

## ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนมีผลต่อแรงบีบอัด Efficiency Proton Exchange Membrane Fuel Cell Affects Compression Force

อดิสร ทยมา<sup>1\*</sup> สกอล จิโนสวัตตี<sup>2</sup> นิวัตติ กิจไพศาลสกุล<sup>3</sup> ประสงค์ หน่อแก้ว<sup>4</sup>

เอกรัฐ อินต๊ะวงศา<sup>5</sup> และศักดิ์ชัย ศรีमारณ<sup>6</sup>

<sup>1\*</sup> สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

<sup>2, 3, 4, 5</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

<sup>6</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

Adisorn Thomya<sup>1\*</sup> Sakol Jinosawatt<sup>2</sup> Niwat Kitphaisansakun<sup>3</sup> Prasong Norkaew<sup>4</sup>

Ekkarat Intawongsa<sup>5</sup> and Sakchai Srimakorn<sup>6</sup>

<sup>1\*</sup> Energy Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

<sup>2, 3, 4, 5</sup> Industrial Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

<sup>3</sup> Software Engineering Program, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

E-mail: adisorn2@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของแรงกดอัดในการประกอบเซลล์เชื้อเพลิง ค่าความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง โดยสร้างเครื่องกดอัดเซลล์ เพื่อใช้ในการทดสอบเซลล์ เพื่อเปรียบเทียบกับ การประกอบเซลล์จากการขันด้วยน็อต เลือกค่าความหนาของปะเก็นที่ทำมาจาก Teflon ที่ 125, 175 และ 225 ไมครอน มีค่าความพรุนที่ 0.16, 0.4. และ 0.53 ตามลำดับ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนและความหนาของชั้นการแพร่ของก๊าซที่ได้จากแรงกดอัดในการประกอบเซลล์ แสดงให้เห็นว่าค่าความพรุนจะแปรตามค่าความหนา เมื่อความหนาของชั้นการแพร่ลดลง จะทำให้ค่าความพรุนลดลงตามไปด้วย และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงด้วยเครื่องกดอัดเซลล์ ที่ค่าแรงกดอัดด้วยเครื่องอ่านค่าภาระโหลดที่ค่า 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 นิวตันต่อตารางเมตร อัตราการไหลของก๊าซ 200, 300 และ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที พบว่าที่แรงกดอัดในการประกอบเซลล์ที่ 16,000 นิวตันต่อตารางเมตร จะให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดของงานวิจัย คือ ที่อัตราการไหล 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ค่าความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซที่ 0.53 จะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงที่สุด ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 12.32 Watt ที่ตำแหน่งความต่างศักย์ 0.44 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A และในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงด้วยเครื่องกดอัดเปรียบเทียบกับ การประกอบเซลล์ด้วย แรงกดอัดจากน็อต พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่าความหนาแน่นกระแส กับค่าความต่างศักย์ จะเห็นว่าลักษณะของกราฟของเซลล์ที่มีการประกอบเซลล์ทั้งสองแบบ มีลักษณะการลดลงของกราฟในลักษณะใกล้เคียงกัน แต่กราฟของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ประกอบด้วยน็อตจะมีค่าความชันมากกว่าเซลล์ที่ประกอบด้วยเครื่องกดอัดเซลล์ ดังนั้นเซลล์ที่ประกอบด้วยเครื่องกดอัดเซลล์เหมาะสมต่อการทำงานของ

เซลล์มากกว่าเซลล์ที่ใช้เนื้อประกอบเซลล์ โดยมีค่าประสิทธิภาพการทำงานต่างกันประมาณ 4.8% ที่อัตราการไหล 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

**คำสำคัญ:** เซลล์เชื้อเพลิง, การประกอบเซลล์เชื้อเพลิง, แรงกดเซลล์เชื้อเพลิง

### Abstract

Gas diffusion layer (GDL) is a major part, which affects proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) performance. It can be role on electron conductivity and mass transport within fuel cell. This research was studied compression and porosity in diffusion layer for assembly PEMFC which they are independent to performance fuel cell. There was built assembly fuel cell machine for assembled fuel cell and compare performance with fuel cell assembled by compressed force from not. Gasket in this research made from Teflon of thickness 125, 175 and 225 microns, they had porosity in 0.16, 0.4 and 0.53, respectively. It was found relationship between porosity and thickness that decreased thickness was porosity decreased too.

This research used 10,000, 12,000, 14,000, 16,000 and 18,000 N/m<sup>2</sup> in torque and flow rates were 200, 300 and 400 sccm. The results showed that the maximum efficiency of the fuel cell occurred at the 16,000 N/m<sup>2</sup>, flow rate of 300 sccm and porosity in 0.53 provided maximum power of 12.32 W at voltage of 0.44 and 28 A. The performance of the PEMFC from assembly fuel cell machine was compared with the PEMFC assembled by nut. The result of fuel cell from assembly fuel cell machine was similar to the fuel cell assembled by nut. However, fuel cell from assembly fuel cell machine delivered higher performance. It provided 4.8% higher than the fuel cell assembled by nut. Thus, assembly fuel cell machine can be used.

