

Research Article

การบำบัดของเสียกลีเซอรอลโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบ ห้องเดียว

Treatment of glycerol waste using single chamber microbial fuel cell

วนัสพรรัตน์ Sawasdee¹ ปิ่นอนงค์ ธนิกกุล² และ นิพนธ์ พิสุทธิไพศาล^{2,3,4*}

Vanatpornratt Sawasdee¹, Pinanong Tanikkul² and Nipon Pisutpaisal^{2,3,4*}

¹สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

²ศูนย์วิจัยเฉพาะทางไบโอเซ็นเซอร์และไบโออิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³ศูนย์วิจัยด้านเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์และพลังงานหมุนเวียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

⁴ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหารและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

¹ Department of Environmental Studies, College of Innovative Management, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Khlong Luang, Pathum Thani Province 13180, Thailand

² The Biosensor and Bioelectronics Technology Center, King Mongkut's University of Technology North Bangkok,

³ The Research and Technology Center for Renewable Products and Energy, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

⁴ Department of Agro-Industrial, Food and Environment Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand

*E-mail: nipon.p@sci.kmutnb.ac.th

Received: 15/11/2017; Accepted: 27/04/2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการบำบัดจากของเสียกลีเซอรอล ที่ได้จากกระบวนการปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยการใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดียว มีการใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำการปรับสภาพด้วยความร้อนเข้าสู่ระบบ และมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสเพื่อเริ่มต้นเดินระบบ เริ่มจากการเดินระบบแบบเปิดวงจร เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ปรับสภาพ จากนั้นเดิน

ระบบโดยใส่ตัวต้านทานไฟฟ้า 1,000 โอห์มเพื่อให้เป็นวงจรปิด จากการทดลองพบว่า ของเสียกลีเซอรอลที่แปรผันค่าความเข้มข้นเท่ากับ 2,000 มก.ซีไอดี/ล. มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 57.61 มิลลิโวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้า 5.76×10^{-2} มิลลิแอมป์ และมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีทั้งหมดเฉลี่ยสูงสุด 75.22 เปอร์เซ็นต์ และที่ค่าความเข้มข้นซีไอดี 2,500 มก.ซีไอดี/ล. พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลงและเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ 28.22 มิลลิโวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้า 2.82×10^{-2} มิลลิแอมป์ และมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าสามารถใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และบำบัดค่าความสกปรกจากของเสียกลีเซอรอลได้

คำสำคัญ: ของเสียกลีเซอรอล, เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว, ประสิทธิภาพการบำบัดกลีเซอรอล

Abstract

This research was studied the electricity generation and treatment efficiency from glycerol waste from transesterification reaction in biodiesel production process by single-chamber microbial fuel cell (SC-MFC). The SC-MFCs were inoculated with the heat pre-treated seed and the synthetic wastewater in fed batch mode at 37°C with external resistance 1,000 ohms. The waste glycerol was varied concentration of 2,000 and 2,500 mg COD/L. The results showed that waste glycerol concentration of 2,000 and 2,500 mg COD/L can be obtained maximum current 5.76×10^{-2} mA and 2.82×10^{-2} , respectively. Maximum total COD removal efficiencies from 2,000 and 2,500 mg COD/L were 75.22% and 80%, respectively. These results suggested that SC-MFC is a potential technology for electricity generation and glycerol waste treatment.

Keywords: glycerol waste, single chamber microbial fuel cell, glycerol treatment efficiency

บทนำ

ในปัจจุบันสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยยังคงมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้ประเทศไทยยังคงต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เพื่อขับเคลื่อนประเทศ ซึ่งในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานรวม 69,248 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ น้ำมันจากเชื้อเพลิงฟอสซิลยังคงเป็นพลังงานที่มีความต้องการใช้มากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 50 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด ในส่วนของการใช้พลังงานทดแทน หรือพลังงานหมุนเวียนนั้น (Ministry of energy, 2017) ยังถือว่ายังมีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 9.2 เท่านั้น ซึ่งถือว่ายังมีปริมาณการใช้ยังไม่แพร่หลาย ในส่วนของภาครัฐและภาคเอกชนเริ่มเข้ามาให้ความสำคัญกับพลังงานทางเลือกเพิ่มมากขึ้น พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนถือว่าเป็นพลังงานสะอาดและ

ไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานทดแทนในปัจจุบันมีหลากหลายประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล ไบโอดีเซล เอทานอล ก๊าซชีวภาพ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ รวมไปถึงการนำของเสียจากอุตสาหกรรมมาบำบัดและได้พลังงานสะอาด ก็ถือว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากได้ประโยชน์ถึงสองทาง (Ministry of Energy, 2015) ซึ่งข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ คือสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากสารตั้งต้นทางชีวภาพได้โดยตรง เช่น น้ำเสีย ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสีย และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในเวลาเดียวกัน ทั้งยังถือว่าเป็นพลังงานสะอาดอีกด้วย (Pant et al., 2009)

ของเสียกลีเซอรอลเป็นของเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Yang et al., 2012) ในปัจจุบันมีการสนับสนุนจากรัฐบาลให้มีการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น เพื่อลดการนำเข้าเชื้อเพลิง รวมไปถึงผู้บริโภคในปัจจุบันได้ให้ความสนใจเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นอย่างมาก จึงได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อรองรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล เช่น เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ และเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ เป็นต้น ถือได้ว่าเป็นไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดปริมาณของเสียกลีเซอรอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจำนวนมาก และยากต่อการกำจัด (Almeida et al., 2012) จึงต้องหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมและได้ประโยชน์สูงสุดทั้งในด้านการบำบัดของเสียกลีเซอรอลและต้นทุนที่ราคาไม่แพง ซึ่งของเสียกลีเซอรอลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายประเภท เช่น การนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่เหมาะสมและน่าสนใจสำหรับของเสียกลีเซอรอล คือ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย และเปลี่ยนพลังงานที่เกิดขึ้นทางชีวเคมีไปเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงและสามารถนำไปใช้ได้ทันที (Nimje et al., 2011)

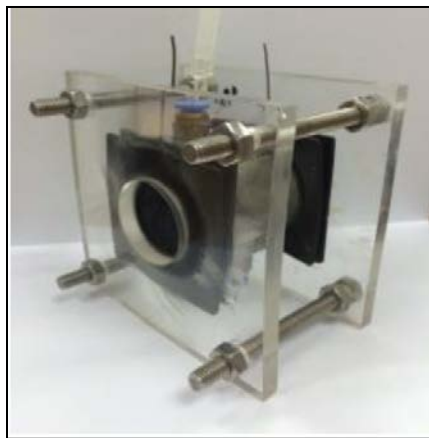
เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial Fuel Cell, MFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ (Du et al., 2007) โดยมีหลักการคือย่อยสลายสารอินทรีย์ และมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา จากนั้นจะมีการขนส่งอิเล็กตรอนเพื่อส่งต่อให้ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายต่อไป ซึ่งเมื่อมีการเปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้อากาศ ไม่ใช้อากาศ และเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ก็พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ นั้นมีประสิทธิภาพสูง เหมาะแก่การบำบัดน้ำเสีย และผลิตกระแสไฟฟ้าไปพร้อมกัน (ตารางที่ 1) ดังนั้นเทคโนโลยีนี้จึงสามารถบำบัดน้ำเสียและผลิตกระแสไฟฟ้าได้พร้อมกัน ทำให้งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำของเสียกลีเซอรอลที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล มาบำบัดโดยใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ของเสียกลีเซอรอลได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

1. เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว

เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์มีต้นแบบมาจากงานวิจัยของ Liu & Logan (2004) ซึ่งเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว ดังรูปที่ 1 การดำเนินการใช้วงจรไฟฟ้าแบบปิด คือ วงจรไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนสามารถไหลได้ครบวงจร โดยระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จะดำเนินการบำบัดกลีเซอรอลของเสียและการผลิตกระแสไฟฟ้าไปพร้อมกัน ใน

