

ไฟฟ้าเคมี (ElectroChemistry)

ไฟฟ้าเคมีเป็นการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า สามารถแบ่งปฏิกิริยาเคมีเป็น 2 ประเภทตามการถ่ายเทของอิเล็กตรอนได้แก่

1. ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)
2. ปฏิกิริยาที่ไม่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยานอนรีดอกซ์ (Nonredox Reaction)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสาร โดยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสามารถแยกออกเป็นปฏิกิริยาย่อยได้ 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาย่อยเรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยา

- ครึ่งปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ครึ่งปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน

ปฏิกิริยาทั้งสองต้องเกิดขึ้นพร้อมกัน จึงเรียกปฏิกิริยารวมว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ สารละลายในปฏิกิริยานี้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

สรุปได้ว่าการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์จะต้องประกอบไปด้วย

1. สารที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่าตัวรีดิวซ์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction)
2. สารที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่าตัวออกซิไดซ์ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction)

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell)

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell) คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือไฟฟ้าเป็นเคมี เซลล์ไฟฟ้าเคมี แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยากันในเซลล์ แล้วเกิดกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์แอลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน แบตเตอรี่ เป็นต้น

2. เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ แล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น เช่น เซลล์แยกน้ำด้วยไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมีสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ขั้วไฟฟ้า มี 2 ชนิด

1.1 ขั้วว่องไว (Active electrode) ได้แก่ ขั้วโลหะทั่วไป เช่น Zn Cu Pb

1.2 ขั้วเฉื่อย (Inert electrode) คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมใดๆ ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น Pt

ในเซลล์ไฟฟ้าปกติ จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ ดังนี้

1. ขั้วแอโนด (Anode) คือ ขั้วที่เกิดออกซิเดชัน

2. ขั้วแคโทด (Cathode) คือ ขั้วที่เกิดรีดักชัน

2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารที่มีสถานะเป็นของเหลว นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนเคลื่อนที่ไปมาอยู่ในสารละลาย

เซลล์กัลวานิก หรือเซลล์วอลตาอิก (Voltaic cell)

เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ 2 ครึ่งเซลล์มาต่อกัน และเชื่อมให้ครบวงจรโดยใช้สะพานไอออนต่อระหว่างครึ่งเซลล์ไฟฟ้าทั้งสอง เซลล์กัลวานิกมี 2 ประเภท คือ เซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ

1. เซลล์ปฐมภูมิ

1.1 เซลล์แห้ง (Dry Cell)

เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ถูกเรียกว่า เซลล์แห้ง เพราะไม่ได้ใช้ของเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ เป็นเซลล์ที่ใช้ในไฟฉาย หรือใช้ในประโยชน์อื่น ๆ เช่น ในวิทยุ เครื่องคิดเลข ฯลฯ ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 1



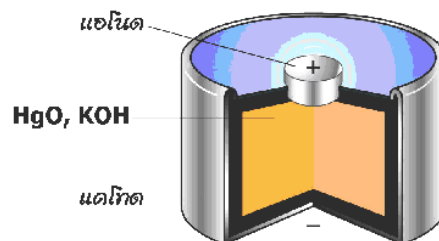
รูปที่ 1 ส่วนประกอบภายในของเซลล์แห้ง

1.2 เซลล์แอลคาไลน์ (Alkaline Cell)

เซลล์แอลคาไลน์มีส่วนประกอบของเซลล์เหมือนกับเซลล์แห้ง แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันคือเซลล์แอลคาไลน์ใช้เบสซึ่งได้แก่โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์แทนแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH₄Cl) และเนื่องจากใช้สารละลายเบสนี้เองเซลล์ชนิดนี้จึงถูกเรียกว่า เซลล์แอลคาไลน์

1.3 เซลล์ปรอท (Mercury Cell)

มีหลักการเช่นเดียวกับเซลล์แอลคาไลน์ แต่ใช้เมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ (HgO) แทนแมงกานีส (IV) ออกไซด์ (MnO₂) เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กใช้กันมากในเครื่องฟังเสียงสำหรับคนหูพิการ หรือใช้ในอุปกรณ์อื่น เช่น นาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข เซลล์นี้จะให้ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 1.3 โวลต์ ให้กระแสไฟฟ้าต่ำ แต่สามารถให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุการใช้งาน

