

เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวป้อนตรงบรรจุใน A Passive Direct Ethanol Fuel Cell

สุพิชชา นอขุนทด สุนันท์ ลิ้มตระกูล* และ เทอดไทย วัฒนธรรม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: supitchankt@gmail.com, fengsul@ku.ac.th*, terdthai.v@ku.ac.th

บทคัดย่อ

เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวป้อนตรงบรรจุในได้พัฒนาให้มีระบบการทำงานที่เรียบง่าย และใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียนชีวภาพจากการเกษตร ส่วนประกอบอิเล็กโทรดเมมเบรนเป็นส่วนสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิง การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงอาศัยหลักการแพร่ของเอทานอลที่บรรจุในเซลล์และออกซิเจนจากอากาศ เข้าทำปฏิกิริยาที่ชั้นตัวเร่ง งานวิจัยนี้ศึกษาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลความเข้มข้น 1-5 molar ป้อนตรงจากถังเก็บภายในเซลล์และทดสอบการใช้ชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอล 2 ชนิด พบว่าความเข้มข้นเอทานอล 3 molar เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ความเข้มข้นที่มากเกินไป ทำให้เกิดการลัดข้ามของเอทานอล เซลล์เชื้อเพลิงใช้ผ้าคาร์บอนเป็นชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะดีที่สุด เนื่องจากผ้าคาร์บอนมีความหนาแน่นน้อยกว่ากระดาษคาร์บอน ทำให้ความต้านทานภายในน้อย ช่วยลดการสูญเสียโอห์ม ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้สมรรถนะเพิ่มขึ้น เซลล์เชื้อเพลิงที่ได้มีความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.45 mW/cm^2 ที่ 0.29 V

คำสำคัญ :

เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง ความเข้มข้นเอทานอล การลัดข้ามของเอทานอล

Abstract

A passive direct ethanol fuel cell has been developing to be a compact and simple system. The membrane electrode assembly (MEA) is an important part of the system. Oxygen and ethanol supplied to the catalyst layers are driven by diffusion. In this work, a passive direct ethanol fuel cell was fabricated with 1-5 molar ethanol directly from cell internal reservoir. The cell performance was investigated by using two different types of diffusion layers. The optimum concentration of ethanol was found out at 3 molar. The excess of ethanol concentration indicated that the cell performance was decreased because of ethanol crossover.

The result presented that gas and ethanol diffusion layers were made from carbon cloth gives higher performance than carbon paper. This reason was that the carbon cloth was thinner than carbon paper, therefore, it caused lower internal electrical resistance and reduced ohmic losses. Consequently, the increase in cell performance was observed. A maximum power density of 1.45 mW/cm² at a cell potential 0.29 V was obtained.

Keywords :

passive direct ethanol fuel cell; cell performance; ethanol concentration; ethanol crossover

1. บทนำ

เซลล์เชื้อเพลิงถือเป็นอุปกรณ์ที่ให้พลังงานสะอาดรูปแบบหนึ่ง พัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยที่เซลล์เชื้อเพลิงเป็นเครื่องมือที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีและปราศจากการเผาไหม้ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่อเนื่องตรงเท่าที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เซลล์

ระบบการป้อนของเซลล์เชื้อเพลิงมี 2 รูปแบบ ได้แก่ ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแบบบรรจุถังภายใน (Passive) และแบบสูบบ้อน (Active) ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแบบบรรจุถังภายในอาศัยการแพร่ของเชื้อเพลิงจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำและการแพร่ของออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง ขณะที่แบบสูบบ้อนจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง เช่น บีมหรือคอมเพรสเซอร์ ทำให้การป้อนเชื้อเพลิงแบบบรรจุถังภายใน ได้รับความสนใจในการนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าแบบพกพาได้ เนื่องจากระบบการป้อนเชื้อเพลิงดังกล่าว มีความเรียบง่าย ต้องการพื้นที่การใช้งานน้อย ราคาไม่แพงมีน้ำหนักเบา และไม่มีผลกระทบจากเสียงรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งพบได้ในระบบสูบบ้อน [1-2]

