไนถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.0100	0.0010	0.0000	0.0018	0.0056
51	0.0002	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	0.4600	0.0046	0.0021	0.0018	1.1756
250	1.6700	0.0067	0.0112	0.0018	6.1976
680	0.2600	0.0004	0.0001	0.0018	0.0552
1000	2.1900	0.0022	0.0048	0.0018	2.6645
3300	3.9300	0.0012	0.0047	0.0018	2.6002
6800	4.0900	0.0006	0.0025	0.0018	1.3667
10000	8.2100	0.0008	0.0067	0.0018	3.7447
47000	11.630	0.0002	0.0029	0.0018	1.5988
69000	23.850	0.0003	0.0082	0.0018	4.5799

ตาราง ข2.2.34 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดไนถัง anaerobic ห้องแคโทดไนถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.0600	0.0060	0.0004	0.0018	0.2000
51	0.0001	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	0.4800	0.0048	0.0023	0.0018	1.2800
250	0.3200	0.0013	0.0004	0.0018	0.2276
680	1.1600	0.0017	0.0020	0.0018	1.0993
1000	1.5200	0.0015	0.0023	0.0018	1.2836
3300	5.5600	0.0017	0.0094	0.0018	5.2043
6800	6.4800	0.0010	0.0062	0.0018	3.4306
10000	8.4900	0.0008	0.0072	0.0018	4.0045
47000	27.700	0.0006	0.0163	0.0018	9.0696
69000	18.730	0.0003	0.0051	0.0018	2.8246

ตาราง ข2.2.35 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดไนถัง anaerobic ห้องแคโทดไนถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.3000	0.0300	0.0090	0.0018	5.0000

ตาราง ข2.2.35 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
51	0.0008	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	57.260	0.5726	32.7871	0.0018	18215
250	3.2200	0.0129	0.0415	0.0018	23.041
680	9.2800	0.0136	0.1266	0.0018	70.358
1000	10.090	0.0101	0.1018	0.0018	56.560
3300	39.910	0.0121	0.4827	0.0018	268.15
6800	58.090	0.0085	0.4962	0.0018	275.69
10000	57.950	0.0058	0.3358	0.0018	186.57
47000	93.150	0.0020	0.1846	0.0018	102.56
69000	55.000	0.0008	0.0438	0.0018	24.356

ตาราง ข2.2.36 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.1200	0.0120	0.0014	0.0018	0.8000
51	0.0003	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	39.740	0.3974	15.7927	0.0018	8773.7
250	0.8900	0.0036	0.0032	0.0018	1.7602
680	2.0800	0.0031	0.0064	0.0018	3.5346
1000	2.9900	0.0030	0.0089	0.0018	4.9667
3300	19.740	0.0060	0.1181	0.0018	65.601
6800	11.890	0.0017	0.0208	0.0018	11.550
10000	13.760	0.0014	0.0189	0.0018	10.519
47000	40.090	0.0009	0.0342	0.0018	18.998
69000	25.170	0.0004	0.0092	0.0018	5.1009

ตาราง ข2.2.37 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.0800	0.0080	0.0006	0.0018	0.3556
51	0.0001	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	0.1600	0.0016	0.0003	0.0018	0.1422

ตาราง ข2.2.37 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
250	0.2400	0.0010	0.0002	0.0018	0.1280
680	1.1200	0.0016	0.0018	0.0018	1.0248
1000	1.1200	0.0011	0.0013	0.0018	0.6969
3300	2.9300	0.0009	0.0026	0.0018	1.4453
6800	3.4200	0.0005	0.0017	0.0018	0.9556
10000	9.8400	0.0010	0.0097	0.0018	5.3792
47000	8.6700	0.0002	0.0016	0.0018	0.8885
69000	7.7900	0.0001	0.0009	0.0018	0.4886

ตาราง ข2.2.38 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.2000	0.0200	0.0040	0.0018	2.2222
51	0.0007	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	0.7400	0.0074	0.0055	0.0018	3.0422
250	1.4900	0.0060	0.0089	0.0018	4.9336
680	5.0400	0.0074	0.0374	0.0018	20.753
1000	5.9600	0.0060	0.0355	0.0018	19.734
3300	14.850	0.0045	0.0668	0.0018	37.125
6800	3.9600	0.0006	0.0023	0.0018	1.2812
10000	28.620	0.0029	0.0819	0.0018	45.506
47000	37.870	0.0008	0.0305	0.0018	16.952
69000	15.270	0.0002	0.0034	0.0018	1.8774

ตาราง ข2.2.39 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
10	0.0300	0.0030	0.0001	0.0018	0.0500
51	0.0001	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
100	0.2100	0.0021	0.0004	0.0018	0.2450
250	0.5000	0.0020	0.0010	0.0018	0.5556
680	1.1000	0.0016	0.0018	0.0018	0.9886

ตาราง ข2.2.39 (ต่อ)

Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Area (m^2)	Power Density (μ W/ m^2)
1000	1.8400	0.0018	0.0034	0.0018	1.8809
3300	3.9100	0.0012	0.0046	0.0018	2.5738
6800	1.7400	0.0003	0.0004	0.0018	0.2474
10000	6.5800	0.0007	0.0043	0.0018	2.4054
47000	2.7000	0.0001	0.0002	0.0018	0.0862
69000	10.320	0.0001	0.0015	0.0018	0.8575

ตาราง ข2.2.40 ผลการทดลอง polarization ครั้งที่ 4 ในการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณี

Channel	Resistor (Ω)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/ m^2)
01	680	58.450	0.0860	5.0241	1470.0
02	6,800	39.450	0.0058	0.2289	349.60
03	250	1.6700	0.0067	0.0112	230.20
04	47,000	27.700	0.0006	0.0163	60.960
05	100	57.260	0.5726	32.787	13806
06	100	39.740	0.3974	15.793	217.50
07	10,000	9.8400	0.0010	0.0097	5.4470
08	10,000	28.620	0.0029	0.0819	17.780
09	3,300	3.9100	0.0012	0.0046	16.230

2.3 การทดลองหลังการทำ Polarization ทั้ง 4 ครั้ง ในการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทั้ง 9 กรณี

ตาราง ข2.3.1 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

CH01 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/ m^2)	Power Density (μ W/ m^3)
31	39.00	0.0039	0.1521	84.50	30.42
32	38.36	0.0038	0.1472	81.76	29.44
33	36.65	0.0037	0.1343	74.61	26.86
34	36.43	0.0036	0.1327	73.74	26.55
35	36.46	0.0036	0.1329	73.84	26.58
36	36.00	0.0036	0.1296	71.99	25.92

CH01 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
37	35.45	0.0035	0.1257	69.83	25.14
38	35.17	0.0035	0.1237	68.72	24.74
39	32.38	0.0032	0.1048	58.25	20.97
40	18.62	0.0019	0.0347	19.26	6.93
41	19.85	0.0020	0.0394	21.89	7.88
42	22.06	0.0022	0.0486	27.02	9.73
43	19.87	0.0020	0.0395	21.93	7.89
44	16.62	0.0017	0.0276	15.34	5.52
45	19.22	0.0019	0.0370	20.53	7.39
46	26.32	0.0026	0.0693	38.49	13.86
47	35.22	0.0035	0.1240	68.90	24.80
48	42.30	0.0042	0.1789	99.39	35.78
49	46.61	0.0047	0.2172	120.69	43.45
50	50.27	0.0050	0.2527	140.38	50.54
51	52.35	0.0052	0.2740	152.24	54.81
52	48.28	0.0048	0.2331	129.51	46.63
53	51.08	0.0051	0.2609	144.95	52.18
54	45.82	0.0046	0.2100	116.65	41.99
55	41.75	0.0042	0.1743	96.85	34.86
56	27.74	0.0028	0.0770	42.76	15.39
57	12.75	0.0013	0.0162	9.02	3.25
58	22.66	0.0023	0.0513	28.52	10.27
59	22.25	0.0022	0.0495	27.52	9.91
60	21.78	0.0022	0.0474	26.36	9.49
61	21.53	0.0022	0.0464	25.76	9.27
62	23.65	0.0024	0.0559	31.08	11.19
63	26.46	0.0026	0.0700	38.88	14.00
64	25.71	0.0026	0.0661	36.72	13.22
65	25.86	0.0026	0.0669	37.16	13.38
66	26.00	0.0026	0.0676	37.57	13.52
67	24.65	0.0025	0.0607	33.74	12.15

CH01 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
68	20.44	0.0020	0.0418	23.20	8.35
69	11.18	0.0011	0.0125	6.95	2.50
70	11.28	0.0011	0.0127	7.07	2.55
71	10.96	0.0011	0.0120	6.67	2.40
72	10.33	0.0010	0.0107	5.93	2.14
73	10.05	0.0010	0.0101	5.61	2.02
74	9.40	0.0009	0.0088	4.91	1.77
75	9.63	0.0010	0.0093	5.15	1.85
76	9.11	0.0009	0.0083	4.61	1.66
77	9.02	0.0009	0.0081	4.52	1.63
78	8.60	0.0009	0.0074	4.11	1.48
79	8.60	0.0009	0.0074	4.11	1.48
80	8.69	0.0009	0.0076	4.20	1.51
81	8.99	0.0009	0.0081	4.49	1.62
82	9.48	0.0009	0.0090	5.00	1.80
83	9.60	0.0010	0.0092	5.12	1.84
84	12.37	0.0012	0.0153	8.50	3.06
85	11.77	0.0012	0.0139	7.70	2.77
86	12.34	0.0012	0.0152	8.47	3.05
87	12.88	0.0013	0.0166	9.22	3.32
88	13.62	0.0014	0.0186	10.31	3.71
89	15.10	0.0015	0.0228	12.66	4.56
90	19.11	0.0019	0.0365	20.28	7.30
91	17.01	0.0017	0.0289	16.07	5.79
92	19.51	0.0020	0.0381	21.14	7.61
93	20.12	0.0020	0.0405	22.49	8.10
94	22.63	0.0023	0.0512	28.45	10.24
95	22.13	0.0022	0.0490	27.20	9.79
96	24.85	0.0025	0.0617	34.30	12.35
97	28.07	0.0028	0.0788	43.77	15.76
98	25.80	0.0026	0.0666	36.99	13.32

CH01 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
99	25.92	0.0026	0.0672	37.33	13.44
100	25.30	0.0025	0.0640	35.56	12.80
101	25.70	0.0026	0.0661	36.70	13.21
102	23.23	0.0023	0.0539	29.97	10.79
103	21.90	0.0022	0.0479	26.63	9.59
104	22.50	0.0022	0.0506	28.12	10.12
105	22.75	0.0023	0.0518	28.76	10.35
106	22.55	0.0023	0.0509	28.25	10.17
107	23.16	0.0023	0.0536	29.80	10.73
108	23.35	0.0023	0.0545	30.29	10.90
109	23.26	0.0023	0.0541	30.07	10.82
110	23.42	0.0023	0.0548	30.47	10.97
111	22.98	0.0023	0.0528	29.34	10.56
112	24.26	0.0024	0.0588	32.69	11.77
113	24.09	0.0024	0.0580	32.25	11.61
114	24.57	0.0025	0.0603	33.53	12.07
115	23.31	0.0023	0.0544	30.19	10.87
116	23.44	0.0023	0.0549	30.53	10.99
117	13.66	0.0014	0.0187	10.37	3.73
118	16.57	0.0017	0.0275	15.26	5.49
119	18.84	0.0019	0.0355	19.71	7.10
120	18.93	0.0019	0.0358	19.91	7.17
121	37.18	0.0037	0.1383	76.81	27.65

ตาราง ข2.3.2 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอนโอดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
31	49.73	0.0011	0.0526	29.23	10.52
CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
32	50.08	0.0011	0.0534	29.64	10.67
33	48.34	0.0010	0.0497	27.62	9.94
34	48.03	0.0010	0.0491	27.27	9.82
35	47.72	0.0010	0.0485	26.92	9.69
36	47.03	0.0010	0.0471	26.14	9.41
37	46.88	0.0010	0.0468	25.98	9.35
38	46.51	0.0010	0.0460	25.57	9.20
39	54.71	0.0012	0.0637	35.38	12.74
40	54.37	0.0012	0.0629	34.95	12.58
41	39.93	0.0008	0.0339	18.85	6.78
42	28.79	0.0006	0.0176	9.80	3.53
43	26.00	0.0006	0.0144	7.99	2.88
44	23.20	0.0005	0.0115	6.36	2.29
45	26.60	0.0006	0.0151	8.36	3.01
46	35.77	0.0008	0.0272	15.13	5.45
47	41.14	0.0009	0.0360	20.00	7.20
48	37.83	0.0008	0.0304	16.91	6.09
49	34.56	0.0007	0.0254	14.12	5.08
50	40.71	0.0009	0.0353	19.59	7.05
51	38.77	0.0008	0.0320	17.76	6.40
52	30.42	0.0006	0.0197	10.94	3.94
53	33.40	0.0007	0.0237	13.19	4.75
54	27.03	0.0006	0.0155	8.63	3.11
55	20.48	0.0004	0.0089	4.96	1.79
56	19.98	0.0004	0.0085	4.72	1.70
57	17.34	0.0004	0.0064	3.55	1.28
58	27.92	0.0006	0.0166	9.21	3.32
59	27.25	0.0006	0.0158	8.78	3.16
60	26.67	0.0006	0.0151	8.41	3.03
61	26.50	0.0006	0.0149	8.30	2.99
62	29.41	0.0006	0.0184	10.23	3.68
CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
63	33.05	0.0007	0.0232	12.91	4.65
64	31.87	0.0007	0.0216	12.00	4.32
65	31.99	0.0007	0.0218	12.09	4.35
66	32.42	0.0007	0.0224	12.42	4.47
67	30.40	0.0006	0.0197	10.92	3.93
68	26.86	0.0006	0.0154	8.53	3.07
69	12.82	0.0003	0.0035	1.94	0.70
70	11.89	0.0003	0.0030	1.67	0.60
71	11.35	0.0002	0.0027	1.52	0.55
72	10.85	0.0002	0.0025	1.39	0.50
73	11.22	0.0002	0.0027	1.49	0.54
74	10.81	0.0002	0.0025	1.38	0.50
75	11.88	0.0003	0.0030	1.67	0.60
76	12.51	0.0003	0.0033	1.85	0.67
77	14.64	0.0003	0.0046	2.53	0.91
78	15.48	0.0003	0.0051	2.83	1.02
79	17.87	0.0004	0.0068	3.77	1.36
80	19.88	0.0004	0.0084	4.67	1.68
81	22.97	0.0005	0.0112	6.24	2.25
82	26.37	0.0006	0.0148	8.22	2.96
83	28.10	0.0006	0.0168	9.33	3.36
84	34.31	0.0007	0.0250	13.92	5.01
85	33.79	0.0007	0.0243	13.50	4.86
86	36.09	0.0008	0.0277	15.39	5.54
87	38.03	0.0008	0.0308	17.10	6.16
88	40.70	0.0009	0.0352	19.58	7.05
89	45.61	0.0010	0.0443	24.59	8.85
90	56.46	0.0012	0.0678	37.68	13.57
91	40.42	0.0009	0.0348	19.31	6.95
92	49.68	0.0011	0.0525	29.17	10.50
93	55.82	0.0012	0.0663	36.83	13.26
CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
94	61.13	0.0013	0.0795	44.18	15.90
95	58.09	0.0012	0.0718	39.89	14.36
96	52.23	0.0011	0.0580	32.24	11.61
97	68.39	0.0015	0.0995	55.29	19.91
98	41.24	0.0009	0.0362	20.10	7.24
99	42.96	0.0009	0.0393	21.82	7.85
100	39.06	0.0008	0.0325	18.04	6.49
101	48.63	0.0010	0.0503	27.95	10.06
102	34.17	0.0007	0.0248	13.80	4.97
103	31.72	0.0007	0.0214	11.89	4.28
104	30.39	0.0006	0.0197	10.92	3.93
105	32.02	0.0007	0.0218	12.12	4.36
106	33.35	0.0007	0.0237	13.15	4.73
107	36.69	0.0008	0.0286	15.91	5.73
108	37.99	0.0008	0.0307	17.06	6.14
109	38.06	0.0008	0.0308	17.12	6.16
110	35.70	0.0008	0.0271	15.06	5.42
111	35.83	0.0008	0.0273	15.17	5.46
112	40.72	0.0009	0.0353	19.60	7.05
113	38.71	0.0008	0.0319	17.71	6.38
114	35.85	0.0008	0.0273	15.19	5.47
115	59.91	0.0013	0.0764	42.42	15.27
116	64.15	0.0014	0.0875	48.64	17.51
117	49.64	0.0011	0.0524	29.13	10.49
118	51.10	0.0011	0.0555	30.86	11.11
119	52.30	0.0011	0.0582	32.33	11.64
120	50.97	0.0011	0.0553	30.71	11.05
121	89.20	0.0019	0.1693	94.05	33.86

ตาราง ข2.3.3 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอนโอดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
31	22.43	0.0005	0.0107	5.95	2.14
32	21.90	0.0005	0.0102	5.67	2.04
33	20.29	0.0004	0.0088	4.86	1.75
34	19.78	0.0004	0.0083	4.62	1.66
35	20.08	0.0004	0.0086	4.76	1.72
36	19.62	0.0004	0.0082	4.55	1.64
37	18.28	0.0004	0.0071	3.95	1.42
38	18.22	0.0004	0.0071	3.92	1.41
39	2.59	0.0001	0.0001	0.08	0.03
40	-2.44	-0.0001	0.0001	0.07	0.03
41	0.63	0.0000	0.0000	0.00	0.00
42	4.20	0.0001	0.0004	0.21	0.08
43	-2.57	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
44	-17.77	-0.0004	0.0067	3.73	1.34
45	-30.58	-0.0007	0.0199	11.05	3.98
46	-49.96	-0.0011	0.0531	29.50	10.62
47	-63.70	-0.0014	0.0863	47.97	17.27
48	-71.59	-0.0015	0.1090	60.58	21.81
49	-73.79	-0.0016	0.1159	64.37	23.17
50	-76.71	-0.0016	0.1252	69.56	25.04
51	-80.16	-0.0017	0.1367	75.95	27.34
52	-82.85	-0.0018	0.1460	81.14	29.21
53	-76.99	-0.0016	0.1261	70.07	25.23
54	-79.84	-0.0017	0.1356	75.34	27.12
55	-77.69	-0.0017	0.1284	71.34	25.68
56	-37.61	-0.0008	0.0301	16.72	6.02
57	-8.45	-0.0002	0.0015	0.84	0.30
58	2.39	0.0001	0.0001	0.07	0.02
59	1.85	0.0000	0.0001	0.04	0.01
CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
60	1.41	0.0000	0.0000	0.02	0.01
61	0.91	0.0000	0.0000	0.01	0.00
62	3.31	0.0001	0.0002	0.13	0.05
63	6.49	0.0001	0.0009	0.50	0.18
64	5.53	0.0001	0.0007	0.36	0.13
65	5.90	0.0001	0.0007	0.41	0.15
66	5.73	0.0001	0.0007	0.39	0.14
67	3.60	0.0001	0.0003	0.15	0.06
68	-1.20	0.0000	0.0000	0.02	0.01
69	-10.04	-0.0002	0.0021	1.19	0.43
70	-10.24	-0.0002	0.0022	1.24	0.45
71	-10.93	-0.0002	0.0025	1.41	0.51
72	-12.43	-0.0003	0.0033	1.82	0.66
73	-14.00	-0.0003	0.0042	2.32	0.83
74	-15.96	-0.0003	0.0054	3.01	1.08
75	-17.58	-0.0004	0.0066	3.65	1.32
76	-19.37	-0.0004	0.0080	4.44	1.60
77	-21.97	-0.0005	0.0103	5.71	2.05
78	-24.77	-0.0005	0.0131	7.25	2.61
79	-27.19	-0.0006	0.0157	8.74	3.15
80	-28.90	-0.0006	0.0178	9.87	3.55
81	-32.17	-0.0007	0.0220	12.23	4.40
82	-37.01	-0.0008	0.0291	16.19	5.83
83	-44.25	-0.0009	0.0417	23.14	8.33
84	-48.90	-0.0010	0.0509	28.27	10.18
85	-56.36	-0.0012	0.0676	37.54	13.52
86	-62.13	-0.0013	0.0821	45.63	16.43
87	-65.99	-0.0014	0.0926	51.47	18.53
88	-69.51	-0.0015	0.1028	57.11	20.56
89	-71.90	-0.0015	0.1100	61.11	22.00
90	-71.58	-0.0015	0.1090	60.56	21.80
CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
91	-76.31	-0.0016	0.1239	68.84	24.78
92	-76.69	-0.0016	0.1251	69.53	25.03
93	-80.63	-0.0017	0.1383	76.85	27.67
94	-79.79	-0.0017	0.1355	75.26	27.09
95	-83.30	-0.0018	0.1476	82.02	29.53
96	-82.61	-0.0018	0.1452	80.67	29.04
97	-79.66	-0.0017	0.1350	75.01	27.00
98	-81.31	-0.0017	0.1407	78.14	28.13
99	-79.01	-0.0017	0.1328	73.79	26.56
100	-73.45	-0.0016	0.1148	63.77	22.96
101	-63.28	-0.0013	0.0852	47.33	17.04
102	-55.16	-0.0012	0.0647	35.97	12.95
103	-48.71	-0.0010	0.0505	28.05	10.10
104	-47.65	-0.0010	0.0483	26.84	9.66
105	-42.28	-0.0009	0.0380	21.13	7.61
106	-35.73	-0.0008	0.0272	15.09	5.43
107	-32.48	-0.0007	0.0224	12.47	4.49
108	-31.40	-0.0007	0.0210	11.65	4.20
109	-30.69	-0.0007	0.0200	11.14	4.01
110	-30.53	-0.0006	0.0198	11.02	3.97
111	-31.51	-0.0007	0.0211	11.74	4.23
112	-30.15	-0.0006	0.0193	10.75	3.87
113	-30.44	-0.0006	0.0197	10.95	3.94
114	-31.19	-0.0007	0.0207	11.50	4.14
115	-34.16	-0.0007	0.0248	13.79	4.96
116	-37.69	-0.0008	0.0302	16.80	6.05
117	-54.62	-0.0012	0.0635	35.26	12.69
118	-52.06	-0.0011	0.0577	32.04	11.53
119	-51.84	-0.0011	0.0572	31.77	11.44
120	-57.68	-0.0012	0.0708	39.32	14.16
121	-74.76	-0.0016	0.1189	66.06	23.78

ตาราง ข2.3.4 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
31	125.32	0.0027	0.3341	185.63	66.83
32	148.26	0.0032	0.4677	259.81	93.53
33	156.50	0.0033	0.5211	289.51	104.23
34	162.73	0.0035	0.5634	313.01	112.69
35	168.50	0.0036	0.6041	335.62	120.82
36	172.47	0.0037	0.6329	351.60	126.58
37	174.27	0.0037	0.6462	358.98	129.23
38	177.30	0.0038	0.6688	371.56	133.76
39	123.93	0.0026	0.3268	181.54	65.35
40	109.07	0.0023	0.2531	140.61	50.62
41	104.97	0.0022	0.2344	130.24	46.89
42	108.66	0.0023	0.2512	139.57	50.24
43	125.94	0.0027	0.3374	187.47	67.49
44	152.22	0.0032	0.4930	273.90	98.60
45	164.14	0.0035	0.5732	318.44	114.64
46	167.60	0.0036	0.5977	332.03	119.53
47	167.99	0.0036	0.6005	333.59	120.09
48	168.89	0.0036	0.6069	337.14	121.37
49	171.26	0.0036	0.6240	346.68	124.81
50	172.45	0.0037	0.6327	351.51	126.54
51	171.04	0.0036	0.6225	345.81	124.49
52	167.62	0.0036	0.5978	332.11	119.56
53	170.52	0.0036	0.6186	343.69	123.73
54	170.60	0.0036	0.6192	344.03	123.85
55	169.15	0.0036	0.6088	338.20	121.75
56	116.76	0.0025	0.2901	161.15	58.01
57	55.78	0.0012	0.0662	36.78	13.24
58	77.96	0.0017	0.1293	71.84	25.86
59	80.12	0.0017	0.1366	75.88	27.32

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
60	82.83	0.0018	0.1460	81.10	29.20
61	86.50	0.0018	0.1592	88.44	31.84
62	105.92	0.0023	0.2387	132.62	47.74
63	165.33	0.0035	0.5816	323.09	116.31
64	178.92	0.0038	0.6811	378.41	136.23
65	186.94	0.0040	0.7435	413.08	148.71
66	193.90	0.0041	0.7999	444.41	159.99
67	203.49	0.0043	0.8810	489.44	176.20
68	217.48	0.0046	1.0064	559.09	201.27
69	181.25	0.0039	0.6990	388.33	139.80
70	174.32	0.0037	0.6465	359.17	129.30
71	174.45	0.0037	0.6475	359.74	129.51
72	175.09	0.0037	0.6522	362.35	130.45
73	178.75	0.0038	0.6798	377.69	135.97
74	182.97	0.0039	0.7123	395.74	142.47
75	189.09	0.0040	0.7607	422.63	152.15
76	193.25	0.0041	0.7946	441.43	158.91
77	198.91	0.0042	0.8418	467.66	168.36
78	203.98	0.0043	0.8853	491.81	177.05
79	209.26	0.0045	0.9317	517.60	186.34
80	212.83	0.0045	0.9638	535.44	192.76
81	216.55	0.0046	0.9977	554.29	199.54
82	220.70	0.0047	1.0363	575.73	207.26
83	223.10	0.0047	1.0590	588.34	211.80
84	227.60	0.0048	1.1021	612.29	220.42
85	232.13	0.0049	1.1465	636.95	229.30
86	237.15	0.0050	1.1966	664.78	239.32
87	242.78	0.0052	1.2541	696.74	250.83
88	246.03	0.0052	1.2879	715.49	257.58
89	250.92	0.0053	1.3396	744.21	267.92
90	257.83	0.0055	1.4144	785.76	282.87

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
91	256.04	0.0054	1.3948	774.88	278.96
92	259.84	0.0055	1.4366	798.10	287.32
93	259.54	0.0055	1.4332	796.24	286.64
94	262.16	0.0056	1.4623	812.41	292.47
95	261.92	0.0056	1.4596	810.88	291.92
96	263.70	0.0056	1.4795	821.97	295.91
97	266.87	0.0057	1.5153	841.85	303.07
98	264.59	0.0056	1.4895	827.49	297.90
99	265.07	0.0056	1.4950	830.54	298.99
100	263.80	0.0056	1.4807	822.59	296.13
101	264.07	0.0056	1.4837	824.26	296.73
102	261.05	0.0056	1.4499	805.50	289.98
103	256.90	0.0055	1.4042	780.12	280.84
104	257.22	0.0055	1.4077	782.07	281.54
105	256.95	0.0055	1.4048	780.43	280.95
106	256.23	0.0055	1.3969	776.03	279.37
107	256.31	0.0055	1.3977	776.52	279.55
108	254.88	0.0054	1.3822	767.89	276.44
109	253.17	0.0054	1.3637	757.64	272.75
110	253.83	0.0054	1.3708	761.57	274.16
111	253.35	0.0054	1.3657	758.72	273.14
112	254.91	0.0054	1.3825	768.05	276.50
113	255.48	0.0054	1.3887	771.50	277.74
114	256.19	0.0055	1.3965	775.83	279.30
115	255.56	0.0054	1.3896	771.98	277.91
116	254.09	0.0054	1.3736	763.12	274.72
117	135.99	0.0029	0.3935	218.61	78.70
118	120.34	0.0026	0.3081	171.18	61.62
119	114.59	0.0024	0.2794	155.22	55.88
120	105.85	0.0023	0.2384	132.43	47.67
121	182.25	0.0039	0.7067	392.60	141.34

ตาราง ข2.3.5 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอนโอดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

CH05 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
31	128.04	0.0027	0.3488	193.78	69.76
32	146.00	0.0031	0.4535	251.95	90.70
33	152.97	0.0033	0.4978	276.58	99.57
34	158.85	0.0034	0.5369	298.26	107.37
35	164.22	0.0035	0.5738	318.77	114.76
36	167.98	0.0036	0.6004	333.54	120.07
37	169.88	0.0036	0.6140	341.13	122.81
38	173.03	0.0037	0.6370	353.89	127.40
39	192.23	0.0041	0.7862	436.79	157.24
40	189.86	0.0040	0.7670	426.09	153.39
41	194.05	0.0041	0.8012	445.11	160.24
42	202.01	0.0043	0.8683	482.38	173.66
43	228.70	0.0049	1.1128	618.24	222.57
44	266.80	0.0057	1.5145	841.40	302.90
45	287.37	0.0061	1.7570	976.12	351.40
46	296.27	0.0063	1.8676	1037.57	373.52
47	301.71	0.0064	1.9368	1075.98	387.35
48	306.31	0.0065	1.9964	1109.09	399.27
49	313.07	0.0067	2.0854	1158.57	417.08
50	318.88	0.0068	2.1634	1201.91	432.69
51	320.79	0.0068	2.1895	1216.37	437.89
52	321.36	0.0068	2.1973	1220.73	439.46
53	329.18	0.0070	2.3055	1280.86	461.11
54	334.45	0.0071	2.3799	1322.17	475.98
55	337.72	0.0072	2.4267	1348.15	485.33
56	288.42	0.0061	1.7700	983.31	353.99
57	215.50	0.0046	0.9881	548.95	197.62
58	247.04	0.0053	1.2985	721.37	259.69
59	251.53	0.0054	1.3462	747.86	269.23

CH05 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
60	255.24	0.0054	1.3861	770.07	277.22
61	260.25	0.0055	1.4410	800.58	288.21
62	272.30	0.0058	1.5777	876.47	315.53
63	292.35	0.0062	1.8185	1010.28	363.70
64	294.14	0.0063	1.8408	1022.66	368.16
65	295.53	0.0063	1.8583	1032.38	371.66
66	297.30	0.0063	1.8805	1044.73	376.10
67	303.05	0.0064	1.9540	1085.57	390.80
68	313.65	0.0067	2.0931	1162.82	418.61
69	274.45	0.0058	1.6026	890.35	320.53
70	265.47	0.0056	1.4994	833.01	299.88
71	263.93	0.0056	1.4821	823.37	296.41
72	263.20	0.0056	1.4740	818.87	294.79
73	265.65	0.0057	1.5014	834.14	300.29
74	268.77	0.0057	1.5370	853.87	307.39
75	273.23	0.0058	1.5884	882.44	317.68
76	276.31	0.0059	1.6244	902.46	324.88
77	280.70	0.0060	1.6764	931.36	335.29
78	285.18	0.0061	1.7303	961.29	346.06
79	289.71	0.0062	1.7858	992.11	357.16
80	292.57	0.0062	1.8213	1011.82	364.26
81	295.28	0.0063	1.8551	1030.62	371.02
82	298.63	0.0064	1.8975	1054.16	379.50
83	300.42	0.0064	1.9203	1066.81	384.05
84	304.59	0.0065	1.9740	1096.66	394.80
85	308.35	0.0066	2.0230	1123.86	404.59
86	312.40	0.0066	2.0765	1153.62	415.30
87	316.63	0.0067	2.1331	1185.05	426.62
88	318.57	0.0068	2.1594	1199.64	431.87
89	322.59	0.0069	2.2141	1230.08	442.83
90	329.12	0.0070	2.3047	1280.42	460.95

CH05 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
91	326.97	0.0070	2.2747	1263.74	454.94
92	330.38	0.0070	2.3224	1290.22	464.48
93	330.05	0.0070	2.3177	1287.63	463.55
94	332.43	0.0071	2.3513	1306.26	470.25
95	332.33	0.0071	2.3498	1305.46	469.97
96	334.22	0.0071	2.3766	1320.35	475.33
97	337.26	0.0072	2.4200	1344.47	484.01
98	334.47	0.0071	2.3802	1322.32	476.04
99	334.75	0.0071	2.3843	1324.59	476.85
100	333.12	0.0071	2.3610	1311.67	472.20
101	333.21	0.0071	2.3623	1312.39	472.46
102	330.02	0.0070	2.3173	1287.41	463.47
103	325.41	0.0069	2.2530	1251.69	450.61
104	325.50	0.0069	2.2543	1252.36	450.85
105	325.01	0.0069	2.2475	1248.60	449.49
106	324.09	0.0069	2.2348	1241.55	446.96
107	323.69	0.0069	2.2292	1238.44	445.84
108	322.20	0.0069	2.2088	1227.10	441.76
109	320.47	0.0068	2.1851	1213.96	437.03
110	320.77	0.0068	2.1892	1216.24	437.85
111	319.94	0.0068	2.1779	1209.93	435.58
112	321.13	0.0068	2.1941	1218.96	438.83
113	321.60	0.0068	2.2006	1222.54	440.11
114	321.86	0.0068	2.2042	1224.53	440.83
115	320.93	0.0068	2.1914	1217.47	438.29
116	319.24	0.0068	2.1683	1204.64	433.67
117	281.14	0.0060	1.6817	934.25	336.33
118	282.87	0.0060	1.7024	945.79	340.48
119	284.37	0.0061	1.7205	955.84	344.10
120	280.58	0.0060	1.6750	930.57	335.01
121	307.23	0.0065	2.0083	1115.72	401.66

ตาราง ข2.3.6 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
31	94.71	0.0020	0.1909	106.03	38.17
32	100.41	0.0021	0.2145	119.17	42.90
33	100.52	0.0021	0.2150	119.45	43.00
34	100.69	0.0021	0.2157	119.84	43.14
35	101.18	0.0022	0.2178	121.00	43.56
36	101.17	0.0022	0.2178	121.00	43.56
37	100.12	0.0021	0.2133	118.49	42.66
38	100.39	0.0021	0.2144	119.12	42.88
39	77.44	0.0016	0.1276	70.89	25.52
40	66.69	0.0014	0.0946	52.57	18.93
41	63.95	0.0014	0.0870	48.33	17.40
42	67.87	0.0014	0.0980	54.45	19.60
43	86.76	0.0018	0.1602	88.97	32.03
44	112.26	0.0024	0.2681	148.95	53.62
45	123.98	0.0026	0.3270	181.68	65.41
46	127.28	0.0027	0.3447	191.50	68.94
47	128.77	0.0027	0.3528	196.01	70.56
48	130.22	0.0028	0.3608	200.44	72.16
49	134.09	0.0029	0.3825	212.52	76.51
50	136.60	0.0029	0.3970	220.55	79.40
51	136.81	0.0029	0.3982	221.24	79.65
52	135.17	0.0029	0.3888	215.97	77.75
53	138.91	0.0030	0.4105	228.08	82.11
54	141.11	0.0030	0.4237	235.36	84.73
55	140.41	0.0030	0.4195	233.05	83.90
56	95.72	0.0020	0.1949	108.29	38.99
57	39.64	0.0008	0.0334	18.57	6.69
58	65.12	0.0014	0.0902	50.12	18.04
59	68.42	0.0015	0.0996	55.33	19.92

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
60	71.30	0.0015	0.1082	60.08	21.63
61	75.28	0.0016	0.1206	66.99	24.12
62	84.83	0.0018	0.1531	85.06	30.62
63	98.89	0.0021	0.2081	115.60	41.62
64	98.88	0.0021	0.2080	115.57	41.61
65	99.03	0.0021	0.2087	115.92	41.73
66	99.94	0.0021	0.2125	118.07	42.51
67	103.89	0.0022	0.2296	127.57	45.93
68	110.42	0.0023	0.2594	144.11	51.88
69	79.53	0.0017	0.1346	74.76	26.91
70	74.88	0.0016	0.1193	66.27	23.86
71	74.71	0.0016	0.1188	65.97	23.75
72	74.85	0.0016	0.1192	66.23	23.84
73	77.00	0.0016	0.1262	70.09	25.23
74	79.32	0.0017	0.1339	74.38	26.78
75	82.02	0.0017	0.1431	79.53	28.63
76	82.61	0.0018	0.1452	80.66	29.04
77	85.06	0.0018	0.1539	85.52	30.79
78	87.02	0.0019	0.1611	89.51	32.22
79	89.67	0.0019	0.1711	95.04	34.22
80	90.68	0.0019	0.1750	97.21	34.99
81	91.83	0.0020	0.1794	99.67	35.88
82	92.95	0.0020	0.1838	102.13	36.77
83	93.08	0.0020	0.1843	102.40	36.86
84	94.73	0.0020	0.1909	106.08	38.19
85	96.69	0.0021	0.1989	110.52	39.79
86	99.08	0.0021	0.2088	116.03	41.77
87	102.89	0.0022	0.2252	125.13	45.05
88	104.29	0.0022	0.2314	128.55	46.28
89	106.97	0.0023	0.2435	135.25	48.69
90	109.42	0.0023	0.2548	141.53	50.95

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
91	103.93	0.0022	0.2298	127.68	45.96
92	105.12	0.0022	0.2351	130.61	47.02
93	103.70	0.0022	0.2288	127.11	45.76
94	104.71	0.0022	0.2333	129.59	46.65
95	103.47	0.0022	0.2278	126.54	45.55
96	103.27	0.0022	0.2269	126.07	45.38
97	105.05	0.0022	0.2348	130.45	46.96
98	102.73	0.0022	0.2245	124.75	44.91
99	102.15	0.0022	0.2220	123.33	44.40
100	100.01	0.0021	0.2128	118.23	42.56
101	99.43	0.0021	0.2103	116.86	42.07
102	96.61	0.0021	0.1986	110.33	39.72
103	92.72	0.0020	0.1829	101.62	36.58
104	92.31	0.0020	0.1813	100.72	36.26
105	91.93	0.0020	0.1798	99.90	35.96
106	90.86	0.0019	0.1756	97.58	35.13
107	90.55	0.0019	0.1744	96.91	34.89
108	89.60	0.0019	0.1708	94.89	34.16
109	88.31	0.0019	0.1659	92.17	33.18
110	88.40	0.0019	0.1663	92.38	33.26
111	87.85	0.0019	0.1642	91.22	32.84
112	89.34	0.0019	0.1698	94.35	33.97
113	88.63	0.0019	0.1671	92.84	33.42
114	89.23	0.0019	0.1694	94.10	33.88
115	88.72	0.0019	0.1675	93.04	33.49
116	87.34	0.0019	0.1623	90.16	32.46
117	59.53	0.0013	0.0754	41.89	15.08
118	63.57	0.0014	0.0860	47.77	17.20
119	65.73	0.0014	0.0919	51.06	18.38
120	63.49	0.0014	0.0858	47.65	17.15
121	79.70	0.0017	0.1352	75.09	27.03

