



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโดยใช้ต้นกกกราชินี

Electricity generation of Plant Microbial Fuel Cell (PMFC) using *Cyperus Involucratus* R.

ณัฐวุฒิ คล้ายสงคราม และ กันยรัตน์ โหละสุต*

Nuttawut Klaisongkram and Kanyarat Holasut*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 4002

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

Received January 2014

Accepted June 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (MFC) จากต้นพืชโดยใช้ต้นกกกราชินี (PMFC) จากผลของกราฟโฟลาไรเซนชัน โดยการปรับค่าความต้านทานภายนอกระหว่าง 10-12,000 โอห์ม พบว่าความต้านทานภายในของ $PMFC_1$, $PMFC_2$, MFC_1 และ MFC_2 เท่ากับ 9.78, 11.06, 9.47 และ 11.92 โอห์ม ตามลำดับ และจากผลการทดลองหาปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลอง พบว่าขนาดที่เหมาะสมของขั้วแอโนด คือ 242 ตารางเซนติเมตร และใช้ลักษณะภายในแบบมีดิน ที่ต่อความต้านทานภายนอก 100 โอห์ม จะสามารถเพิ่มความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้เท่ากับ 5.99 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตรของขั้วแอโนด นอกจากนี้ PMFC ยังสามารถบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 53.5 ในระยะเวลา 5 วัน

คำสำคัญ : เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากต้นพืช กระบวนการไรโซดีโพสิชัน ต้นกกกราชินี

Abstract

This research is a study of microbial fuel cells produce electricity from plants using *Cyperus involucratus* R. called Plant Microbial Fuel Cell (PMFC). As a result of the polarization curve, by adjusting the external resistance between 10 to 12,000 ohms, it was found that the internal resistance of $PMFC_1$, $PMFC_2$, MFC_1 and MFC_2 was 9.78, 11.06, 9.47 and 11.92 ohms respectively. The results showed that the optimum size of the anode electrode is 242 square centimeters and adding soil by using the external resistance 100 ohms. The highest average power density equaled to 5.99 milliwatts per square meter of the anode electrode. Finally the wastewater in PMFC was reduced 53.5 percent in the period of 5 days compared with un-treated wastewater.

Keywords : Microbial Fuel Cell (MFC), Plant Microbial Fuel Cell (PMFC), Rhizodeposits, *Cyperus involucratus*

* Corresponding author.

Email address: klaisongkram_n@hotmail.com (Klaisongkram, N.), kanyarat@kku.ac.th* (Holasut, K.)

doi: 10.14456/kkuenj.2015.2

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาที่สำคัญของประเทศไทย คือ พลังงานมีราคาผันผวนและมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาเรื่องพลังงานขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจาก เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ เช่น ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ และ น้ำมัน เป็นต้น และเนื่องจากแหล่งเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด และส่งผลด้านลบ ต่อสิ่งแวดล้อมในหลายๆ ด้าน

ดังนั้น จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีการแสวงหา แหล่งพลังงานทดแทนใหม่ที่มีศักยภาพสูงและเป็นมิตร ต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ [1] พลังงานลม และพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น ซึ่งการผลิต กระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial fuel cell : MFC) เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการศึกษานับตั้งแต่ยังไม่ มีวิกฤติพลังงานแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย [1-2] และในหลาย ปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยและพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ โดยการนำพืชเข้ามาช่วยในการทดลอง ซึ่งเรียกว่า “Plant Microbial Fuel Cell; PMFC” [3-11] โดยกลไกการผลิต กระแสไฟฟ้าของ MFC และ PMFC จะมีกลไกการทำงาน ที่เหมือนกัน แต่ PMFC เป็นระบบที่สามารถผลิต กระแสไฟฟ้าทางชีวภาพจากสารอินทรีย์ที่ใช้ต้นพืชเข้ามา ช่วยในการผลิต โดยกระบวนการ Rhizodeposits ที่บริเวณ รอบๆ รากพืช จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือ กระบวนการเมตาบอลิซึมอาหารของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ทำให้เกิดการปลดปล่อยโปรตอน (H^+) และอิเล็กตรอน (e^-) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น และรากพืชจะทำหน้าที่ เสมือนเมมเบรนในการลำเลียงโปรตอนขึ้นไปสู่ขั้วแคโทด ที่อยู่ด้านบน ส่วนอิเล็กตรอนจะถูกรีดิวซ์ด้วยขั้วแอโนดและ เคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกไปยังขั้วแคโทด ทำให้ได้ ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ (H_2O) เกิดขึ้น ซึ่งพืชที่เจริญเติบโตอยู่ใน ส่วนของแอโนดนั้น จะอยู่ในสภาวะที่รากจมอยู่ในน้ำทำให้เกิดลักษณะสิ่งแวดลอมที่ไม่ใช้ออกซิเจนในส่วนนี้ [4] และ PMFC ยังได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในการ ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการรวมกันของการผลิตกระแสไฟฟ้า จากเชื้อแบคทีเรียผ่านการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ และการสะสมของสารอินทรีย์ในบริเวณของรากพืช ซึ่งจุดมุ่งหมายของ PMFC คือการแปลงพลังงานแสง

อาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านการออกซิเดชันของ กระบวนการ Rhizodeposits โดยการผลิตกระแสไฟฟ้าจาก แบคทีเรียนั่นเอง [6-7] นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ในการ ผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ เช่น ขนาด ขั้วไฟฟ้า น้ำที่ใช้ในการทดลอง และลักษณะองค์ประกอบ ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ เป็นต้น

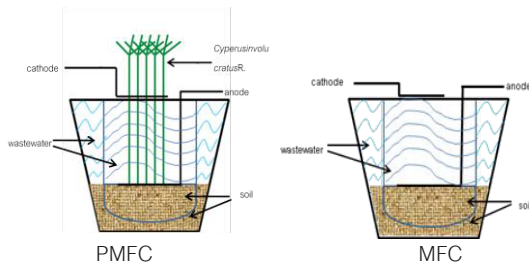
ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มี ผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจาก ต้นพืช (Plant Microbial Fuel Cell; PMFC) พร้อมทั้งศึกษา แนวโน้มของค่าซีโอดีที่ PMFC สามารถบำบัดได้ นอกจากนี้ ในการเลือกใช้ต้นกกราชินีซึ่งเป็นพืชน้ำที่ทนต่อสภาพ แวดลอมต่างๆ ได้ดี และสามารถหาได้ง่ายมาใช้ในการ ทำการทดลอง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

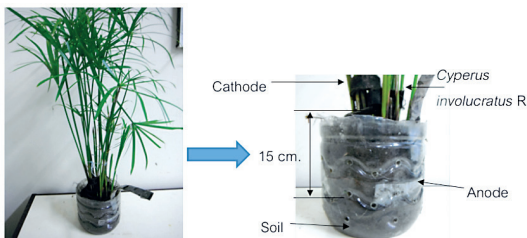
2.1 ลักษณะเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากต้นพืช (Plant Microbial Fuel Cell; PMFC)

PMFC ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นเซลล์เชื้อ เพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว (Single Chamber Microbial Fuel Cell; SCMFC) จะทำจากขวดน้ำพลาสติก ซึ่งมีเส้น ผ่านศูนย์กลาง 12.4 เซนติเมตร มีปริมาตร 4.5 ลิตร และ ทำการเจาะรูโดยรอบ ภายใน PMFC จะประกอบไปด้วยดิน บัวที่ใช้สำหรับปลูกพืชซึ่งอยู่ส่วนล่างสุด ถัดมาเป็น ส่วนของขั้วแอโนดจากนั้นนำต้นกกราชินีมาวางทับขั้วแอโนด แล้วจึงนำขั้วแคโทดมาพันให้รอบลำต้นของต้นกกราชินี ดังรูปที่ 1 และ 2 (ขั้วแอโนดและแคโทดทำจากแกรไฟต์ เพลตที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร) ต้นพืชที่ใช้คือ ต้นกกราชินี จำนวน 25 ต้น อายุประมาณ 3-4 เดือน และใช้น้ำเสียจาก บ่อบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะเกษตรศาสตร์ ซึ่งในน้ำเสียจะพบเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายกลุ่ม เช่น *Escherichia coli*, *Proteus*, *Saimonela* เป็นต้น ซึ่งสามารถ สร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย ในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ที่สามารถใช้ ซัลเฟตหรือไทโอซัลเฟต (Thaiosulfate) เป็นตัวรับ อิเล็กตรอนขั้นสุดท้ายในลูกโซ่การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport chain) แล้วทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ขึ้น โดยส่วนประกอบของชุดการทดลองจะแบ่งออก