เชื้อเพลิงที่นิยมใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงคือไฮโดรเจน แต่กระบวนการผลิตไฮโดรเจนต้องใช้พลังงานสูงและจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในการผลิตจากน้ำเพื่อเป็นพลังงานหมุนเวียน ดังนั้นจึงมีความสนใจใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นทดแทนไฮโดรเจน หนึ่งในนั้นคือเมทานอล โดยงานวิจัยเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลป้อนตรงบรรจุถังภายใน (Passive direct methanol fuel cell) ใช้งานที่สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง ณ อุณหภูมิห้องเมทานอลมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเมทานอลถือเป็นการเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขึ้นตัวเร่ง

เซลล์เชื้อเพลิงระบบบรรจุถังภายในสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบสูบบ้อน เนื่องจากการป้อนเชื้อเพลิงแบบบรรจุถังภายใน ปราศจากแรงขับ (Driving force) จากปั๊ม ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เซลล์สำหรับระบบสูบบ้อนและก่อให้เกิดความดันลด (Pressure drop) ภายในเซลล์เชื้อเพลิง โดยระบบบรรจุถังภายในอาศัยหลักการแพร่ของเชื้อเพลิงเท่านั้น ทำให้ช่วยลดปัญหาการลัดข้ามของเชื้อเพลิง (Fuel crossover) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะลดลงได้ [3-4]

งานวิจัยในปัจจุบันพบว่าสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอล มีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง 5-50 mWcm⁻² เมมเบรนที่นิยมเลือกใช้ ได้แก่ Nafion 112, 115 และ 117 ตัวเร่งปฏิกิริยาฝั่งแอโนด คือ PtRu ตัวเร่งปฏิกิริยาฝั่งแคโทด คือ Pt/C หรือ Pt Black โดยปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ อยู่ในช่วง 2-10 mg/cm² [5-13]

เนื่องจากเมทานอลเป็นสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและกระบวนการผลิตมาจากกระบวนการทางปิโตรเคมี ซึ่งไม่ถือว่าเป็นพลังงานหมุนเวียน จึงมีความสนใจใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นทดแทน นั่นคือเอทานอล โดยเอทานอลเป็นสารเคมีที่ได้จากกระบวนการหมักทางชีวภาพ ผลิตได้จากพืชผลทางธรรมชาติ เช่น อ้อย ข้าวโพดและมันสำปะหลัง จัดเป็นพลังงานหมุนเวียน ถึงแม้ว่าการเลือกใช้เชื้อเพลิงจากเอทานอลทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่เนื่องจากเอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์จากผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญเติบโต จึงมีการหมุนเวียนไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ [14-15]

อย่างไรก็ตามเอทานอลมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาต่ำที่อุณหภูมิห้องเช่นเดียวกับเมทานอล ทำให้จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณสูงเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้นจึงมีราคาแพง

งานวิจัยเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวป้อนตรงบรรจุถังภายในที่พบได้ในปัจจุบันมักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณสูง โดยพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็น 1.33 mW/cm² เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาฝั่งแคโทดและแอโนด 2 mg/cm² และ 4 mg/cm² ตามลำดับ ในขณะที่การลดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง [16]

งานวิจัยนี้จึงศึกษาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวป้อนตรงบรรจุถังภายใน พื้นที่กัมมันต์ 5 cm² เมมเบรน Nafion 117 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฝั่งแคโทดและแอโนด คือ Pt/C ปริมาณ 1 mg/cm² และ 2 mg/cm² ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าที่ผ่านมา ศึกษาผลของความเข้มข้นเอทานอล ชนิดของชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวป้อนตรงบรรจุถังภายในแบบเซลล์เดี่ยว พื้นที่กัมมันต์ (Active area) 5 cm² การทดลองประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

2.1 การเตรียมส่วนประกอบอิเล็กโทรดเมมเบรน (Membrane Electrode Assembly, MEA)

