

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

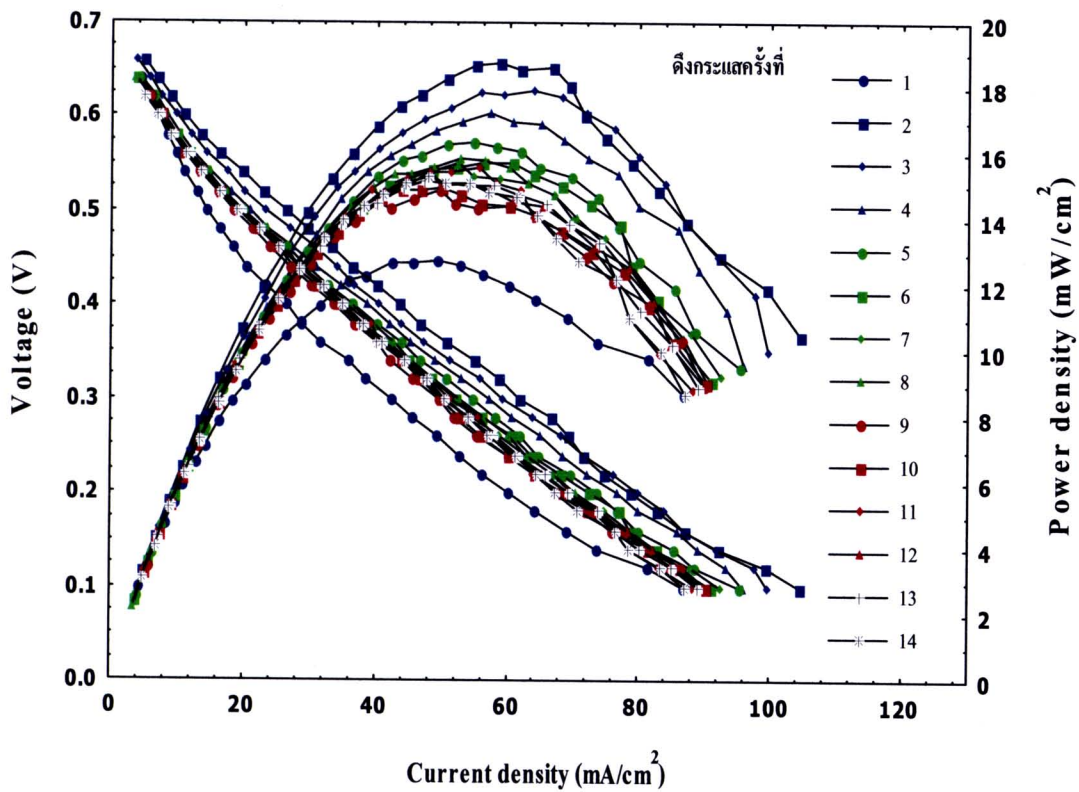
การศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกระตุ้นเซลล์ที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรง แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ 1) การเปรียบเทียบการใช้ก๊าซไฮโดรเจนและสารละลายเอธานอลในการกระตุ้นขั้วแอโนด 2) ศึกษาอิทธิพลของค่าความต่างศักย์ขณะกระตุ้นเซลล์และความดันก๊าซไฮโดรเจน 3) ศึกษาการสลับเอาก๊าซออกซิเจนป้อนเข้าที่ขั้วแอโนดและใช้ก๊าซไฮโดรเจนป้อนเข้าที่ขั้วแคโทด และ 4) การกระตุ้นเซลล์แบบ 3 ขั้นตอน ซึ่งผลการทดลองและการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

4.1 การเปรียบเทียบการใช้ก๊าซไฮโดรเจนและสารละลายเอธานอลในการกระตุ้นขั้วแอโนด

4.1.1 การกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจน

สภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนคือความดันของก๊าซไฮโดรเจนซึ่งป้อนเข้าที่ขั้วแอโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$) เท่ากับ 2 บรรยากาศ ความดันของก๊าซออกซิเจนซึ่งป้อนเข้าที่ขั้วแคโทด (Pt/C) เท่ากับ 2 บรรยากาศ คังกระแสที่ความดันคงที่ที่ 0.6 V อุณหภูมิของเซลล์ 80 °C

ในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยว (Single cell Testing) ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนกระตุ้นขั้วแอโนดหลังจากที่เซลล์ผ่านการกระตุ้นแล้วพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 12.79 mW/cm^2 ในการคังกระแสครั้งแรก จากนั้นเมื่อเชื้อเพลิง (สารละลายเอธานอล) เข้าสู่เซลล์ได้อย่างทั่วถึงแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงจะให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามากขึ้นและมีค่าสูงสุดเท่ากับ 18.75 mW/cm^2 ในการคังครั้งที่สอง หลังจากนั้นสมรรถนะการทำงานของเซลล์จะตกลงเรื่อยๆ จนความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 14.88 mW/cm^2 ในการคังครั้งที่เก้า หลังจากนั้นค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในการคังกระแสครั้งต่อๆ มา และเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 104.6 mA/cm^2 ตามรูปที่ 4.1

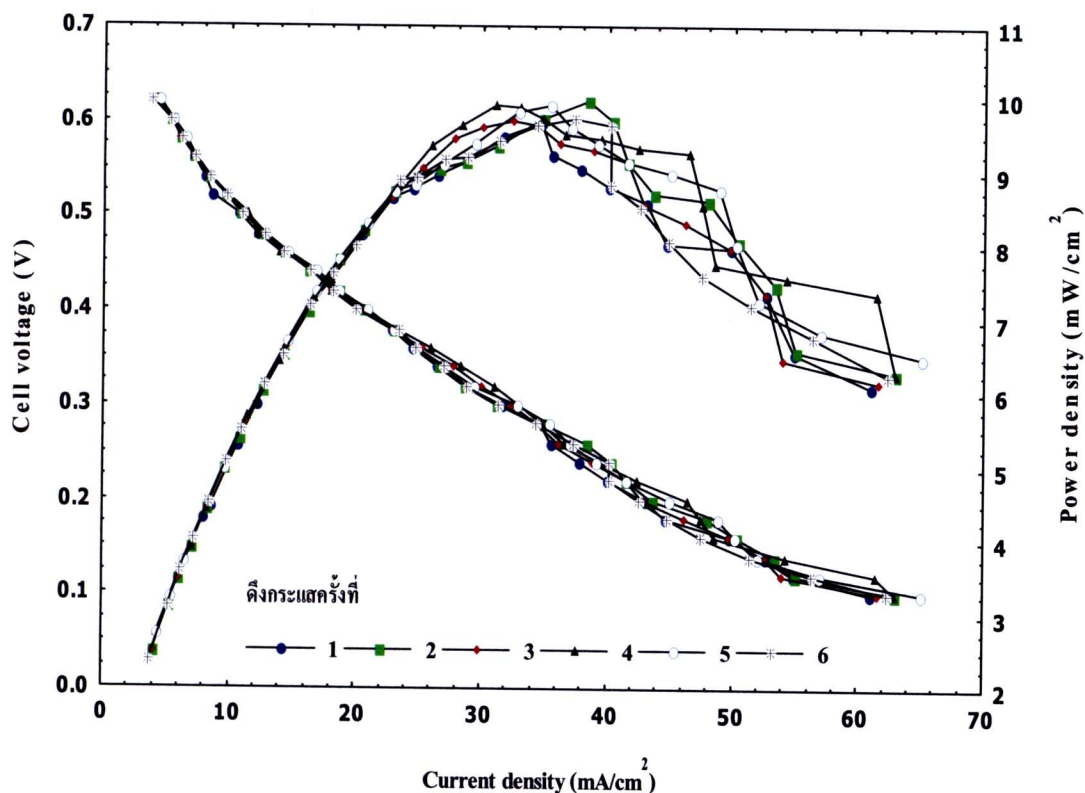


รูปที่ 4.1 กราฟโวลตาไรเซชันและกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจน (เซลล์ 1)

4.1.2 การกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอล

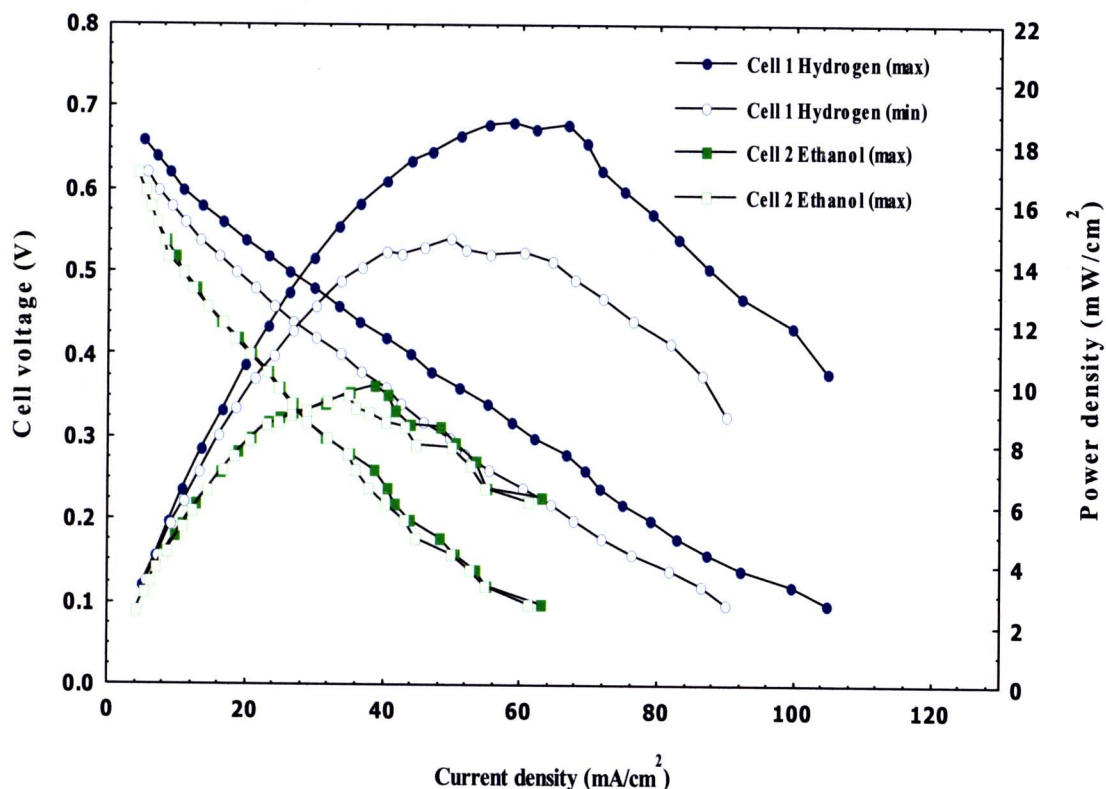
สภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลคือความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลซึ่งป้อนเข้าที่ขั้วแอโนด (Pt₃Sn₁/C) เท่ากับ 1 mol/dm³ ความดันของก๊าซออกซิเจนซึ่งป้อนเข้าที่ขั้วแคโทด (Pt/C) เท่ากับ 2 บรรยากาศ คิงกระแสดังนี้ความดันคงที่ที่ 0.3 V อุณหภูมิของเซลล์ 90 °C

ในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยว (Single cell testing) ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้สารละลายเอทานอลกระตุ้นขั้วแอโนดหลังจากที่เซลล์ได้รับการกระตุ้นแล้วพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในการคิงกระแสดังนี้ครั้งแรกเท่ากับ 9.69 mW/cm² และให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 9.98 mW/cm² ในการคิงครั้งที่สอง แต่อย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นด้วยสารละลายเอทานอลนี้ให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ไม่ต่างกันมากนักในทุกครั้งของการคิงกระแสดังนี้ กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 9.98 – 9.69 mW/cm² ตามรูปที่ 4.2 สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้เท่ากับ 65.0 mA/cm²



รูปที่ 4.2 กราฟโพลาริเซชันและกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอล (เซลล์ 2)

เมื่อนำผลการทดลองของเซลล์ทั้งสองมาเปรียบเทียบกันจะเห็นว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนมีสมรรถนะการทำงานที่ดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลค่อนข้างมาก เมื่อมาพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะพบว่า ปัจจัยหลักๆ ที่ส่งผลอย่างมากต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรงได้แก่ 1) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในขั้วแอโนด 2) อุณหภูมิของเซลล์ 3) การเกิดพิษบนตัวเร่งปฏิกิริยา (Poison) 4) การแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอทานอล (Ethanol crossover) และ 5) ลักษณะทางกายภาพของ Membrane Electrode Assembly (MEA) จากปัจจัยทั้ง 5 ข้อนี้จะเห็นว่า ปัจจัยของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในขั้วแอโนดและอุณหภูมิของเซลล์นั้นไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้มีความแตกต่างกันของสมรรถนะการทำงานของเซลล์ทั้งสอง เนื่องจากเซลล์ทั้งสองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเดียวกันคือ $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ และทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวที่อุณหภูมิ 90°C เช่นเดียวกัน

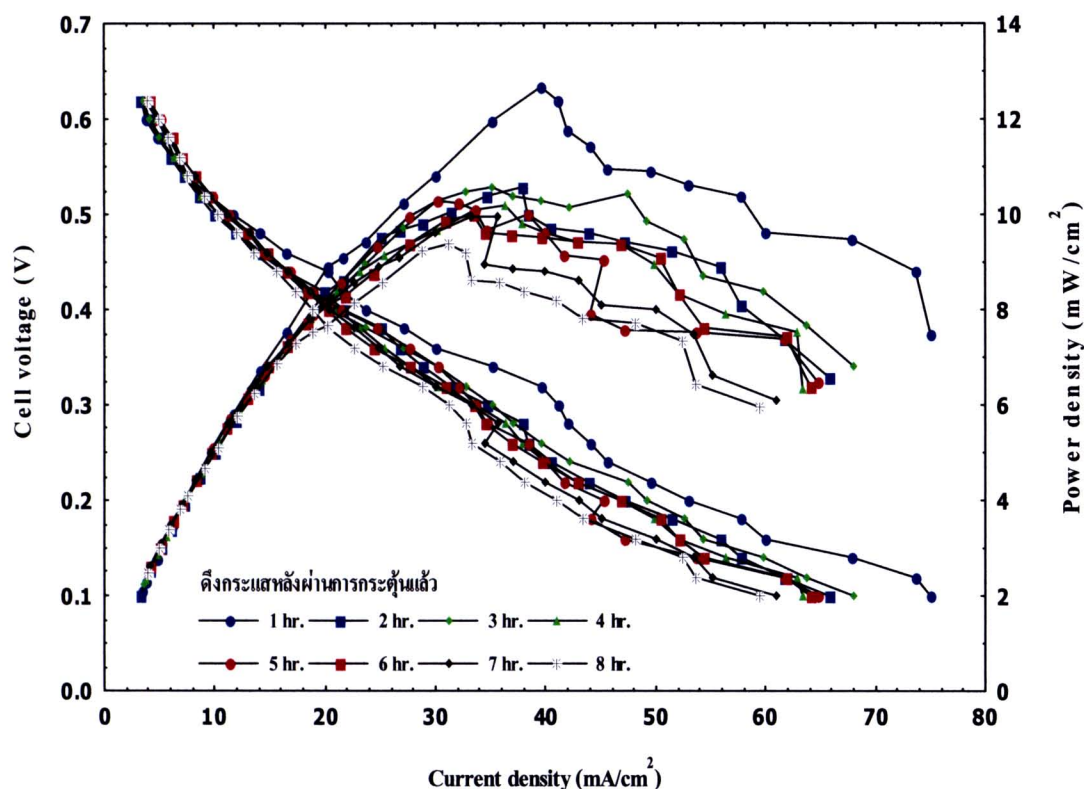


รูปที่ 4.3 กราฟโพลาริเซชันและกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจน (เซลล์ 1) เปรียบเทียบกับของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอล (เซลล์ 2)