ตาราง ข2.3.7 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu W/m^2$)	Power Density ($\mu W/m^3$)
31	3.37	0.0007	0.0022	1.24	0.45
32	4.75	0.0009	0.0044	2.46	0.89
33	5.08	0.0010	0.0051	2.81	1.01
34	5.35	0.0010	0.0056	3.12	1.12
35	5.50	0.0011	0.0059	3.30	1.19
36	5.55	0.0011	0.0060	3.36	1.21
37	5.48	0.0011	0.0059	3.27	1.18
38	5.57	0.0011	0.0061	3.39	1.22
39	7.62	0.0015	0.0114	6.32	2.28
40	3.64	0.0007	0.0026	1.44	0.52
41	3.91	0.0008	0.0030	1.66	0.60
42	3.10	0.0006	0.0019	1.05	0.38
43	-0.68	-0.0001	0.0001	0.05	0.02
44	-4.70	-0.0009	0.0043	2.41	0.87
45	-6.06	-0.0012	0.0072	3.99	1.44
46	-6.91	-0.0014	0.0094	5.19	1.87
47	-7.35	-0.0014	0.0106	5.88	2.12
48	-7.81	-0.0015	0.0120	6.64	2.39
49	-8.19	-0.0016	0.0131	7.30	2.63
50	-8.59	-0.0017	0.0145	8.03	2.89
51	-8.80	-0.0017	0.0152	8.44	3.04
52	-9.50	-0.0019	0.0177	9.82	3.54
53	-9.22	-0.0018	0.0167	9.25	3.33
54	-9.16	-0.0018	0.0164	9.13	3.29
55	-9.01	-0.0018	0.0159	8.84	3.18
56	-3.99	-0.0008	0.0031	1.73	0.62
57	-0.34	-0.0001	0.0000	0.01	0.00
58	3.40	0.0007	0.0023	1.26	0.45
59	3.20	0.0006	0.0020	1.11	0.40

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
60	2.91	0.0006	0.0017	0.93	0.33
61	2.18	0.0004	0.0009	0.52	0.19
62	2.51	0.0005	0.0012	0.69	0.25
63	3.26	0.0006	0.0021	1.16	0.42
64	2.86	0.0006	0.0016	0.89	0.32
65	2.66	0.0005	0.0014	0.77	0.28
66	2.15	0.0004	0.0009	0.51	0.18
67	0.88	0.0002	0.0002	0.09	0.03
68	-1.80	-0.0004	0.0006	0.35	0.13
69	-4.59	-0.0009	0.0041	2.29	0.83
70	-4.76	-0.0009	0.0044	2.47	0.89
71	-4.59	-0.0009	0.0041	2.29	0.82
72	-5.45	-0.0011	0.0058	3.23	1.16
73	-6.07	-0.0012	0.0072	4.02	1.45
74	-6.72	-0.0013	0.0089	4.92	1.77
75	-7.37	-0.0014	0.0107	5.92	2.13
76	-7.77	-0.0015	0.0118	6.57	2.37
77	-8.29	-0.0016	0.0135	7.48	2.69
78	-8.72	-0.0017	0.0149	8.28	2.98
79	-8.93	-0.0018	0.0156	8.68	3.13
80	-9.11	-0.0018	0.0163	9.03	3.25
81	-9.32	-0.0018	0.0170	9.46	3.41
82	-9.53	-0.0019	0.0178	9.90	3.56
83	-9.89	-0.0019	0.0192	10.65	3.83
84	-10.01	-0.0020	0.0197	10.92	3.93
85	-9.42	-0.0018	0.0174	9.66	3.48
86	-8.87	-0.0017	0.0154	8.57	3.08
87	-8.55	-0.0017	0.0143	7.96	2.87
88	-8.40	-0.0016	0.0138	7.68	2.77
89	-8.19	-0.0016	0.0132	7.31	2.63
90	-7.87	-0.0015	0.0121	6.74	2.43

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
91	-6.92	-0.0014	0.0094	5.22	1.88
92	-6.43	-0.0013	0.0081	4.50	1.62
93	-6.09	-0.0012	0.0073	4.04	1.45
94	-5.77	-0.0011	0.0065	3.63	1.31
95	-5.31	-0.0010	0.0055	3.07	1.11
96	-5.31	-0.0010	0.0055	3.07	1.11
97	-5.15	-0.0010	0.0052	2.89	1.04
98	-4.63	-0.0009	0.0042	2.33	0.84
99	-4.36	-0.0009	0.0037	2.07	0.74
100	-4.07	-0.0008	0.0032	1.81	0.65
101	-3.79	-0.0007	0.0028	1.56	0.56
102	-3.55	-0.0007	0.0025	1.37	0.49
103	-3.79	-0.0007	0.0028	1.56	0.56
104	-3.50	-0.0007	0.0024	1.33	0.48
105	-3.31	-0.0006	0.0022	1.20	0.43
106	-3.15	-0.0006	0.0019	1.08	0.39
107	-3.01	-0.0006	0.0018	0.99	0.36
108	-3.05	-0.0006	0.0018	1.01	0.37
109	-3.09	-0.0006	0.0019	1.04	0.38
110	-2.99	-0.0006	0.0018	0.98	0.35
111	-3.13	-0.0006	0.0019	1.07	0.39
112	-2.97	-0.0006	0.0017	0.96	0.35
113	-2.94	-0.0006	0.0017	0.94	0.34
114	-3.00	-0.0006	0.0018	0.98	0.35
115	-2.85	-0.0006	0.0016	0.88	0.32
116	-2.80	-0.0005	0.0015	0.86	0.31
117	-6.47	-0.0013	0.0082	4.56	1.64
118	-5.77	-0.0011	0.0065	3.63	1.31
119	-5.63	-0.0011	0.0062	3.46	1.24
120	-4.85	-0.0010	0.0046	2.56	0.92
121	-1.97	-0.0004	0.0008	0.42	0.15

ตาราง ข2.3.8 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

CH08 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
31	0.45	0.0045	0.0020	1.12	0.40
32	0.39	0.0039	0.0015	0.86	0.31
33	0.37	0.0037	0.0013	0.74	0.27
34	0.35	0.0035	0.0012	0.68	0.25
35	0.33	0.0033	0.0011	0.62	0.22
36	0.32	0.0032	0.0011	0.58	0.21
37	0.31	0.0031	0.0010	0.54	0.19
38	0.31	0.0031	0.0009	0.52	0.19
39	0.30	0.0030	0.0009	0.51	0.18
40	0.11	0.0011	0.0001	0.06	0.02
41	0.14	0.0014	0.0002	0.10	0.04
42	0.13	0.0013	0.0002	0.09	0.03
43	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
44	-0.03	-0.0003	0.0000	0.00	0.00
45	-0.06	-0.0006	0.0000	0.02	0.01
46	-0.07	-0.0007	0.0000	0.02	0.01
47	-0.06	-0.0006	0.0000	0.02	0.01
48	-0.04	-0.0004	0.0000	0.01	0.00
49	-0.03	-0.0003	0.0000	0.01	0.00
50	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
51	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
52	-0.04	-0.0004	0.0000	0.01	0.00
53	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
54	-0.06	-0.0006	0.0000	0.02	0.01
55	-0.07	-0.0007	0.0001	0.03	0.01
56	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
57	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
58	0.13	0.0013	0.0002	0.09	0.03
59	0.12	0.0012	0.0002	0.09	0.03

CH08 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
60	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
61	0.12	0.0012	0.0002	0.08	0.03
62	0.14	0.0014	0.0002	0.11	0.04
63	0.17	0.0017	0.0003	0.15	0.05
64	0.16	0.0016	0.0002	0.14	0.05
65	0.16	0.0016	0.0003	0.15	0.05
66	0.16	0.0016	0.0003	0.15	0.05
67	0.15	0.0015	0.0002	0.13	0.05
68	0.11	0.0011	0.0001	0.06	0.02
69	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
70	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
71	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
72	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
73	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
74	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
75	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
76	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
77	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
78	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
79	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
80	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
81	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
82	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
83	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
84	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
85	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
86	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
87	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
88	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
89	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
90	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00

CH08 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
91	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
92	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
93	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
94	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
95	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
96	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
97	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
98	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
99	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
100	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
101	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
102	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
103	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
104	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
105	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
106	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
107	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
108	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.01
109	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
110	0.05	0.0005	0.0000	0.02	0.01
111	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
112	0.05	0.0005	0.0000	0.02	0.01
113	0.05	0.0005	0.0000	0.02	0.01
114	0.05	0.0005	0.0000	0.02	0.01
115	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
116	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
117	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
118	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
119	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
120	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
121	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00

ตาราง ข2.3.9 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 1 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

CH09 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
31	46.11	0.0010	0.0452	25.13	9.05
32	54.42	0.0012	0.0630	35.01	12.60
33	57.20	0.0012	0.0696	38.68	13.92
34	58.94	0.0013	0.0739	41.06	14.78
35	60.39	0.0013	0.0776	43.11	15.52
36	61.51	0.0013	0.0805	44.73	16.10
37	61.91	0.0013	0.0815	45.30	16.31
38	62.29	0.0013	0.0826	45.87	16.51
39	49.46	0.0011	0.0520	28.91	10.41
40	44.99	0.0010	0.0431	23.92	8.61
41	40.62	0.0009	0.0351	19.51	7.02
42	42.94	0.0009	0.0392	21.80	7.85
43	61.79	0.0013	0.0812	45.13	16.25
44	84.61	0.0018	0.1523	84.62	30.46
45	81.91	0.0017	0.1427	79.30	28.55
46	71.86	0.0015	0.1099	61.04	21.97
47	65.03	0.0014	0.0900	49.99	18.00
48	60.88	0.0013	0.0789	43.82	15.77
49	61.25	0.0013	0.0798	44.34	15.96
50	59.91	0.0013	0.0764	42.43	15.27
51	59.06	0.0013	0.0742	41.23	14.84
52	55.34	0.0012	0.0652	36.20	13.03
53	52.14	0.0011	0.0578	32.13	11.57
54	52.91	0.0011	0.0596	33.09	11.91
55	51.97	0.0011	0.0575	31.93	11.49
56	52.11	0.0011	0.0578	32.10	11.56
57	44.23	0.0009	0.0416	23.12	8.32
58	56.49	0.0012	0.0679	37.72	13.58
59	59.61	0.0013	0.0756	42.00	15.12

CH09 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
60	62.38	0.0013	0.0828	45.99	16.56
61	65.84	0.0014	0.0922	51.24	18.45
62	72.48	0.0015	0.1118	62.10	22.36
63	83.89	0.0018	0.1497	83.19	29.95
64	85.39	0.0018	0.1552	86.20	31.03
65	85.66	0.0018	0.1561	86.74	31.23
66	86.89	0.0018	0.1606	89.25	32.13
67	91.37	0.0019	0.1776	98.69	35.53
68	99.04	0.0021	0.2087	115.94	41.74
69	79.55	0.0017	0.1346	74.80	26.93
70	75.44	0.0016	0.1211	67.28	24.22
71	75.79	0.0016	0.1222	67.89	24.44
72	75.93	0.0016	0.1227	68.16	24.54
73	77.37	0.0016	0.1274	70.76	25.47
74	78.71	0.0017	0.1318	73.23	26.36
75	81.02	0.0017	0.1397	77.59	27.93
76	82.62	0.0018	0.1452	80.68	29.05
77	85.36	0.0018	0.1550	86.13	31.01
78	86.12	0.0018	0.1578	87.67	31.56
79	87.05	0.0019	0.1612	89.57	32.24
80	88.27	0.0019	0.1658	92.09	33.15
81	87.08	0.0019	0.1613	89.63	32.27
82	84.91	0.0018	0.1534	85.22	30.68
83	81.40	0.0017	0.1410	78.33	28.20
84	75.58	0.0016	0.1215	67.51	24.30
85	65.76	0.0014	0.0920	51.11	18.40
86	48.37	0.0010	0.0498	27.66	9.96
87	39.13	0.0008	0.0326	18.10	6.52
88	31.52	0.0007	0.0211	11.74	4.23
89	26.59	0.0006	0.0150	8.36	3.01
90	18.11	0.0004	0.0070	3.88	1.40

CH09 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
91	13.66	0.0003	0.0040	2.20	0.79
92	10.05	0.0002	0.0021	1.19	0.43
93	6.46	0.0001	0.0009	0.49	0.18
94	0.59	0.0000	0.0000	0.00	0.00
95	-1.57	0.0000	0.0001	0.03	0.01
96	-6.10	-0.0001	0.0008	0.44	0.16
97	-8.52	-0.0002	0.0015	0.86	0.31
98	-9.55	-0.0002	0.0019	1.08	0.39
99	-13.08	-0.0003	0.0036	2.02	0.73
100	-17.69	-0.0004	0.0067	3.70	1.33
101	-21.35	-0.0005	0.0097	5.39	1.94
102	-22.57	-0.0005	0.0108	6.02	2.17
103	-25.01	-0.0005	0.0133	7.39	2.66
104	-25.97	-0.0006	0.0144	7.97	2.87
105	-27.05	-0.0006	0.0156	8.65	3.11
106	-27.93	-0.0006	0.0166	9.22	3.32
107	-28.88	-0.0006	0.0177	9.86	3.55
108	-30.15	-0.0006	0.0193	10.74	3.87
109	-31.34	-0.0007	0.0209	11.61	4.18
110	-31.75	-0.0007	0.0215	11.92	4.29
111	-33.52	-0.0007	0.0239	13.28	4.78
112	-34.48	-0.0007	0.0253	14.06	5.06
113	-35.32	-0.0008	0.0265	14.75	5.31
114	-36.71	-0.0008	0.0287	15.93	5.73
115	-37.42	-0.0008	0.0298	16.55	5.96
116	-38.94	-0.0008	0.0323	17.93	6.45
117	-56.57	-0.0012	0.0681	37.83	13.62
118	-58.10	-0.0012	0.0718	39.90	14.36
119	-60.43	-0.0013	0.0777	43.16	15.54
120	-61.06	-0.0013	0.0793	44.07	15.86
121	-39.71	-0.0008	0.0335	18.64	6.71

ตาราง ข2.3.10 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	121.21	0.0026	0.3126	173.67	62.52
126	21.54	0.0005	0.0099	5.49	1.97
127	23.88	0.0005	0.0121	6.74	2.43
128	16.46	0.0004	0.0058	3.20	1.15
129	10.49	0.0002	0.0023	1.30	0.47
130	4.98	0.0001	0.0005	0.29	0.11
131	3.97	0.0001	0.0003	0.19	0.07
132	4.64	0.0001	0.0005	0.25	0.09
133	9.22	0.0002	0.0018	1.01	0.36
134	11.58	0.0002	0.0029	1.59	0.57
135	14.33	0.0003	0.0044	2.43	0.87
136	20.91	0.0004	0.0093	5.17	1.86
137	23.33	0.0005	0.0116	6.43	2.32
138	30.93	0.0007	0.0204	11.31	4.07
139	36.44	0.0008	0.0283	15.70	5.65
140	38.75	0.0008	0.0320	17.75	6.39
141	43.59	0.0009	0.0404	22.46	8.08
142	46.36	0.0010	0.0457	25.40	9.14
143	38.66	0.0008	0.0318	17.67	6.36
144	36.04	0.0008	0.0276	15.35	5.53
145	40.73	0.0009	0.0353	19.60	7.06
146	40.21	0.0009	0.0344	19.12	6.88
147	39.09	0.0008	0.0325	18.07	6.50
148	39.58	0.0008	0.0333	18.52	6.67
149	43.51	0.0009	0.0403	22.38	8.06
150	45.96	0.0010	0.0449	24.96	8.99
151	41.80	0.0009	0.0372	20.65	7.43
152	34.43	0.0007	0.0252	14.02	5.05
153	37.82	0.0008	0.0304	16.90	6.09

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
154	45.44	0.0010	0.0439	24.41	8.79
155	56.20	0.0012	0.0672	37.33	13.44
156	62.01	0.0013	0.0818	45.45	16.36
157	61.64	0.0013	0.0808	44.91	16.17
158	59.28	0.0013	0.0748	41.54	14.95
159	57.77	0.0012	0.0710	39.45	14.20
160	54.90	0.0012	0.0641	35.63	12.83
161	57.53	0.0012	0.0704	39.13	14.09
162	60.64	0.0013	0.0782	43.46	15.65
163	59.43	0.0013	0.0751	41.75	15.03
164	50.56	0.0011	0.0544	30.21	10.88
165	2.64	0.0001	0.0001	0.08	0.03
166	-4.35	-0.0001	0.0004	0.22	0.08
167	15.91	0.0003	0.0054	2.99	1.08
168	14.53	0.0003	0.0045	2.50	0.90
169	-1.44	0.0000	0.0000	0.02	0.01
170	6.11	0.0001	0.0008	0.44	0.16
171	36.40	0.0008	0.0282	15.66	5.64
172	36.82	0.0008	0.0288	16.03	5.77
173	37.47	0.0008	0.0299	16.59	5.97
174	120.99	0.0026	0.3115	173.03	62.29
175	77.52	0.0016	0.1279	71.04	25.57
176	78.90	0.0017	0.1325	73.59	26.49
177	82.61	0.0018	0.1452	80.66	29.04
178	89.70	0.0019	0.1712	95.10	34.24
179	99.15	0.0021	0.2092	116.21	41.84
180	119.06	0.0025	0.3016	167.55	60.32
181	135.00	0.0029	0.3878	215.44	77.56
182	145.38	0.0031	0.4497	249.81	89.93
183	150.76	0.0032	0.4836	268.67	96.72
184	156.73	0.0033	0.5226	290.36	104.53

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
185	160.09	0.0034	0.5453	302.94	109.06
186	153.93	0.0033	0.5042	280.09	100.83
187	149.13	0.0032	0.4732	262.88	94.64
188	144.61	0.0031	0.4449	247.18	88.98
189	138.19	0.0029	0.4063	225.73	81.26
190	138.32	0.0029	0.4071	226.14	81.41
191	139.16	0.0030	0.4120	228.91	82.41
192	132.96	0.0028	0.3762	208.98	75.23
193	78.46	0.0017	0.1310	72.76	26.19
194	70.45	0.0015	0.1056	58.66	21.12
195	68.68	0.0015	0.1004	55.75	20.07
196	75.03	0.0016	0.1198	66.55	23.96
197	69.81	0.0015	0.1037	57.61	20.74
198	68.27	0.0015	0.0992	55.08	19.83
199	68.65	0.0015	0.1003	55.71	20.06
200	68.95	0.0015	0.1011	56.19	20.23
201	68.89	0.0015	0.1010	56.10	20.19
202	69.68	0.0015	0.1033	57.38	20.66
203	78.90	0.0017	0.1324	73.58	26.49
204	151.49	0.0032	0.4883	271.27	97.66
205	171.34	0.0036	0.6247	347.03	124.93
206	172.01	0.0037	0.6295	349.72	125.90
207	167.54	0.0036	0.5973	331.81	119.45
208	164.91	0.0035	0.5786	321.46	115.72
209	165.39	0.0035	0.5820	323.34	116.40
210	109.42	0.0023	0.2548	141.53	50.95
211	88.64	0.0019	0.1672	92.87	33.43
212	83.75	0.0018	0.1492	82.91	29.85
213	79.77	0.0017	0.1354	75.21	27.08
214	76.78	0.0016	0.1254	69.69	25.09
215	74.75	0.0016	0.1189	66.04	23.77

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
216	72.98	0.0016	0.1133	62.96	22.66
217	71.14	0.0015	0.1077	59.82	21.53
218	69.65	0.0015	0.1032	57.34	20.64
219	69.07	0.0015	0.1015	56.39	20.30
220	67.62	0.0014	0.0973	54.05	19.46
221	66.62	0.0014	0.0944	52.47	18.89
222	66.11	0.0014	0.0930	51.65	18.60
223	65.20	0.0014	0.0905	50.25	18.09
224	63.99	0.0014	0.0871	48.40	17.42
225	64.07	0.0014	0.0873	48.52	17.47
226	62.58	0.0013	0.0833	46.29	16.66
227	61.05	0.0013	0.0793	44.05	15.86
228	61.93	0.0013	0.0816	45.34	16.32
229	63.51	0.0014	0.0858	47.68	17.16
230	63.30	0.0013	0.0853	47.37	17.05
231	62.78	0.0013	0.0839	46.59	16.77
232	63.12	0.0013	0.0848	47.10	16.96
233	107.18	0.0023	0.2444	135.79	48.89
234	127.42	0.0027	0.3454	191.90	69.09
235	93.43	0.0020	0.1857	103.18	37.15
236	130.51	0.0028	0.3624	201.32	72.48
237	140.78	0.0030	0.4217	234.26	84.33
238	154.98	0.0033	0.5111	283.93	102.21
239	164.93	0.0035	0.5788	321.54	115.75
240	156.58	0.0033	0.5217	289.81	104.33
241	93.60	0.0020	0.1864	103.55	37.28
242	106.78	0.0023	0.2426	134.77	48.52
243	133.53	0.0028	0.3793	210.75	75.87
244	90.75	0.0019	0.1752	97.34	35.04
245	169.76	0.0036	0.6132	340.65	122.63
246	164.48	0.0035	0.5756	319.78	115.12

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
247	160.02	0.0034	0.5448	302.69	108.97
248	88.77	0.0019	0.1677	93.14	33.53
249	87.37	0.0019	0.1624	90.23	32.48
250	92.09	0.0020	0.1804	100.24	36.09
251	164.56	0.0035	0.5762	320.11	115.24
252	162.03	0.0034	0.5586	310.33	111.72
253	158.46	0.0034	0.5342	296.80	106.85
254	97.07	0.0021	0.2005	111.38	40.10
255	89.76	0.0019	0.1714	95.22	34.28
256	87.71	0.0019	0.1637	90.94	32.74
257	169.10	0.0036	0.6084	338.01	121.68
258	166.12	0.0035	0.5871	326.18	117.43
259	162.83	0.0035	0.5641	313.39	112.82
260	106.47	0.0023	0.2412	134.00	48.24
261	102.13	0.0022	0.2219	123.28	44.38
262	103.85	0.0022	0.2295	127.49	45.90
263	165.48	0.0035	0.5827	323.70	116.53
264	119.71	0.0025	0.3049	169.38	60.98
265	102.17	0.0022	0.2221	123.38	44.42
266	67.81	0.0014	0.0978	54.36	19.57
267	62.95	0.0013	0.0843	46.83	16.86
268	62.93	0.0013	0.0843	46.82	16.85
269	88.25	0.0019	0.1657	92.07	33.14
270	85.10	0.0018	0.1541	85.61	30.82
271	81.30	0.0017	0.1406	78.13	28.13
272	59.12	0.0013	0.0744	41.31	14.87
273	61.12	0.0013	0.0795	44.16	15.90
274	62.01	0.0013	0.0818	45.45	16.36
275	78.22	0.0017	0.1302	72.32	26.04
276	72.93	0.0016	0.1132	62.87	22.63
277	72.64	0.0015	0.1123	62.37	22.45

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
278	55.98	0.0012	0.0667	37.04	13.34
279	58.64	0.0012	0.0732	40.65	14.63
280	64.55	0.0014	0.0886	49.25	17.73
281	82.01	0.0017	0.1431	79.50	28.62
282	69.00	0.0015	0.1013	56.27	20.26
283	65.65	0.0014	0.0917	50.94	18.34
284	66.88	0.0014	0.0952	52.88	19.04
285	72.91	0.0016	0.1131	62.84	22.62
286	75.26	0.0016	0.1205	66.95	24.10
287	78.86	0.0017	0.1323	73.52	26.47
288	103.66	0.0022	0.2286	127.01	45.72
289	108.37	0.0023	0.2499	138.83	49.98
290	111.86	0.0024	0.2662	147.91	53.25
291	98.41	0.0021	0.2061	114.48	41.21
292	87.29	0.0019	0.1621	90.06	32.42
293	80.01	0.0017	0.1362	75.67	27.24
294	70.40	0.0015	0.1054	58.58	21.09
295	79.11	0.0017	0.1331	73.97	26.63
296	82.71	0.0018	0.1455	80.85	29.11
297	85.75	0.0018	0.1565	86.92	31.29
298	81.63	0.0017	0.1418	78.77	28.36
299	79.97	0.0017	0.1361	75.59	27.21
300	81.60	0.0017	0.1417	78.71	28.34
301	91.55	0.0019	0.1783	99.08	35.67
302	93.53	0.0020	0.1861	103.41	37.23
303	100.67	0.0021	0.2156	119.80	43.13
304	99.98	0.0021	0.2127	118.15	42.53
305	94.79	0.0020	0.1912	106.21	38.23
306	92.31	0.0020	0.1813	100.73	36.26
307	89.44	0.0019	0.1702	94.56	34.04
308	95.36	0.0020	0.1935	107.49	38.70

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
309	97.62	0.0021	0.2028	112.65	40.56
310	112.80	0.0024	0.2707	150.41	54.15
311	116.12	0.0025	0.2869	159.39	57.38
312	124.17	0.0026	0.3281	182.26	65.61
313	108.32	0.0023	0.2496	138.68	49.92

ตาราง ข2.3.11 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

CH02 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	153.35	0.0301	4.6110	2561.66	922.20
126	79.12	0.0155	1.2275	681.92	245.49
127	98.50	0.0193	1.9025	1056.97	380.51
128	98.77	0.0194	1.9127	1062.62	382.54
129	88.80	0.0174	1.5461	858.93	309.22
130	72.55	0.0142	1.0320	573.31	206.39
131	67.71	0.0133	0.8988	499.35	179.76
132	76.30	0.0150	1.1414	634.11	228.28
133	86.29	0.0169	1.4600	811.13	292.01
134	84.53	0.0166	1.4012	778.44	280.24
135	84.00	0.0165	1.3836	768.68	276.72
136	88.23	0.0173	1.5263	847.93	305.26
137	89.33	0.0175	1.5645	869.18	312.91
138	105.31	0.0206	2.1745	1208.07	434.90
139	119.27	0.0234	2.7894	1549.68	557.89
140	125.36	0.0246	3.0815	1711.93	616.29
141	137.46	0.0270	3.7052	2058.43	741.04
142	151.50	0.0297	4.5004	2500.21	900.08
143	159.34	0.0312	4.9780	2765.55	995.60
144	160.34	0.0314	5.0412	2800.66	1008.24

CH02 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
145	171.61	0.0336	5.7742	3207.88	1154.84
146	174.26	0.0342	5.9545	3308.04	1190.89
147	177.06	0.0347	6.1472	3415.09	1229.43
148	187.56	0.0368	6.8981	3832.27	1379.62
149	188.74	0.0370	6.9849	3880.50	1396.98
150	183.71	0.0360	6.6178	3676.58	1323.57
151	177.36	0.0348	6.1682	3426.78	1233.64
152	166.78	0.0327	5.4537	3029.85	1090.75
153	173.29	0.0340	5.8879	3271.04	1177.57
154	181.73	0.0356	6.4758	3597.69	1295.17
155	197.75	0.0388	7.6675	4259.72	1533.50
156	208.17	0.0408	8.4968	4720.43	1699.35
157	205.56	0.0403	8.2852	4602.86	1657.03
158	195.62	0.0384	7.5035	4168.61	1500.70
159	182.83	0.0358	6.5541	3641.14	1310.81
160	165.74	0.0325	5.3862	2992.35	1077.25
161	159.33	0.0312	4.9777	2765.37	995.53
162	153.19	0.0300	4.6013	2556.26	920.25
163	150.26	0.0295	4.4273	2459.61	885.46
164	129.78	0.0254	3.3024	1834.69	660.49
165	38.04	0.0075	0.2837	157.62	56.74
166	25.55	0.0050	0.1280	71.10	25.60
167	47.74	0.0094	0.4468	248.24	89.37
168	47.53	0.0093	0.4429	246.04	88.58
169	18.92	0.0037	0.0702	39.00	14.04
170	21.33	0.0042	0.0892	49.58	17.85
171	58.28	0.0114	0.6659	369.94	133.18
172	54.60	0.0107	0.5846	324.76	116.91
173	49.08	0.0096	0.4723	262.36	94.45
174	148.48	0.0291	4.3230	2401.69	864.61
175	100.29	0.0197	1.9722	1095.66	394.44

CH02 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
176	105.33	0.0207	2.1756	1208.64	435.11
177	114.13	0.0224	2.5541	1418.96	510.83
178	128.05	0.0251	3.2152	1786.20	643.03
179	159.11	0.0312	4.9640	2757.78	992.80
180	183.59	0.0360	6.6087	3671.48	1321.73
181	193.05	0.0379	7.3077	4059.84	1461.54
182	202.75	0.0398	8.0604	4478.02	1612.09
183	220.77	0.0433	9.5569	5309.38	1911.38
184	236.66	0.0464	10.9819	6101.05	2196.38
185	248.70	0.0488	12.1274	6737.44	2425.48
186	252.27	0.0495	12.4781	6932.28	2495.62
187	253.93	0.0498	12.6436	7024.23	2528.72
188	251.40	0.0493	12.3927	6884.81	2478.53
189	241.34	0.0473	11.4205	6344.71	2284.10
190	237.48	0.0466	11.0578	6143.24	2211.56
191	238.57	0.0468	11.1599	6199.95	2231.98
192	229.02	0.0449	10.2844	5713.54	2056.88
193	163.66	0.0321	5.2517	2917.62	1050.34
194	141.66	0.0278	3.9350	2186.13	787.01
195	140.91	0.0276	3.8931	2162.83	778.62
196	129.93	0.0255	3.3103	1839.03	662.05
197	116.23	0.0228	2.6491	1471.70	529.81
198	111.23	0.0218	2.4257	1347.63	485.15
199	109.84	0.0215	2.3657	1314.29	473.15
200	108.69	0.0213	2.3163	1286.82	463.26
201	107.69	0.0211	2.2738	1263.21	454.76
202	107.71	0.0211	2.2748	1263.78	454.96
203	124.14	0.0243	3.0219	1678.83	604.38
204	219.17	0.0430	9.4189	5232.71	1883.77
205	249.67	0.0490	12.2228	6790.44	2444.56
206	252.54	0.0495	12.5054	6947.46	2501.09

CH02 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
207	248.20	0.0487	12.0795	6710.85	2415.90
208	246.19	0.0483	11.8845	6602.53	2376.91
209	248.38	0.0487	12.0967	6720.39	2419.34
210	181.48	0.0356	6.4579	3587.73	1291.58
211	153.30	0.0301	4.6082	2560.10	921.63
212	146.50	0.0287	4.2085	2338.05	841.70
213	141.46	0.0277	3.9235	2179.70	784.69
214	138.27	0.0271	3.7487	2082.60	749.74
215	136.57	0.0268	3.6569	2031.62	731.38
216	135.44	0.0266	3.5968	1998.22	719.36
217	133.71	0.0262	3.5055	1947.51	701.10
218	132.45	0.0260	3.4397	1910.95	687.94
219	132.07	0.0259	3.4203	1900.15	684.05
220	130.20	0.0255	3.3241	1846.73	664.82
221	128.79	0.0253	3.2523	1806.83	650.46
222	127.75	0.0250	3.2000	1777.77	640.00
223	126.30	0.0248	3.1279	1737.72	625.58
224	124.20	0.0244	3.0246	1680.35	604.93
225	123.88	0.0243	3.0089	1671.59	601.77
226	122.29	0.0240	2.9325	1629.15	586.49
227	119.47	0.0234	2.7987	1554.85	559.75
228	119.65	0.0235	2.8070	1559.43	561.40
229	120.17	0.0236	2.8316	1573.10	566.32
230	118.70	0.0233	2.7626	1534.76	552.51
231	117.09	0.0230	2.6885	1493.59	537.69
232	116.03	0.0228	2.6399	1466.59	527.97
233	166.01	0.0326	5.4040	3002.22	1080.80
234	186.15	0.0365	6.7945	3774.71	1358.90
235	143.46	0.0281	4.0354	2241.90	807.09
236	187.97	0.0369	6.9276	3848.68	1385.52
237	193.35	0.0379	7.3300	4072.20	1465.99

CH02 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
238	208.62	0.0409	8.5335	4740.82	1706.70
239	222.87	0.0437	9.7394	5410.80	1947.89
240	214.01	0.0420	8.9802	4989.02	1796.05
241	134.96	0.0265	3.5714	1984.11	714.28
242	136.22	0.0267	3.6384	2021.35	727.69
243	156.47	0.0307	4.8004	2666.88	960.08
244	97.76	0.0192	1.8739	1041.06	374.78
245	210.36	0.0412	8.6768	4820.43	1735.36
246	209.71	0.0411	8.6229	4790.50	1724.58
247	206.93	0.0406	8.3962	4664.54	1679.23
248	109.30	0.0214	2.3423	1301.26	468.45
249	96.97	0.0190	1.8439	1024.36	368.77
250	97.58	0.0191	1.8672	1037.32	373.44
251	202.41	0.0397	8.0332	4462.90	1606.64
252	209.66	0.0411	8.6188	4788.24	1723.77
253	213.26	0.0418	8.9174	4954.12	1783.48
254	127.38	0.0250	3.1816	1767.58	636.33
255	113.81	0.0223	2.5398	1411.01	507.96
256	112.20	0.0220	2.4684	1371.35	493.69
257	227.31	0.0446	10.1309	5628.28	2026.18
258	229.91	0.0451	10.3644	5757.99	2072.88
259	228.33	0.0448	10.2221	5678.97	2044.43
260	141.48	0.0277	3.9248	2180.43	784.95
261	124.75	0.0245	3.0513	1695.17	610.26
262	121.73	0.0239	2.9058	1614.31	581.15
263	193.50	0.0379	7.3415	4078.61	1468.30
264	45.85	0.0090	0.4121	228.97	82.43
265	47.66	0.0093	0.4455	247.48	89.09
266	32.81	0.0064	0.2110	117.24	42.21
267	22.23	0.0044	0.0969	53.83	19.38
268	17.93	0.0035	0.0630	35.01	12.60

CH02 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
269	40.91	0.0080	0.3282	182.35	65.65
270	40.34	0.0079	0.3190	177.24	63.80
271	39.91	0.0078	0.3123	173.51	62.46
272	20.92	0.0041	0.0858	47.67	17.16
273	19.12	0.0037	0.0716	39.80	14.33
274	19.91	0.0039	0.0777	43.19	15.55
275	38.24	0.0075	0.2867	159.28	57.34
276	40.90	0.0080	0.3280	182.21	65.60
277	42.84	0.0084	0.3599	199.94	71.98
278	24.76	0.0049	0.1202	66.77	24.04
279	20.72	0.0041	0.0842	46.75	16.83
280	21.58	0.0042	0.0913	50.71	18.26
281	39.95	0.0078	0.3129	173.83	62.58
282	26.34	0.0052	0.1360	75.56	27.20
283	23.56	0.0046	0.1089	60.48	21.77
284	22.36	0.0044	0.0981	54.48	19.61
285	22.46	0.0044	0.0989	54.96	19.79
286	21.94	0.0043	0.0944	52.45	18.88
287	22.73	0.0045	0.1013	56.27	20.26
288	75.53	0.0148	1.1187	621.49	223.74
289	91.69	0.0180	1.6485	915.84	329.70
290	88.34	0.0173	1.5301	850.05	306.02
291	40.33	0.0079	0.3190	177.20	63.79
292	24.25	0.0048	0.1153	64.06	23.06
293	18.23	0.0036	0.0651	36.19	13.03
294	7.72	0.0015	0.0117	6.49	2.34
295	7.65	0.0015	0.0115	6.37	2.29
296	7.32	0.0014	0.0105	5.84	2.10
297	17.81	0.0035	0.0622	34.55	12.44
298	21.19	0.0042	0.0880	48.91	17.61
299	20.84	0.0041	0.0852	47.31	17.03

CH02 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
300	9.68	0.0019	0.0184	10.20	3.67
301	9.57	0.0019	0.0180	9.97	3.59
302	9.57	0.0019	0.0180	9.97	3.59
303	18.13	0.0036	0.0645	35.81	12.89
304	23.00	0.0045	0.1038	57.64	20.75
305	22.44	0.0044	0.0988	54.87	19.75
306	21.77	0.0043	0.0930	51.64	18.59
307	9.61	0.0019	0.0181	10.06	3.62
308	9.51	0.0019	0.0177	9.85	3.55
309	7.53	0.0015	0.0111	6.17	2.22
310	36.88	0.0072	0.2667	148.15	53.33
311	46.75	0.0092	0.4285	238.07	85.71
312	70.12	0.0137	0.9641	535.63	192.83
313	55.53	0.0109	0.6047	335.93	120.94

ตาราง ข2.3.12 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	139.79	0.0030	0.4158	230.99	83.16
126	-17.78	-0.0004	0.0067	3.74	1.35
127	-65.63	-0.0014	0.0916	50.91	18.33
128	-57.20	-0.0012	0.0696	38.67	13.92
129	-42.77	-0.0009	0.0389	21.62	7.78
130	-30.75	-0.0007	0.0201	11.18	4.02
131	-22.18	-0.0005	0.0105	5.82	2.09
132	-17.02	-0.0004	0.0062	3.42	1.23
133	-10.30	-0.0002	0.0023	1.26	0.45
134	-7.61	-0.0002	0.0012	0.68	0.25
135	-5.16	-0.0001	0.0006	0.32	0.11

