

# อิทธิพลของความดันทางเข้าของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบ เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

## Effect of Hydrogen Inlet Pressure on Performance of Proton Exchanged Membrane Fuel Cell (PEMFC)

นิตินัย ปัญญ์บุศยกุล<sup>1\*</sup> มานพ มาสมทบ<sup>2\*\*</sup> ปฎิวัติ อ่อนพุทธา<sup>2</sup> จารุวัตร เจริญสุข<sup>3</sup> สุมิตรา จรสโรจน์กุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร

อีเมลล์ nitinai\_oak1@hotmail.com\*

<sup>2</sup>ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี

อีเมลล์ manop\_auto45@hotmail.com\*\*, fvj81@hotmail.com, sumittrc@mtec.or.th

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

อีเมลล์ kcjaruw@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

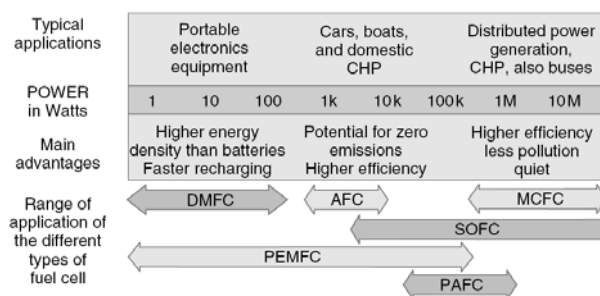
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความดันทางเข้าของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยความดันทางเข้าของเชื้อเพลิงไฮโดรเจน คือ 0.25 0.5 0.75 และ 1 บาร์ (gauge) สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงบริษัท GASHUB และ 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 บาร์ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงบริษัท BALLARD ที่ภาวะความดันทางไฟฟ้าอยู่ในช่วงกำลังทางไฟฟ้าไม่เกิน 40-50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้จะถูกอธิบายในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าเทียบกับกระแสไฟฟ้า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความดันทางเข้าต่าง ๆ [1,2] ของเชื้อเพลิงไฮโดรเจน (99.999% ของไฮโดรเจน) เทียบกับกำลังไฟฟ้า และสุดท้ายประสิทธิภาพเชิงความร้อน (LHV) เทียบกับกำลังไฟฟ้า จากการทดสอบพบว่า ที่ความดันต่ำอัตราการสิ้นเปลืองของไฮโดรเจนน้อย ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นตาม

### Abstract

This research studies the effect of hydrogen inlet pressure on performance of proton exchanged membrane fuel cell (PEMFC). The inlet pressure was varied from 0.25, 0.5, 0.75 and 1 bar (gauge) for PEMFC from GASHUB (2 kW) and 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 bar (gauge) for PEMFC from BALLARD (1.2 kW). The electrical power load was set about 40 – 50 % of maximum performance of each fuel cell. The results were represented by I-V-P curves at maximum load. Consumption rate and efficiency versus electrical power at each inlet pressure of hydrogen are compared. The results suggest that high efficiency and low hydrogen rate can be obtained at the lower inlet pressure of hydrogen.

### 1. คำนำ

ปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยด้านเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง เพื่อเป็นทางเลือกอย่างหนึ่งของปัญหาทางด้านพลังงาน เนื่องจากเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และแก้ปัญหาโลกร้อน โดยการนำพลังงานไฮโดรเจนที่มีจำนวนมากมหาศาลมาใช้เป็นพลังงาน ทั้งนี้ไฮโดรเจนที่ผลิตได้ต้องอยู่ภายใต้พลังงานสะอาด เช่น พลังงานลม หรือ พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่มีใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น Alkaline (AFC) อุณหภูมิทำงานที่ 50-200 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ~40% LHV Proton exchange membrane (PEMFC) อุณหภูมิทำงาน 30-100 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ~34-58% LHV Direct methanol (DMFC) อุณหภูมิทำงาน 20-90 องศาเซลเซียส Phosphoric acid (PAFC) อุณหภูมิทำงาน ~220 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ~40% LHV Molten carbonate (MCFC) อุณหภูมิทำงาน ~650 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ~44% LHV และ Solid oxide (SOFC) 500-1000 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ~45-65% LHV โดยสามารถดูข้อดีหลักๆ ของเซลล์ แต่ละชนิดที่การประยุกต์ใช้ต่างๆ กัน ดังรูปที่ 1