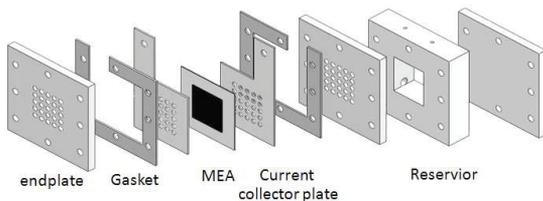
ส่วนประกอบอิเล็กโทรดเมมเบรน ประกอบด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane) ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Layer) และชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอล (gas and ethanol diffusion layers) งานวิจัยนี้เลือกใช้เมมเบรนเนฟฟิออน 117 (Nafion® 117, Dupont) ทำการปรับปรุงคุณภาพเมมเบรนโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนและกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เพื่อกระตุ้นการนำไอออนของเมมเบรน [17] จากนั้นพ่นเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาลงบนเมมเบรนเนฟฟิออนฝั่งแอโนดและแคโทด โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือแพลทินัม 40% บนคาร์บอนแบล็ค (40% Pt/C Hispec TM400, Aesar) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาฝั่งแคโทดและแอโนด คือ 1 mg/cm² และ 2 mg/cm² ตามลำดับ เมมเบรนที่ผ่านการพ่นเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองฝั่ง ถูกประกบชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลที่ทำมาจากผ้าคาร์บอน (CeTech wet proofed 5% treatment) และกระดาษคาร์บอน (10BA, SIGRACET)

2.2 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิง

ประกอบส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์โทรดเมมเบรนด้วยแผ่นรวมกระแส (Current collector plate) ทางฝั่งแอโนดและแคโทด โดยแผ่นรวมกระแสทำมาจากเหล็กสแตนเลส เกรด 316L มีความหนา 1 mm อัตราส่วนพื้นที่รูเปิดต่อพื้นที่รวม (open ratio) เป็น 42% มีประเก็น (Gasket) ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วซึมของเชื้อเพลิง จากนั้นปิดทับด้วยแผ่นประกบริม (End plate) ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวบ่อนตรงบรรจุใน ภายใน แสดงดังภาพที่ 1 ส่วนประกอบดังกล่าวยึดติดกันด้วยนอตและโบลต์เพื่อให้ส่วนประกอบต่างๆ ไม่เคลื่อนที่และป้องกันการรั่วของเชื้อเพลิง

2.3 ระบบทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

การทดสอบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง ทำภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้น 1-5 molar ถูกบรรจุในถังเก็บเชื้อเพลิง (Reservoir) ภายในของเซลล์ ปริมาตร 10 ml โดยเซลล์เชื้อเพลิงต่อกับระบบทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง (Load measurement box) ผลิตโดย Fuel cell store ทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง โดยแสดงสมรรถนะในรูปของเส้นโค้งโพลาริเซชัน

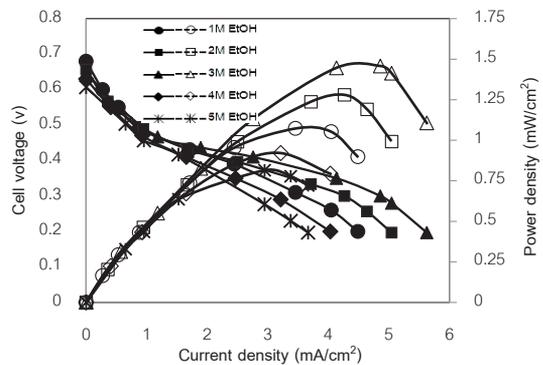


ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวบ่อนตรงบรรจุใน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 อิทธิพลของความเข้มข้นเอทานอล

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายเอทานอลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยในการทดลองใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันตั้งแต่ 1-5 molar ผลการทดลองแสดงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงในเส้นโค้งโพลาริเซชันดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เส้นโค้งโพลาริเซชันแสดงศักย์ไฟฟ้า (เส้นทึบ) และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (เส้นประ) ของเซลล์เชื้อเพลิงความเข้มข้นสารละลายเอทานอล 1-5 molar

ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าต่ำกว่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เท่ากับ 1.14 V เนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น การสูญเสียลัดข้าม การสูญเสียกัมมันต์ การสูญเสียโอห์ม และการสูญเสียถ่ายโอนมวล

ในช่วงเริ่มต้นของเส้นโค้งโพลาริเซชันพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage, OCV) ของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่า 0.68, 0.66, 0.65, 0.63 และ 0.61 V ที่ความเข้มข้นสารละลายเอทานอล

1-5 molar ตามลำดับ เนื่องจากความเข้มข้นของเอทานอลที่มากเกินไป ทำให้เมมเบรนเกิดการบวมตัวและรูในเนื้อเมมเบรนขยายขึ้นก่อให้เกิดการลัดข้ามของเอทานอล (Ethanol-crossover) บางส่วนจากฝั่งแอโนดไปฝั่งแคโทด ทำให้มีสารละลายเอทานอลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาฝั่งแคโทดและเกิดศักย์ไฟฟ้าผสม (Mixed-potential) ระหว่างปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าลดลง [7-8,11-13,16]

ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในช่วงความหนาแน่นกระแสต่ำ เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในช่วงความหนาแน่นกระแสสูง เนื่องจากที่ความเข้มข้น 1-3 molar ภายในถึงเก็บเชื้อเพลิงมีปริมาณเอทานอลต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้นอื่น ที่ความเข้มข้นดังกล่าวจึงเกิดอัตราการลัดข้ามของสารละลายเอทานอลต่ำ ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 4 และ 5 molar จากนั้นศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแส เป็นผลจากการสูญเสียโอห์มที่เกิดจากความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง โดยที่ความหนาแน่นกระแสสูงจะเกิดปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการสูญเสียถ่ายโอนมวล ทั้งนี้ที่ความเข้มข้นเอทานอล 4 และ 5 molar พบว่าสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าต่ำกว่าที่ความเข้มข้นสารละลายเอทานอล 1-3 molar เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นทำให้เมมเบรนบวมมากและรูภายในเมมเบรนขยาย [18] ส่งผลให้เกิดการลัดข้ามของเอทานอลมากขึ้น โดยเอทานอลที่ข้ามไปยังฝั่งแคโทด นอกจากทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าผสมแล้วยังขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนที่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเกิดการสูญเสียถ่ายโอนมวล

ส่งผลให้ที่ความหนาแน่นกระแสสูง สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นของเอทานอลสูงเกินไปได้รับผลกระทบจากการสูญเสียถ่ายโอนมวลมากกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ

ผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 3 molar เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะสูงสุด โดยมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ 1.45 mW/cm^2 ที่ 0.29 V ความเข้มข้นของเอทานอล 3 molar จึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ เนื่องจากทำให้เกิดการลัดข้ามน้อยและมีสมรรถนะสูงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้นอื่นๆ

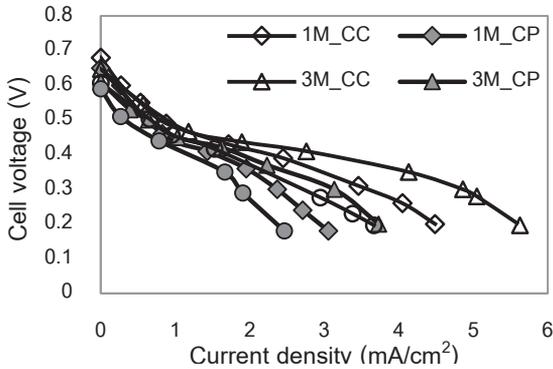
3.2 ผลของชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงได้เลือกใช้ผ้าคาร์บอน (Carbon cloth, CC) ผลิตโดย CeTech มีความหนา 0.360 mm ค่าความพรุน (Porosity) 81% และกระดาษคาร์บอน (Carbon paper, C) ผลิตโดย SIGRACET มีความหนา 0.40 mm ค่าความพรุน 80% ปริมาณคาร์บอนของผ้าคาร์บอนและกระดาษคาร์บอน คือ 99.9% ค่าความต้านทานไฟฟ้าน้อยกว่า $5 \text{ m}\Omega\text{cm}^2$