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
136	-1.43	0.0000	0.0000	0.02	0.01
137	-6.90	-0.0001	0.0010	0.56	0.20
138	-14.07	-0.0003	0.0042	2.34	0.84
139	-13.19	-0.0003	0.0037	2.06	0.74
140	-11.26	-0.0002	0.0027	1.50	0.54
141	-7.96	-0.0002	0.0013	0.75	0.27
142	-5.83	-0.0001	0.0007	0.40	0.14
143	-12.16	-0.0003	0.0031	1.75	0.63
144	-15.29	-0.0003	0.0050	2.76	0.99
145	-12.77	-0.0003	0.0035	1.93	0.69
146	-15.09	-0.0003	0.0048	2.69	0.97
147	-19.41	-0.0004	0.0080	4.46	1.60
148	-19.28	-0.0004	0.0079	4.39	1.58
149	-18.00	-0.0004	0.0069	3.83	1.38
150	-21.73	-0.0005	0.0101	5.58	2.01
151	-24.61	-0.0005	0.0129	7.16	2.58
152	-32.93	-0.0007	0.0231	12.81	4.61
153	-34.41	-0.0007	0.0252	14.00	5.04
154	-32.65	-0.0007	0.0227	12.60	4.54
155	-27.59	-0.0006	0.0162	9.00	3.24
156	-19.48	-0.0004	0.0081	4.49	1.61
157	-11.87	-0.0003	0.0030	1.67	0.60
158	-10.95	-0.0002	0.0025	1.42	0.51
159	-6.90	-0.0001	0.0010	0.56	0.20
160	-8.54	-0.0002	0.0016	0.86	0.31
161	-3.27	-0.0001	0.0002	0.13	0.05
162	0.74	0.0000	0.0000	0.01	0.00
163	0.74	0.0000	0.0000	0.01	0.00
164	-6.81	-0.0001	0.0010	0.55	0.20
165	-47.01	-0.0010	0.0470	26.12	9.40
166	-45.05	-0.0010	0.0432	23.99	8.64

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
167	-21.75	-0.0005	0.0101	5.59	2.01
168	-21.41	-0.0005	0.0098	5.42	1.95
169	-32.47	-0.0007	0.0224	12.46	4.49
170	-24.08	-0.0005	0.0123	6.85	2.47
171	4.57	0.0001	0.0004	0.25	0.09
172	5.35	0.0001	0.0006	0.34	0.12
173	7.37	0.0002	0.0012	0.64	0.23
174	107.74	0.0023	0.2470	137.21	49.40
175	89.10	0.0019	0.1689	93.85	33.78
176	89.95	0.0019	0.1722	95.64	34.43
177	92.45	0.0020	0.1818	101.02	36.37
178	98.71	0.0021	0.2073	115.17	41.46
179	106.23	0.0023	0.2401	133.39	48.02
180	117.80	0.0025	0.2953	164.03	59.05
181	121.34	0.0026	0.3133	174.04	62.65
182	124.81	0.0027	0.3314	184.13	66.29
183	127.90	0.0027	0.3480	193.36	69.61
184	130.11	0.0028	0.3602	200.09	72.03
185	133.68	0.0028	0.3802	211.24	76.05
186	126.14	0.0027	0.3385	188.07	67.70
187	118.13	0.0025	0.2969	164.96	59.39
188	111.33	0.0024	0.2637	146.49	52.74
189	102.33	0.0022	0.2228	123.76	44.56
190	98.40	0.0021	0.2060	114.45	41.20
191	94.29	0.0020	0.1892	105.09	37.83
192	89.17	0.0019	0.1692	93.99	33.84
193	31.27	0.0007	0.0208	11.56	4.16
194	10.38	0.0002	0.0023	1.27	0.46
195	0.44	0.0000	0.0000	0.00	0.00
196	-15.45	-0.0003	0.0051	2.82	1.02
197	-17.90	-0.0004	0.0068	3.79	1.36

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
198	-22.58	-0.0005	0.0108	6.03	2.17
199	-28.87	-0.0006	0.0177	9.86	3.55
200	-35.21	-0.0007	0.0264	14.65	5.28
201	-40.93	-0.0009	0.0356	19.80	7.13
202	-45.50	-0.0010	0.0440	24.47	8.81
203	-76.49	-0.0016	0.1245	69.15	24.90
204	20.95	0.0004	0.0093	5.19	1.87
205	28.81	0.0006	0.0177	9.81	3.53
206	15.49	0.0003	0.0051	2.84	1.02
207	-3.37	-0.0001	0.0002	0.13	0.05
208	-17.86	-0.0004	0.0068	3.77	1.36
209	-24.23	-0.0005	0.0125	6.94	2.50
210	-79.39	-0.0017	0.1341	74.51	26.82
211	-95.14	-0.0020	0.1926	107.00	38.52
212	-97.46	-0.0021	0.2021	112.26	40.42
213	-98.21	-0.0021	0.2052	114.02	41.05
214	-97.55	-0.0021	0.2025	112.48	40.49
215	-95.85	-0.0020	0.1955	108.59	39.09
216	-92.37	-0.0020	0.1815	100.85	36.30
217	-89.33	-0.0019	0.1698	94.33	33.96
218	-86.03	-0.0018	0.1575	87.47	31.49
219	-83.17	-0.0018	0.1472	81.76	29.44
220	-81.06	-0.0017	0.1398	77.66	27.96
221	-78.92	-0.0017	0.1325	73.62	26.50
222	-77.09	-0.0016	0.1264	70.25	25.29
223	-74.14	-0.0016	0.1170	64.98	23.39
224	-72.51	-0.0015	0.1119	62.15	22.37
225	-69.91	-0.0015	0.1040	57.78	20.80
226	-67.31	-0.0014	0.0964	53.55	19.28
227	-64.77	-0.0014	0.0893	49.59	17.85
228	-63.98	-0.0014	0.0871	48.38	17.42

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
229	-64.17	-0.0014	0.0876	48.67	17.52
230	-62.53	-0.0013	0.0832	46.22	16.64
231	-60.49	-0.0013	0.0778	43.25	15.57
232	-61.30	-0.0013	0.0799	44.41	15.99
233	-34.41	-0.0007	0.0252	14.00	5.04
234	0.83	0.0000	0.0000	0.01	0.00
235	-6.61	-0.0001	0.0009	0.52	0.19
236	5.46	0.0001	0.0006	0.35	0.13
237	-10.45	-0.0002	0.0023	1.29	0.46
238	-6.53	-0.0001	0.0009	0.50	0.18
239	5.07	0.0001	0.0005	0.30	0.11
240	1.98	0.0000	0.0001	0.05	0.02
241	-97.99	-0.0021	0.2043	113.50	40.86
242	-132.20	-0.0028	0.3718	206.57	74.37
243	-74.86	-0.0016	0.1192	66.25	23.85
244	-26.07	-0.0006	0.0145	8.03	2.89
245	48.05	0.0010	0.0491	27.30	9.83
246	48.12	0.0010	0.0493	27.37	9.85
247	20.40	0.0004	0.0089	4.92	1.77
248	-39.60	-0.0008	0.0334	18.53	6.67
249	-30.59	-0.0007	0.0199	11.06	3.98
250	-23.05	-0.0005	0.0113	6.28	2.26
251	12.30	0.0003	0.0032	1.79	0.64
252	-4.09	-0.0001	0.0004	0.20	0.07
253	-13.02	-0.0003	0.0036	2.00	0.72
254	-36.29	-0.0008	0.0280	15.56	5.60
255	-15.67	-0.0003	0.0052	2.90	1.05
256	-4.79	-0.0001	0.0005	0.27	0.10
257	19.92	0.0004	0.0084	4.69	1.69
258	-1.89	0.0000	0.0001	0.04	0.02
259	-3.40	-0.0001	0.0002	0.14	0.05

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
260	-27.76	-0.0006	0.0164	9.11	3.28
261	-17.52	-0.0004	0.0065	3.63	1.31
262	-12.99	-0.0003	0.0036	1.99	0.72
263	8.78	0.0002	0.0016	0.91	0.33
264	-93.07	-0.0020	0.1843	102.40	36.86
265	-78.44	-0.0017	0.1309	72.73	26.18
266	-87.79	-0.0019	0.1640	91.11	32.80
267	-79.71	-0.0017	0.1352	75.10	27.04
268	-71.13	-0.0015	0.1076	59.80	21.53
269	-45.01	-0.0010	0.0431	23.94	8.62
270	-38.47	-0.0008	0.0315	17.49	6.30
271	-34.79	-0.0007	0.0258	14.31	5.15
272	-56.35	-0.0012	0.0676	37.53	13.51
273	-58.53	-0.0012	0.0729	40.49	14.58
274	-57.35	-0.0012	0.0700	38.87	13.99
275	-26.20	-0.0006	0.0146	8.11	2.92
276	-25.28	-0.0005	0.0136	7.55	2.72
277	-29.22	-0.0006	0.0182	10.09	3.63
278	-47.90	-0.0010	0.0488	27.13	9.77
279	-49.47	-0.0011	0.0521	28.93	10.41
280	-47.55	-0.0010	0.0481	26.72	9.62
281	-46.12	-0.0010	0.0453	25.14	9.05
282	-51.87	-0.0011	0.0573	31.81	11.45
283	-48.87	-0.0010	0.0508	28.23	10.16
284	-53.13	-0.0011	0.0600	33.36	12.01
285	-58.56	-0.0012	0.0730	40.53	14.59
286	-60.08	-0.0013	0.0768	42.67	15.36
287	-51.85	-0.0011	0.0572	31.78	11.44
288	-21.55	-0.0005	0.0099	5.49	1.98
289	-16.32	-0.0003	0.0057	3.15	1.13
290	-14.50	-0.0003	0.0045	2.49	0.89

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
291	17.98	0.0004	0.0069	3.82	1.38
292	-20.40	-0.0004	0.0089	4.92	1.77
293	-20.84	-0.0004	0.0092	5.13	1.85
294	-13.50	-0.0003	0.0039	2.15	0.78
295	-7.16	-0.0002	0.0011	0.61	0.22
296	-8.83	-0.0002	0.0017	0.92	0.33
297	-15.31	-0.0003	0.0050	2.77	1.00
298	-13.81	-0.0003	0.0041	2.26	0.81
299	-13.98	-0.0003	0.0042	2.31	0.83
300	-15.93	-0.0003	0.0054	3.00	1.08
301	-16.11	-0.0003	0.0055	3.07	1.10
302	-19.28	-0.0004	0.0079	4.39	1.58
303	-26.21	-0.0006	0.0146	8.12	2.92
304	-21.84	-0.0005	0.0102	5.64	2.03
305	-19.21	-0.0004	0.0078	4.36	1.57
306	-19.62	-0.0004	0.0082	4.55	1.64
307	-21.76	-0.0005	0.0101	5.59	2.01
308	-19.61	-0.0004	0.0082	4.54	1.64
309	-19.31	-0.0004	0.0079	4.41	1.59
310	-1.67	0.0000	0.0001	0.03	0.01
311	-4.35	-0.0001	0.0004	0.22	0.08
312	6.06	0.0001	0.0008	0.43	0.16
313	6.05	0.0001	0.0008	0.43	0.16

ตาราง ข2.3.13 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	286.88	0.0057	1.6460	914.42	329.19
126	102.39	0.0020	0.2097	116.49	41.94

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
127	93.25	0.0019	0.1739	96.62	34.78
128	78.41	0.0016	0.1230	68.31	24.59
129	70.68	0.0014	0.0999	55.50	19.98
130	64.84	0.0013	0.0841	46.72	16.82
131	58.62	0.0012	0.0687	38.18	13.75
132	52.25	0.0010	0.0546	30.33	10.92
133	48.36	0.0010	0.0468	25.98	9.35
134	40.55	0.0008	0.0329	18.27	6.58
135	35.17	0.0007	0.0247	13.74	4.95
136	34.25	0.0007	0.0235	13.03	4.69
137	27.17	0.0005	0.0148	8.20	2.95
138	23.89	0.0005	0.0114	6.34	2.28
139	21.52	0.0004	0.0093	5.15	1.85
140	20.28	0.0004	0.0082	4.57	1.64
141	19.64	0.0004	0.0077	4.29	1.54
142	22.67	0.0005	0.0103	5.71	2.06
143	21.96	0.0004	0.0096	5.36	1.93
144	22.83	0.0005	0.0104	5.79	2.09
145	24.66	0.0005	0.0122	6.76	2.43
146	24.77	0.0005	0.0123	6.82	2.45
147	21.96	0.0004	0.0096	5.36	1.93
148	22.03	0.0004	0.0097	5.39	1.94
149	27.89	0.0006	0.0156	8.65	3.11
150	30.56	0.0006	0.0187	10.37	3.73
151	34.17	0.0007	0.0234	12.97	4.67
152	39.27	0.0008	0.0308	17.13	6.17
153	39.16	0.0008	0.0307	17.04	6.13
154	37.53	0.0008	0.0282	15.65	5.64
155	26.66	0.0005	0.0142	7.90	2.84
156	15.82	0.0003	0.0050	2.78	1.00
157	15.74	0.0003	0.0050	2.75	0.99

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
158	14.06	0.0003	0.0040	2.20	0.79
159	12.75	0.0003	0.0032	1.80	0.65
160	6.69	0.0001	0.0009	0.50	0.18
161	4.30	0.0001	0.0004	0.21	0.07
162	4.05	0.0001	0.0003	0.18	0.07
163	2.85	0.0001	0.0002	0.09	0.03
164	-2.09	0.0000	0.0001	0.05	0.02
165	-23.14	-0.0005	0.0107	5.95	2.14
166	-17.94	-0.0004	0.0064	3.58	1.29
167	-0.34	0.0000	0.0000	0.00	0.00
168	-3.56	-0.0001	0.0003	0.14	0.05
169	-8.55	-0.0002	0.0015	0.81	0.29
170	-3.13	-0.0001	0.0002	0.11	0.04
171	12.61	0.0003	0.0032	1.77	0.64
172	11.78	0.0002	0.0028	1.54	0.55
173	12.84	0.0003	0.0033	1.83	0.66
174	103.73	0.0021	0.2152	119.56	43.04
175	78.77	0.0016	0.1241	68.94	24.82
176	85.72	0.0017	0.1470	81.65	29.39
177	91.81	0.0018	0.1686	93.67	33.72
178	97.36	0.0019	0.1896	105.33	37.92
179	101.51	0.0020	0.2061	114.48	41.21
180	106.57	0.0021	0.2271	126.19	45.43
181	111.79	0.0022	0.2499	138.86	49.99
182	117.26	0.0023	0.2750	152.78	55.00
183	121.46	0.0024	0.2950	163.91	59.01
184	121.58	0.0024	0.2957	164.25	59.13
185	117.37	0.0023	0.2755	153.06	55.10
186	105.75	0.0021	0.2236	124.25	44.73
187	95.84	0.0019	0.1837	102.06	36.74
188	87.16	0.0017	0.1519	84.40	30.39

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
189	77.49	0.0015	0.1201	66.72	24.02
190	73.46	0.0015	0.1079	59.96	21.59
191	70.03	0.0014	0.0981	54.49	19.62
192	62.89	0.0013	0.0791	43.95	15.82
193	35.36	0.0007	0.0250	13.90	5.00
194	51.25	0.0010	0.0525	29.19	10.51
195	60.99	0.0012	0.0744	41.33	14.88
196	52.59	0.0011	0.0553	30.73	11.06
197	53.96	0.0011	0.0582	32.35	11.64
198	56.67	0.0011	0.0642	35.68	12.85
199	55.60	0.0011	0.0618	34.35	12.37
200	54.83	0.0011	0.0601	33.40	12.02
201	53.43	0.0011	0.0571	31.72	11.42
202	52.70	0.0011	0.0555	30.86	11.11
203	42.23	0.0008	0.0357	19.82	7.13
204	95.75	0.0019	0.1834	101.88	36.68
205	110.64	0.0022	0.2448	136.01	48.96
206	109.43	0.0022	0.2395	133.06	47.90
207	103.62	0.0021	0.2147	119.30	42.95
208	100.43	0.0020	0.2017	112.06	40.34
209	98.61	0.0020	0.1945	108.04	38.90
210	57.04	0.0011	0.0651	36.15	13.01
211	45.69	0.0009	0.0418	23.20	8.35
212	44.94	0.0009	0.0404	22.44	8.08
213	44.13	0.0009	0.0389	21.64	7.79
214	43.83	0.0009	0.0384	21.34	7.68
215	44.01	0.0009	0.0387	21.52	7.75
216	44.17	0.0009	0.0390	21.67	7.80
217	44.35	0.0009	0.0393	21.85	7.87
218	44.52	0.0009	0.0396	22.03	7.93
219	45.29	0.0009	0.0410	22.79	8.20

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
220	45.21	0.0009	0.0409	22.71	8.18
221	45.33	0.0009	0.0411	22.84	8.22
222	45.46	0.0009	0.0413	22.96	8.27
223	45.57	0.0009	0.0415	23.08	8.31
224	45.31	0.0009	0.0411	22.81	8.21
225	46.64	0.0009	0.0435	24.17	8.70
226	46.74	0.0009	0.0437	24.27	8.74
227	45.84	0.0009	0.0420	23.35	8.41
228	46.73	0.0009	0.0437	24.27	8.74
229	47.35	0.0009	0.0448	24.91	8.97
230	47.44	0.0009	0.0450	25.00	9.00
231	47.85	0.0010	0.0458	25.44	9.16
232	48.67	0.0010	0.0474	26.32	9.47
233	73.04	0.0015	0.1067	59.27	21.34
234	88.32	0.0018	0.1560	86.67	31.20
235	72.10	0.0014	0.1040	57.75	20.79
236	101.74	0.0020	0.2070	115.01	41.40
237	102.66	0.0021	0.2108	117.09	42.15
238	107.24	0.0021	0.2300	127.78	46.00
239	108.95	0.0022	0.2374	131.89	47.48
240	96.32	0.0019	0.1855	103.08	37.11
241	64.83	0.0013	0.0841	46.70	16.81
242	66.08	0.0013	0.0873	48.52	17.47
243	92.22	0.0018	0.1701	94.49	34.02
244	72.66	0.0015	0.1056	58.67	21.12
245	139.04	0.0028	0.3866	214.80	77.33
246	137.77	0.0028	0.3796	210.91	75.93
247	127.63	0.0026	0.3258	181.00	65.16
248	57.03	0.0011	0.0651	36.14	13.01
249	47.41	0.0009	0.0449	24.97	8.99
250	44.99	0.0009	0.0405	22.49	8.10

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
251	106.53	0.0021	0.2270	126.09	45.39
252	101.84	0.0020	0.2074	115.24	41.49
253	94.41	0.0019	0.1783	99.04	35.66
254	32.23	0.0006	0.0208	11.54	4.15
255	25.29	0.0005	0.0128	7.11	2.56
256	22.89	0.0005	0.0105	5.82	2.10
257	89.61	0.0018	0.1606	89.21	32.12
258	85.65	0.0017	0.1467	81.51	29.34
259	82.04	0.0016	0.1346	74.78	26.92
260	23.51	0.0005	0.0111	6.14	2.21
261	17.32	0.0003	0.0060	3.33	1.20
262	17.00	0.0003	0.0058	3.21	1.16
263	51.69	0.0010	0.0534	29.69	10.69
264	28.16	0.0006	0.0159	8.81	3.17
265	53.35	0.0011	0.0569	31.62	11.38
266	15.54	0.0003	0.0048	2.68	0.97
267	7.99	0.0002	0.0013	0.71	0.26
268	6.96	0.0001	0.0010	0.54	0.19
269	47.86	0.0010	0.0458	25.45	9.16
270	46.76	0.0009	0.0437	24.30	8.75
271	45.47	0.0009	0.0414	22.98	8.27
272	1.12	0.0000	0.0000	0.01	0.01
273	-7.12	-0.0001	0.0010	0.56	0.20
274	-11.78	-0.0002	0.0028	1.54	0.56
275	38.31	0.0008	0.0294	16.31	5.87
276	39.45	0.0008	0.0311	17.30	6.23
277	37.26	0.0007	0.0278	15.43	5.55
278	-2.10	0.0000	0.0001	0.05	0.02
279	-13.46	-0.0003	0.0036	2.01	0.72
280	-14.98	-0.0003	0.0045	2.49	0.90
281	8.12	0.0002	0.0013	0.73	0.26

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
282	-5.69	-0.0001	0.0006	0.36	0.13
283	1.85	0.0000	0.0001	0.04	0.01
284	0.86	0.0000	0.0000	0.01	0.00
285	-5.81	-0.0001	0.0007	0.37	0.13
286	-8.23	-0.0002	0.0014	0.75	0.27
287	1.16	0.0000	0.0000	0.01	0.01
288	23.88	0.0005	0.0114	6.33	2.28
289	26.36	0.0005	0.0139	7.72	2.78
290	23.42	0.0005	0.0110	6.10	2.19
291	76.44	0.0015	0.1169	64.92	23.37
292	52.23	0.0010	0.0546	30.31	10.91
293	35.05	0.0007	0.0246	13.65	4.91
294	12.17	0.0002	0.0030	1.64	0.59
295	0.27	0.0000	0.0000	0.00	0.00
296	-4.72	-0.0001	0.0004	0.25	0.09
297	6.58	0.0001	0.0009	0.48	0.17
298	13.73	0.0003	0.0038	2.09	0.75
299	14.19	0.0003	0.0040	2.24	0.81
300	-0.05	0.0000	0.0000	0.00	0.00
301	-6.51	-0.0001	0.0008	0.47	0.17
302	-10.30	-0.0002	0.0021	1.18	0.42
303	-1.18	0.0000	0.0000	0.02	0.01
304	11.34	0.0002	0.0026	1.43	0.51
305	13.07	0.0003	0.0034	1.90	0.68
306	12.12	0.0002	0.0029	1.63	0.59
307	-2.62	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
308	-7.34	-0.0001	0.0011	0.60	0.22
309	-10.05	-0.0002	0.0020	1.12	0.40
310	-0.16	0.0000	0.0000	0.00	0.00
311	3.39	0.0001	0.0002	0.13	0.05
312	16.90	0.0003	0.0057	3.18	1.14

CH04 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
313	15.73	0.0003	0.0050	2.75	0.99

ตาราง ข.2.3.14 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

CH05 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	324.85	0.0065	2.1106	1172.54	422.11
126	149.36	0.0030	0.4461	247.86	89.23
127	141.06	0.0028	0.3980	221.09	79.59
128	123.88	0.0025	0.3069	170.52	61.39
129	113.98	0.0023	0.2598	144.36	51.97
130	106.15	0.0021	0.2254	125.19	45.07
131	98.57	0.0020	0.1943	107.95	38.86
132	90.23	0.0018	0.1628	90.47	32.57
133	84.67	0.0017	0.1434	79.66	28.68
134	75.50	0.0015	0.1140	63.33	22.80
135	68.09	0.0014	0.0927	51.52	18.55
136	66.51	0.0013	0.0885	49.16	17.70
137	57.67	0.0012	0.0665	36.96	13.30
138	53.04	0.0011	0.0563	31.26	11.25
139	49.23	0.0010	0.0485	26.93	9.69
140	47.02	0.0009	0.0442	24.56	8.84
141	45.36	0.0009	0.0411	22.86	8.23
142	48.31	0.0010	0.0467	25.94	9.34
143	46.79	0.0009	0.0438	24.32	8.76
144	47.52	0.0010	0.0452	25.09	9.03
145	49.40	0.0010	0.0488	27.12	9.76
146	49.04	0.0010	0.0481	26.72	9.62
147	45.42	0.0009	0.0413	22.92	8.25
148	45.31	0.0009	0.0411	22.81	8.21

CH05 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
149	50.98	0.0010	0.0520	28.87	10.39
150	53.78	0.0011	0.0579	32.14	11.57
151	57.27	0.0011	0.0656	36.44	13.12
152	62.59	0.0013	0.0784	43.53	15.67
153	62.27	0.0012	0.0775	43.08	15.51
154	60.31	0.0012	0.0727	40.41	14.55
155	48.00	0.0010	0.0461	25.60	9.22
156	35.40	0.0007	0.0251	13.92	5.01
157	34.64	0.0007	0.0240	13.34	4.80
158	32.46	0.0006	0.0211	11.71	4.21
159	30.28	0.0006	0.0183	10.19	3.67
160	23.55	0.0005	0.0111	6.16	2.22
161	22.07	0.0004	0.0097	5.41	1.95
162	31.16	0.0006	0.0194	10.79	3.88
163	32.02	0.0006	0.0205	11.39	4.10
164	26.63	0.0005	0.0142	7.88	2.84
165	-9.14	-0.0002	0.0017	0.93	0.33
166	-5.59	-0.0001	0.0006	0.35	0.12
167	19.36	0.0004	0.0075	4.16	1.50
168	20.92	0.0004	0.0087	4.86	1.75
169	11.75	0.0002	0.0028	1.53	0.55
170	19.22	0.0004	0.0074	4.10	1.48
171	45.79	0.0009	0.0419	23.30	8.39
172	47.71	0.0010	0.0455	25.29	9.10
173	49.29	0.0010	0.0486	27.00	9.72
174	149.55	0.0030	0.4473	248.50	89.46
175	124.26	0.0025	0.3088	171.56	61.76
176	127.06	0.0025	0.3229	179.38	64.58
177	128.55	0.0026	0.3305	183.60	66.10
178	127.27	0.0025	0.3239	179.96	64.79
179	121.56	0.0024	0.2955	164.19	59.11

CH05 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
180	116.58	0.0023	0.2718	151.01	54.36
181	113.80	0.0023	0.2590	143.88	51.80
182	111.68	0.0022	0.2494	138.57	49.89
183	109.30	0.0022	0.2389	132.75	47.79
184	108.32	0.0022	0.2347	130.38	46.94
185	109.47	0.0022	0.2397	133.16	47.94
186	101.64	0.0020	0.2066	114.78	41.32
187	93.96	0.0019	0.1766	98.09	35.31
188	88.16	0.0018	0.1554	86.35	31.09
189	78.68	0.0016	0.1238	68.78	24.76
190	70.90	0.0014	0.1005	55.85	20.11
191	66.20	0.0013	0.0877	48.70	17.53
192	59.94	0.0012	0.0719	39.93	14.37
193	20.48	0.0004	0.0084	4.66	1.68
194	21.86	0.0004	0.0096	5.31	1.91
195	24.06	0.0005	0.0116	6.43	2.32
196	25.76	0.0005	0.0133	7.37	2.65
197	32.00	0.0006	0.0205	11.38	4.10
198	36.14	0.0007	0.0261	14.51	5.22
199	38.58	0.0008	0.0298	16.54	5.95
200	40.30	0.0008	0.0325	18.04	6.49
201	40.96	0.0008	0.0336	18.64	6.71
202	42.37	0.0008	0.0359	19.94	7.18
203	41.91	0.0008	0.0351	19.52	7.03
204	90.90	0.0018	0.1652	91.80	33.05
205	93.53	0.0019	0.1749	97.19	34.99
206	94.51	0.0019	0.1786	99.24	35.73
207	98.37	0.0020	0.1935	107.52	38.71
208	101.69	0.0020	0.2068	114.91	41.37
209	102.51	0.0021	0.2102	116.76	42.03
210	59.78	0.0012	0.0715	39.71	14.30

CH05 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
211	47.17	0.0009	0.0445	24.72	8.90
212	46.53	0.0009	0.0433	24.06	8.66
213	45.40	0.0009	0.0412	22.90	8.24
214	44.82	0.0009	0.0402	22.32	8.04
215	45.20	0.0009	0.0409	22.70	8.17
216	44.84	0.0009	0.0402	22.34	8.04
217	44.97	0.0009	0.0404	22.47	8.09
218	44.99	0.0009	0.0405	22.49	8.10
219	45.27	0.0009	0.0410	22.77	8.20
220	45.14	0.0009	0.0407	22.64	8.15
221	45.29	0.0009	0.0410	22.79	8.20
222	45.40	0.0009	0.0412	22.90	8.24
223	45.17	0.0009	0.0408	22.67	8.16
224	44.87	0.0009	0.0403	22.37	8.05
225	46.19	0.0009	0.0427	23.71	8.54
226	46.30	0.0009	0.0429	23.82	8.57
227	45.42	0.0009	0.0413	22.92	8.25
228	46.21	0.0009	0.0427	23.73	8.54
229	46.97	0.0009	0.0441	24.51	8.82
230	46.87	0.0009	0.0439	24.41	8.79
231	47.26	0.0009	0.0447	24.82	8.93
232	47.83	0.0010	0.0458	25.42	9.15
233	72.36	0.0014	0.1047	58.18	20.94
234	53.37	0.0011	0.0570	31.65	11.39
235	72.70	0.0015	0.1057	58.73	21.14
236	106.99	0.0021	0.2289	127.19	45.79
237	105.14	0.0021	0.2211	122.83	44.22
238	102.44	0.0020	0.2099	116.61	41.98
239	96.14	0.0019	0.1849	102.71	36.97
240	74.78	0.0015	0.1119	62.14	22.37
241	30.27	0.0006	0.0183	10.18	3.66

CH05 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
242	37.78	0.0008	0.0286	15.86	5.71
243	-1.75	0.0000	0.0001	0.03	0.01
244	-3.35	-0.0001	0.0002	0.12	0.04
245	87.12	0.0017	0.1518	84.32	30.36
246	92.31	0.0018	0.1704	94.67	34.08
247	83.54	0.0017	0.1396	77.54	27.92
248	0.89	0.0000	0.0000	0.01	0.00
249	-7.52	-0.0002	0.0011	0.63	0.23
250	-7.12	-0.0001	0.0010	0.56	0.20
251	63.82	0.0013	0.0815	45.25	16.29
252	65.65	0.0013	0.0862	47.89	17.24
253	74.16	0.0015	0.1100	61.10	22.00
254	5.49	0.0001	0.0006	0.33	0.12
255	-3.88	-0.0001	0.0003	0.17	0.06
256	-5.12	-0.0001	0.0005	0.29	0.10
257	66.46	0.0013	0.0884	49.08	17.67
258	64.76	0.0013	0.0839	46.60	16.78
259	60.74	0.0012	0.0738	40.99	14.76
260	-3.02	-0.0001	0.0002	0.10	0.04
261	-12.25	-0.0002	0.0030	1.67	0.60
262	-17.01	-0.0003	0.0058	3.21	1.16
263	-2.45	0.0000	0.0001	0.07	0.02
264	-4.19	-0.0001	0.0004	0.19	0.07
265	19.27	0.0004	0.0074	4.12	1.48
266	-15.63	-0.0003	0.0049	2.71	0.98
267	0.09	0.0000	0.0000	0.00	0.00
268	0.04	0.0000	0.0000	0.00	0.00
269	0.14	0.0000	0.0000	0.00	0.00
270	0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
271	-0.03	0.0000	0.0000	0.00	0.00
272	0.12	0.0000	0.0000	0.00	0.00

CH05 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
273	0.09	0.0000	0.0000	0.00	0.00
274	0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
275	0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
276	0.34	0.0000	0.0000	0.00	0.00
277	0.31	0.0000	0.0000	0.00	0.00
278	0.16	0.0000	0.0000	0.00	0.00
279	0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
280	0.11	0.0000	0.0000	0.00	0.00
281	-0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
282	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
283	0.02	0.0000	0.0000	0.00	0.00
284	0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
285	0.04	0.0000	0.0000	0.00	0.00
286	0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
287	0.04	0.0000	0.0000	0.00	0.00
288	8.41	0.0002	0.0014	0.79	0.28
289	10.79	0.0002	0.0023	1.29	0.47
290	6.95	0.0001	0.0010	0.54	0.19
291	26.49	0.0005	0.0140	7.79	2.81
292	24.84	0.0005	0.0123	6.85	2.47
293	18.66	0.0004	0.0070	3.87	1.39
294	-6.34	-0.0001	0.0008	0.45	0.16
295	-18.81	-0.0004	0.0071	3.93	1.42
296	-24.36	-0.0005	0.0119	6.59	2.37
297	-11.61	-0.0002	0.0027	1.50	0.54
298	-4.02	-0.0001	0.0003	0.18	0.06
299	-4.02	-0.0001	0.0003	0.18	0.06
300	-20.01	-0.0004	0.0080	4.45	1.60
301	-27.54	-0.0006	0.0152	8.43	3.03
302	-31.73	-0.0006	0.0201	11.18	4.03
303	-20.73	-0.0004	0.0086	4.77	1.72

CH05 Resistor = 50,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
304	-5.36	-0.0001	0.0006	0.32	0.12
305	-2.76	-0.0001	0.0002	0.08	0.03
306	-3.99	-0.0001	0.0003	0.18	0.06
307	-21.57	-0.0004	0.0093	5.17	1.86
308	-27.19	-0.0005	0.0148	8.21	2.96
309	-29.94	-0.0006	0.0179	9.96	3.59
310	-17.61	-0.0004	0.0062	3.44	1.24
311	-13.73	-0.0003	0.0038	2.09	0.75
312	3.85	0.0001	0.0003	0.16	0.06
313	4.64	0.0001	0.0004	0.24	0.09

ตาราง ข2.3.15 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอนโดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	260.54	0.0055	1.4443	802.39	288.86
126	78.89	0.0017	0.1324	73.57	26.48
127	69.10	0.0015	0.1016	56.43	20.32
128	54.10	0.0012	0.0623	34.60	12.45
129	46.24	0.0010	0.0455	25.27	9.10
130	40.54	0.0009	0.0350	19.43	6.99
131	35.78	0.0008	0.0272	15.13	5.45
132	29.99	0.0006	0.0191	10.63	3.83
133	26.65	0.0006	0.0151	8.39	3.02
134	19.39	0.0004	0.0080	4.44	1.60
135	14.50	0.0003	0.0045	2.48	0.89
136	14.68	0.0003	0.0046	2.55	0.92
137	8.27	0.0002	0.0015	0.81	0.29
138	6.08	0.0001	0.0008	0.44	0.16
139	4.45	0.0001	0.0004	0.23	0.08

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
140	3.78	0.0001	0.0003	0.17	0.06
141	3.73	0.0001	0.0003	0.16	0.06
142	7.57	0.0002	0.0012	0.68	0.24
143	7.33	0.0002	0.0011	0.64	0.23
144	8.59	0.0002	0.0016	0.87	0.31
145	11.10	0.0002	0.0026	1.46	0.52
146	11.68	0.0002	0.0029	1.61	0.58
147	8.81	0.0002	0.0017	0.92	0.33
148	9.39	0.0002	0.0019	1.04	0.38
149	16.07	0.0003	0.0055	3.05	1.10
150	19.22	0.0004	0.0079	4.37	1.57
151	23.45	0.0005	0.0117	6.50	2.34
152	28.75	0.0006	0.0176	9.77	3.52
153	28.66	0.0006	0.0175	9.71	3.49
154	27.00	0.0006	0.0155	8.62	3.10
155	15.21	0.0003	0.0049	2.73	0.98
156	3.62	0.0001	0.0003	0.16	0.06
157	3.69	0.0001	0.0003	0.16	0.06
158	2.27	0.0000	0.0001	0.06	0.02
159	1.05	0.0000	0.0000	0.01	0.00
160	-5.22	-0.0001	0.0006	0.32	0.12
161	-7.40	-0.0002	0.0012	0.65	0.23
162	-7.40	-0.0002	0.0012	0.65	0.23
163	-8.48	-0.0002	0.0015	0.85	0.31
164	-13.45	-0.0003	0.0039	2.14	0.77
165	-36.55	-0.0008	0.0284	15.79	5.69
166	-30.26	-0.0006	0.0195	10.82	3.90
167	-11.80	-0.0003	0.0030	1.65	0.59
168	-13.34	-0.0003	0.0038	2.10	0.76
169	-18.35	-0.0004	0.0072	3.98	1.43
170	-12.18	-0.0003	0.0032	1.75	0.63

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
171	5.10	0.0001	0.0006	0.31	0.11
172	4.50	0.0001	0.0004	0.24	0.09
173	5.73	0.0001	0.0007	0.39	0.14
174	115.34	0.0025	0.2831	157.25	56.61
175	68.77	0.0015	0.1006	55.90	20.13
176	76.18	0.0016	0.1235	68.59	24.69
177	83.25	0.0018	0.1475	81.93	29.50
178	89.02	0.0019	0.1686	93.67	33.72
179	91.74	0.0020	0.1791	99.48	35.81
180	96.18	0.0020	0.1968	109.34	39.36
181	101.32	0.0022	0.2184	121.35	43.69
182	106.53	0.0023	0.2414	134.14	48.29
183	111.35	0.0024	0.2638	146.56	52.76
184	111.78	0.0024	0.2659	147.70	53.17
185	109.52	0.0023	0.2552	141.79	51.04
186	101.84	0.0022	0.2207	122.60	44.13
187	99.08	0.0021	0.2089	116.04	41.77
188	99.44	0.0021	0.2104	116.88	42.08
189	97.80	0.0021	0.2035	113.06	40.70
190	99.32	0.0021	0.2099	116.60	41.98
191	101.63	0.0022	0.2198	122.09	43.95
192	98.92	0.0021	0.2082	115.66	41.64
193	61.83	0.0013	0.0813	45.18	16.27
194	61.06	0.0013	0.0793	44.07	15.87
195	53.88	0.0011	0.0618	34.31	12.35
196	54.15	0.0012	0.0624	34.66	12.48
197	47.73	0.0010	0.0485	26.93	9.69
198	43.20	0.0009	0.0397	22.06	7.94
199	41.78	0.0009	0.0371	20.63	7.43
200	41.07	0.0009	0.0359	19.94	7.18
201	40.05	0.0009	0.0341	18.96	6.83