เมื่อพิจารณาในปัจจัยต่อมาคือ การเกิดพิษบนตัวเร่งปฏิกิริยาและการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอทานอล สามารถพิจารณาได้ว่าปัจจัยทั้งสองนี้เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวและส่งผลทำให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง แต่จะเห็นว่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลนั้นไม่ลดลงในขณะที่ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวตามรูปที่ 4.2 เนื่องจากสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลนี้มีค่าลดลงมาตั้งแต่ช่วงของการกระตุ้นเซลล์แล้วตามรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลนั้นมีค่าลดลงจาก 12.67 mW/cm^2 เหลือ 9.36 mW/cm^2 ดังนั้นจึงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะการทำงานของเซลล์ในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยว เมื่อกลับมาพิจารณาปัจจัยของการเกิดพิษบนตัวเร่งปฏิกิริยาและการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอทานอลอีกครั้ง พบว่าในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวของทั้งเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลนั้นกระทำที่

สถานะเดียวกัน ดังนั้นกลไกของการเกิดพิษบนตัวเร่งปฏิกิริยา (Poison) และการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอทานอล (Ethanol crossover) ควรเกิดขึ้นเหมือนกันทั้งสองเซลล์และมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งจะไม่ทำให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์ 1 (กระตุ้นด้วยก๊าซไฮโดรเจน) และเซลล์ 2 (กระตุ้นด้วยสารละลายเอทานอล) แตกต่างกันอย่างมากระหว่างนี้ ดังนั้นปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมากของสมรรถนะการทำงานของเซลล์ทั้งสองคือ สภาพทางกายภาพของ MEA



รูปที่ 4.4 กราฟโพลาริเซชันและกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์ 2 ระหว่างที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอล

เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงนั้น MEA ซึ่งผ่านการอัดด้วยความร้อน (Hot pressing) จะสูญเสียไนโตรเจนจำนวนหนึ่งทำให้เมมเบรนและแนฟิออนในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแห้งและมีความสามารถในการนำโปรตอนต่ำ (Low proton conductivity) อีกทั้งยังมีสารต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตไปปิดกั้นหรือแทรกอยู่ตามรูพรุนของคาร์บอนในชั้นแพร่กระจายก๊าซและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้การถ่ายเทมวลสารทำได้ไม่สะดวก เซลล์เชื้อเพลิงจะมีความต้านทานภายในสูง (High internal resistance) นอกจากนี้ Pt ยังสามารถทำปฏิกิริยารีดักชันกับออกซิเจนเกิดเป็น PtO ดังสมการ (4.1) ทำให้ Pt ไม่อยู่ในสภาพที่พร้อมจะทำหน้าที่ตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะ Pt สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นได้จะต้องอยู่ในรูปของ Pt เท่านั้น จากงานวิจัยของ Zhigang Qi และ Arthur Kaufman [7] กล่าวว่า

ว่าการกระตุ้นเซลล์ช่วยให้ชั้นแพร่กระจายก๊าซ Gas Diffusion Layer (GDL) และชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา Catalyst Layer (CL) มีช่องเปิดมากขึ้น เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าไปนำพาสารที่ตกค้างออกจากรูพรุนของคาร์บอน เมื่อช่องเปิดมากขึ้นจะส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารทั้งสารเริ่มต้น (เชื้อเพลิง) หรือสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาคืบ (Low internal resistance) นอกจากนี้ยังเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางชีวเคมี รวมทั้งไอน้ำที่ได้จากการป้อนก๊าซทั้งสองผ่านเครื่องปรับความชื้นก๊าซทำให้เซลล์และเมมเบรนมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มความสามารถในการนำโปรตอน (High proton conductivity) ของเมมเบรนและแนฟิออนในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาและสุดท้ายการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนยังช่วยให้ Pt มีความบริสุทธิ์มากขึ้น เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนสัมผัสกับ Pt ในระหว่างการกระตุ้นเซลล์ ก๊าซไฮโดรเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยที่ก๊าซไฮโดรเจนจะไปจับกับโมเลกุลของออกซิเจนกลายเป็นโมเลกุลของน้ำดังสมการ (4.2)

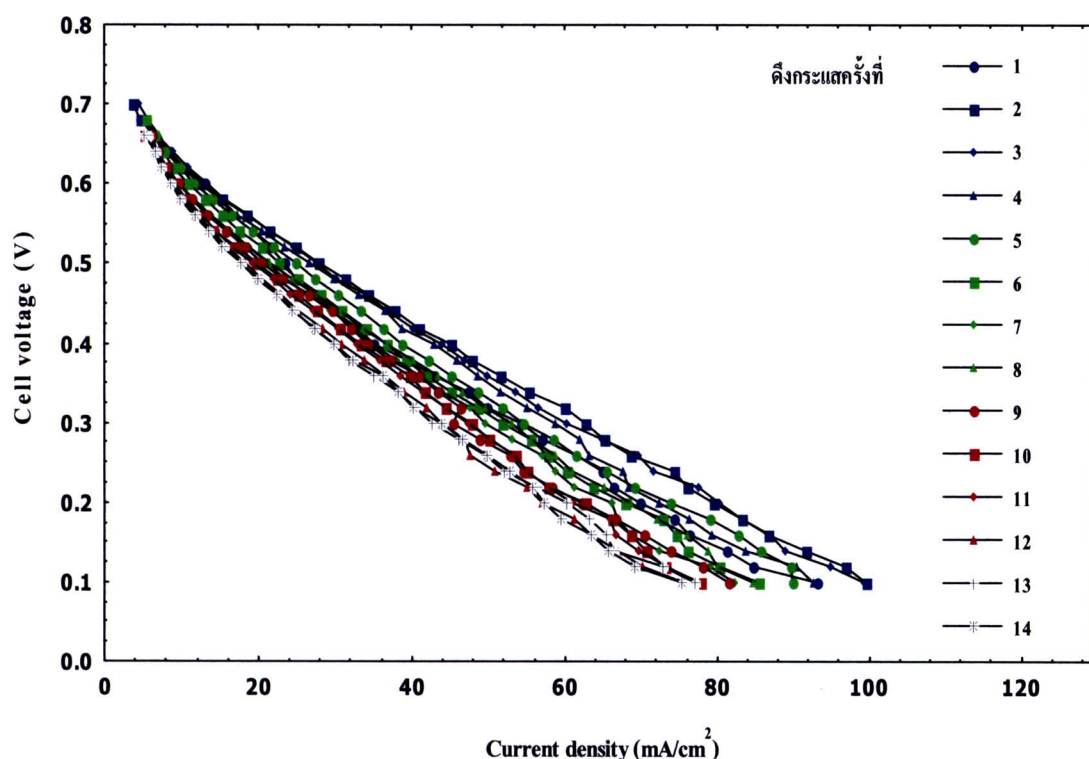


ดังนั้นสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนจึงดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอธานอล

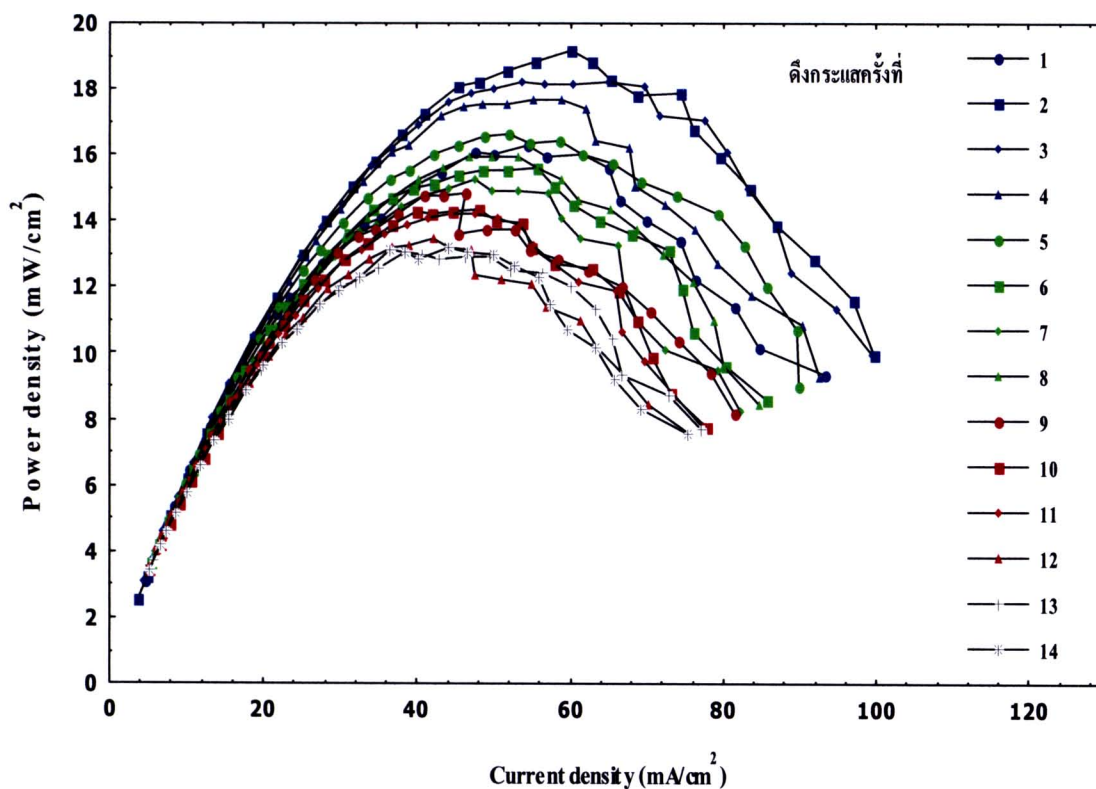
4.2 อิทธิพลของค่าความต่างศักย์ขณะกระตุ้นเซลล์และความดันก๊าซไฮโดรเจนที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ในหัวข้อนี้จะได้แสดงผลการทดลองของเซลล์ 3 เซลล์ 4 และเซลล์ 5 เป็นลำดับแรกเพื่อดูสมรรถนะการทำงานของแต่ละเซลล์ จากนั้นจะได้เปรียบเทียบอิทธิพลของค่าความต่างศักย์ขณะกระตุ้นเซลล์และความดันก๊าซไฮโดรเจนในหัวข้อย่อยที่ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2 ตามลำดับ

ตามการทดลองในตารางที่ 3.2 เซลล์ 3 ทำการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจน โดยป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าที่ขั้วแอโนด ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ และป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าที่ขั้วแคโทด ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ ดึงกระแสที่ความต่างศักย์ 0.3 V ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ตามลำดับ จากกราฟโพลารไรเซชัน รูปที่ 4.5 เซลล์ 3 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 62.8 mA/cm² ที่ความต่างศักย์ที่ 0.3 V ในการดึงกระแสครั้งที่ 2 ซึ่งมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในการดึงครั้งแรกอยู่ 8.4 mA/cm² และเซลล์ 3 ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำสุด 42.8 mA/cm² ในการดึงครั้งที่ 13 สำหรับในการดึงกระแสครั้งแรกนั้น เซลล์ 3 ให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 16.32 mW/cm² และให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 19.2 mW/cm² ในการดึงกระแสครั้งที่ 2 จากนั้นค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการดึงกระแสมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.06 mW/cm² ในการดึงครั้งที่ 13 ตามรูปที่ 4.6



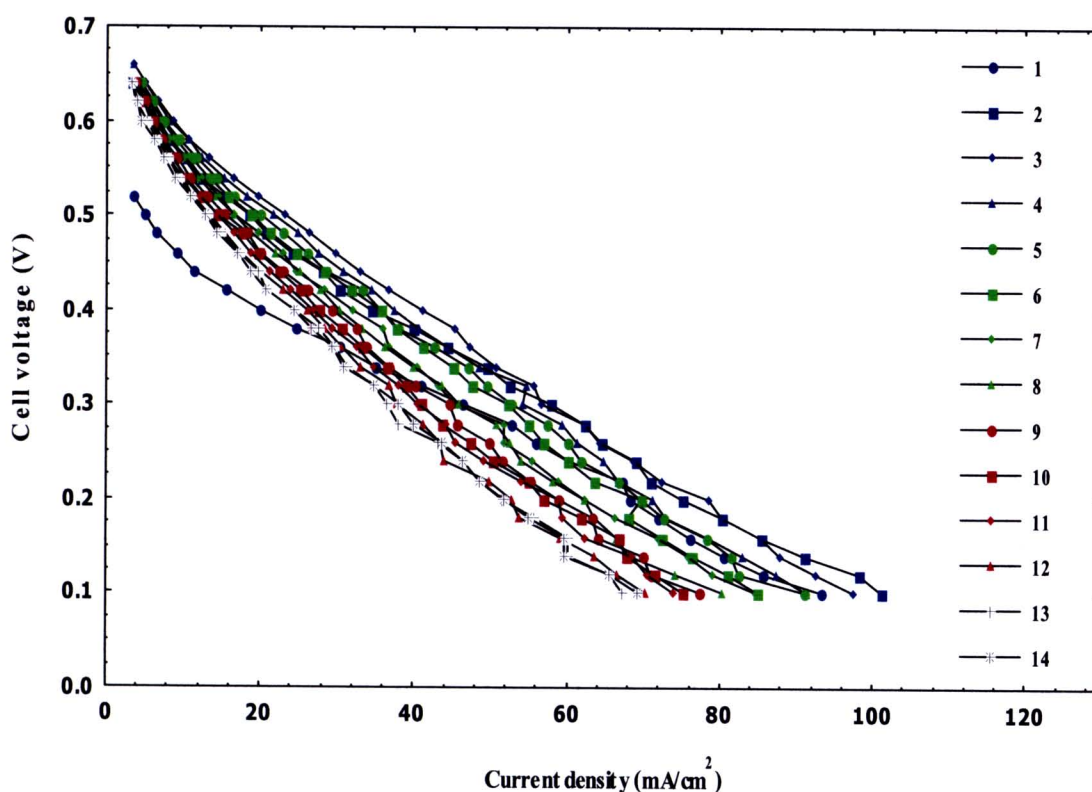
รูปที่ 4.5 กราฟโพลารไรเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 3” แอโนด (Pt₃Sn₁/C) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.3 V



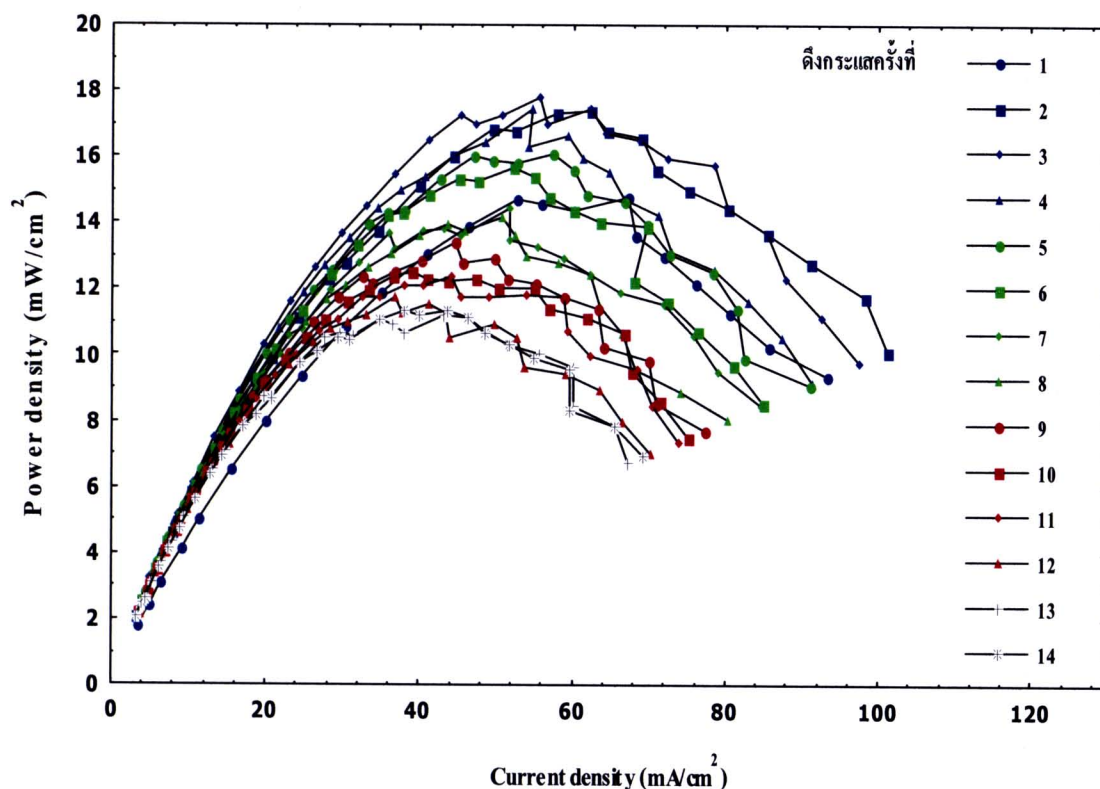
รูปที่ 4.6 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 3” แอนโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$) ป้อน ก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.3 V

