

เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงและการประยุกต์ใช้งาน FUEL CELLS TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION

อภิชัย เทอดเทียนหงษ์¹ สุภาภรณ์ เทอดเทียนหงษ์¹

กฤษณพงศ์ กীরติกร² ศักรินทร์ ภูมิรัตน³ รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ⁴ และเก๋ากันยา สูดประเสริฐ⁴

Apichai Therdthianwong¹, Supaporn Therdthianwong¹, Krissanapong Kirtikara²,
Sakarindr Bhumiratana³, Roongroj Songprakorb⁴ and Kaokanya Sudprasert⁴

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพและพันธุวิศวกรรมแห่งชาติ

⁴คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

²Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

³National Biotechnology and Genetic Engineering Center, NSTDA

⁴School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานานถึง 160 ปี (ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1839) ซึ่งได้มีการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นมามากมายหลายประเภท แต่ในปัจจุบันมีเซลล์เชื้อเพลิงเพียง 5 ประเภทที่ได้รับการพัฒนาจนสามารถผลิตขายในเชิงการค้าได้ ได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (AFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (PAFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอนเนตหลอม (MCFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์ของแข็ง (SPFC) และเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (SOFC) เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละประเภทมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบ MCFC และ SOFC จะมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าได้สูงที่สุด

เซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 5 แบบต่างก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันจึงทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละประเภทถูกนำไปประยุกต์ใช้งานที่เหมาะสมต่างกัน เช่น เซลล์เชื้อเพลิงแบบ SPFC เน้นหนักการใช้ในงานขนส่ง ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงแบบ MCFC และ SOFC เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นหน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าย่อยจากการศึกษาและติดตามเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงทั่วโลกคาดว่าเทคโนโลยีนี้จะเป็นเทคโนโลยีแห่งศตวรรษ

ที่ 21

ABSTRACT

Fuel cells technology has been developed for about 160 years (since 1839). From the long-term technological development, various types of fuel cells have been invented. However only 5 types of fuel cells are now ready for large-scale commercialization in the market. They are Alkaline Fuel Cells (AFC), Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC), Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC), Solid Polymer Fuel Cells (SPFC), and Solid Oxide Fuel Cells (SOFC). Different types of fuel cells have different values of electrical conversion efficiency. It has been proved that MCFC and SOFC provide the highest efficiency among these fuel cells.

The main applications of each type of fuel cells are assessed on the relative advantages and disadvantages of different types of fuel cells basis. For instance, the intended application of SPFC is for transportation purpose, whereas the MCFC and SOFC are expected to position themselves favorably in the power generation market. From this study the fuel cells has shown itself to be an emerging and promising technology for the 21st century.

บทนำ

จากปัญหามลพิษที่มีสภาพรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ การหาพลังงานรูปแบบอื่นที่มีความสะอาดและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จนถึงขนาดที่มีผู้กล่าวว่าการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นคือการเลิกใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นักวิจัยทั่วโลกได้ทำการศึกษาเพื่อนำเอาไฮโดรเจนมาใช้เป็นเชื้อเพลิง แต่อุปสรรคที่สำคัญอันหนึ่งต่อเป้าหมายดังกล่าวคือ การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากก๊าซไฮโดรเจน การพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน [Blum, 1994] ดังจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันได้เริ่มมีการผลิตรถยนต์ที่ขับเคลื่อนโดยเซลล์เชื้อเพลิง และนำมาทดลองใช้ในท้องตลาด

ความหมายของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงหมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (electrochemical reaction) ที่มีลักษณะการ

