

เซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศ

A Single Air-Breathing Direct Ethanol Fuel Cell

ณัฐมน ชุมพลวงศ์ สุนันท์ ลิ้มตระกูล* และ เทอดไทย วัฒนธรรม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

E-mail: nattamon.chumpolvong@gmail.com, fengsul@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาให้เซลล์เชื้อเพลิงมีความสะดวกต่อการใช้งานมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจกว่าเซลล์เชื้อเพลิงระบบปิด เนื่องจากระบบไม่จำเป็นต้องป้อนอากาศด้วยความดันสูงและใช้เชื้อเพลิงชีวภาพผลิตจากการเกษตร งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงระหว่างระบบเปิดสัมผัสอากาศกับระบบปิด ซึ่งมีขนาดพื้นที่กัมมันต์ 50 cm^2 โดยใช้เมมเบรน Nafion 112 เป็นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่มีปริมาณของแพลทินัมบนคาร์บอนแบล็ค 0.4 mg/cm^2 ทั้งสองด้าน พบว่า ระบบเปิดสัมผัสอากาศมีสมรรถนะต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ป้อนอากาศได้ ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศ ได้แก่ ความเข้มข้นของเอทานอล อัตราการป้อนของเอทานอล และอุณหภูมิ พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอล 0.1 M อัตราการป้อนเอทานอล 80 ml/min และอุณหภูมิ 85°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.38 mW/cm^2 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด 4.62 mA/cm^2 ที่ 0.3 V

คำสำคัญ

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน; เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง; เซลล์เชื้อเพลิงแบบเปิดสัมผัสอากาศ

Abstract

Development of fuel cell system for convenient applications such as portable electrical supplies is necessary. An air-breathing direct ethanol fuel cell, DEFC, is proposed over a closed air DEFC because this fuel cell does not require high pressure air feeding. Moreover, ethanol which can be obtained from agricultural product is also used as fuel in this system. In this work, comparisons of performances of air-breathing and closed air DEFC's were carried out. Fuel cells of 50 cm^2 active area with Nafion 112 membrane and 0.4 mg/cm^2 of Pt/C catalyst loading on

both anode and cathode sides were fabricated and experimentally tested. The results showed that the air-breathing fuel cell, which eliminate power consumption by auxiliary devices, provides slightly lower power density than the closed air one. The effects of key operating parameters on air-breathing DEFC performance were ethanol solution concentration, anode ethanol solution flow rate and temperatures. The testing show that the best fuel cell performance was resulted using an ethanol solution concentration of 0.1 M, an anode ethanol flow rate of 80 ml/min, and a temperature of 85 °C. A maximum power density of 1.38 mW/cm² and current density of 4.62 mA/cm² at 0.3 volt are obtained.

Keywords:

proton exchange membrane fuel cell, direct ethanol fuel cell, air-breathing fuel cell

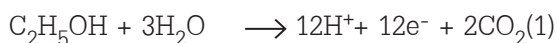
1. บทนำ

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และความร้อนโดยปราศจากกระบวนการเผาไหม้ [1] มีระบบป้อนเชื้อเพลิง 2 รูปแบบ คือ ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแบบสูบป้อน (Active) [9] ทางด้านแอโนด อาศัยการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เซลล์โดยใช้ปั๊ม ทำให้เกิดปฏิกิริยาบนชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น และมีสมรรถนะดีกว่า อีกระบบเป็นการป้อนเชื้อเพลิงแบบบรรจุถังภายใน (Passive) ที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลต่ำ ทำให้ต้องใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าระบบสูบป้อน โดยทั่วไปเชื้อเพลิงที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง คือ ก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูง แต่การจัดเก็บและการขนส่งก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นก๊าซอันตรายต้องมีระบบการจัดเก็บและการขนส่งที่ปลอดภัย ประเด็นนี้จึงเป็นจุดอ่อนของเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน ต่อมาเชื้อเพลิงเมทานอล [2] ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นทางเลือกใหม่แทนเชื้อเพลิงไฮโดรเจน เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและขนส่ง อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงเมทานอลมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเชื้อเพลิงไฮโดรเจน [3-6] อีกทั้งผลิตมาจากปิโตรเลียมจึงไม่สามารถหมุนเวียนได้ และเป็นสารมลพิษต่อสุขภาพ ดังนั้นเชื้อเพลิงเอทานอลจึงเป็นเชื้อเพลิงตัวเลือกที่น่า

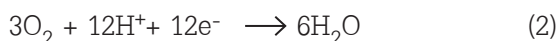
สนใจ [7-12] แทนเชื้อเพลิงเมทานอลเพราะไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถผลิตได้จากผลผลิตทางเกษตรกรรม และสะดวกต่อการจัดเก็บและการขนส่งเช่นเดียวกับเมทานอล โดยพบว่ามีประสิทธิภาพต่ำเช่นกัน ดังนั้นการออกแบบ และพัฒนาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงนี้ให้ดียิ่งขึ้น จึงเป็นที่ต้องการอยู่มาก

ระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงทางด้านแคโทดโดยทั่วไปเป็นระบบปิด ซึ่งมีขนาดใหญ่ และซับซ้อน เนื่องจากมีอุปกรณ์ช่วยในการลำเลียงอากาศ เช่น ปั๊มและคอมเพรสเซอร์ อีกทั้งใช้ความดันบรรยากาศออกซิเจนด้วยความดันสูง เพื่อให้ไหลในท่อนำก๊าซ ป้อนเข้าไปในเซลล์เชื้อเพลิง ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งานจริง อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเปิดสัมผัสอากาศ (Air-breathing fuel cell) ที่มีเผยแพร่เป็นเซลล์ที่ใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง [3,13] ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงแบบเปิดสัมผัสอากาศที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงยังไม่มีเผยแพร่ การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแบบเปิดสัมผัสอากาศ อาจจะมีอุปสรรคมากกว่าระบบปิดได้ ในประเด็นการสูญเสียโอห์ม (Ohmic loss) งานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงแบบเปิดสัมผัสอากาศที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของระบบนี้มีดังสมการ (1)-(3)

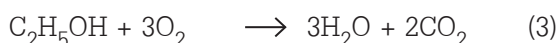
แอโนด :



แคโทด :



ปฏิกิริยารวม :



หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดังกล่าว อาศัยการพา ก๊าซออกซิเจนในอากาศไหลผ่านเซลล์ทางด้านแคโทด ซึ่งมีข้อดี คือ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากคอมเพรสเซอร์ ทำให้ระบบมีขนาดเล็ก และกะทัดรัด

ในปัจจุบันมีงานวิจัยศึกษาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลขนาดพื้นที่กัมมันต์ 25 cm^2 [12] พบว่า ได้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power density) สูงสุด 1.33 mW/cm^2 และใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst loading) ของแอโนดและแคโทด $4 \text{ mg Pt-Ru/C /cm}^2$ และ 2 mg Pt/C /cm^2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเดี่ยวป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า และลดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพื้นที่ เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยมีเป้าหมายที่จะรักษาความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าไม่ให้อดลง และลดการสูญเสียโอห์มที่เกิดจากความต้านทานภายในเซลล์เชื้อเพลิง ในการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศ ซึ่งอาศัยการพา ก๊าซออกซิเจนในอากาศไหลผ่านเซลล์ด้านแคโทด ส่วนทางด้านแอโนด ใช้ปั๊มป้อนสารละลายเอทานอลเข้าไปในเซลล์ โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศ คือ ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล และอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงต่าง ๆ ค่ากัน เพื่อหาสภาวะ

ที่เหมาะสมกับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศ และแสดงผลด้วยกราฟโพลาไรเซชัน (Polarization curve)

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1. การเตรียมส่วนประกอบอิเล็กโทรดเยื่อเลือกผ่าน (Membrane Electrode Assembly, MEA)

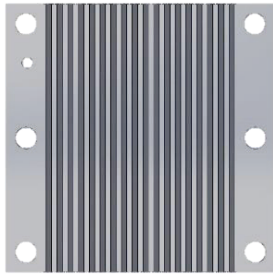
ส่วนประกอบอิเล็กโทรดเยื่อเลือกผ่านประกอบด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane) ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer) และชั้นแพร่ (Diffusion layer) ก๊าซและเชื้อเพลิง ส่วนแรกเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane, PEM) เตรียมโดยการต้มเยื่อเลือกผ่าน (Nafion 112, Dupont) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เพื่อปรับปรุงคุณภาพ [15] จากนั้นเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม 40%บนคาร์บอนแบลค (40%Pt/C HispecTM4000, Aesar) ผสมด้วยสารละลายเมทานอล (Analytical grade, Merck KGaA) และน้ำดีไอออไนซ์ จากนั้นนำสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบบนเยื่อเลือกผ่านทั้งสองด้านเป็นแอโนดและแคโทดมีปริมาณของแพลทินัม 0.4 mg/cm^2 และประกบด้วยผ้าคาร์บอน (Ce-Tech wet proofed 5% treatment) หรือกระดาษคาร์บอน (10BA, SIGRACET) เป็นชั้นแพร่ก๊าซและเชื้อเพลิง

2.2. การประกอบเซลล์เชื้อเพลิง

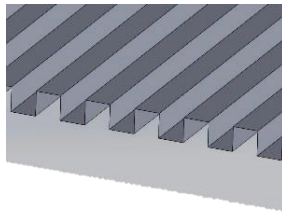
เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศ ประกอบด้วยเยื่อเลือกผ่านมีพื้นที่กัมมันต์ (Active area) 50 cm^2 ประกบด้วยปะเก็น (Gasket) เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลออกจากเซลล์เชื้อเพลิง แผ่นช่องทางไหล (Flow field) ทำจากแกรไฟต์ (Graphite grade TU4369) ด้านแอโนดแผ่นช่องทางไหลมีลักษณะแบบเลื้อยขดขนาน (Parallel serpentine flow field) 3 ช่อง โดยมีความลึก 2 mm ความกว้างของช่อง 2 mm และความกว้างของสัน 1.6 mm ด้านแคโทดแผ่นช่อง