ดังตารางที่ 1 และในการเก็บข้อมูลค่าทางไฟฟ้า PMFC จะถูกต่อเข้ากับโวลต์ที่มีความต้านทาน 100 โอห์ม แล้วบันทึกข้อมูลของความต่างศักย์ที่ได้ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 180 นาที ในช่วงเวลากลางวัน โดยใช้เครื่องแปลงสัญญาณ (Data logger: R1M-GH2/MSR; M-SYSTEM, Osaka, Japan). และบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1 ภาพตัดขวางของ PMFC และ MFC



รูปที่ 2 ลักษณะของ PMFC

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของชุดการทดลอง PMFC และ MFC ขนาด 4.5 ลิตร

ชนิด	ดิน	ต้นไม้	น้ำเสีย	น้ำประปา
PMFC ₁	/	/	/	
PMFC ₂			/	
MFC ₁	/		/	
MFC ₂			/	
MFC ₃				/
MFC ₄	/			/

2.2 วิเคราะห์ผล

2.2.1 กราฟโวลตาไรเซชัน

การทำกราฟโวลตาไรเซชัน จะทำการต่อเซลล์เข้ากับความต้านทานภายนอกและเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยเริ่มจาก OCV (Open Cell Voltage), 12,000 Ω, 10,000

Ω, 5,000 Ω, 2,000 Ω, 1,000 Ω, 900 Ω, 800 Ω, 700 Ω, 600 Ω, 500 Ω, 400 Ω, 300 Ω, 200 Ω, 100 Ω, 50 Ω, 10 Ω แล้วย้อนกลับไปที่ 10, 50 Ω, 100 Ω, 200 Ω, 300 Ω, 400 Ω, 500 Ω, 600 Ω, 700 Ω, 800 Ω, 900 Ω, 1,000 Ω, 2,000 Ω, 5,000 Ω, 10,000 Ω, 12,000 Ω, OCV. ซึ่งกราฟโวลตาไรเซชันจะถูกสร้างโดยใช้ความต้านทานภายนอกที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าความชันสมบูร์นของกราฟระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าคือ ค่าประสิทธิภาพความต้านทานภายใน (Effective internal resistance, r) และ จุดตัดบนแกน Y คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force, E) ซึ่งจะมีค่าคงที่สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งๆ

$$V = E - rI \quad (1)$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ (Voltage), E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force), r คือ ความต้านทานภายใน (Internal resistance) และ I คือ กระแสไฟฟ้า (Current density)

2.2.2 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า

การทำกราฟความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะทำการคำนวณจากสมการ

$$P = IV \quad (2)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (Power density), V คือ ความต่างศักย์ (Voltage) และ I คือ กระแสไฟฟ้า (Current density)

2.2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพคูลอมบ์ (Coulombic efficiency; C_E)

ในการดึงเอาอิเล็กตรอนที่เก็บอยู่ในสารชีวมวลเพื่อเปลี่ยนไปเป็นกระแสไฟฟ้าและเพื่อให้ได้พลังงานจากระบบกลับคืนมาใช้ได้ ซึ่งการดึงอิเล็กตรอนออกมาแสดงถึงค่าประสิทธิภาพคูลอมบ์ (Coulombic efficiency) นิยามได้เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของการได้อิเล็กตรอนกลับคืนในรูปกระแสไฟฟ้าเทียบกับสารอินทรีย์เริ่มต้น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพคูลอมบ์ (Coulombic efficiency; C_E) ของ PMFC สำหรับสารตั้งต้นที่มีความซับซ้อนหรือในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป สามารถคำนวณได้จากสมการ [1,13] ดังแสดงในสมการที่ 3

$$C_E = \frac{M_{O_2} \int_0^{t_b} Idt}{Fn_{O_2} v_{An} \Delta COD} \quad (3)$$

เมื่อ M_{O_2} คือ น้ำหนักโมเลกุลของออกซิเจน

n_{O_2} คือ จำนวนโมลอิเล็กตรอนต่อจำนวนโมลของออกซิเจน

ΔCOD คือ ผลต่างของค่าซีไอดีเริ่มต้นและค่าซีไอดีสุดท้ายในช่วงเวลา t_b

F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ มีค่าเท่ากับ 96,485 คูลอมป์ต่อโมลอิเล็กตรอน