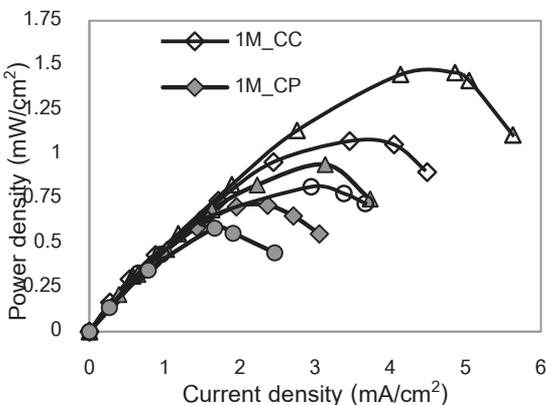
3.2.1 อิทธิพลของชั้นแพร่ก๊าซ

เพื่อศึกษาอิทธิพลของชั้นแพร่ก๊าซทางด้านแคโทดที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ผ้าคาร์บอน (CC) และกระดาษคาร์บอน (CP) เป็นชั้นแพร่ก๊าซทางด้านแคโทดโดยที่มีผ้าคาร์บอนทางด้านแอโนด การทดลองดำเนินการที่ความเข้มข้นสารละลายเอทานอล 1, 3 และ 5 molar สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปของเส้นโค้งโพลาริเซชัน ดังภาพที่ 3

ก)



ข)



ภาพที่ 3 ก) เส้นโค้งโพลารไรเซชัน ข) กำลังไฟฟ้า แสดงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้กระดาษคาร์บอน (CP) และผ้าคาร์บอน (CC) เป็นชั้นแพร่ก๊าซด้านแคโทดสำหรับสารละลายเอทานอล ที่ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 molar

ชั้นแพร่ก๊าซเป็นทางผ่านของออกซิเจนจากอากาศไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา และมีส่วนช่วยในการจัดการน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันที่ฝั่งแคโทด ทำหน้าที่เป็นตัวนำอิเล็กตรอนที่วางจรภายนอกผ่านแผ่นรวมกระแสไปยังชั้นตัวเร่ง เพื่อให้ไฟฟ้าครบวงจร ทดลองพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่มีชั้นแพร่ก๊าซที่ทำจากผ้าคาร์บอนมีค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดสูงกว่ากระดาษคาร์บอน แสดงค่าในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (OCV) ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ชั้นแพร่ก๊าซด้านแคโทด ทำมาจากกระดาษคาร์บอน (CP) และผ้าคาร์บอน (CC)

Ethanol concentration (molar)	OCV (V)	
	Diffusion layer	
	CP	CC
1	0.65	0.68
3	0.61	0.65
5	0.59	0.61

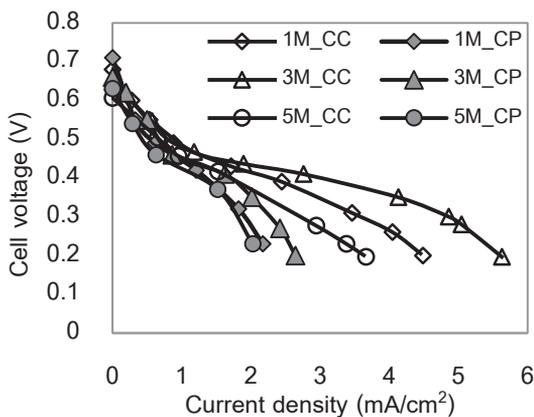
ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้กระดาษคาร์บอน (CP) เป็นชั้นแพร่ก๊าซมีค่าต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ผ้าคาร์บอน (CC) เนื่องจากกระดาษคาร์บอนมีความพรุนน้อยกว่าผ้าคาร์บอนทำให้ปริมาณออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยากับชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ผ้าคาร์บอน (CC) โดยความหนาของชั้นแพร่ก๊าซส่งผลต่อความต้านทานภายในเซลล์เชื้อเพลิง โดยกระดาษคาร์บอน (CP) มีความหนามากกว่าทำให้เกิดการสูญเสียโอห์ม ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง [16] นอกจากนี้กระดาษคาร์บอนมีผลต่อการจัดการน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนและเอทานอลที่ลัดข้ามมาจากฝั่งแอโนด ความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของชั้นแพร่ก๊าซขึ้นกับปริมาณของ PTFE ภายในโครงสร้าง โดยกระดาษคาร์บอนมีความไม่ชอบน้ำต่ำ ทำให้เมื่อปริมาณน้ำที่ฝั่งแคโทดมีมากขึ้นจะขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนที่ชั้นตัวเร่ง ส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง [17-22]

