ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการทำน้ำหมักชีวภาพ

A Possibility of Electricity Production from Bio–Fermented Juice Manufacturing

สุธิดา บุญนาค[1], วาสนา หวานอารมณ์[1], เพชร เพ็งชัย[2*]

Sutida Boonnak[1], Wassana Wan-A-Rom[1], Petch Pengchai[2]

Received: 30 September 2016 ; Accepted: 1 February 2017

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการหมักน้ำหมักชีวภาพ การทดลองช่วงแรกเป็นศึกษารูปแบบถังหมักและสูตรน้ำหมักชีวภาพที่สามารถใช้สร้างเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพได้ ผลการทดลองพบว่าถังปฏิกรณ์เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพห้องเดี่ยวแบบไม่ใช้เมมเบรนที่ทำขึ้นจากถังหมักน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชร่วมกับหัวเชื้ออีเอ็ม มีค่าความต่างศักย์ในวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: OCV) สูงสุดและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า (Short Circuit Current: SCC) ได้คงที่ที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักน้ำหมักชีวภาพอีก 2 สูตร คือ 1) สูตรเปลือกผลไม้ร่วมกับสารเร่ง พด.2 และ 2) สูตรเศษอาหารร่วมกับสารเร่ง พด.6 การทดลองช่วงที่สองเป็นการสำรวจค่าทางไฟฟ้าตลอดจนคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพตามรูปแบบและสูตรหมักที่เลือก ผลการทดลองพบว่าการหมักน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชและหัวเชื้ออีเอ็มเป็นระยะเวลา 20 วัน ทำให้เกิดค่า OCV อยู่ในช่วง 457 - 780 mV มีค่า SCC อยู่ในช่วง 4.25 - 7.78 mA และมีค่ากำลังไฟฟ้าในอุดมคติ (Ideal Electrical Power) อยู่ระหว่าง 1.942 - 6.028 mW ซึ่งคิดเป็นค่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ความหนาแน่นความต่างศักย์ไฟฟ้า และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 778 mA/m^2, 78 V/m^2 และ 606.84 mW/m^2 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบต่างๆในถังหมักมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาหมัก โดยปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 141.51 mg/l - 1433.11 mg/l ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0.84 mg/l - 13.11 mg/l ปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 1.57 mg/l - 516.65 mg/l ปริมาณซีโอดี อยู่ในช่วง 43,478.26 mg/l - 150,000.00 mg/l น้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์แล้วมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มใสคล้ายกับกากน้ำตาลที่ผสมกับน้ำ ไม่ขุ่นดำ มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 3-4 และมีกลิ่นฉุนเหมือนกลิ่นแอลกอฮอล์ผสมกับกลิ่นเปรี้ยวของกากน้ำตาล แต่ไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า

คำสำคัญ: น้ำหมักชีวภาพ เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ความต่างศักย์ในวงจรเปิด ซีโอดี

Abstract

This research is an approach to produce electricity from bio-fermented juice manufacturing. There were two phases to the experiment. The first phase was carried out to determine the types of bio-fermented juice and fermenting tanks that could possibly develop into a microbial fuel cell for electricity production. As a result, a membrane-less single chamber fermenting tank producing bio-fermented juice made from weed and Effective Microorganisms (EM) proved to be the best alternative. Its open circuit voltage (OCV) was the highest while its short circuit current (SCC) remained constant compared to 2 other types of fermentation juices, 1) fruit peel fermented with no. 2 bio-fertilizer (LDD2) and 2) food waste fermented with no. 6 bio-fertilizer (LDD6). The second phase of the experiment was done to investigate the electrical parameters as well as the quality of bio-fermented juice made from weed and EM. The results revealed that within 20 days of the fermenting period, the membrane-less single chamber produced OCV in the range of 457 - 780 mV, SCC in the range of 4.25 - 7.78 mA and ideal electrical power between 1.942 - 6.028 mW. Consequently,

---

[1] *นิสิตปริญญาตรี,* [2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*

[1] *Bachelor degree student,* [2] *Assistant Professor, Environmental Engineering Laboratory, Engineering Faculty, Mahasarakham University, Mahasarskham, Thailand.*

[*] *Corresponding author: Petch Pengchai, E-mail: petchpengchai@zoho.com*

the calculated maximum current density, potential density and power density were 778 mA/m^2, 78 V/m^2, and 606.84 mW/m^2, respectively. Concentrations of the following compounds in the fermented juice tended to decline over the period of fermentation. Ammonia was in the range of 141.51 mg/l - 1433.11 mg/l, nitrate 0.84 mg/l - 13.11 mg/l, nitrite 1.57 mg/l - 516.65 mg/l, and Chemical Oxygen Demand (COD) was 43,478.26 mg/l - 150,000.00 mg/l. Color of the completely fermented juice was dark brown like that of molasses mixed with water without dark turbidity; its pH ranged between 3-4. The juice smelled like an alcohol mixed with sour smell of molasses. No rotten smell was observed.