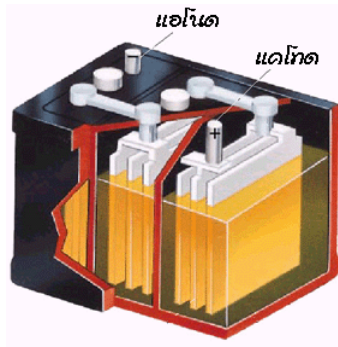


รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเซลล์ปรอท

2. เซลล์ทุติยภูมิ

2.1 แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว (Lead Storage Battery)

แบตเตอรี่คือเซลล์ไฟฟ้าหลาย ๆ เซลล์ต่อกันเป็นอนุกรม แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ โดยประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า 6 เซลล์ แต่ละเซลล์จะมีศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ดังนั้นแบตเตอรี่ในรถยนต์มีศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์



รูปที่ 3 ส่วนประกอบภายในของแบตเตอรี่

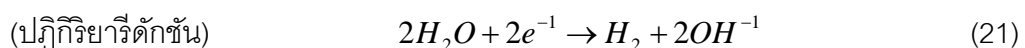
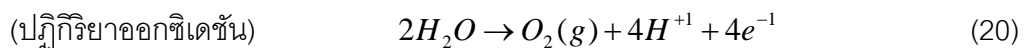
อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

การนำหลักการทางไฟฟ้าเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์มาประยุกต์ใช้งานคือหลักการอิเล็กโทรไลซิส โดยอิเล็กโทรไลซิสสามารถทำให้ปฏิกิริยาใดที่เกิดขึ้นไม่ได้ เช่น $\text{Cu(s)} + \text{Zn}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn(s)}$ ให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้โดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก ส่วนประกอบที่สำคัญของอิเล็กโทรไลติกเซลล์ (Electrolytic Cell) ประกอบด้วย

1. แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก
2. ขั้วไฟฟ้า
3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์

โดยลักษณะการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายได้จากการที่สารให้อิเล็กตรอนแก่ขั้วบวกหรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือขั้วแอโนดที่มีประจุไฟฟ้าลบ และสารที่รับอิเล็กตรอนจากขั้วลบหรือการเกิดปฏิกิริยารีดักชันคือขั้วคาโทดที่มีประจุไฟฟ้าบวก ในการประยุกต์ใช้งานของหลักการอิเล็กโทรไลซิสสามารถนำไปใช้ในหลักการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเพื่อแยกโมเลกุลของน้ำ (H_2O) เป็นโมเลกุล H_2 และโมเลกุล O_2 เพื่อนำแก๊สที่สามารถผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อไป

หลักการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรไลซิส เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมีในการแตกตัวน้ำ โดยใส่กระแสไฟฟ้าเพื่อให้โมเลกุลน้ำ แตกตัวออกเป็นโมเลกุลไฮโดรเจนและโมเลกุลออกซิเจน ถ้าขั้วไฟฟ้าที่เลือกใช้คือ KNO_3 ดังปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



ประโยชน์ของหลักการอิเล็กโทรไลซิส

1. การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า เพื่อแยกตัวน้ำให้กลายเป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน
2. การชุบโลหะ
3. การทำโลหะให้บริสุทธิ์

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

เซลล์เชื้อเพลิงจัดเป็นเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่งที่มีสารตั้งต้นของปฏิกิริยาครึ่งเซลล์อยู่ในรูปของแก๊สที่ป้อนเข้าไปในเซลล์แบบต่อเนื่อง เมื่อสารเหล่านี้ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาก็จะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในเซลล์ชนิดนี้ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน ในปี ค.ศ. 1802 Davy ได้ค้นพบปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงและสร้างเซลล์คาร์บอนซึ่งทำงานที่อุณหภูมิห้องโดยใช้กรดไนตริกเป็นสารพาประจุ (Electrolyte) แต่เซลล์ชนิดนี้ยังไม่สมบูรณ์ ต่อมาในปี ค.ศ. 1884 Grove ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างเซลล์ไฮโดรเจน-ออกซิเจน ซึ่งได้รายงานผลการค้นคว้าใน "Gaseous Voltaic Battery" ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาของออกซิเจนและไฮโดรเจนในการผลิตน้ำและให้กระแสไฟฟ้าออกมาในปริมาณมากพอที่จะทำให้คนขาดใจได้ถ้าถูกช็อต