ทางไหลมีลักษณะแบบขนาน (Parallel flow field) ดังภาพที่ 1 โดยมีความกว้างของช่อง ความลึกและ ล้น 2 mm แล้วประกบด้วยแผ่นรวมกระแส

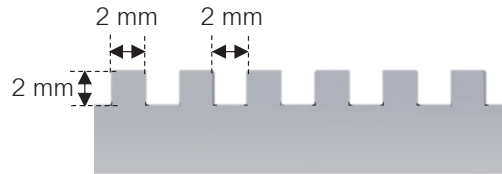
(Current collector plate) และแผ่นประกบริม (End plate) ทำจากอลูมิเนียม (Al6061-T6) โดยมีฉนวนกัน ระหว่างแผ่นประกบริมและแผ่นรวมกระแส



(ก)



(ข)



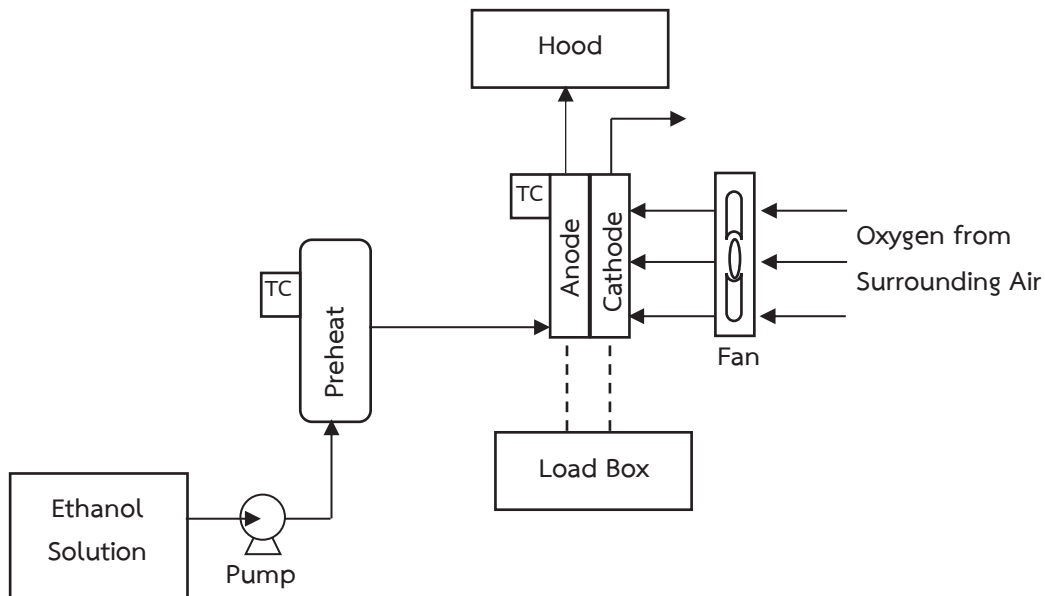
(ค)

ภาพที่ 1 แผ่นช่องทางไหลด้านแคโทดชนิดเปิดสัมผัสอากาศ (ก) แผ่นช่องทางไหลแบบขนาน (ข) ลักษณะช่อง ทางไหลตรง 3 มิติ (ค) ภาพหน้าตัดของช่องทางไหลที่มีช่องทางไหลตรง

2.3. ระบบการทดลองและวิธีการทดลอง

ทำการต่อเซลล์เชื้อเพลิงกับอุปกรณ์ควบคุมโหลด ไฟฟ้า (Load box) และอุปกรณ์วัดค่าทางไฟฟ้า จากนั้น ทำการปรับสภาพ (Conditioning) เซลล์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ 0.7 volt แล้วทำการ ทดลองโดยป้อนสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง เข้าไปในเซลล์โดยใช้ปั๊ม ซึ่งก่อนเข้าเซลล์ด้านแอโนด

สารละลายจะผ่านการให้ความร้อน และถูกควบคุม ด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ส่วนก๊าซออกซิเจนใน อากาศเคลื่อนที่เข้าเซลล์ด้านแคโทดตามธรรมชาติ ซึ่งผ่านชั้นแพร่ก๊าซไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาดังภาพที่ 2 จากนั้นแสดงผลและบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง โดยผลการทดลองที่ แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ 2 ระบบทดสอบเซลล์ของสารละลายเอทานอลระบบเปิดสัมผัสอากาศ