Keywords: bio-fermented juice, microbial fuel cell, open circuit voltage, short circuit current, COD

บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งในระดับครัวเรือน ระดับชุมชน ตลอดจนระดับอุตสาหกรรม และขณะนี้ทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาขาดแคลนเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจาก ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่เดิมมีราคาสูงขึ้นและมีปริมาณลดน้อยลง จากเหตุดังกล่าว จึงก่อให้เกิดแนวคิดในการหาแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ตามมาและเป็นที่ยอมรับของสังคม ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการหมักไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น การผลิตน้ำหมักและปุ๋ยชีวภาพ การกำจัดขยะอินทรีย์ และการนำไปใช้ผลิตเชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพ เป็นต้น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่จับตามองภายในสิบกว่าปีที่ผ่านมาคือ เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial fuel cells)

เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial fuel cells) นำพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีไปเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าผ่านกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ย่อยเศษขยะอาหารหรือชีวมวลจะทำให้ได้แก๊สมีเทนและเกิดอิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าแอโนดไปยังขั้วไฟฟ้าแคโทด จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ หากสามารถนำกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพมาใช้ผลิตไฟฟ้าควบคู่กับการหมักแก๊สชีวภาพ การทำน้ำหมักชีวภาพและการทำปุ๋ยหมักชีวภาพ ก็จะสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานไปใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่งโดยไม่เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อม ไม่มีมลพิษตกค้าง ช่วยจัดการปัญหาขยะจากเศษอาหารและชีวมวล เป็นต้น

ปัจจุบันการค้นคว้าและวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเริ่มได้รับความสนใจ ปิยรัตน์ และคณะ[1] ได้สร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสัปปะรดและเตรียมจากกล้วย ผลการทดลองพบว่าความต่างศักย์ของเซลล์สูงสุดมีค่า 500 mV หรือ 0.5 V โดยความต้านทานรวมของวงจรเซลล์ไฟฟ้ามีค่า 4 kΩ เมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป 3 วัน เซลล์ไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสัปปะรดมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (current density) ความหนาแน่นของของความต่างศักย์ (potential density) และ ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (power density) เท่ากับ 25.52 mA/m^2, 104.69 V/m^2 และ 12.59 mW/m^2 ตามลำดับ Satish และคณะ[2] ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากน้ำชะขยะเศษอาหารโดยสร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพชนิดห้องคู่ใช้เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนกั้นระหว่างห้องแคโทดและแอโนด ผลการทดลองพบค่าความต่างศักย์ในวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: OCV) ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเท่ากับ 1.12 V สำหรับน้ำชะขยะที่มีซีโอดี 5000 mg/L เมื่อนำเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพมาต่อกับความต้านทาน 105 Ω พบว่ามีค่า current density เท่ากับ 66.75 A/m^3 ค่า power density เท่ากับ 15.14 W/m^3 Azizul และคณะ[3] ทดลองนำขยะห้องครัวที่ประกอบไปด้วยเศษผัก ผลไม้และของเสีย 120 g ซากใบไม้ 120 g หัวเชื้ออีเอ็ม (Effective Micro-organisms: EM) 15 g และน้ำกลั่น 80 g ใส่ลงในภาชนะสี่เหลี่ยมขนาด 10 x 10 cm หมักทิ้งไว้ 45 วัน ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ผลการทดลองพบว่าค่า OCV ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเท่ากับ 590 mV เมื่อนำเซลล์เชื้อเพลิงมาต่อกับค่าความต้านทาน 51 Ω พบว่าได้ค่า current density เท่ากับ 1156 mA/m^2 ค่า power density เท่ากับ 682 mW/m^2