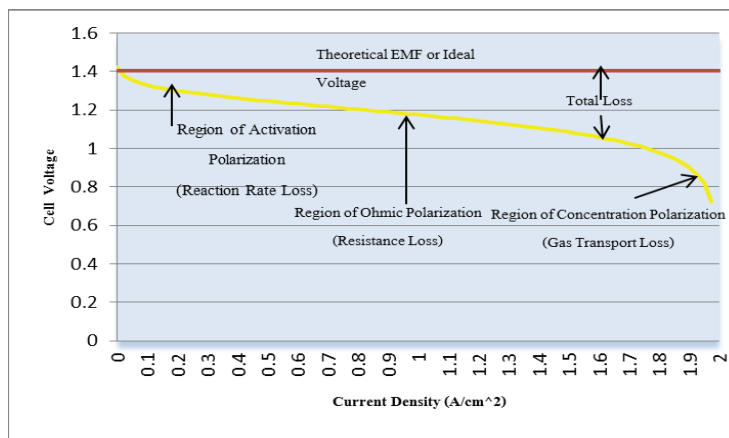
**Keywords:** Fuel cell, Fuel Cell Assembly, Compression Force Fuel cell

## 1. บทนำ

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนนั้น มีปัจจัยหลายอย่างด้วยกันที่เข้ามาเกี่ยวข้องที่สามารถเห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ คุณลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์เชื้อเพลิง เช่น ความหนาของเมมเบรน ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คุณสมบัติของชั้นการแพร่ของก๊าซ (Gas Diffusion Layer) ความต้านทานหน้าสัมผัส (Contact Resistance) ของแต่ละชิ้นส่วนและรูปแบบของช่องทางเดินก๊าซ (Gas Flow Field Pattern) เป็นต้น อีกส่วนหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงคือ เงื่อนไขการทำงาน เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และความชื้นของก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยา และอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญคือ ขั้นตอนการประกอบเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมเพราะขั้นตอนนี้จะมีผล

ต่อประสิทธิภาพ เช่น ผลการถ่ายเทมวลและการนำไฟฟ้าภายในชั้นการแพร่ของก๊าซรวมทั้งความต้านทานหน้าสัมผัส (Contact Resistance) ของแต่ละชิ้นส่วน ดังนั้น ขั้นตอนการประกอบเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเพื่อให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ การวิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนในปัจจุบันจะมุ่งเน้นอยู่สองด้านหลักๆ คือ การพัฒนาชิ้นส่วนรวมทั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเซลล์และการพัฒนาการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม

ส่วนการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEM จะวัดสมรรถนะออกมาในค่าของความหนาแน่นกระแส (Current Density) ในหน่วยของ Ampares Per Square Centimeter ( $A/cm^2$ ) เนื่องจากถ้าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ (พื้นที่ทำปฏิกิริยามาก) จะให้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก (พื้นที่ทำปฏิกิริยาน้อย) และสำหรับการอธิบายสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถพิจารณาได้จาก I-V Characteristic Curve โดยแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าความต่างศักย์ที่เซลล์ให้ออกมาจะลดลงเมื่อมีค่าความหนาแน่นกระแสไหลมากขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วความสัมพันธ์ของความต่างศักย์และความหนาแน่นกระแสควรจะเป็นเส้นตรงขนานกับแกนนอน แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ทำให้ความสามารถในการทำงานลดลง โดยสามารถแบ่งช่วงกราฟโพลาริเซชัน (Polarization) ออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

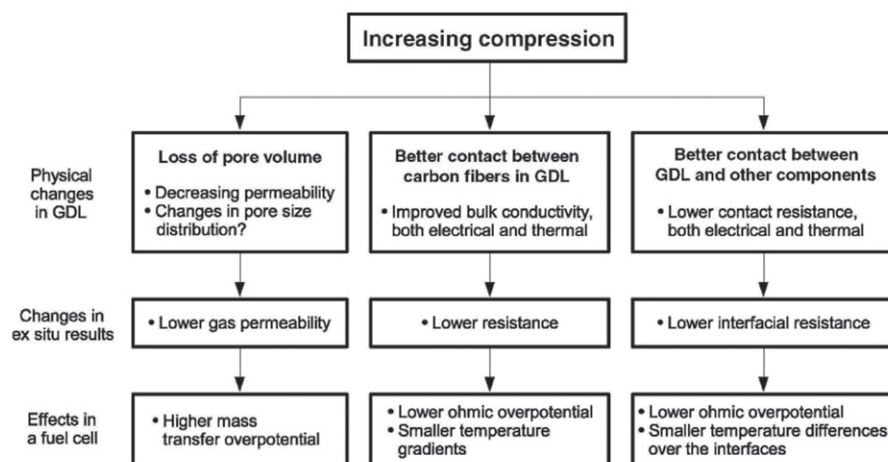
ช่วงแรกเป็นโพลาริเซชันทางเคมี (Chemical or Activation Polarization) เป็นช่วงที่ทำให้ค่าความต่างศักย์ทางทฤษฎีของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากผลโพลาริเซชันทางเคมีที่มีผลในช่วงแรกของการจ่ายกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง เรียกว่า Reaction Rate Loss เป็นช่วงที่เกิดจากความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ออกมาขณะอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงๆ ไม่เพียงพอ จึงทำให้สมรรถนะเซลล์ลดต่ำลง