ตามการทดลองในตารางที่ 3.2 เซลล์ 4 ทำการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจน โดยป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าที่ขั้วแอโนด ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ และป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าที่ขั้วแคโทด ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ คิงกระแสที่ความต่างศักย์ 0.6 V ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ตามลำดับ

จากกราฟโพลาริเซชัน รูปที่ 4.7 เซลล์ 4 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 57.8 mA/cm^2 ที่ความต่างศักย์ที่ 0.3 V ในการดิงกระแสครั้งที่ 2 ซึ่งมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในการดิงครั้งแรกอยู่ 9.4 mA/cm^2 และเซลล์ 4 ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำสุด 36.4 mA/cm^2 ในการดิงครั้งที่ 13 สำหรับในการดิงกระแสครั้งแรกนั้น เซลล์ 4 ให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 14.78 mW/cm^2 และให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 17.47 mW/cm^2 ในการดิงกระแสครั้งที่ 3 และ 4 จากนั้นค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการดิงกระแสมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 11.23 mW/cm^2 ในการดิงครั้งที่ 13 ตามรูปที่ 4.8

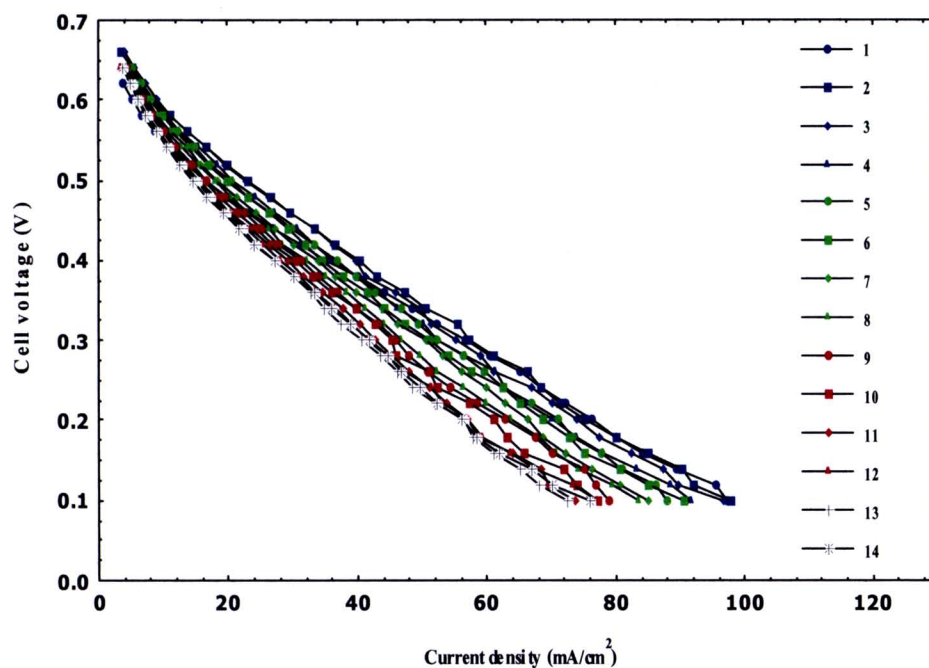


รูปที่ 4.7 กราฟโพลาริเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 4” แอโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, แคโทด (P/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.6 V

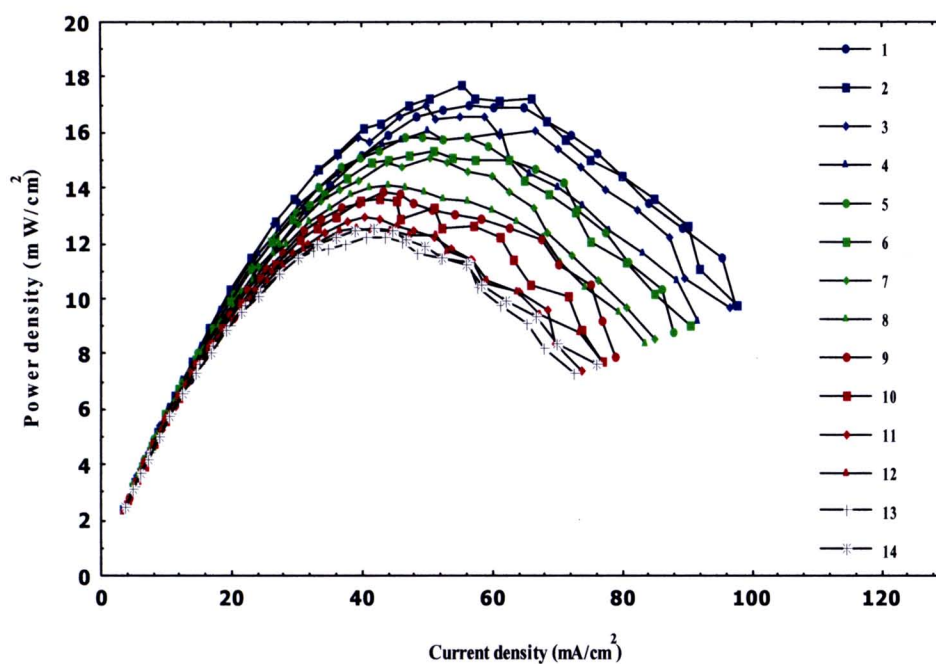


รูปที่ 4.8 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 4” แอโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.6 V

ตามการทดลองในตารางที่ 3.2 เซลล์ 5 ทำการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจน โดยป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าที่ขั้วแอโนด ที่ความดันสัมบูรณ์ 2 บรรยากาศ และป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าที่ขั้วแคโทด ที่ความดันสัมบูรณ์ 2 บรรยากาศ ดึงกระแสที่ความต่างศักย์ 0.6 V ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ตามลำดับ จากกราฟโพลาริเซชันรูปที่ 4.9 เซลล์ 5 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 57.4 mA/cm^2 ที่ความต่างศักย์ที่ 0.3 V ในการดึงกระแสครั้งที่ 2 ซึ่งมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในการดึงครั้งแรกอยู่ 0.8 mA/cm^2 และเซลล์ 5 ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำสุด 40.6 mA/cm^2 ในการดึงครั้งที่ 13 สำหรับในการดึงกระแสครั้งแรกนั้น เซลล์ 5 ให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 16.98 mW/cm^2 และให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 17.73 mW/cm^2 ในการดึงกระแสครั้งที่ 2 จากนั้นค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการดึงกระแสมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีค่าต่ำสุดที่ 12.21 mW/cm^2 ในการดึงครั้งที่ 13 ตามรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 กราฟโพลาริเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 5” แอโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 2 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 2 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.6 V



รูปที่ 4.10 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 5” แอโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 2 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 2 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.6 V

4.2.1 การเปรียบเทียบอิทธิพลของค่าความต่างศักย์ขณะกระตุ้นเซลล์และความดันของก๊าซไฮโดรเจนที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์

จากการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยว (Single cell testing) ที่ผ่านมา พบว่าที่แต่ละค่าความต่างศักย์นั้น เซลล์เชื้อเพลิงให้ค่ากระแสที่ผลิตได้มีค่าไม่คงที่ กล่าวคือที่ความต่างศักย์สูง (0.7 V – 0.5 V) ค่ากระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยหรือเกือบคงที่คือ ± 0.002 ถึง ± 0.005 A ซึ่งแตกต่างกับค่ากระแสที่ความต่างศักย์ต่ำ (0.4 V - 0.1 V) ซึ่งที่ค่าความต่างศักย์นี้ ค่ากระแสมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงกว้างคือเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง ± 0.010 ถึง ± 0.079 A ดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มอีกการทดสอบหนึ่ง ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการดูการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ค่าความต่างศักย์คงที่ โดยการทดสอบกระทำที่สภาวะเดียวกับการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวคือ ป้อนสารละลายเอธานอลความเข้มข้น 1 mol/dm³ เข้าที่ขั้วแอโนด ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดันสัมบูรณ์ 2 บรรยากาศเข้าที่ขั้วแคโทด ทำการดิงกระแสที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.5 และ 0.3 V ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสเทียบกับเวลา โดยใช้เวลาในการดิงกระแสที่แต่ละค่าความต่างศักย์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง สำหรับผลการทดลองได้เสนอไว้ในหัวข้อย่อยที่ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2

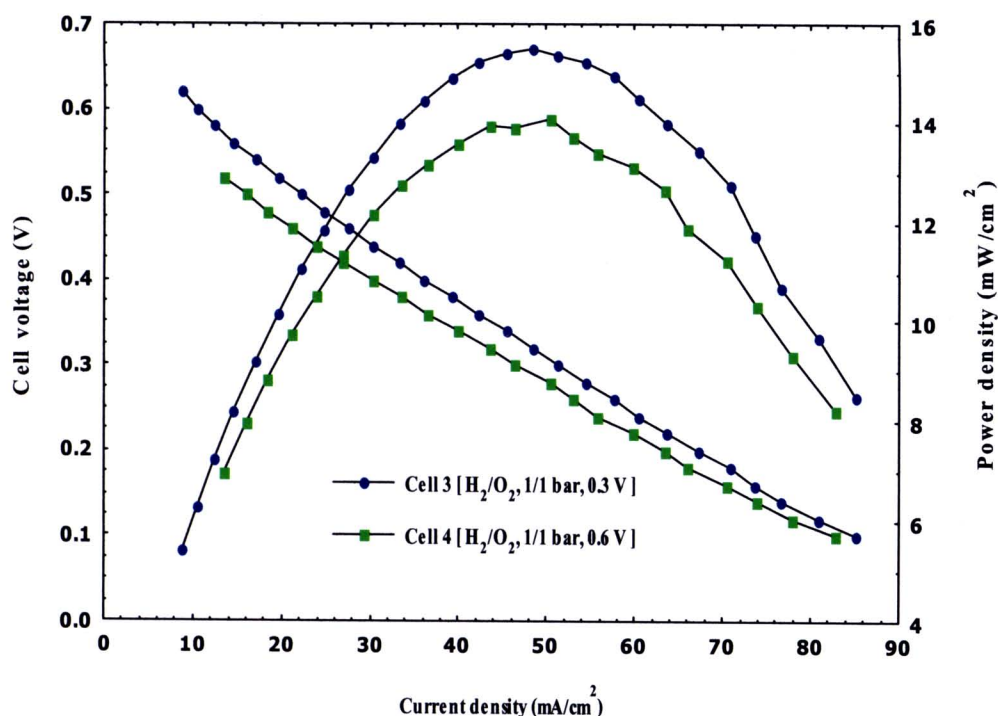
ตารางที่ 4.1 ช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสที่ความต่างศักย์ต่างๆ

ข้อมูลการทดลอง		
ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	
	ช่วงของกระแสไฟฟ้า	ค่าความต่างของกระแสไฟฟ้า
0.700	-	-
0.680	0.020-0.022	0.002
0.660	0.029-0.031	0.002
0.640	0.040-0.042	0.002
0.620	0.052-0.055	0.003
0.600	0.067-0.069	0.002
0.580	0.083-0.086	0.003
0.560	0.097-0.101	0.004
0.540	0.112-0.115	0.003
0.520	0.129-0.134	0.005
0.500	0.145-0.150	0.005

0.480	0.163-0.171	0.008
0.460	0.173-0.180	0.007
0.440	0.189-0.197	0.008
0.420	0.200-0.208	0.008
0.400	0.219-0.229	0.010
0.380	0.236-0.248	0.012
0.360	0.255-0.267	0.012
0.340	0.271-0.283	0.012
0.320	0.277-0.298	0.021
0.300	0.301-0.317	0.016
0.280	0.319-0.336	0.027
0.260	0.334-0.360	0.026
0.240	0.348-0.375	0.027
0.220	0.369-0.392	0.023
0.200	0.380-0.415	0.035
0.180	0.398-0.428	0.030
0.160	0.414-0.450	0.036
0.140	0.420-0.459	0.039
0.120	0.428-0.472	0.044
0.100	0.418-0.499	0.081

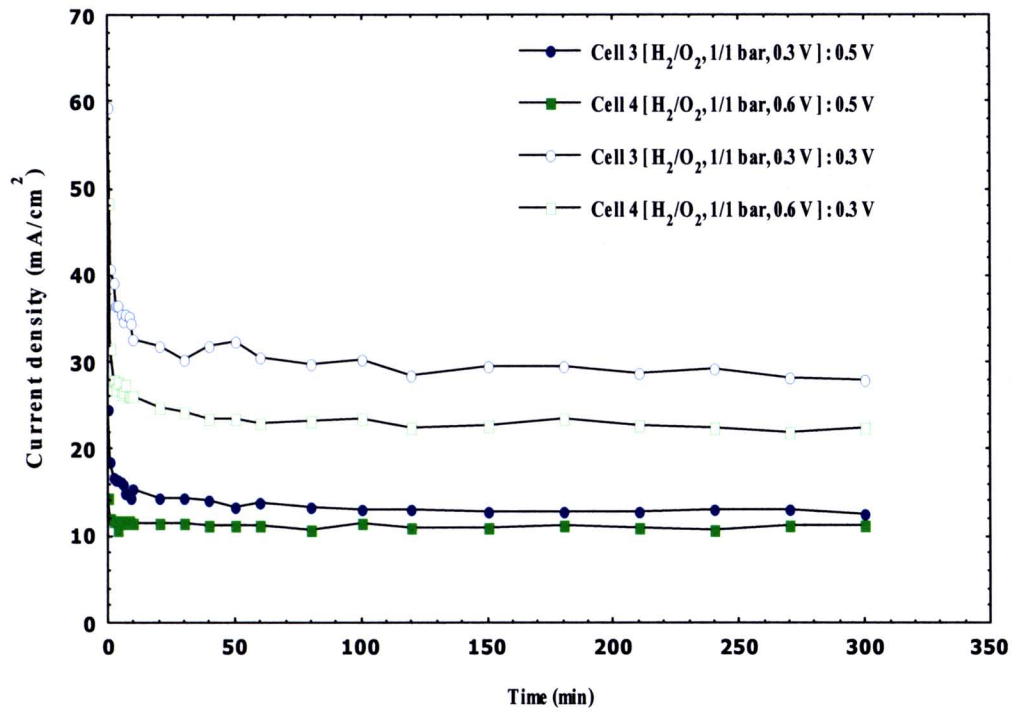
4.2.1.1 ความต่างศักย์ขณะกระตุ้นเซลล์

เซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 3” มีสภาวะการกระตุ้นเซลล์ดังนี้ ป้อนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนเข้าที่ด้านแอโนดและแคโทดตามลำดับ ความดันของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ 1 บรรยากาศ และทำการกระตุ้นเซลล์ที่ความต่างศักย์ 0.3 V สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 4” มีสภาวะการกระตุ้นเซลล์ดังนี้ ป้อนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนเข้าที่ด้านแอโนดและแคโทดตามลำดับ ความดันของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ 1 บรรยากาศ และทำการกระตุ้นเซลล์ที่ความต่างศักย์ 0.6 V