จากงานวิจัยข้างต้น กล่าวได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพผลิตได้ยังมีปริมาณน้อย และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในสร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ เช่น เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ขั้วไฟฟ้า และสารนำไฟฟ้า ยังคงหาไม่ได้ง่ายนักในชุมชน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยเราเกิดกระแสความนิยมผลิตน้ำหมักชีวภาพใช้เอง จึงมีหลายครัวเรือนที่มีกิจวัตรในการหมักเศษผักผลไม้และเศษอาหาร เรียกได้ว่ามีวัตถุดิบพร้อมสรรพในการผลิตเซลเชื้อเพลิงจุลชีพ ในการนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาการหมักน้ำหมักชีวภาพในระดับครัวเรือนให้กลายเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโดยงดการใช้อุปกรณ์ที่หาได้ยากในท้องถิ่น เช่น เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ หรือ ขั้วไฟฟ้าประเภทโลหะราคาสูง ตลอดจนสารเคมีนำไฟฟ้าจำพวกโลหะหนักที่เป็นพิษ เพื่อเป็นแนวทาง

ในการพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกให้กระจายเข้าไปในการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนและการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะอินทรีย์ในปริมาณมากต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

สำรวจความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ และคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยวที่สร้างจากถังหมักน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในครัวเรือน

การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. การสร้างถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ 1 ถัง สร้างมาจากถังดำพร้อมฝาปิด ขนาด 57 ลิตร ถูกเจาะรูที่ถัง 2 รู ขนาด ½" รูที่ 1 ห่างจากก้นถังประมาณ 10 เซนติเมตร และรูที่ 2 อยู่ห่างจากรูที่ 1 ประมาณ 15 เซนติเมตร ติดตั้งประตูน้ำ เพื่อง่ายต่อการเก็บตัวอย่างน้ำในการนำไปตรวจวัดค่าต่างๆ (Figure1)

Figure 1 Single-chamber Microbial fuel cell used in this study

2. การทำน้ำหมักชีวภาพ

ถังปฏิกรณ์ถังที่ 1 ใช้หมักน้ำหมักชีวภาพ สูตรใช้พืช (เปลือกผลไม้) และสารเร่ง พด.2 เริ่มจากหั่นเปลือกผลไม้และเศษผักให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมคลุกเคล้ากับกากน้ำตาลในถังที่เตรียมไว้ดังแสดงใน Figure 2 นำสาร พด. 2 ผสมกับน้ำสะอาด 10 ลิตร ที่เตรียมไว้ คนจนให้สาร พด.2 แตกตัว และละลายในน้ำ เทน้ำที่ผสมกับสาร พด.2 ลงในถังหมัก 55 ลิตร คนให้ส่วนผสมทุกอย่างเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่ร่ม ปิดฝาแต่ไม่ต้องต้องสนิทมาก เพราะจะมีแก๊สเกิดขึ้นระหว่างการหมัก ตั้งทิ้งไว้ 15-20 วัน

Figure 2 Fruit peel fermented with no. 2 bio-Fertilizer (LDD2)

ถังปฏิกรณ์ถังที่ 2 ใช้หมักน้ำหมักชีวภาพ สูตรใช้เศษอาหารและสารเร่ง พด.6 เริ่มจากนำเศษอาหาร 10 กิโลกรัม และกากน้ำตาล 2 กิโลกรัม ผสมลงในถังที่เตรียมไว้ดังแสดงใน Figure 3 ละลายผง พด.6 ลงในน้ำ 10 ลิตร ที่เตรียมไว้ แล้วเทลงในถังหมักคลุกเค้าหรือคนให้เข้ากัน ปิดฝาไม่ต้องสนิท ตั้งไว้ในที่ร่มอากาศถ่ายเทตั้งทิ้งไว้ ใช้เวลาหมัก 20 วัน

Figure 3 Food waste fermented with no. 6 bio-fertilizer (LDD6)

ถังปฏิกรณ์ถังที่ 3 ใช้หมักน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชและหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มที่นำมาจากนายสุข หวานอารมณ์[4] การหมักเริ่มจากนำวัชพืช เช่น หญ้า ผักตบชะวา ยอดสะเดา สาบเสือ เป็นต้น มาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆบรรจุลงในถังที่เตรียมไว้ ดังแสดงใน Figure 3 ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็ม 1.5 ลิตร และกากน้ำตาล 2 กิโลกรัม เทลงในน้ำ 55 ลิตรที่เตรียมไว้ แล้วนำน้ำดังกล่าวเทลงในถังที่มีวัชพืช และปิดฝาเก็บไว้ในที่ร่ม เมื่อหมักได้ 3 วัน ให้คนวัชพืชในถัง หมักต่ออีกเป็นเวลา 20 วัน จากนั้นเทน้ำในถังใส่ขวด แล้วกรองเศษวัชพืชออก