v_{An} คือ ปริมาตรของเหลวในส่วนของห้องแอโนด

t คือ เวลา

2.2.4 การวิเคราะห์ค่า COD

ในการวิเคราะห์หาค่า COD ของน้ำเสียนั้นจะใช้วิธีฟลักซ์แบบปิด

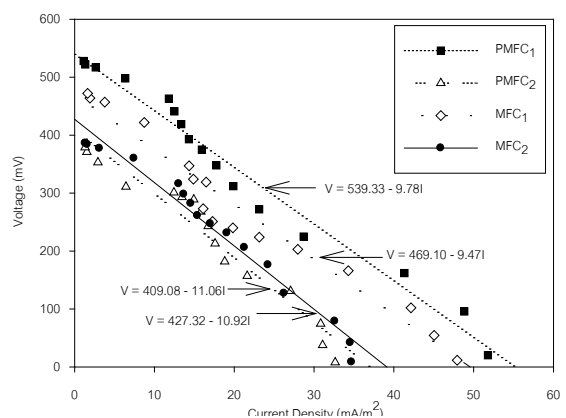
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 กราฟโวลตาไรเซนชัน

ในการทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนความต้านทานภายนอกจาก 10-12,000 โอห์ม โดยใช้ $PMFC_1$, $PMFC_2$, MFC_1 และ MFC_2 ซึ่งความต้านทานภายในสามารถพิจารณาโดย เมื่อนำกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ มาเขียนกราฟดังรูปที่ 3 พบว่าเส้นกราฟระหว่าง กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ สามารถพิจารณาแนวโน้มให้เป็นเส้นตรง และเมื่อใช้ข้อมูลหาความสัมพันธ์กับสมการที่ (1)

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า $PMFC_1$, $PMFC_2$, MFC_1 และ MFC_2 มีค่าความต้านทานภายในเท่ากับ 9.78, 11.06, 9.47 และ 11.92 โอห์ม ตามลำดับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความต้านทานภายในต่อกำลังไฟฟ้าที่ได้ พบว่าที่ความต้านทานภายในต่ำ ($PMFC_1$ และ MFC_1) จะสามารถผลิตค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่าที่ความต้านทานภายในสูง ($PMFC_2$ และ MFC_2) เนื่องจากโหลดที่มีค่าความต้านทานภายนอกสูงจะส่งผลให้เกิดแรงต้านอัตราการไหลของอิเล็กตรอนในวงจรไฟฟ้า ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้น้อยลง แต่ถ้าลดขนาดโหลดที่มีความต้านทานภายนอกให้ต่ำเกินไปอิเล็กตรอนจะสามารถ

เคลื่อนที่ได้มากขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อการผลิตปล่อยอิเล็กตรอนในกระบวนการเมตาบอลิซึมของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เร่งขนถ่ายอิเล็กตรอนไปยังส่วนแอโนดเร็วเกินไปจึงเกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนในระบบ ดังนั้นถ้าความต้านทานภายในสูงจะเกิดการสูญเสียพลังงานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับความต้านทานภายในมาก จึงส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ได้ต่ำ (Shot circuit current) และส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมามีค่าน้อยกว่าที่ความต้านทานภายในต่ำ [11-13]



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ที่ต่อความต้านทานภายนอก 10-12,000 โอห์ม โดยใช้ $PMFC_1$, $PMFC_2$, MFC_1 และ MFC_2

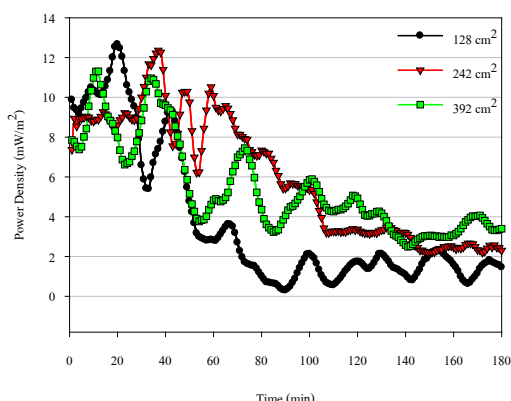
3.2 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของ PMFC

3.2.1 ผลของขนาดขั้วแอโนด

จากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของ $PMFC_1$ ที่ขนาดขั้วแอโนด 128, 242 และ 392 ตารางเซนติเมตร พบว่าสามารถผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้เท่ากับ 3.70, 5.99 และ 5.45 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตรของขั้วแอโนด ตามลำดับ