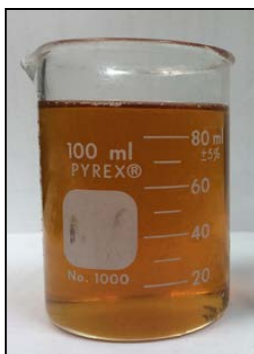
การเดินระบบนั้นเริ่มต้นจากการปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์ให้สามารถเกาะชีวแอนโนด โดยการใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ผสมกับกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่กำหนดความเข้มข้นซีไอดี 1,000 มก.ซีไอดี/ล. และสภาวะที่ใช้ในการดำเนินระบบ คือ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่า 7 (Behera & Ghangrekar, 2009) และใส่ตัวต้านทานภายนอก 1,000 โอห์ม (Sawasdee & Pisutpaisal, 2016)



รูปที่ 1. แสดงลักษณะภายนอกของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว

2. ของเสียดกลีเซอรอลและเชื้อจุลินทรีย์

ของเสียดกลีเซอรอลที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบ่อบำบัดน้ำของบริษัท ตรีงน้ำมันปาล์ม จำกัด มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลและมีความบริสุทธิ์กลีเซอรอล 78-80 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 2) โดยมีค่าองค์ประกอบต่างๆ ของของเสียดกลีเซอรอลดังแสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบจะผ่านการให้ความร้อน 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มเมทาโนเจน (Ruggeri et al., 2015)



รูปที่ 2. ของเสียดกลีเซอรอลที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1. องค์ประกอบทั่วไปของของเสียดลึงเซอร์ออล

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น	หน่วย
กลีเซอร์ออล	75	เปอร์เซ็นต์
เถ้า	10	เปอร์เซ็นต์
น้ำ	10	เปอร์เซ็นต์
สารอินทรีย์อื่น	5	เปอร์เซ็นต์

ที่มา: Tan et al., 2013

3. การเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดียว

การเดินระบบการบำบัดของเสียดลึงเซอร์ออลร่วมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดียวนั้นเริ่มจากการนำจุลินทรีย์ที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อทำลายสปอร์ที่มีความสามารถในการสร้างก๊าซมีเทนออก หลังจากนั้นนำจุลินทรีย์เข้าระบบแล้ว จึงนำน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งใช้กลีเซอร์ออลบริสุทธิ์เป็นแหล่งคาร์บอน โดยมีการเดินระบบแบบแบต (batch) และควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส โดยไม่ได้ตัวด้านทานไฟฟ้า (open circuit operation) ต่อวงจรของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เข้ากับมัลติมิเตอร์และทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาแบบอัตโนมัติทุกๆ 10 นาที ทำการเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์ทุกวัน จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยไม่ได้ตัวด้านทานไฟฟ้าแล้ว จากนั้นทำการใส่ตัวด้านทานไฟฟ้า (1,000 โอห์ม) และเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของกลีเซอร์ออลบริสุทธิ์ 1,000 มก.ซีไอดี/ล. จนได้ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ ในช่วงการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ได้ติดตามบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ (ตารางที่ 2) เพื่อติดตามลักษณะการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ หลังจากที่มีแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คงที่ แสดงว่าเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่สภาวะ steady state พร้อมทั้งนำไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของของเสียดลึงเซอร์ออลที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2,000 และ 2,500 มก.ซีไอดี/ล. เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรวมถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในรูปของซีไอดี

4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ตัวอย่างหลังจากการทำทดลองบำบัดของเสียดลึงเซอร์ออลและผลิตกระแสไฟฟ้านั้น มีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบบำบัดของเสียกลีเซอรอลและผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ความเป็นกรด-เบส (pH)	2 วัน 1 ครั้ง	Electrode pH Meter
ซีโอดีทั้งหมด (COD _T)	2 วัน 1 ครั้ง	วิธีฟลักซ์ปิดแบบเทียบสี
ซีโอดีละลาย (COD _s)	2 วัน 1 ครั้ง	วิธีฟลักซ์ปิดแบบเทียบสี
ปริมาณกลีเซอรอล	2 วัน 1 ครั้ง	วิธีมาตรฐาน Chromatropic acid method
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA _s)	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	เครื่อง Gas chromatography
องค์ประกอบของก๊าซ	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	เครื่อง Gas Chromatograph