Figure 4 Weed fermented with EM

3. การวางขั้วแอดโนดและขั้วแคโทด

ขั้วแอโนดและขั้วแคโนดทำจากแผ่นกราไฟต์จากบริษัทโตโย ทันโซะ ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร โดยนำสายไฟทองแดงยาวประมาณ 1 เมตร มาต่อกับคลิปแล้วหนีบกับแผ่นกราไฟต์ไว้ แผ่นกราไฟต์ขั้วแอโนดถูกวางอยู่บริเวณด้านล่างของถังที่ความสูงจากก้นถังประมาณ 10 เซนติเมตร ส่วนแผ่นกราไฟต์ขั้วแคโทดจะวางบริเวณผิวน้ำ โดยครึ่งหนึ่งของแผ่นจะจุ่มลงในน้ำหมักชีวภาพ กส่วนอีกครึ่งหนึ่งของแผ่นจะสัมผัสกับส่วนที่เป็นที่ว่างเหนือผิวน้ำ ทั้งนี้ภายในถังหมักเหลือพื้นที่ส่วนบนไว้ประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการระเบิดเนื่องจากแรงดันก๊าซในถังหมัก

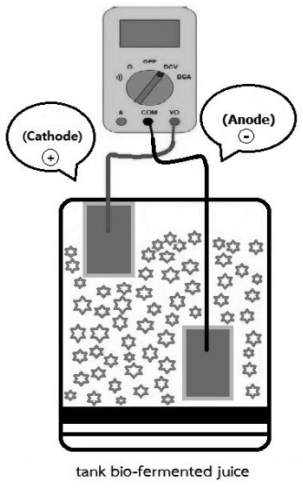


Figure 5 Positions of anode and cathode in single-chamber microbial fuel cell

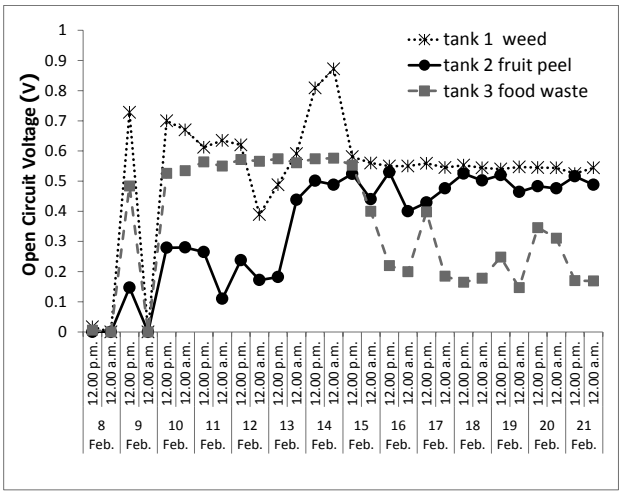


Figure 6 Change in OCV during fermentation period.

วิธีการศึกษา

1. การทดลองหาสูตรหมักน้ำหมักชีวภาพและรูปแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากถังน้ำหมัก

ใช้ถังปฏิกรณ์เซลล์เชื้อเพลิง 3 ถัง แต่ละถังใช้หมักน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรรวมเป็นทั้งหมด 3 สูตรดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ขณะดำเนินการหมักได้ตรวจวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดโดยไม่ต่อตัวต้านทาน (OCV) และวัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นไปได้โดยการต่อขั้วแคโทดกับขั้วแอโนดเข้าด้วยกันโดยไม่ผ่านตัวต้านทาน (Short Circuit Current: SCC) การวัดทำในเวลา 12 นาฬิกา และ 24 นาฬิกา คิดเป็นความถี่ 2 ครั้งต่อวัน โดยจะต่อไฟฟ้าเฉพาะเวลาที่จะวัด ทำเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลาหมัก 20 วัน

2. การทดลองเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

นำผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาเลือกสูตรหมักน้ำหมักชีวภาพที่จะใช้ในการทดลองนี้ จากนั้นจึงเริ่มหมักน้ำหมักใหม่อีกครั้งตามสูตรที่เลือก ตรวจวัดค่าOCV ค่า SCC อุณหภูมิภายในถังหมักและอุณหภูมิภายนอกถัง ในเวลา 12 นาฬิกา และ 24 นาฬิกา คิดเป็นความถี่ในการวัด 2 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 20 วัน นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำหมักในถังทุกๆ 3 วัน เพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าซีโอดี ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วได้ตรวจสอบค่าพีเอช สี และ กลิ่น เพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของน้ำหมักชีวภาพที่หมักได้

