บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

5.1 รูปแบบของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการศึกษานี้มีรูปแบบอย่างง่าย ๆ เพื่อความสะดวกในการถอดออกและการประกอบเข้าซึ่งมีอยู่บ่อยครั้งตลอดการทดลอง นอกจากนี้โครงสร้างที่สลับซับซ้อนอาจก่อให้เกิดความแตกต่างกันในการถอด - ประกอบแต่ละครั้ง

ในการนำเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนไปใช้ปฏิบัติงานนั้นจำต้องมีส่วนเพิ่มเติมอีก 3 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกเป็นไส้ตะเกียงวางแนบกับขั้วไฟฟ้าเพื่อควบคุมน้ำในแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนให้ชื้นพอเหมาะ โดยไส้ตะเกียงจะดึงน้ำจากส่วนล่างของห้องแก๊สด้วยแรงคาปิลารีไปยังส่วนต่าง ๆ ของแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งอยู่ถัดจากขั้วไฟฟ้าเข้าไป ในกรณีที่น้ำจากปฏิกิริยามีจำนวนมากเกินไปก็สามารถซึมผ่านไส้ตะเกียงลงไปยังส่วนล่างของห้องแก๊สได้ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนระบายความร้อนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า โดยมักจะใช้น้ำในการระบายความร้อน ส่วนที่ 3 เป็นส่วนอัดซึ่งจะทำการอัดขั้วไฟฟ้าให้แนบกับแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้น เป็นการลดความต้านทานภายในเซลล์ (Maget, 1968)

อีกประการหนึ่ง คือ แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มักจะแห้งและแตกได้ง่าย ซึ่งแก้ไขได้โดยการเลือกใช้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนชนิดอื่น ซึ่งมีการเกิดอิเลกโตรออสโมซิสน้อย และถึงแม้จะแห้งก็ไม่มีการแตก ตัวอย่างเช่น แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนของ AMF (American Machine & Foundry), Ionac Chemical Company, และ Permutit Co. Ltd.

5.2 การเก็บข้อมูล

ลักษณะการเก็บข้อมูลตามที่เสนอไว้ในบทที่ 3 นั้นส่วนใหญ่เหมาะสมพอสมควร นอกจากการเขียนกราฟโพลาไรเซชันซึ่งมีการปรับค่าความต้านทาน โดยการใช้มอเตอร์

หมุนความต้านทานเท่านั้นที่ยังมีปัญหา กล่าวคือ มอเตอร์จะปรับค่าความต้านทานครั้งละ 0.5 โอห์ม ซึ่งช้ามากและทำให้ต้องใช้มือปรับความต้านทานแบบกล่องช่วยในตอนต้น ๆ ของกราฟ การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการใช้รีเลย์เลือกตำแหน่ง (latch relay) เมื่อให้สัญญาณไฟฟ้าแก่รีเลย์เลือกตำแหน่ง 1 ครั้ง รีเลย์ก็จะเลื่อนไปทีละตำแหน่ง หมายความว่าเมื่อให้สัญญาณไฟฟ้า 1 ครั้ง ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับเซลล์ก็จะเปลี่ยนค่าไปครั้งหนึ่ง ส่วนรายละเอียดต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของเซลล์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ทั้งนี้ยึดหลักว่าการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ออกจากเซลล์ต้องน้อยกว่า 5 มิลลิแอมแปร์ และระยะเวลาที่รอให้การทำงานของเซลล์คงที่ 10 วินาที (Grubb, 1960) ตัวอย่างเช่น เซลล์ซึ่งให้กระแสสูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์ ใช้เวลาไม่ถึง 10 นาที ก็จะได้กราฟ แทนที่จะเป็น 1 ชั่วโมงดังที่ใช้มอเตอร์หมุนความต้านทาน

5.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้คือ

5.3.1 กระแสไฟฟ้าที่ออกจากเซลล์ แปรผันโดยตรงกับพื้นที่ทางเรขาคณิตของขั้วไฟฟ้า

5.3.2 จากผลการทดลองจะเห็นว่าการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนไม่ขึ้นกับความหนาของแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน หรือความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการปรับสถานะ และการปรับสมดุลแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนด้วยกรดซัลฟูริกก่อนนำไปใช้งานในเซลล์เชื้อเพลิง จะทำให้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนนำไอออนได้มากกว่าแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ได้จากการปรับสถานะ โดยแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ปรับสมดุลด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จะนำไอออนได้ดีกว่าแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ได้จากการปรับสมดุลด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3.85 โมลต่อลิตร และความเข้มข้น 6 โมลต่อลิตร