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
202	39.29	0.0008	0.0328	18.24	6.57
203	30.97	0.0007	0.0204	11.34	4.08
204	89.10	0.0019	0.1689	93.84	33.78
205	105.12	0.0022	0.2351	130.62	47.02
206	102.15	0.0022	0.2220	123.35	44.40
207	94.51	0.0020	0.1900	105.58	38.01
208	89.84	0.0019	0.1717	95.40	34.34
209	88.09	0.0019	0.1651	91.72	33.02
210	43.77	0.0009	0.0408	22.65	8.15
211	32.31	0.0007	0.0222	12.34	4.44
212	32.43	0.0007	0.0224	12.43	4.48
213	32.23	0.0007	0.0221	12.28	4.42
214	32.51	0.0007	0.0225	12.49	4.50
215	33.23	0.0007	0.0235	13.05	4.70
216	33.85	0.0007	0.0244	13.54	4.87
217	34.07	0.0007	0.0247	13.72	4.94
218	34.54	0.0007	0.0254	14.10	5.08
219	35.58	0.0008	0.0269	14.96	5.39
220	35.65	0.0008	0.0270	15.02	5.41
221	36.01	0.0008	0.0276	15.33	5.52
222	36.23	0.0008	0.0279	15.52	5.59
223	36.46	0.0008	0.0283	15.71	5.66
224	36.42	0.0008	0.0282	15.68	5.64
225	37.86	0.0008	0.0305	16.95	6.10
226	38.02	0.0008	0.0308	17.09	6.15
227	37.22	0.0008	0.0295	16.38	5.90
228	38.42	0.0008	0.0314	17.45	6.28
229	39.33	0.0008	0.0329	18.29	6.58
230	39.44	0.0008	0.0331	18.38	6.62
231	40.05	0.0009	0.0341	18.96	6.83
232	40.79	0.0009	0.0354	19.67	7.08

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
234	85.42	0.0018	0.1552	86.24	31.05
235	73.42	0.0016	0.1147	63.72	22.94
236	109.09	0.0023	0.2532	140.66	50.64
237	120.44	0.0026	0.3086	171.46	61.73
238	129.92	0.0028	0.3591	199.50	71.82
239	134.08	0.0029	0.3825	212.49	76.50
240	122.80	0.0026	0.3208	178.25	64.17
241	72.13	0.0015	0.1107	61.50	22.14
242	73.68	0.0016	0.1155	64.16	23.10
243	88.86	0.0019	0.1680	93.34	33.60
244	57.97	0.0012	0.0715	39.72	14.30
245	128.91	0.0027	0.3536	196.43	70.71
246	127.06	0.0027	0.3435	190.84	68.70
247	114.81	0.0024	0.2805	155.81	56.09
248	40.43	0.0009	0.0348	19.32	6.95
249	32.55	0.0007	0.0225	12.53	4.51
250	31.37	0.0007	0.0209	11.63	4.19
251	95.83	0.0020	0.1954	108.56	39.08
252	88.68	0.0019	0.1673	92.95	33.46
253	80.31	0.0017	0.1372	76.24	27.45
254	15.47	0.0003	0.0051	2.83	1.02
255	10.45	0.0002	0.0023	1.29	0.46
256	9.56	0.0002	0.0019	1.08	0.39
257	80.06	0.0017	0.1364	75.76	27.27
258	74.22	0.0016	0.1172	65.11	23.44
259	69.21	0.0015	0.1019	56.62	20.38
260	7.93	0.0002	0.0013	0.74	0.27
261	3.24	0.0001	0.0002	0.12	0.04
262	4.09	0.0001	0.0004	0.20	0.07
263	44.07	0.0009	0.0413	22.96	8.27
264	9.57	0.0002	0.0019	1.08	0.39

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
265	48.07	0.0010	0.0492	27.32	9.83
266	4.49	0.0001	0.0004	0.24	0.09
267	-4.84	-0.0001	0.0005	0.28	0.10
268	-4.48	-0.0001	0.0004	0.24	0.09
269	38.80	0.0008	0.0320	17.80	6.41
270	36.28	0.0008	0.0280	15.56	5.60
271	33.95	0.0007	0.0245	13.62	4.90
272	-12.44	-0.0003	0.0033	1.83	0.66
273	-19.18	-0.0004	0.0078	4.35	1.57
274	-22.21	-0.0005	0.0105	5.83	2.10
275	31.93	0.0007	0.0217	12.05	4.34
276	32.04	0.0007	0.0218	12.13	4.37
277	28.34	0.0006	0.0171	9.49	3.42
278	-12.69	-0.0003	0.0034	1.90	0.69
279	-23.15	-0.0005	0.0114	6.33	2.28
280	-23.12	-0.0005	0.0114	6.32	2.27
281	3.05	0.0001	0.0002	0.11	0.04
282	-11.86	-0.0003	0.0030	1.66	0.60
283	-2.23	0.0000	0.0001	0.06	0.02
284	-2.85	-0.0001	0.0002	0.10	0.03
285	-9.76	-0.0002	0.0020	1.13	0.41
286	-12.09	-0.0003	0.0031	1.73	0.62
287	-0.71	0.0000	0.0000	0.01	0.00
288	23.37	0.0005	0.0116	6.45	2.32
289	24.28	0.0005	0.0125	6.97	2.51
290	19.87	0.0004	0.0084	4.67	1.68
291	74.32	0.0016	0.1175	65.29	23.51
292	45.46	0.0010	0.0440	24.43	8.79
293	25.93	0.0006	0.0143	7.95	2.86
294	2.18	0.0000	0.0001	0.06	0.02
295	-9.00	-0.0002	0.0017	0.96	0.34

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
296	-12.80	-0.0003	0.0035	1.94	0.70
297	0.58	0.0000	0.0000	0.00	0.00
298	8.51	0.0002	0.0015	0.86	0.31
299	9.13	0.0002	0.0018	0.99	0.35
300	-5.45	-0.0001	0.0006	0.35	0.13
301	-11.44	-0.0002	0.0028	1.55	0.56
302	-14.70	-0.0003	0.0046	2.56	0.92
303	-3.98	-0.0001	0.0003	0.19	0.07
304	10.51	0.0002	0.0023	1.31	0.47
305	12.25	0.0003	0.0032	1.77	0.64
306	11.17	0.0002	0.0027	1.47	0.53
307	-4.58	-0.0001	0.0004	0.25	0.09
308	-9.52	-0.0002	0.0019	1.07	0.39
309	-12.22	-0.0003	0.0032	1.76	0.64
310	-1.06	0.0000	0.0000	0.01	0.00
311	3.42	0.0001	0.0002	0.14	0.05
312	18.42	0.0004	0.0072	4.01	1.44
313	15.82	0.0003	0.0053	2.96	1.07

ตาราง ข2.3.16 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	55.79	0.0109	0.6102	339.00	122.04
126	-8.72	-0.0017	0.0149	8.29	2.98
127	-7.39	-0.0014	0.0107	5.96	2.14
128	-6.26	-0.0012	0.0077	4.27	1.54
129	-6.17	-0.0012	0.0075	4.15	1.49
130	-5.56	-0.0011	0.0061	3.37	1.21
131	-5.11	-0.0010	0.0051	2.84	1.02

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
132	-4.73	-0.0009	0.0044	2.44	0.88
133	-3.72	-0.0007	0.0027	1.51	0.54
134	-3.28	-0.0006	0.0021	1.17	0.42
135	-2.61	-0.0005	0.0013	0.74	0.27
136	-1.98	-0.0004	0.0008	0.43	0.15
137	-1.92	-0.0004	0.0007	0.40	0.14
138	-2.24	-0.0004	0.0010	0.55	0.20
139	-1.97	-0.0004	0.0008	0.42	0.15
140	-2.14	-0.0004	0.0009	0.50	0.18
141	-1.00	-0.0002	0.0002	0.11	0.04
142	-1.70	-0.0003	0.0006	0.31	0.11
143	-4.12	-0.0008	0.0033	1.85	0.67
144	-3.94	-0.0008	0.0030	1.69	0.61
145	-1.16	-0.0002	0.0003	0.15	0.05
146	-0.83	-0.0002	0.0001	0.08	0.03
147	-3.24	-0.0006	0.0021	1.14	0.41
148	-4.78	-0.0009	0.0045	2.49	0.90
149	-5.68	-0.0011	0.0063	3.51	1.26
150	-6.00	-0.0012	0.0071	3.92	1.41
151	-7.26	-0.0014	0.0103	5.75	2.07
152	-7.96	-0.0016	0.0124	6.90	2.48
153	-6.00	-0.0012	0.0071	3.92	1.41
154	-4.42	-0.0009	0.0038	2.13	0.77
155	-4.35	-0.0009	0.0037	2.06	0.74
156	-2.95	-0.0006	0.0017	0.95	0.34
157	0.43	0.0001	0.0000	0.02	0.01
158	2.25	0.0004	0.0010	0.55	0.20
159	1.18	0.0002	0.0003	0.15	0.05
160	0.43	0.0001	0.0000	0.02	0.01
161	0.87	0.0002	0.0001	0.08	0.03
162	0.71	0.0001	0.0001	0.05	0.02

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
163	0.64	0.0001	0.0001	0.05	0.02
164	1.06	0.0002	0.0002	0.12	0.04
165	2.66	0.0005	0.0014	0.77	0.28
166	2.68	0.0005	0.0014	0.78	0.28
167	1.88	0.0004	0.0007	0.39	0.14
168	1.94	0.0004	0.0007	0.41	0.15
169	2.01	0.0004	0.0008	0.44	0.16
170	1.36	0.0003	0.0004	0.20	0.07
171	0.05	0.0000	0.0000	0.00	0.00
172	0.11	0.0000	0.0000	0.00	0.00
173	-0.14	0.0000	0.0000	0.00	0.00
174	-3.93	-0.0008	0.0030	1.68	0.61
175	-4.40	-0.0009	0.0038	2.11	0.76
176	-4.74	-0.0009	0.0044	2.45	0.88
177	-5.01	-0.0010	0.0049	2.73	0.98
178	-4.90	-0.0010	0.0047	2.61	0.94
179	-5.39	-0.0011	0.0057	3.16	1.14
180	-5.37	-0.0011	0.0056	3.14	1.13
181	-5.43	-0.0011	0.0058	3.22	1.16
182	-5.65	-0.0011	0.0063	3.48	1.25
183	-5.89	-0.0012	0.0068	3.78	1.36
184	-5.81	-0.0011	0.0066	3.67	1.32
185	-5.04	-0.0010	0.0050	2.77	1.00
186	-5.17	-0.0010	0.0052	2.92	1.05
187	-5.02	-0.0010	0.0049	2.75	0.99
188	-4.79	-0.0009	0.0045	2.50	0.90
189	-4.60	-0.0009	0.0041	2.30	0.83
190	-4.90	-0.0010	0.0047	2.62	0.94
191	-4.71	-0.0009	0.0044	2.42	0.87
192	-4.43	-0.0009	0.0039	2.14	0.77
193	-4.36	-0.0009	0.0037	2.07	0.74

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
194	-4.49	-0.0009	0.0039	2.19	0.79
195	-4.62	-0.0009	0.0042	2.33	0.84
196	-5.05	-0.0010	0.0050	2.77	1.00
197	-5.34	-0.0010	0.0056	3.11	1.12
198	-5.57	-0.0011	0.0061	3.38	1.22
199	-5.63	-0.0011	0.0062	3.45	1.24
200	-5.62	-0.0011	0.0062	3.44	1.24
201	-5.65	-0.0011	0.0063	3.48	1.25
202	-5.67	-0.0011	0.0063	3.50	1.26
203	-5.78	-0.0011	0.0065	3.63	1.31
204	-5.59	-0.0011	0.0061	3.41	1.23
205	-5.77	-0.0011	0.0065	3.63	1.31
206	-5.71	-0.0011	0.0064	3.55	1.28
207	-5.81	-0.0011	0.0066	3.68	1.32
208	-5.85	-0.0011	0.0067	3.73	1.34
209	-5.85	-0.0011	0.0067	3.73	1.34
210	-4.39	-0.0009	0.0038	2.10	0.76
211	-4.57	-0.0009	0.0041	2.27	0.82
212	-4.91	-0.0010	0.0047	2.62	0.94
213	-5.25	-0.0010	0.0054	3.00	1.08
214	-5.40	-0.0011	0.0057	3.18	1.14
215	-5.55	-0.0011	0.0060	3.35	1.21
216	-5.65	-0.0011	0.0063	3.48	1.25
217	-5.72	-0.0011	0.0064	3.57	1.28
218	-5.79	-0.0011	0.0066	3.66	1.32
219	-5.67	-0.0011	0.0063	3.50	1.26
220	-5.75	-0.0011	0.0065	3.60	1.30
221	-5.80	-0.0011	0.0066	3.67	1.32
222	-5.81	-0.0011	0.0066	3.68	1.32
223	-5.83	-0.0011	0.0067	3.70	1.33
224	-5.78	-0.0011	0.0065	3.64	1.31

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
225	-5.70	-0.0011	0.0064	3.54	1.28
226	-5.70	-0.0011	0.0064	3.54	1.27
227	-5.67	-0.0011	0.0063	3.50	1.26
228	-5.61	-0.0011	0.0062	3.43	1.23
229	-5.65	-0.0011	0.0063	3.48	1.25
230	-5.69	-0.0011	0.0064	3.53	1.27
231	-5.68	-0.0011	0.0063	3.51	1.26
232	-5.71	-0.0011	0.0064	3.55	1.28
233	-6.10	-0.0012	0.0073	4.06	1.46
234	-5.98	-0.0012	0.0070	3.90	1.40
235	-6.31	-0.0012	0.0078	4.34	1.56
236	-8.30	-0.0016	0.0135	7.50	2.70
237	-8.82	-0.0017	0.0152	8.47	3.05
238	-9.25	-0.0018	0.0168	9.31	3.35
239	-9.29	-0.0018	0.0169	9.39	3.38
240	-8.45	-0.0017	0.0140	7.78	2.80
241	-7.15	-0.0014	0.0100	5.56	2.00
242	-6.50	-0.0013	0.0083	4.61	1.66
243	-5.96	-0.0012	0.0070	3.87	1.39
244	-5.98	-0.0012	0.0070	3.90	1.40
245	-7.62	-0.0015	0.0114	6.33	2.28
246	-6.94	-0.0014	0.0094	5.24	1.89
247	-6.07	-0.0012	0.0072	4.02	1.45
248	-4.56	-0.0009	0.0041	2.27	0.82
249	-3.81	-0.0007	0.0029	1.59	0.57
250	-3.48	-0.0007	0.0024	1.32	0.48
251	-2.43	-0.0005	0.0012	0.64	0.23
252	-2.14	-0.0004	0.0009	0.50	0.18
253	-2.04	-0.0004	0.0008	0.45	0.16
254	-2.74	-0.0005	0.0015	0.81	0.29
255	-2.01	-0.0004	0.0008	0.44	0.16

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
256	-1.85	-0.0004	0.0007	0.37	0.13
257	-0.25	0.0000	0.0000	0.01	0.00
258	-0.11	0.0000	0.0000	0.00	0.00
259	-0.03	0.0000	0.0000	0.00	0.00
260	-2.01	-0.0004	0.0008	0.44	0.16
261	-2.15	-0.0004	0.0009	0.50	0.18
262	-2.09	-0.0004	0.0009	0.48	0.17
263	3.93	0.0008	0.0030	1.68	0.60
264	6.66	0.0013	0.0087	4.83	1.74
265	3.72	0.0007	0.0027	1.50	0.54
266	-0.98	-0.0002	0.0002	0.10	0.04
267	-0.36	-0.0001	0.0000	0.01	0.01
268	0.54	0.0001	0.0001	0.03	0.01
269	7.03	0.0014	0.0097	5.38	1.94
270	7.00	0.0014	0.0096	5.33	1.92
271	7.49	0.0015	0.0110	6.10	2.20
272	1.91	0.0004	0.0007	0.40	0.14
273	1.47	0.0003	0.0004	0.23	0.08
274	2.14	0.0004	0.0009	0.50	0.18
275	8.35	0.0016	0.0137	7.60	2.74
276	10.66	0.0021	0.0223	12.37	4.45
277	10.98	0.0022	0.0236	13.14	4.73
278	5.29	0.0010	0.0055	3.05	1.10
279	4.59	0.0009	0.0041	2.29	0.83
280	5.14	0.0010	0.0052	2.88	1.04
281	8.22	0.0016	0.0133	7.37	2.65
282	3.65	0.0007	0.0026	1.45	0.52
283	0.93	0.0002	0.0002	0.09	0.03
284	1.29	0.0003	0.0003	0.18	0.06
285	2.03	0.0004	0.0008	0.45	0.16
286	1.95	0.0004	0.0007	0.41	0.15

CH07 Resistor = 5,100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
287	0.46	0.0001	0.0000	0.02	0.01
288	-3.58	-0.0007	0.0025	1.40	0.50
289	-4.42	-0.0009	0.0038	2.13	0.77
290	-0.55	-0.0001	0.0001	0.03	0.01
291	3.57	0.0007	0.0025	1.39	0.50
292	4.61	0.0009	0.0042	2.31	0.83
293	5.59	0.0011	0.0061	3.41	1.23
294	3.35	0.0007	0.0022	1.23	0.44
295	3.10	0.0006	0.0019	1.04	0.38
296	2.80	0.0005	0.0015	0.85	0.31
297	4.36	0.0009	0.0037	2.07	0.74
298	5.00	0.0010	0.0049	2.72	0.98
299	4.83	0.0009	0.0046	2.54	0.91
300	3.09	0.0006	0.0019	1.04	0.37
301	3.37	0.0007	0.0022	1.24	0.45
302	3.16	0.0006	0.0020	1.09	0.39
303	4.37	0.0009	0.0037	2.08	0.75
304	5.21	0.0010	0.0053	2.96	1.07
305	5.14	0.0010	0.0052	2.88	1.04
306	5.02	0.0010	0.0049	2.74	0.99
307	2.96	0.0006	0.0017	0.95	0.34
308	3.29	0.0006	0.0021	1.18	0.42
309	2.67	0.0005	0.0014	0.78	0.28
310	1.77	0.0003	0.0006	0.34	0.12
311	1.71	0.0003	0.0006	0.32	0.11
312	1.93	0.0004	0.0007	0.40	0.15
313	2.52	0.0005	0.0012	0.69	0.25

ตาราง ข2.3.17 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	48.46	0.0048	0.2348	130.44	46.96
126	-10.92	-0.0011	0.0119	6.62	2.38
127	-13.12	-0.0013	0.0172	9.56	3.44
128	-12.98	-0.0013	0.0168	9.35	3.37
129	-9.81	-0.0010	0.0096	5.34	1.92
130	-7.81	-0.0008	0.0061	3.39	1.22
131	-5.83	-0.0006	0.0034	1.89	0.68
132	-5.27	-0.0005	0.0028	1.54	0.56
133	-3.24	-0.0003	0.0011	0.58	0.21
134	-2.46	-0.0002	0.0006	0.34	0.12
135	-1.52	-0.0002	0.0002	0.13	0.05
136	0.45	0.0000	0.0000	0.01	0.00
137	0.71	0.0001	0.0001	0.03	0.01
138	1.67	0.0002	0.0003	0.16	0.06
139	1.35	0.0001	0.0002	0.10	0.04
140	2.47	0.0002	0.0006	0.34	0.12
141	2.41	0.0002	0.0006	0.32	0.12
142	2.81	0.0003	0.0008	0.44	0.16
143	3.71	0.0004	0.0014	0.76	0.28
144	2.57	0.0003	0.0007	0.37	0.13
145	1.73	0.0002	0.0003	0.17	0.06
146	1.72	0.0002	0.0003	0.16	0.06
147	1.58	0.0002	0.0002	0.14	0.05
148	1.82	0.0002	0.0003	0.18	0.07
149	2.04	0.0002	0.0004	0.23	0.08
150	-0.04	0.0000	0.0000	0.00	0.00
151	3.64	0.0004	0.0013	0.73	0.26
152	2.59	0.0003	0.0007	0.37	0.13
153	2.23	0.0002	0.0005	0.28	0.10

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
154	4.54	0.0005	0.0021	1.15	0.41
155	5.49	0.0005	0.0030	1.67	0.60
156	2.80	0.0003	0.0008	0.44	0.16
157	1.66	0.0002	0.0003	0.15	0.06
158	1.36	0.0001	0.0002	0.10	0.04
159	1.50	0.0002	0.0002	0.13	0.05
160	1.19	0.0001	0.0001	0.08	0.03
161	1.53	0.0002	0.0002	0.13	0.05
162	3.30	0.0003	0.0011	0.60	0.22
163	3.34	0.0003	0.0011	0.62	0.22
164	4.10	0.0004	0.0017	0.93	0.34
165	7.18	0.0007	0.0052	2.87	1.03
166	7.39	0.0007	0.0055	3.03	1.09
167	6.23	0.0006	0.0039	2.16	0.78
168	6.44	0.0006	0.0041	2.30	0.83
169	6.78	0.0007	0.0046	2.55	0.92
170	5.74	0.0006	0.0033	1.83	0.66
171	3.45	0.0003	0.0012	0.66	0.24
172	3.80	0.0004	0.0014	0.80	0.29
173	3.50	0.0003	0.0012	0.68	0.24
174	0.76	0.0001	0.0001	0.03	0.01
175	-1.06	-0.0001	0.0001	0.06	0.02
176	-1.10	-0.0001	0.0001	0.07	0.02
177	-1.07	-0.0001	0.0001	0.06	0.02
178	-1.39	-0.0001	0.0002	0.11	0.04
179	-2.14	-0.0002	0.0005	0.25	0.09
180	-2.01	-0.0002	0.0004	0.22	0.08
181	-1.98	-0.0002	0.0004	0.22	0.08
182	-2.01	-0.0002	0.0004	0.23	0.08
183	-2.50	-0.0003	0.0006	0.35	0.13
184	-2.29	-0.0002	0.0005	0.29	0.10

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
185	-0.89	-0.0001	0.0001	0.04	0.02
186	-0.82	-0.0001	0.0001	0.04	0.01
187	-0.28	0.0000	0.0000	0.00	0.00
188	0.30	0.0000	0.0000	0.01	0.00
189	0.58	0.0001	0.0000	0.02	0.01
190	0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
191	0.29	0.0000	0.0000	0.00	0.00
192	0.77	0.0001	0.0001	0.03	0.01
193	-0.20	0.0000	0.0000	0.00	0.00
194	-3.51	-0.0004	0.0012	0.68	0.25
195	-5.04	-0.0005	0.0025	1.41	0.51
196	-5.74	-0.0006	0.0033	1.83	0.66
197	-6.17	-0.0006	0.0038	2.11	0.76
198	-6.54	-0.0007	0.0043	2.38	0.86
199	-6.62	-0.0007	0.0044	2.44	0.88
200	-6.62	-0.0007	0.0044	2.43	0.88
201	-6.73	-0.0007	0.0045	2.51	0.91
202	-6.79	-0.0007	0.0046	2.57	0.92
203	-1.96	-0.0002	0.0004	0.21	0.08
204	0.14	0.0000	0.0000	0.00	0.00
205	-0.35	0.0000	0.0000	0.01	0.00
206	-0.92	-0.0001	0.0001	0.05	0.02
207	-1.84	-0.0002	0.0003	0.19	0.07
208	-2.29	-0.0002	0.0005	0.29	0.11
209	-2.52	-0.0003	0.0006	0.35	0.13
210	-0.05	0.0000	0.0000	0.00	0.00
211	-0.32	0.0000	0.0000	0.01	0.00
212	-0.76	-0.0001	0.0001	0.03	0.01
213	-1.11	-0.0001	0.0001	0.07	0.02
214	-1.36	-0.0001	0.0002	0.10	0.04
215	-1.49	-0.0001	0.0002	0.12	0.04

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
216	-1.48	-0.0001	0.0002	0.12	0.04
217	-1.57	-0.0002	0.0002	0.14	0.05
218	-1.46	-0.0001	0.0002	0.12	0.04
219	-1.42	-0.0001	0.0002	0.11	0.04
220	-1.31	-0.0001	0.0002	0.10	0.03
221	-1.14	-0.0001	0.0001	0.07	0.03
222	-1.02	-0.0001	0.0001	0.06	0.02
223	-0.80	-0.0001	0.0001	0.04	0.01
224	-0.60	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
225	-0.29	0.0000	0.0000	0.00	0.00
226	-0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
227	0.05	0.0000	0.0000	0.00	0.00
228	0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
229	0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
230	0.14	0.0000	0.0000	0.00	0.00
231	0.16	0.0000	0.0000	0.00	0.00
232	0.15	0.0000	0.0000	0.00	0.00
233	-2.56	-0.0003	0.0007	0.36	0.13
234	1.61	0.0002	0.0003	0.14	0.05
235	1.56	0.0002	0.0002	0.13	0.05
236	0.23	0.0000	0.0000	0.00	0.00
237	-0.56	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
238	-0.91	-0.0001	0.0001	0.05	0.02
239	-0.98	-0.0001	0.0001	0.05	0.02
240	0.13	0.0000	0.0000	0.00	0.00
241	-0.49	0.0000	0.0000	0.01	0.00
242	-5.43	-0.0005	0.0029	1.64	0.59
243	-5.64	-0.0006	0.0032	1.76	0.64
244	-0.66	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
245	-1.44	-0.0001	0.0002	0.11	0.04
246	-3.07	-0.0003	0.0009	0.52	0.19

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
247	-3.71	-0.0004	0.0014	0.76	0.27
248	-2.48	-0.0002	0.0006	0.34	0.12
249	-1.70	-0.0002	0.0003	0.16	0.06
250	-1.11	-0.0001	0.0001	0.07	0.02
251	0.38	0.0000	0.0000	0.01	0.00
252	0.93	0.0001	0.0001	0.05	0.02
253	0.87	0.0001	0.0001	0.04	0.02
254	-0.70	-0.0001	0.0000	0.03	0.01
255	-0.67	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
256	-0.92	-0.0001	0.0001	0.05	0.02
257	1.84	0.0002	0.0003	0.19	0.07
258	2.38	0.0002	0.0006	0.31	0.11
259	2.72	0.0003	0.0007	0.41	0.15
260	-0.87	-0.0001	0.0001	0.04	0.02
261	-1.12	-0.0001	0.0001	0.07	0.02
262	-1.47	-0.0001	0.0002	0.12	0.04
263	10.81	0.0011	0.0117	6.50	2.34
264	14.29	0.0014	0.0204	11.35	4.09
265	8.69	0.0009	0.0076	4.20	1.51
266	0.81	0.0001	0.0001	0.04	0.01
267	1.12	0.0001	0.0001	0.07	0.03
268	1.33	0.0001	0.0002	0.10	0.04
269	11.18	0.0011	0.0125	6.95	2.50
270	12.22	0.0012	0.0149	8.29	2.99
271	14.10	0.0014	0.0199	11.05	3.98
272	6.93	0.0007	0.0048	2.67	0.96
273	6.69	0.0007	0.0045	2.49	0.89
274	7.13	0.0007	0.0051	2.82	1.02
275	17.16	0.0017	0.0295	16.37	5.89
276	17.89	0.0018	0.0320	17.77	6.40
277	18.46	0.0018	0.0341	18.93	6.81

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
278	11.60	0.0012	0.0135	7.47	2.69
279	10.77	0.0011	0.0116	6.44	2.32
280	10.99	0.0011	0.0121	6.72	2.42
281	14.85	0.0015	0.0220	12.24	4.41
282	4.39	0.0004	0.0019	1.07	0.39
283	-1.19	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
284	-1.48	-0.0001	0.0002	0.12	0.04
285	0.75	0.0001	0.0001	0.03	0.01
286	2.12	0.0002	0.0005	0.25	0.09
287	-1.27	-0.0001	0.0002	0.09	0.03
288	-8.40	-0.0008	0.0070	3.92	1.41
289	-9.33	-0.0009	0.0087	4.84	1.74
290	-4.54	-0.0005	0.0021	1.15	0.41
291	9.58	0.0010	0.0092	5.09	1.83
292	2.80	0.0003	0.0008	0.44	0.16
293	7.84	0.0008	0.0061	3.41	1.23
294	7.58	0.0008	0.0057	3.19	1.15
295	6.40	0.0006	0.0041	2.27	0.82
296	9.70	0.0010	0.0094	5.22	1.88
297	13.08	0.0013	0.0171	9.50	3.42
298	14.39	0.0014	0.0207	11.50	4.14
299	13.97	0.0014	0.0195	10.84	3.90
300	10.63	0.0011	0.0113	6.28	2.26
301	10.73	0.0011	0.0115	6.40	2.30
302	10.11	0.0010	0.0102	5.67	2.04
303	11.96	0.0012	0.0143	7.95	2.86
304	13.31	0.0013	0.0177	9.84	3.54
305	13.12	0.0013	0.0172	9.57	3.44
306	12.90	0.0013	0.0166	9.24	3.33
307	9.29	0.0009	0.0086	4.79	1.72
308	9.65	0.0010	0.0093	5.18	1.86

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
309	8.51	0.0009	0.0073	4.03	1.45
310	6.91	0.0007	0.0048	2.65	0.95
311	6.79	0.0007	0.0046	2.56	0.92
312	7.06	0.0007	0.0050	2.77	1.00
313	7.98	0.0008	0.0064	3.54	1.27

ตาราง ข2.3.18 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 2 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

CH09 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
125	37.95	0.0038	0.1440	79.99	28.80
126	-21.66	-0.0022	0.0469	26.07	9.39
127	-20.92	-0.0021	0.0438	24.32	8.75
128	-17.74	-0.0018	0.0315	17.48	6.29
129	-14.89	-0.0015	0.0222	12.31	4.43
130	-13.12	-0.0013	0.0172	9.56	3.44
131	-11.69	-0.0012	0.0137	7.59	2.73
132	-9.89	-0.0010	0.0098	5.44	1.96
133	-9.34	-0.0009	0.0087	4.84	1.74
134	-8.58	-0.0009	0.0074	4.09	1.47
135	-8.36	-0.0008	0.0070	3.88	1.40
136	-7.45	-0.0007	0.0055	3.08	1.11
137	-7.54	-0.0008	0.0057	3.16	1.14
138	-6.16	-0.0006	0.0038	2.11	0.76
139	-3.99	-0.0004	0.0016	0.89	0.32
140	-3.32	-0.0003	0.0011	0.61	0.22
141	-2.80	-0.0003	0.0008	0.44	0.16
142	-0.17	0.0000	0.0000	0.00	0.00
143	-0.56	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
144	-1.78	-0.0002	0.0003	0.18	0.06

CH09 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
145	-4.38	-0.0004	0.0019	1.07	0.38
146	-6.23	-0.0006	0.0039	2.16	0.78
147	-3.68	-0.0004	0.0014	0.75	0.27
148	-0.88	-0.0001	0.0001	0.04	0.02
149	1.76	0.0002	0.0003	0.17	0.06
150	3.24	0.0003	0.0011	0.58	0.21
151	-0.28	0.0000	0.0000	0.00	0.00
152	-3.27	-0.0003	0.0011	0.60	0.21
153	-6.51	-0.0007	0.0042	2.35	0.85
154	-9.24	-0.0009	0.0085	4.74	1.71
155	-5.43	-0.0005	0.0029	1.64	0.59
156	-0.19	0.0000	0.0000	0.00	0.00
157	-2.21	-0.0002	0.0005	0.27	0.10
158	-5.16	-0.0005	0.0027	1.48	0.53
159	-1.58	-0.0002	0.0002	0.14	0.05
160	-0.65	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
161	1.41	0.0001	0.0002	0.11	0.04
162	2.92	0.0003	0.0009	0.47	0.17
163	3.07	0.0003	0.0009	0.52	0.19
164	4.01	0.0004	0.0016	0.90	0.32
165	7.93	0.0008	0.0063	3.49	1.26
166	7.86	0.0008	0.0062	3.43	1.24
167	6.29	0.0006	0.0040	2.20	0.79
168	6.18	0.0006	0.0038	2.12	0.76
169	6.77	0.0007	0.0046	2.55	0.92
170	5.36	0.0005	0.0029	1.59	0.57
171	2.32	0.0002	0.0005	0.30	0.11
172	2.62	0.0003	0.0007	0.38	0.14
173	2.30	0.0002	0.0005	0.29	0.11
174	5.84	0.0006	0.0034	1.89	0.68
175	2.45	0.0002	0.0006	0.33	0.12

CH09 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
176	-0.85	-0.0001	0.0001	0.04	0.01
177	-2.97	-0.0003	0.0009	0.49	0.18
178	-4.36	-0.0004	0.0019	1.05	0.38
179	-6.23	-0.0006	0.0039	2.16	0.78
180	-6.99	-0.0007	0.0049	2.71	0.98
181	-7.32	-0.0007	0.0054	2.97	1.07
182	-7.93	-0.0008	0.0063	3.50	1.26
183	-8.59	-0.0009	0.0074	4.10	1.48
184	-8.55	-0.0009	0.0073	4.06	1.46
185	-7.25	-0.0007	0.0053	2.92	1.05
186	-7.87	-0.0008	0.0062	3.44	1.24
187	-7.77	-0.0008	0.0060	3.35	1.21
188	-7.29	-0.0007	0.0053	2.95	1.06
189	-7.15	-0.0007	0.0051	2.84	1.02
190	-7.46	-0.0007	0.0056	3.09	1.11
191	-7.37	-0.0007	0.0054	3.02	1.09
192	-6.68	-0.0007	0.0045	2.48	0.89
193	-6.85	-0.0007	0.0047	2.60	0.94
194	-8.25	-0.0008	0.0068	3.78	1.36
195	-7.28	-0.0007	0.0053	2.94	1.06
196	-6.71	-0.0007	0.0045	2.50	0.90
197	-6.33	-0.0006	0.0040	2.23	0.80
198	-6.07	-0.0006	0.0037	2.04	0.74
199	-6.06	-0.0006	0.0037	2.04	0.73
200	-6.06	-0.0006	0.0037	2.04	0.73
201	-6.11	-0.0006	0.0037	2.07	0.75
202	-6.02	-0.0006	0.0036	2.01	0.72
203	-3.10	-0.0003	0.0010	0.53	0.19
204	-11.68	-0.0012	0.0136	7.58	2.73
205	-12.46	-0.0012	0.0155	8.62	3.10
206	-11.57	-0.0012	0.0134	7.44	2.68

CH09 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
207	-11.27	-0.0011	0.0127	7.06	2.54
208	-10.83	-0.0011	0.0117	6.52	2.35
209	-10.46	-0.0010	0.0109	6.08	2.19
210	-7.08	-0.0007	0.0050	2.79	1.00
211	-7.75	-0.0008	0.0060	3.34	1.20
212	-8.32	-0.0008	0.0069	3.85	1.39
213	-8.64	-0.0009	0.0075	4.15	1.49
214	-8.97	-0.0009	0.0080	4.47	1.61
215	-9.10	-0.0009	0.0083	4.60	1.65
216	-9.09	-0.0009	0.0083	4.59	1.65
217	-9.15	-0.0009	0.0084	4.65	1.67
218	-9.23	-0.0009	0.0085	4.73	1.70
219	-9.33	-0.0009	0.0087	4.83	1.74
220	-9.62	-0.0010	0.0093	5.15	1.85
221	-9.85	-0.0010	0.0097	5.39	1.94
222	-10.16	-0.0010	0.0103	5.74	2.07
223	-10.37	-0.0010	0.0108	5.98	2.15
224	-10.62	-0.0011	0.0113	6.26	2.25
225	-10.67	-0.0011	0.0114	6.33	2.28
226	-10.91	-0.0011	0.0119	6.62	2.38
227	-11.29	-0.0011	0.0127	7.08	2.55
228	-11.44	-0.0011	0.0131	7.27	2.62
229	-11.49	-0.0011	0.0132	7.34	2.64
230	-11.74	-0.0012	0.0138	7.66	2.76
231	-12.05	-0.0012	0.0145	8.06	2.90
232	-12.21	-0.0012	0.0149	8.29	2.98
233	-12.81	-0.0013	0.0164	9.11	3.28
234	-9.71	-0.0010	0.0094	5.24	1.89
235	-11.11	-0.0011	0.0123	6.86	2.47
236	-13.60	-0.0014	0.0185	10.27	3.70
237	-14.55	-0.0015	0.0212	11.76	4.24

CH09 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
238	-14.51	-0.0015	0.0210	11.69	4.21
239	-14.36	-0.0014	0.0206	11.46	4.13
240	-12.91	-0.0013	0.0167	9.26	3.33
241	-12.18	-0.0012	0.0148	8.24	2.96
242	-11.85	-0.0012	0.0140	7.80	2.81
243	-3.40	-0.0003	0.0012	0.64	0.23
244	1.35	0.0001	0.0002	0.10	0.04
245	-0.44	0.0000	0.0000	0.01	0.00
246	-1.72	-0.0002	0.0003	0.16	0.06
247	0.38	0.0000	0.0000	0.01	0.00
248	3.46	0.0003	0.0012	0.66	0.24
249	4.81	0.0005	0.0023	1.29	0.46
250	5.54	0.0006	0.0031	1.70	0.61
251	9.46	0.0009	0.0089	4.97	1.79
252	10.09	0.0010	0.0102	5.66	2.04
253	9.54	0.0010	0.0091	5.06	1.82
254	6.95	0.0007	0.0048	2.68	0.97
255	7.50	0.0008	0.0056	3.13	1.13
256	7.73	0.0008	0.0060	3.32	1.20
257	10.89	0.0011	0.0119	6.59	2.37
258	12.32	0.0012	0.0152	8.43	3.04
259	14.26	0.0014	0.0203	11.29	4.07
260	11.86	0.0012	0.0141	7.82	2.81
261	13.50	0.0014	0.0182	10.13	3.65
262	15.15	0.0015	0.0229	12.74	4.59
263	17.64	0.0018	0.0311	17.29	6.23
264	28.58	0.0029	0.0817	45.36	16.33
265	28.06	0.0028	0.0787	43.75	15.75
266	18.80	0.0019	0.0354	19.64	7.07
267	17.75	0.0018	0.0315	17.51	6.30
268	15.97	0.0016	0.0255	14.17	5.10