ช่วงที่ 2 โพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistance or Ohmic Polarization) เป็นเทอมที่ทำให้ค่าความต่างศักย์ทางทฤษฎีของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากผลของความต้านทานของเซลล์เชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความต้านทานในการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าภายในส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเซลล์

ซึ่งสามารถแบ่งความต้านทานออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกเกิดจากความต้านทานของ Proton Exchange Membrane ทำให้ความสามารถในการนำโปรตอนของเมมเบรนต่ำลง ส่วนที่ 2 เกิดจากความต้านทานของ อิเล็กโทรดและชั้นการแพร่ของก๊าซที่มีลักษณะพรุน แผ่นโพลีเอทิลีน และแผ่นสะสมกระแส รวมทั้ง ความต้านทานระหว่างหน้าสัมผัสทำให้ความสามารถในการนำอิเล็กตรอนต่ำลง รวมเรียกว่า Resistance Loss โพลีเอทิลีน เนื่องจากความต้านทานจะมีผลมากขึ้นตามค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

ช่วงสุดท้ายคือ โพลีเอทิลีนเนื่องจากความเข้มข้น (Concentration Polarization) เป็นเทอมที่ทำให้ ค่าความต่างศักย์ทางทฤษฎีของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงเนื่องจากโพลีเอทิลีนของความเข้มข้นหรือการถ่ายเทมวล ซึ่งเป็นช่วงที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง การลดลงของความต่างศักย์ในช่วงนี้เกิดขึ้นจากข้อจำกัด ในการจ่ายเชื้อเพลิงหรือตัวออกซิไดซ์ให้กับเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งจำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการแพร่ (Diffusion) ก๊าซจากชั้นการแพร่ของก๊าซ (GDL) ไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Layer) เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง และเมื่อการเกิดปฏิกิริยา ที่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าสูง จะเป็นผลให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง

การพัฒนาการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสมนั้นมีปัจจัยหรือตัวแปร หลายอย่างที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ เช่น แรงบีบอัดเซลล์เหตุผลที่ต้องบีบอัดเซลล์ก็เพราะว่าเซลล์จะต้องไม่มีการรั่วของก๊าซที่ป้อนให้ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญประการแรกที่ทำให้เซลล์ทำงานได้ ผลที่ตามมาจากการเพิ่มแรงบีบอัด เซลล์คือ ผลจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายของชั้นการแพร่ของก๊าซ (Gas Diffusion Layer) และ ยังส่งผลกับชั้นส่วนอื่นๆ ภายในเซลล์ด้วยดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงผลจากการบีบอัดเซลล์

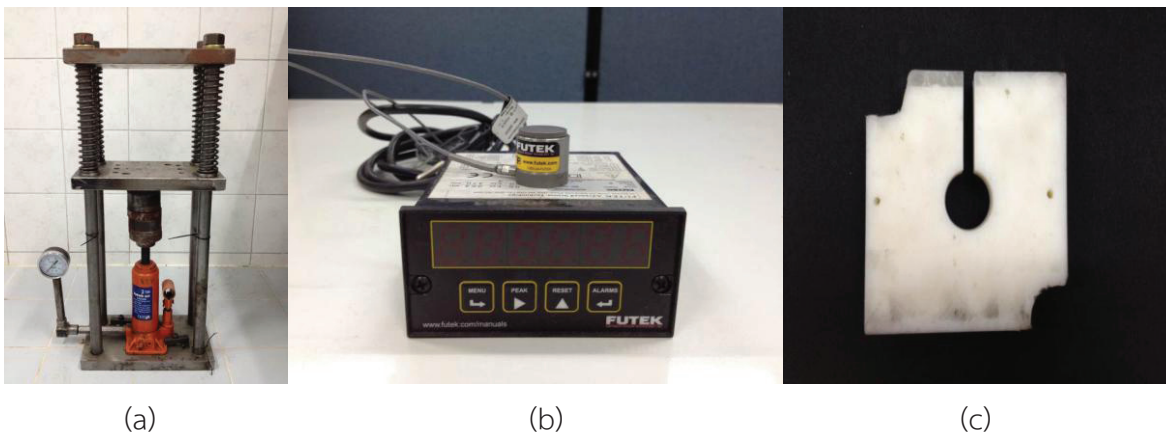
งานวิจัยนี้จะเน้นศึกษาผลกระทบของแรงกดอัดเซลล์ในการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเซลล์เข้าด้วยกันต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบกดอัดเซลล์เพื่อการประกอบและทดสอบเซลล์ โดยสร้างเครื่องกดอัดในแนวตั้งจากชิ้น และทำการวัดความดันในการกดอัดที่ระดับต่างๆ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลที่ได้จากการประกอบเซลล์ โดยในขั้นตอนในการประกอบ ในระบบทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดียวกัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดดังนี้

