การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จากของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง

วนัสพรรัศม์ สวัสดี[1] และ นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล[2*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การผลิตกำลังไฟฟ้าจากของเสียกลุ่มอุตสาหกรรมไบโอดีเซล คือ ของเสียกลีเซอรอล และอุตสาหกรรมฟอกหนัง คือ น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โดยใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ รวมไปถึงการกำจัดของเสียในรูปซีโอดี จากผลการวิจัย พบว่า กำลังไฟฟ้าจากของเสียกลีเซอรอล มีค่า 0.0018 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร และน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง สามาถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 6.2 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพสามารถประสิทธิภาพการบำบัดของเสียในรูปซีโอดีจากของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนังได้ 80 และ 90 % ตามลำดับ ในส่วนการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) ที่ได้จากน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง มีประสิทธิภาพถึง 50% นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักในเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ คือ ไซคลิกโวลแทเมทรีแสดงถึงปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าภายในระบบ และประสิทธิภาพคูลอมป์ (Coulombic efficiency: CE) โดยของเสียกลีเซอรอล และน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง มีประสิทธิภาพคูลอมป์ 7.62 และ 15.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เหล่านี้ถือเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จากสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิด ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า น้ำเสียโรงงานฟอกหนังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ได้มีประสิทธิภาพมากกว่าของเสียกลีเซอรอล

คำสำคัญ : ของเสียกลีเซอรอล, น้ำเสียโรงงานฟอกหนัง, เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์, การผลิตไฟฟ้า

---

[1] สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

[2] ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: nipon.p@sci.kmutnb.ac.th รับเมื่อ 2 พฤษภาคม 26562 ตอบรับ 12 มิถุนายน 2562

Electricity Generation in Microbial Fuel Cells from Waste Glycerol and Tannery Wastewater

Vanatpornratt Sawasdee[1] and Nipon Pisutpaisal[2*]

Abstract

The aims of this research were compared the electricity generation and COD removal between waste glycerol and tannery wastewater with microbial fuel cell technology. The results showed power generation from waste glycerol and tannery waste water were obtained 0.0018 mW m^{-2} and 6.2 mW m^{-2}, respectively. The COD removal efficiency can be obtained from waste glycerol and tannery wastewater 80 and 90%, respectively. The nitrogen removal efficiency from tannery wastewater in form of TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) can be obtained 50%. Moreover, there are 2 parameters that indicated to oxidation-reduction reaction, which important reaction for microbial fuel cell are cyclic voltammetry (CV) and coulombic efficiency (CE). Cyclic voltammetry (CV) was showed the oxidation-reduction on electrode. Coulombic efficiency (CE) from waste glycerol and tannery wastewater were 7.62 and 15.6 %, respectively. There are parameters that showed the efficiency of electricity generation with 2 of substrates from microbial fuel cells. Therefore, microbial fuel cell technology that can be electricity generation from tannery wastewater better than waste glycerol.

Keywords : Waste glycerol, Tannery wastewater, Microbial fuel cell technology, Electricity generation

[1] Program of Innovation of Environmental Management, College of Innovative Management, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage.

[2] Department of Agro-Industrial, Food and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[*] Corresponding author, nipon.p@sci.kmutnb.ac.th, Received: 2 May 2019, Accepted:12 June 2019

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาพลังงานทดแทนในประเทศไทยมีแนวโน้มขยายตัวขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกระทรวงพลังงานมีนโยบายการส่งเสริมในด้านการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าพลังงานความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ ตามลำดับ โดยการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนในปัจจุบันสามารถพัฒนาร่วมกับการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการพัฒนาอย่างครบวงจร [1] ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างมากมายและแพร่หลาย ทั้งเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ กังหันลม เป็นต้น และเทคโนโลยีที่สามารถบำบัดหรือกำจัดของเสีย น้ำเสีย และผลิตพลังงานได้ในเวลาเดียวกัน เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ สามารถบำบัดน้ำเสียและมีผลพลอยได้คือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซหุงต้ม หรือปั่นเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีที่น่าสนใจคือ เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial Fuel Cell Technology) เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ [2] เนื่องจากสามารถบำบัดน้ำเสีย และผลิตพลังงานในรูปของกระแสไฟฟ้าได้ในทันที เมื่อเปรียบเทียบกับ การผลิตก๊าซชีวภาพที่ไม่สามารถใช้ในรูปแบบพลังงานไฟฟ้าได้ในทันที

เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว (Single Chamber Microbial Fuel Cell) และเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ (Dual Chamber Microbial Fuel Cell) โดยการทำงานภายในเซลล์เชื้อเพลิงนั้นอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม “Exoelectrogens” เช่น *Geobacter sulfurreducens, Geobacter metallireducens*, *Shewanella oneidensis*, *Escherichia coli* เป็นต้น [3,4] โดยจุลินทรีย์เหล่านี้มีความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอน โดยในขั้นแรกจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น น้ำเสีย จากนั้นจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนและโปรตอนออกมาตามลำดับ ในส่วนอิเล็กตรอนจะถูกถ่ายเทจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด ในขณะเดียวกันโปรตอนที่ปลดปล่อยออกมาจะถูกแพร่จากขั้วแอโนดไปยังแคโทดผ่านสารอิเล็กโตรไลท์และเมมเบรน ในฝั่งแคโทดจะมีตัวรับอิเล็กตรอน เช่น ออกซิเจน ไนเตรต หรือ ซัลเฟต เป็นต้น [5]

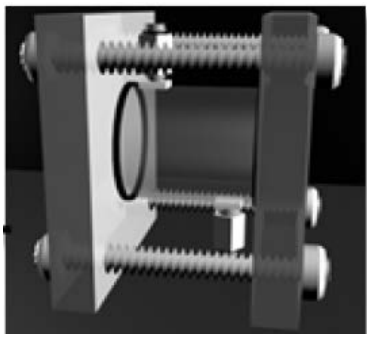
เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถรองรับสารอินทรีย์ (น้ำเสีย/ของเสีย) ได้จากหลายหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมไบโอดีเซล [6] อุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นต้น เนื่องจากอุตสาหกรรมไบโอดีเซล และอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตของเสียที่ยากแก่การกำจัด (องค์ประกอบของของเสียที่ซับซ้อน) เช่น ของเสียกลีเซอรอล และน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง ซึ่งเป็นของเสียที่ต้องใช้วิธีการกำจัดที่ใช้ต้นทุนสูง ผู้วิจัยจึงนำเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เข้ามาใช้ในการเปลี่ยนของเสียจากอุตสาหกรรมทั้งสองชนิดให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ได้ในทันที ดังนั้นเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จึงถือเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจสำหรับการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมทั้งสองชนิด

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ถูกทำขึ้นโดยใช้วัสดุอะคริลิกใส ที่มีลักษณะเป็นท่อกลวง ที่มีเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และความยาว 4 เซนติเมตร และเป็นแผ่นอะคริลิกสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้าง 9 เซนติเมตร ความยาว 9 เซนติเมตร (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

ภายในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ประกอบด้วยขั้วแอโนดและขั้วแคโทดที่ทำจากผ้าคาร์บอน (Carbon cloth) ที่ถูกเคลือบด้วยเทฟลอน และสารตัวเร่งปฏิกิริยาตามลำดับ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เป็นแบบห้องเดี่ยว จึงต้องมีการเปิดขั้วแคโทดเพื่อรับออกซิเจน ทำให้มีตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย คือ ออกซิเจน [7]