สภาวะการทดลองที่ใช้ ประกอบด้วย ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล 0.05-0.5 molar อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล 25-160 ml/min ซึ่งเป็นความเข้มข้นและอัตราการป้อนที่พอเพียงสำหรับระบบนี้โดยมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) [22] สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงขนาดพื้นที่กัมมันต์ 50 cm^2 และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 1 A/cm^2 ในการทดลองใช้อุณหภูมิของเซลล์ $28-85^\circ\text{C}$ อันเป็นอุณหภูมิบรรยากาศจนถึงอุณหภูมิใช้งานทั่วไปของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ป้อนด้วยไฮโดรเจน ซึ่งหากอุณหภูมิสูงกว่านี้ มักจะมีปัญหาเรื่องเยื่อเลือกผ่านแห้งและสมรรถนะเซลล์ต่ำลง

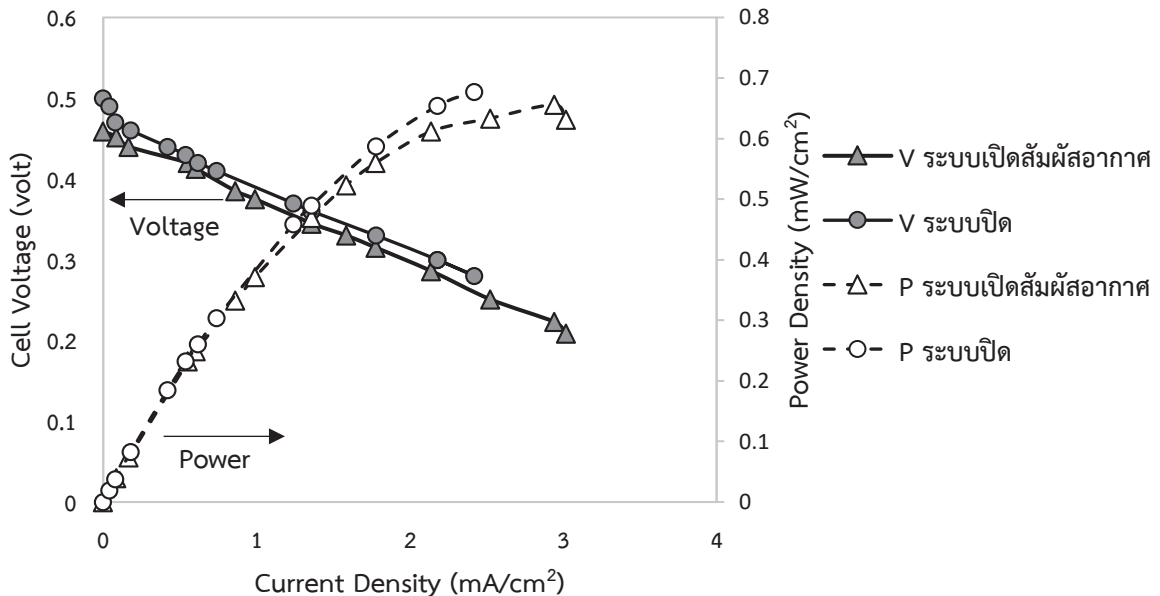
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการเปรียบเทียบเซลล์เชื้อเพลิงระหว่างระบบเปิดสัมผัสอากาศ (Air-breathing system) และระบบปิด (Closed system)

เบื้องต้นงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงระหว่างระบบเปิดสัมผัสอากาศและระบบปิด โดยทั้งสองระบบใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 mg/cm^2 ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล 0.05 molar อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอลด้านแอโนด 80 ml/min และอุณหภูมิ 85°C ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองระบบ ทางด้านแคโทดของระบบปิดใช้อัตราการป้อนอากาศ 6 L/min ซึ่งเป็นอัตราการป้อนที่มากเกินไปโดยมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตขึ้น 1 A/cm^2 สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงขนาดพื้นที่กัมมันต์ 50 cm^2 ตามกฎของฟาราเดย์ [22] ส่วนระบบเปิดสัมผัสอากาศมีอากาศเคลื่อนที่เข้าเซลล์ด้านแคโทดตามธรรมชาติ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3

จากการทดลองพบว่า ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงของระบบเปิดสัมผัสอากาศและระบบปิด เป็น 0.765 และ 0.894 mW/cm^2 ตามลำดับ ณ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.3 V โดยระบบปิดสูงกว่าประมาณร้อยละ 14 เนื่องจากระบบเปิดสัมผัสอากาศมีแรงกดระหว่างปะเก็นกับสันของแผ่นช่องทางการไหลน้อย จึงต้องใช้ปะเก็นที่มีความแข็งแรงและหนาขึ้นกว่าระบบปิดเพื่อการจัดการรั่วซึมของเอทานอล ส่งผลให้ต้องมีแผ่นการแพร่ก๊าซหนาขึ้นสอดคล้องกันด้วย ทำให้ความต้านทานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังแผ่นรวมกระแสในระบบเปิดสัมผัสอากาศสูงขึ้น และเพิ่มการสูญเสียโอห์ม [22] โดยนัยกลับกัน เซลล์เชื้อเพลิงระบบปิด ใช้ความดันป้อนอากาศที่ 1 barg เพื่อให้ไหลในท่อนำก๊าซเข้าไปในเซลล์ จึงเกิดมีแรงดันต้านการเคลื่อนที่ของสารละลายเอทานอลด้านแอโนดที่ลดต่ำลงไปยังด้านแคโทด ส่งผลให้ลดการสูญเสียลดต่ำลงของเอทานอล (Ethanol crossover loss) และความดันอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนได้ดีขึ้น และเมื่อประกอบกับการสูญเสียโอห์มน้อยกว่าระบบเปิดสัมผัสอากาศ ทำให้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เซลล์เชื้อเพลิงระบบเปิดสัมผัสอากาศ มีสมรรถนะต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงระบบปิดเล็กน้อย