ที่มา: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association, AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation

5. การคำนวณค่าทางไฟฟ้า

ในการทดลองจะเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากโปรแกรม ExcelLINX ที่แสดงผลมาจากเครื่องมัลติมิเตอร์ รุ่น Keithly Series 2700, Ohio, United States of America โดยเครื่องมัลติมิเตอร์จะต่อเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์และคอมพิวเตอร์โดยตรงเพื่อเก็บข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าทุกๆ 10 นาที

สูตรการคำนวณทางไฟฟ้า (Logan, 2008)

$$\text{แรงดันไฟฟ้า} \quad V = IR \quad (1)$$

$$\text{กระแสไฟฟ้า} \quad I = V/R \quad (2)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์และการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ

การปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์สำหรับระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเกาะขั้วแอโนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เริ่มจากการปรับสภาพจะใช้วงจรแบบเปิด (Open circuit voltage, OCV) และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับกลีเซอรอลบริสุทธิ์ เพื่อเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อทำการปรับสภาพจนถึงวันที่ 14 พบว่า แรงดันไฟฟ้าคงที่ประมาณ 297 มิลลิโวลต์ ในส่วนประสิทธิภาพการใช้ซีโอดีมีค่าสูงถึง 88.7 เปอร์เซ็นต์ คือมีการใช้ ซีโอดีไปเท่ากับ 950 มก./ล. จากผลการทดลองนี้ พบว่าการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ภายในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 1,000 มก.ซีโอดี/ล. เพียงพอที่จะเป็นพลังงานสำหรับเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ จากนั้นระบบจะเข้าสู่การต่อวงจรไฟฟ้าแบบปิดวงจร (close circuit voltage) โดยการใส่ตัวต้านทานไฟฟ้า 1,000 โอห์ม เข้าไป เพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ มีการควบคุมอย่างสม่ำเสมอและครบวงจรไฟฟ้า จากผลการทดลองเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 1,000 มก.ซีโอดี/ล.

เป็นเวลา 6 วัน พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีแนวโน้มคงที่ เมื่อคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า ได้เฉลี่ยสูงสุดที่ 0.0007 มิลลิแอมป์ หลังจากนั้นทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นกลีเซอรอลบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเป็น 2,000 มก.ซีไอดี/ล. พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและเริ่มคงที่ที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 1.22 มิลลิโวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 0.0013 มิลลิแอมป์ เมื่อพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นกลีเซอรอล 1,000 มก.ซีไอดี/ล. ให้ค่ากระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 1.26 มิลลิแอมป์/ตร.ม. และเพิ่มขึ้นเป็น 1.76 มิลลิแอมป์/ตร.ม. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 2,000 มก.ซีไอดี/ล. แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 2,000 มก.ซีไอดี/ล. ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีและกลีเซอรอลในน้ำเสียแล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโปรตอนและอิเล็กตรอนได้มากขึ้นตามลำดับ (Kim et al., 2005)