2.2 ของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง

ของเสียกลีเซอรอลได้รับจากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัท ตรังน้ำมันปาล์ม จำกัด มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล มีความเข้มข้นกลีเซอรอลเริ่มต้น 78,460 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีทั้งหมดเริ่มต้น 1,559,596 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดีละลายเริ่มต้น 1,470,707 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังได้รับจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในเขตประกอบการอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม.30 จังหวัดสมุทรปราการ ก่อนการใช้งานจะนำน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกหนังมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ซีโอดี (COD) และปริมาณไนโตรเจน (Total Kjdhal Nitrogen: TKN) โดยวิธี Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [8] ซึ่งมีค่าดังนี้ ค่าพีเอช 8.17 ซีโอดีเริ่มต้น 1,100 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 431 มิลลิกรัมทีเคเอ็นต่อลิตร

2.3 เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) จากกระบวนการผลิตแป้งของโรงงานเอี่ยมบูรพา อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว เมื่อได้เชื้อจุลินทรีย์มาแล้วจะนำไปกำจัดสิ่งเจือปนออก โดยการร่อนผ่าน ตะแกรงขนาด 60 เมช หลังจากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์มาเลี้ยงด้วยกลูโคส ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร เพื่อปรับสภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

2.4 การเดินระบบของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

การเดินระบบของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จะเริ่มจากการนำเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากข้อ 2.3 เข้าใส่ในระบบเพื่อให้เกิดการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ จากนั้นจะใส่ตัวต้านทานเพื่อให้ระบบถูกเปลี่ยนจากวงจรเปิดเป็นวงจรปิด กำหนดค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นนำของเหลวจากระบบที่มีของเสียกลีเซอรอล และน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังมาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การกำจัดกลีเซอรอล และเปอร์เซ็นต์ซีโอดีกำจัด ตามวิธีมาตรฐาน

2.5 การคำนวณทางไฟฟ้า

การคำนวณทางไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การคำนวณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ สามารถคำนวณได้จากสูตร

แรงดันไฟฟ้า V= IR

กระแสไฟฟ้า I = V/R

กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ P (W m^{-2}) = IV/A โดยที่

V = แรงดันไฟฟ้า

I = กระแสไฟฟ้า

R = ความต้านทานไฟฟ้า

P = กำลังไฟฟ้า

A = พื้นที่

และค่า Coulombic Efficiency เป็นการหาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่ได้จากสารตั้งต้นสู่ขั้วไฟฟ้าและได้เป็นพลังงาน โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร [9]

$$CE = \frac{C_P}{C_T} \times 100\% = \frac{I \times t}{F \times b \times \Delta S \times V} \times M \quad (1)$$

โดยที่

CE คือ ประสิทธิภาพของประจุไฟฟ้า

CP คือ ค่าประจุไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตลอดเวลา (คูลอมบ์)

CT คือ ค่าประจุไฟฟ้าจากการคำนวณตามทฤษฎีที่เกิดจากการผลิตน้ำเสีย (คูลอมบ์)

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (96,485 คูลอมบ์ต่อโมล)

b คือ จำนวนโมลของอิเล็กตรอนที่ผลิตต่อโมลของสารตั้งต้น (n = 4 สำหรับน้ำเสีย)

ΔS คือ ค่าซีโอดีกำจัด (กรัม)

M คือ มวลโมเลกุลของสารตั้งต้น (กรัม)

V คือ ปริมาตรของของเหลว (ลิตร)

t คือ เวลา (วินาที)

2.6 ไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltammetry)