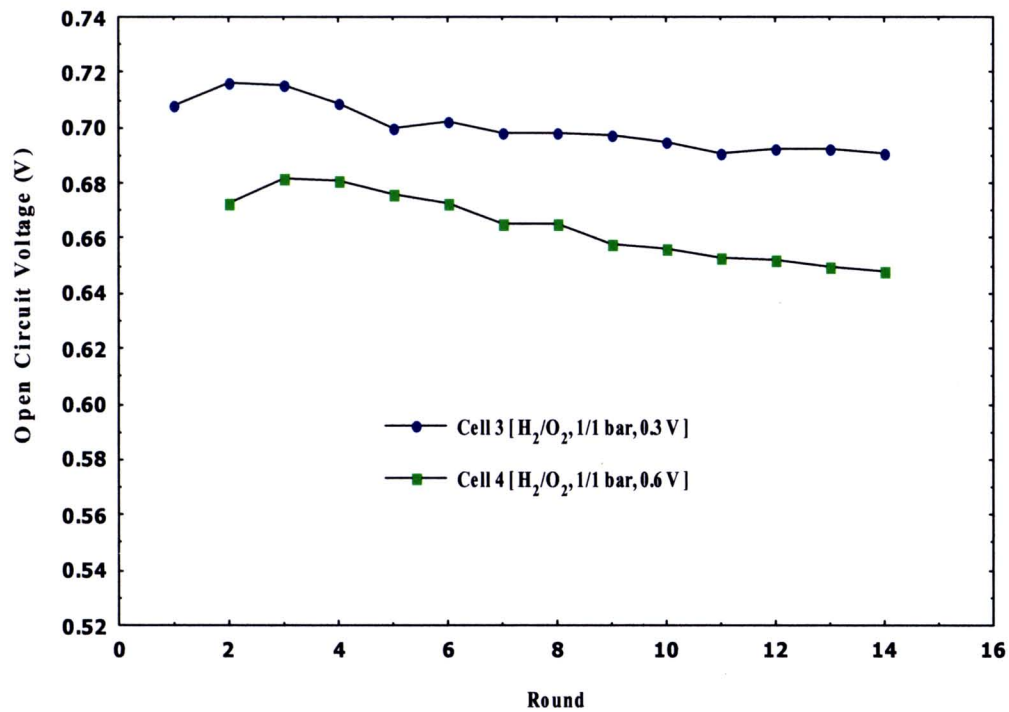


รูปที่ 4.11 กราฟโพลาริเซชันและกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 3” และ “เซลล์ 4” (ค่าเฉลี่ย)

ผลการทดลองในรูปที่ 4.11 เซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นที่สภาวะ 0.3 V (เซลล์ 3) ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ 15 mW/cm² ซึ่งมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นที่สภาวะ 0.6 V (เซลล์ 4) อยู่ประมาณ 1 mW/cm² จากรูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกระแสเทียบกับเวลา ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.3 และ 0.5 V จะเห็นว่าค่ากระแสในช่วงเริ่มต้นจะมีค่าสูงและจะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อเวลาผ่านไปค่ากระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนเกือบคงที่ ซึ่ง ณ จุดนี้เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตกระแสให้อย่างคงที่และสม่ำเสมอ จากผลการทดลองที่ได้ตามรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าทั้งที่ความต่างศักย์ 0.3 และ 0.5 V เซลล์ 3 สามารถผลิตกระแสได้มากกว่าเซลล์ 4 ขณะที่เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ OCV ของเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองนั้นซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณของสารละลายเอธานอลที่แพร่ผ่านเมมเบรนไป จากรูปที่ 4.13 พบว่า ทั้งเซลล์ 3 และเซลล์ 4 จะมีค่า OCV ลดลงเรื่อยๆ จนเริ่มคงที่ที่ซึ่งแสดงว่ามีการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอธานอลในช่วงแรกและหลังจากนั้นปริมาณการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอธานอลนั้นไม่เพิ่มขึ้นจากเดิมอีก



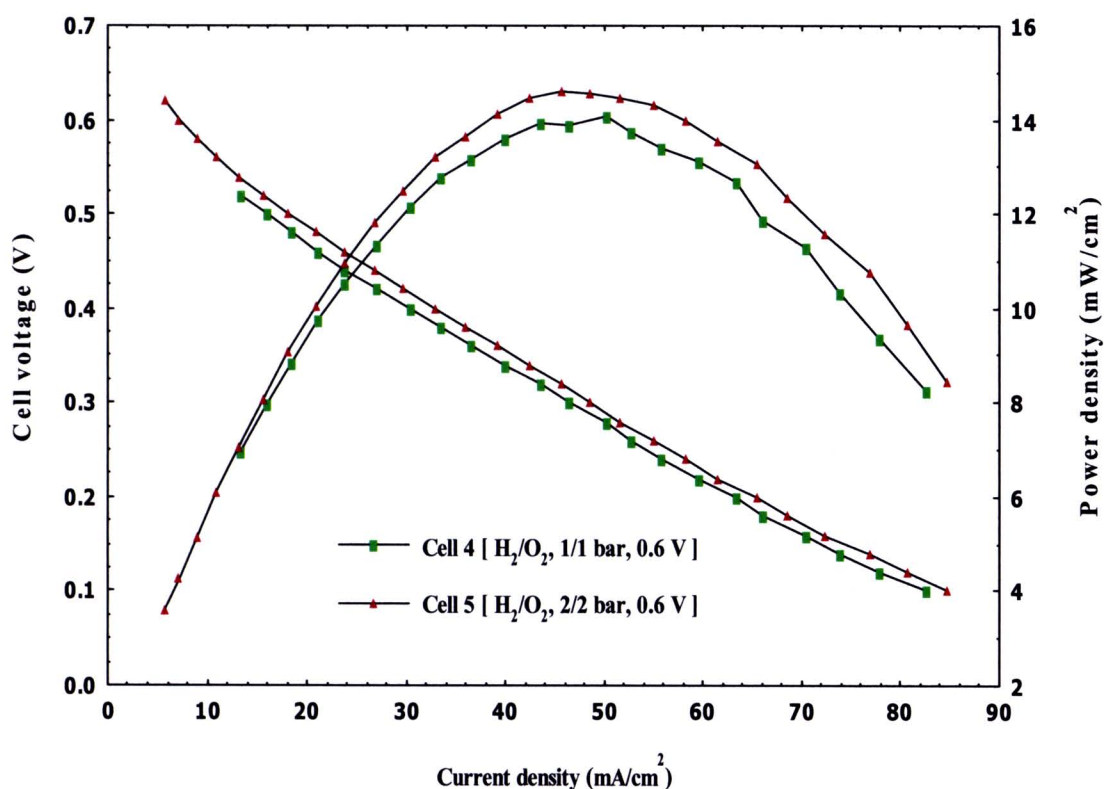
รูปที่ 4.12 กราฟการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกระแสเทียบกับเวลา ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.3 และ 0.5 V ของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 3” และ “เซลล์ 4”



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ OCV ของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 3” และ “เซลล์ 4”

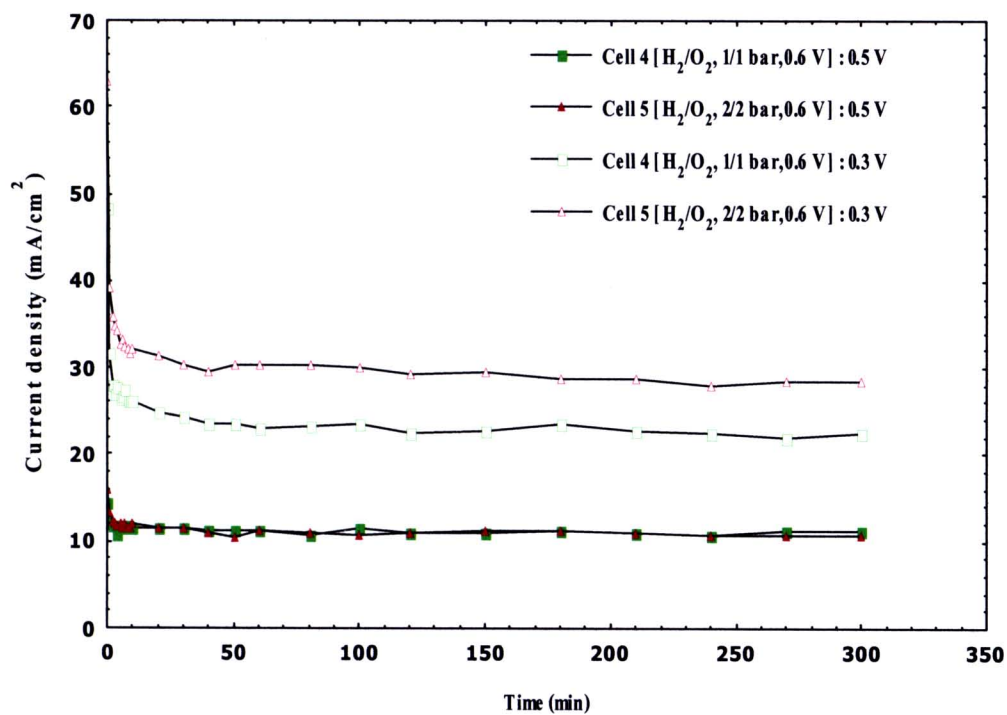
4.2.1.2 ความดันก๊าซไฮโดรเจน

เซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 4” มีสภาวะการกระตุ้นเซลล์ดังนี้ ป้อนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนเข้าที่ด้านแอโนดและแคโทดตามลำดับ ความดันของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ 1 บรรยากาศ และทำการกระตุ้นเซลล์ที่ความต่างศักย์ 0.6 V สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 5” มีสภาวะการกระตุ้นเซลล์ดังนี้ ป้อนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนเข้าที่ด้านแอโนดและแคโทดตามลำดับ ความดันของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนมีเท่ากันคือเท่ากับ 2 บรรยากาศตามลำดับ และทำการกระตุ้นเซลล์ที่ความต่างศักย์ 0.6 V

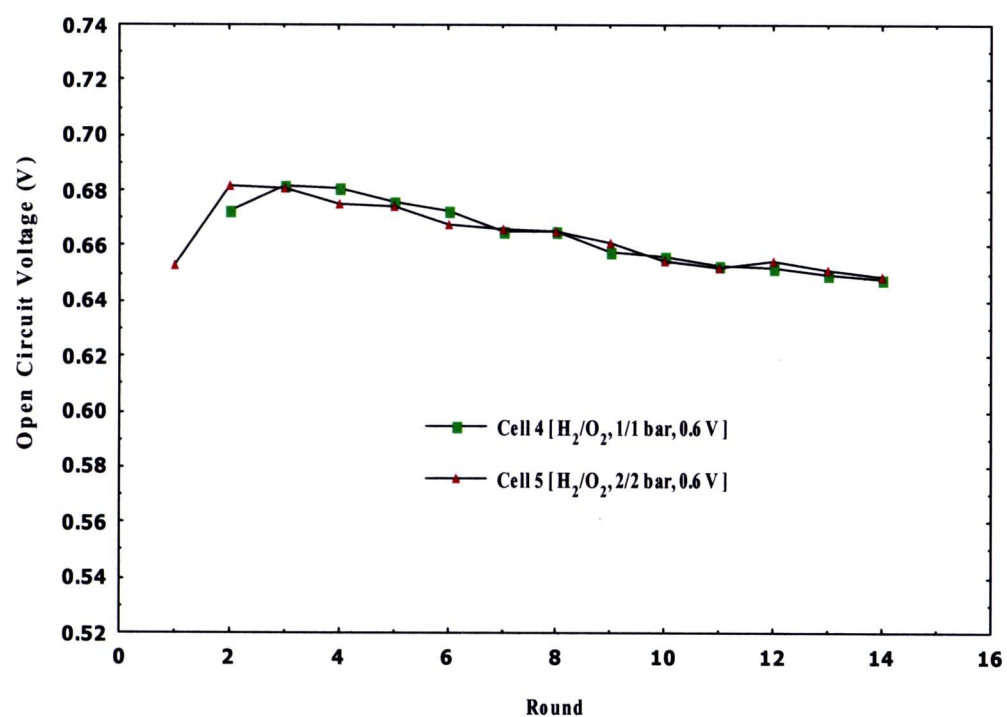


รูปที่ 4.14 กราฟโวลตาไรเซชันและกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 4” และ “เซลล์ 5” (ค่าเฉลี่ย)

ผลการทดลองในรูปที่ 4.14 เซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นที่สภาวะความดันของก๊าซไฮโดรเจนและความดันของก๊าซออกซิเจนที่ 1 บรรยากาศ และการกระตุ้นที่สภาวะความดันของก๊าซทั้งสองที่ 2 บรรยากาศ ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกันทั้งสองสภาวะ คือเซลล์ 4 ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 14.0 mW/cm^2 และเซลล์ 5 ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 14.5 mW/cm^2



รูปที่ 4.15 กราฟการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกระแสเทียบกับเวลา ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.3 และ 0.5 V ของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 4” และ “เซลล์ 5”



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ OCV ของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 4” และ “เซลล์ 5”

จากรูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกระแสเทียบกับเวลา ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.3 และ 0.5 V จะเห็นว่าค่ากระแสในช่วงเริ่มต้นจะมีค่าสูงและจะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อเวลาผ่านไป ค่ากระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนคงที่ และจากผลการทดลองที่ได้ตามรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าที่ความต่างศักย์ 0.3 V เซลล์ 5 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าเซลล์ 4 ประมาณ 6 mA/cm^2 (เซลล์ 4 เท่ากับ 24 mA/cm^2 และเซลล์ 5 เท่ากับ 30 mA/cm^2) แต่ที่ความต่างศักย์ 0.5 V เซลล์ 5 และเซลล์ 4 ให้ค่าความหนาแน่นกระแสเท่ากันที่ประมาณ 10 mA/cm^2 จากรูปที่ 4.16 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของ OCV ของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าเซลล์ 4 และเซลล์ 5 จะมีค่า OCV ลดลงเรื่อยๆ แต่ปริมาณของสารละลายเอธานอลที่แพร่ผ่านเมมเบรนจะเริ่มน้อยลงประมาณที่การคิงกระแสครั้งที่ 10