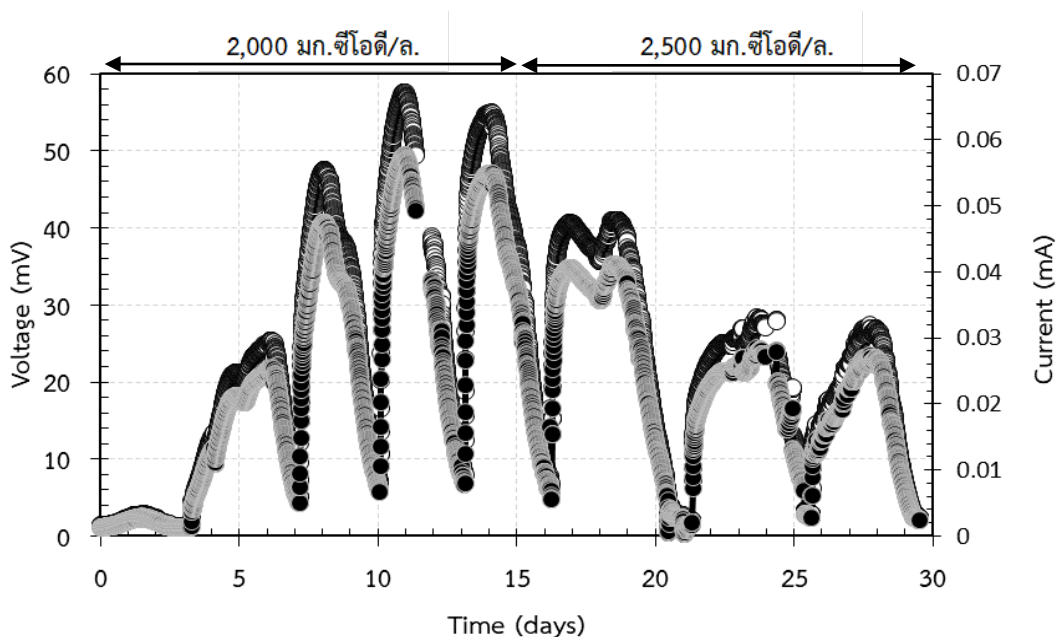
2. การผลิตกระแสไฟฟ้าจากของเสียกลีเซอรอล

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์นั้น สามารถใช้สารตั้งต้นได้หลายชนิด เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 100 มิลลิแอมป์ ต่อตร.ม. (Sawasdee & Pisutpaisal, 2016) น้ำเสียจากโรงงานอาหาร ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 527 มิลลิแอมป์ ต่อตร.ม. (Mansoorian et al., 2013) น้ำเสียจากโรงงานแป้ง ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 900 มิลลิแอมป์ ต่อตร.ม. (Lu et al., 2009) เป็นต้น ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนได้ดี แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำของเสียกลีเซอรอลมาใช้ในงานวิจัย เพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำของเสียกลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยงานวิจัยนี้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของของเสียกลีเซอรอล โดยมีการผันแปรความเข้มข้นที่ 2,000 และ 2,500 มก.ซีไอดี/ล. จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้น 2,000 มก.ซีไอดี/ล. ค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นในทุกรอบการทดลองและมีค่าเฉลี่ยคงที่ 57.61 มิลลิโวลต์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของของเสียกลีเซอรอลเป็น 2,500 มก.ซีไอดี/ล. พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลงและเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ 28.22 มิลลิโวลต์ และมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.82×10^{-2} มิลลิแอมป์ หรือ 39.92 มิลลิแอมป์ ต่อตร.ม. ดังรูปที่ 3 จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของของเสียกลีเซอรอล จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่าลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่าได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่น้อยกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น ความเข้มข้นของของเสียกลีเซอรอลที่มากขึ้นนั้น ส่งผลให้มีปริมาณแก๊สในระบบมากเกินไป ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถทำงานได้ดี ส่งผลทำให้ผลิตแรงดันและกระแสไฟฟ้าออกมาได้น้อยลงตามลำดับ (Yong et al., 2014)

3. ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี

จากการทดลองเมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี (ดังรูปที่ 4) ที่ความเข้มข้น 2,000 มก.ซีไอดี/ล. มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดทั้งหมดเฉลี่ย 75.22 ± 3.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2,500 มก.ซีไอดี/ล. พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีทั้งหมดสูงขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 80 ± 1.77 เปอร์เซ็นต์ เนื่องด้วยที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอลของเสียเท่ากับ 2,500 มก.ซีไอดี/ล. เมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใช้กลีเซอรอลพบว่า ในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่า ดังตัวอย่าง Chookaew et al. (2014) ทำงานวิจัยโดย