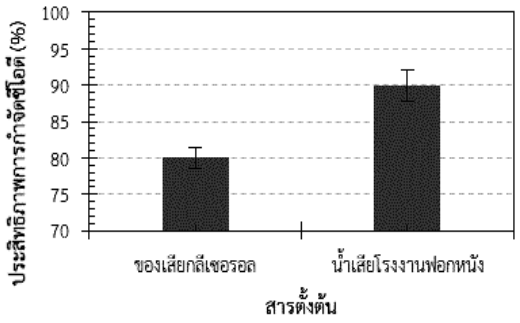
ไซคลิกโวลแทเมทรี เป็นการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการวัดแบบไซคลิกโวลแทมเมทรีด้วยเครื่องโพเทนทิโอสเตท (Potentiostat, Autolab PGSTAT 204, Switzerland) ซึ่งเป็นระบบ 3 ขั้วไฟฟ้า คือขั้วไฟฟ้าทำงาน (working Electrode, ขั้วแอโนด) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ (reference Electrode, Ag/AgCl) และขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter Clectrode, ขั้วแคโทด) โดยการให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.6 ถึง 1.0 โวลต์ แก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน ในช่วงอัตราสแกน 20 ม.โวลต์/วินาที เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาความเชื่อมโยงระหว่าง กิจกรรมทางไฟฟ้าเคมีและการขนส่งอิเล็กตรอนที่ขั้วไฟฟ้าของเชื้อจุลินทรีย์ [10,11]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 การบำบัดของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง

ของเสียกลีเซอรอลเป็นสิ่งที่เกิดจากกระบวนการทรานเอสเตอร์ริฟิเคชั่น (เป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างไขมัน (Triglyceride) และแอลกอฮอล์) ถือเป็นของเสียที่มีโครงสร้างซับซ้อน [12] และยากแก่การบำบัด เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จึงเป็นทางเลือกสำหรับการบำบัดของเสียกลีเซอรอล ซึ่งจากการวิจัยพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถบำบัดของเสียกลีเซอรอลในรูปซีโอดี

โดยอาศัยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Exoelectrogens ที่อยู่ในระบบ ได้ประสิทธิภาพถึง 80% (ดังรูปที่ 2)

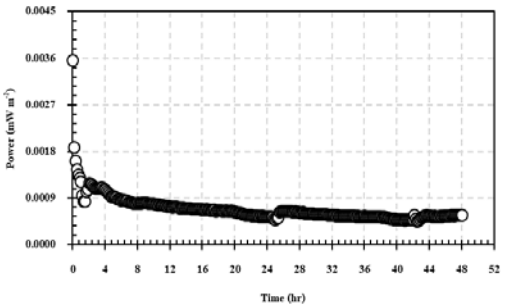


รูปที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง

ในส่วนน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง เป็นน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง จึงต้องหาวิธีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นวิธีที่ยุ่งยากเนื่องจากการบำบัดความสกปรกในรูปซีโอดีและไนโตรเจนนั้น ใช้วิธีในการบำบัดที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการบำบัดหลายขั้นตอน ทั้งการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ และการบำบัดแบบใช้อากาศ โดยจากการทดสอบการใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง สามารถบำบัดไนโตรเจน และซีโอดีได้ถึง 50% และ 90% ตามลำดับ ดังนั้น เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่มีประสิทธิภาพอีกทางหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง

3.2 ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

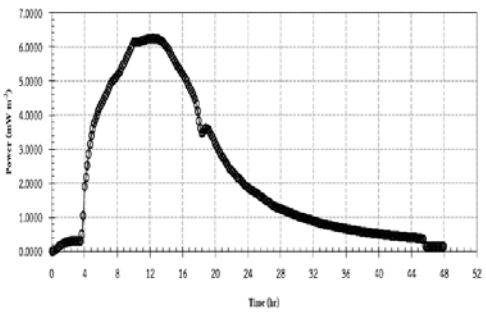
เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เป็นเทคโนโลยีที่นอกเหนือจากการบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้และสามารถนำมาใช้ได้โดยตรง กำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่จากการบำบัดของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนังแสดงดังรูปที่ และตามลำดับ โดยกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ใน 48 ชั่วโมงจากของเสียกลีเซอรอล มีค่าสูงสุดที่ 0.0018 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร (รูปที่ 3) และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ มีประสิทธิภาพคูลอมป์ (Coulombic efficiency: CE) พบว่ามีค่า 7.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าประสิทธิภาพคูลอมป์ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารอินทรีย์สู่ขั้วไฟฟ้า และได้เป็นพลังงานออกมา เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าซีโอดี พบว่ามีปริมาณซีโอดีกำจัดมีประสิทธิภาพสูง เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพคูลอมป์ แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนสู่ขั้วไฟฟ้าในบางส่วน [13] เมื่อพิจารณาถึงการคำนวณค่าประสิทธิภาพคูลอมป์ ซึ่งเป็นการคำนวณระหว่างประจุไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตลอดเวลา และ ค่าประจุไฟฟ้าจากการคำนวณตามทฤษฎี พบว่าค่าประจุไฟฟ้าที่ได้จริงมีค่าน้อยกว่าทฤษฎี ส่งผลให้ทำให้ประสิทธิภาพคูลอมป์ต่ำ