5.3.3 การเพิ่มอุณหภูมิแก่เซลล์ทำให้กรดในแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนละลายออกมา เซลล์จึงทำงานได้ดีขึ้นและหากอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานกรดที่ออกมาจะกัดขั้วไฟฟ้าชำรุดได้ ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนจึงเหมาะสำหรับใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ

5.3.4 ในกรณีที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน ไม่จำเป็นต้องให้แก๊สหมุนเวียน นอกจากกรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดส์ จะต้องมีการผ่านอากาศเข้าเซลล์เพื่อให้มีการไหลเวียนของอากาศบริเวณใกล้ขั้วไฟฟ้า จากการทดลองทำให้ทราบว่าเซลล์แบบที่ใช้ศึกษานี้ใช้อัตราการไหลเวียนของอากาศ 30 ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อนาที เซลล์จะให้กำลังไฟฟ้าได้ มากที่สุด

5.3.5 ผลการทดลองต่อเซลล์เข้าด้วยกันทั้งแบบขนานและแบบอนุกรม ปรากฏว่าให้ผลสอดคล้องกับกฎของการต่อเซลล์ไฟฟ้าเป็นอย่างดี ยกเว้นแต่การต่อเซลล์แบบขนานจะต้องเลือกเซลล์ซึ่งมีลักษณะกราฟโพลาไรเซชันใกล้เคียงกันให้มากที่สุด

5.3.6 ประสิทธิภาพรวมของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้งาน โดยการใช้งานที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง ประสิทธิภาพรวมของเซลล์ก็จะสูงขึ้นด้วย โดยทั่วไปการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนจะอยู่ในช่วง 0.6 - 0.8 โวลต์

5.3.7 การทดสอบอายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่ากำลังไฟฟ้าลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อใช้งานไปได้ประมาณ 1 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดอิเลกโตรออสโมซิส ทำให้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนแห้งจึงนำไอออนได้น้อยลง กำลังไฟฟ้าจากเซลล์จึงลดลง วิธีการแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการเลือกแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนชนิดใหม่หรือออกแบบเซลล์ใหม่ให้สามารถเติมน้ำเข้าเซลล์ได้เมื่อน้ำในห้องแก๊สไฮโดรเจนแห้ง

5.4 ค่าใช้จ่ายในการใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนผลิตไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นค่าใช้จ่ายโดยประมาณ สำหรับเซลล์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เท่านั้น แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

5.4.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเซลล์ เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวถัง, ขั้วไฟฟ้า, แผ่นแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งมีรายการราคาดังตาราง 5.1 โดยแต่ละเซลล์จะให้กำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 10 - 200 มิลลิวัตต์ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสร้างเซลล์จึงอยู่ในช่วง 5.2×10^{7} - 2.6×10^{6} บาทต่อกิโลวัตต์

โดยอายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแลกเปลี่ยนอิออนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9600 ชั่วโมง (Cairns, E.J., Douglas, D.L., and Niedrach, L.W., 1961) ดังนั้นค่าสร้างเซลล์จึงอยู่ในช่วง 5,416.67 - 270.83 บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง

ตารางที่ 5.1

ตารางแสดงราคาส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออน (หน่วยบาท)

จำนวน	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
2	ตัวถัง	20	40
2	ขั้วไฟฟ้า	220	440
1	แผ่นแลกเปลี่ยนอิออน	40	40
	ราคาต่อเซลล์		520

5.4.2 <u>ค่าเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดส์</u>

การคิดค่าเชื้อเพลิงคิดได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกคิดจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับ (กิโลวัตต์.ชั่วโมง) เปรียบเทียบกับราคาเชื้อเพลิง วิธีที่ 2 คิดจากประสิทธิภาพรวมของเซลล์ ซึ่งทั้ง 2 วิธีให้ผลตรงกัน สำหรับในที่นี้จะแสดงเฉพาะวิธีที่ 2 เท่านั้น

พิจารณาจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออนซึ่งมีประสิทธิภาพรวมใช้แก๊สไฮโดรเจนไป n โมล และใช้แก๊สออกซิเจนไป $\frac{n}{2}$ โมล ทำให้ได้พลังงาน