### 2.1 เครื่องกดอัดเซลล์เชื้อเพลิง

การออกแบบระบบกดอัดเซลล์เชื้อเพลิง จะออกแบบการกดให้อยู่ในแนวตั้งจากกับระนาบ โดยมีปั๊มแม่แรงช่วยในการกดอัดเซลล์ขนาด 3 ตันช่วยในการกดอัด เครื่องกดอัดจะมีแผ่นเหล็ก 2 แผ่นทางด้านบนของเครื่องกดอัด เพื่อทำหน้าที่เป็นแผ่นประกบในการกดอัดเซลล์ และมีการวางปั๊มแม่แรงทางด้านล่างของเครื่องกดอัด โดยแม่แรงจะมีเกจวัดความดันแสดงถึงขนาดของแรงที่ใช้ในการกดอัด ดังภาพที่ 3



(a) เครื่องกดอัดเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับทดสอบเซลล์ (b) เครื่องวัดแรงกดอัด และหน้าจอแสดงผล  
(c) แผ่นโพลิเมอร์รองรับการกดอัดเซลล์

ภาพที่ 3 อุปกรณ์ประกอบทดสอบแรงกดเซลล์เชื้อเพลิง

ในการวัดแรงในการกดอัดเซลล์จะวัดจากเครื่องวัดแรงอัด (Load Cell) ที่ได้ทำการรับรองแล้ว เพื่อความแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือในการวัด ดังภาพที่ 2 โดยจะวางตัววัดแรงอัดอยู่ทางด้านบนของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ ในการวัดเนื่องจากโหลดเซลล์มีขนาดเล็กไม่เต็มพื้นที่หน้าตัดของเซลล์เชื้อเพลิง จึงต้องมีตัวรองรับแรงกดอัดเพิ่มที่ทำจากโพลิเมอร์ ดังภาพที่ 3 (c) เพื่อช่วยรองรับและกระจายแรงกดอัดให้เต็มพื้นที่หน้าตัดของเซลล์ ทำให้ตัววัดแรงวัดมีความแม่นยำมากขึ้น และมีสปริงที่แกนทั้ง 4 ของตัวเครื่อง เพื่อช่วยให้การกดอัดจากปั๊มแม่แรงเข้ามาอัดในระยะที่เท่ากันทั้ง 4 มุมของเครื่อง ตัวเครื่องวัดแรงกดอัดจะมีหน้าจอแสดงผลค่าแรงอัดออกมาเมื่อมีการกดอัดของเซลล์ ชั้นนอกสุดของเซลล์เชื้อเพลิงคือ แผ่นสะสมกระแสและแผ่นประกบเซลล์ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้ติดอยู่ด้วยกันเป็นชิ้นเดียว

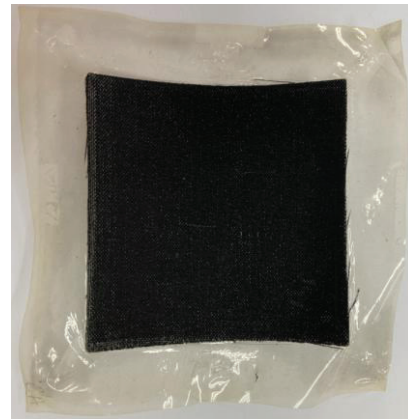


## 2.2 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 49 ตารางเซนติเมตร แผ่นแกรไฟต์มีความหนา 1 เซนติเมตร สนามการไหลเป็นแบบ Multi-Serpentine ส่วนประกอบชั้นถัดมาคือ Gasket และชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเมมเบรน ดังภาพที่ 4



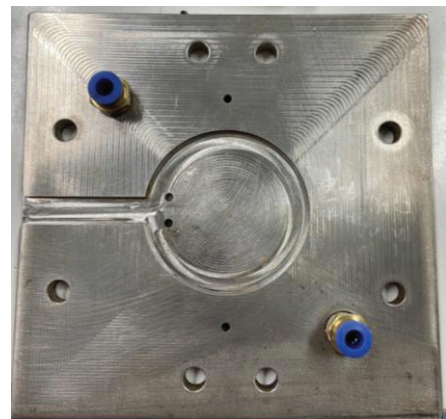
(a)



(b)



(c)

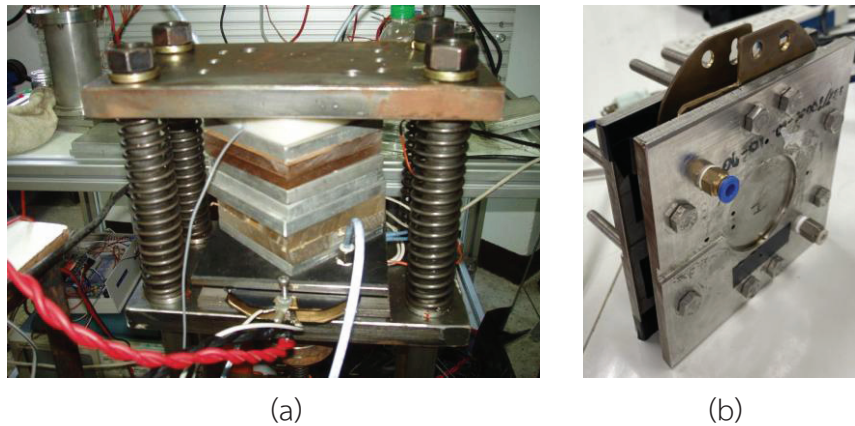


(d)