แม้ว่าระบบเปิดสัมผัสอากาศมีสมรรถนะต่ำกว่าระบบปิดเล็กน้อย เมื่อพิจารณาประกอบกับจุดเด่นของระบบเปิดสัมผัสอากาศซึ่งไม่ใช้อุปกรณ์เช่นปั๊มหรือคอมเพรสเซอร์ และไม่ต้องพึ่งพาก๊าซความดันสูงในการเดินเซลล์ ทำให้มีความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้งานในอีกลักษณะหนึ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เน้นพัฒนาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงระบบเปิดสัมผัสอากาศต่อไป



ภาพที่ 3 กราฟโพลาริเซชันและความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบเซลล์เชื้อเพลิงระหว่างระบบเปิดสัมผัสอากาศและระบบปิด ณ ความเข้มข้นสารละลายเอทานอล 0.05 molar อุณหภูมิของเซลล์ 85 °C

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงระบบเปิดสัมผัสอากาศ

หัวข้อนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงระบบเปิดสัมผัสอากาศ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล 0.05-0.5 molar อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล 25-160 ml/min และอุณหภูมิของเซลล์ 28-85 °C เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

3.2.1. อิทธิพลของความเข้มข้นของเอทานอลของเซลล์เชื้อเพลิง

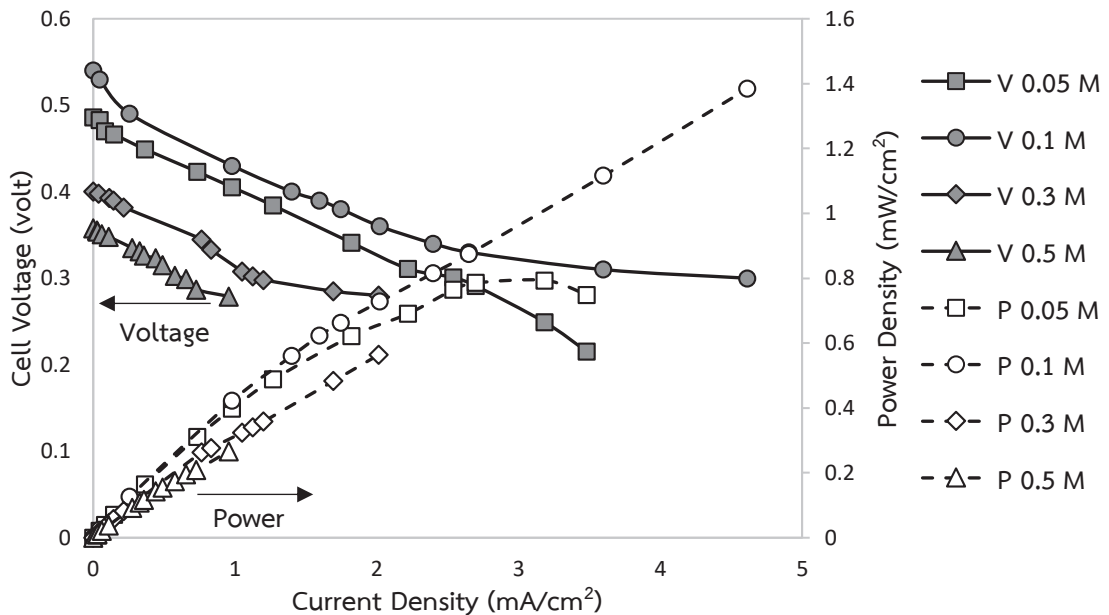
งานวิจัยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่แตกต่างกันมีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.3 และ 0.5 molar ณ อุณหภูมิของเซลล์คงที่ 80 °C และอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล 80 ml/min ผลการทดลองดังภาพที่ 4

ในช่วงแรกของกราฟโพลาริเซชัน ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage, OCV) มีค่าต่ำกว่า

ทฤษฎีซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เท่ากับ 1.145 V เนื่องจากเกิดการสูญเสียลดข้าม [5] และการสูญเสียกัมมันต์ (Activation loss) จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลต่ำที่ 0.05 และ 0.1 molar สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแปรตามความเข้มข้นของเอทานอล แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลสูงขึ้นไปมาก ส่งผลให้เยื่อเลือกผ่านเกิดการบวม และรูพรุนภายในเยื่อเลือกผ่านเกิดการขยาย [16] ทำให้เกิดการสูญเสียลดข้ามของเอทานอลมากขึ้น [5] โดยเอทานอลจากด้านแอโนดเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปยังด้านแคโทด และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลที่ด้านแคโทด ส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าผสม (Mixed potential) ทำให้ศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าลดลง [12,17-21]