รูปที่ 3 กำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่จากของเสียกลีเซอรอล

ในส่วนกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ใน 48 ชั่วโมงจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนังนั้น มีค่าสูงสุดที่ 6.2 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร (รูปที่ 4) ในชั่วโมงที่ 12 และมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ มีประสิทธิภาพคูลอมป์ (Coulombic efficiency: CE) 15.6 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพคูลอมป์ระหว่างของเสียกลีเซอรอล และน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง พบว่า น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังมีประสิทธิภาพคูลอมป์มากกว่า เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีพบว่าน้ำเสียโรงงานฟอกหนังสามารถกำจัดซีโอดีได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของของเสียกลีเซอรอล ส่งผลให้ประสิทธิภาพคูลอมป์มีค่าต่างกัน เมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพคูลอมป์และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมาพิจารณาร่วมกับกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ในแต่ละแหล่งของเสียพบว่าค่ากำลังไฟฟ้ามีแนวโน้มเดียวกับประสิทธิภาพคูลอมป์และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี แสดงให้เห็นว่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนังโดยเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจากของเสียกลีเซอรอล

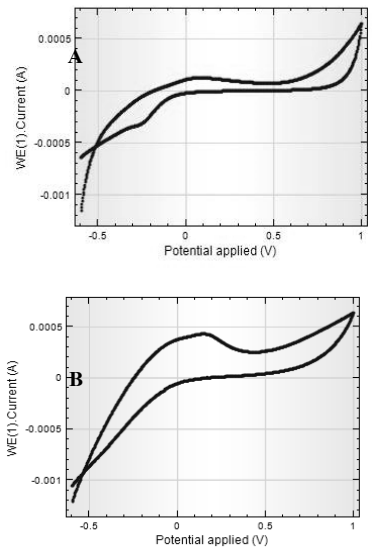


รูปที่ 4 กำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่จากน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง

3.3 ไซคลิกโวลแทมเมทรี

ไซคลิกโวลแทเมทรีแสดงถึงปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าภายในระบบ ถือเป็นการประเมินประสิทธิภาพของกลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องโพเทนทิโอสเตท (Potentiostat, Autolab PGSTAT 204, Switzerland) เมื่อเกิดการเกาะติดผิวบนขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดฟิล์มชีวภาพขึ้น และเกิดกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ จะเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอน และโปรตรอน ทำให้สามารถวัดค่าไซคลิกโวลแทมเมทรี ที่แสดงออกมาเป็นพื้นที่กราฟออกซิเดชั่น-รีดักชั่นได้ ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลในการเดินระบบ มีพื้นที่ใต้กราฟด้านบวกและด้านลบเกิดขึ้น (รูปที่ 5A,B) แสดงว่ามีปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเกิดขึ้น บ่งบอกได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์ภายในระบบสามารถนำของเสียกลีเซอรอลมาผลิตไฟฟ้าและมีอัตราการย่อยสลายสูง และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการเดินระบบโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น เกิดขึ้นน้อยกว่า ดังแสดงให้เห็นจากพื้นที่ใต้กราฟของของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงบนขั้วไฟฟ้า และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่นน้อยกว่า ดังรูปที่ 5(A,B) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ของเสียกลีเซอรอลที่เติมในระบบ มีโครงสร้างที่ซับซ้อน [12] ทำให้จุลินทรีย์ในระบบนำของเสียกลีเซลอรอลไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าการใช้น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง ในส่วนน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังนั้นนอกจากจะมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ยังมีสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำมาใช้