ต่อมาในปี ค.ศ. 1921 Baur ได้พัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแบบที่ใช้อุณหภูมิสูง (High temperature cell) เมื่อใช้คาร์บอนเป็นขั้วแอโนดและใช้ไอออกไซด์ของเหล็กเป็นขั้วแคโทด และสารคาร์บอนเนตของแอลคาไลนอลอมเหลว (Molten alkaline carbonate) เป็นสารพาประจุ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาทางด้านวัสดุที่ใช้ในการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากความยากลำบากในการกำจัดกากถลุง (Slag) ที่เกิดขึ้นนั่นเอง

จากนั้นนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวอังกฤษได้ทำการปรับปรุงค้นคว้าเซลล์เชื้อเพลิงในห้องทดลองอย่างต่อเนื่อง จนใน ค.ศ. 1959 Bacon และ Frost จากมหาวิทยาลัยแคมบริดจ์ ได้ประกาศว่าสามารถปรับปรุงและสร้างเซลล์เชื้อเพลิงที่มีกำลังขนาด 6 กิโลวัตต์ ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ในการขับเคลื่อนรถบรรทุกไฟฟ้า เลื่อยไฟฟ้าและเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ซึ่งในเวลาใกล้เคียงกันนั้น (เดือนตุลาคม ค.ศ. 1959) ทางสหรัฐอเมริกา โดย Ithrig จากบริษัท Allis-Chalmers ได้ติดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงให้กับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลัง 20 แรงม้าได้เป็นผลสำเร็จ

จากการพัฒนาในอดีตที่มีผู้ให้ความสนใจเพียงเล็กน้อยแค่ 2-3 กลุ่ม จนในเวลาต่อมาเมื่อผู้ให้ความสนใจมากมายและมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง จนในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงถูกพัฒนาให้เป็น อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานของเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ประมาณ 1-3 เท่า

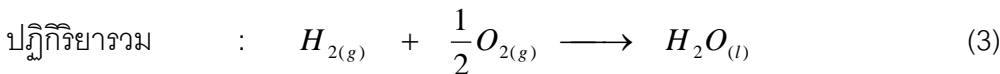
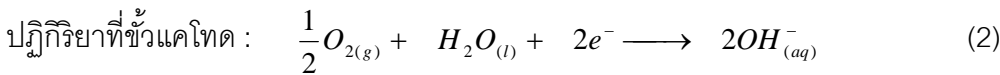
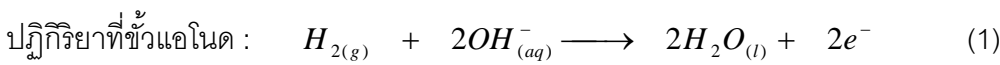
เซลล์เชื้อเพลิงสามารถจำแนกได้เป็นหลายแบบขึ้นอยู่กับสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ไฮดรอกซีน เซลล์เชื้อเพลิงโพรเพน-ออกซิเจน เป็นต้น และชนิดที่เป็นที่นิยมใช้คือ เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เพราะเมื่อเกิดปฏิกิริยาในเซลล์แล้วจะให้กระแสไฟฟ้า น้ำบริสุทธิ์ และความร้อน

นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังไม่ก่อให้เกิดแก๊สพิษ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ เซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็ล

ชนิดและหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

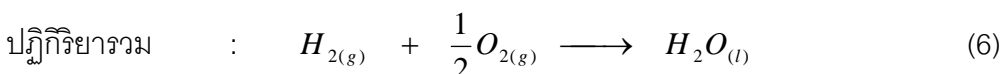
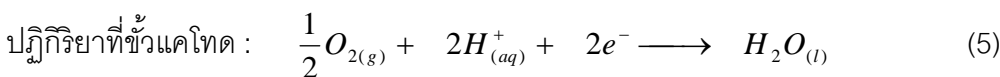
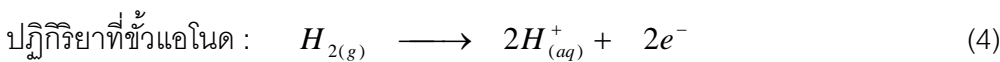
1. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแอลคาไลน์

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel cell, AFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแรกที่มีการสร้างขึ้นโดยใช้สารพาประจุคือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เหลว เนื่องจากมีสมบัติในการพาประจุได้สูงที่สุดในบรรดาสารไฮดรอกไซด์ของธาตุกลุ่มแอลคาไลน์ และใช้แก๊สออกซิเจนและแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากระบบไวด์ต่อการปนเปื้อนมาก ทำให้ระบบนี้มีราคาสูง การใช้งานจึงจำกัดอยู่ในงานด้านอวกาศ อุณหภูมิการทำงานจะอยู่ในช่วง 60-120 องศาเซลเซียส โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้ คือ



2. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก

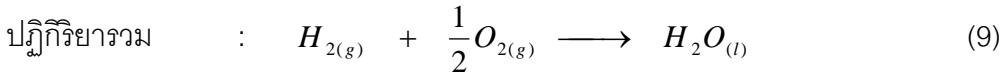
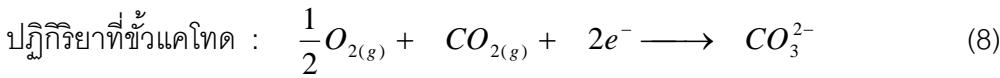
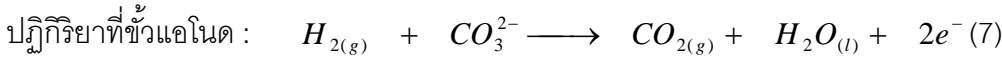
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC) สามารถทนต่อแก๊สเฉื่อยปนได้มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแอลคาไลน์ แต่ก็ยังใช้เชื้อเพลิงและตัวออกซิแดนต์ชนิดเดียวกัน และใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารพาประจุ อุณหภูมิการทำงานอยู่ในช่วง 170-200 องศาเซลเซียส และเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานในช่วงอุณหภูมิสูง จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการเริ่มดำเนินงาน และเกิดปัญหาการกัดกร่อนในเซลล์เชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เหมาะต่อการนำมาใช้งานในสถานีไฟฟ้าขนาดเล็กโดยในปัจจุบันได้มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ มีขนาดกำลังไฟฟ้าประมาณ 200 กิโลวัตต์ สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้คือ



3. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) เป็นเซลล์ที่ใช้สารพาประจุจำพวกเกลือคาร์บอเนตหลอมของโซเดียมและโปแตสเซียมบนตัวรองรับลิเทียมอะลูมินา มีอุณหภูมิการทำงานอยู่ที่ประมาณ 500-650 องศาเซลเซียส ดังนั้นปัญหาจากการกัดกร่อนจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิ

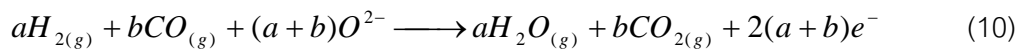
ค่อนข้างสูง เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้นิยมใช้ในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถให้กำลังไฟฟ้าได้ในระดับเมกะวัตต์ สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



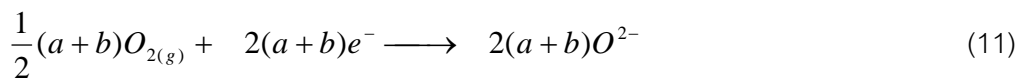
4. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงอีกชนิดที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่ ใช้สารเซรามิกเป็นสารพาประจุ ซึ่งสารที่ใช้มากคือ สารประกอบเซอร์โคเนียออกไซด์ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิในช่วง 650-1000 องศาเซลเซียส ดังนั้นสารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้และออกซิเจนในอากาศสามารถนำมาใช้เป็นออกซิแดนต์ได้ ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้คือ สามารถนำไอน้ำอุณหภูมิสูงที่เป็นผลผลิตของกระบวนการนี้ ไปใช้ปั่นกังหันไอน้ำต่อได้ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้คือ