CH09 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
269	29.18	0.0029	0.0852	47.31	17.03
270	31.27	0.0031	0.0978	54.34	19.56
271	29.79	0.0030	0.0887	49.30	17.75
272	16.69	0.0017	0.0279	15.48	5.57
273	15.61	0.0016	0.0244	13.53	4.87
274	14.60	0.0015	0.0213	11.84	4.26
275	23.16	0.0023	0.0536	29.79	10.72
276	22.90	0.0023	0.0524	29.13	10.49
277	22.94	0.0023	0.0526	29.24	10.52
278	10.96	0.0011	0.0120	6.68	2.40
279	9.21	0.0009	0.0085	4.72	1.70
280	10.87	0.0011	0.0118	6.57	2.36
281	19.16	0.0019	0.0367	20.40	7.35
282	16.17	0.0016	0.0262	14.53	5.23
283	19.67	0.0020	0.0387	21.50	7.74
284	19.08	0.0019	0.0364	20.23	7.28
285	17.84	0.0018	0.0318	17.68	6.37
286	15.33	0.0015	0.0235	13.06	4.70
287	17.12	0.0017	0.0293	16.27	5.86
288	16.19	0.0016	0.0262	14.56	5.24
289	14.98	0.0015	0.0224	12.46	4.49
290	8.82	0.0009	0.0078	4.32	1.55
291	10.75	0.0011	0.0116	6.43	2.31
292	0.02	0.0000	0.0000	0.00	0.00
293	0.02	0.0000	0.0000	0.00	0.00
294	0.63	0.0001	0.0000	0.02	0.01
295	7.35	0.0007	0.0054	3.00	1.08
296	3.97	0.0004	0.0016	0.88	0.32
297	7.33	0.0007	0.0054	2.98	1.07
298	9.27	0.0009	0.0086	4.78	1.72
299	9.48	0.0009	0.0090	4.99	1.80

CH09 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
300	5.86	0.0006	0.0034	1.91	0.69
301	6.57	0.0007	0.0043	2.40	0.86
302	6.25	0.0006	0.0039	2.17	0.78
303	9.02	0.0009	0.0081	4.52	1.63
304	11.17	0.0011	0.0125	6.93	2.50
305	11.12	0.0011	0.0124	6.87	2.47
306	11.07	0.0011	0.0123	6.81	2.45
307	6.50	0.0006	0.0042	2.35	0.84
308	7.06	0.0007	0.0050	2.77	1.00
309	5.73	0.0006	0.0033	1.82	0.66
310	3.65	0.0004	0.0013	0.74	0.27
311	3.45	0.0003	0.0012	0.66	0.24
312	3.54	0.0004	0.0013	0.70	0.25
313	4.54	0.0005	0.0021	1.15	0.41

ตาราง ข2.3.19 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
411	201.55	0.0043	0.8643	480.18	172.86
412	121.13	0.0026	0.3122	173.45	62.44
413	106.96	0.0023	0.2434	135.23	48.68
414	100.90	0.0021	0.2166	120.35	43.33
415	96.01	0.0020	0.1961	108.96	39.22
416	93.14	0.0020	0.1846	102.54	36.91
417	86.97	0.0019	0.1609	89.40	32.18
418	80.57	0.0017	0.1381	76.74	27.63
419	74.19	0.0016	0.1171	65.07	23.42
420	73.53	0.0016	0.1150	63.92	23.01
421	74.44	0.0016	0.1179	65.49	23.58

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
422	80.77	0.0017	0.1388	77.11	27.76
423	82.34	0.0018	0.1442	80.13	28.85
424	79.79	0.0017	0.1355	75.25	27.09
425	76.54	0.0016	0.1247	69.25	24.93
426	72.99	0.0016	0.1134	62.98	22.67
427	71.36	0.0015	0.1084	60.20	21.67
428	69.83	0.0015	0.1037	57.63	20.75
429	67.54	0.0014	0.0971	53.93	19.41
430	64.49	0.0014	0.0885	49.16	17.70
431	60.44	0.0013	0.0777	43.18	15.54
432	56.41	0.0012	0.0677	37.62	13.54
433	54.96	0.0012	0.0643	35.71	12.85
434	53.83	0.0011	0.0616	34.25	12.33
435	52.64	0.0011	0.0590	32.75	11.79
436	51.28	0.0011	0.0559	31.08	11.19
437	49.96	0.0011	0.0531	29.50	10.62
438	48.62	0.0010	0.0503	27.94	10.06
439	47.44	0.0010	0.0479	26.60	9.57
440	46.47	0.0010	0.0459	25.52	9.19
441	45.53	0.0010	0.0441	24.51	8.82
442	45.07	0.0010	0.0432	24.01	8.64
443	44.75	0.0010	0.0426	23.67	8.52
444	44.26	0.0009	0.0417	23.15	8.33
445	43.57	0.0009	0.0404	22.44	8.08
446	43.37	0.0009	0.0400	22.23	8.00
447	42.34	0.0009	0.0381	21.19	7.63
448	41.43	0.0009	0.0365	20.29	7.30
449	40.64	0.0009	0.0351	19.52	7.03
450	38.58	0.0008	0.0317	17.60	6.33
451	36.94	0.0008	0.0290	16.13	5.81
452	36.74	0.0008	0.0287	15.95	5.74

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
453	36.58	0.0008	0.0285	15.81	5.69
454	36.52	0.0008	0.0284	15.76	5.67
455	35.43	0.0008	0.0267	14.84	5.34
456	35.19	0.0007	0.0264	14.64	5.27
457	36.65	0.0008	0.0286	15.88	5.72
458	36.99	0.0008	0.0291	16.17	5.82
459	36.88	0.0008	0.0289	16.08	5.79
460	36.90	0.0008	0.0290	16.10	5.80
461	37.45	0.0008	0.0298	16.58	5.97
462	44.28	0.0009	0.0417	23.18	8.34
463	47.99	0.0010	0.0490	27.22	9.80
464	100.22	0.0021	0.2137	118.73	42.74
465	106.34	0.0023	0.2406	133.67	48.12
466	107.78	0.0023	0.2472	137.31	49.43
467	107.95	0.0023	0.2479	137.73	49.58
468	108.13	0.0023	0.2487	138.19	49.75
469	109.46	0.0023	0.2549	141.63	50.99
470	109.28	0.0023	0.2541	141.16	50.82
471	108.99	0.0023	0.2528	140.42	50.55
472	107.09	0.0023	0.2440	135.55	48.80
473	106.03	0.0023	0.2392	132.88	47.84
474	106.78	0.0023	0.2426	134.78	48.52
475	107.86	0.0023	0.2475	137.50	49.50
476	107.91	0.0023	0.2478	137.65	49.55
477	110.82	0.0024	0.2613	145.17	52.26
478	94.86	0.0020	0.1915	106.37	38.29
479	86.60	0.0018	0.1596	88.65	31.91
480	83.00	0.0018	0.1466	81.43	29.31
481	82.05	0.0017	0.1432	79.58	28.65
482	79.65	0.0017	0.1350	75.00	27.00
483	79.31	0.0017	0.1338	74.35	26.76

CH01 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
484	77.64	0.0017	0.1282	71.25	25.65
485	76.31	0.0016	0.1239	68.82	24.78
486	75.51	0.0016	0.1213	67.39	24.26
487	77.43	0.0016	0.1276	70.86	25.51
488	76.36	0.0016	0.1240	68.91	24.81
489	73.99	0.0016	0.1165	64.71	23.30
490	73.48	0.0016	0.1149	63.82	22.97
491	72.40	0.0015	0.1115	61.95	22.30
492	71.76	0.0015	0.1096	60.87	21.91
493	68.38	0.0015	0.0995	55.26	19.89
494	66.95	0.0014	0.0954	52.99	19.08
495	68.53	0.0015	0.0999	55.51	19.98
496	67.02	0.0014	0.0956	53.09	19.11
497	86.82	0.0018	0.1604	89.10	32.08
498	105.74	0.0022	0.2379	132.15	47.57
499	75.90	0.0016	0.1226	68.09	24.51
500	55.56	0.0012	0.0657	36.48	13.13
501	56.64	0.0012	0.0682	37.92	13.65
502	57.24	0.0012	0.0697	38.73	13.94
503	57.04	0.0012	0.0692	38.46	13.84

ตาราง ข2.3.20 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
411	128.80	0.0027	0.3530	196.09	70.59
412	57.10	0.0012	0.0694	38.53	13.87
413	49.15	0.0010	0.0514	28.56	10.28
414	45.91	0.0010	0.0448	24.91	8.97
CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
415	42.79	0.0009	0.0390	21.64	7.79
416	41.07	0.0009	0.0359	19.94	7.18
417	43.20	0.0009	0.0397	22.06	7.94
418	43.52	0.0009	0.0403	22.39	8.06
419	43.75	0.0009	0.0407	22.63	8.15
420	41.94	0.0009	0.0374	20.80	7.49
421	38.61	0.0008	0.0317	17.62	6.34
422	39.95	0.0009	0.0340	18.87	6.79
423	40.70	0.0009	0.0352	19.58	7.05
424	41.59	0.0009	0.0368	20.45	7.36
425	45.42	0.0010	0.0439	24.38	8.78
426	50.57	0.0011	0.0544	30.23	10.88
427	53.02	0.0011	0.0598	33.23	11.96
428	52.92	0.0011	0.0596	33.10	11.92
429	51.42	0.0011	0.0562	31.25	11.25
430	48.63	0.0010	0.0503	27.95	10.06
431	44.77	0.0010	0.0426	23.69	8.53
432	40.97	0.0009	0.0357	19.84	7.14
433	39.77	0.0008	0.0337	18.70	6.73
434	39.15	0.0008	0.0326	18.11	6.52
435	38.06	0.0008	0.0308	17.13	6.17
436	36.70	0.0008	0.0287	15.92	5.73
437	35.43	0.0008	0.0267	14.84	5.34
438	34.50	0.0007	0.0253	14.07	5.07
439	33.50	0.0007	0.0239	13.27	4.78
440	32.67	0.0007	0.0227	12.61	4.54
441	31.99	0.0007	0.0218	12.10	4.35
442	31.87	0.0007	0.0216	12.01	4.32
443	31.74	0.0007	0.0214	11.91	4.29
444	31.51	0.0007	0.0211	11.74	4.23
445	31.08	0.0007	0.0206	11.42	4.11
CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
446	31.06	0.0007	0.0205	11.40	4.11
447	30.44	0.0006	0.0197	10.95	3.94
448	29.79	0.0006	0.0189	10.49	3.78
449	29.04	0.0006	0.0179	9.97	3.59
450	27.24	0.0006	0.0158	8.77	3.16
451	25.76	0.0005	0.0141	7.84	2.82
452	25.36	0.0005	0.0137	7.60	2.74
453	25.38	0.0005	0.0137	7.61	2.74
454	25.53	0.0005	0.0139	7.70	2.77
455	24.56	0.0005	0.0128	7.13	2.57
456	24.46	0.0005	0.0127	7.07	2.55
457	25.83	0.0005	0.0142	7.89	2.84
458	26.38	0.0006	0.0148	8.23	2.96
459	26.51	0.0006	0.0149	8.30	2.99
460	26.47	0.0006	0.0149	8.28	2.98
461	27.08	0.0006	0.0156	8.67	3.12
462	33.56	0.0007	0.0240	13.31	4.79
463	37.26	0.0008	0.0295	16.41	5.91
464	87.12	0.0019	0.1615	89.71	32.30
465	92.58	0.0020	0.1824	101.31	36.47
466	93.92	0.0020	0.1877	104.26	37.53
467	94.83	0.0020	0.1914	106.31	38.27
468	95.26	0.0020	0.1931	107.25	38.61
469	96.91	0.0021	0.1998	111.00	39.96
470	97.05	0.0021	0.2004	111.33	40.08
471	96.80	0.0021	0.1994	110.77	39.88
472	94.66	0.0020	0.1907	105.92	38.13
473	93.62	0.0020	0.1865	103.59	37.29
474	94.71	0.0020	0.1908	106.02	38.17
475	95.66	0.0020	0.1947	108.17	38.94
476	96.34	0.0020	0.1975	109.71	39.50
CH02 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
477	99.36	0.0021	0.2100	116.68	42.01
478	84.58	0.0018	0.1522	84.57	30.44
479	77.38	0.0016	0.1274	70.77	25.48
480	74.14	0.0016	0.1170	64.97	23.39
481	73.78	0.0016	0.1158	64.35	23.17
482	71.86	0.0015	0.1099	61.04	21.97
483	72.07	0.0015	0.1105	61.39	22.10
484	70.77	0.0015	0.1066	59.21	21.31
485	69.95	0.0015	0.1041	57.84	20.82
486	69.54	0.0015	0.1029	57.16	20.58
487	71.66	0.0015	0.1093	60.70	21.85
488	70.79	0.0015	0.1066	59.24	21.33
489	68.79	0.0015	0.1007	55.93	20.14
490	68.45	0.0015	0.0997	55.38	19.94
491	67.50	0.0014	0.0969	53.86	19.39
492	66.98	0.0014	0.0954	53.03	19.09
493	63.79	0.0014	0.0866	48.10	17.32
494	62.54	0.0013	0.0832	46.23	16.64
495	64.08	0.0014	0.0874	48.54	17.47
496	62.75	0.0013	0.0838	46.55	16.76
497	81.84	0.0017	0.1425	79.18	28.50
498	99.59	0.0021	0.2110	117.24	42.21
499	74.73	0.0016	0.1188	66.01	23.77
500	55.75	0.0012	0.0661	36.74	13.23
501	55.66	0.0012	0.0659	36.62	13.18
502	55.66	0.0012	0.0659	36.62	13.18
503	55.20	0.0012	0.0648	36.01	12.96

ตาราง ข2.3.21 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
411	80.59	0.0017	0.1382	76.77	27.64
412	7.63	0.0002	0.0012	0.69	0.25
413	-5.57	-0.0001	0.0007	0.37	0.13
414	-15.17	-0.0003	0.0049	2.72	0.98
415	-23.99	-0.0005	0.0122	6.81	2.45
416	-28.71	-0.0006	0.0175	9.75	3.51
417	-28.84	-0.0006	0.0177	9.83	3.54
418	-26.11	-0.0006	0.0145	8.06	2.90
419	-25.11	-0.0005	0.0134	7.45	2.68
420	-22.82	-0.0005	0.0111	6.16	2.22
421	-15.83	-0.0003	0.0053	2.96	1.07
422	-6.20	-0.0001	0.0008	0.45	0.16
423	0.04	0.0000	0.0000	0.00	0.00
424	2.74	0.0001	0.0002	0.09	0.03
425	2.75	0.0001	0.0002	0.09	0.03
426	0.77	0.0000	0.0000	0.01	0.00
427	0.26	0.0000	0.0000	0.00	0.00
428	0.05	0.0000	0.0000	0.00	0.00
429	-0.17	0.0000	0.0000	0.00	0.00
430	0.19	0.0000	0.0000	0.00	0.00
431	2.00	0.0000	0.0001	0.05	0.02
432	4.84	0.0001	0.0005	0.28	0.10
433	7.90	0.0002	0.0013	0.74	0.27
434	10.24	0.0002	0.0022	1.24	0.45
435	11.71	0.0002	0.0029	1.62	0.58
436	12.37	0.0003	0.0033	1.81	0.65
437	12.91	0.0003	0.0035	1.97	0.71
438	13.16	0.0003	0.0037	2.05	0.74
439	13.36	0.0003	0.0038	2.11	0.76
CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
440	13.52	0.0003	0.0039	2.16	0.78
441	13.86	0.0003	0.0041	2.27	0.82
442	14.30	0.0003	0.0044	2.42	0.87
443	14.76	0.0003	0.0046	2.57	0.93
444	15.35	0.0003	0.0050	2.79	1.00
445	15.94	0.0003	0.0054	3.00	1.08
446	16.72	0.0004	0.0059	3.31	1.19
447	16.51	0.0004	0.0058	3.22	1.16
448	16.33	0.0003	0.0057	3.15	1.13
449	16.33	0.0003	0.0057	3.15	1.14
450	15.27	0.0003	0.0050	2.76	0.99
451	14.57	0.0003	0.0045	2.51	0.90
452	15.28	0.0003	0.0050	2.76	0.99
453	16.06	0.0003	0.0055	3.05	1.10
454	16.73	0.0004	0.0060	3.31	1.19
455	16.14	0.0003	0.0055	3.08	1.11
456	16.34	0.0003	0.0057	3.15	1.14
457	18.17	0.0004	0.0070	3.90	1.41
458	19.01	0.0004	0.0077	4.27	1.54
459	19.40	0.0004	0.0080	4.45	1.60
460	19.67	0.0004	0.0082	4.57	1.65
461	20.67	0.0004	0.0091	5.05	1.82
462	27.95	0.0006	0.0166	9.24	3.33
463	32.41	0.0007	0.0224	12.42	4.47
464	85.97	0.0018	0.1572	87.36	31.45
465	92.66	0.0020	0.1827	101.49	36.54
466	94.69	0.0020	0.1908	105.99	38.16
467	95.77	0.0020	0.1951	108.41	39.03
468	96.25	0.0020	0.1971	109.50	39.42
469	98.49	0.0021	0.2064	114.66	41.28
470	98.65	0.0021	0.2071	115.04	41.41
CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
471	98.38	0.0021	0.2059	114.41	41.19
472	96.44	0.0021	0.1979	109.93	39.57
473	95.31	0.0020	0.1933	107.38	38.66
474	96.23	0.0020	0.1970	109.46	39.41
475	97.12	0.0021	0.2007	111.49	40.13
476	97.56	0.0021	0.2025	112.51	40.50
477	101.06	0.0022	0.2173	120.72	43.46
478	84.81	0.0018	0.1530	85.01	30.61
479	77.27	0.0016	0.1270	70.57	25.40
480	73.96	0.0016	0.1164	64.66	23.28
481	72.76	0.0015	0.1126	62.58	22.53
482	70.74	0.0015	0.1065	59.15	21.30
483	70.70	0.0015	0.1063	59.08	21.27
484	69.02	0.0015	0.1013	56.30	20.27
485	67.54	0.0014	0.0971	53.93	19.41
486	66.57	0.0014	0.0943	52.38	18.86
487	68.27	0.0015	0.0992	55.10	19.83
488	67.15	0.0014	0.0959	53.30	19.19
489	64.82	0.0014	0.0894	49.67	17.88
490	64.13	0.0014	0.0875	48.62	17.50
491	62.95	0.0013	0.0843	46.83	16.86
492	62.17	0.0013	0.0822	45.69	16.45
493	58.71	0.0012	0.0733	40.74	14.67
494	57.35	0.0012	0.0700	38.88	14.00
495	58.96	0.0013	0.0740	41.09	14.79
496	57.40	0.0012	0.0701	38.95	14.02
497	77.51	0.0016	0.1278	71.02	25.57
498	96.88	0.0021	0.1997	110.95	39.94
499	62.94	0.0013	0.0843	46.82	16.86
500	39.75	0.0008	0.0336	18.67	6.72
501	40.65	0.0009	0.0351	19.53	7.03
CH03 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
502	41.26	0.0009	0.0362	20.12	7.24
503	41.03	0.0009	0.0358	19.90	7.16

ตาราง ข2.3.22 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
411	33.64	0.0007	0.0241	13.38	4.82
412	-7.88	-0.0002	0.0013	0.73	0.26
413	-20.01	-0.0004	0.0085	4.73	1.70
414	-23.79	-0.0005	0.0120	6.69	2.41
415	-26.00	-0.0006	0.0144	7.99	2.88
416	-26.66	-0.0006	0.0151	8.40	3.02
417	-21.71	-0.0005	0.0100	5.57	2.01
418	-11.73	-0.0002	0.0029	1.63	0.59
419	-0.96	0.0000	0.0000	0.01	0.00
420	14.29	0.0003	0.0043	2.41	0.87
421	19.57	0.0004	0.0081	4.53	1.63
422	22.05	0.0005	0.0103	5.74	2.07
423	27.45	0.0006	0.0160	8.91	3.21
424	30.41	0.0006	0.0197	10.93	3.94
425	30.90	0.0007	0.0203	11.29	4.06
426	29.46	0.0006	0.0185	10.26	3.69
427	29.83	0.0006	0.0189	10.52	3.79
428	30.59	0.0007	0.0199	11.06	3.98
429	31.86	0.0007	0.0216	12.00	4.32
430	34.18	0.0007	0.0249	13.81	4.97
431	34.46	0.0007	0.0253	14.04	5.05
432	31.66	0.0007	0.0213	11.85	4.27
433	30.89	0.0007	0.0203	11.28	4.06
CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
434	30.38	0.0006	0.0196	10.91	3.93
435	29.71	0.0006	0.0188	10.43	3.76
436	28.32	0.0006	0.0171	9.48	3.41
437	26.77	0.0006	0.0153	8.47	3.05
438	25.59	0.0005	0.0139	7.74	2.79
439	24.56	0.0005	0.0128	7.13	2.57
440	24.12	0.0005	0.0124	6.87	2.47
441	23.62	0.0005	0.0119	6.59	2.37
442	23.45	0.0005	0.0117	6.50	2.34
443	23.29	0.0005	0.0115	6.41	2.31
444	23.05	0.0005	0.0113	6.28	2.26
445	22.36	0.0005	0.0106	5.91	2.13
446	22.21	0.0005	0.0105	5.83	2.10
447	21.19	0.0005	0.0095	5.31	1.91
448	20.30	0.0004	0.0088	4.87	1.75
449	19.50	0.0004	0.0081	4.49	1.62
450	17.04	0.0004	0.0062	3.43	1.24
451	15.45	0.0003	0.0051	2.82	1.02
452	15.86	0.0003	0.0054	2.97	1.07
453	16.16	0.0003	0.0056	3.09	1.11
454	16.23	0.0003	0.0056	3.11	1.12
455	14.66	0.0003	0.0046	2.54	0.91
456	14.01	0.0003	0.0042	2.32	0.84
457	15.50	0.0003	0.0051	2.84	1.02
458	16.09	0.0003	0.0055	3.06	1.10
459	16.13	0.0003	0.0055	3.07	1.11
460	16.09	0.0003	0.0055	3.06	1.10
461	15.79	0.0003	0.0053	2.95	1.06
462	18.31	0.0004	0.0071	3.96	1.43
463	19.74	0.0004	0.0083	4.61	1.66
464	38.96	0.0008	0.0323	17.94	6.46
CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
465	42.30	0.0009	0.0381	21.15	7.61
466	40.59	0.0009	0.0351	19.48	7.01
467	42.79	0.0009	0.0390	21.64	7.79
468	42.72	0.0009	0.0388	21.57	7.77
469	43.13	0.0009	0.0396	21.99	7.92
470	42.88	0.0009	0.0391	21.74	7.83
471	42.83	0.0009	0.0390	21.69	7.81
472	41.76	0.0009	0.0371	20.61	7.42
473	41.44	0.0009	0.0365	20.30	7.31
474	42.12	0.0009	0.0378	20.97	7.55
475	41.84	0.0009	0.0372	20.69	7.45
476	40.07	0.0009	0.0342	18.98	6.83
477	42.81	0.0009	0.0390	21.67	7.80
478	35.51	0.0008	0.0268	14.90	5.36
479	30.69	0.0007	0.0200	11.14	4.01
480	27.73	0.0006	0.0164	9.09	3.27
481	26.98	0.0006	0.0155	8.60	3.10
482	25.40	0.0005	0.0137	7.63	2.75
483	25.38	0.0005	0.0137	7.61	2.74
484	23.63	0.0005	0.0119	6.60	2.38
485	22.27	0.0005	0.0106	5.86	2.11
486	21.28	0.0005	0.0096	5.35	1.93
487	23.40	0.0005	0.0117	6.47	2.33
488	22.30	0.0005	0.0106	5.88	2.12
489	21.27	0.0005	0.0096	5.35	1.92
490	21.87	0.0005	0.0102	5.65	2.03
491	20.95	0.0004	0.0093	5.19	1.87
492	20.49	0.0004	0.0089	4.96	1.79
493	18.22	0.0004	0.0071	3.93	1.41
494	17.53	0.0004	0.0065	3.63	1.31
495	18.99	0.0004	0.0077	4.26	1.53
CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
496	17.11	0.0004	0.0062	3.46	1.25
497	26.20	0.0006	0.0146	8.11	2.92
498	33.02	0.0007	0.0232	12.89	4.64
499	19.77	0.0004	0.0083	4.62	1.66
500	15.32	0.0003	0.0050	2.77	1.00
501	18.85	0.0004	0.0076	4.20	1.51
502	21.61	0.0005	0.0099	5.52	1.99
503	21.30	0.0005	0.0096	5.36	1.93

ตาราง ข.2.3.23 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

CH05 Resistor = 51 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
411	0.05	0.0009	0.0000	0.0221	0.0079
412	-0.07	-0.0014	0.0001	0.0540	0.0194
413	-0.03	-0.0006	0.0000	0.0103	0.0037
414	-0.01	-0.0002	0.0000	0.0006	0.0002
415	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
416	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
417	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
418	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
419	-0.01	-0.0001	0.0000	0.0003	0.0001
420	-0.01	-0.0002	0.0000	0.0009	0.0003
421	-0.02	-0.0003	0.0000	0.0025	0.0009
422	-0.03	-0.0007	0.0000	0.0131	0.0047
423	-0.07	-0.0013	0.0001	0.0505	0.0182
424	-0.07	-0.0013	0.0001	0.0511	0.0184
425	-0.06	-0.0013	0.0001	0.0449	0.0162
426	-0.06	-0.0012	0.0001	0.0392	0.0141
427	-0.05	-0.0010	0.0000	0.0268	0.0097
CH05 Resistor = 51 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
428	-0.05	-0.0010	0.0000	0.0268	0.0097
429	-0.05	-0.0009	0.0000	0.0221	0.0079
430	-0.04	-0.0008	0.0000	0.0161	0.0058
431	-0.03	-0.0006	0.0000	0.0106	0.0038
432	-0.02	-0.0004	0.0000	0.0054	0.0020
433	-0.02	-0.0004	0.0000	0.0051	0.0018
434	-0.02	-0.0003	0.0000	0.0033	0.0012
435	-0.02	-0.0004	0.0000	0.0037	0.0013
436	-0.01	-0.0002	0.0000	0.0013	0.0005
437	-0.01	-0.0002	0.0000	0.0006	0.0002
438	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
439	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
440	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
441	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
442	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
443	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
444	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
445	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
446	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
447	0.00	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
448	0.01	0.0001	0.0000	0.0003	0.0001
449	0.01	0.0002	0.0000	0.0010	0.0004
450	0.02	0.0003	0.0000	0.0025	0.0009
451	0.02	0.0005	0.0000	0.0062	0.0022
452	0.03	0.0005	0.0000	0.0075	0.0027
453	0.02	0.0005	0.0000	0.0060	0.0022
454	0.02	0.0005	0.0000	0.0064	0.0023
455	0.02	0.0003	0.0000	0.0025	0.0009
456	0.02	0.0003	0.0000	0.0030	0.0011
457	0.02	0.0004	0.0000	0.0042	0.0015
458	0.02	0.0004	0.0000	0.0037	0.0013
CH05 Resistor = 51 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
459	0.02	0.0004	0.0000	0.0047	0.0017
460	0.02	0.0003	0.0000	0.0026	0.0009
461	0.01	0.0002	0.0000	0.0018	0.0006
462	0.02	0.0005	0.0000	0.0062	0.0022
463	0.02	0.0005	0.0000	0.0062	0.0022
464	0.11	0.0021	0.0002	0.1272	0.0458
465	0.09	0.0017	0.0002	0.0860	0.0310
466	0.08	0.0016	0.0001	0.0690	0.0249
467	0.08	0.0015	0.0001	0.0638	0.0230
468	0.07	0.0013	0.0001	0.0499	0.0180
469	0.07	0.0013	0.0001	0.0477	0.0172
470	0.06	0.0013	0.0001	0.0444	0.0160
471	0.06	0.0012	0.0001	0.0387	0.0139
472	0.05	0.0010	0.0000	0.0272	0.0098
473	0.04	0.0008	0.0000	0.0195	0.0070
474	0.04	0.0008	0.0000	0.0171	0.0062
475	0.04	0.0007	0.0000	0.0158	0.0057
476	0.04	0.0008	0.0000	0.0168	0.0060
477	0.04	0.0009	0.0000	0.0209	0.0075
478	0.01	0.0001	0.0000	0.0006	0.0002
479	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
480	0.01	0.0001	0.0000	0.0006	0.0002
481	0.02	0.0003	0.0000	0.0027	0.0010
482	0.01	0.0003	0.0000	0.0022	0.0008
483	0.02	0.0004	0.0000	0.0036	0.0013
484	0.01	0.0003	0.0000	0.0020	0.0007
485	0.01	0.0002	0.0000	0.0014	0.0005
486	0.01	0.0003	0.0000	0.0021	0.0008
487	0.02	0.0004	0.0000	0.0052	0.0019
488	0.01	0.0002	0.0000	0.0017	0.0006
489	0.01	0.0002	0.0000	0.0014	0.0005
CH05 Resistor = 51 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
490	0.02	0.0003	0.0000	0.0031	0.0011
491	0.01	0.0003	0.0000	0.0023	0.0008
492	0.01	0.0003	0.0000	0.0020	0.0007
493	0.01	0.0002	0.0000	0.0011	0.0004
494	0.01	0.0001	0.0000	0.0004	0.0001
495	0.01	0.0003	0.0000	0.0022	0.0008
496	0.01	0.0002	0.0000	0.0009	0.0003
497	0.05	0.0011	0.0001	0.0325	0.0117
498	0.05	0.0010	0.0001	0.0289	0.0104
499	0.01	0.0003	0.0000	0.0018	0.0007
500	-0.01	-0.0002	0.0000	0.0007	0.0002
501	0.00	-0.0001	0.0000	0.0002	0.0001
502	0.00	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
503	0.00	-0.0001	0.0000	0.0002	0.0001

ตาราง ข2.3.24 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
411	87.86	0.0019	0.1643	91.2504	32.8501
412	45.83	0.0010	0.0447	24.8219	8.9359
413	36.30	0.0008	0.0280	15.5712	5.6056
414	39.11	0.0008	0.0325	18.0817	6.5094
415	45.15	0.0010	0.0434	24.0981	8.6753
416	44.84	0.0010	0.0428	23.7614	8.5541
417	46.06	0.0010	0.0451	25.0805	9.0290
418	40.08	0.0009	0.0342	18.9875	6.8355
419	33.48	0.0007	0.0238	13.2468	4.7688
420	30.00	0.0006	0.0192	10.6394	3.8302
421	25.82	0.0005	0.0142	7.8772	2.8358
CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
422	34.63	0.0007	0.0255	14.1741	5.1027
423	41.45	0.0009	0.0366	20.3104	7.3118
424	41.26	0.0009	0.0362	20.1262	7.2454
425	39.77	0.0008	0.0337	18.6982	6.7313
426	36.97	0.0008	0.0291	16.1541	5.8155
427	35.54	0.0008	0.0269	14.9292	5.3745
428	34.08	0.0007	0.0247	13.7265	4.9415
429	31.11	0.0007	0.0206	11.4435	4.1197
430	27.18	0.0006	0.0157	8.7343	3.1443
431	22.01	0.0005	0.0103	5.7260	2.0614
432	17.15	0.0004	0.0063	3.4762	1.2514
433	15.84	0.0003	0.0053	2.9672	1.0682
434	15.21	0.0003	0.0049	2.7348	0.9845
435	14.39	0.0003	0.0044	2.4486	0.8815
436	12.95	0.0003	0.0036	1.9827	0.7138
437	11.39	0.0002	0.0028	1.5321	0.5516
438	10.26	0.0002	0.0022	1.2442	0.4479
439	9.44	0.0002	0.0019	1.0523	0.3788
440	9.18	0.0002	0.0018	0.9961	0.3586
441	8.96	0.0002	0.0017	0.9497	0.3419
442	9.08	0.0002	0.0018	0.9736	0.3505
443	9.13	0.0002	0.0018	0.9856	0.3548
444	9.13	0.0002	0.0018	0.9862	0.3550
445	8.66	0.0002	0.0016	0.8862	0.3190
446	8.75	0.0002	0.0016	0.9047	0.3257
447	7.85	0.0002	0.0013	0.7277	0.2620
448	7.13	0.0002	0.0011	0.6010	0.2164
449	6.54	0.0001	0.0009	0.5056	0.1820
450	4.17	0.0001	0.0004	0.2057	0.0741
451	2.82	0.0001	0.0002	0.0938	0.0338
452	3.49	0.0001	0.0003	0.1442	0.0519
CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
453	4.06	0.0001	0.0004	0.1950	0.0702
454	4.42	0.0001	0.0004	0.2312	0.0832
455	3.02	0.0001	0.0002	0.1077	0.0388
456	2.52	0.0001	0.0001	0.0753	0.0271
457	4.34	0.0001	0.0004	0.2226	0.0801
458	5.30	0.0001	0.0006	0.3314	0.1193
459	5.62	0.0001	0.0007	0.3733	0.1344
460	5.90	0.0001	0.0007	0.4118	0.1482
461	5.86	0.0001	0.0007	0.4053	0.1459
462	8.78	0.0002	0.0016	0.9104	0.3277
463	10.57	0.0002	0.0024	1.3200	0.4752
464	31.28	0.0007	0.0208	11.5640	4.1631
465	34.99	0.0007	0.0261	14.4748	5.2109
466	33.37	0.0007	0.0237	13.1614	4.7381
467	35.69	0.0008	0.0271	15.0545	5.4196
468	35.76	0.0008	0.0272	15.1162	5.4418
469	36.10	0.0008	0.0277	15.4004	5.5442
470	35.52	0.0008	0.0269	14.9172	5.3702
471	35.77	0.0008	0.0272	15.1234	5.4444
472	34.45	0.0007	0.0253	14.0312	5.0512
473	34.00	0.0007	0.0246	13.6643	4.9191
474	34.58	0.0007	0.0254	14.1370	5.0893
475	34.25	0.0007	0.0250	13.8669	4.9921
476	32.00	0.0007	0.0218	12.1066	4.3584
477	35.40	0.0008	0.0267	14.8099	5.3316
478	27.76	0.0006	0.0164	9.1069	3.2785
479	22.66	0.0005	0.0109	6.0678	2.1844
480	19.54	0.0004	0.0081	4.5139	1.6250
481	18.78	0.0004	0.0075	4.1684	1.5006
482	17.32	0.0004	0.0064	3.5438	1.2758
483	17.56	0.0004	0.0066	3.6431	1.3115
CH06 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
484	15.79	0.0003	0.0053	2.9471	1.0610
485	14.55	0.0003	0.0045	2.5015	0.9005
486	13.62	0.0003	0.0039	2.1941	0.7899
487	16.02	0.0003	0.0055	3.0327	1.0918
488	15.13	0.0003	0.0049	2.7050	0.9738
489	14.24	0.0003	0.0043	2.3979	0.8633
490	15.07	0.0003	0.0048	2.6838	0.9662
491	14.30	0.0003	0.0043	2.4161	0.8698
492	14.05	0.0003	0.0042	2.3348	0.8405
493	11.84	0.0003	0.0030	1.6581	0.5969
494	11.27	0.0002	0.0027	1.5010	0.5404
495	11.58	0.0002	0.0029	1.5851	0.5706
496	11.62	0.0002	0.0029	1.5972	0.5750
497	19.28	0.0004	0.0079	4.3945	1.5820
498	24.87	0.0005	0.0132	7.3111	2.6320
499	19.82	0.0004	0.0084	4.6441	1.6719
500	20.00	0.0004	0.0085	4.7303	1.7029
501	21.56	0.0005	0.0099	5.4919	1.9771
502	22.46	0.0005	0.0107	5.9607	2.1459
503	21.90	0.0005	0.0102	5.6679	2.0404