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาเพื่อเลือกสูตรน้ำหมักชีวภาพและเลือกรูปแบบถังปฏิกรณ์

จากผลการทดลองใน Figure 6 ถังน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชมีค่า OCV สูงสุดอยู่ที่ 0.876 V ในวันที่ 6 ของการทำน้ำหมัก และหลังจากวันที่ 7 ของการทำน้ำหมัก มีแนวโน้มที่จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 0.5 - 0.6 V ส่วนถังน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกผลไม้มีค่า OCV สูงสุดอยู่ที่ 0.530 V ในวันที่ 8 ของการหมัก และหลังจากวันที่ 8 ของการหมักพบว่ามีแนวโน้มที่จะคงที่อยู่ในช่วง 0.4 - 0.5 V สำหรับถังน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารมีค่า OCV สูงสุดเท่ากับ 0.576 V ในวันที่ 6 ของการทำน้ำหมัก และมีแนวโน้มที่จะลดลงเหลือ 0.1-0.3 V ในช่วงวันที่ 7-14 ของการหมัก หลังจากวันที่ 15 ของการหมักค่า OCV มีแนวโน้มที่จะคงที่อยู่ในช่วง 0.3-0.4 V ผลนี้แสดงให้เห็นว่าการหมักน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชให้ค่า OCV ที่สูงและคงที่กว่าการหมักน้ำหมักชีวภาพสูตรอื่นๆ

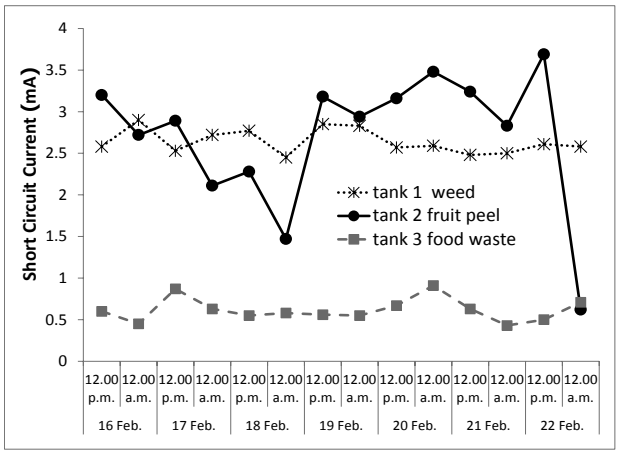


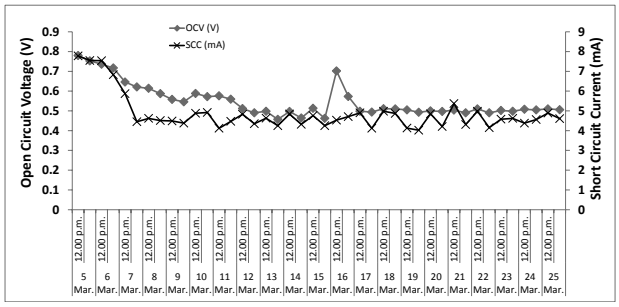
Figure 7 Change in SCC during fermentation period.

ในส่วนของค่า SCC ผลเป็นดังแสดงใน Figure 7 พบว่าถังน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชมีค่า SCC ค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 2-3 มิลลิแอมป์ ส่วนถังน้ำหมักชีวภาพจากเปลือก