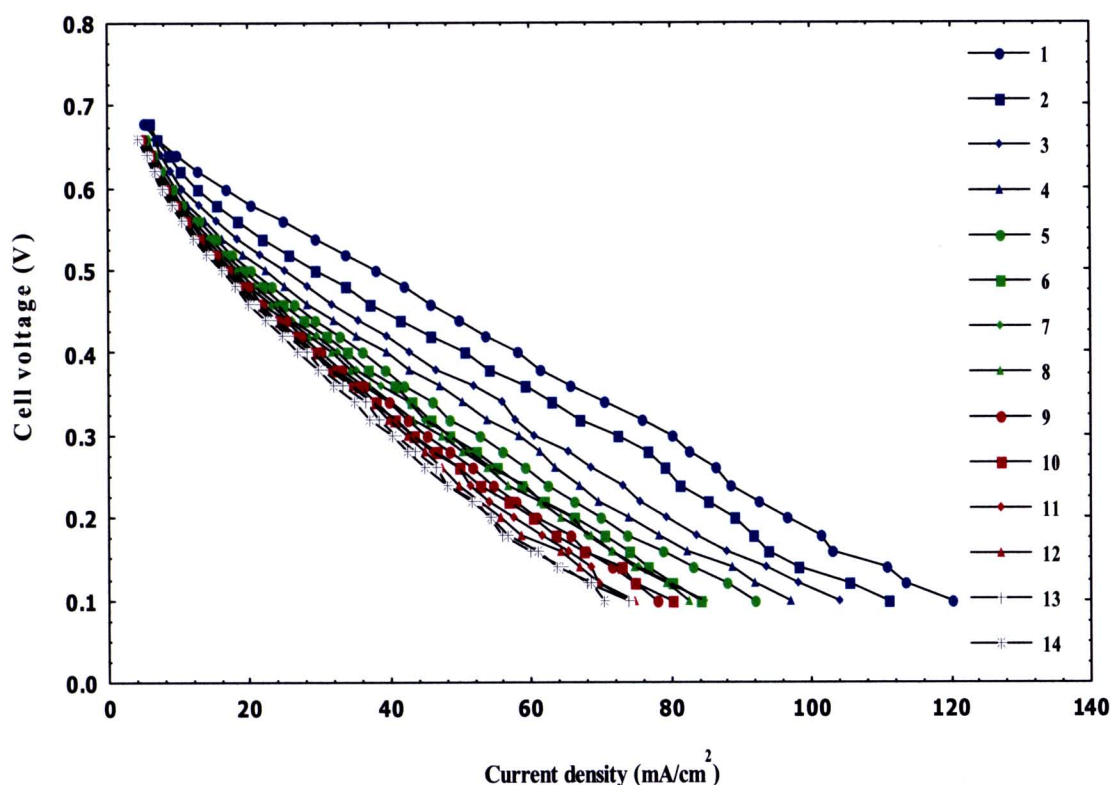
จากการเปรียบเทียบอิทธิพลของค่าความต่างศักย์ขณะกระตุ้นเซลล์และความดันก๊าซไฮโดรเจนนั้น พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะมีสมรรถนะการทำงานที่ดีกว่าเมื่อเซลล์ได้รับการกระตุ้นที่ค่าความต่างศักย์ต่ำและความดันก๊าซไฮโดรเจนสูง จากงานวิจัยของ Qi และคณะ [21] พบว่าการคิงกระแสที่ความต่างศักย์ต่ำนั้นช่วยทำเซลล์เชื้อเพลิงเข้าสู่ประสิทธิภาพสูงสุดได้เร็วกว่า และช่วยขยายช่องว่างในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้การถ่ายเทมวลสารทั้งสารเริ่มต้นและสารผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่การเพิ่มความดันของก๊าซนั้น ปฏิกิริยาจะเกิดได้มากขึ้น ซึ่งจะมีส่วนช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงในลักษณะเช่นเดียวกับการกระตุ้นที่ความต่างศักย์ต่ำ และสำหรับเซลล์ 5 ซึ่งทำการทดสอบที่สภาวะ ความดันของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ 2/2 บรรยากาศนั้น คิงกระแสที่ความต่างศักย์สูงที่ 0.6 V จากงานวิจัยของ Liu และคณะกล่าวไว้ว่าการกระตุ้นเซลล์ที่ความต่างศักย์สูงหรือที่กระแสต่ำ (Low current) นั้นเป็นกระตุ้นที่ความต่างศักย์สูงเป็นการกระตุ้นอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไปทำให้สภาพของ MEA มีสภาพไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก การกระตุ้นเซลล์ที่ความต่างศักย์สูงนี้จะช่วยเปิดพื้นที่ปิดในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3 การสลับกันของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนเพื่อกระตุ้นขั้วแอโนดและขั้วแคโทดตามลำดับ

ในหัวข้อนี้จะได้แสดงผลการทดลองของเซลล์ 6 เป็นลำดับแรกเพื่อดูสมรรถนะการทำงานของเซลล์ จากนั้นจะได้เปรียบเทียบอิทธิพลของการสลับเอาก๊าซออกซิเจนป้อนเข้าที่ขั้วแอโนดและใช้ก๊าซไฮโดรเจนป้อนเข้าที่ขั้วแคโทดในหัวข้อย่อยที่ 4.3.1

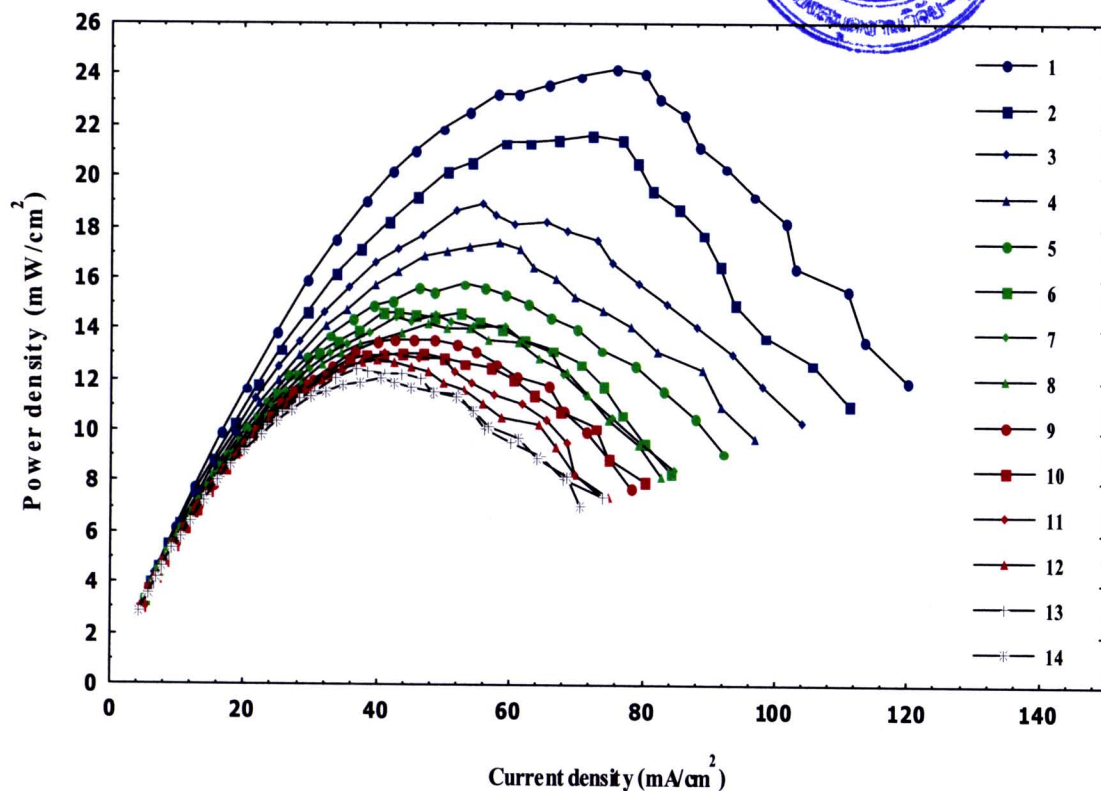
ตามการทดลองในตารางที่ 3.2 เซลล์ 6 จะทำการกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจน โดยป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าที่ขั้วแคโทดซึ่งเป็นด้านของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ และ

ป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าที่ขั้วแอโนดซึ่งเป็นด้านของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_4/\text{C}$ ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ คังกระแสที่ความต่างศักย์ 0.3 V และกำหนดให้ด้านที่ป้อนก๊าซไฮโดรเจนเป็นขั้วแอโนด และด้านที่ป้อนก๊าซออกซิเจนเป็นด้านแคโทด ดังนั้นในการทดลองของเซลล์ 4 นี้ ด้านที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น Pt/C จะเป็นด้านแอโนดแทนซึ่งต้องป้อนด้วยก๊าซไฮโดรเจน และด้านที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น $\text{Pt}_3\text{Sn}_4/\text{C}$ จะเป็นด้านแคโทดแทนซึ่งต้องป้อนด้วยก๊าซออกซิเจน สำหรับผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 กราฟโพลาริเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 6” แอโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_4/\text{C}$) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.3 V

จากกราฟโพลาริเซชัน รูปที่ 4.17 เซลล์ 6 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 80.2 mA/cm^2 ที่ความต่างศักย์ที่ 0.3 V ในการคังกระแสครั้งที่ 1 และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำสุด 40.2 mA/cm^2 ในการคังครั้งที่ 14 ในการคังกระแสครั้งแรก เซลล์ 6 ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 24.26 mW/cm^2 ซึ่งเป็นความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย จากนั้นความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ และมีค่าต่ำสุดที่ 12.06 mW/cm^2 ในการคังครั้งที่ 14 ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงในการคังครั้งหลังๆ แต่ยังมีแนวโน้มที่จะลดลงอีกตามรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงตามการทดลอง “เซลล์ 6” แอโนด ($\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดัน 1 บรรยากาศ, ความต่างศักย์ 0.3 V

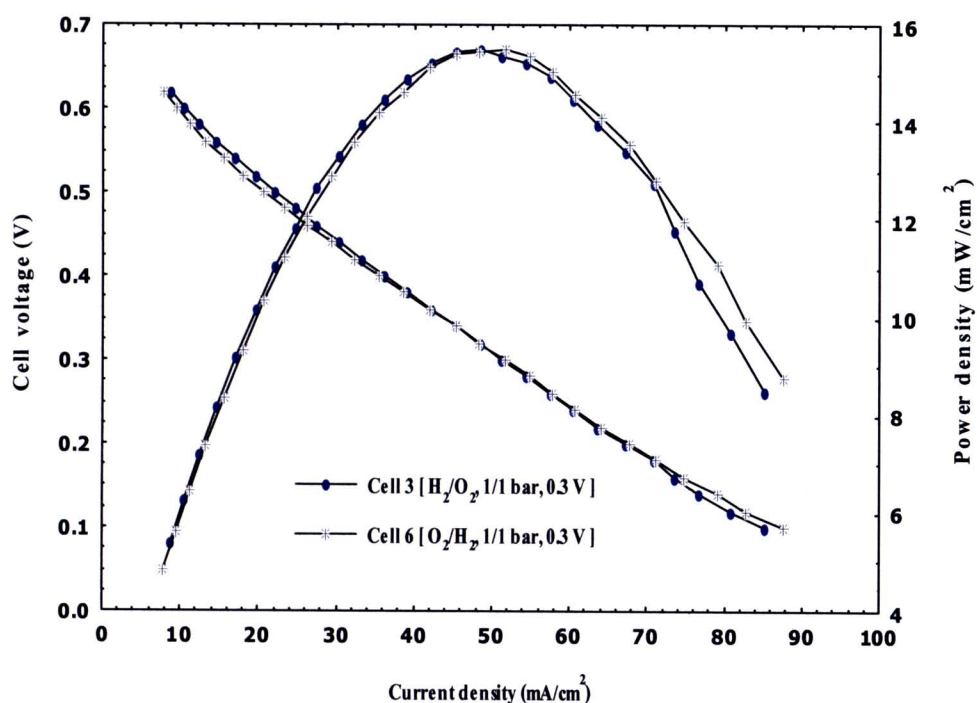
4.3.1 ก๊าซที่ใช้ในการกระตุ้นเซลล์

ในหัวข้อนี้จะได้เปรียบเทียบอิทธิพลของการสลับกันระหว่างก๊าซออกซิเจนกับก๊าซไฮโดรเจนเพื่อกระตุ้นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ตามลำดับ ในการศึกษาอิทธิพลการกระตุ้นเซลล์ด้วยวิธีนี้จะเปรียบเทียบผลการทดลองของเซลล์ 3 และเซลล์ 6

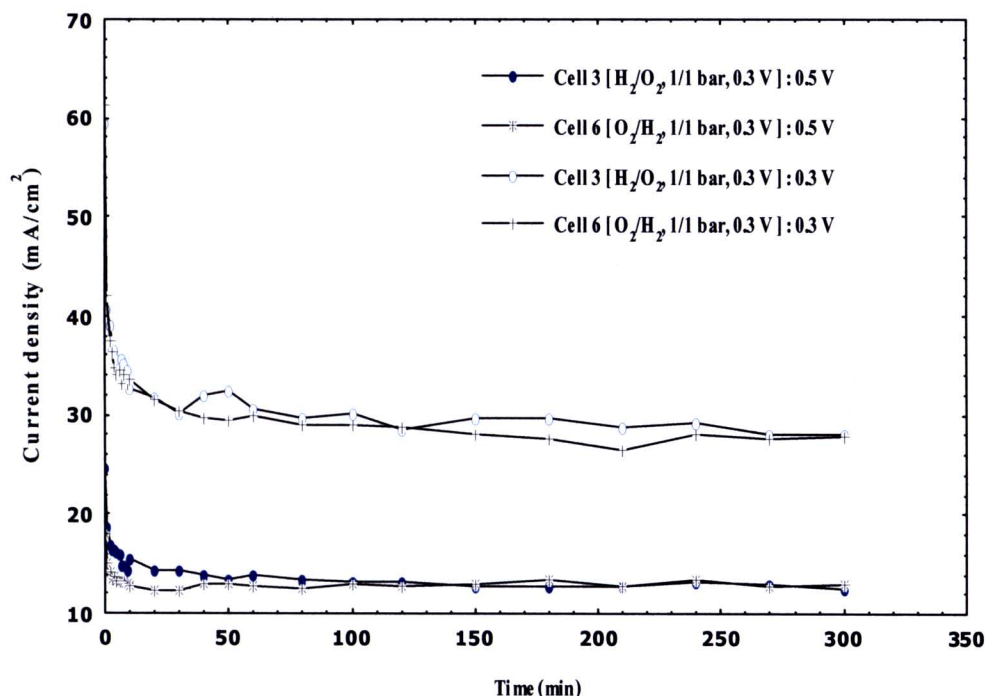
สำหรับเซลล์ 3 นั้นกระตุ้นเซลล์โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนป้อนเข้าขั้วแอโนดที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ และใช้ก๊าซออกซิเจนป้อนเข้าขั้วแคโทดที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น Pt/C ขณะที่เซลล์ 6 นั้นกระตุ้นเซลล์โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนป้อนเข้าขั้วแคโทดที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น Pt/C และใช้ก๊าซออกซิเจนป้อนเข้าขั้วแอโนดที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ แต่ไม่ว่าจะใช้ก๊าซใดป้อนเข้าขั้วที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ หรือป้อนก๊าซเข้าขั้วที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น Pt/C ขั้วที่จะกำหนดให้เป็น

ขั้วแอโนดนั้นจะต้องเป็นขั้วที่ถูกป้อนก๊าซไฮโดรเจน และขั้วที่จะกำหนดให้เป็นขั้วแคโทดนั้นก็จะต้องเป็นขั้วที่ถูกป้อนก๊าซออกซิเจน

ผลการทดลองในรูปที่ 4.19 เซลล์ 6 ซึ่งเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นที่สภาวะเมื่อป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าขั้วที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ นั้นจะให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเท่ากับเซลล์ 3 ซึ่งเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นที่สภาวะเมื่อป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าขั้วที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ ซึ่งที่การกระตุ้นในสภาวะทั้งสองนี้ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าประมาณ 15 mW/cm^2