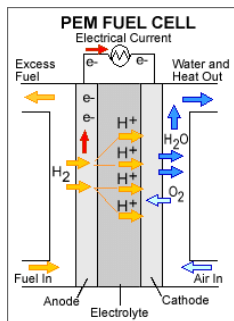
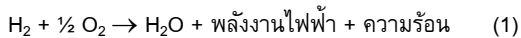
รูปที่ 1 ข้อดีหลักๆ ของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และการประยุกต์

การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่ Proton exchange membrane (PEMFC) เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง และมีการประยุกต์ใช้ที่หลากหลายมากกว่า เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยีทางด้านยานยนต์ได้ โดยในบทความนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของความดันทางเข้าของเชื้อเพลิงไฮโดรเจน และภาระความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistance Load) สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์เมมเบรน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) โดยความดันทางเข้าของเชื้อเพลิงไฮโดรเจน คือ 0.25 0.5 0.75 และ 1 bar (gauge) ที่อุณหภูมิห้อง และปรับเปลี่ยนภาระความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วงกำลังทางไฟฟ้าไม่เกิน 1 KW ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้จะถูกอธิบายในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า กำลังทางไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า อัตราการสิ้นเปลืองกับความดันทางเข้าของเชื้อเพลิงไฮโดรเจน (99.999% ของไฮโดรเจน) และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (LHV) กับความดัน

## 2. ทฤษฎีและการคำนวณ

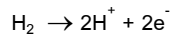
เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อุณหภูมิต่ำ 30 - 100°C โดยใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นอิเล็กโทรไลต์ และมีแพลตตินัม (Platinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีหลักการการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2

ปฏิกิริยาโดยรวมที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ดังสมการที่ 1

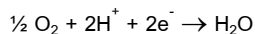


รูปที่ 2 หลักการทำงานของ PEMFC [3]

- ปฏิกิริยาด้านขั้วบวก (Anode)



- ปฏิกิริยาด้านขั้วลบ (Cathode)



คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนต่ำ (LHV) นำไปใช้ในการคำนวณหาความชื้นสัมพัทธ์เชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ถูกแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของไฮโดรเจน [4,5]

คุณสมบัติของไฮโดรเจน	ค่า	หน่วย
ความหนาแน่น	0.084	kg/m <sup>3</sup>
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	120.1 x 10 <sup>6</sup>	J/kg
ค่าความร้อนสูง (HHV)	141.9 x 10 <sup>6</sup>	J/Kg

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความชื้นสัมพัทธ์เชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน จำเป็นต้องใช้ค่าความ

หนาแน่นของไฮโดรเจนจากตารางที่ 1 เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (kg/s) เนื่องจากในการทดลองเครื่องมือวัดการไหลเป็นหน่วย (L/min) ถูกแสดงในสมการที่ 2

$$\dot{m} = \frac{\rho \dot{V}}{60000} \quad (2)$$

โดยที่  $\dot{m}$  คืออัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)  $\dot{V}$  คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรจากการทดลอง (L/min) และ  $\rho$  ค่าความหนาแน่นของไฮโดรเจน (kg/m<sup>3</sup>)

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน จะใช้ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ในการคำนวณ โดยสมการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนคือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ได้ต่อพลังงานที่จ่ายให้ ซึ่งสามารถแสดงในสมการที่ 3

$$\eta_{th} = \frac{P}{\dot{m} LHV} \quad (3)$$

โดยที่  $\eta_{th}$  คือประสิทธิภาพเชิงความร้อน  $P$  คือกำลังไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง (J/s) และ  $LHV$  คือค่าความร้อนต่ำ (J/kg)

## 3. อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด

การทดสอบได้ใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจากสองบริษัทคือ GASHUB ขนาด 2 kW และ BALLARD ขนาด 1.2 kW โดยถูกดัดแปลงเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความดันทางเข้าของไฮโดรเจน และเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เครื่องมือวัดความดัน (Pressure Transducer) เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter Transducer) เครื่องลงบันทึกข้อมูล (Data Logger) เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า (Amp-Meter) เครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt-Meter) และเครื่องปรับเปลี่ยนภาระกำลังทางไฟฟ้า (Electronic Load) ดังแสดงในรูปที่ 3