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าขั้วแอโนดขนาด 242 ตารางเซนติเมตร สามารถผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้สูงกว่าขั้วแอโนดขนาด 128 และ 392 ตารางเซนติเมตร เท่ากับ 1.62 และ 1.10 เท่า ซึ่งความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดขั้วแอโนดจนถึง 242 ตารางเซนติเมตร แต่มีค่าลดลงที่ขั้ว

แอโนดขนาด 392 ตารางเซนติเมตร เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนของขั้วแอโนดมีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และถ้าขนาดขั้วมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะมีพื้นที่การสัมผัสอิเล็กตรอนได้มากขึ้นด้วย แต่ถ้าขนาดของขั้วไฟฟ้ามีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้เกิดการอัดแน่นของขั้วไฟฟ้าที่ขั้วแอโนด ทำให้ปริมาตรการเกิดกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ใน PMFC มีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้มีค่าลดลง [13]



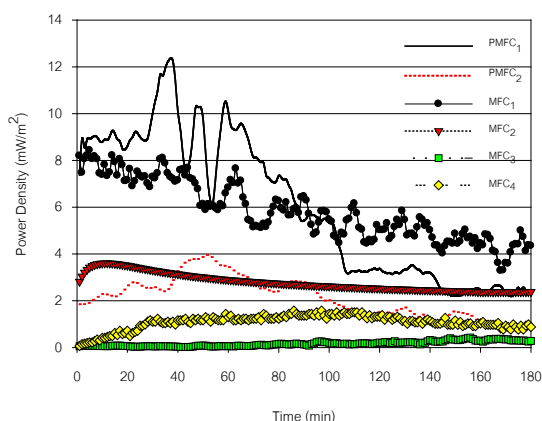
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ขนาดขั้วแอโนด 128, 242 และ 392 ตารางเซนติเมตร

3.2.2 ผลของการใช้ต้นกกกราชินี (PMFC) และไม่ใช่ต้นกกกราชินี (MFC)

จากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของ PMFC₁ และ PMFC₂ พบว่าสามารถผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้เท่ากับ 5.99 และ 2.12 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตรของขั้วแอโนดตามลำดับ ส่วนความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของ MFC₁, MFC₂, MFC₃ และ MFC₄ จะเท่ากับ 5.82, 2.79, 0.16 และ 1.08 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตรของขั้วแอโนดตามลำดับ

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า PMFC₁ สามารถผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้มากกว่า MFC₁ เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าต้นกกกราชินีมีส่วนช่วยให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งหากมีการทดลองระยะเวลาที่นานขึ้นเพื่อให้ต้นกกกราชินีมีการเจริญเติบโตขึ้น น่าจะสามารถผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้มากขึ้นตามไปด้วย และจาก PMFC₁ และ MFC₁ ที่มี

ลักษณะภายในแบบใส่ดินจะให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าแบบอื่น เนื่องจากภายในดินประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ และอินทรีย์วัตถุที่มีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ [14-19] ซึ่งมีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย ทำให้มีส่วนช่วยให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของ PMFC₂ น้อยกว่า MFC₂ ซึ่งเกิดจากที่จุลินทรีย์ขาดอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในดิน ทำให้มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่ไปเกาะยังรากของต้นกกกราชินีน้อยลง จึงทำให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าน้อยตามไปด้วย



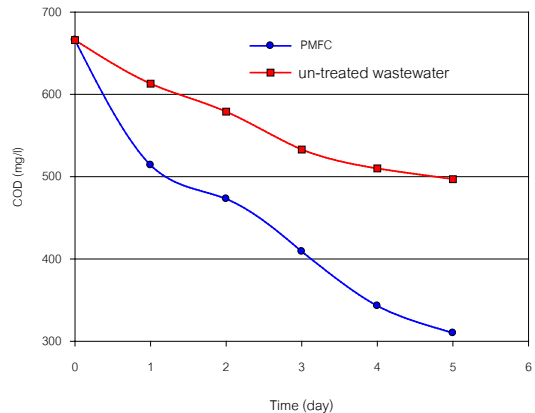
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของ PMFC และ MFC แบบต่างๆ