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล 0.1 molar เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในงานนี้ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศมีสมรรถนะดีที่สุด โดยมีศักย์

ไฟฟ้าวงจรเปิด 0.53 V ได้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.06 mW/cm² และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density) สูงสุด 3.8 mA/cm² ณ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ 0.28 V



ภาพที่ 4 กราฟโพลาริเซชันและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่ความเข้มข้นสารละลายเอทานอลแตกต่างกันเป็น 0.05, 0.1, 0.3 และ 0.5 molar

3.2.2. อิทธิพลของอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอลด้านแอโนด

ในการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศมีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล ได้แก่ 25, 80 และ 160 ml/min ณ ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลเป็น 0.1 molar ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ทราบจากการทดลองในหัวข้อ 3.2.1. และอุณหภูมิของเซลล์ 80 °C ผลการทดลองดังภาพที่ 5

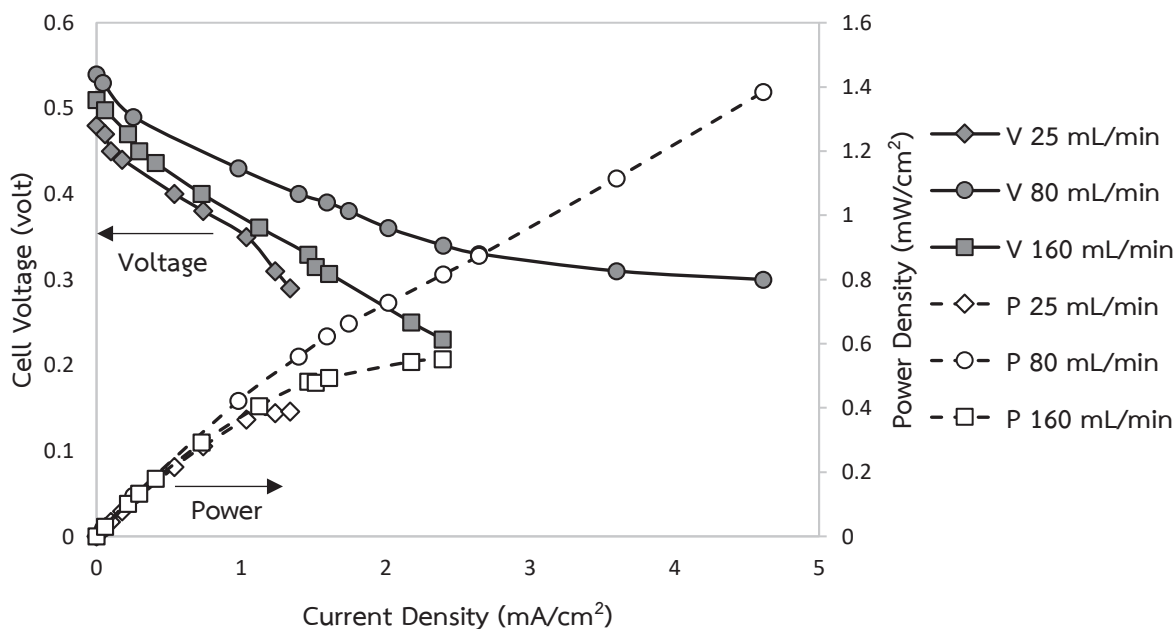
จากการทดลองพบว่า อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอลต่ำที่ 25 และ 80 ml/min สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแปรตามอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอลเนื่องจากการเพิ่มอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล

ทำให้มีเชื้อเพลิงในการทำปฏิกิริยาที่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามหากอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอลสูงเกินไปทำให้เกิดการลัดข้ามของเอทานอลเนื่องจากเกิดความดันด้านแอโนดเพิ่มขึ้นตามหลักการไหลของ Hagen-Poiseuille ส่งผลให้มีเอทานอลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาทางด้านแคโทด เป็นเหตุให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าผสม ส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีอัตราการป้อน 160 ml/min มีค่าลดลง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล 80 ml/min เป็นอัตราการป้อนที่เหมาะสมกับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศในงานวิจัยนี้ โดยมีศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด

0.53 V ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.06 mW/cm² และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด 3.8 mA/cm² ณ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ 0.28 V



ภาพที่ 5 กราฟโพลาริเซชัน และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอลแตกต่างกันเป็น 25, 80 และ 160 ml/min