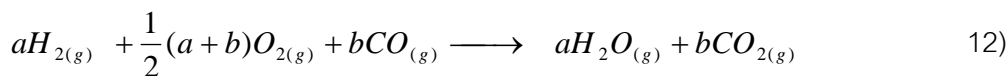
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด :



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด :



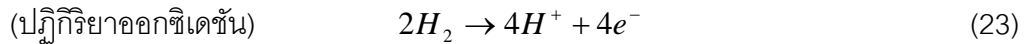
ปฏิกิริยารวม :



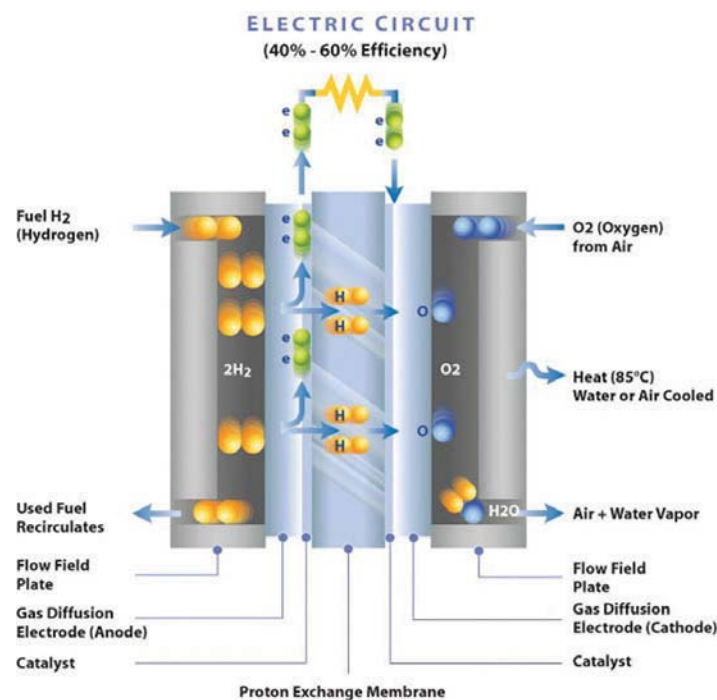
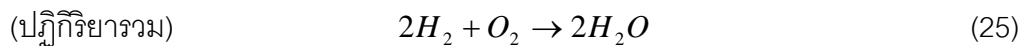
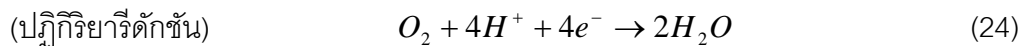
5. เซลล์เชื้อเพลิงพื้อเอ็ม (Proton exchange membrane fuel cell)

เซลล์เชื้อเพลิงพื้อเอ็มมีลักษณะการทำงานคล้ายแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ในการเปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องตรงเท่าที่มีการป้อนเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงพื้อเอ็ม คือ กระแสไฟฟ้า น้ำและความร้อน จึงไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ภาวะการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ในช่วง 60 – 100 องศาเซลเซียส จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานด้านต่าง ๆ โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเซลล์เกิดมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่ขั้วอิเล็กโทรดแต่ละด้าน เชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือ แก๊สไฮโดรเจน

และแก๊สออกซิเจนเป็นสารออกซิแดนท์ จากรูป 7 แก๊สไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม ได้โปรตอน อิเล็กตรอน และความร้อน ตามสมการ (23)



โปรตอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์คือ แผ่นเมมเบรน ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำโปรตอนสูง (High proton conductivity) แต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน (Electron barrier) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกได้เป็นกระแสไฟฟ้า จากนั้นทั้งโปรตอนและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดเพื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามายังขั้วดังกล่าว เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำ ตามสมการ (24) และได้ปฏิกิริยารวมแสดงดังสมการที่ (25)