ตาราง ข2.3.25 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

CH07 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
411	-13.60	-0.0003	0.0039	2.1862	0.7870
412	19.72	0.0004	0.0083	4.5988	1.6556
413	15.64	0.0003	0.0052	2.8907	1.0406
414	11.36	0.0002	0.0027	1.5248	0.5489
415	6.58	0.0001	0.0009	0.5115	0.1841
CH07 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
416	3.18	0.0001	0.0002	0.1194	0.0430
417	2.41	0.0001	0.0001	0.0687	0.0247
418	3.83	0.0001	0.0003	0.1733	0.0624
419	4.72	0.0001	0.0005	0.2635	0.0948
420	5.55	0.0001	0.0007	0.3636	0.1309
421	7.31	0.0002	0.0011	0.6319	0.2275
422	13.11	0.0003	0.0037	2.0317	0.7314
423	17.64	0.0004	0.0066	3.6801	1.3248
424	19.55	0.0004	0.0081	4.5197	1.6271
425	21.13	0.0004	0.0095	5.2790	1.9005
426	22.11	0.0005	0.0104	5.7768	2.0796
427	23.86	0.0005	0.0121	6.7306	2.4230
428	25.10	0.0005	0.0134	7.4467	2.6808
429	24.74	0.0005	0.0130	7.2324	2.6037
430	24.10	0.0005	0.0124	6.8645	2.4712
431	22.13	0.0005	0.0104	5.7913	2.0849
432	20.33	0.0004	0.0088	4.8854	1.7588
433	19.88	0.0004	0.0084	4.6721	1.6820
434	19.94	0.0004	0.0085	4.7020	1.6927
435	20.17	0.0004	0.0087	4.8072	1.7306
436	19.94	0.0004	0.0085	4.7018	1.6926
437	18.44	0.0004	0.0072	4.0175	1.4463
438	17.29	0.0004	0.0064	3.5352	1.2727
439	15.71	0.0003	0.0053	2.9176	1.0503
440	15.19	0.0003	0.0049	2.7271	0.9818
441	14.86	0.0003	0.0047	2.6094	0.9394
442	14.56	0.0003	0.0045	2.5069	0.9025
443	14.28	0.0003	0.0043	2.4099	0.8676
444	14.05	0.0003	0.0042	2.3327	0.8398
445	13.19	0.0003	0.0037	2.0562	0.7402
446	13.02	0.0003	0.0036	2.0046	0.7217
CH07 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
447	12.26	0.0003	0.0032	1.7775	0.6399
448	12.31	0.0003	0.0032	1.7898	0.6443
449	11.68	0.0002	0.0029	1.6117	0.5802
450	10.46	0.0002	0.0023	1.2933	0.4656
451	9.84	0.0002	0.0021	1.1450	0.4122
452	10.12	0.0002	0.0022	1.2099	0.4356
453	10.42	0.0002	0.0023	1.2840	0.4622
454	9.98	0.0002	0.0021	1.1768	0.4236
455	8.92	0.0002	0.0017	0.9403	0.3385
456	7.57	0.0002	0.0012	0.6778	0.2440
457	7.79	0.0002	0.0013	0.7165	0.2579
458	7.83	0.0002	0.0013	0.7245	0.2608
459	7.94	0.0002	0.0013	0.7461	0.2686
460	7.92	0.0002	0.0013	0.7407	0.2666
461	6.65	0.0001	0.0009	0.5224	0.1881
462	2.38	0.0001	0.0001	0.0670	0.0241
463	0.07	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
464	-33.01	-0.0007	0.0232	12.8765	4.6356
465	-31.86	-0.0007	0.0216	11.9992	4.3197
466	-34.33	-0.0007	0.0251	13.9333	5.0160
467	-30.11	-0.0006	0.0193	10.7173	3.8582
468	-29.47	-0.0006	0.0185	10.2649	3.6954
469	-29.98	-0.0006	0.0191	10.6249	3.8250
470	-29.68	-0.0006	0.0187	10.4158	3.7497
471	-29.23	-0.0006	0.0182	10.1013	3.6365
472	-28.45	-0.0006	0.0172	9.5661	3.4438
473	-28.01	-0.0006	0.0167	9.2712	3.3376
474	-27.88	-0.0006	0.0165	9.1909	3.3087
475	-28.07	-0.0006	0.0168	9.3123	3.3524
476	-30.26	-0.0006	0.0195	10.8232	3.8964
477	-27.68	-0.0006	0.0163	9.0580	3.2609
CH07 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					

Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
478	-18.67	-0.0004	0.0074	4.1194	1.4830
479	-14.69	-0.0003	0.0046	2.5510	0.9184
480	-14.71	-0.0003	0.0046	2.5585	0.9211
481	-15.49	-0.0003	0.0051	2.8343	1.0204
482	-15.63	-0.0003	0.0052	2.8889	1.0400
483	-15.44	-0.0003	0.0051	2.8178	1.0144
484	-15.84	-0.0003	0.0053	2.9651	1.0674
485	-16.28	-0.0003	0.0056	3.1309	1.1271
486	-17.12	-0.0004	0.0062	3.4654	1.2475
487	-16.28	-0.0003	0.0056	3.1317	1.1274
488	-15.95	-0.0003	0.0054	3.0060	1.0821
489	-14.71	-0.0003	0.0046	2.5588	0.9212
490	-13.14	-0.0003	0.0037	2.0403	0.7345
491	-12.90	-0.0003	0.0035	1.9671	0.7082
492	-12.51	-0.0003	0.0033	1.8505	0.6662
493	-11.77	-0.0003	0.0029	1.6380	0.5897
494	-11.54	-0.0002	0.0028	1.5735	0.5665
495	-11.10	-0.0002	0.0026	1.4563	0.5243
496	-11.66	-0.0002	0.0029	1.6074	0.5786
497	-21.87	-0.0005	0.0102	5.6552	2.0359
498	-31.12	-0.0007	0.0206	11.4438	4.1198
499	-38.06	-0.0008	0.0308	17.1204	6.1634
500	-39.21	-0.0008	0.0327	18.1761	6.5434
501	-37.62	-0.0008	0.0301	16.7316	6.0234
502	-36.11	-0.0008	0.0277	15.4146	5.5492
503	-36.32	-0.0008	0.0281	15.5884	5.6118

ตาราง ข2.3.26 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

CH08 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu W/m^2$)	Power Density ($\mu W/m^3$)
411	1.64	0.0002	0.0004	0.2197	0.0791
412	13.16	0.0019	0.0255	14.1450	5.0922
413	9.40	0.0014	0.0130	7.2184	2.5986
414	7.28	0.0011	0.0078	4.3350	1.5606
415	5.43	0.0008	0.0043	2.4068	0.8665
416	4.33	0.0006	0.0028	1.5334	0.5520
417	4.26	0.0006	0.0027	1.4859	0.5349
418	4.66	0.0007	0.0032	1.7777	0.6400
419	4.67	0.0007	0.0032	1.7827	0.6418
420	4.60	0.0007	0.0031	1.7256	0.6212
421	4.89	0.0007	0.0035	1.9524	0.7029
422	6.60	0.0010	0.0064	3.5597	1.2815
423	7.28	0.0011	0.0078	4.3272	1.5578
424	7.10	0.0010	0.0074	4.1149	1.4814
425	6.88	0.0010	0.0070	3.8694	1.3930
426	6.68	0.0010	0.0066	3.6439	1.3118
427	6.57	0.0010	0.0064	3.5303	1.2709
428	6.32	0.0009	0.0059	3.2668	1.1761
429	5.78	0.0009	0.0049	2.7305	0.9830
430	5.14	0.0008	0.0039	2.1585	0.7770
431	4.32	0.0006	0.0027	1.5239	0.5486
432	3.79	0.0006	0.0021	1.1747	0.4229
433	3.78	0.0006	0.0021	1.1671	0.4202
434	3.71	0.0005	0.0020	1.1222	0.4040
435	3.52	0.0005	0.0018	1.0101	0.3636
436	3.23	0.0005	0.0015	0.8497	0.3059
437	2.92	0.0004	0.0013	0.6986	0.2515
438	2.65	0.0004	0.0010	0.5724	0.2061
439	2.43	0.0004	0.0009	0.4806	0.1730

CH08 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
440	2.36	0.0003	0.0008	0.4556	0.1640
441	2.33	0.0003	0.0008	0.4453	0.1603
442	2.46	0.0004	0.0009	0.4936	0.1777
443	2.49	0.0004	0.0009	0.5061	0.1822
444	2.47	0.0004	0.0009	0.4998	0.1799
445	2.44	0.0004	0.0009	0.4866	0.1752
446	2.40	0.0004	0.0008	0.4716	0.1698
447	2.32	0.0003	0.0008	0.4389	0.1580
448	2.14	0.0003	0.0007	0.3736	0.1345
449	2.05	0.0003	0.0006	0.3424	0.1233
450	1.58	0.0002	0.0004	0.2045	0.0736
451	1.33	0.0002	0.0003	0.1435	0.0517
452	1.49	0.0002	0.0003	0.1822	0.0656
453	1.63	0.0002	0.0004	0.2178	0.0784
454	1.75	0.0003	0.0005	0.2510	0.0904
455	1.37	0.0002	0.0003	0.1532	0.0551
456	1.14	0.0002	0.0002	0.1060	0.0381
457	1.59	0.0002	0.0004	0.2061	0.0742
458	1.72	0.0003	0.0004	0.2403	0.0865
459	1.65	0.0002	0.0004	0.2229	0.0803
460	1.60	0.0002	0.0004	0.2088	0.0752
461	1.10	0.0002	0.0002	0.0987	0.0355
462	-0.18	0.0000	0.0000	0.0027	0.0010
463	-0.61	-0.0001	0.0001	0.0308	0.0111
464	-11.12	-0.0016	0.0182	10.0962	3.6346
465	-7.25	-0.0011	0.0077	4.2943	1.5460
466	-6.94	-0.0010	0.0071	3.9310	1.4152
467	-4.88	-0.0007	0.0035	1.9419	0.6991
468	-4.70	-0.0007	0.0032	1.8044	0.6496
469	-4.58	-0.0007	0.0031	1.7149	0.6174
470	-4.01	-0.0006	0.0024	1.3140	0.4730

CH08 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
471	-3.96	-0.0006	0.0023	1.2789	0.4604
472	-4.23	-0.0006	0.0026	1.4629	0.5266
473	-4.05	-0.0006	0.0024	1.3416	0.4830
474	-3.92	-0.0006	0.0023	1.2535	0.4512
475	-3.89	-0.0006	0.0022	1.2377	0.4456
476	-4.33	-0.0006	0.0028	1.5293	0.5506
477	-2.52	-0.0004	0.0009	0.5171	0.1861
478	0.64	0.0001	0.0001	0.0335	0.0121
479	0.72	0.0001	0.0001	0.0429	0.0154
480	0.24	0.0000	0.0000	0.0045	0.0016
481	-0.11	0.0000	0.0000	0.0011	0.0004
482	-0.24	0.0000	0.0000	0.0049	0.0017
483	-0.03	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
484	-0.29	0.0000	0.0000	0.0068	0.0024
485	-0.37	-0.0001	0.0000	0.0114	0.0041
486	-0.52	-0.0001	0.0000	0.0217	0.0078
487	-0.12	0.0000	0.0000	0.0012	0.0004
488	-0.16	0.0000	0.0000	0.0021	0.0007
489	0.17	0.0000	0.0000	0.0022	0.0008
490	0.56	0.0001	0.0000	0.0252	0.0091
491	0.44	0.0001	0.0000	0.0158	0.0057
492	0.52	0.0001	0.0000	0.0225	0.0081
493	0.74	0.0001	0.0001	0.0442	0.0159
494	0.75	0.0001	0.0001	0.0454	0.0164
495	0.77	0.0001	0.0001	0.0490	0.0176
496	0.51	0.0001	0.0000	0.0209	0.0075
497	-3.77	-0.0006	0.0021	1.1621	0.4184
498	-5.31	-0.0008	0.0041	2.3009	0.8283
499	-1.10	-0.0002	0.0002	0.0996	0.0359
500	2.06	0.0003	0.0006	0.3463	0.1247
501	2.59	0.0004	0.0010	0.5487	0.1975

CH08 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
502	2.84	0.0004	0.0012	0.6607	0.2379
503	2.70	0.0004	0.0011	0.5950	0.2142

ตาราง ข2.3.27 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 3 ของห้องแอนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

CH09 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
411	-30.58	-0.0007	0.0199	11.0520	3.9787
412	-0.36	0.0000	0.0000	0.0016	0.0006
413	-4.63	-0.0001	0.0005	0.2533	0.0912
414	-8.49	-0.0002	0.0015	0.8529	0.3070
415	-12.55	-0.0003	0.0034	1.8620	0.6703
416	-15.30	-0.0003	0.0050	2.7663	0.9959
417	-15.79	-0.0003	0.0053	2.9455	1.0604
418	-14.59	-0.0003	0.0045	2.5178	0.9064
419	-13.98	-0.0003	0.0042	2.3117	0.8322
420	-13.60	-0.0003	0.0039	2.1865	0.7872
421	-12.45	-0.0003	0.0033	1.8309	0.6591
422	-7.89	-0.0002	0.0013	0.7353	0.2647
423	-4.83	-0.0001	0.0005	0.2758	0.0993
424	-4.16	-0.0001	0.0004	0.2049	0.0737
425	-4.05	-0.0001	0.0003	0.1934	0.0696
426	-4.01	-0.0001	0.0003	0.1898	0.0683
427	-3.76	-0.0001	0.0003	0.1671	0.0602
428	-3.90	-0.0001	0.0003	0.1797	0.0647
429	-4.52	-0.0001	0.0004	0.2418	0.0870
430	-5.50	-0.0001	0.0006	0.3576	0.1287
431	-6.79	-0.0001	0.0010	0.5457	0.1965
432	-8.57	-0.0002	0.0016	0.8688	0.3128
433	-8.88	-0.0002	0.0017	0.9312	0.3352

CH09 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
434	-8.75	-0.0002	0.0016	0.9053	0.3259
435	-8.56	-0.0002	0.0016	0.8653	0.3115
436	-8.66	-0.0002	0.0016	0.8857	0.3188
437	-9.14	-0.0002	0.0018	0.9868	0.3552
438	-9.42	-0.0002	0.0019	1.0481	0.3773
439	-9.70	-0.0002	0.0020	1.1116	0.4002
440	-9.59	-0.0002	0.0020	1.0861	0.3910
441	-9.25	-0.0002	0.0018	1.0107	0.3639
442	-8.86	-0.0002	0.0017	0.9272	0.3338
443	-8.71	-0.0002	0.0016	0.8973	0.3230
444	-8.46	-0.0002	0.0015	0.8468	0.3049
445	-8.20	-0.0002	0.0014	0.7946	0.2861
446	-7.88	-0.0002	0.0013	0.7330	0.2639
447	-8.19	-0.0002	0.0014	0.7924	0.2853
448	-8.50	-0.0002	0.0015	0.8539	0.3074
449	-8.72	-0.0002	0.0016	0.8989	0.3236
450	-9.80	-0.0002	0.0020	1.1363	0.4091
451	-10.48	-0.0002	0.0023	1.2984	0.4674
452	-10.32	-0.0002	0.0023	1.2584	0.4530
453	-10.00	-0.0002	0.0021	1.1824	0.4257
454	-10.04	-0.0002	0.0021	1.1908	0.4287
455	-10.52	-0.0002	0.0024	1.3087	0.4711
456	-10.87	-0.0002	0.0025	1.3958	0.5025
457	-10.33	-0.0002	0.0023	1.2614	0.4541
458	-9.83	-0.0002	0.0021	1.1428	0.4114
459	-9.36	-0.0002	0.0019	1.0361	0.3730
460	-8.94	-0.0002	0.0017	0.9439	0.3398
461	-9.97	-0.0002	0.0021	1.1745	0.4228
462	-13.51	-0.0003	0.0039	2.1578	0.7768
463	-15.35	-0.0003	0.0050	2.7851	1.0026
464	-43.35	-0.0009	0.0400	22.2087	7.9951

CH09 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
465	-40.30	-0.0009	0.0346	19.1998	6.9119
466	-41.24	-0.0009	0.0362	20.1029	7.2370
467	-36.31	-0.0008	0.0281	15.5868	5.6112
468	-34.86	-0.0007	0.0259	14.3640	5.1710
469	-34.26	-0.0007	0.0250	13.8756	4.9952
470	-33.63	-0.0007	0.0241	13.3645	4.8112
471	-32.64	-0.0007	0.0227	12.5942	4.5339
472	-31.36	-0.0007	0.0209	11.6267	4.1856
473	-30.63	-0.0007	0.0200	11.0917	3.9930
474	-29.83	-0.0006	0.0189	10.5162	3.7858
475	-29.92	-0.0006	0.0190	10.5797	3.8087
476	-31.36	-0.0007	0.0209	11.6233	4.1844
477	-28.01	-0.0006	0.0167	9.2750	3.3390
478	-19.81	-0.0004	0.0084	4.6402	1.6705
479	-17.45	-0.0004	0.0065	3.5995	1.2958
480	-17.63	-0.0004	0.0066	3.6733	1.3224
481	-17.74	-0.0004	0.0067	3.7204	1.3394
482	-17.18	-0.0004	0.0063	3.4868	1.2552
483	-16.17	-0.0003	0.0056	3.0901	1.1124
484	-16.44	-0.0003	0.0057	3.1941	1.1499
485	-16.51	-0.0004	0.0058	3.2211	1.1596
486	-16.87	-0.0004	0.0061	3.3653	1.2115
487	-15.98	-0.0003	0.0054	3.0199	1.0872
488	-15.83	-0.0003	0.0053	2.9612	1.0660
489	-14.98	-0.0003	0.0048	2.6534	0.9552
490	-13.91	-0.0003	0.0041	2.2873	0.8234
491	-13.93	-0.0003	0.0041	2.2935	0.8257
492	-13.72	-0.0003	0.0040	2.2252	0.8011
493	-12.98	-0.0003	0.0036	1.9906	0.7166
494	-12.72	-0.0003	0.0034	1.9120	0.6883
495	-12.40	-0.0003	0.0033	1.8165	0.6539

CH09 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
496	-12.79	-0.0003	0.0035	1.9339	0.6962
497	-21.74	-0.0005	0.0101	5.5842	2.0103
498	-28.53	-0.0006	0.0173	9.6215	3.4638
499	-26.28	-0.0006	0.0147	8.1662	2.9398
500	-22.61	-0.0005	0.0109	6.0404	2.1746
501	-21.23	-0.0005	0.0096	5.3253	1.9171
502	-20.09	-0.0004	0.0086	4.7724	1.7181
503	-20.37	-0.0004	0.0088	4.9065	1.7663

ตาราง ข2.3.28 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH01)

CH01 Resistor = 680 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	5.77	0.0085	0.0490	27.22	9.80
549	3.75	0.0055	0.0207	11.49	4.14
550	2.84	0.0042	0.0119	6.61	2.38
551	2.19	0.0032	0.0071	3.93	1.41
552	1.70	0.0025	0.0043	2.37	0.85
553	1.60	0.0024	0.0038	2.09	0.75
554	1.45	0.0021	0.0031	1.72	0.62
555	1.41	0.0021	0.0029	1.62	0.58
556	1.37	0.0020	0.0028	1.54	0.55
557	1.35	0.0020	0.0027	1.50	0.54
558	1.40	0.0021	0.0029	1.59	0.57
559	1.38	0.0020	0.0028	1.56	0.56
560	1.35	0.0020	0.0027	1.49	0.54
561	1.51	0.0022	0.0034	1.87	0.67
562	1.03	0.0015	0.0015	0.86	0.31
563	4.54	0.0067	0.0303	16.86	6.07
564	3.05	0.0045	0.0137	7.59	2.73

CH01 Resistor = 680 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
565	2.95	0.0043	0.0128	7.13	2.57
566	2.78	0.0041	0.0114	6.31	2.27
567	2.29	0.0034	0.0077	4.28	1.54
568	2.06	0.0030	0.0063	3.48	1.25
569	2.16	0.0032	0.0069	3.82	1.37
570	2.03	0.0030	0.0060	3.35	1.21
571	1.54	0.0023	0.0035	1.93	0.70
572	1.33	0.0020	0.0026	1.45	0.52
573	0.80	0.0012	0.0009	0.52	0.19
574	0.45	0.0007	0.0003	0.17	0.06
575	0.36	0.0005	0.0002	0.11	0.04
576	0.56	0.0008	0.0005	0.26	0.09
577	0.69	0.0010	0.0007	0.39	0.14
578	0.71	0.0010	0.0007	0.41	0.15
579	0.67	0.0010	0.0007	0.37	0.13
580	0.72	0.0011	0.0008	0.42	0.15
581	0.66	0.0010	0.0006	0.36	0.13
582	0.67	0.0010	0.0007	0.37	0.13
583	0.52	0.0008	0.0004	0.22	0.08
584	0.47	0.0007	0.0003	0.18	0.06
585	0.46	0.0007	0.0003	0.17	0.06
586	0.52	0.0008	0.0004	0.22	0.08
587	3.01	0.0044	0.0133	7.41	2.67
588	2.15	0.0032	0.0068	3.76	1.36
589	1.64	0.0024	0.0040	2.21	0.79
590	1.84	0.0027	0.0050	2.77	1.00
591	1.23	0.0018	0.0022	1.25	0.45
592	5.78	0.0085	0.0492	27.32	9.84
593	4.50	0.0066	0.0298	16.53	5.95
594	2.73	0.0040	0.0109	6.08	2.19
595	1.85	0.0027	0.0050	2.80	1.01

CH01 Resistor = 680 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
596	0.89	0.0013	0.0012	0.64	0.23
597	0.35	0.0005	0.0002	0.10	0.04
598	0.62	0.0009	0.0006	0.31	0.11
599	0.39	0.0006	0.0002	0.13	0.05
600	0.21	0.0003	0.0001	0.04	0.01
601	0.16	0.0002	0.0000	0.02	0.01
602	0.34	0.0005	0.0002	0.10	0.03
603	0.40	0.0006	0.0002	0.13	0.05
604	0.33	0.0005	0.0002	0.09	0.03
605	0.39	0.0006	0.0002	0.12	0.04
606	0.64	0.0009	0.0006	0.33	0.12
607	0.65	0.0010	0.0006	0.34	0.12
608	0.61	0.0009	0.0005	0.30	0.11
609	0.60	0.0009	0.0005	0.29	0.11
610	2.37	0.0035	0.0082	4.57	1.65
611	3.27	0.0048	0.0157	8.74	3.15
612	3.14	0.0046	0.0145	8.08	2.91
613	2.65	0.0039	0.0104	5.75	2.07
614	1.47	0.0022	0.0032	1.76	0.63
615	1.08	0.0016	0.0017	0.95	0.34
616	1.01	0.0015	0.0015	0.84	0.30
617	0.86	0.0013	0.0011	0.61	0.22
618	0.86	0.0013	0.0011	0.60	0.22
619	0.76	0.0011	0.0008	0.47	0.17
620	0.66	0.0010	0.0006	0.36	0.13
621	0.47	0.0007	0.0003	0.18	0.07
622	0.31	0.0005	0.0001	0.08	0.03
623	0.23	0.0003	0.0001	0.04	0.01
624	0.15	0.0002	0.0000	0.02	0.01
625	0.16	0.0002	0.0000	0.02	0.01
626	0.19	0.0003	0.0001	0.03	0.01

CH01 Resistor = 680 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
627	0.13	0.0002	0.0000	0.01	0.01
628	0.11	0.0002	0.0000	0.01	0.00
629	0.16	0.0002	0.0000	0.02	0.01
630	0.20	0.0003	0.0001	0.03	0.01
631	0.18	0.0003	0.0000	0.03	0.01
632	0.19	0.0003	0.0001	0.03	0.01
633	0.24	0.0004	0.0001	0.05	0.02
634	0.27	0.0004	0.0001	0.06	0.02
635	0.29	0.0004	0.0001	0.07	0.03
636	0.30	0.0004	0.0001	0.08	0.03
637	0.32	0.0005	0.0002	0.08	0.03
638	0.32	0.0005	0.0002	0.08	0.03
639	1.86	0.0027	0.0051	2.83	1.02
640	4.30	0.0063	0.0272	15.13	5.45
641	2.36	0.0035	0.0082	4.54	1.63
642	2.20	0.0032	0.0071	3.94	1.42
643	1.55	0.0023	0.0036	1.97	0.71
644	1.85	0.0027	0.0050	2.80	1.01
645	1.78	0.0026	0.0047	2.60	0.94
646	1.55	0.0023	0.0035	1.96	0.71
647	1.20	0.0018	0.0021	1.18	0.42
648	0.83	0.0012	0.0010	0.56	0.20
649	0.77	0.0011	0.0009	0.48	0.17
650	0.84	0.0012	0.0010	0.57	0.21
651	0.91	0.0013	0.0012	0.67	0.24
652	1.00	0.0015	0.0015	0.82	0.29
653	1.01	0.0015	0.0015	0.84	0.30
654	0.95	0.0014	0.0013	0.74	0.27
655	0.89	0.0013	0.0012	0.64	0.23
656	0.77	0.0011	0.0009	0.49	0.18
657	0.78	0.0011	0.0009	0.50	0.18

CH01 Resistor = 680 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
658	1.38	0.0020	0.0028	1.55	0.56
659	1.29	0.0019	0.0024	1.35	0.49
660	1.21	0.0018	0.0022	1.20	0.43
661	1.20	0.0018	0.0021	1.18	0.42
662	1.14	0.0017	0.0019	1.07	0.38
663	1.03	0.0015	0.0016	0.86	0.31
664	1.00	0.0015	0.0015	0.82	0.29
665	1.18	0.0017	0.0021	1.14	0.41
666	1.26	0.0019	0.0024	1.31	0.47
667	1.20	0.0018	0.0021	1.17	0.42
668	0.83	0.0012	0.0010	0.56	0.20
669	0.74	0.0011	0.0008	0.45	0.16
670	0.65	0.0010	0.0006	0.35	0.12
671	0.57	0.0008	0.0005	0.27	0.10
672	0.46	0.0007	0.0003	0.17	0.06
673	0.49	0.0007	0.0003	0.19	0.07
674	0.53	0.0008	0.0004	0.23	0.08
675	0.53	0.0008	0.0004	0.23	0.08
676	0.48	0.0007	0.0003	0.19	0.07
677	0.45	0.0007	0.0003	0.16	0.06
678	0.44	0.0006	0.0003	0.16	0.06
679	0.42	0.0006	0.0003	0.15	0.05
680	0.42	0.0006	0.0003	0.15	0.05
681	0.45	0.0007	0.0003	0.17	0.06
682	0.48	0.0007	0.0003	0.19	0.07
683	0.68	0.0010	0.0007	0.38	0.14
684	0.79	0.0012	0.0009	0.51	0.18
685	0.80	0.0012	0.0009	0.52	0.19
686	0.78	0.0011	0.0009	0.49	0.18
687	0.81	0.0012	0.0010	0.53	0.19
688	0.68	0.0010	0.0007	0.38	0.14

CH01 Resistor = 680 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
689	0.58	0.0009	0.0005	0.28	0.10
690	0.61	0.0009	0.0005	0.30	0.11
691	0.67	0.0010	0.0007	0.37	0.13
692	1.63	0.0024	0.0039	2.17	0.78
693	3.15	0.0046	0.0146	8.13	2.93
694	0.76	0.0011	0.0009	0.48	0.17
695	0.62	0.0009	0.0006	0.31	0.11
696	0.50	0.0007	0.0004	0.20	0.07
697	0.44	0.0006	0.0003	0.16	0.06
698	0.44	0.0006	0.0003	0.16	0.06
699	0.40	0.0006	0.0002	0.13	0.05
700	0.40	0.0006	0.0002	0.13	0.05
701	0.38	0.0006	0.0002	0.12	0.04
702	0.38	0.0006	0.0002	0.12	0.04
703	0.37	0.0005	0.0002	0.11	0.04
704	0.33	0.0005	0.0002	0.09	0.03
705	0.30	0.0004	0.0001	0.07	0.03
706	0.27	0.0004	0.0001	0.06	0.02
707	0.26	0.0004	0.0001	0.06	0.02
708	0.62	0.0009	0.0006	0.31	0.11
709	0.30	0.0004	0.0001	0.07	0.03
710	0.53	0.0008	0.0004	0.23	0.08
711	0.81	0.0012	0.0010	0.53	0.19
712	0.46	0.0007	0.0003	0.17	0.06
713	0.48	0.0007	0.0003	0.19	0.07
714	0.48	0.0007	0.0003	0.19	0.07

ตาราง ข2.3.29 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนโอดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH02)

CH02 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m^2 , Volume = 0.005 m^3					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μW)	Power Density ($\mu W/m^2$)	Power Density ($\mu W/m^3$)
548	27.54	0.0041	0.1116	61.98	22.31
549	20.87	0.0031	0.0640	35.58	12.81
550	20.44	0.0030	0.0614	34.13	12.29
551	18.05	0.0027	0.0479	26.62	9.58
552	17.75	0.0026	0.0463	25.75	9.27
553	18.48	0.0027	0.0502	27.90	10.04
554	18.57	0.0027	0.0507	28.19	10.15
555	19.86	0.0029	0.0580	32.22	11.60
556	20.38	0.0030	0.0611	33.93	12.21
557	20.23	0.0030	0.0602	33.45	12.04
558	20.59	0.0030	0.0624	34.64	12.47
559	20.22	0.0030	0.0601	33.41	12.03
560	19.78	0.0029	0.0575	31.96	11.50
561	16.83	0.0025	0.0417	23.14	8.33
562	9.58	0.0014	0.0135	7.51	2.70
563	18.01	0.0026	0.0477	26.50	9.54
564	17.66	0.0026	0.0459	25.48	9.17
565	19.70	0.0029	0.0571	31.72	11.42
566	20.94	0.0031	0.0645	35.81	12.89
567	19.76	0.0029	0.0574	31.88	11.48
568	18.01	0.0026	0.0477	26.49	9.54
569	16.93	0.0025	0.0421	23.41	8.43
570	17.96	0.0026	0.0475	26.37	9.49
571	18.10	0.0027	0.0482	26.76	9.63
572	21.13	0.0031	0.0657	36.48	13.13
573	21.77	0.0032	0.0697	38.74	13.94
574	17.86	0.0026	0.0469	26.07	9.38
575	18.25	0.0027	0.0490	27.20	9.79
576	20.08	0.0030	0.0593	32.94	11.86

CH02 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
577	19.44	0.0029	0.0556	30.87	11.11
578	19.26	0.0028	0.0546	30.31	10.91
579	18.45	0.0027	0.0501	27.81	10.01
580	17.81	0.0026	0.0467	25.93	9.33
581	16.85	0.0025	0.0418	23.20	8.35
582	16.29	0.0024	0.0390	21.67	7.80
583	14.84	0.0022	0.0324	18.00	6.48
584	14.09	0.0021	0.0292	16.22	5.84
585	13.90	0.0020	0.0284	15.78	5.68
586	13.37	0.0020	0.0263	14.60	5.26
587	23.62	0.0035	0.0821	45.59	16.41
588	18.63	0.0027	0.0511	28.37	10.21
589	16.39	0.0024	0.0395	21.95	7.90
590	17.66	0.0026	0.0459	25.49	9.18
591	13.08	0.0019	0.0252	13.99	5.04
592	37.74	0.0055	0.2094	116.36	41.89
593	31.87	0.0047	0.1493	82.97	29.87
594	18.74	0.0028	0.0517	28.70	10.33
595	17.10	0.0025	0.0430	23.89	8.60
596	13.49	0.0020	0.0268	14.87	5.35
597	9.95	0.0015	0.0146	8.09	2.91
598	11.17	0.0016	0.0183	10.19	3.67
599	10.50	0.0015	0.0162	9.00	3.24
600	9.38	0.0014	0.0129	7.19	2.59
601	9.05	0.0013	0.0121	6.70	2.41
602	9.68	0.0014	0.0138	7.65	2.75
603	9.51	0.0014	0.0133	7.39	2.66
604	8.51	0.0013	0.0106	5.91	2.13
605	8.22	0.0012	0.0099	5.51	1.99
606	8.70	0.0013	0.0111	6.19	2.23
607	8.69	0.0013	0.0111	6.17	2.22

CH02 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
608	8.73	0.0013	0.0112	6.22	2.24
609	8.68	0.0013	0.0111	6.15	2.21
610	16.30	0.0024	0.0391	21.71	7.81
611	18.67	0.0027	0.0512	28.46	10.25
612	9.61	0.0014	0.0136	7.55	2.72
613	9.80	0.0014	0.0141	7.85	2.82
614	12.25	0.0018	0.0221	12.27	4.42
615	10.34	0.0015	0.0157	8.73	3.14
616	9.81	0.0014	0.0141	7.86	2.83
617	8.55	0.0013	0.0107	5.97	2.15
618	8.28	0.0012	0.0101	5.60	2.01
619	7.23	0.0011	0.0077	4.27	1.54
620	6.63	0.0010	0.0065	3.59	1.29
621	5.55	0.0008	0.0045	2.52	0.91
622	4.62	0.0007	0.0031	1.75	0.63
623	4.23	0.0006	0.0026	1.46	0.53
624	3.92	0.0006	0.0023	1.25	0.45
625	4.05	0.0006	0.0024	1.34	0.48
626	4.57	0.0007	0.0031	1.71	0.61
627	4.97	0.0007	0.0036	2.02	0.73
628	5.31	0.0008	0.0042	2.31	0.83
629	5.41	0.0008	0.0043	2.39	0.86
630	5.34	0.0008	0.0042	2.33	0.84
631	5.02	0.0007	0.0037	2.06	0.74
632	4.81	0.0007	0.0034	1.89	0.68
633	4.90	0.0007	0.0035	1.96	0.71
634	5.12	0.0008	0.0039	2.14	0.77
635	5.08	0.0007	0.0038	2.11	0.76
636	4.94	0.0007	0.0036	2.00	0.72
637	4.79	0.0007	0.0034	1.87	0.67
638	4.45	0.0007	0.0029	1.62	0.58

CH ₂ Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
639	9.61	0.0014	0.0136	7.54	2.72
640	20.26	0.0030	0.0604	33.54	12.08
641	11.91	0.0018	0.0209	11.59	4.17
642	11.54	0.0017	0.0196	10.88	3.92
643	6.90	0.0010	0.0070	3.89	1.40
644	6.48	0.0010	0.0062	3.43	1.24
645	5.16	0.0008	0.0039	2.18	0.78
646	4.43	0.0007	0.0029	1.60	0.58
647	3.53	0.0005	0.0018	1.02	0.37
648	2.62	0.0004	0.0010	0.56	0.20
649	2.14	0.0003	0.0007	0.38	0.14
650	3.62	0.0005	0.0019	1.07	0.39
651	3.53	0.0005	0.0018	1.02	0.37
652	5.59	0.0008	0.0046	2.55	0.92
653	6.85	0.0010	0.0069	3.83	1.38
654	6.42	0.0009	0.0061	3.37	1.21
655	5.87	0.0009	0.0051	2.82	1.01
656	5.19	0.0008	0.0040	2.20	0.79
657	4.84	0.0007	0.0034	1.92	0.69
658	7.34	0.0011	0.0079	4.40	1.59
659	7.06	0.0010	0.0073	4.07	1.46
660	6.74	0.0010	0.0067	3.71	1.34
661	6.69	0.0010	0.0066	3.66	1.32
662	6.41	0.0009	0.0060	3.36	1.21
663	5.78	0.0009	0.0049	2.73	0.98
664	5.59	0.0008	0.0046	2.55	0.92
665	6.53	0.0010	0.0063	3.48	1.25
666	6.97	0.0010	0.0072	3.97	1.43
667	7.00	0.0010	0.0072	4.01	1.44
668	5.43	0.0008	0.0043	2.41	0.87
669	5.08	0.0007	0.0038	2.11	0.76

CH02 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
670	4.44	0.0007	0.0029	1.61	0.58
671	4.15	0.0006	0.0025	1.40	0.51
672	3.15	0.0005	0.0015	0.81	0.29
673	3.13	0.0005	0.0014	0.80	0.29
674	3.37	0.0005	0.0017	0.93	0.33
675	3.42	0.0005	0.0017	0.96	0.34
676	3.23	0.0005	0.0015	0.85	0.31
677	3.16	0.0005	0.0015	0.81	0.29
678	3.20	0.0005	0.0015	0.83	0.30
679	3.14	0.0005	0.0015	0.81	0.29
680	3.19	0.0005	0.0015	0.83	0.30
681	3.34	0.0005	0.0016	0.91	0.33
682	3.45	0.0005	0.0018	0.97	0.35
683	4.38	0.0006	0.0028	1.57	0.56
684	4.97	0.0007	0.0036	2.02	0.73
685	5.15	0.0008	0.0039	2.16	0.78
686	5.06	0.0007	0.0038	2.09	0.75
687	5.03	0.0007	0.0037	2.07	0.74
688	4.30	0.0006	0.0027	1.51	0.54
689	3.63	0.0005	0.0019	1.08	0.39
690	3.56	0.0005	0.0019	1.03	0.37
691	3.69	0.0005	0.0020	1.11	0.40
692	7.80	0.0011	0.0090	4.97	1.79
693	16.02	0.0024	0.0378	20.98	7.55
694	5.78	0.0009	0.0049	2.73	0.98
695	6.25	0.0009	0.0057	3.19	1.15
696	6.77	0.0010	0.0067	3.75	1.35
697	5.87	0.0009	0.0051	2.82	1.01
698	5.58	0.0008	0.0046	2.54	0.91
699	4.94	0.0007	0.0036	1.99	0.72
700	4.32	0.0006	0.0027	1.53	0.55

CH02 Resistor = 6,800 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
701	4.11	0.0006	0.0025	1.38	0.50
702	3.80	0.0006	0.0021	1.18	0.43
703	3.56	0.0005	0.0019	1.04	0.37
704	3.35	0.0005	0.0017	0.92	0.33
705	3.10	0.0005	0.0014	0.79	0.28
706	3.06	0.0004	0.0014	0.76	0.28
707	2.66	0.0004	0.0010	0.58	0.21
708	4.33	0.0006	0.0028	1.53	0.55
709	2.99	0.0004	0.0013	0.73	0.26
710	3.51	0.0005	0.0018	1.01	0.36
711	4.73	0.0007	0.0033	1.83	0.66
712	2.60	0.0004	0.0010	0.55	0.20
713	2.30	0.0003	0.0008	0.43	0.16
714	2.40	0.0004	0.0009	0.47	0.17

ตาราง ข2.3.30 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง anoxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH03)

CH03 Resistor = 250 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	-0.34	-0.0014	0.0005	0.26	0.09
549	-0.20	-0.0008	0.0002	0.08	0.03
550	0.05	0.0002	0.0000	0.00	0.00
551	0.26	0.0010	0.0003	0.15	0.05
552	0.34	0.0014	0.0005	0.26	0.09
553	0.29	0.0012	0.0003	0.19	0.07
554	0.25	0.0010	0.0002	0.13	0.05
555	0.18	0.0007	0.0001	0.07	0.03
556	0.15	0.0006	0.0001	0.05	0.02
557	0.15	0.0006	0.0001	0.05	0.02
558	0.17	0.0007	0.0001	0.06	0.02