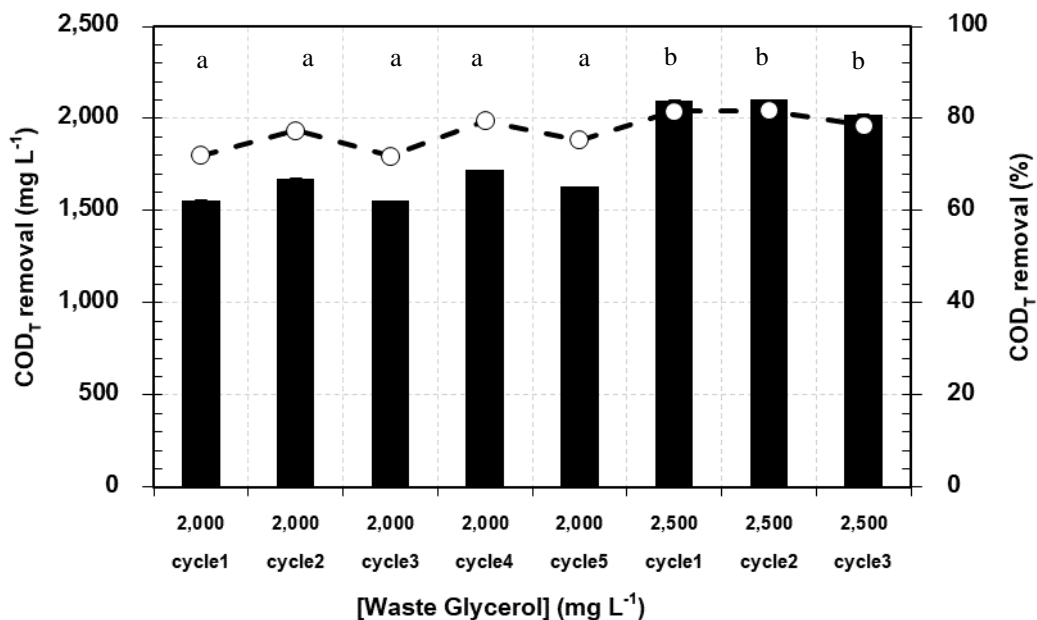
นำของเสียมก.ซีไอดี/ล. มาบำบัดและผลิตกระแสไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน โดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์นั้น พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ 50% ในขณะที่ในงานวิจัยนี้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 80% แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับสภาพให้เข้ากับระบบได้ อีกทั้งจุลินทรีย์ในระบบสามารถใช้กลีเซอรอลเป็นแหล่ง คาร์บอนได้เป็นอย่างดี ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดในรูปซีไอดีมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3. ค่าแรงดันไฟฟ้า (ดำ) และค่ากระแสไฟฟ้า (ขาว) ของน้ำเสียมก.ซีไอดีของเสียม

สรุปผลการทดลอง

การทดลองใช้เทคโนโลยีการบำบัดของเสียมก.ซีไอดีโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แบบห้องเดี่ยวนั้น พบว่า เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวสามารถบำบัดของเสียมก.ซีไอดีได้โดยหลังจากการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ ให้มีลักษณะเป็นฟิล์มชีวภาพ ระบบจะเริ่มเข้าสู่สภาวะการบำบัดของเสียมก.ซีไอดีและการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่าง มีประสิทธิภาพ โดยพบว่า ค่าการบำบัดที่ความเข้มข้น 2,000 มก.ซีไอดี/ล. มีค่าการบำบัดน้อยแต่ค่ากระแสไฟฟ้าที่ ได้มีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้น 2,500 มก.ซีไอดี/ล. เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงจะมีปริมาณเกลือสูงทำให้เกิดการยับยั้ง การผลิตกระแสไฟฟ้า (Yong et al., 2014; Santibáñez et al., 2011) แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง จุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว เพื่อการบำบัดของเสียมก.ซีไอดีควบคู่ไปกับการผลิตกระแสไฟฟ้า ยังถือได้ว่าเป็น เทคโนโลยีที่น่าสนใจและเหมาะสมที่จะพัฒนาสู่อุตสาหกรรมต่อไป



รูปที่ 4. ปริมาณการบำบัดชีโอดีทั้งหมด (กราฟแท่ง) และเปอร์เซ็นต์การบำบัดชีโอดีทั้งหมด (จุดข้อมูล) (n=3) จุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนจุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ (ทุนวิจัยเลขที่ 6244101) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คป.ก.) สัญญาทุนเลขที่ PHD/0322/2552 และบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนวิจัย (สัญญาทุนเลขที่ JGSEE/THESIS/226) ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Almeida, J. R. M., Fávoro1, L. C. L., & Quirino, B. F. (2012). Biodiesel biorefinery: opportunities and challenges for microbial production of fuels and chemicals from glycerol waste. *Biotechnology for Biofuels*, 5, 48. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-48>