รูปที่ 7 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

ซึ่งการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานและสมบัติของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบลักษณะการทำงานและสมบัติของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

| ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง | ไอออนที่เคลื่อนที่ | อุณหภูมิในการใช้งาน (องศาเซลเซียส) | ลักษณะการใช้งาน |
|--------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--|
| เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแอลคาไลน์ | OH^- | 60-120 | ใช้ในงานด้านอวกาศ |
| เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก | H^+ | 170-200 | สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าขนาด 200 กิโลวัตต์ |
| เซลล์เชื้อเพลิงชนิดพีอีเอ็ม | H^+ | 50-100 | เหมาะสำหรับยานพาหนะและอุปกรณ์พกพาต่างๆ |
| เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอนเหลว | CO_3^{2-} | 500-650 | เหมาะสำหรับสถานีไฟฟ้าขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ |
| เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง | O^{2-} | 650-1000 | เหมาะสำหรับระบบทุกขนาด |

องค์ประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ แผ่นนำกระแสไฟฟ้า ขั้วอิเล็กโทรด อิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น

- แผ่นนำกระแสไฟฟ้า (Current collector plate)

แผ่นนำกระแสไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบขั้วเดียว (Unipolar plate) และแผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้ว (Bipolar plate) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง แผ่นนำกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ออกจากเซลล์ และเป็นช่องทางการไหลของแก๊ส (Gas flow field plate) ซึ่งอยู่บริเวณผิวหน้าของแผ่นเพื่อเป็นช่องทางให้แก๊สเคลื่อนที่ผ่านต่อไปยังขั้วอิเล็กโทรด ช่วยในการระบายความร้อน และการจัดการน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยา



รูปที่ 8 แผ่นนำกระแสไฟฟ้า

- ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (Membrane Electrode Assembly)

ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนหรือเอ็มอีเอคือเป็นหัวใจสำคัญต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงพีซีเอ็ม เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาและการถ่ายโอนประจุ เอ็มอีเอประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ เมมเบรนทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรดที่มีชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา การประกอบเอ็มอีเอทำโดยการนำขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คือ ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด มาประกบเข้ากับเมมเบรน โดยวิธีการอัดด้วยความร้อน (Hot pressing) องค์ประกอบหลักที่สำคัญของขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน มีดังนี้



รูปที่ 9 ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน

- ขั้วอิเล็กโทรด (Electrode)

ขั้วอิเล็กโทรดเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ทางผ่านของแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อเข้าทำปฏิกิริยาและทางผ่านของอิเล็กตรอน ขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้อยู่โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ชั้นแพร่แก๊ส (Gas diffusion layer) ชั้นจัดการน้ำ (Water management layer) และชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)



รูปที่ 10 ขั้วอิเล็กโทรด

(1) ชั้นแพร่แก๊ส (Gas diffusion layer)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นตัวเร่งปฏิกิริยากับแผ่นนำกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปทำมาจากเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) นำมาทำเป็นกระดาษคาร์บอน (Carbon paper) และ ผ้าคาร์บอน (Carbon cloth) โดยชั้นแพร่แก๊สมีหน้าที่ดังนี้

- เป็นเส้นทางผ่านของแก๊สเชื้อเพลิงจากช่องทางการไหลของแก๊ส (Flow field channel) ไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ติดกัน
- เป็นเส้นทางผ่านสำหรับน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาจากชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาออกไปยังช่องทางการไหลของแก๊ส
- เป็นตัวนำอิเล็กตรอนจากชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังแผ่นนำกระแสไฟฟ้าเพื่อจะครบวงจรได้ กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิง

(2) ชั้นจัดการน้ำ (Water management layer)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นแพร่แก๊สและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา มีส่วนช่วยในการจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง

(3) ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)

เป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ในอุณหภูมิปกติตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน จำเป็นจะต้องมีตัวกระตุ้นเพื่อให้เกิดการแตกตัว เช่น เติมนิกเกิลที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ เช่น แพลทินัม (Pt) นิกเกิล (Ni)