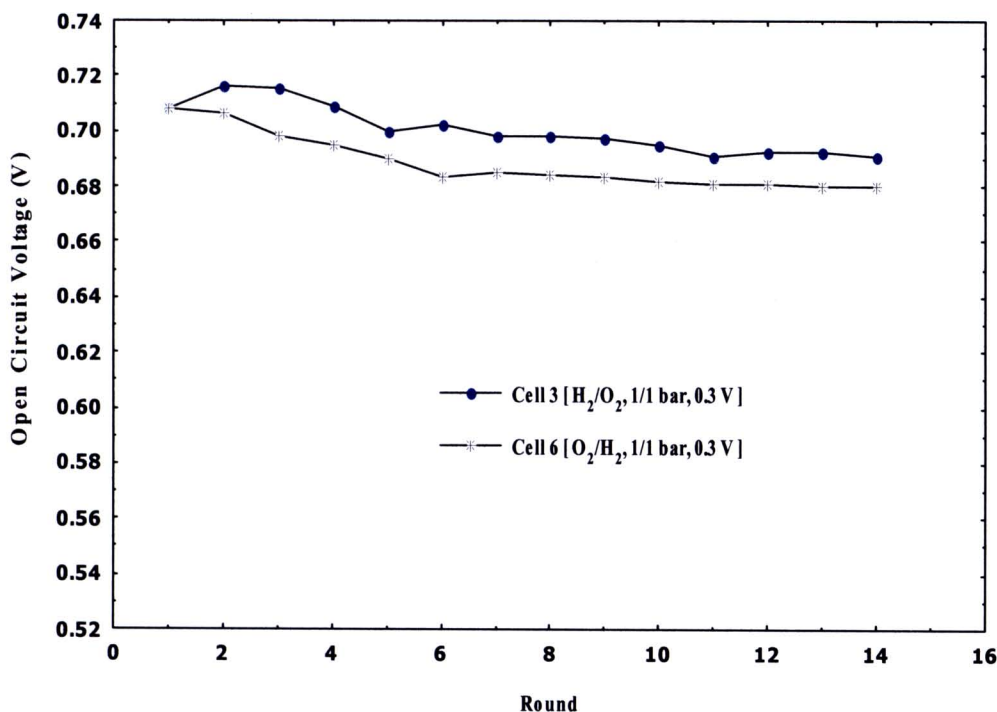
รูปที่ 4.19 กราฟโวลตาไรเซชันและกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 3” และ “เซลล์ 6” (ค่าเฉลี่ย)



รูปที่ 4.20 กราฟการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกระแสเทียบกับเวลา ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.3 และ 0.5 V ของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 3” และ “เซลล์ 6”

จากรูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกระแสเทียบกับเวลา ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.3 และ 0.5 V จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าทั้งที่ความต่างศักย์ 0.3 และ 0.5 V เซลล์ 3 และเซลล์ 6 นั้นให้ค่าความหนาแน่นกระแสที่ใกล้เคียงกันคือ ที่ความต่างศักย์ 0.3 V ให้ค่าความหนาแน่นกระแสประมาณ 30 mA/cm^2 และที่ความต่างศักย์ 0.5 V ให้ค่าความหนาแน่นกระแสประมาณ 12 mA/cm^2 จากรูปที่ 4.21 พบว่าค่า OCV ของเซลล์ 3 และเซลล์ 6 ในช่วงแรกตั้งแต่การคังกระแสครั้งที่ 1 ถึง 7 นั้นลดลงเรื่อยๆ แต่หลังจากนั้นค่า OCV มีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารละลายเอธานอลที่แพร่ผ่านเมมเบรนนั้นลดลง

จากผลการทดลองการสลับก๊าซออกซิเจนป้อนเข้าขั้วแอโนดและใช้ก๊าซไฮโดรเจนป้อนเข้าขั้วแคโทด นั้น จะเห็นว่าการกระตุ้นด้วยวิธีการนี้ไม่ช่วยปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเซลล์และค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์ทั้งสองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ OCV ของเซลล์เชื้อเพลิง “เซลล์ 3” และ “เซลล์ 6”

4.4 การกระตุ้นเซลล์แบบหลายขั้นตอน

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแล้ว Membrane Electrode Assembly หรือ MEA เป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากประกอบด้วยชั้นแพร่กระจายก๊าซ (Gas diffusion layer) ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer) และเมมเบรน ส่วนของ MEA นี้จะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะการทำงานที่สูงนั้น จะต้องมีการส่งถ่ายอนุภาคโปรตอน อิเล็กตรอนที่ดี มีการถ่ายเทมวลสารของสารเริ่มต้น (reactant) และสารผลิตภัณฑ์ (product) ที่ดี และเมมเบรนมีความชื้นที่เหมาะสม จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ G. Liu และคณะ [20] ที่ทำการศึกษาวิธีการกระตุ้นเซลล์แบบหลายขั้นตอน (Multi-step activation) สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมธานอลโดยตรง และได้เสนอวิธีการกระตุ้นเซลล์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ไว้ว่า การกระตุ้นเซลล์แบบหลายขั้นตอนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมธานอลโดยตรง ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ 1 การกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเมธานอล (Methanol activation) ขั้นตอนที่ 2 Force activation และขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายคือ Proton activation จะช่วยให้เซลล์เชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 78 mW/cm^2 ซึ่งมากกว่าการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเมธานอลเพียงขั้นตอนเดียวถึง 24 mW/cm^2 (การกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเมธานอลเพียงขั้นตอนเดียวให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 54 mW/cm^2)

G. Liu และคณะได้สรุปไว้ว่าในการกระตุ้นเซลล์ขั้นตอนแรกเป็นการเพิ่มความชื้นให้กับเมมเบรนชั้นแพร่กระจายก๊าซและแนฟิออนพอลิเมอร์ในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกครั้ง และขั้นตอนนี้จะเปิดไปอย่างช้าๆ คือใช้เวลาในการกระตุ้นเซลล์ 9 ชั่วโมงโดยดึงกระแส $1-5 \text{ mA/cm}^2$ (Low current) เพื่อเปิดพื้นที่ปิดในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาให้การส่งถ่ายอนุภาคโปรตอนและอิเล็กตรอน การถ่ายเทมวลสารทั้งสารเริ่มต้นและสารผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเพื่อไม่ให้เซลล์บวมตัวเร็วจนเกินไป ในขั้นตอนที่ 2 (Force activation) นั้นมีวิธีการเหมือนขั้นตอนแรกแต่ดึงกระแสที่ประมาณ 50 mA/cm^2 (High current) ทำให้อัฒกประกอบของ MEA ทำงานประสานกัน การส่งผ่านอนุภาคโปรตอนและอิเล็กตรอนระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเป็นไปได้อย่างดี โดยที่ไม่ทำให้โครงสร้างของ MEA เสียไป สำหรับในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการส่งถ่ายอนุภาคโปรตอนไปยังเมมเบรน เพื่อให้เกิดสายโซ่กิ่งก้านส่วนที่ชอบโปรตอน (Hydrophilic) ในเมมเบรนที่เหมาะสมต่อการส่งผ่านอนุภาคโปรตอน ขั้นตอนนี้จะช่วยความต้านทานการส่งผ่านอนุภาคโปรตอนในเมมเบรนและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาได้

จากการทดลองในงานวิจัยนี้ จะเห็นในการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลนั้นทำที่ค่าความต่างศักย์ 0.3 V ซึ่งผลิตกระแสอยู่ที่ประมาณ $20-25 \text{ mA/cm}^2$ ซึ่งเป็นกระแสที่สูง ดังนั้นจากข้อสรุปจากงานวิจัยของ G. Liu นั้นการดึงกระแสที่ความต่างศักย์ 0.3 V เป็นวิธีกระตุ้นแบบ Force activation ทำให้การปรับสภาพของชั้นแพร่กระจายก๊าซและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นอาจยังไม่ดีพอ พื้นที่ปิดในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยายังไม่เปิดจึงเป็นผลทำให้การถ่ายเทอนุภาคโปรตอน อิเล็กตรอนและการถ่ายเทมวลสารนั้นไม่ดี นอกจากนี้ยังทำให้โครงสร้างของ MEA เสียไปเนื่องจากเซลล์บวมตัวเร็วเกินไป ในการกระตุ้นเซลล์ในการทดลองนี้ช่วยเพียงทำให้ MEA มีความชื้นมากขึ้นเท่านั้น สำหรับการกระตุ้นเซลล์ด้วยไฮโดรเจนนั้น จากรายงานของงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การกระตุ้นด้วยวิธีนี้ทำให้เพิ่มการเคลือบและลดการปิดกั้นภายในชั้นแพร่กระจายก๊าซและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากการปล่อยให้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าไปนำพา สารที่ตกค้างออกจากรูพรุนของคาร์บอน นอกจากนี้ ไอน้ำที่เข้าไปในเซลล์และน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยายังช่วยพา สารตกค้างออกไปได้อีกทางและยังช่วยให้เซลล์ชื้นขึ้น สารที่ตกค้างเหล่านี้อาจเป็นสาร Organic หรือโมเลกุลของคาร์บอนที่ไม่เสถียรซึ่งอาจเกิดขึ้นในระหว่างการผลิตหรือปะปนในระหว่างการรักษา เมื่อรูพรุนของคาร์บอนปราศจากสารตกค้างแล้ว จะทำให้แพลตินัมบนคาร์บอนทำปฏิกิริยาได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาให้มากขึ้น

นอกจากนี้การให้ก๊าซไฮโดรเจนได้สัมผัสกับแพลตินัมในระหว่างกระตุ้นเซลล์ จะช่วยทำให้แพลตินัมมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของแพลตินัมจะทำปฏิกิริยาได้เมื่ออยู่ในรูปของ Pt

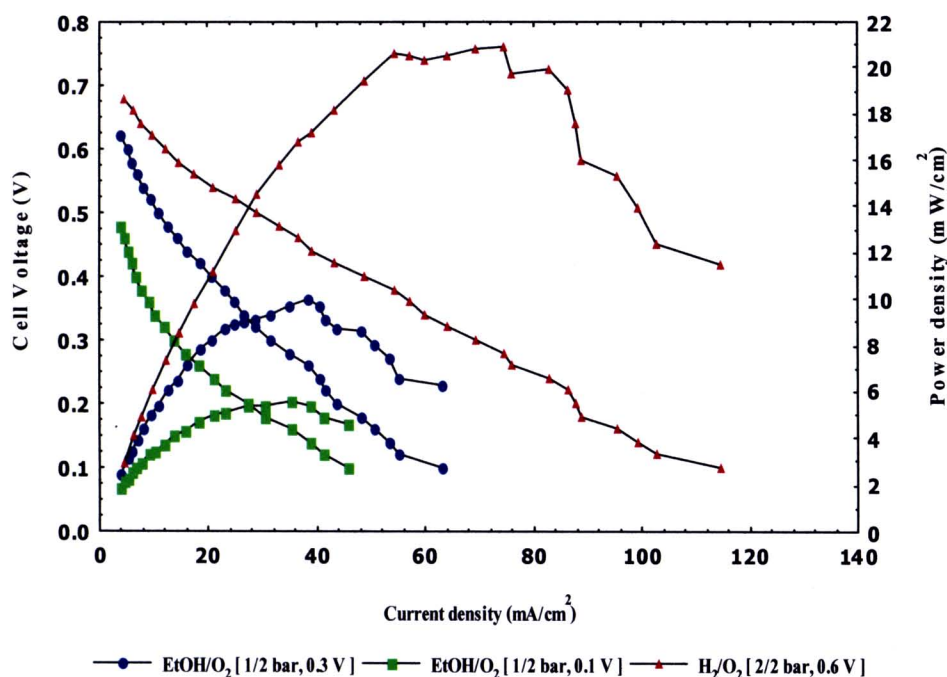
เท่านั้น แต่ในช่วงระหว่างการผลิตหรือเก็บรักษา แพลตินัมอาจเปลี่ยนรูปเป็นแพลตินัมออกไซด์ (PtO) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแพลตินัมกับออกซิเจนดังสมการ



การป้อนก๊าซไฮโดรเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยที่ก๊าซไฮโดรเจนจะไปจับกับโมเลกุลของออกซิเจนกลายเป็นน้ำ ดังสมการ



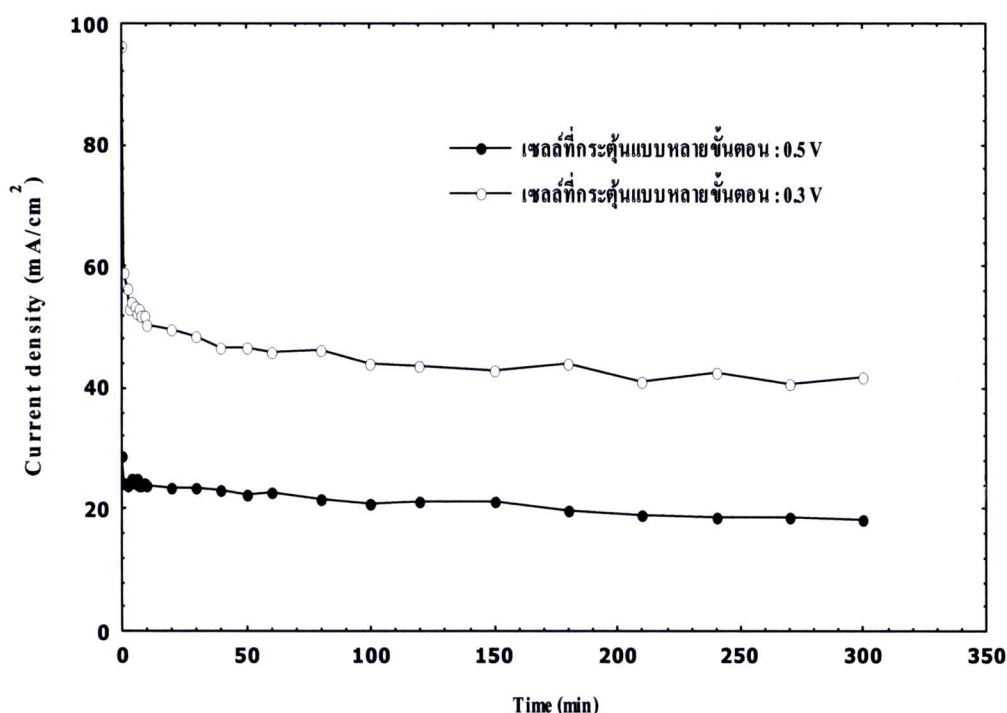
ดังนั้นการทดลองในหัวข้อนี้ จะทดสอบการกระตุ้นแบบหลายขั้นตอนโดยขั้นตอนการกระตุ้นเซลล์แบ่งตามนี้คือ ในขั้นตอนแรกทำการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอล โดยทำการดึงกระแสที่ความต่างศักย์ 0.3 V หลังจากนั้นทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวเพื่อดูสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงหลังจากการกระตุ้นเซลล์ในขั้นตอนแรก จากนั้นนำไปกระตุ้นเซลล์ต่อด้วยขั้นตอนที่ 2 โดยกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลและดึงกระแสที่ความต่างศักย์ 0.1 V จากนั้นทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวเพื่อดูสมรรถนะการทำงานของเซลล์ และนำไปกระตุ้นเซลล์อีกครั้งด้วยก๊าซไฮโดรเจนที่ความต่างศักย์ 0.6 V



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อสมรรถนะการทำงานมีค่าสูงสุด ภายหลังได้รับการกระตุ้นเซลล์ในแต่ละขั้นตอน

จากรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวภายหลังที่เซลล์ได้รับการกระตุ้นแล้ว ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์หลังจากทำการกระตุ้นในขั้นตอนที่ 2 จะมีค่าลดลงเล็กน้อยจากค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์หลังจากทำการกระตุ้นในขั้นตอนแรก และภายหลังการกระตุ้นเซลล์ในขั้นตอนที่ 3 ก็จะพบว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากและมากกว่าเซลล์ที่ได้รับการกระตุ้นในตอนแรกประมาณ 10 mW/cm^2 เนื่องจากในขั้นตอนแรกการกระตุ้นเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอลด้วยความต่างศักย์ต่ำนอกจากเป็นการเพิ่มความชื้นให้กับเซลล์แล้วยังป้องกันการเสีรูปของ MEA ที่เป็นผลมาจากการบวมตัวของเร็ว และทำให้พื้นที่ปิดในชั้นแพร่กระจายก๊าซและในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาเปิดออกเพื่อให้การถ่ายเทอนุภาคโปรตอนและอิเล็กตรอนรวมถึงการถ่ายเทมวลสารของสารเริ่มต้นและสารผลิตภัณฑ์เป็นได้อย่างสะดวก ขณะที่การกระตุ้นเซลล์ในขั้นตอนต่อมาค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามีค่าลดลง อาจมีสาเหตุจากการที่ MEA เสีรูปไปบ้างเล็กน้อยเนื่องจากการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยการดึงกระแสที่ความต่างศักย์ต่ำลง แต่จากการที่ MEA ผ่านการกระตุ้นเซลล์ในขั้นตอนแรกมาแล้ว ดังนั้น MEA ค่อยข้างคงตัวแล้ว และการกระตุ้นเซลล์ในขั้นตอนที่ 2 จะไม่ไปเปลี่ยนรูปของ MEA มากนัก แต่จะช่วยทำให้การถ่ายเทมวลสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนในขั้นตอนการกระตุ้นเซลล์สุดท้ายด้วยก๊าซไฮโดรเจนนั้น นอกจากจะช่วยกำจัดสิ่งเจือปนหรือสารที่ตกค้างภายในชั้นแพร่กระจายก๊าซและในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว ขั้นตอนนี้ยังช่วยเพิ่มโปรตอนให้กับเมมเบรนด้วย เนื่องจากเมมเบรนสูญเสียน้ำไปในขั้นตอนการ Hot-pressing เป็นการเพิ่มความ

เป็น Hydrophilic ให้มากขึ้นและช่วยเพิ่มโครงข่ายของช่องการถ่ายเทอนุภาคโปรตอนภายใน MEA ส่งผลให้การถ่ายเทอนุภาคโปรตอนมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของกระแสเทียบกับเวลา ดังรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าที่ ความต่างศักย์ 0.3 V เซลล์เชื้อเพลิงให้ค่าความหนาแน่นของกระแสประมาณ 42 mA/cm^2 ขณะที่ความต่างศักย์ 0.5 V ให้ค่าความหนาแน่นของกระแสประมาณ 22 mA/cm^2 ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่กระตุ้นเซลล์แบบหลายขั้นตอนนี้จะให้ค่าความหนาแน่นกระแสมากกว่าของเซลล์เชื้อเพลิงที่กระตุ้นเซลล์เชื้อแบบขั้นตอนเดียวที่ให้ค่าความหนาแน่นกระแสประมาณ 30 และ 12 mA/cm^2 ที่ความต่างศักย์ 0.3 และ 0.5 V ตามลำดับ ดังนั้นเซลล์ที่ผ่านการกระตุ้นทั้ง 3 ขั้นตอนมาแล้วจึงมีสมรรถนะการทำงานที่ดีกว่าเซลล์ที่ได้รับการกระตุ้นเซลล์เพียงขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 4.23 กราฟการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกระแสเทียบกับเวลา ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.3 และ 0.5 V ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นแบบหลายขั้นตอน

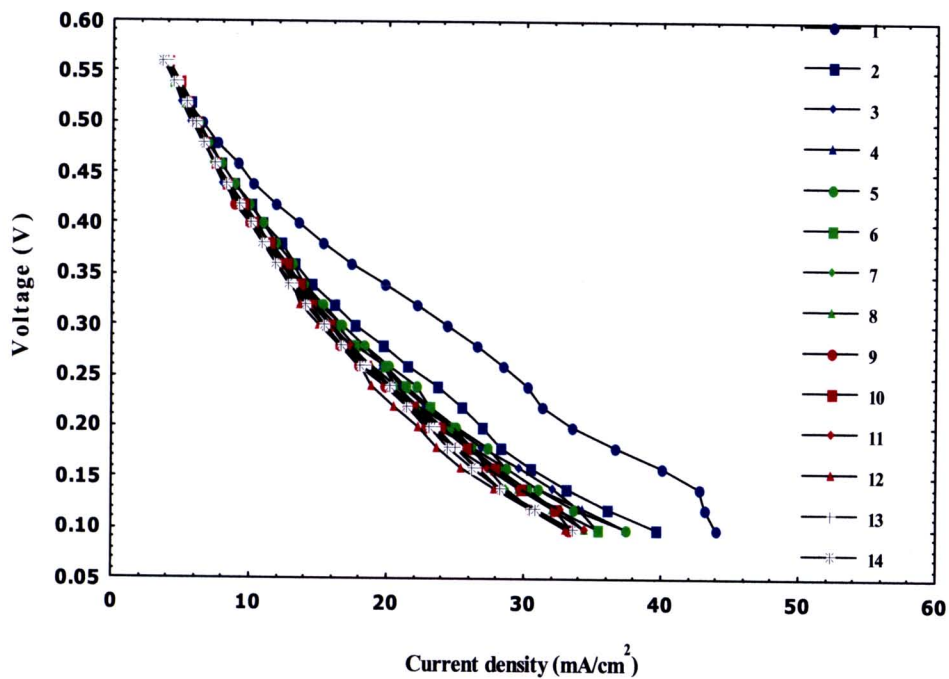
4.5 สาเหตุที่ทำให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรงลดลง

4.5.1 สารละลายเอธานอลแพร่ผ่านเมมเบรน (Crossover) จากด้านแอโนดไปยังด้านแคโทด

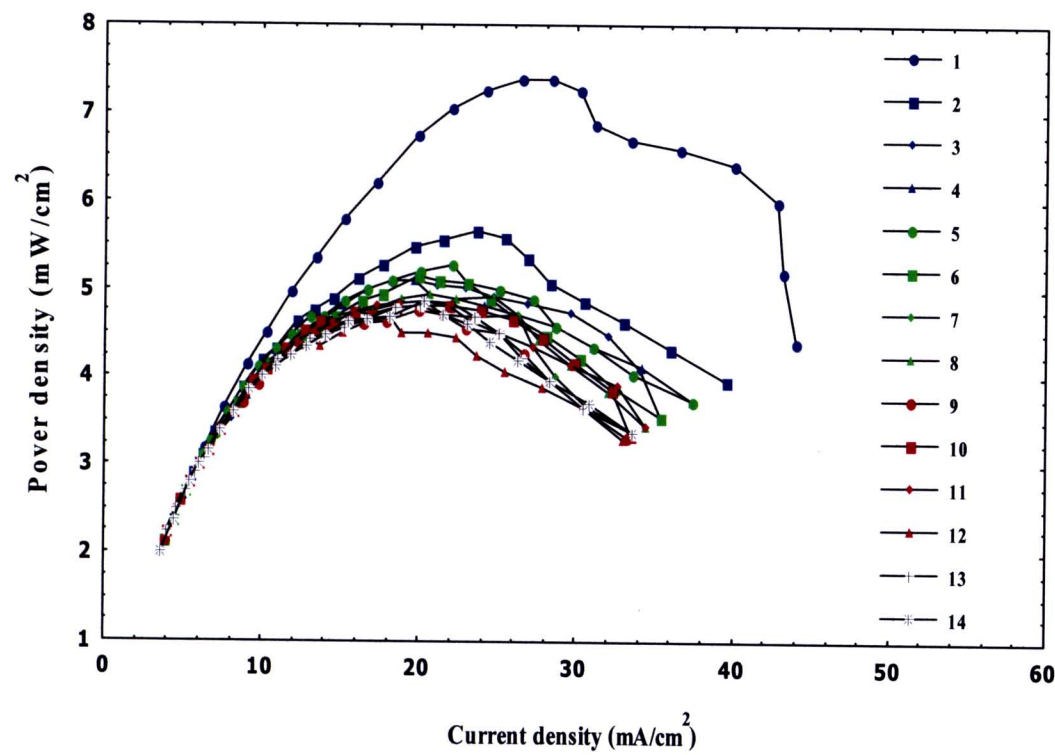
ในการทดลองเพื่อศึกษาการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอธานอล สามารถทำได้โดยการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Open Circuit Voltage (OCV) ในหัวข้อนี้จะใช้เซลล์ 4 ในการทดสอบ โดยในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวจะกระทำที่สภาวะเช่นเดียวกับการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวตามหัวข้อการทดสอบในบทที่ 3 โดยขั้นตอนในการทดสอบเพิ่มเป็นดังนี้คือกำหนดให้การทดสอบที่ 1 ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงโดยดิ่งกระแสทั้งหมด 14 ครั้งและระหว่างการดิ่งกระแสแต่ละครั้งให้ทำการเปิด OCV คั่นระหว่างครั้งเป็นเวลา 10 นาที ขณะที่การทดสอบที่ 2 ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงโดยดิ่งกระแสทั้งหมด 14 ครั้งอย่างต่อเนื่อง (ไม่เปิด OCV คั่นระหว่างครั้งของการดิ่งกระแส)

จากกราฟโพลาริเซชันและกราฟความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวแบบเปิด OCV คั่นระหว่างครั้งของการดิ่งกระแส ตามรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับพบว่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์จะลดลงตามลำดับจนถึงการดิ่งกระแสครั้งที่ 9 สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะเริ่มคงที่ ซึ่งแตกต่างจากการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวแบบไม่เปิด OCV คั่น (ดิ่งกระแสอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ครั้งที่ 1- 14) ตามรูปที่ 4.26 และ 4.27 จากกราฟโพลาริเซชันและกราฟความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของการทดสอบแบบไม่เปิด OCV คั่นนี้จะพบว่า สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะค่อยข้างคงที่คือมีการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 7.5 mW/cm^2 ถึง 9.0 mW/cm^2

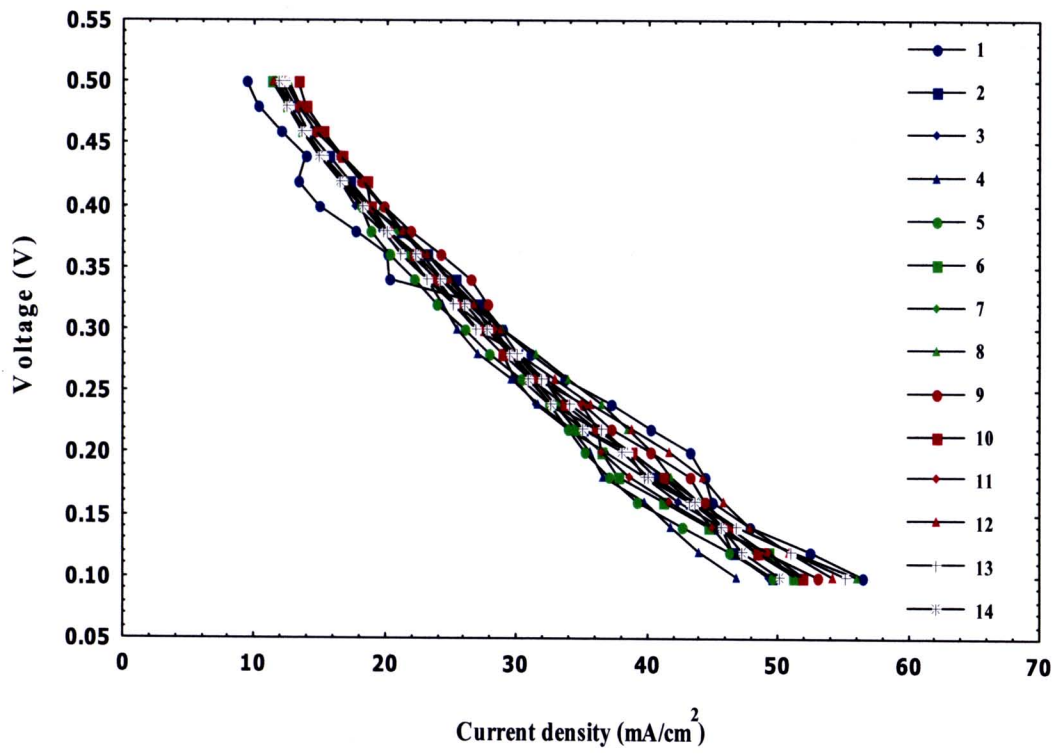
จากผลการทดลองทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองแบบนี้ จะเห็นได้ว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเปิดและไม่เปิด OCV คั่นระหว่างครั้งที่ทำการดิ่งกระแส การทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเปิด OCV คั่นนั้น สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากระหว่างที่ทำการเปิด OCV คั่นนั้น บริเวณชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาของขั้วแอโนดจะมีความเข้มข้นของสารละลายเอธานอลเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลทำให้มีการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอธานอลจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดเพิ่มมากขึ้น ขณะที่การทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบไม่เปิด OCV คั่นนั้น การดิ่งกระแสเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้สารละลายเอธานอลถูกใช้ไปอย่างต่อเนื่อง ไม่มีการสะสมความเข้มข้นในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ดังนั้นปริมาณการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายเอธานอลจึงไม่เพิ่มมากขึ้น



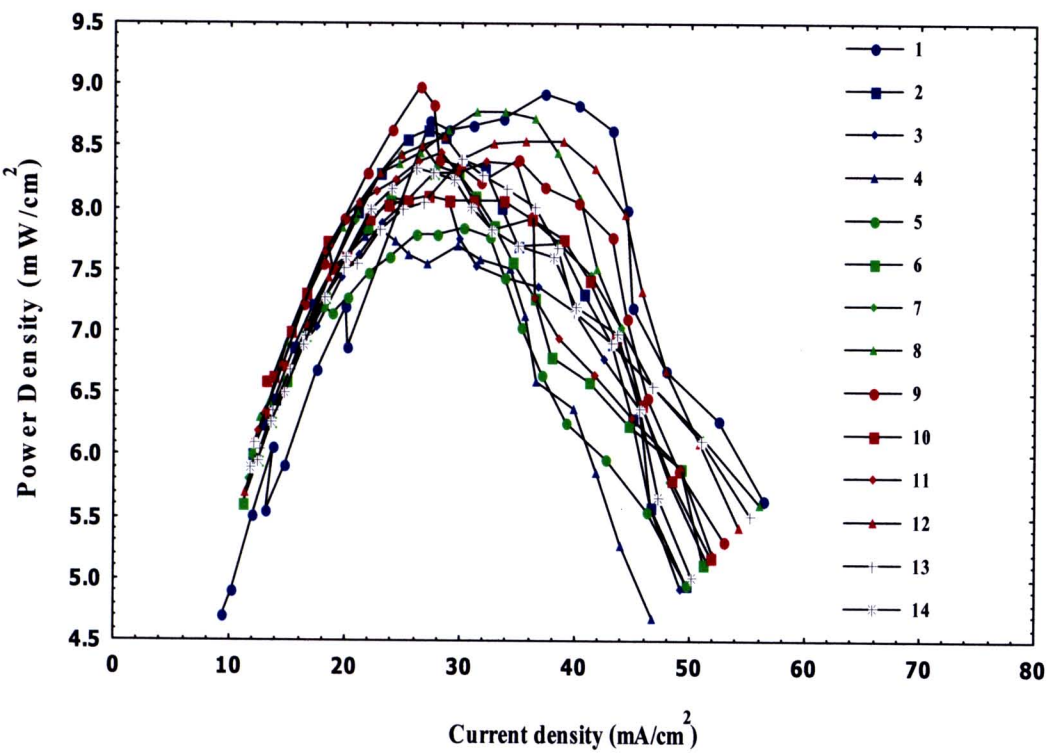
รูปที่ 4.24 กราฟโวลตาไรเซนซ์ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวแบบเปิด OCV คั่น



รูปที่ 4.25 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวแบบเปิด OCV คั่น