ภาพที่ 4 (a) แผ่นแกรไฟต์ที่ใช้ในการทดสอบ  
(c) แผ่นสะสมกระแส

(b) Gasket และ Meas ที่ใช้ในการทดลอง  
(d) แผ่นประกบเซลล์

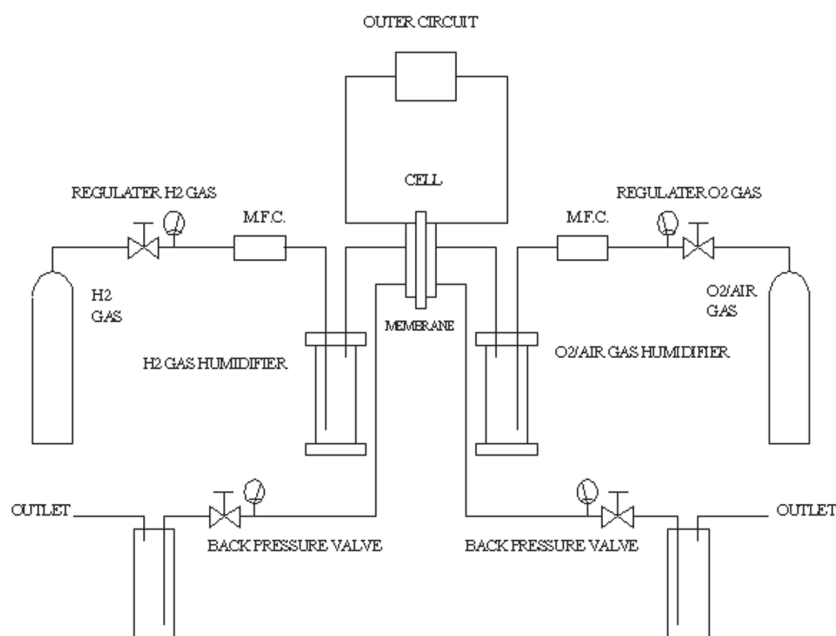
โดยจะนำชิ้นส่วนทั้งหมดมาประกอบรวมกันตามชั้นของเซลล์เชื้อเพลิงด้วยเครื่องกดอัดเซลล์ และวัดแรงกดอัดกับประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ที่แรงกดอัดต่างๆ จากนั้นจึงนำผลที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการประกอบด้วยน็อตดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 (a) เซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบขึ้นด้วยเครื่องกดอัดเซลล์ (b) เซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบขึ้นด้วยน็อต

### 2.3 ระบบทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

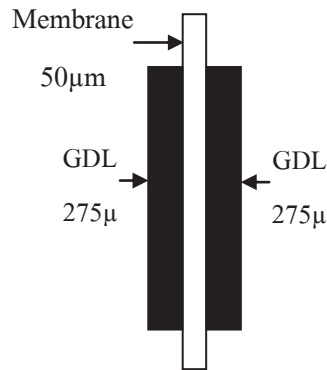
ระบบทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน อัตราการไหล และกระแสไฟฟ้า โดยมีการเก็บข้อมูลพร้อมกันนำข้อมูลที่ได้แสดงผลเป็นกราฟที่ได้จากการทดลอง แสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งนำมาทดสอบเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงด้วยเครื่องกดอัดเซลล์ที่ค่าแรงอัดต่างๆ เทียบกับอัตราการไหลของสารทำงานต่อไป



ภาพที่ 6 แผนผังการจัดระบบทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane Electrode Assembly, MEA) SERIES 12E-W MEA ของบริษัท BASF Fuel Cell, Inc มีพื้นที่ทำปฏิกิริยา  $49 \text{ cm}^2$  มีความหนาทั้งหมด  $0.06 \text{ cm}$

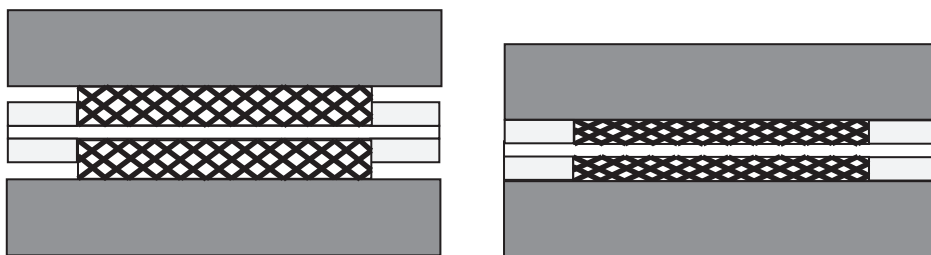
หรือ 600 Microns (24 mil) ซึ่งประกอบไปด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนมีความหนา 0.005 cm หรือ 50 Microns (2 mil) และชั้นการแพร่ของก๊าซที่ประกบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนไว้ทั้งสองด้านซึ่งมีความหนาด้านละ 0.0275 cm หรือ 275 Microns (11 mil) เป็นความหนาที่ยังไม่ได้รับแรงกด ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ชุดประกอบเมมเบรนอิเล็กโทรด