3.2.2 อิทธิพลของชั้นแพร่เอทานอล

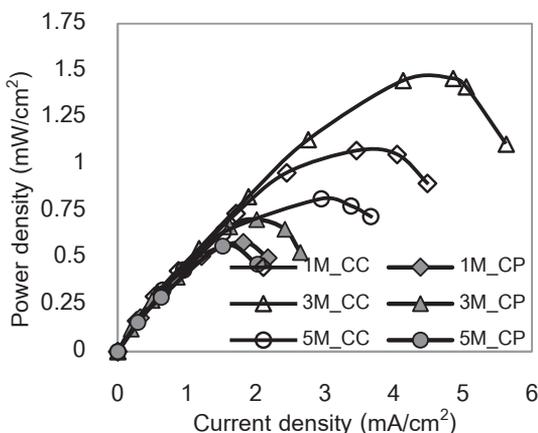
เพื่อศึกษาอิทธิพลของชั้นแพร่เอทานอลทางด้านแอโนดที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของ

เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ผ้าคาร์บอน (Carbon cloth, CC) และกระดาษคาร์บอน (Carbon paper, CP) เป็นชั้นแพร่เอทานอล โดยทางแคโทดเป็นผ้าคาร์บอน การศึกษานี้ทำการทดลองที่ความเข้มข้นสารละลายเอทานอล 1, 3 และ 5 molar สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปของเส้นโค้งโพลาร์ไรเซชัน ดังภาพที่ 4

ก)



ข)



ภาพที่ 4 ก) เส้นโค้งโพลาร์ไรเซชัน ข) กำลังไฟฟ้า แสดงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้กระดาษคาร์บอน (CP) และผ้าคาร์บอน (CC) เป็นชั้นแพร่เอทานอลด้านแอโนดสำหรับสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 molar

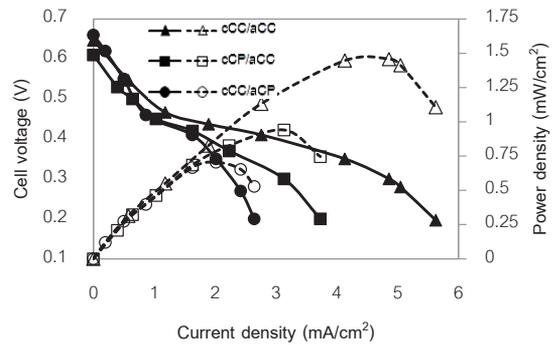
ชั้นแพร่เอทานอลทำหน้าที่กระจายสารตั้งต้นไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยความพรุนของชั้นแพร่เอทานอลช่วยให้เชื้อเพลิงสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวนำอิเล็กตรอนจากชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังแผ่นรวมกระแสเพื่อให้กระแสไฟฟ้าครบวงจร ผลการทดลองพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้กระดาษคาร์บอน (CP) เป็นชั้นแพร่เอทานอลมีค่าสูงกว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ชั้นแพร่เอทานอลที่ทำจากผ้าคาร์บอน เนื่องจากกระดาษคาร์บอนมีความหนาแน่นและมีความไม่ชอบน้ำสูงกว่าผ้าคาร์บอน ทำให้การแพร่ของเอทานอลไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาดีขึ้น ช่วยลดการลัดข้ามของเอทานอลขณะเดียวกันการเกิดปฏิกิริยาที่ชั้นตัวเร่งก็ขึ้นน้อยลง และมีการสูญเสียโอห์มมากขึ้น เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นในชั้นแพร่เอทานอลมากขึ้น จึงไปลดการลัดข้ามของเอทานอลในชั้นเมมเบรน [21- 22] แสดงค่าในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (OCV) ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ชั้นแพร่เอทานอลทำมาจากกระดาษคาร์บอน (CP) และผ้าคาร์บอน (CC)