3.3 การบำบัดน้ำเสีย

จากรูปที่ 6 ซึ่งแสดงแนวโน้มของค่าซีโอดีที่ PMFC สามารถบำบัดได้นั้น พบว่าค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลงจาก 666 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 310 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 5 วัน ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 53.5 หรือคิดอัตราการลดลงเฉลี่ยได้เท่ากับ 71.2 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน เมื่อเทียบกับน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งไว้ในภาชนะ พบว่ามีค่าซีโอดีลดลงจาก 666 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 497 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 5 วัน ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 25.38 หรือคิดอัตราการลดลงเฉลี่ยได้เท่ากับ 33.8 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PMFC สามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้เร็วขึ้น

3.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพคูลอมบ์ (Coulombic efficiency; C_E)

จากการคำนวณประสิทธิภาพคูลอมบ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.87 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพ คูลอมบ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีค่าน้อยกว่างานวิจัยอื่น เนื่องจากการทดลองได้ทำการทดลองแบบกะ ส่วนงานวิจัยอื่นจะทำการทดลองแบบต่อเนื่องหรือแบบกึ่งกะ โดยทำการป้อนอาหารเข้าไปทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้มีค่ามากเมื่อนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ คูลอมบ์ จึงทำให้ได้ค่าที่สูงกว่างานวิจัยนี้



รูปที่ 6 แนวโน้มซีโอดีที่สามารถบำบัดได้

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพคูลอมบ์กับงานวิจัยอื่น

Substrates	Coulombic efficiency (%)	References	Substrates	Coulombic efficiency (%)	References
Domestic Waste-water	2.87	งานวิจัยนี้	Acetate	3	[20]
Sediment	31	[8]	Nutrients	10-30	[21]
Wastewater	31 at 4°C	[16]	Acetate	12.4	[22]
	17 at 30°C		Hospital Waste-water	13	[23]
Potato Wastewater	21.1	[17]	Glucose	74	[24]
Dairy Wastewater	11.7		Hospital Waste-water	22	
Paper Wastewater	16±2	[18]	Domestic Waste-water	3-12	[25]
Acetate	22.8±0.2 for CEM*	[19]	Domestic Waste-water	20	[26]
	23.2±1.5 for AEM**		Artificial Waste-water	34	[27]

*CEM = Cation Exchange Membrane

**AEM = Anion Exchange Membran

4. สรุปวิจารณ์

จากผลการทดลองการผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโดยใช้ต้นกกกราชินี (PMFC) สามารถผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้สูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ซึ่งใช้ข้าวแอนด์ขนาด 242 ตารางเซนติเมตร และใช้ลักษณะภายในแบบมีดินที่ต่อความต้านทานภายนอก 100 โอห์ม จะสามารถเพิ่มความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้เท่ากับ 5.99 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตรของข้าวแอนด์ นอกจากนี้ PMFC ยังสามารถบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 53.5 ในระยะเวลา 5 วัน และงานวิจัยจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมในส่วนอื่นๆ เช่น พืชชนิดอื่น ผลของอัตราการเจริญเติบโตของพืชต่อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ช่วงเวลาในการทำการทดลอง เป็นต้น เพื่อให้สามารถเพิ่มความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าให้มากขึ้นและในเรื่องการต่อวงจรเพื่อควบคุมให้กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kumwachara K, Wonvicha P, Holasut K. Electricity generation by reverse electrodialysis. KKU EN J 2010;37(3):219-27.
- [2] Logan BE. Microbial Fuel Cell. New Jersey: John Wiley&Sons; 2008.
- [3] Kaku N, Yonezawa N, Kodama Y, Watanabe K. Plant/microbe cooperation for electricity generation in a rice paddy field. Applied Microbiology and Biotechnology 2008;79:43-9.
- [4] Strik DPBTB, Hamelers HVM, Snel JFH, Buisman CJN. Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. International Journal of Energy Research 2008;32(9)870-6.
- [5] Helder M, Strik DPBTB, Hamelers HVM, Kuhn AJ, Blok C, Buisman CJN. Concurrent bio-electricity and biomass production in three Plant-Microbial Fuel Cells using *Spartina anglica*, *Arundinella anomala* and *Arundo donax*. Bioresource Technology 2010;101(10): 3541-7.
- [6] Timmers R, Strik D, Hamelers H, Buisman C. Long-term performance of a plant microbial fuel cell with *Spartina anglica*. Applied Microbiology and Biotechnology 2010;86(3): 973–81.
- [7] Sukkasem C. Microbial Fuel Cell: Novel Technology “Convert Wastewater to Electricity” KKU EN J 2011;38(3):347-62.
- [8] Schamphelaire LD, Cabezas A, Marzorati M, Friedrich MW, Boon N, Verstraete W. Microbial Community Analysis of Anodes from Sediment Microbial Fuel Cells Powered by Rhizodeposits of Living Rice Plants. Applied Microbiology and Biotechnology 2010;76(6):2002-8.
- [9] Hubenova Y, Mitov M. Conversion of solar energy into electricity by using duckweed in Direct Photosynthetic Plant Fuel Cell. Bioelectro- chemistry 2012;87:185-91.
- [10] Helder M, Strik DPBTB, Hamelers HVM, Kuijken RCP, Buisman CJN. New plant-growth medium for increased power output of the Plant-Microbial Fuel Cell. Bioresource Technology 2012;104:417-23.
- [11] Timmers RA, Strik DPBTB, Hamelers HVM, Buisman CJN. Characterization of the internal resistance of a plant microbial fuel cell. Electrochimica Acta 2012;72:165-71.