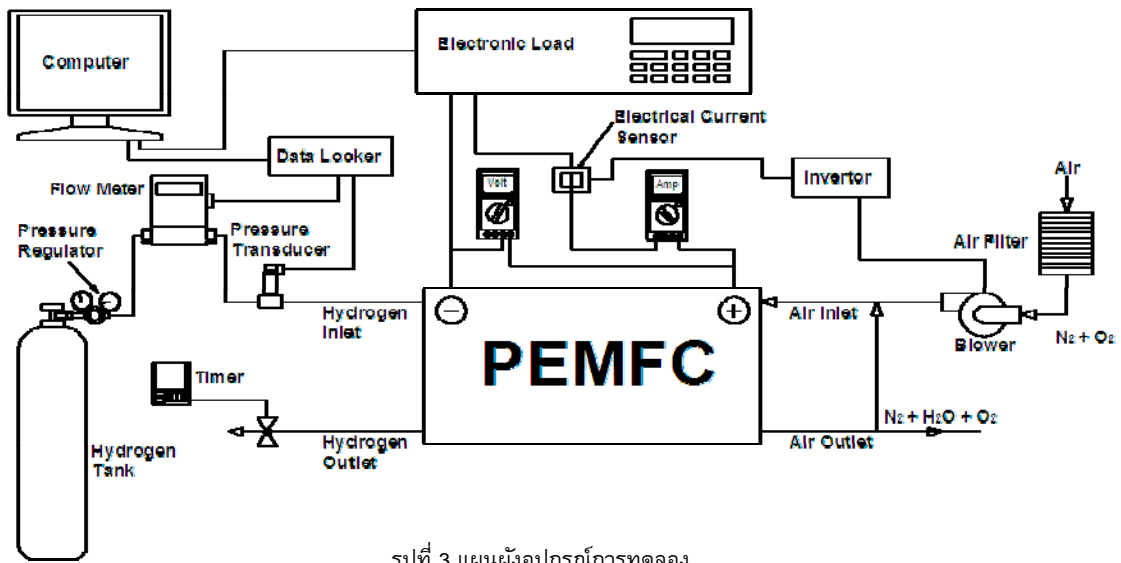
เนื่องจากทดลองจำเป็นต้องเก็บค่าที่มีความละเอียดจากเครื่องมือวัดเพื่อใช้ในการคำนวณที่แม่นยำ ดังนั้นในการใช้เครื่องมือวัดทุกชิ้นจำเป็นต้องทำการสอบเทียบก่อนใช้งาน

หลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองบริษัทถูกควบคุมการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับภาระกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ โดยมีเครื่องตัวจับกระแสไฟฟ้าขาออกจากเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มขึ้น ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าจะส่งสัญญาณไปที่ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ (Air Blower) ทำให้ความเร็วมอเตอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศทางเข้าในเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณออกซิเจนในเซลล์เชื้อเพลิงทางด้านขั้วลบ (Cathode) มีปริมาณเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาตอบสนองภาระกำลังที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในขณะที่เดียวกันปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นตาม

เซลล์เชื้อเพลิงบริษัท GASHUB ถูกควบคุมความดันเกจทางเข้าที่ 0.25 0.5 0.75 และ 1 บาร์ การควบคุมการเปิดปิดวาล์วทางออกไฮโดรเจนใช้เวลา 2 นาทีสำหรับการปิด และ 1 วินาทีสำหรับการเปิด สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงบริษัท BALLARD ถูกควบคุมความดันเกจทางเข้า 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 บาร์ การควบคุมในการเปิดปิดวาล์วทางออก