Ethanol Concentration (molar)	OCV (V)	
	Diffusion layer	
	CP	CC
1	0.71	0.68
3	0.66	0.65
5	0.63	0.61

ผลการทดลองพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้กระดาษคาร์บอนเป็นชั้นแพร่เอทานอลได้รับผลกระทบจากการสูญเสียโอห์มสูงกว่าการใช้ผ้าคาร์บอน เนื่องจากกระดาษคาร์บอนมีความหนาแน่นกว่า ทำให้มีความต้านทานภายในเซลล์เชื้อเพลิงสูงกว่า

ในขณะที่เดียวกันการแก้ปัญหาจากการถ่ายโอนมวลของสารสามารถทำได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นการถ่ายโอนมวลเกิดเพิ่มขึ้นและจะทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้น แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปจะทำให้รูภายในเมมเบรนขยาย จึงเกิดการลัดข้ามมากเป็นผลให้สมรรถนะลดลง โดยพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวป้อนตรงบรรจุในภายใน ที่ใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 3 molar และมีชั้นแพร่เอทานอลชนิดผ้าคาร์บอน ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบการใช้ชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลที่แตกต่างกันสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลความเข้มข้น 3 molar ได้ผลของสมรรถนะในรูปของเส้นโค้งโพลาริเซชัน ดังภาพที่ 5 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลเป็นผ้าคาร์บอน (CC) มีสมรรถนะดีที่สุด เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ชั้นแพร่เอทานอลทำมาจากกระดาษคาร์บอน (CP) มีโครงสร้างภายในซับซ้อนกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าคาร์บอน อีกทั้งมีความหนาแน่นกว่าผ้าคาร์บอนทำให้ความต้านทานภายในเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูง ส่งผลให้เซลล์เชื้อเพลิงเกิดการสูญเสียโอห์ม และเกิดการสูญเสียถ่ายโอนมวลมากกว่าผ้าคาร์บอน นอกจากนี้กระดาษคาร์บอนมีความไม่ชอบน้ำต่ำ ทำให้จัดการน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันไม่ดี ส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง [17-21] ถึงแม้ว่ากระดาษคาร์บอนทำให้มีศักยภาพไฟฟ้าวงจรถัดสูงกว่าเนื่องจากเกิดการลัดข้ามน้อยกว่า แต่การใช้ทำงานจริงจะทำภายใต้สภาวะที่มีไหล ดังนั้นผ้าคาร์บอนจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม



ภาพที่ 5 เส้นโค้งโพลาริเซชันแสดงค่าศักย์ไฟฟ้า (เส้นทึบ) และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (เส้นประ) ของเซลล์เชื้อเพลิงสารละลายเอทานอล 3 molar ที่ใช้ชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลเป็นกระดาษคาร์บอน (CP) และผ้าคาร์บอน (CC) ทางฝั่งแคโทด (c) และแอโนด (a)

4. สรุปผลการทดลอง

ในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลเหลวป้อนตรงบรรจุในภายใน พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เลือกใช้ชั้นแพร่ก๊าซและเอทานอลเป็นผ้าคาร์บอนทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะสูงกว่าการใช้กระดาษคาร์บอน โดยผ้าคาร์บอนมีความหนาแน่นน้อยกว่ากระดาษคาร์บอน ส่งผลให้มีความต้านทานภายในเซลล์เชื้อเพลิงน้อยกว่า จึงทำให้การสูญเสียโอห์มของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง อีกทั้งกระดาษคาร์บอนมีความไม่ชอบน้ำต่ำ ทำให้การจัดการน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนไม่ดี ส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์ลดลง ค่าความเข้มข้นเอทานอลที่ใช้จำเป็นต้องมีความเหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นที่สูงเกินไปทำให้รูภายในเมมเบรนขยายและเกิดการลัดข้ามมากขึ้น ดังนั้นค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมกับเซลล์เชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ คือ 3 molar ได้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ 1.45 mW/cm² ที่ 0.29 V