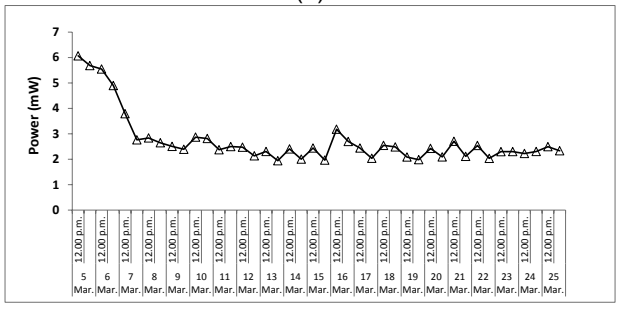
ผลไม้นั้นพบว่ามีค่า SCC สูงสุดอยู่ที่ 3.69 มิลลิแอมป์ แต่เมื่อเวลาผ่านไปกลับมีค่าขึ้นๆลงๆ ไม่ค่อยคงที่โดยช่วงที่ SCC มีค่าต่ำก็ลดลงเหลือเพียง 0.4 มิลลิแอมป์ สำหรับถังน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหาร แม้จะมีค่า SCC อยู่ในช่วง 0.4-1 มิลลิแอมป์ ซึ่งคงที่กว่าถังน้ำหมักชีวภาพทั้ง 2 สูตรที่ผ่านมา แต่ก็ถือว่าผลิตกระแสไฟฟ้าได้น้อยมาก จากผลข้างต้น ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกสูตรน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชซึ่งมีค่า OCV และ SCC อยู่ในระดับไม่ต่ำและค่อนข้างเสถียรตลอดระยะเวลาหมักมาใช้ในการทดลองส่วนต่อไป

2. ผลการเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

1) ค่าทางไฟฟ้าระหว่างการหมักน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืช



(a)



(b)

Figure 8 (a) Changes of OCV and SCC during fermentation period, (b) Change of ideal electrical power during fermentation period

พบว่า OCV และ SCC ของถังหมักน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชในการทดลองครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.475-0.78 V และ 4.02-7.78 มิลลิแอมป์ เมื่อนำค่า OCV และ SCC ที่วัดได้มาคูณกันจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในอุดมคติซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.942-6.028 มิลลิวัตต์ ดังแสดงใน Figure 8 ทั้งนี้ Current density, Potential density และ Power density สูงสุดต่อพื้นที่ผิวขั้วแอโนดของถังน้ำหมักมีค่าเท่ากับ 778 มิลลิแอมป์ต่อตารางเมตร 78 โวลต์ต่อตารางเมตร และ 606.84 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2) ค่าทางเคมีระหว่างการหมักน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืช

ความเข้มข้นซีโอดี แอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ของน้ำหมักบริเวณด้านบนและด้านล่างถังเป็นดังแสดงใน Figure 9 ในส่วนของซีโอดีพบว่าน้ำหมักด้านบนถังมีค่าต่ำกว่าด้านล่างของถังเล็กน้อย แต่ในส่วนของแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรทนั้นพบว่าน้ำหมักทั้งด้านบนและด้านล่างถังมีค่าใกล้เคียงกัน โดยรวมแล้วพบว่าตลอดระยะเวลาหมักภายในถังหมักมีปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 141.51 mg/l - 1433.11 mg/l ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0.84 mg/l - 13.11 mg/l ปริมาณไนไตรทอยู่ในช่วง 1.57 mg/l - 516.65 mg/l ปริมาณซีโอดี อยู่ในช่วง 43,478.26 mg/l - 150,000.00 mg/l

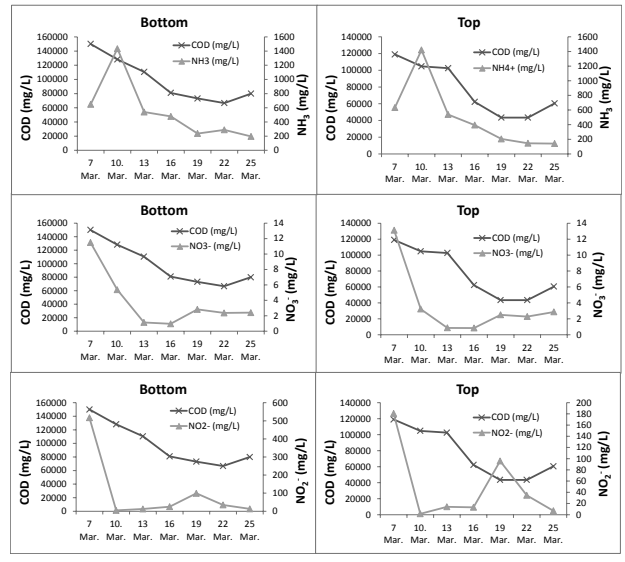


Figure 9 Comparison among concentrations of COD, NH_3, NO_3^- and NO_2^-.