CH03 Resistor = 250 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
559	0.17	0.0007	0.0001	0.07	0.02
560	0.19	0.0008	0.0001	0.08	0.03
561	0.14	0.0006	0.0001	0.05	0.02
562	0.10	0.0004	0.0000	0.02	0.01
563	0.32	0.0013	0.0004	0.22	0.08
564	0.38	0.0015	0.0006	0.31	0.11
565	0.26	0.0010	0.0003	0.15	0.05
566	0.34	0.0014	0.0005	0.26	0.09
567	0.63	0.0025	0.0016	0.88	0.32
568	0.87	0.0035	0.0030	1.69	0.61
569	0.96	0.0039	0.0037	2.06	0.74
570	0.95	0.0038	0.0036	2.02	0.73
571	1.20	0.0048	0.0057	3.19	1.15
572	1.29	0.0052	0.0067	3.72	1.34
573	1.00	0.0040	0.0040	2.21	0.80
574	0.76	0.0030	0.0023	1.29	0.46
575	0.66	0.0026	0.0017	0.97	0.35
576	0.50	0.0020	0.0010	0.56	0.20
577	0.41	0.0016	0.0007	0.37	0.13
578	0.37	0.0015	0.0005	0.30	0.11
579	0.26	0.0011	0.0003	0.16	0.06
580	0.25	0.0010	0.0003	0.14	0.05
581	0.19	0.0007	0.0001	0.08	0.03
582	0.16	0.0006	0.0001	0.05	0.02
583	0.06	0.0003	0.0000	0.01	0.00
584	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
585	-0.01	0.0000	0.0000	0.00	0.00
586	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
587	1.01	0.0040	0.0041	2.27	0.82
588	0.67	0.0027	0.0018	1.01	0.36
589	0.66	0.0026	0.0017	0.97	0.35

CH03 Resistor = 250 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
590	0.84	0.0034	0.0028	1.58	0.57
591	0.63	0.0025	0.0016	0.88	0.32
592	0.81	0.0032	0.0026	1.45	0.52
593	0.34	0.0014	0.0005	0.26	0.09
594	-0.25	-0.0010	0.0003	0.14	0.05
595	0.08	0.0003	0.0000	0.01	0.00
596	0.47	0.0019	0.0009	0.48	0.17
597	0.56	0.0022	0.0013	0.70	0.25
598	0.63	0.0025	0.0016	0.88	0.32
599	0.44	0.0018	0.0008	0.43	0.16
600	0.28	0.0011	0.0003	0.17	0.06
601	0.18	0.0007	0.0001	0.07	0.03
602	0.19	0.0008	0.0002	0.08	0.03
603	0.18	0.0007	0.0001	0.07	0.03
604	0.11	0.0005	0.0001	0.03	0.01
605	0.12	0.0005	0.0001	0.03	0.01
606	0.19	0.0008	0.0002	0.08	0.03
607	0.17	0.0007	0.0001	0.07	0.02
608	0.14	0.0006	0.0001	0.04	0.02
609	0.11	0.0004	0.0000	0.03	0.01
610	0.64	0.0026	0.0016	0.90	0.33
611	0.47	0.0019	0.0009	0.49	0.17
612	-0.18	-0.0007	0.0001	0.07	0.03
613	0.13	0.0005	0.0001	0.04	0.01
614	0.36	0.0014	0.0005	0.29	0.10
615	0.64	0.0026	0.0017	0.92	0.33
616	0.68	0.0027	0.0019	1.03	0.37
617	0.72	0.0029	0.0021	1.15	0.41
618	0.71	0.0028	0.0020	1.12	0.40
619	0.63	0.0025	0.0016	0.87	0.31
620	0.59	0.0023	0.0014	0.77	0.28

CH03 Resistor = 250 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
621	0.47	0.0019	0.0009	0.49	0.18
622	0.37	0.0015	0.0005	0.31	0.11
623	0.31	0.0012	0.0004	0.21	0.08
624	0.25	0.0010	0.0002	0.13	0.05
625	0.23	0.0009	0.0002	0.11	0.04
626	0.24	0.0009	0.0002	0.12	0.04
627	0.20	0.0008	0.0002	0.09	0.03
628	0.16	0.0006	0.0001	0.06	0.02
629	0.14	0.0006	0.0001	0.05	0.02
630	0.12	0.0005	0.0001	0.03	0.01
631	0.09	0.0003	0.0000	0.02	0.01
632	0.07	0.0003	0.0000	0.01	0.00
633	0.08	0.0003	0.0000	0.01	0.00
634	0.09	0.0004	0.0000	0.02	0.01
635	0.09	0.0004	0.0000	0.02	0.01
636	0.10	0.0004	0.0000	0.02	0.01
637	0.12	0.0005	0.0001	0.03	0.01
638	0.13	0.0005	0.0001	0.04	0.01
639	0.39	0.0016	0.0006	0.34	0.12
640	0.60	0.0024	0.0014	0.79	0.29
641	0.44	0.0018	0.0008	0.43	0.16
642	0.55	0.0022	0.0012	0.67	0.24
643	0.40	0.0016	0.0006	0.35	0.13
644	0.31	0.0012	0.0004	0.21	0.08
645	0.28	0.0011	0.0003	0.17	0.06
646	0.44	0.0017	0.0008	0.42	0.15
647	0.63	0.0025	0.0016	0.88	0.32
648	0.97	0.0039	0.0038	2.10	0.76
649	1.16	0.0047	0.0054	3.01	1.08
650	1.10	0.0044	0.0048	2.68	0.96
651	1.12	0.0045	0.0050	2.77	1.00

CH03 Resistor = 250 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
652	0.98	0.0039	0.0038	2.12	0.76
653	0.87	0.0035	0.0030	1.68	0.60
654	0.81	0.0032	0.0026	1.45	0.52
655	0.72	0.0029	0.0021	1.15	0.42
656	0.63	0.0025	0.0016	0.89	0.32
657	0.59	0.0023	0.0014	0.77	0.28
658	0.83	0.0033	0.0027	1.52	0.55
659	0.82	0.0033	0.0027	1.51	0.54
660	0.84	0.0033	0.0028	1.55	0.56
661	0.84	0.0034	0.0028	1.58	0.57
662	0.82	0.0033	0.0027	1.48	0.53
663	0.77	0.0031	0.0023	1.30	0.47
664	0.77	0.0031	0.0023	1.30	0.47
665	0.87	0.0035	0.0030	1.68	0.61
666	0.92	0.0037	0.0034	1.90	0.68
667	0.93	0.0037	0.0035	1.93	0.69
668	0.74	0.0030	0.0022	1.21	0.44
669	0.67	0.0027	0.0018	0.99	0.36
670	0.59	0.0024	0.0014	0.78	0.28
671	0.54	0.0022	0.0012	0.65	0.23
672	0.44	0.0018	0.0008	0.43	0.16
673	0.42	0.0017	0.0007	0.39	0.14
674	0.42	0.0017	0.0007	0.39	0.14
675	0.42	0.0017	0.0007	0.39	0.14
676	0.37	0.0015	0.0006	0.31	0.11
677	0.34	0.0014	0.0005	0.25	0.09
678	0.31	0.0012	0.0004	0.22	0.08
679	0.29	0.0011	0.0003	0.18	0.07
680	0.28	0.0011	0.0003	0.17	0.06
681	0.27	0.0011	0.0003	0.17	0.06
682	0.29	0.0012	0.0003	0.19	0.07

CH03 Resistor = 250 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
683	0.38	0.0015	0.0006	0.32	0.12
684	0.43	0.0017	0.0007	0.40	0.15
685	0.46	0.0019	0.0009	0.48	0.17
686	0.48	0.0019	0.0009	0.50	0.18
687	0.50	0.0020	0.0010	0.55	0.20
688	0.43	0.0017	0.0007	0.42	0.15
689	0.39	0.0015	0.0006	0.33	0.12
690	0.39	0.0015	0.0006	0.33	0.12
691	0.42	0.0017	0.0007	0.39	0.14
692	0.89	0.0036	0.0032	1.76	0.63
693	1.26	0.0050	0.0063	3.50	1.26
694	0.55	0.0022	0.0012	0.66	0.24
695	0.59	0.0024	0.0014	0.77	0.28
696	0.59	0.0024	0.0014	0.78	0.28
697	0.57	0.0023	0.0013	0.73	0.26
698	0.55	0.0022	0.0012	0.67	0.24
699	0.51	0.0020	0.0010	0.57	0.20
700	0.47	0.0019	0.0009	0.48	0.17
701	0.45	0.0018	0.0008	0.45	0.16
702	0.44	0.0017	0.0008	0.42	0.15
703	0.43	0.0017	0.0007	0.41	0.15
704	0.42	0.0017	0.0007	0.39	0.14
705	0.40	0.0016	0.0006	0.36	0.13
706	0.39	0.0016	0.0006	0.34	0.12
707	0.39	0.0015	0.0006	0.33	0.12
708	0.54	0.0021	0.0011	0.64	0.23
709	0.46	0.0018	0.0009	0.47	0.17
710	0.52	0.0021	0.0011	0.61	0.22
711	0.66	0.0026	0.0017	0.97	0.35
712	0.51	0.0020	0.0010	0.57	0.21
713	0.48	0.0019	0.0009	0.52	0.19

CH03 Resistor = 250 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
714	0.51	0.0020	0.0010	0.58	0.21

ตาราง ข2.3.31 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 25 เซนติเมตร (CH04)

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	37.58	0.0008	0.0301	16.70	6.01
549	34.95	0.0007	0.0260	14.44	5.20
550	32.72	0.0007	0.0228	12.66	4.56
551	33.86	0.0007	0.0244	13.55	4.88
552	31.12	0.0007	0.0206	11.45	4.12
553	30.08	0.0006	0.0193	10.70	3.85
554	29.03	0.0006	0.0179	9.96	3.59
555	28.91	0.0006	0.0178	9.88	3.56
556	27.99	0.0006	0.0167	9.26	3.33
557	26.74	0.0006	0.0152	8.45	3.04
558	25.75	0.0005	0.0141	7.84	2.82
559	24.31	0.0005	0.0126	6.98	2.51
560	23.57	0.0005	0.0118	6.57	2.36
561	11.49	0.0002	0.0028	1.56	0.56
562	-12.36	-0.0003	0.0033	1.81	0.65
563	32.57	0.0007	0.0226	12.54	4.51
564	44.76	0.0010	0.0426	23.68	8.52
565	46.26	0.0010	0.0455	25.29	9.11
566	59.57	0.0013	0.0755	41.95	15.10
567	63.68	0.0014	0.0863	47.93	17.25
568	59.67	0.0013	0.0757	42.08	15.15
569	56.56	0.0012	0.0681	37.81	13.61
570	55.90	0.0012	0.0665	36.93	13.30
571	49.26	0.0010	0.0516	28.68	10.33

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
572	46.66	0.0010	0.0463	25.73	9.26
573	42.88	0.0009	0.0391	21.73	7.82
574	34.86	0.0007	0.0259	14.36	5.17
575	32.32	0.0007	0.0222	12.35	4.45
576	28.35	0.0006	0.0171	9.50	3.42
577	25.68	0.0005	0.0140	7.80	2.81
578	22.65	0.0005	0.0109	6.06	2.18
579	16.91	0.0004	0.0061	3.38	1.22
580	14.18	0.0003	0.0043	2.38	0.86
581	12.02	0.0003	0.0031	1.71	0.61
582	7.36	0.0002	0.0012	0.64	0.23
583	1.80	0.0000	0.0001	0.04	0.01
584	-3.86	-0.0001	0.0003	0.18	0.06
585	-6.83	-0.0001	0.0010	0.55	0.20
586	-9.51	-0.0002	0.0019	1.07	0.39
587	46.80	0.0010	0.0466	25.89	9.32
588	37.71	0.0008	0.0303	16.81	6.05
589	33.10	0.0007	0.0233	12.95	4.66
590	37.53	0.0008	0.0300	16.65	5.99
591	26.83	0.0006	0.0153	8.51	3.06
592	37.58	0.0008	0.0300	16.69	6.01
593	49.10	0.0010	0.0513	28.50	10.26
594	60.68	0.0013	0.0783	43.53	15.67
595	46.55	0.0010	0.0461	25.61	9.22
596	30.22	0.0006	0.0194	10.80	3.89
597	16.29	0.0003	0.0056	3.14	1.13
598	13.83	0.0003	0.0041	2.26	0.81
599	11.73	0.0002	0.0029	1.63	0.59
600	0.59	0.0000	0.0000	0.00	0.00
601	-2.65	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
602	-2.93	-0.0001	0.0002	0.10	0.04

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
603	-1.69	0.0000	0.0001	0.03	0.01
604	-5.41	-0.0001	0.0006	0.35	0.12
605	-4.20	-0.0001	0.0004	0.21	0.08
606	-2.40	-0.0001	0.0001	0.07	0.02
607	-1.42	0.0000	0.0000	0.02	0.01
608	0.12	0.0000	0.0000	0.00	0.00
609	-0.16	0.0000	0.0000	0.00	0.00
610	33.48	0.0007	0.0239	13.25	4.77
611	42.97	0.0009	0.0393	21.83	7.86
612	26.40	0.0006	0.0148	8.24	2.97
613	15.44	0.0003	0.0051	2.82	1.01
614	24.29	0.0005	0.0126	6.97	2.51
615	24.22	0.0005	0.0125	6.94	2.50
616	22.64	0.0005	0.0109	6.06	2.18
617	13.33	0.0003	0.0038	2.10	0.76
618	9.19	0.0002	0.0018	1.00	0.36
619	7.78	0.0002	0.0013	0.72	0.26
620	7.42	0.0002	0.0012	0.65	0.23
621	1.12	0.0000	0.0000	0.01	0.01
622	-5.39	-0.0001	0.0006	0.34	0.12
623	-9.13	-0.0002	0.0018	0.99	0.36
624	-11.50	-0.0002	0.0028	1.56	0.56
625	-11.27	-0.0002	0.0027	1.50	0.54
626	-8.52	-0.0002	0.0015	0.86	0.31
627	-5.62	-0.0001	0.0007	0.37	0.13
628	-4.28	-0.0001	0.0004	0.22	0.08
629	-2.43	-0.0001	0.0001	0.07	0.03
630	-1.14	0.0000	0.0000	0.02	0.01
631	-2.12	0.0000	0.0001	0.05	0.02
632	-2.65	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
633	-2.68	-0.0001	0.0002	0.09	0.03

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
634	-1.20	0.0000	0.0000	0.02	0.01
635	-1.47	0.0000	0.0000	0.03	0.01
636	-2.01	0.0000	0.0001	0.05	0.02
637	-2.48	-0.0001	0.0001	0.07	0.03
638	-4.06	-0.0001	0.0004	0.19	0.07
639	5.95	0.0001	0.0008	0.42	0.15
640	38.21	0.0008	0.0311	17.26	6.21
641	14.13	0.0003	0.0042	2.36	0.85
642	18.07	0.0004	0.0069	3.86	1.39
643	8.55	0.0002	0.0016	0.86	0.31
644	3.07	0.0001	0.0002	0.11	0.04
645	8.50	0.0002	0.0015	0.85	0.31
646	17.63	0.0004	0.0066	3.67	1.32
647	19.10	0.0004	0.0078	4.31	1.55
648	16.10	0.0003	0.0055	3.07	1.10
649	13.55	0.0003	0.0039	2.17	0.78
650	13.37	0.0003	0.0038	2.11	0.76
651	12.34	0.0003	0.0032	1.80	0.65
652	16.04	0.0003	0.0055	3.04	1.10
653	20.10	0.0004	0.0086	4.78	1.72
654	16.68	0.0004	0.0059	3.29	1.18
655	14.04	0.0003	0.0042	2.33	0.84
656	15.40	0.0003	0.0050	2.80	1.01
657	13.16	0.0003	0.0037	2.05	0.74
658	18.24	0.0004	0.0071	3.93	1.42
659	22.01	0.0005	0.0103	5.73	2.06
660	20.67	0.0004	0.0091	5.05	1.82
661	20.92	0.0004	0.0093	5.17	1.86
662	17.70	0.0004	0.0067	3.70	1.33
663	12.22	0.0003	0.0032	1.77	0.64
664	10.36	0.0002	0.0023	1.27	0.46

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
665	12.16	0.0003	0.0031	1.75	0.63
666	15.17	0.0003	0.0049	2.72	0.98
667	16.90	0.0004	0.0061	3.38	1.22
668	1.85	0.0000	0.0001	0.04	0.01
669	0.38	0.0000	0.0000	0.00	0.00
670	-2.82	-0.0001	0.0002	0.09	0.03
671	-4.11	-0.0001	0.0004	0.20	0.07
672	-7.22	-0.0002	0.0011	0.62	0.22
673	-4.77	-0.0001	0.0005	0.27	0.10
674	-2.60	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
675	0.19	0.0000	0.0000	0.00	0.00
676	-0.79	0.0000	0.0000	0.01	0.00
677	-0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
678	0.94	0.0000	0.0000	0.01	0.00
679	1.42	0.0000	0.0000	0.02	0.01
680	1.96	0.0000	0.0001	0.05	0.02
681	2.56	0.0001	0.0001	0.08	0.03
682	4.74	0.0001	0.0005	0.27	0.10
683	12.49	0.0003	0.0033	1.85	0.66
684	16.91	0.0004	0.0061	3.38	1.22
685	22.02	0.0005	0.0103	5.73	2.06
686	22.30	0.0005	0.0106	5.88	2.12
687	28.69	0.0006	0.0175	9.73	3.50
688	19.78	0.0004	0.0083	4.63	1.67
689	12.70	0.0003	0.0034	1.91	0.69
690	9.80	0.0002	0.0020	1.13	0.41
691	11.49	0.0002	0.0028	1.56	0.56
692	25.29	0.0005	0.0136	7.56	2.72
693	42.40	0.0009	0.0382	21.25	7.65
694	-3.05	-0.0001	0.0002	0.11	0.04
695	-5.88	-0.0001	0.0007	0.41	0.15

CH04 Resistor = 47,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
696	-12.50	-0.0003	0.0033	1.85	0.67
697	-15.58	-0.0003	0.0052	2.87	1.03
698	-17.61	-0.0004	0.0066	3.67	1.32
699	-18.20	-0.0004	0.0070	3.92	1.41
700	-18.59	-0.0004	0.0074	4.08	1.47
701	-18.64	-0.0004	0.0074	4.11	1.48
702	-18.40	-0.0004	0.0072	4.00	1.44
703	-18.09	-0.0004	0.0070	3.87	1.39
704	-17.00	-0.0004	0.0061	3.42	1.23
705	-16.30	-0.0003	0.0057	3.14	1.13
706	-15.39	-0.0003	0.0050	2.80	1.01
707	-14.49	-0.0003	0.0045	2.48	0.89
708	-6.76	-0.0001	0.0010	0.54	0.19
709	-10.64	-0.0002	0.0024	1.34	0.48
710	-4.98	-0.0001	0.0005	0.29	0.11
711	4.94	0.0001	0.0005	0.29	0.10
712	-2.50	-0.0001	0.0001	0.07	0.03
713	-4.23	-0.0001	0.0004	0.21	0.08
714	-2.85	-0.0001	0.0002	0.10	0.03

ตาราง ข2.3.32 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 35 เซนติเมตร (CH05)

CH05 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	-0.49	-0.0049	0.0024	1.34	0.48
549	-0.43	-0.0043	0.0019	1.04	0.38
550	-0.40	-0.0040	0.0016	0.91	0.33
551	-0.40	-0.0040	0.0016	0.87	0.31
552	-0.38	-0.0038	0.0014	0.80	0.29
553	-0.36	-0.0036	0.0013	0.74	0.27

CH05 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
554	-0.34	-0.0034	0.0012	0.65	0.23
555	-0.33	-0.0033	0.0011	0.59	0.21
556	-0.32	-0.0032	0.0010	0.56	0.20
557	-0.29	-0.0029	0.0008	0.47	0.17
558	-0.28	-0.0028	0.0008	0.43	0.16
559	-0.25	-0.0025	0.0006	0.36	0.13
560	-0.24	-0.0024	0.0006	0.31	0.11
561	-0.22	-0.0022	0.0005	0.26	0.09
562	0.08	0.0008	0.0001	0.04	0.01
563	-0.15	-0.0015	0.0002	0.12	0.04
564	-0.03	-0.0003	0.0000	0.00	0.00
565	-0.07	-0.0007	0.0000	0.03	0.01
566	-0.07	-0.0007	0.0001	0.03	0.01
567	-0.10	-0.0010	0.0001	0.06	0.02
568	-0.12	-0.0012	0.0002	0.09	0.03
569	-0.13	-0.0013	0.0002	0.10	0.04
570	-0.16	-0.0016	0.0003	0.14	0.05
571	-0.19	-0.0019	0.0004	0.20	0.07
572	-0.19	-0.0019	0.0003	0.19	0.07
573	-0.23	-0.0023	0.0005	0.28	0.10
574	-0.23	-0.0023	0.0005	0.30	0.11
575	-0.22	-0.0022	0.0005	0.27	0.10
576	-0.22	-0.0022	0.0005	0.26	0.09
577	-0.19	-0.0019	0.0004	0.20	0.07
578	-0.15	-0.0015	0.0002	0.12	0.04
579	-0.09	-0.0009	0.0001	0.05	0.02
580	-0.05	-0.0005	0.0000	0.01	0.00
581	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
582	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
583	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.03
584	0.15	0.0015	0.0002	0.13	0.05

CH05 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
585	0.27	0.0027	0.0007	0.40	0.14
586	0.40	0.0040	0.0016	0.91	0.33
587	-0.60	-0.0060	0.0036	1.99	0.71
588	-0.40	-0.0040	0.0016	0.88	0.32
589	-0.33	-0.0033	0.0011	0.62	0.22
590	-0.31	-0.0031	0.0010	0.54	0.20
591	-0.27	-0.0027	0.0007	0.39	0.14
592	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
593	-0.43	-0.0043	0.0018	1.01	0.37
594	-9.98	-0.0998	0.9958	553.21	199.16
595	-21.29	-0.2129	4.5330	2518.32	906.59
596	-3.41	-0.0341	0.1162	64.54	23.24
597	-0.26	-0.0026	0.0007	0.38	0.14
598	3.61	0.0361	0.1300	72.20	25.99
599	4.20	0.0420	0.1763	97.96	35.27
600	13.59	0.1359	1.8458	1025.45	369.16
601	14.35	0.1435	2.0600	1144.46	412.01
602	29.84	0.2984	8.9026	4945.90	1780.52
603	45.40	0.4540	20.6133	11451.86	4122.67
604	21.10	0.2110	4.4523	2473.48	890.45
605	6.19	0.0619	0.3830	212.79	76.60
606	13.27	0.1327	1.7619	978.85	352.39
607	2.22	0.0222	0.0491	27.30	9.83
608	7.47	0.0747	0.5580	310.03	111.61
609	1.01	0.0101	0.0102	5.66	2.04
610	-4.46	-0.0446	0.1992	110.69	39.85
611	-5.58	-0.0558	0.3108	172.68	62.17
612	-5.28	-0.0528	0.2789	154.92	55.77
613	-10.76	-0.1076	1.1586	643.65	231.72
614	-11.23	-0.1123	1.2601	700.07	252.02
615	-1.97	-0.0197	0.0389	21.64	7.79

CH05 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
616	-0.75	-0.0075	0.0056	3.12	1.12
617	-1.07	-0.0107	0.0113	6.31	2.27
618	-0.97	-0.0097	0.0094	5.22	1.88
619	-0.74	-0.0074	0.0054	3.02	1.09
620	-0.62	-0.0062	0.0038	2.14	0.77
621	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
622	0.74	0.0074	0.0055	3.04	1.09
623	1.24	0.0124	0.0155	8.60	3.09
624	1.67	0.0167	0.0278	15.45	5.56
625	1.68	0.0168	0.0283	15.70	5.65
626	1.45	0.0145	0.0211	11.74	4.23
627	1.43	0.0143	0.0205	11.41	4.11
628	1.45	0.0145	0.0210	11.69	4.21
629	1.19	0.0119	0.0142	7.86	2.83
630	0.99	0.0099	0.0098	5.42	1.95
631	0.92	0.0092	0.0084	4.67	1.68
632	1.07	0.0107	0.0114	6.35	2.29
633	1.07	0.0107	0.0115	6.41	2.31
634	0.95	0.0095	0.0090	5.00	1.80
635	1.11	0.0111	0.0123	6.86	2.47
636	1.16	0.0116	0.0135	7.50	2.70
637	0.94	0.0094	0.0089	4.92	1.77
638	0.99	0.0099	0.0099	5.50	1.98
639	-2.07	-0.0207	0.0428	23.77	8.56
640	-1.80	-0.0180	0.0323	17.92	6.45
641	-2.17	-0.0217	0.0470	26.10	9.40
642	0.39	0.0039	0.0015	0.86	0.31
643	-0.31	-0.0031	0.0010	0.54	0.19
644	-1.22	-0.0122	0.0149	8.29	2.98
645	-2.61	-0.0261	0.0681	37.83	13.62
646	-2.35	-0.0235	0.0554	30.77	11.08

CH05 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
647	-4.06	-0.0406	0.1645	91.39	32.90
648	-5.15	-0.0515	0.2649	147.18	52.99
649	-6.13	-0.0613	0.3759	208.83	75.18
650	-5.53	-0.0553	0.3053	169.63	61.07
651	-5.20	-0.0520	0.2707	150.38	54.14
652	-6.35	-0.0635	0.4036	224.23	80.72
653	-7.77	-0.0777	0.6043	335.72	120.86
654	-8.66	-0.0866	0.7506	417.01	150.12
655	-8.59	-0.0859	0.7383	410.15	147.65
656	-8.77	-0.0877	0.7686	427.03	153.73
657	-7.08	-0.0708	0.5012	278.42	100.23
658	-4.60	-0.0460	0.2114	117.46	42.29
659	-4.80	-0.0480	0.2305	128.03	46.09
660	-4.29	-0.0429	0.1841	102.30	36.83
661	-2.98	-0.0298	0.0886	49.23	17.72
662	-2.17	-0.0217	0.0470	26.13	9.41
663	-3.35	-0.0335	0.1124	62.44	22.48
664	-6.02	-0.0602	0.3629	201.60	72.57
665	-0.54	-0.0054	0.0029	1.64	0.59
666	-1.07	-0.0107	0.0115	6.41	2.31
667	-1.42	-0.0142	0.0201	11.14	4.01
668	1.03	0.0103	0.0106	5.91	2.13
669	1.62	0.0162	0.0262	14.57	5.25
670	2.01	0.0201	0.0405	22.48	8.09
671	2.41	0.0241	0.0580	32.21	11.59
672	3.43	0.0343	0.1176	65.33	23.52
673	3.71	0.0371	0.1375	76.41	27.51
674	4.01	0.0401	0.1607	89.28	32.14
675	3.60	0.0360	0.1293	71.82	25.85
676	2.71	0.0271	0.0733	40.74	14.67
677	1.78	0.0178	0.0316	17.53	6.31

CH05 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
678	-0.22	-0.0022	0.0005	0.27	0.10
679	2.40	0.0240	0.0578	32.12	11.56
680	2.52	0.0252	0.0635	35.28	12.70
681	-2.24	-0.0224	0.0503	27.97	10.07
682	-1.16	-0.0116	0.0134	7.47	2.69
683	-1.62	-0.0162	0.0262	14.53	5.23
684	-1.87	-0.0187	0.0351	19.51	7.03
685	-2.79	-0.0279	0.0780	43.31	15.59
686	-2.77	-0.0277	0.0768	42.69	15.37
687	-2.72	-0.0272	0.0737	40.96	14.75
688	-1.17	-0.0117	0.0138	7.66	2.76
689	0.33	0.0033	0.0011	0.62	0.22
690	0.78	0.0078	0.0061	3.40	1.22
691	0.61	0.0061	0.0037	2.05	0.74
692	-7.28	-0.0728	0.5293	294.04	105.85
693	25.75	0.2575	6.6293	3682.95	1325.86
694	25.09	0.2509	6.2930	3496.11	1258.60
695	3.47	0.0347	0.1202	66.79	24.04
696	-7.13	-0.0713	0.5081	282.25	101.61
697	-10.03	-0.1003	1.0051	558.41	201.03
698	-12.84	-0.1284	1.6493	916.26	329.85
699	-12.80	-0.1280	1.6373	909.62	327.46
700	-14.56	-0.1456	2.1204	1178.01	424.08
701	-15.18	-0.1518	2.3042	1280.13	460.85
702	-15.49	-0.1549	2.4005	1333.61	480.10
703	-15.27	-0.1527	2.3327	1295.95	466.54
704	-15.67	-0.1567	2.4563	1364.61	491.26
705	-15.45	-0.1545	2.3867	1325.93	477.33
706	-15.49	-0.1549	2.3983	1332.42	479.67
707	-14.75	-0.1475	2.1760	1208.89	435.20
708	-10.43	-0.1043	1.0868	603.80	217.37

CH05 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
709	-29.49	-0.2949	8.6951	4830.60	1739.02
710	-35.74	-0.3574	12.7760	7097.78	2555.20
711	-46.33	-0.4633	21.4605	11922.52	4292.11
712	-54.59	-0.5459	29.8052	16558.42	5961.03
713	-56.04	-0.5604	31.4035	17446.40	6280.70
714	-56.29	-0.5629	31.6812	17600.65	6336.24

ตาราง ข2.3.33 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anaerobic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 45 เซนติเมตร (CH06)

CH06 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	0.27	0.0027	0.0007	0.41	0.15
549	0.13	0.0013	0.0002	0.10	0.03
550	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.03
551	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
552	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
553	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.03
554	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
555	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
556	0.13	0.0013	0.0002	0.09	0.03
557	0.13	0.0013	0.0002	0.09	0.03
558	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
559	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
560	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.03
561	0.08	0.0008	0.0001	0.03	0.01
562	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
563	0.29	0.0029	0.0008	0.47	0.17
564	0.18	0.0018	0.0003	0.18	0.07
565	0.28	0.0028	0.0008	0.43	0.16
566	0.22	0.0022	0.0005	0.28	0.10

CH06 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
567	0.21	0.0021	0.0004	0.23	0.08
568	0.20	0.0020	0.0004	0.23	0.08
569	0.16	0.0016	0.0003	0.14	0.05
570	0.13	0.0013	0.0002	0.09	0.03
571	0.14	0.0014	0.0002	0.10	0.04
572	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.02
573	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
574	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
575	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
576	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
577	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
578	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
579	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
580	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
581	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
582	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
583	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
584	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
585	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
586	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
587	0.39	0.0039	0.0015	0.82	0.30
588	0.25	0.0025	0.0006	0.34	0.12
589	0.19	0.0019	0.0004	0.20	0.07
590	0.21	0.0021	0.0005	0.25	0.09
591	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.02
592	0.47	0.0047	0.0022	1.21	0.43
593	0.45	0.0045	0.0020	1.12	0.40
594	0.27	0.0027	0.0007	0.41	0.15
595	0.11	0.0011	0.0001	0.06	0.02
596	0.12	0.0012	0.0001	0.08	0.03
597	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01

CH06 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
598	0.08	0.0008	0.0001	0.04	0.01
599	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
600	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
601	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
602	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
603	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
604	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
605	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
606	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
607	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.01
608	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
609	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
610	0.28	0.0028	0.0008	0.43	0.15
611	0.27	0.0027	0.0007	0.40	0.14
612	0.11	0.0011	0.0001	0.06	0.02
613	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.02
614	0.21	0.0021	0.0004	0.24	0.09
615	0.17	0.0017	0.0003	0.15	0.05
616	0.14	0.0014	0.0002	0.10	0.04
617	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
618	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
619	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
620	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
621	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
622	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
623	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
624	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
625	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
626	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
627	0.03	0.0003	0.0000	0.00	0.00
628	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00

CH06 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
629	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
630	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
631	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
632	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
633	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
634	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
635	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
636	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
637	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
638	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
639	0.14	0.0014	0.0002	0.11	0.04
640	0.34	0.0034	0.0011	0.63	0.23
641	0.18	0.0018	0.0003	0.18	0.06
642	0.15	0.0015	0.0002	0.12	0.04
643	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
644	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
645	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
646	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
647	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
648	-0.05	-0.0005	0.0000	0.01	0.01
649	-0.05	-0.0005	0.0000	0.02	0.01
650	-0.06	-0.0006	0.0000	0.02	0.01
651	-0.04	-0.0004	0.0000	0.01	0.00
652	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
653	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
654	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
655	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
656	0.08	0.0008	0.0001	0.04	0.01
657	0.13	0.0013	0.0002	0.10	0.03
658	0.17	0.0017	0.0003	0.16	0.06
659	0.16	0.0016	0.0003	0.15	0.05

CH06 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
660	0.14	0.0014	0.0002	0.11	0.04
661	0.14	0.0014	0.0002	0.11	0.04
662	0.11	0.0011	0.0001	0.06	0.02
663	0.08	0.0008	0.0001	0.03	0.01
664	0.07	0.0007	0.0001	0.03	0.01
665	0.09	0.0009	0.0001	0.05	0.02
666	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.02
667	0.10	0.0010	0.0001	0.06	0.02
668	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
669	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
670	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
671	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
672	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
673	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
674	0.03	0.0003	0.0000	0.01	0.00
675	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
676	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
677	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
678	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
679	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
680	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
681	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
682	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01
683	0.11	0.0011	0.0001	0.07	0.02
684	0.13	0.0013	0.0002	0.10	0.04
685	0.14	0.0014	0.0002	0.11	0.04
686	0.13	0.0013	0.0002	0.10	0.03
687	0.14	0.0014	0.0002	0.11	0.04
688	0.10	0.0010	0.0001	0.06	0.02
689	0.07	0.0007	0.0000	0.03	0.01
690	0.06	0.0006	0.0000	0.02	0.01

CH06 Resistor = 100 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
691	0.07	0.0007	0.0000	0.03	0.01
692	0.20	0.0020	0.0004	0.22	0.08
693	0.26	0.0026	0.0007	0.37	0.13
694	-0.05	-0.0005	0.0000	0.01	0.00
695	-0.07	-0.0007	0.0000	0.03	0.01
696	-0.07	-0.0007	0.0000	0.02	0.01
697	-0.05	-0.0005	0.0000	0.01	0.00
698	-0.03	-0.0003	0.0000	0.01	0.00
699	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
700	-0.02	-0.0002	0.0000	0.00	0.00
701	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
702	-0.01	-0.0001	0.0000	0.00	0.00
703	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
704	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
705	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
706	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
707	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
708	0.04	0.0004	0.0000	0.01	0.00
709	0.01	0.0001	0.0000	0.00	0.00
710	0.05	0.0005	0.0000	0.01	0.00
711	0.07	0.0007	0.0001	0.03	0.01
712	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
713	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00
714	0.02	0.0002	0.0000	0.00	0.00

ตาราง ข2.3.34 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 50 เซนติเมตร (CH07)

CH07 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	8.41	0.0008	0.0071	3.93	1.41

CH07 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
549	8.98	0.0009	0.0081	4.48	1.61
550	9.60	0.0010	0.0092	5.12	1.84
551	9.46	0.0009	0.0089	4.97	1.79
552	9.07	0.0009	0.0082	4.57	1.65
553	8.06	0.0008	0.0065	3.61	1.30
554	7.29	0.0007	0.0053	2.95	1.06
555	6.07	0.0006	0.0037	2.04	0.74
556	5.50	0.0005	0.0030	1.68	0.60
557	5.10	0.0005	0.0026	1.45	0.52
558	4.66	0.0005	0.0022	1.20	0.43
559	4.21	0.0004	0.0018	0.98	0.35
560	3.94	0.0004	0.0016	0.86	0.31
561	4.29	0.0004	0.0018	1.02	0.37
562	2.49	0.0002	0.0006	0.34	0.12
563	4.95	0.0005	0.0025	1.36	0.49
564	2.98	0.0003	0.0009	0.49	0.18
565	1.89	0.0002	0.0004	0.20	0.07
566	2.35	0.0002	0.0006	0.31	0.11
567	2.92	0.0003	0.0009	0.47	0.17
568	3.44	0.0003	0.0012	0.66	0.24
569	4.22	0.0004	0.0018	0.99	0.36
570	4.83	0.0005	0.0023	1.30	0.47
571	5.33	0.0005	0.0028	1.58	0.57
572	6.14	0.0006	0.0038	2.10	0.75
573	6.17	0.0006	0.0038	2.11	0.76
574	5.62	0.0006	0.0032	1.75	0.63
575	4.79	0.0005	0.0023	1.27	0.46
576	3.35	0.0003	0.0011	0.62	0.22
577	4.23	0.0004	0.0018	0.99	0.36
578	2.38	0.0002	0.0006	0.32	0.11
579	0.66	0.0001	0.0000	0.02	0.01