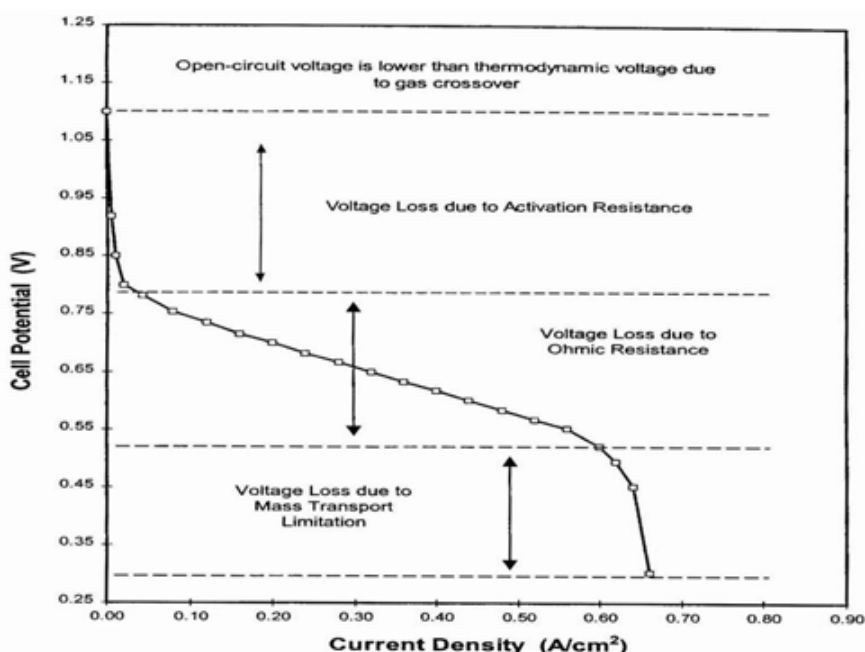
เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแพลทินัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงฟิวส์เซลล์มากที่สุด เนื่องจากสามารถทนต่อการกัดกร่อนและว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของแก๊สออกซิเจน (ขั้วแคโทด) และแก๊สไฮโดรเจน (ขั้วแอโนด) ได้ดีกว่าโลหะอื่น

- อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงฟิวส์เซลล์คือ พอลิเมอร์เมมเบรนชนิดเนฟิออนเมมเบรนซึ่งยึดติดกับขั้วอิเล็กโทรด ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โมเลกุลไฮโดรเจนสัมผัสกับออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยตรง และยอมให้โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดเท่านั้น

สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงฟิวส์เซลล์

สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถศึกษาได้จากกราฟโพลาไรเซชัน (Polarization curve) ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 โพลาไรเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงฟิวส์เซลล์

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงอธิบายได้จากกราฟโพลาไรเซชันโดยสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงถูกต่อเข้ากับวงจรภายนอกและมีการป้อนแก๊สเชื้อเพลิงให้กับระบบ เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ แต่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าที่ลดลงไม่เท่ากับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทาง ซึ่งในเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนกับแก๊สออกซิเจนจะได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎีประมาณ 1.299

เมื่อค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 8 พบว่าเกิดการลดลงของศักย์ไฟฟ้า เนื่องจากกลไกต่าง ๆ โดยเมื่อสังเกตจากกราฟจะพบว่าสามารถแบ่งช่วงการเกิดโพลาไรเซชันเป็น 4 ช่วง คือ

1. ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น (Open-circuit potential) ซึ่งเกิดจากการแพร่ข้ามฝั่งของแก๊ส (Crossover) ระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดผ่านเมมเบรน เมื่อแก๊สข้ามไปยังอีกฝั่งหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับผิวขั้วอิเล็กโทรด ก็จะเกิดศักย์ไฟฟ้าส่วนเกินที่ขั้วแอโนดเช่นเดียวกัน จึงทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้มีค่าลดลง
2. โพลาริเซชันทางเคมี (Activation Polarization) เป็นค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของแก๊สเชื้อเพลิงบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ลดลงไปเนื่องมาจากการเอาชนะพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาเคมี เช่น อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และความดัน
3. โพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทาน (Resistance Polarization) เกิดจากความต้านทานในแต่ละองค์ประกอบของเซลล์เชื้อเพลิง เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่บริเวณขั้วอิเล็กโทรดและที่บริเวณแผ่นนำกระแสไฟฟ้า ความต้านทานในการเคลื่อนที่ของโปรตอนผ่านเมมเบรน และบริเวณจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ในการประกอบเซลล์ โดยเฉพาะการประกอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิงที่มีจำนวนหลายชั้นเซลล์
4. โพลาริเซชันเนื่องจากความเข้มข้น (Concentration Polarization) เกิดเนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วจนไม่เพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาที่บริเวณขั้วอิเล็กโทรด

ประโยชน์ของเซลล์เชื้อเพลิง

การประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการใช้งานในที่ห่างไกล เช่น ในยานอวกาศ สถานีตรวจอากาศที่ห่างไกล ชนบท และการประยุกต์ใช้ทางการทหาร เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และดูแลรักษาง่าย การประยุกต์ใช้ในขนาดที่อื่นใกล้นี้คงเป็นระบบไฟฟ้าและพลังงานความร้อน combined heat and power (CHP) สำหรับอาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งระบบนี้จะผลิตไฟฟ้าในอัตราที่คงที่สามารถขายไฟฟ้าคืนสู่ระบบส่งได้เมื่อไม่ใช้งาน และในปัจจุบันยังมีการประยุกต์นำเซลล์เชื้อเพลิงไปใช้ในรถยนต์ซึ่งจะเป็นรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ไฮโดรเจนและการเติมเชื้อเพลิง สถานีบริการไฮโดรเจนแห่งแรกอยู่ใน Reykjavik Iceland เปิดบริการในเดือนเมษายน ปี 2003 ซึ่งให้บริการกับรถบัสสามคันสร้างโดย Daimler ซึ่งให้บริการแก่สาธารณชนโดยทั่วไปในเขต Reykjavik สถานีไฮโดรเจนแห่งนี้ผลิตไฮโดรเจนด้วยตัวเองโดยใช้การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (ผลิตโดย Norsk Hydro) ซึ่งไม่ต้องการอะโรนออกเหนือไปจากน้ำและไฟฟ้า Shell เป็นอีกหนึ่งในผู้ร่วมโครงการ สถานีบริการแห่งนี้ไม่มีหลังคาเพื่อให้ไฮโดรเจนที่อาจรั่วไหลออกไปสู่บรรยากาศได้



รูปที่ 12 รถยนต์และสถานีเติมแก๊สไฮโดรเจน



อุปกรณ์พกพาชนิดอื่น ๆ

มีรถยนต์และรถบัสต้นแบบจำนวนมากซึ่งอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงที่อยู่ระหว่างการพัฒนา งานวิจัยที่กำลังเดินหน้าต่อไปในหลายบริษัทเช่น BMW Hyundai และ Nissan อย่างไรก็ตามได้มีรถบัสเซลล์เชื้อเพลิงที่กำลังดำเนินการกันอยู่ เช่น Thor ของ UTC Power ในแคลิฟอร์เนีย ดำเนินการโดย SunLine Transit Agency อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์พกพาเพื่อใช้ในการเติมแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ MP3 หรือ



รูปที่ 14 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงในอุปกรณ์พกพา

นอกจากนี้ปัญหาการจัดเก็บไฮโดรเจนอาจถูกกำจัดให้หมดไปได้ด้วยการใช้ Sodium Borohydride (NaBH_4) ซึ่งทำให้เก็บไฮโดรเจนไว้ได้มากแม้ที่ความดันบรรยากาศหรือการเก็บไฮโดรเจนในรูปแบบ Metal Hydride ที่สามารถทำให้เก็บแก๊สไฮโดรเจนได้ในรูปของเหลวทำให้มีความดันต่ำจึงลดความเป็นอันตรายในการเก็บแก๊สไฮโดรเจนลงได้