ของไฮโดรเจนถูกควบคุมจากชุดอุปกรณ์ที่ติดตั้งมาพร้อมกับเซลล์เชื้อเพลิงของบริษัท

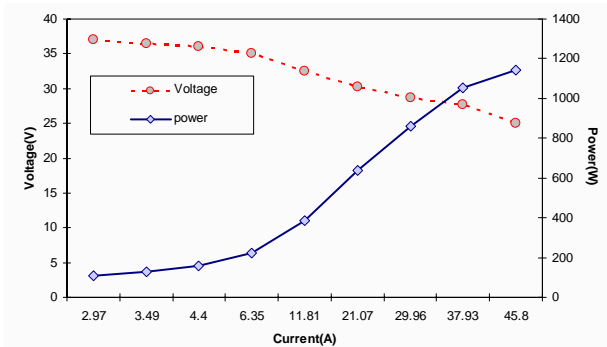
รูปที่ 5 กราฟ I-V-P ตามข้อกำหนดของบริษัท GUSHUB ขนาด 2 kW



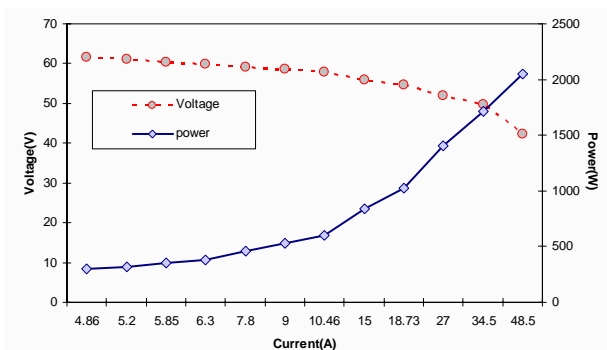
รูปที่ 3 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง

#### 4. ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

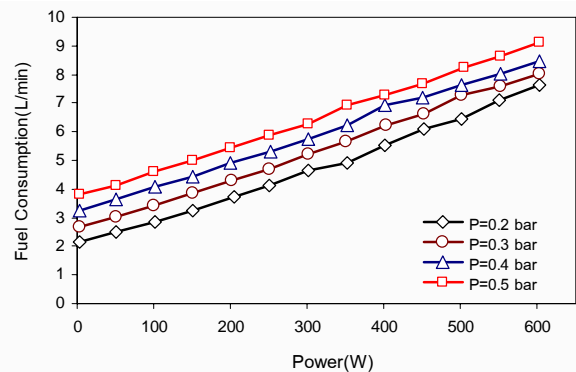
ในการทดสอบเป็นสองส่วน คือ ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ภาระกำลังสูงสุด โดยกำหนดกำลังสูงสุดขึ้นอยู่กับขนาดของแต่ละบริษัท กำหนดมา ซึ่งจะไม่ทำการทดสอบที่ภาระเกินภาระสูงสุด เนื่องจากอาจเกิดความเสียหายต่อเซลล์เชื้อเพลิงได้ ส่วนที่สองทำการทดสอบที่ภาระ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ โดยผลของกราฟ I-V-P ถูกแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 และการปรับเปลี่ยนความดันทางเข้าของไฮโดรเจน ถูกแสดงในรูปที่ 6 7 8 และ 9



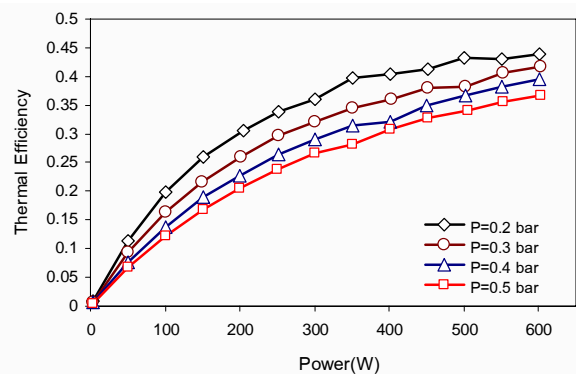
รูปที่ 4 กราฟ I-V-Pตามข้อกำหนดของบริษัท BALLARDขนาด 1.2 kW



รูปที่ 4 และ รูปที่ 5 แสดงกราฟ I-V-P ของแต่ละบริษัท จะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะลดลงและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ออกจากเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น