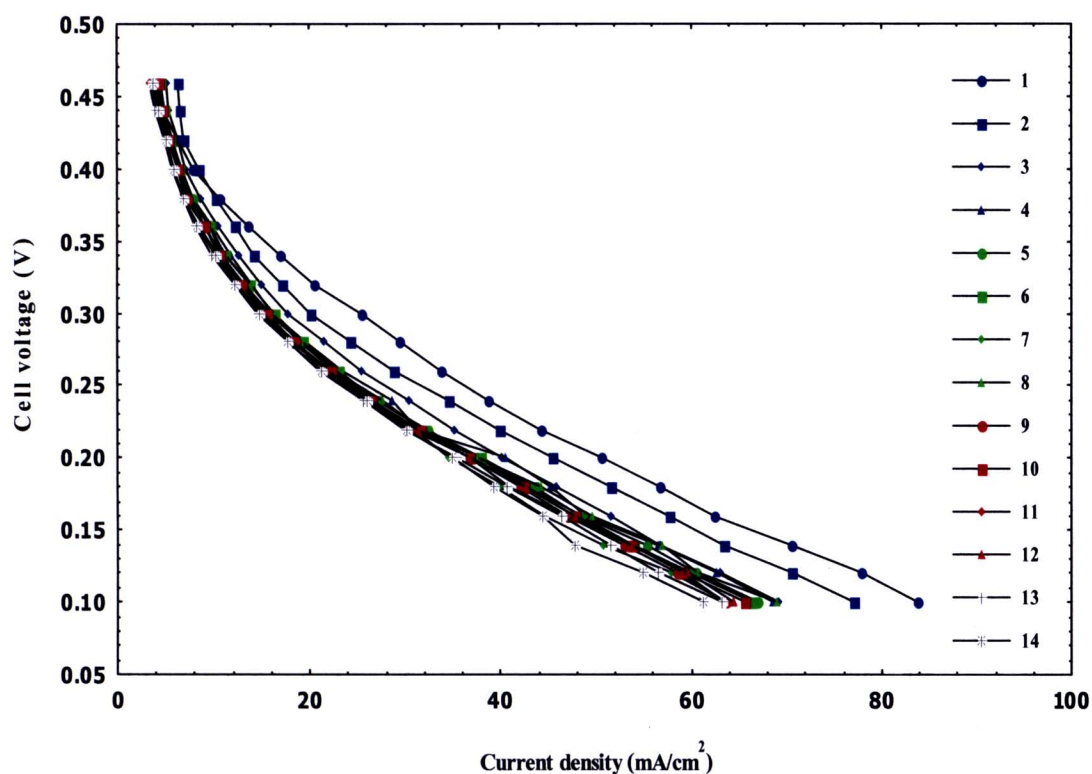
รูปที่ 4.26 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวแบบไม่เปิด OCV คั่น



รูปที่ 4.27 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวแบบไม่เปิด OCV คั่น

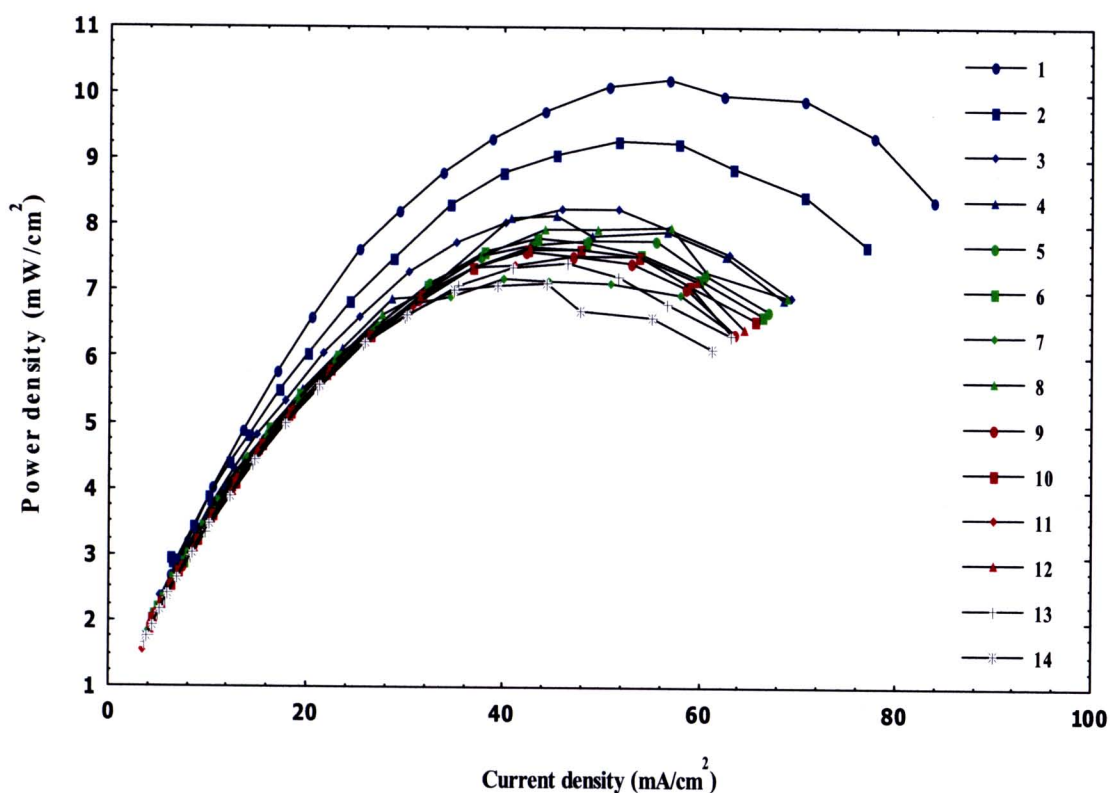
4.5.2 Sn บนตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ ไม่ทำงานหรือทำงานได้น้อยลง

สำหรับสมมติฐานต่อมาที่อาจเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงคือการทำงานของ Sn บนตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ นั้นไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ เป็นเสมือนเพียงตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มี Sn หรือ Pt/C ดังนั้นในการพิสูจน์สมมติฐานนี้จึงทำการเตรียมเซลล์เชื้อเพลิงโดยเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาของขั้วแอโนดจาก $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ส่วนขั้วแคโทดยังคงเดิม ในการเตรียมเซลล์เชื้อเพลิงนี้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C นั้นใช้ของบริษัท E-TEK ซึ่งมีปริมาณแพลตตินัม 20 wt% และเตรียมให้มีปริมาณ Pt loading เท่ากับในเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ คือเท่ากับ $1.3 \text{ mgPt}/\text{cm}^2$ ในการกระตุ้นเซลล์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงทดสอบนี้จะใช้การกระตุ้นเซลล์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนตามการทดลองเซลล์ 2 เป็นแบบการทดลองคือป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าขั้วแอโนด ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ และป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าขั้วแคโทด ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ ทำการดิงกระแสที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.6 V อุณหภูมิของเซลล์ 80°C



รูปที่ 4.28 กราฟโพลาริเซชันของเซลล์ทดสอบสมมติฐาน แอโนด (Pt/C) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ, ดิงกระแสที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.6 V, อุณหภูมิของเซลล์ 80°C

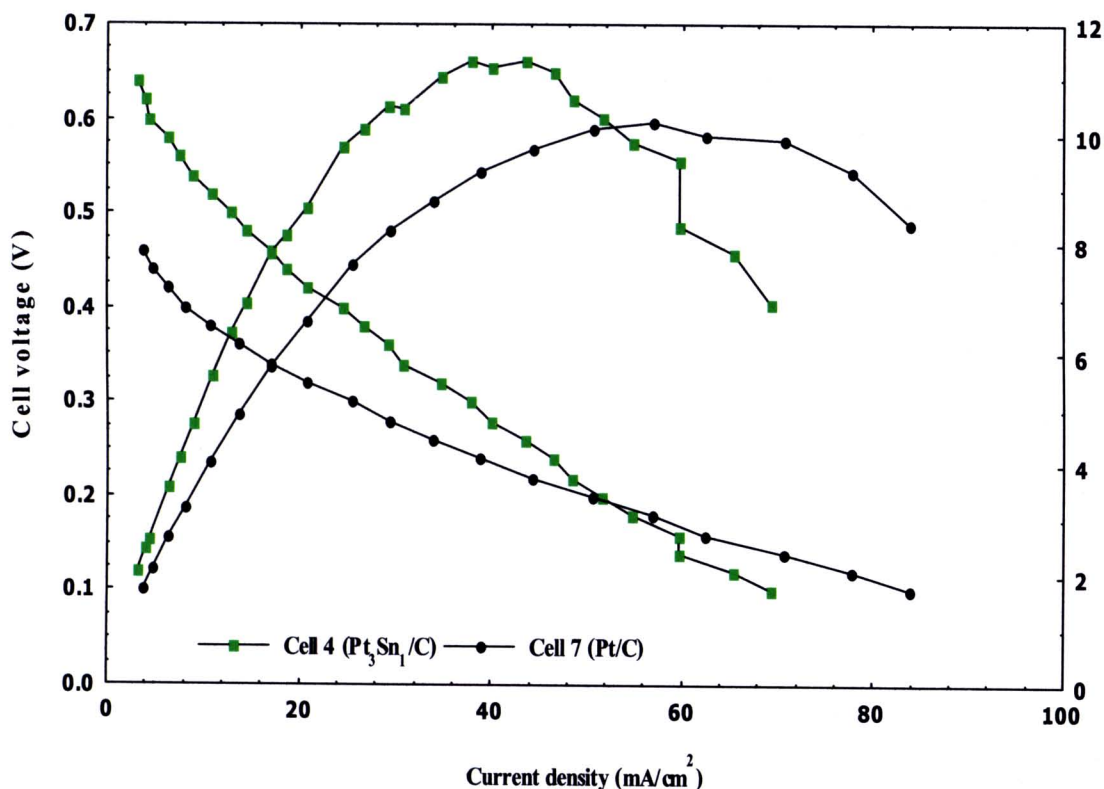
จากกราฟโพลาริเซชัน รูปที่ 4.28 เซลล์ทดสอบสมมติฐาน สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 25.4 mA/cm^2 ที่ความต่างศักย์ที่ 0.3 V ในการดึงกระแสครั้งที่แรกและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำสุด 14.6 mA/cm^2 ในการดึงครั้งที่ 13 ในการดึงกระแสครั้งแรก เซลล์ทดสอบสมมติฐาน ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 10.224 mW/cm^2 ซึ่งเป็นค่าที่สูงสุด จากนั้นความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีค่าต่ำสุดที่ 7.104 mW/cm^2 ในการดึงครั้งที่ 14 ตามรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์ทดสอบสมมติฐาน แอนโอด (Pt/C) ป้อนก๊าซไฮโดรเจน ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ, แคโทด (Pt/C) ป้อนก๊าซออกซิเจน ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ, ดึงกระแสที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.6 V, อุณหภูมิของเซลล์ 80 °C

เนื่องด้วยในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแพลตินัม เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายเอทานอลจะเกิดความเป็นพิษขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม ทำให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง ดังนั้นในการจะเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเซลล์ 4 และเซลล์ทดสอบสมมติฐานนั้นว่าเซลล์ 4 ซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ มีพฤติกรรมแสดงตัวเสมือนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C เนื่องจาก Sn ในตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ นั้นทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จะต้องใช้ค่าสมรรถนะการทำงาน

ของเซลล์เชื้อเพลิงในครั้งหลังสุดของการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวคือครั้งที่ 14 เปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงในครั้งแรกของเซลล์ทดสอบสมมติฐาน



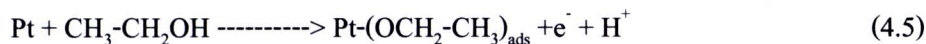
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเซลล์ 4 และเซลล์ทดสอบสมมติฐาน

จากกราฟเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเซลล์ทั้งสองตามในรูปที่ 4.30 เราจะเห็นว่าเซลล์ 4 ให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามากกว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์ทดสอบเล็กน้อย แต่เนื่องจาก Pt ในตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ของเซลล์ทดสอบสมมติฐานมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามากกว่า Pt ในตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ ของเซลล์ 4 ดังนั้น ถ้า Sn ในตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ ไม่สามารถทำงานได้อย่างที่ตั้งสมมติฐานไว้ ประสิทธิภาพของเซลล์ 4 ควรจะมีค่าน้อยกว่าเซลล์ทดสอบ ดังนั้นสมมติฐานที่ว่า Sn ในตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$ ของเซลล์ 4 ไม่ทำงานนั้นจึงเป็นไปได้

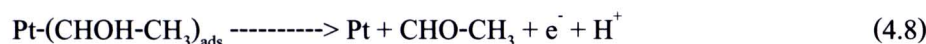
4.5.3 การเกิดพิษ (Poison) บนตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt}_3\text{Sn}_1/\text{C}$

จากกราฟโพราไรเซชันและกราฟความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ผ่านมาจะเห็นว่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์จะลดลงเรื่อยๆ หลังจากมีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เซลล์และสมรรถนะ

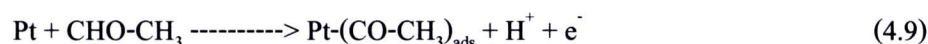
การทำงานของเซลล์จะเริ่มคงที่หลังจากทำการดิงกระแสได้ระยะเวลาหนึ่ง จากกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายเอธานอลคังสมการ [17,22]



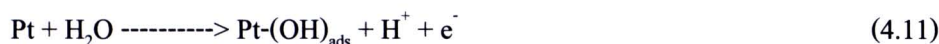
จะเห็นว่าเอธานอลสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ได้สองทาง คือการดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านอะตอมของออกซิเจนหรืออะตอมของคาร์บอน คังสมการที่ 4.5 และ 4.6 จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็น Acetaldehyde คังสมการที่ 4.7 และ 4.8



Acetaldehyde นี้สามารถกลับเข้าไปดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ได้อีกและเกิดผลิตภัณฑ์เป็น $\text{Pt-(CO-CH}_3\text{)}_{\text{ads}}$ คังสมการที่ 4.9 และเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ผลิตภัณฑ์เป็น $\text{Pt-(CO)}_{\text{ads}}$ คังสมการที่ 4.10



ผลิตภัณฑ์ $\text{Pt-(CO)}_{\text{ads}}$ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสกปรกและไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายเอธานอลที่เข้ามาใหม่ได้ แต่การดิงกระแสที่ความต่างศักย์สูงนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็น $\text{Pt-(OH)}_{\text{ads}}$ คังสมการที่ 4.11 ซึ่งหมู่ $\text{-(OH)}_{\text{ads}}$ ที่เกิดขึ้นสามารถเข้าไปเกิดปฏิกิริยากับ $\text{Pt-(CO)}_{\text{ads}}$ แล้วดึง CO ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คังสมการที่ 4.12



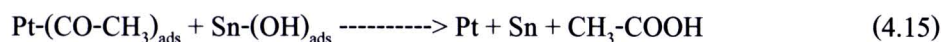
นอกจากนี้ $\text{Pt}(\text{OH})_{\text{ads}}$ ยังสามารถทำปฏิกิริยา Acetaldehyde แล้วได้เป็น Acetic acid ดังสมการที่ 4.13



ขณะที่ในการดึงกระแสที่ความต่างศักย์ต่ำ Sn สามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้เป็น $\text{Sn}(\text{OH})_{\text{ads}}$ ดังสมการที่ 4.14



และ $\text{Sn}(\text{OH})_{\text{ads}}$ ที่เกิดขึ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาต่อกับ $\text{Pt}(\text{CO-CH}_3)_{\text{ads}}$ ได้ผลิตภัณฑ์เป็น Acetic acid ดังสมการที่ 4.15



จากกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังที่แสดงไว้ข้างต้น เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงมีการดึงกระแสมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว อัตราของการดูดซับมีค่าเท่ากับอัตราของการคายออกของ $-(\text{CO})_{\text{ads}}$ ทำให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าลดลงและเริ่มคงที่ ดังนั้นการเกิดพิษขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าลดลง