CH07 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
580	0.09	0.0000	0.0000	0.00	0.00
581	-0.77	-0.0001	0.0001	0.03	0.01
582	-2.05	-0.0002	0.0004	0.23	0.08
583	-3.12	-0.0003	0.0010	0.54	0.19
584	-4.56	-0.0005	0.0021	1.15	0.42
585	-4.65	-0.0005	0.0022	1.20	0.43
586	-5.66	-0.0006	0.0032	1.78	0.64
587	8.60	0.0009	0.0074	4.10	1.48
588	6.99	0.0007	0.0049	2.71	0.98
589	6.31	0.0006	0.0040	2.21	0.80
590	6.91	0.0007	0.0048	2.65	0.95
591	6.81	0.0007	0.0046	2.58	0.93
592	4.07	0.0004	0.0017	0.92	0.33
593	3.82	0.0004	0.0015	0.81	0.29
594	2.57	0.0003	0.0007	0.37	0.13
595	5.21	0.0005	0.0027	1.51	0.54
596	4.31	0.0004	0.0019	1.03	0.37
597	1.89	0.0002	0.0004	0.20	0.07
598	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
599	-0.96	-0.0001	0.0001	0.05	0.02
600	-10.58	-0.0011	0.0112	6.22	2.24
601	-19.83	-0.0020	0.0393	21.86	7.87
602	-22.92	-0.0023	0.0525	29.18	10.51
603	-22.11	-0.0022	0.0489	27.15	9.77
604	-16.30	-0.0016	0.0266	14.76	5.31
605	-5.79	-0.0006	0.0034	1.87	0.67
606	-4.42	-0.0004	0.0020	1.09	0.39
607	-3.90	-0.0004	0.0015	0.85	0.30
608	-3.28	-0.0003	0.0011	0.60	0.21
609	-3.09	-0.0003	0.0010	0.53	0.19
610	4.52	0.0005	0.0020	1.14	0.41

CH07 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
611	4.36	0.0004	0.0019	1.06	0.38
612	3.53	0.0004	0.0012	0.69	0.25
613	5.83	0.0006	0.0034	1.89	0.68
614	6.19	0.0006	0.0038	2.13	0.77
615	6.66	0.0007	0.0044	2.46	0.89
616	6.74	0.0007	0.0045	2.52	0.91
617	6.41	0.0006	0.0041	2.28	0.82
618	6.23	0.0006	0.0039	2.16	0.78
619	5.41	0.0005	0.0029	1.63	0.59
620	4.65	0.0005	0.0022	1.20	0.43
621	2.80	0.0003	0.0008	0.44	0.16
622	1.35	0.0001	0.0002	0.10	0.04
623	0.67	0.0001	0.0000	0.03	0.01
624	0.03	0.0000	0.0000	0.00	0.00
625	-0.04	0.0000	0.0000	0.00	0.00
626	0.37	0.0000	0.0000	0.01	0.00
627	0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
628	-0.75	-0.0001	0.0001	0.03	0.01
629	-0.86	-0.0001	0.0001	0.04	0.01
630	-0.97	-0.0001	0.0001	0.05	0.02
631	-1.42	-0.0001	0.0002	0.11	0.04
632	-1.52	-0.0002	0.0002	0.13	0.05
633	-1.42	-0.0001	0.0002	0.11	0.04
634	-1.17	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
635	-1.19	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
636	-1.02	-0.0001	0.0001	0.06	0.02
637	-0.52	-0.0001	0.0000	0.01	0.01
638	-0.15	0.0000	0.0000	0.00	0.00
639	2.34	0.0002	0.0005	0.31	0.11
640	7.83	0.0008	0.0061	3.40	1.22
641	4.50	0.0004	0.0020	1.12	0.40

CH07 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
642	4.97	0.0005	0.0025	1.37	0.49
643	6.00	0.0006	0.0036	2.00	0.72
644	7.39	0.0007	0.0055	3.04	1.09
645	6.64	0.0007	0.0044	2.45	0.88
646	6.97	0.0007	0.0049	2.70	0.97
647	7.82	0.0008	0.0061	3.40	1.22
648	9.54	0.0010	0.0091	5.05	1.82
649	10.60	0.0011	0.0112	6.24	2.25
650	10.87	0.0011	0.0118	6.57	2.36
651	11.19	0.0011	0.0125	6.96	2.51
652	10.76	0.0011	0.0116	6.43	2.32
653	9.95	0.0010	0.0099	5.50	1.98
654	8.85	0.0009	0.0078	4.36	1.57
655	7.16	0.0007	0.0051	2.85	1.03
656	5.53	0.0006	0.0031	1.70	0.61
657	3.96	0.0004	0.0016	0.87	0.31
658	3.70	0.0004	0.0014	0.76	0.27
659	4.96	0.0005	0.0025	1.37	0.49
660	4.60	0.0005	0.0021	1.18	0.42
661	4.61	0.0005	0.0021	1.18	0.43
662	3.77	0.0004	0.0014	0.79	0.28
663	2.61	0.0003	0.0007	0.38	0.14
664	2.52	0.0003	0.0006	0.35	0.13
665	2.54	0.0003	0.0006	0.36	0.13
666	3.25	0.0003	0.0011	0.59	0.21
667	3.28	0.0003	0.0011	0.60	0.21
668	-0.16	0.0000	0.0000	0.00	0.00
669	0.35	0.0000	0.0000	0.01	0.00
670	-0.31	0.0000	0.0000	0.01	0.00
671	-0.86	-0.0001	0.0001	0.04	0.01
672	-1.70	-0.0002	0.0003	0.16	0.06

CH07 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
673	-1.73	-0.0002	0.0003	0.17	0.06
674	-2.16	-0.0002	0.0005	0.26	0.09
675	-1.72	-0.0002	0.0003	0.17	0.06
676	-2.63	-0.0003	0.0007	0.39	0.14
677	-2.84	-0.0003	0.0008	0.45	0.16
678	-3.21	-0.0003	0.0010	0.57	0.21
679	-3.82	-0.0004	0.0015	0.81	0.29
680	-4.11	-0.0004	0.0017	0.94	0.34
681	-3.91	-0.0004	0.0015	0.85	0.31
682	-3.55	-0.0004	0.0013	0.70	0.25
683	-1.58	-0.0002	0.0003	0.14	0.05
684	-0.60	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
685	-0.21	0.0000	0.0000	0.00	0.00
686	-0.36	0.0000	0.0000	0.01	0.00
687	0.20	0.0000	0.0000	0.00	0.00
688	-1.00	-0.0001	0.0001	0.06	0.02
689	-1.96	-0.0002	0.0004	0.21	0.08
690	-1.63	-0.0002	0.0003	0.15	0.05
691	-0.89	-0.0001	0.0001	0.04	0.02
692	3.86	0.0004	0.0015	0.83	0.30
693	6.40	0.0006	0.0041	2.27	0.82
694	4.96	0.0005	0.0025	1.37	0.49
695	5.51	0.0006	0.0030	1.68	0.61
696	5.43	0.0005	0.0029	1.64	0.59
697	4.83	0.0005	0.0023	1.29	0.47
698	4.17	0.0004	0.0017	0.97	0.35
699	3.23	0.0003	0.0010	0.58	0.21
700	2.51	0.0003	0.0006	0.35	0.13
701	2.00	0.0002	0.0004	0.22	0.08
702	1.67	0.0002	0.0003	0.16	0.06
703	1.44	0.0001	0.0002	0.12	0.04

CH07 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
704	1.25	0.0001	0.0002	0.09	0.03
705	1.09	0.0001	0.0001	0.07	0.02
706	0.77	0.0001	0.0001	0.03	0.01
707	0.86	0.0001	0.0001	0.04	0.01
708	1.12	0.0001	0.0001	0.07	0.03
709	0.47	0.0000	0.0000	0.01	0.00
710	0.17	0.0000	0.0000	0.00	0.00
711	0.44	0.0000	0.0000	0.01	0.00
712	0.07	0.0000	0.0000	0.00	0.00
713	-0.19	0.0000	0.0000	0.00	0.00
714	0.14	0.0000	0.0000	0.00	0.00

ตาราง ข2.3.35 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 70 เซนติเมตร (CH08)

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	25.39	0.0025	0.0644	35.80	12.89
549	20.91	0.0021	0.0437	24.30	8.75
550	19.21	0.0019	0.0369	20.49	7.38
551	16.26	0.0016	0.0264	14.68	5.28
552	13.86	0.0014	0.0192	10.68	3.84
553	12.55	0.0013	0.0158	8.75	3.15
554	11.98	0.0012	0.0144	7.98	2.87
555	12.05	0.0012	0.0145	8.07	2.90
556	12.15	0.0012	0.0148	8.20	2.95
557	11.84	0.0012	0.0140	7.79	2.80
558	11.15	0.0011	0.0124	6.91	2.49
559	10.57	0.0011	0.0112	6.21	2.24
560	10.04	0.0010	0.0101	5.60	2.02
561	15.06	0.0015	0.0227	12.59	4.53

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
562	11.88	0.0012	0.0141	7.84	2.82
563	11.42	0.0011	0.0130	7.25	2.61
564	8.05	0.0008	0.0065	3.60	1.30
565	6.11	0.0006	0.0037	2.08	0.75
566	6.65	0.0007	0.0044	2.46	0.88
567	7.62	0.0008	0.0058	3.22	1.16
568	7.83	0.0008	0.0061	3.41	1.23
569	8.47	0.0008	0.0072	3.99	1.44
570	9.83	0.0010	0.0097	5.37	1.93
571	10.70	0.0011	0.0114	6.36	2.29
572	11.87	0.0012	0.0141	7.82	2.82
573	11.51	0.0012	0.0132	7.36	2.65
574	10.79	0.0011	0.0116	6.46	2.33
575	9.70	0.0010	0.0094	5.23	1.88
576	9.76	0.0010	0.0095	5.29	1.91
577	10.23	0.0010	0.0105	5.81	2.09
578	9.21	0.0009	0.0085	4.72	1.70
579	7.51	0.0008	0.0056	3.13	1.13
580	6.98	0.0007	0.0049	2.71	0.98
581	5.49	0.0005	0.0030	1.68	0.60
582	3.94	0.0004	0.0016	0.86	0.31
583	2.72	0.0003	0.0007	0.41	0.15
584	1.21	0.0001	0.0001	0.08	0.03
585	0.49	0.0000	0.0000	0.01	0.00
586	-0.27	0.0000	0.0000	0.00	0.00
587	20.02	0.0020	0.0401	22.28	8.02
588	16.90	0.0017	0.0286	15.87	5.71
589	15.17	0.0015	0.0230	12.78	4.60
590	15.42	0.0015	0.0238	13.21	4.76
591	14.32	0.0014	0.0205	11.39	4.10
592	13.50	0.0013	0.0182	10.12	3.64

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
593	15.13	0.0015	0.0229	12.71	4.58
594	12.09	0.0012	0.0146	8.12	2.92
595	13.67	0.0014	0.0187	10.38	3.74
596	11.81	0.0012	0.0139	7.75	2.79
597	8.81	0.0009	0.0078	4.31	1.55
598	6.38	0.0006	0.0041	2.26	0.81
599	5.86	0.0006	0.0034	1.91	0.69
600	2.01	0.0002	0.0004	0.22	0.08
601	0.85	0.0001	0.0001	0.04	0.01
602	0.74	0.0001	0.0001	0.03	0.01
603	1.36	0.0001	0.0002	0.10	0.04
604	0.85	0.0001	0.0001	0.04	0.01
605	1.82	0.0002	0.0003	0.18	0.07
606	2.64	0.0003	0.0007	0.39	0.14
607	3.12	0.0003	0.0010	0.54	0.20
608	3.92	0.0004	0.0015	0.85	0.31
609	4.43	0.0004	0.0020	1.09	0.39
610	14.55	0.0015	0.0212	11.77	4.24
611	15.01	0.0015	0.0225	12.51	4.50
612	14.07	0.0014	0.0198	10.99	3.96
613	15.52	0.0016	0.0241	13.38	4.82
614	15.23	0.0015	0.0232	12.89	4.64
615	15.12	0.0015	0.0229	12.70	4.57
616	14.98	0.0015	0.0224	12.46	4.49
617	14.31	0.0014	0.0205	11.38	4.10
618	13.65	0.0014	0.0186	10.36	3.73
619	12.05	0.0012	0.0145	8.07	2.90
620	10.39	0.0010	0.0108	5.99	2.16
621	7.41	0.0007	0.0055	3.05	1.10
622	5.23	0.0005	0.0027	1.52	0.55
623	3.78	0.0004	0.0014	0.79	0.29

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
624	2.54	0.0003	0.0006	0.36	0.13
625	2.16	0.0002	0.0005	0.26	0.09
626	2.17	0.0002	0.0005	0.26	0.09
627	1.14	0.0001	0.0001	0.07	0.03
628	0.72	0.0001	0.0001	0.03	0.01
629	0.96	0.0001	0.0001	0.05	0.02
630	1.25	0.0001	0.0002	0.09	0.03
631	0.83	0.0001	0.0001	0.04	0.01
632	0.86	0.0001	0.0001	0.04	0.01
633	1.14	0.0001	0.0001	0.07	0.03
634	1.45	0.0001	0.0002	0.12	0.04
635	1.79	0.0002	0.0003	0.18	0.06
636	2.03	0.0002	0.0004	0.23	0.08
637	2.45	0.0002	0.0006	0.33	0.12
638	2.60	0.0003	0.0007	0.38	0.14
639	5.39	0.0005	0.0029	1.61	0.58
640	13.44	0.0013	0.0181	10.03	3.61
641	8.24	0.0008	0.0068	3.77	1.36
642	6.94	0.0007	0.0048	2.68	0.96
643	10.07	0.0010	0.0101	5.63	2.03
644	12.38	0.0012	0.0153	8.51	3.06
645	11.34	0.0011	0.0129	7.15	2.57
646	11.70	0.0012	0.0137	7.61	2.74
647	12.48	0.0012	0.0156	8.65	3.11
648	14.53	0.0015	0.0211	11.73	4.22
649	15.85	0.0016	0.0251	13.95	5.02
650	16.22	0.0016	0.0263	14.61	5.26
651	16.75	0.0017	0.0280	15.58	5.61
652	16.23	0.0016	0.0263	14.63	5.27
653	15.25	0.0015	0.0233	12.92	4.65
654	13.65	0.0014	0.0186	10.35	3.73

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
635	1.79	0.0002	0.0003	0.18	0.06
636	2.03	0.0002	0.0004	0.23	0.08
637	2.45	0.0002	0.0006	0.33	0.12
638	2.60	0.0003	0.0007	0.38	0.14
639	5.39	0.0005	0.0029	1.61	0.58
640	13.44	0.0013	0.0181	10.03	3.61
641	8.24	0.0008	0.0068	3.77	1.36
642	6.94	0.0007	0.0048	2.68	0.96
643	10.07	0.0010	0.0101	5.63	2.03
644	12.38	0.0012	0.0153	8.51	3.06
645	11.34	0.0011	0.0129	7.15	2.57
646	11.70	0.0012	0.0137	7.61	2.74
647	12.48	0.0012	0.0156	8.65	3.11
648	14.53	0.0015	0.0211	11.73	4.22
649	15.85	0.0016	0.0251	13.95	5.02
650	16.22	0.0016	0.0263	14.61	5.26
651	16.75	0.0017	0.0280	15.58	5.61
652	16.23	0.0016	0.0263	14.63	5.27
653	15.25	0.0015	0.0233	12.92	4.65
654	13.65	0.0014	0.0186	10.35	3.73
655	11.39	0.0011	0.0130	7.20	2.59
656	9.38	0.0009	0.0088	4.89	1.76
657	7.15	0.0007	0.0051	2.84	1.02
658	6.65	0.0007	0.0044	2.46	0.88
659	8.15	0.0008	0.0066	3.69	1.33
660	7.65	0.0008	0.0058	3.25	1.17
661	7.75	0.0008	0.0060	3.33	1.20
662	6.79	0.0007	0.0046	2.56	0.92
663	5.53	0.0006	0.0031	1.70	0.61
664	5.35	0.0005	0.0029	1.59	0.57
665	5.44	0.0005	0.0030	1.64	0.59

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
666	6.11	0.0006	0.0037	2.07	0.75
667	6.28	0.0006	0.0039	2.19	0.79
668	1.50	0.0001	0.0002	0.12	0.04
669	1.71	0.0002	0.0003	0.16	0.06
670	0.57	0.0001	0.0000	0.02	0.01
671	-0.40	0.0000	0.0000	0.01	0.00
672	-2.49	-0.0002	0.0006	0.34	0.12
673	-3.56	-0.0004	0.0013	0.70	0.25
674	-4.58	-0.0005	0.0021	1.16	0.42
675	-3.98	-0.0004	0.0016	0.88	0.32
676	-4.93	-0.0005	0.0024	1.35	0.49
677	-5.20	-0.0005	0.0027	1.50	0.54
678	-5.30	-0.0005	0.0028	1.56	0.56
679	-5.34	-0.0005	0.0029	1.58	0.57
680	-5.06	-0.0005	0.0026	1.42	0.51
681	-4.60	-0.0005	0.0021	1.17	0.42
682	-3.81	-0.0004	0.0015	0.81	0.29
683	-1.17	-0.0001	0.0001	0.08	0.03
684	0.58	0.0001	0.0000	0.02	0.01
685	1.23	0.0001	0.0002	0.08	0.03
686	1.06	0.0001	0.0001	0.06	0.02
687	1.80	0.0002	0.0003	0.18	0.07
688	0.16	0.0000	0.0000	0.00	0.00
689	-1.27	-0.0001	0.0002	0.09	0.03
690	-1.37	-0.0001	0.0002	0.10	0.04
691	-0.53	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
692	6.39	0.0006	0.0041	2.27	0.82
693	9.66	0.0010	0.0093	5.18	1.87
694	8.72	0.0009	0.0076	4.23	1.52
695	11.00	0.0011	0.0121	6.73	2.42
696	10.62	0.0011	0.0113	6.26	2.26

CH08 Resistor = 10,000 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
697	9.46	0.0009	0.0089	4.97	1.79
698	8.52	0.0009	0.0073	4.03	1.45
699	7.59	0.0008	0.0058	3.20	1.15
700	6.41	0.0006	0.0041	2.28	0.82
701	5.54	0.0006	0.0031	1.70	0.61
702	4.82	0.0005	0.0023	1.29	0.46
703	4.17	0.0004	0.0017	0.97	0.35
704	3.72	0.0004	0.0014	0.77	0.28
705	3.04	0.0003	0.0009	0.51	0.19
706	2.62	0.0003	0.0007	0.38	0.14
707	2.49	0.0002	0.0006	0.34	0.12
708	3.75	0.0004	0.0014	0.78	0.28
709	2.93	0.0003	0.0009	0.48	0.17
710	1.98	0.0002	0.0004	0.22	0.08
711	3.22	0.0003	0.0010	0.57	0.21
712	3.58	0.0004	0.0013	0.71	0.26
713	3.33	0.0003	0.0011	0.62	0.22
714	3.79	0.0004	0.0014	0.80	0.29

ตาราง ข2.3.36 ผลการทดลองหลังการทำ polarization ครั้งที่ 4 ของห้องแอโนดในถัง anoxic ห้องแคโทดในถัง oxic ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 90 เซนติเมตร (CH09)

CH09 Resistor = 3,300 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
548	2.67	0.0008	0.0022	1.20	0.43
549	0.91	0.0003	0.0003	0.14	0.05
550	0.81	0.0002	0.0002	0.11	0.04
551	1.33	0.0004	0.0005	0.30	0.11
552	1.55	0.0005	0.0007	0.40	0.15
553	1.49	0.0005	0.0007	0.37	0.13
554	1.43	0.0004	0.0006	0.34	0.12

CH09 Resistor = 3,300 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
555	1.38	0.0004	0.0006	0.32	0.11
556	1.43	0.0004	0.0006	0.35	0.12
557	1.30	0.0004	0.0005	0.29	0.10
558	1.10	0.0003	0.0004	0.20	0.07
559	0.90	0.0003	0.0002	0.14	0.05
560	0.76	0.0002	0.0002	0.10	0.03
561	-0.61	-0.0002	0.0001	0.06	0.02
562	-2.98	-0.0009	0.0027	1.49	0.54
563	1.32	0.0004	0.0005	0.29	0.11
564	-0.70	-0.0002	0.0001	0.08	0.03
565	-1.56	-0.0005	0.0007	0.41	0.15
566	-0.93	-0.0003	0.0003	0.15	0.05
567	-0.22	-0.0001	0.0000	0.01	0.00
568	0.19	0.0001	0.0000	0.01	0.00
569	0.73	0.0002	0.0002	0.09	0.03
570	1.30	0.0004	0.0005	0.28	0.10
571	1.75	0.0005	0.0009	0.51	0.19
572	2.20	0.0007	0.0015	0.81	0.29
573	2.04	0.0006	0.0013	0.70	0.25
574	1.74	0.0005	0.0009	0.51	0.18
575	1.62	0.0005	0.0008	0.44	0.16
576	1.45	0.0004	0.0006	0.36	0.13
577	1.55	0.0005	0.0007	0.41	0.15
578	0.91	0.0003	0.0003	0.14	0.05
579	-0.03	0.0000	0.0000	0.00	0.00
580	-0.31	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
581	-0.64	-0.0002	0.0001	0.07	0.02
582	-1.39	-0.0004	0.0006	0.32	0.12
583	-1.83	-0.0006	0.0010	0.57	0.20
584	-2.56	-0.0008	0.0020	1.10	0.40
585	-2.79	-0.0008	0.0024	1.31	0.47

CH09 Resistor = 3,300 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
586	-3.31	-0.0010	0.0033	1.84	0.66
587	4.60	0.0014	0.0064	3.56	1.28
588	2.05	0.0006	0.0013	0.71	0.26
589	0.98	0.0003	0.0003	0.16	0.06
590	1.54	0.0005	0.0007	0.40	0.14
591	1.05	0.0003	0.0003	0.19	0.07
592	2.06	0.0006	0.0013	0.71	0.26
593	1.44	0.0004	0.0006	0.35	0.12
594	-1.17	-0.0004	0.0004	0.23	0.08
595	-0.53	-0.0002	0.0001	0.05	0.02
596	-0.70	-0.0002	0.0001	0.08	0.03
597	-1.47	-0.0004	0.0007	0.36	0.13
598	-1.79	-0.0005	0.0010	0.54	0.19
599	-1.90	-0.0006	0.0011	0.61	0.22
600	-3.09	-0.0009	0.0029	1.61	0.58
601	-3.07	-0.0009	0.0029	1.59	0.57
602	-2.92	-0.0009	0.0026	1.43	0.52
603	-2.82	-0.0009	0.0024	1.34	0.48
604	-3.02	-0.0009	0.0028	1.53	0.55
605	-2.66	-0.0008	0.0021	1.19	0.43
606	-2.15	-0.0007	0.0014	0.78	0.28
607	-2.01	-0.0006	0.0012	0.68	0.24
608	-1.79	-0.0005	0.0010	0.54	0.20
609	-1.69	-0.0005	0.0009	0.48	0.17
610	2.56	0.0008	0.0020	1.11	0.40
611	1.82	0.0006	0.0010	0.56	0.20
612	0.33	0.0001	0.0000	0.02	0.01
613	-0.15	0.0000	0.0000	0.00	0.00
614	0.09	0.0000	0.0000	0.00	0.00
615	0.63	0.0002	0.0001	0.07	0.02
616	0.62	0.0002	0.0001	0.06	0.02

CH09 Resistor = 3,300 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
617	0.37	0.0001	0.0000	0.02	0.01
618	0.43	0.0001	0.0001	0.03	0.01
619	-0.02	0.0000	0.0000	0.00	0.00
620	-0.21	-0.0001	0.0000	0.01	0.00
621	-1.05	-0.0003	0.0003	0.19	0.07
622	-1.55	-0.0005	0.0007	0.40	0.15
623	-1.73	-0.0005	0.0009	0.50	0.18
624	-1.97	-0.0006	0.0012	0.65	0.24
625	-1.80	-0.0005	0.0010	0.54	0.20
626	-1.40	-0.0004	0.0006	0.33	0.12
627	-1.18	-0.0004	0.0004	0.23	0.08
628	-1.17	-0.0004	0.0004	0.23	0.08
629	-0.94	-0.0003	0.0003	0.15	0.05
630	-0.97	-0.0003	0.0003	0.16	0.06
631	-1.14	-0.0003	0.0004	0.22	0.08
632	-1.17	-0.0004	0.0004	0.23	0.08
633	-1.14	-0.0003	0.0004	0.22	0.08
634	-1.19	-0.0004	0.0004	0.24	0.09
635	-1.35	-0.0004	0.0006	0.31	0.11
636	-1.45	-0.0004	0.0006	0.35	0.13
637	-1.58	-0.0005	0.0008	0.42	0.15
638	-1.72	-0.0005	0.0009	0.50	0.18
639	0.01	0.0000	0.0000	0.00	0.00
640	3.15	0.0010	0.0030	1.67	0.60
641	0.05	0.0000	0.0000	0.00	0.00
642	-0.43	-0.0001	0.0001	0.03	0.01
643	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
644	0.89	0.0003	0.0002	0.13	0.05
645	0.73	0.0002	0.0002	0.09	0.03
646	1.22	0.0004	0.0005	0.25	0.09
647	1.77	0.0005	0.0010	0.53	0.19

CH09 Resistor = 3,300 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
648	2.86	0.0009	0.0025	1.38	0.50
649	3.54	0.0011	0.0038	2.11	0.76
650	3.71	0.0011	0.0042	2.32	0.84
651	3.97	0.0012	0.0048	2.65	0.95
652	3.74	0.0011	0.0042	2.35	0.85
653	3.38	0.0010	0.0035	1.92	0.69
654	2.78	0.0008	0.0023	1.30	0.47
655	2.07	0.0006	0.0013	0.72	0.26
656	1.45	0.0004	0.0006	0.35	0.13
657	0.75	0.0002	0.0002	0.09	0.03
658	0.87	0.0003	0.0002	0.13	0.05
659	1.51	0.0005	0.0007	0.39	0.14
660	1.35	0.0004	0.0006	0.31	0.11
661	1.43	0.0004	0.0006	0.35	0.12
662	0.92	0.0003	0.0003	0.14	0.05
663	0.39	0.0001	0.0000	0.03	0.01
664	0.48	0.0001	0.0001	0.04	0.01
665	0.65	0.0002	0.0001	0.07	0.03
666	1.12	0.0003	0.0004	0.21	0.08
667	1.04	0.0003	0.0003	0.18	0.07
668	-0.77	-0.0002	0.0002	0.10	0.04
669	-0.25	-0.0001	0.0000	0.01	0.00
670	-0.48	-0.0001	0.0001	0.04	0.01
671	-0.57	-0.0002	0.0001	0.05	0.02
672	-0.73	-0.0002	0.0002	0.09	0.03
673	-0.36	-0.0001	0.0000	0.02	0.01
674	-0.25	-0.0001	0.0000	0.01	0.00
675	0.19	0.0001	0.0000	0.01	0.00
676	-0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
677	0.03	0.0000	0.0000	0.00	0.00
678	0.04	0.0000	0.0000	0.00	0.00

CH09 Resistor = 3,300 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
679	-0.02	0.0000	0.0000	0.00	0.00
680	-0.06	0.0000	0.0000	0.00	0.00
681	0.01	0.0000	0.0000	0.00	0.00
682	0.22	0.0001	0.0000	0.01	0.00
683	1.23	0.0004	0.0005	0.26	0.09
684	1.66	0.0005	0.0008	0.46	0.17
685	1.75	0.0005	0.0009	0.52	0.19
686	1.48	0.0004	0.0007	0.37	0.13
687	1.62	0.0005	0.0008	0.44	0.16
688	0.65	0.0002	0.0001	0.07	0.03
689	-0.15	0.0000	0.0000	0.00	0.00
690	-0.22	-0.0001	0.0000	0.01	0.00
691	0.01	0.0000	0.0000	0.00	0.00
692	2.20	0.0007	0.0015	0.82	0.29
693	4.51	0.0014	0.0062	3.42	1.23
694	1.51	0.0005	0.0007	0.38	0.14
695	1.34	0.0004	0.0005	0.30	0.11
696	1.38	0.0004	0.0006	0.32	0.11
697	1.28	0.0004	0.0005	0.28	0.10
698	1.29	0.0004	0.0005	0.28	0.10
699	1.31	0.0004	0.0005	0.29	0.10
700	1.18	0.0004	0.0004	0.23	0.08
701	1.17	0.0004	0.0004	0.23	0.08
702	1.19	0.0004	0.0004	0.24	0.09
703	1.26	0.0004	0.0005	0.27	0.10
704	1.31	0.0004	0.0005	0.29	0.10
705	1.33	0.0004	0.0005	0.30	0.11
706	1.33	0.0004	0.0005	0.30	0.11
707	1.28	0.0004	0.0005	0.28	0.10
708	1.43	0.0004	0.0006	0.35	0.12
709	1.39	0.0004	0.0006	0.32	0.12

CH09 Resistor = 3,300 Ω , Area = 0.0018 m ² , Volume = 0.005 m ³					
Time (hrs.)	Voltage - CCV (mV)	Current (mA)	Power (μ W)	Power Density (μ W/m ²)	Power Density (μ W/m ³)
710	1.58	0.0005	0.0008	0.42	0.15
711	1.62	0.0005	0.0008	0.44	0.16
712	0.78	0.0002	0.0002	0.10	0.04
713	0.67	0.0002	0.0001	0.07	0.03
714	0.89	0.0003	0.0002	0.13	0.05

2.4 การทดลองค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy) หลังทำ polarization ทั้ง 4 ครั้ง

ตาราง ข2.4 ผลการทดลองค่าพลังงานไฟฟ้าหลังทำ polarization ทั้ง 4 ครั้ง

หลังทำ polarization ครั้งที่	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09
1	6.20	3.12	4.38	78.6	162	18.2	0.65	0.02	6.54
2	25.9	817	14.7	17.2	22.7	15.8	5.30	2.20	2.90
3	12.2	7.64	5.83	1.51	0.00	1.42	0.80	0.26	0.68
4	1.02	0.59	0.34	3.11	385	0.05	0.88	2.29	0.27
ตลอดการเดินระบบ	45.3	828	25.3	100	570	35.5	7.63	4.77	10.39

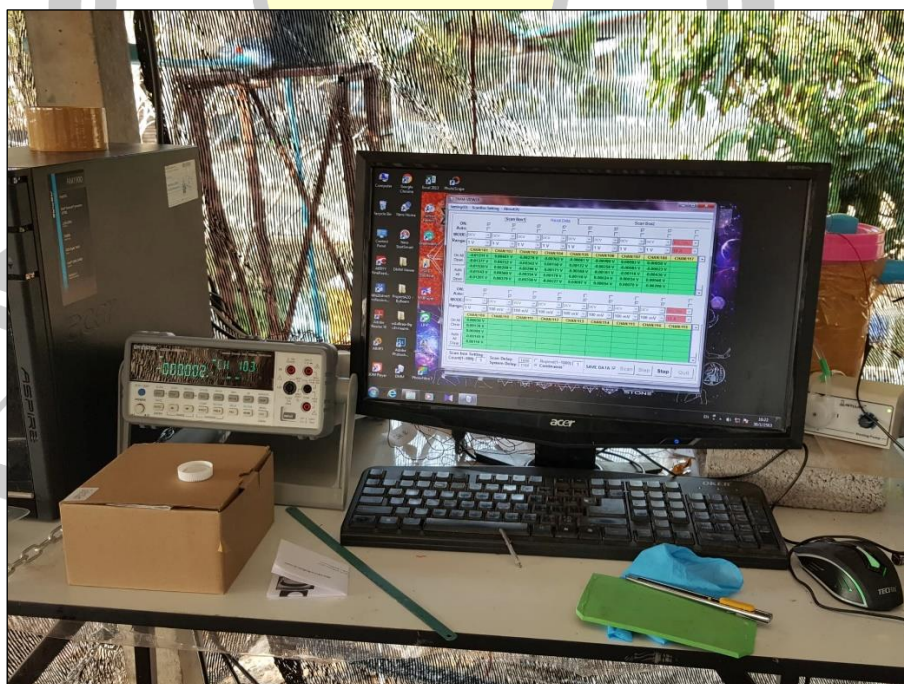


ภาคผนวก ค

ภาพประกอบ



ภาพประกอบ ค1 อุปกรณ์ในการติดตั้งระบบ Reverse A2O – MFCs



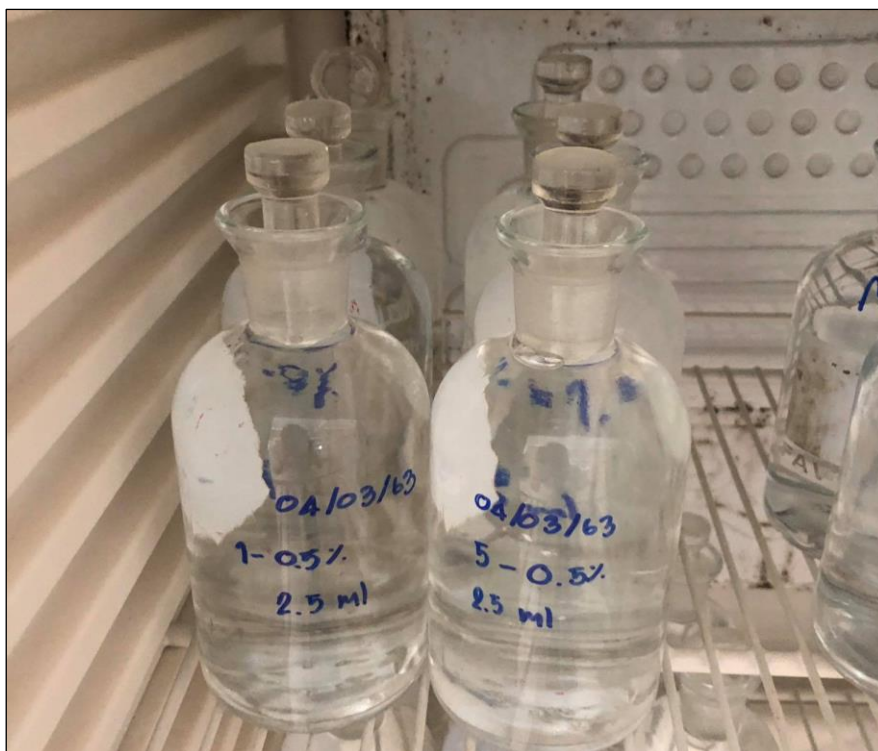
ภาพประกอบ ค2 การเก็บข้อมูลไฟฟ้าเข้ากับเครื่องมัลติมิเตอร์ (GW INSTEK Model: GDM - 8255A)



ภาพประกอบ ค3 การวางถัง anoxic ในระบบ Reverse A2O – MFCs



ภาพประกอบ ค4 การเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อมาวิเคราะห์



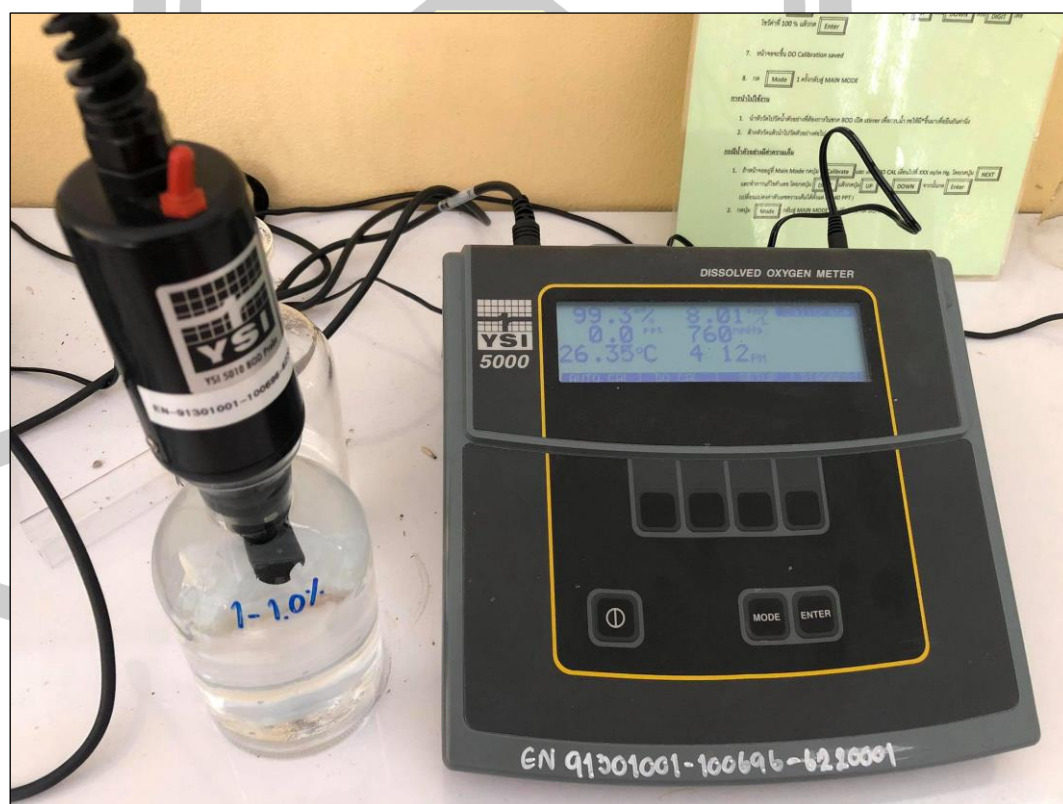
ภาพประกอบ ค5 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C ในการวิเคราะห์บีโอดี



ภาพประกอบ ค6 ขั้นตอนการไตเตรทในการวิเคราะห์ซีโอดี



ภาพประกอบ ค7 การวิเคราะห์สารแขวนลอยในน้ำ (ซ้าย) การวัดค่าศักย์ภาพในการออกซิเดชันรีดักชัน (ขวา)



ภาพประกอบ ค8 การวัดออกซิเจนละลายน้ำ



ภาพประกอบ ค9 การเตรียมเครื่องแก้วเพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรวม



ภาพประกอบ ค10 น้ำขาเข้าระบบ (ซ้าย) น้ำขาออกระบบ (ขวา)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	สุภาวดี ศิริประทุม
วันเกิด	28 ตุลาคม 2538
สถานที่เกิด	จังหวัดสมุทรปราการ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	158 หมู่14 ต.ดอนหัน อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40260
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทศบาลวัดกลาง ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2560 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปัจจุบันกำลังศึกษา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนุ์ ปณุ์ ทิโต ชีเว