เมื่อนำความเข้มข้นของซีโอดี ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ของน้ำหมักบริเวณบนและล่างถังมาเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มข้นไนเตรทกับซีโอดีมีแนวโน้มคล้ายคลึงกันคือลดลงในช่วงวันที่ 3-12 และมีค่าคงที่ถึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 12-21 ของการหมักดังแสดงใน Figure 9 ชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายซีโอดีและชนิดที่ย่อยสลายไนเตรทอาจเป็นกลุ่มเดียวกันหรือพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันจึงย่อยสลายซีโอดี และ ไนเตรท อย่างรวดเร็วในช่วง 12 วันแรกของการหมักและทำงานช้าลงหลังจากวันที่ 12 เป็นต้นไป จากแนวโน้มการลดลงของไนไตรท์กะทันหัน และการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในช่วง 3-6 วันแรก สันนิษฐานได้ว่ามีจุลินทรีย์อย่างน้อยอีก 1 กลุ่มที่มีบทบาทในถังหมักนอกเหนือไปจากกลุ่มย่อยสลายซีโอดีที่สร้างความเปลี่ยนแปลงให้กับความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรทในถังหมัก อย่างไร

ก็ตาม จากข้อมูลที่ได้ในงานวิจัยนี้ ยังไม่พบผลของการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และ ไนไตรท ที่มีต่อค่า OCV, SCC และกำลังไฟฟ้าที่ถังหมักหมักชีวภาพผลิตได้อย่างชัดเจน

3) คุณภาพของน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืช

น้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์แล้วควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3 - 4[5] ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพในวันที่สิ้นสุดการอยู่ในช่วง 3.5-4 ซึ่งถือว่าเหมาะสมแล้วสำหรับน้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์

นอกจากนี้ น้ำหมักชีวภาพควรมีสีคล้ายกับกากน้ำตาลผสมกับน้ำ กล่าวคือมีสีน้ำตาลเข้มใส ไม่ขุ่นดำ สี และควรมีกลิ่นฉุนเหมือนกลิ่นแอลกอฮอล์ผสมกับกลิ่นเปรี้ยวของกากน้ำตาล แต่จะไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า[5] ซึ่งน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากงานวิจัยนี้ (Figure 10) ก็เป็นไปตามเกณฑ์ที่กล่าวมาทุกประการ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำหมักชีวภาพที่ได้เป็นน้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์แล้ว พร้อมที่จะนำไปใช้ประโยชน์

Figure 10 Color of Bio–Fermented Juice

สรุปผลการวิจัย

การหมักน้ำหมักชีวภาพสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยพบว่าถังน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบ OCV สูงที่สุดและมีกระแสไฟฟ้าแบบ SCC คงที่ที่สุดเมื่อเทียบกับถังหมักน้ำหมักชีวภาพในอีก 2 สูตรที่ทำการทดลอง นอกจากนี้พบว่าภายในระยะเวลาหมักเพียง 1 วัน ถังน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชมี OCV สูงสุด 0.78 V มี SCC สูงสุด 7.78 mA และมีค่ากำลังไฟฟ้าในอุดมคติสูงสุด 6.028 mW ซึ่งคิดเป็นค่า Current density ค่า Potential density และค่า Power density สูงสุดเท่ากับ 778 mA/m^2, 78 V/m^2 และ 606.84 mW/m^2 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัทโตโย ทันโซะ ในความอนุเคราะห์ให้แผ่นกราไฟต์มาใช้ในงานวิจัยโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธี โพธิ์ทอง ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการตรวจวัดข้อมูลทางไฟฟ้า ตลอดจนขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้การสนับสนุนในทุกด้านเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. ปิยรัตน์ มูลศรี และคณะ. การผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ. งานวิจัยประยุกต์ (เคมี) เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 2556.
2. Satish S. Rikame, Alka A. Mungray, Arvind K. Mungray. Electricity generation from acid genic food waste leachate using dual chamber mediator less microbial fuel cell. Department of Chemical Engineering. Sardar Vallabhabhai National Institure of Technology. Surat 395007, India, 2012.
3. M. Azizul Moqsud and K. Omine, Member, BEN Japan. Bio-Electricity Generation by Using Organic Waste in Bangladesh. พ.ศ. 2554; สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2558; ได้จาก http://benjapan.org/iceab10/30.pdf
4. สุข หวานอารมณ์. การสัมภาษณ์เพื่อหาข้อมูลในการทำน้ำหมักชีวภาพ, 2559
5. กันยรัตน์ โหละสุต และคณะ. การผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียโดยใช้เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว. เอกสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ประจำปี 2550.