ในการสร้างเซลล์ และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โดยกลไกหลักในการผลิตพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ คือการย่อยสลายสารอินทรีย์ และถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าโดยตรง [11] นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากแหล่งของเสียทั้งสองที่พบว่า กำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนังมีปริมาณมากกว่าของเสียกลีเซอรอล รวมไปถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าเช่นกัน แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับข้อมูลการผลิตกำลังไฟฟ้า และการกำจัดซีโอดี จึงเป็นข้อมูลที่สามารถยืนยันได้เป็นอย่างดีว่า เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนังได้ดีกว่าการใช้ของเสียกลีเซอรอล



รูปที่ 5 (A) ไซคลิกโวลแทเมทรีของของเสียกลีเซอรอล และ (B) ไซคลิกโวลแทเมทรีของน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง

4. สรุปผล

การเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าระหว่างของเสียกลีเซอรอลและน้ำเสียโรงงานฟอกหนังโดยเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ พบว่า น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าของเสียกลีเซอรอล เนื่องจาก จุลินทรีย์แบบฟิล์มชีวภาพภายในระบบ มีประสิทธิภาพสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบ และถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าโดยตรง ทั้งยังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักภายในระบบได้ดี จึงส่งผลให้การผลิตกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่จากน้ำเสียโรงงานฟอกหนังมีประสิทธิภาพดีกว่าของเสียกลีเซอรอล

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (สัญญารับทุนเลขที่ 6244101) ที่ให้ทุนสนับสนุนจนทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency 2558 Alternative Energy Development Plan: AEDP2015, Bangkok. (in Thai)

[2] Pant D., Bogaert GV., Diels L., Vanbroekhoven K. A Review of the Substrates used in Microbial Fuel Cells (MFCs) for Sustainable Energy Production. Bioresource Technology., 2010, 101 (6), 1533-1543.

[3] Zhi W., Ge Z., and Zhanng H. Method for Understanding Microbial Community Structures and Functions in Microbial Fuel Cells: A Review. Bioresource Technology. 2014, 171, 461–468.

[4] 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, (5), 464-482. doi: 10.1016/j.biotechadv.2007.05.2017,004.

[5] Liu WF., and Cheng Sa. Microbial Fuel Cells for Energy Production from Wastewaters: The Way Toward Practical Application. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). 2014, 15, (11),841-861.

[6] Almeida, J. R M., Fávaro1, L. C. L., & Quirino, B. F. 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.

[7] Liu H., and Logan BE. Electricity Generation Using an Air-Cathode Single Chamber Microbial Fuel Cell in the Presence and Absence of a Proton Exchange Membrane. Environ. Sci. Technol., 2004, 38 (14), pp 4040–4046.

[8] American Public Health Association-American Water Works Association-Water Pollution Control Federation (APHA-AWWA-WPCF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. APHA, Washington, DC.

[9] Chontisa Sukkasem. Microbial Fuel Cell: Novel Technology “Convert Wastewater to Electricity”. KKU Engineering Journal Vol.38 No. 3 (347 - 362) July – September 2011. (in Thai)

[10] Hou B., Hu YY., Sun J., and Cao YQ. Effect of Anodic Biofilm Growth on the Performance of the Microbial Fuel Cell (MFC), 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering.

[11] Liu H., Cheng S., and Logan BE. Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell. Environ. Sci. Technol., 2005, 39, 658-662. (in Thai)

[12] Pakorn Winayanuwattikun. Green Catalytic Technologies for Biodiesel Production. Energy research Journal., 2011, 8, 61-75.

[13] Sasiya Boocha and Patcharaporn Suwanvitaya. Electricity Generation from Dairy Industry Wastewater Using Microbial Fuel Cell. The 55th Kasetsart University Annual Conference. Architecture and Engineering. (in Thai)