3.2.3. อิทธิพลของอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง

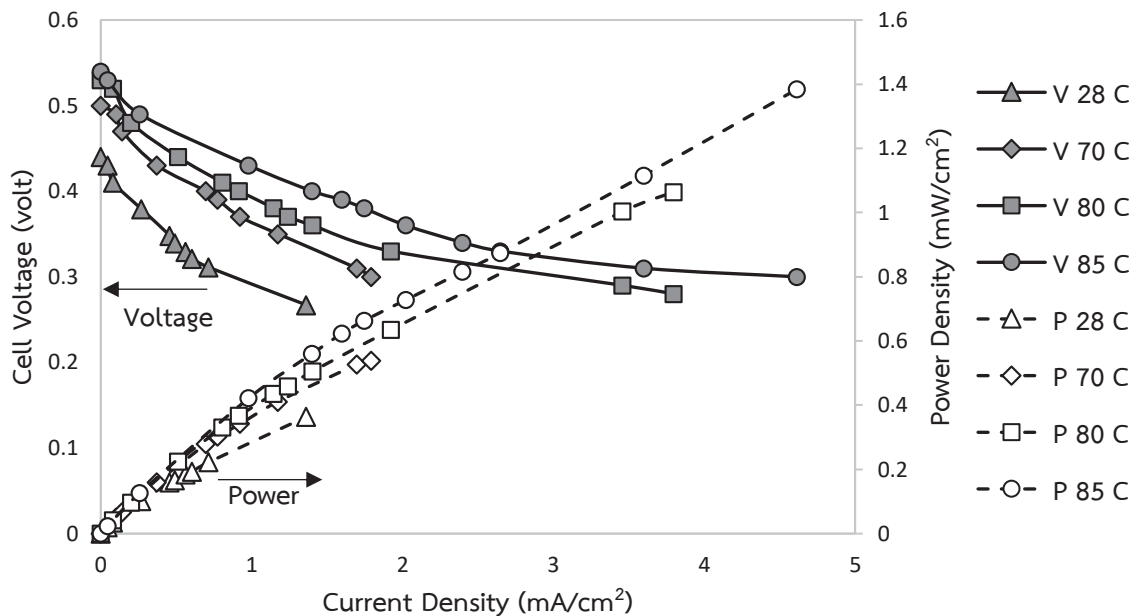
ณ อุณหภูมิห้อง อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลต่ำ การเพิ่มอุณหภูมิช่วยให้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามหลักของอาร์เรเนียส (Arrhenius) หัวข้อนี้จึงทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง

ในการทดลองศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ 28, 70, 80 และ 85 °C ณ ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล 0.1 molar และอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล 80 ml/min ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 3.2.2. ได้ผลดังภาพที่ 6

จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ทำให้มีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล และปฏิกิริยารีดักชันของ

ออกซิเจน (Oxygen reduction reaction, ORR) ได้ดียิ่งขึ้นตามหลักของจลนพลศาสตร์เคมี (Chemical kinetics) [11,14] ทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้นตามอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามในเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลมีงานวิจัยกล่าวว่า ณ อุณหภูมิสูงขึ้นมาก ทำให้สมรรถนะของเซลล์ลดลง เนื่องจากเกิดการแห้งของเยื่อเลือกผ่าน และมีการเคลื่อนที่ของโปรตอนผ่านเยื่อเลือกผ่านลดลง อีกทั้งทำให้เยื่อเลือกผ่านเกิดการเสียหายได้ [11,14]

โดยสรุปแล้วผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดล้มผัสอากาศมีสมรรถนะดีที่สุด ณ อุณหภูมิ 85 °C ในงานวิจัยนี้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด 0.54 V ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.38 mW/cm² และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด 4.62 mA/cm² ณ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ 0.3 V



4. สรุปผลการทดลอง

เซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวเอทานอลป้อนตรงแบบเปิดสัมผัสอากาศ มีพื้นที่กัมมันต์ขนาด 50 cm^2 ซึ่งใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพื้นที่เป็น 0.4 mg/cm^2 จากการทดลองแสดงว่าเซลล์เชื้อเพลิงระบบเปิดสัมผัสอากาศ มีสมรรถนะต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงระบบปิด เล็กน้อย แต่มีความสะดวกในการประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากไม่ต้องพึ่งพาก๊าซความดันสูงในการเดินเซลล์

งานวิจัยนี้พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล อัตราการป้อนของสารละลายเอทานอล และอุณหภูมิของเซลล์ มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเดี่ยวแบบเปิดสัมผัสอากาศ โดยอธิบายได้จากการลัดข้ามของเอทานอล

เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลสูงทำให้เกิดการลัดข้ามของสารละลายเอทานอลจากด้านแอโนดไปยังด้านแคโทด ส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดลดลง และอัตราการป้อนของสารละลายเอทานอลสูงขึ้นมาก ทำให้ความดันด้านแอโนดเพิ่มขึ้น และเกิดการสูญเสียลัดข้ามของเอทานอล ส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง ส่วนอุณหภูมิส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้นในช่วงที่ทำการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมของเซลล์เชื้อเพลิงที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล 0.1 molar อัตราการป้อน