จากนั้นนำมาประกอบโดยการบีบอัดเซลล์ด้วยแรงจากการขันน็อตที่ 6.78 N.m และใช้ปะเก็น (Gasket) ของบริษัท BASF Fuel Cell, Inc ทำมาจาก Teflon เนื่องจากมีค่าการยุบตัวจากแรงกดที่ต่ำ (น้อยกว่า 1%) ทนต่อกรดต่างสูง ทนอุณหภูมิได้สูงกว่า 120 องศาเซลเซียส และไม่นำไฟฟ้ามีสองขนาดความหนาด้วยกันคือ 125 และ 50 Microns โดยนำมาซ้อนกันเพื่อให้ได้ชั้นความหนาตามต้องการคือ 225 175 และ 125 Microns ส่วนโพล่าเพลต แผ่นสะสมกระแสและแผ่นปิดท้ายเซลล์ใช้ของบริษัท Fuel cell Technology, Inc

จากการกำหนดค่าความหนาของชั้นการแพร่ของก๊าซจะสามารถคำนวณหาค่าความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซได้จากพื้นที่ น้ำหนัก ความหนา และความหนาแน่นของของแข็ง (สำหรับวัสดุคาร์บอนเป็นหลัก ความหนาแน่นในสถานะของแข็งคือ  $1.9 \text{ g.cm}^{-3}$ ) ค่าความพรุนจะขึ้นอยู่กับความหนาที่เปลี่ยนไปจากการถูกบีบอัดในขั้นตอนการประกอบเซลล์ ดังภาพที่ 8 และสมการที่ 1



ภาพที่ 8 ชั้นการแพร่ของก๊าซ (Gas Diffusion Layer) ก่อนและหลังการถูกกด

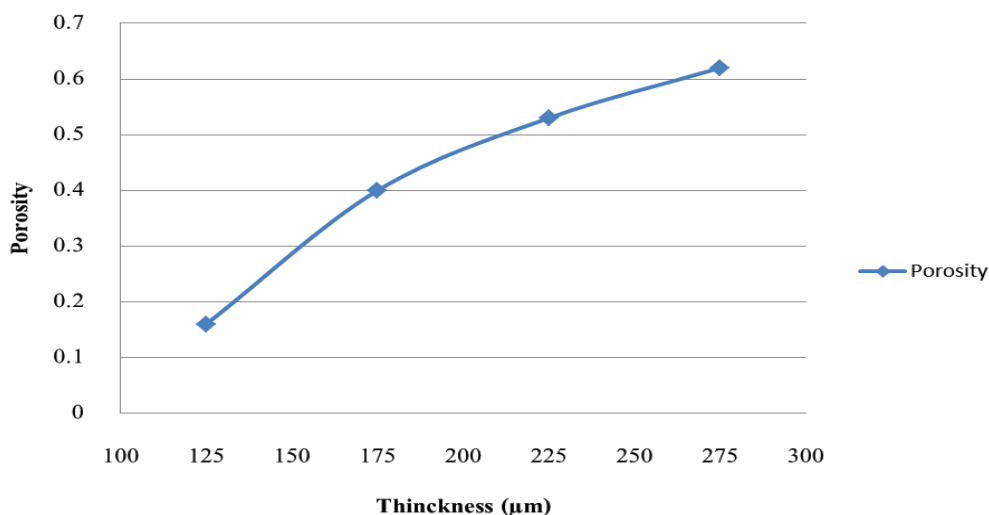
$$\varepsilon = 1 - \frac{W_A}{\rho_{real}d} \quad (1)$$

$\varepsilon$  = GDL porosity,  $W_A$  = Weight per area,  $\rho_{real}$  = Solid phase density,  $d$  = Thickness



### 3. ผลการศึกษา

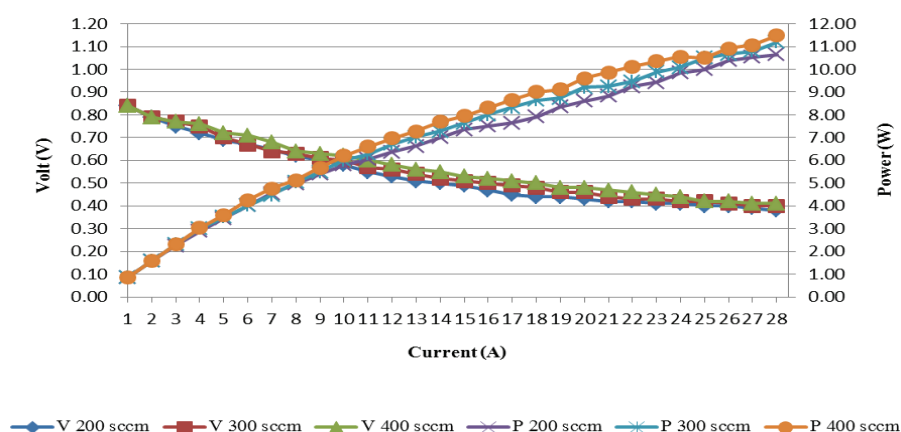
3.1 จากผลการคำนวณค่าความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซจากการประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน พบว่าเมื่อชั้นการแพร่ของก๊าซยุบตัวลง ส่งผลให้ความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซลดลงตามไปด้วย ผลที่ได้จากการคำนวณ แสดงตามภาพที่ 9