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้สนับสนุนทุนวิจัย ได้แก่ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhao T.S., Chen R., Yang W.W. and Xu C. (2009) Review Small direct methanol fuel cells with passive supply of reactants. *Journal of Power Sources* 191: 185-202
- [2] Wu Q.X., An L., Yan X.H. and Zhao T.S. (2014) Effects of design parameters on the performance of passive direct ethanol fuel cells fed with concentrated fuel. *Electrochimica Acta* 133: 8-15
- [3] Yan X.H., Gao P., Zhao G., Xu J.B. and Zhao T.S. (2017). Transport of highly concentrated fuel in direct methanol fuel cells. *Applied Thermal Engineering* 126: 290-295
- [4] Jewett G., Guo, Z. and Faghri A. (2007) Water and air management systems for a passive direct methanol fuel cell, *J. Power Sources* 168: 434-446
- [5] Falcao D.S., Pereira J.P. and Pinto A.M.F.R. (2016) Effect of stainless steel meshes on the performance of passive micro direct methanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen* 41: 13859-13867
- [6] Feng L., Zhang, J., Cai W., Liangliang X., W. and Liu C. (2011) Single passive direct methanol fuel cell supplied with pure methanol. *Journal of Power Sources* 196: 2750-2753
- [7] 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
- [8] 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
- [9] Li X. and Faghri A. (2013) Review and advances of direct methanol fuel cells (DMFCs) part I: Design, fabrication, and testing with high concentration methanol solutions. *Journal of Power Sources* 226: 223-240
- [10] Shrivastana N.K., Thombre S.B. and Mallick R.K. (2014) Effect of diffusion layer compression on passive DMFC performance. *Electrochimica Acta* 149: 167-175
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] Lamy C., Lima A., Lerhun V., Delime F., Coutanceau C. and Leger J.M. (2002) Recent advances in the development of direct fuel cell (DAFC). *Journal of Power Sources* 105: 283-296

- [15] Oliveira V.B., Pereira J.P. and Pinto A.M.F.R. (2016) Effect of anode diffusion layer (GDL) on the performance of a passive direct methanol fuel cell (DMFC). *Journal of hydrogen energy* 41: 19455-19462
- [16] Pereira J.P., Falcao D.S., Oliveira V.B. and Pinto A.M.F.R. (2014) Performance of a passive direct ethanol fuel cell. *Journal of Power Sources* 256: 14-19
- [17] ปรียาภักดิ์ แววดี สุนันท์ ลี้มตระกูล และ เทอดไทย วัฒนธรรม (2559) การวัดน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงแลกเปลี่ยนโปรตอน วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 29, ฉบับที่ 96: 47-52
- [18] 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
- [19] Elliott J.A., Hanna S., Ellion A.M.S. and Cooley G.E. (2001) The swelling behaviour of perfluorinated ionomer membranes in ethanol/water mixtures. *Polymer* 4: 2251–2253
- [20] Xu C. Zhao, T.S. and He Y.L. (2007) Effect of cathode gas diffusion layer on water transport and cell performance in direct methanol fuel cells. *Journal of Power Sources* 171: 268–274
- [21] Wu Q.X., Zhao T.S. and Yang, W.W. (2011) Effect of the cathode gas diffusion layer on the water performance of passive direct methanol fuel cells operating with neat methanol. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 5: 1132–1143
- [22] Jang J.H., Yan W.M. and Shih C.C. (2006) Effects of the gas diffusion-layer parameters on cell performance of PEM fuel cells. *Journal of Power Sources* 161: 323–332