- [12] Logan BE, Hamelers B, Rozendal R, Schröder U, Keller J, Freguia S, et al. Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. *Environmental Science and Technology* 2006;40(17): 5181-92.
- [13] Jansod T. Prospect of scaling up of the electricity generation by continuous flow microbial fuel cell [MEn thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2007. (in Thai).
- [14] Tiaonukuntham B. Chapter 5-6 Soil Science. [serial online] 2005 [cited 2013 Jan 30] Available from: URL: elearning.nsruc.ac.th/e-learning/soil/lesson.php (in Thai).
- [15] Zielke EA. Thermodynamic Analysis of a single chamber Microbial Fuel Cell. [online] 2012 [cited 2013 Jan 30]. Available from: URL:http://www.engr.psu.edu/ce/enve/logan/bioenergy/pdf/Zielke_E471_Project.pdf
- [16] Cheng S, Xing D, Logan BE. Electricity generation of single-chamber microbial fuel cells at low temperatures. *Biosensors and Bioelectronics* 2011;26(5):1913-7.
- [17] Kiely PD, Cusick R, Call DF, Selembo PA, Regan JM, Logan BE. Anode microbial communities produced by changing from microbial fuel cell to microbial electrolysis cell operation using two different wastewaters. *Bioresource Technology* 2010;102:388-94.
- [18] Huang L, Logan B. Electricity generation and treatment of paper recycling wastewater using a microbial fuel cell. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2008;80(2):349–55.
- [19] Rozendal RA, Hamelers HVM, Molenkamp RJ, Buisman CJN. Performance of single chamber biocatalyzed electrolysis with different types of ion exchange membranes. *Water Research* 2007;41(9):1984-94.
- [20] Strik DPBTB, Terlouw H, Hamelers HVM, Buisman CJN. Renewable sustainable biocatalyzed electricity production in a photosynthetic algal microbial fuel cell (PAM-FC). *Applied Microbiology and Biotechnology* 2008;81(4):659-68.
- [21] Velasquez-Orta SB, Curtis TP, Logan BE. Energy from algae using microbial fuel cells. *Biotechnology and Bioengineering* 2009; 103(6):1068-76.
- [22] Aelterman P, Rabaey K, Clauwaert P, Verstraete W. Microbial fuel cells for wastewater treatment. *Water Science & Technology* 2006;54(8):9.
- [23] Aelterman P, Rabaey K, Pham HT, Boon N, Verstraete W. Continuous Electricity Generation at High Voltages and Currents Using Stacked Microbial Fuel Cells. *Environmental Science & Technology* 2006;40(10):3388-94.
- [24] Rabaey K, Clauwaert P, Aelterman P, Verstraete W. Tubular Microbial Fuel Cells for Efficient Electricity Generation. *Environmental Science & Technology* 2005;39(20):8077-82.
- [25] Liu H, Ramnarayanan R, Logan BE. Production of Electricity during Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Environmental Science & Technology* 2004; 38(7):2281-5.
- [26] Liu H, Logan BE. Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane. *Environmental Science & Technology* 2004;38(14):4040–6.
- [27] Moon H, Chang IS, Kim BH. Continuous electricity production from artificial wastewater using a mediator-less microbial fuel cell. *Bioresource Technology* 2006;97(4):621-7