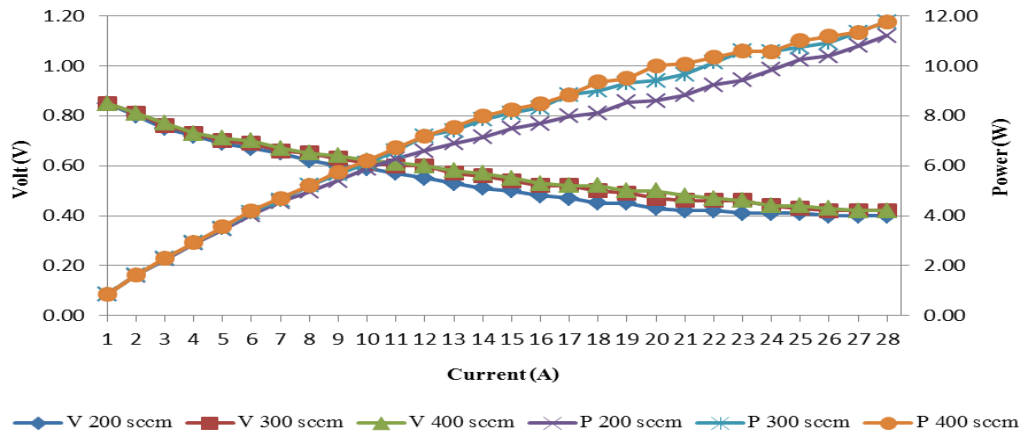
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของค่าความพรุนและความหนาของชั้นการแพร่ของก๊าซ

ผลการคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนและความหนาของชั้นการแพร่ของก๊าซที่ได้จากแรงกดอัดในการประกอบเซลล์ แสดงให้เห็นว่าค่าความพรุนจะแปรตามค่าความหนา ในลักษณะเป็นเส้นกราฟโค้งคว่ำ ตามสมการที่ใช้ในการคำนวณ จะเห็นว่าเมื่อความหนาของชั้นการแพร่ลดลง จะทำให้ค่าความพรุนลดลงตามไปด้วย ซึ่งมีผลต่อค่าความต้านทานภายในเซลล์โดยตรง

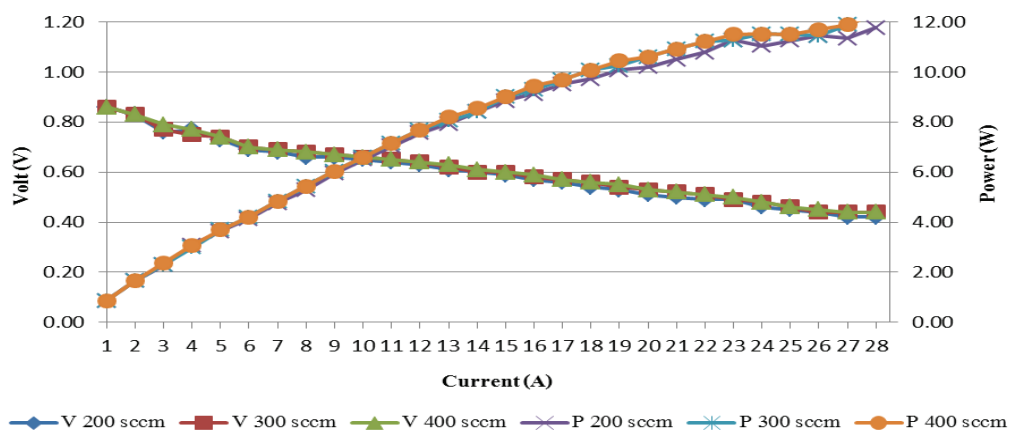
3.2 ผลทดสอบแรงกดอัดในการประกอบเซลล์ที่ 16,000 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร



(a)



(b)



(c)

- ภาพที่ 10** (a) กราฟโวลต์ไรเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงที่แรงกดอัด  $16,000 \text{ N/m}^2$  ค่าความพรุน 0.16  
 (b) กราฟโวลต์ไรเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงที่แรงกดอัด  $16,000 \text{ N/m}^2$  ค่าความพรุน 0.40  
 (c) กราฟโวลต์ไรเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงที่แรงกดอัด  $16,000 \text{ N/m}^2$  ค่าความพรุน 0.53

จากภาพที่ 10 ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่แรงกดอัดในการประกอบเซลล์ที่  $16,000$  นิวตันต่อตารางเมตร จะให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดของงานวิจัยนี้ คือ ที่อัตราการไหล 300 และ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ค่าความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซที่ 0.53 จะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงที่สุด ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ  $12.32 \text{ Watt}$  ที่ตำแหน่งความต่างศักย์  $0.44 \text{ Volt}$  และความหนาแน่นกระแส  $28 \text{ A}$  แต่เลือกใช้ค่าที่อัตราการไหล 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เพราะมีอัตราการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า เมื่อสังเกตกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะมีค่าความชันของกราฟที่น้อยที่สุด แสดงว่ามีค่าความต้านทานภายในเซลล์ที่ต่ำกว่าที่ค่าแรงกดอัดและค่าความพรุนอื่นๆ ในการทดสอบ และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการทดสอบจะได้ว่า ที่อัตราการไหล 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ค่าความพรุน 0.53 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ  $11.76 \text{ Watt}$  ณ ตำแหน่งความต่างศักย์  $0.42 \text{ Volt}$  และความหนาแน่นกระแส  $28 \text{ A}$  ที่ค่าความพรุน 0.4 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ  $11.20 \text{ Watt}$

ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.4 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ที่ค่าความพรุน 0.16 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 10.64 Watt ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.38 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ที่อัตราการไหล 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ค่าความพรุน 0.53 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 12.32 Watt ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.44 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ที่ค่าความพรุน 0.4 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 11.76 Watt ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.42 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ที่ค่าความพรุน 0.16 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 11.20 Watt ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.4 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ที่อัตราการไหล 400 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ค่าความพรุน 0.53 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 12.32 Watt ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.44 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ที่ค่าความพรุน 0.4 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 11.76 Watt ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.42 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ที่ค่าความพรุน 0.16 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 11.48 Watt ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.41 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A ซึ่งในแต่ละอัตราการไหลจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าต่างกันเช่นเดียวกับที่แรงกดอัดอื่น

#### 4. วิจัยและสรุปผล

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงด้วยเครื่องกดอัดเซลล์ ที่ค่าแรงกดอัดด้วยเครื่องอ่านค่าภาระโหลดที่ค่า 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 นิวตันต่อตารางเมตร อัตราการไหลของก๊าซ 200 300 และ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาของปะเก็น 225 175 และ 125 ไมครอน อุณหภูมิการทำงาน 70 °C พบว่าที่แรงกดอัดในการประกอบเซลล์ที่ 16,000 นิวตันต่อตารางเมตร จะให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดของงานวิจัย คือ ที่อัตราการไหล 300 และ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ค่าความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซที่ 0.53 จะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงที่สุด ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 12.32 Watt ที่ตำแหน่งความต่างศักย์ 0.44 Volt และความหนาแน่นกระแส 28 A แต่เลือกใช้ค่าที่อัตราการไหล 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เพราะมีอัตราการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า เมื่อสังเกตกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะมีค่าความชันของกราฟที่น้อยที่สุด แสดงว่ามีค่าความต้านทานภายในเซลล์ที่ต่ำกว่าที่ค่าแรงกดอัดและค่าความพรุนอื่นๆ ในการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ค่าแรงกดอัดในการประกอบเซลล์และค่าความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ค่าความหนา และความพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซจะมีผลโดยตรงต่อค่าความต่างศักย์ที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานไอออนและอิเล็กตรอน และความต่างศักย์ที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานในการถ่ายเทมวล เมื่อค่าความพรุนลดลงจะทำค่าความต่างศักย์ที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานไอออนและอิเล็กตรอนและความต้านทานในการถ่ายเทมวล ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเส้นใยของชั้นการแพร่ของก๊าซมีระยะชิดกันมากขึ้นทำให้อิเล็กตรอน และมวลต่างๆ เคลื่อนที่ผ่านชั้นการแพร่ของก๊าซได้ยากขึ้น การเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์จึงลดลง เป็นผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงตามไปด้วย และที่ค่าแรงกดอัดที่ 16,000 นิวตันต่อตารางเมตร มีความเหมาะสมในการเลือกใช้

ในการกดอัดเซลล์ เพราะทำให้แผ่น MEAs มีค่าความต้านทานต่ำ มีพื้นที่ทำปฏิกิริยามาก ทำให้กราฟมีความชันน้อย ประสิทธิภาพของเซลล์จึงสูงขึ้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ที่อนุเคราะห์ทุนอุดหนุนและให้สถานที่ในการทำงานวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- ณัฐวุฒิ จารุสุพันธุ์. (2548). *การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของการไหลของก๊าซในเซลล์เชื้อเพลิงชนิด พีอีเอ็ม*. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทรงวุฒิ นิธิศิลป์. (2545). *การออกแบบสร้างระบบทำความชื้นสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์*. ปรินญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Austin, L. G. (1968). *Hand book of Fuel Cell Technology*. Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall.
- Barbir, F. (2005). *PEM Fuel Cell: Theory and Practice*. NY: Elsevier Academic Press.
- Chang, W. R., Hwang, J. J., Weng, F. B., & Chan, S. H. (2007). Effect of clamping pressure on the performance of a PEM fuel cell. *Journal of Power Sources*, 166, 149–154.
- EG&E Services Parson, Inc. (2000). *Fuel Cell Hand Book*. West Verginia: Morganton.
- Iwao, N. (2008). *Inhomogeneous Compression of PEMFC Gas Diffusion Layers*. Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology, Finland.
- Kiattamrong, S. & Sripakagorn, A. (2014). *Effects of the Geometry of the Air Flowfield on the Performance of an Open-Cathode PEMFC*. In Proceedings of 5<sup>th</sup> international Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE2014) (pp. 408–413).
- Kim, B., Lee, Y., Woo, A., & Kim, Y. (2013). Effects of cathode channel size and operating conditions on the performance of air-blowing PEMFCs. *Applied Energy*, 111, 441–448.
- Kumar, P. M., & Kolar, A. K. (2010). Effect of cathode design on the performance of an air-breathing PEM fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(2), 671–681.
- MacDonald, C. S. (2009). *Effect of Compressive Force on PEM Fuel Cell Performance*. Master's thesis. Retrieved from <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/4252>.