- American Public Health Association-American Water Works Association-Water Pollution Control Federation (APHA-AWWA-WPCF). (2000) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. APHA, Washington, DC.
- Behera, M., & Ghangrekar, M. M. (2009). Performance of microbial fuel cell in response to change in sludge loading rate at different anode feed pH. *Bioresource Technology*, 100(21), 5114-5121. doi: 10.1016/j.biortech.2009.05.020
- Chookaew, T., Prasertsan, P., & Ren Z. J. (2014). Two-stage conversion of crude glycerol to energy using dark fermentation linked with microbial fuel cell or microbial electrolysis cell. *New Biotechnology*, 31(2), 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2013.12.004>
- Du, Z., Li, H., & Gu, T. (2007). A state of the art review on microbial fuel cells: a promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advance*, 25(5), 464-482. doi: 10.1016/j.biotechadv.2007.05.004
- Kim, J. R., Min, B., & Logan, B. E. (2005). Evaluation of procedures to acclimate a microbial fuel cell for electricity production. *Applied Microbiology Biotechnology*, 68, 23-30. doi 10.1007/s00253-004-1845-6
- Liu, H., & Logan, B. E. (2004). Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of proton exchange membrane. *Environmental Science and Technology*, 38 (14), 4040-4046. doi: 10.1021/es0499344
- Logan B. E., (2008). *Microbial Fuel Cells*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Lu, N., Zhou, S.-G., Zhuang, L., Zhnag, J.-T., Ni, J.-R., (2009). Electricity generation from starch processing wastewater using microbial fuel cell technology. *Biochemical Engineering Journal*. 43(3), 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.005>
- Mansoorian, J. H., Mahvi, H. A., Jafari, J. A., Amin, M. M., Rajabizadeh, A., & Khanjani, N. (2013). Bioelectricity generation using two chamber microbial fuel cell treating wastewater from food processing. *Enzyme and Microbial Technology*. 52(6-7), 352-357. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2013.03.004>
- Ministry of energy. (2015). *Alternative Energy Development Plan: AEDP2015*. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Ministry of energy. (2017). *Biogas production from several materials*. (1st ed.). Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Bangkok, Thailand. (in Thai)

- Nimje, V. R., Chen, C-Y., Chen, C-C., Chen, H-R., Tseng, M-J., Jean, J-S., & Chang, Y-F. (2011). Glycerol degradation in single-chamber microbial fuel cells. *Bioresource Technology*, 102 (3), 2629-2634. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.062>
- Pant, D., Bogaert, G. V., Diels, L., & Vanbroekhoven K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*, 101(6), 1533-1543. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.017>
- Ruggeri, B., Tommasi, T. & Sanfilippo, S. (2015) Pretreatment to increase hydrogen producing bacteria (HPB). In B. Ruggeri, T. Tommasi & S. Sanfilippo (Eds.), *BioH₂ & BioCH₄ Through Anaerobic Digestion, Green Energy and Technology* pp. 25-36. London: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-1-4471-6431-9_2
- Sawasdee, V., & Pisutpaisal, N. (2016). Simultaneous pollution treatment and electricity generation of tannery wastewater in air-cathode single chamber MFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (35), 15632-15637. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.179>
- Santibáñez, C., Varnero, M. T., & Bustamante, M. (2011). Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: A review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71 (3), 469- 475. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392011000300019>
- Tan, H.W., Abdul, Aziz A.R., & Aroua, M. K. (2013). Glycerol production and its applications as a raw material: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.035>
- Yang, F., Hanna, M. A., & Sun, R. (2012). Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels*, 5(13), <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-13>
- Yong, L., Wu, H.Y., Jia, J. J., Li, X. F., Zhang, Q. M., Xiao, C., Ming, P. & Nan, J. (2014). Salinity effect on the microbial fuel cell performance. *Applied Mechanics and Materials*, 651-653, 1365-1369. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.651-653.1365