ของสารละลายเอทานอลด้านแอโนด 80 ml/min และอุณหภูมิของเซลล์ 85°C ทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าดีที่สุด โดยได้ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด 0.54 V ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.38 mW/cm^2 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุดเป็น 4.62 mA/cm^2 ณ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ 0.3 V

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้สนับสนุนทุนวิจัย ได้แก่ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเคมีและวัสดุ และภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kamarudin M.Z.F., S.K. Kamarudin, M.S. Masdar, and W.R.W. Daud (2013) Review: Direct ethanol fuel cells. International journal of hydrogen energy, 38 : 9438-9453.
- [2] Kamarudin S.K., W.R.W. Daud, S.L. Ho, and U.A. Hasran (2007) Overview on the challenges and developments of micro-direct methanol fuel cells (DMFC). Journal of Power Sources, 163 : 743-754.

- [3] Yuan Z., Y. Zhang., J. Leng., Y. Zhao., and X. Liu (2012) Performance of air-breathing direct methanol fuel cell with Au-coated aluminum current collectors. *International journal of hydrogen energy*, 37 : 2571-2578.
- [4] Ge JB., HT. Liu., and M. Murthy (2005) Experimental studies of a direct methanol fuel cell. *Journal of Power Sources*, 142 : 56-69.
- [5] Calabriso A., L. Cedola., L. Del Zotto., F. Rispoli., and S. Giovanni Santori (2015) Performance investigation of passive direct methanol fuel cell in different structural configurations. *Journal of Cleaner Production*, 88 : 23-28.
- [6] Jung D.H., Chang H.L., Chang S.K. and Dong R.S. (1998) Performance of a direct methanol polymer electrolyte fuel cell. *Journal of Power Sources* 71 : 169-173
- [7] Amirinejad M., S. Rowshanzamir, and M.H. Eikani (2006) Effects of operating parameters on performance of a proton exchange membrane fuel cell. *Journal of Power Sources*, 161 : 872-875.
- [8] Kamarudin M.Z.F., S.K. Kamarudin, M.S. Masdar, and W.R.W. Daud (2013) Review: Direct ethanol fuel cells. *International journal of hydrogen energy*, 38 : 9438-9453.
- [9] Li Y.S., Y.L. He, and W.W. Yang. (2013) Performance characteristic of air-breathing anion-exchange membrane direct ethanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 : 13427-13433.
- [10] Heysiattalaba S., M. Shakeria, M. Safarib, and M.M. Keikhac (2011) Investigation of key parameters influence on performance of direct ethanol fuel cell (DEFC). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 17 : 727-729.
- [11] Pramanik H., and S. Basu (2007) A study on process parameters of direct ethanol fuel cell. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 85 : 781-785.
- [12] Pereira J.P., D.S. Falcão, V.B. Oliveira, and A.M.F.R. Pinto (2014) Performance of a passive direct ethanol fuel cell. *Journal of Power Sources*, 256 : 14-19.
- [13] Yuan Z., Jie Y., Yufeng Z. and Xiwei Z. (2015) The optimization of air-breathing micro direct methanol fuel cell using response surface method. *Energy* 80 : 340-349
- [14] Coppo M., N.P. Siegel, and M.R. von Spakovsky (2006) On the influence of temperature on PEM fuel cell operation. *Journal of Power Sources*, 159 : 560-569.
- [15] ปรียาภักดิ์ แวดี สุนันท์ ลิ้มตระกูล และ เทอดไทย วัฒนธรรม (2559) การวัดน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงแลกเปลี่ยนโปรตอน. *วิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 96 : 47-52
- [16] Liu F., Yi B., Xing D., Yu J. and Zhang H. (2003) Nafion/PTFE composite membranes for fuel cell applications. *Journal of Membrane Science* 212 : 213-223
- [17] Yousefi S. and Ganji D.D. (2012) Experimental investigation of a passive direct methanol fuel cell with 100 cm² active areas. *Electrochimica Acta* 85 : 693-699
- [18] Chang H., Kim J.R., Cho J.H., Kim H.K. and Choi K.H. (2002) Materials and processes for small fuel cells. *Solid State Ionics* 148 : 601-606
- [19] Liu J.G., Zhao, T.S., Liang, Z.X. and Chen, R. (2006) Effect of membrane thickness on the performance and efficiency of passive direct methanol fuel cells. *Journal of Power Sources* 153 : 61-67
- [20] Chen R., Zhao T.S. and Liu J.G. (2006) Effect of cell orientation on the performance of passive direct methanol fuel cells. *Journal of Power Sources* 157 : 351-357
- [21] Bae B., Kho B.K., Lim T.H., Oh I.H., Hong S.A. and Ha H.Y. (2006) Performance evaluation of passive DMFC single cells. *Journal of Power Sources* 158 : 1256-1261
- [22] EG&G Services Parson, Inc. 2000 Fuel Cell Handbook. 5th Edition (2-1)-(2-26).