ไฟฟ้า $n\eta_o \Delta H$ จูล หรือ $n\eta_o \Delta H/3600 \times 10^3$ กิโลวัตต์.ชั่วโมง โดยราคาแก๊สไฮโดรเจนเป็น 2.70 ดอลลาร์ต่อลิตร และราคาแก๊สออกซิเจนเป็น 1.62 ดอลลาร์ต่อลิตร ดังนั้นพลังงาน $n\eta_o \Delta H/3600 \times 10^3$ กิโลวัตต์.ชั่วโมง จะต้องใช้จ่ายค่าแก๊สเท่ากับ $(2.70 + 1.62/2)\ 22.413n$ ดอลลาร์ ดังนั้นอัตราค่าแก๊ส

$$= \frac{3.52 \times 22.413 \times 3600n \times 10^3}{n\eta_o H \times 10^2} \text{ บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง}$$

จากนิยามของประสิทธิภาพรวมเราได้ว่า

$$\eta_o = \frac{\Delta G}{\Delta H} \cdot \frac{V}{E} \cdot \eta_F$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\text{อัตราค่าแก๊ส} = \frac{3.52 \times 22.413 \times 3600 \times 10^3}{NFV\eta_F \times 10^2} \text{ บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง}$$

โดย $N = 2$, $F = 96486.792$ คูลอมบ์ต่อโมล และ $\eta_F = 0.9189$ ดังนั้น

$$\text{อัตราค่าแก๊ส} = \frac{15.9676}{V} \text{ บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง} \qquad (5.1)$$

จะเห็นได้ว่าอัตราค่าแก๊สขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เพียงอย่างเดียว เพราะประสิทธิภาพของเซลล์ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะใช้งาน สำหรับอัตราค่าแก๊สได้แสดงไว้ในตาราง 5.2

ส่วนกรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดส์ โดยถือว่าค่าใช้จ่ายแก๊สไฮโดรเจนอย่างเดียว ก็จะได้ว่า

$$\text{อัตราค่าแก๊สไฮโดรเจน} = \frac{12.2828}{V} \text{ บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง} \qquad (5.2)$$

ค่าอัตราค่าแก๊สไฮโดรเจนได้แสดงด้วยตาราง 5.2 เช่นกัน

โดยปกติแล้วจะใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.6 - 0.8 โวลต์ ดังนั้นอัตราค่าแกส่จึงอยู่ในช่วง 26.61 - .9.96 บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง เมื่อใช้แกส่ไฮโดรเจนและแกส่ออกซิเจน ส่วนกรณีใช้แกส่ไฮโดรเจนและอากาศจะอยู่ในช่วง 20.47 - 15.35 บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง

ตารางที่ 5.2

ตารางแส่ดงอัตราค่าแกส่ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออน

ความต่างศักย์ไฟฟ้าใช้งาน (โวลต์)	อัตราค่าแกส่ (ไฮโดรเจน-ออกซิเจน) (บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง)	อัตราค่าแกส่ไฮโดรเจน (ไฮโดรเจน-อากาศ) (บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง)
0.10	159.68	122.83
0.20	79.84	61.41
0.30	53.23	40.94
0.40	39.92	30.71
0.50	31.94	24.57
0.60	26.61	20.47
0.70	22.81	17.55
0.80	19.96	15.35
0.90	17.74	13.65
1.00	15.97	12.28

5.4.3 <u>ค่าใช้จ่ายรวม</u> เป็นค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของการใช้เซลล์เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยเป็นการรวมค่าใช้จ่ายในการสร้างเซลล์และอัตราค่าแก๊สเข้าด้วยกัน ดังแสดงด้วยตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าการใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนในการผลิตไฟฟ้านั้นต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากราคาพลาตินัมดำซึ่งใช้ในการเตรียมขั้วไฟฟ้า ซึ่งพอจะแก้ไขได้โดยการเคลือบพลาตินัมดำให้น้อยลงซึ่งจะช่วยให้ค่าใช้จ่ายลดลงได้มาก ส่วนค่าแก๊สนั้นอาจจะลดลงได้อีกหากใช้งานเซลล์ที่ความต่างศักย์สูง หรือใช้กระแสไฟฟ้าจากเซลล์น้อย ๆ แต่ก็เป็นเรื่องที่ทำได้มาก เพราะเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนมีความต้านทานภายในเซลล์สูง ด้วยเหตุนี้เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนจึงมีบทบาทเฉพาะในงานพิเศษบางอย่างเท่านั้น

ตารางที่ 5.3

ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในการใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนผลิตไฟฟ้า

ชนิดแก๊ส	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง)
ไฮโดรเจน-ออกซิเจน	5443.28	290.79
ไฮโดรเจน-อากาศ	5437.14	286.18