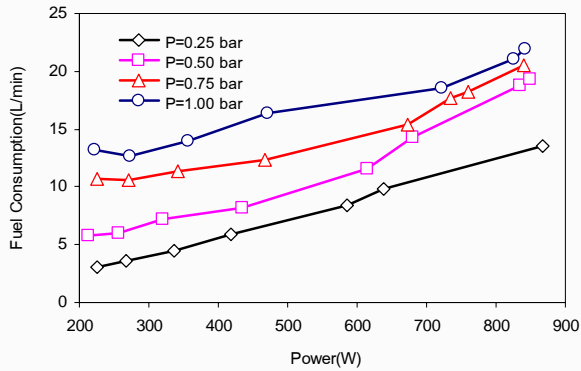


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไฮโดรเจนกับกำลังไฟฟ้าที่ได้ของบริษัท BALLARD ที่ความดันทางเข้าต่างกัน

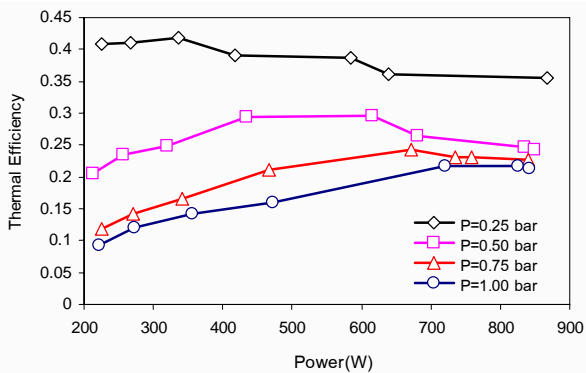


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้ของบริษัท BALLARD ที่ความดันทางเข้าต่างกัน

จากรูปที่ 6 แสดงการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และพบว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความดันของไฮโดรเจนจาก 0.2 บาร์ เป็น 0.5บาร์ ปริมาณการบริโภคเชื้อเพลิงก็สูงขึ้นตาม ในทางตรงกันข้ามกันประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจะต่ำลงเมื่อเพิ่มความดันของไฮโดรเจน สำหรับช่วงกำลังไฟฟ้า 0 W มีการใช้เชื้อเพลิงเนื่องจากพลังงานถูกใช้สำหรับการหล่อเลี้ยงระบบควบคุมที่มาพร้อมกับบริษัท



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไฮโดรเจนกับกำลังไฟฟ้าที่ได้ของบริษัท GUSHUB ที่ความดันทางเข้าต่างกัน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้ของบริษัท GUSHUB ที่ความดันทางเข้าต่างกัน

จากรูปที่ 8 จะพบว่าในขณะที่กำลังทางไฟฟ้าสูงการบริโภคปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันทางเข้าของเซลล์เชื้อเพลิงการบริโภคเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก ขณะที่ความดันในตัวเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้นอัตราการรั่วซึมออกจากตัวเซลล์เพิ่มขึ้น และอัตราการใช้ประโยชน์ของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนลดลง เนื่องจากสูญเสียจากการระบายปริมาณไฮโดรเจนที่ทางออกเป็นจำนวนมากขณะความดันสูง สำหรับรูปที่ 9 ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจะลดลงเมื่อความดันทางเข้าของไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น

## 6. สรุป

จากการทดลองปรับเปลี่ยนความดันทางเข้าของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยปรับเปลี่ยนความดันจาก 0.2 - 1 บาร์ของบริษัท GUSHUB และ

BALLARD พบว่าที่ความดันต่ำอัตราการใช้ประโยชน์ของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะสูง ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่าที่ความดันทางเข้าของไฮโดรเจนสูงกว่า

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเซลล์เชื้อเพลิง(M125) ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ภายใต้การควบคุมดูแลของสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) และขอขอบคุณนายวิษณุ รักษาชาติ นักศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือในช่วงการทดสอบ

## เอกสารอ้างอิง

1. Amirinejad, M., Rowshanzamir, P., and Eikani, M. H., Effects of operating parameters on performance of a proton, Journal of Power Sources 161 (2006) 872–875.
2. Santa Rosa, D.T., et al., High performance PEMFC stack with open-cathode at ambient, International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 4350 – 4357
3. [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Fc\\_diagram\\_pem.gif](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Fc_diagram_pem.gif)
4. The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs (2004), National Academy of Engineering (NAE), Board on Energy and Environmental Systems (BEES)
5. Bent Sørensen, Hydrogen and Fuel Cells; Emerging technologies and applications, Copyright © 2005, Elsevier Inc.