ทำงานคล้ายคลึงกับแบตเตอรี่ (battery) กล่าวอีกนัยหนึ่งเซลล์เชื้อเพลิงจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ในเซลล์เชื้อเพลิงจะประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดที่มีความพรุน 2 ขั้ว (อะโนดและแคโทด) จุ่มหรือสัมผัสกับสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวและ/หรือของแข็ง เซลล์เชื้อเพลิงอันได้แก่ ก๊าซธรรมชาติหรือไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าไปยังขั้วอะโนด (anode) ในขณะที่ตัวออกซิไดซ์ (oxidant) ถูกป้อนเข้าขั้วแคโทด (cathode) ก๊าซไฮโดรเจนก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) โดยจะมีการให้หรือปล่อยอิเล็กตรอน (electron) ที่ขั้วอะโนด ดังแสดงในสมการที่ (1) ในขณะที่ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ของก๊าซออกซิไดซ์ซึ่งเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังแสดงในสมการที่ (2) [Blomen and Mugerwa, 1993]



จากปฏิกิริยาทั้งสองข้างต้น จะก่อให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรง (direct-current หรือ DC) โดยที่ขั้วอิเล็กโทรดทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งปฏิกิริยา (reaction sites) เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าของเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ขึ้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่ขั้วอะโนดตามปฏิกิริยาที่ (1) โดยที่ก๊าซเชื้อเพลิงจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกส่งถ่ายไปที่ขั้วแคโทดผ่านตัวนำจากภายนอกและผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิไดซ์ไฮโดรเจน (ซึ่งก็คืออ็อกซิเจน) จะแพร่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ เมื่ออิเล็กตรอนถูกส่งมาถึงขั้วแคโทดจะทำหน้าที่รีดิวซ์โมเลกุลของออกซิเจนแล้วเกิดเป็นอ็อกซิไดรอกไซด์ จากนั้นอ็อกซิเจนที่เกิดจากขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองจะเกิดการรวมตัวกลายเป็นน้ำ

ขั้วอะโนดและแคโทดที่ใช้ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงจะต้องมีคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซซึมผ่าน (permeable) และจะต้องนำกระแสไฟฟ้าได้ดี ในทางตรงกันข้ามอิเล็กโทรไลต์จะต้องไม่ยอมให้ก๊าซซึมผ่านและสามารถถ่ายเทอ็อกซิเจนได้ดี ค่าความต่างศักย์ที่ขั้วแคโทดจะเสถียรจะมีค่าประมาณ 1 โวลต์ ในกรณีที่ต้องการให้ค่าความต่างศักย์มีค่าสูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยการต่อเซลล์เชื้อเพลิงหลายๆ เซลล์เข้าด้วยกันในลักษณะอนุกรม

ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง [Yarum, 1995; Blomen, 1993; Blum, 1994]

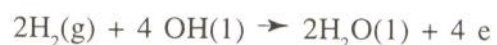
ระบบเซลล์เชื้อเพลิงสามารถถูกจัดแบ่งตามประเภทอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ได้ดังนี้ เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline fuel cells, AFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม (molten carbonate fuel cells, MCFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (solid oxide fuel cells, SOFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบ

ฟอสฟอริก (Phosphoric acid fuel cells, PAFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (proton exchange membrane fuel cells, PEMFC) หรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์ของแข็ง (solid polymer fuel cells, SPFC) เซลล์เชื้อเพลิงเหล่านี้ได้รับการพัฒนามาตลอดในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา ระบบเซลล์เชื้อเพลิงยังถูกแบ่งตามอุณหภูมิการทำงานได้เป็น เซลล์เชื้อเพลิงแบบอุณหภูมิต่ำซึ่งจะทำงานที่อุณหภูมิ 80-200 °C และเซลล์เชื้อเพลิงแบบอุณหภูมิสูง (600-1000 °C) [Norbeck, 1996] เซลล์เชื้อเพลิงอุณหภูมิต่ำจะเหมาะที่จะใช้กับยานอวกาศและรถยนต์ เซลล์เชื้อเพลิงอุณหภูมิสูงจะเหมาะสมในกรณีที่ต้องการผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนในระดับใหญ่ ที่สภาวะอุณหภูมิสูงพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้โลหะมีค่าที่เป็นโลหะตระกูลสูง (noble metal) ซึ่งมีราคาแพง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะไม่เป็นพิษต่อขั้วอิเล็กโทรดที่สภาวะอุณหภูมิสูงและจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เซลล์เชื้อเพลิงที่มีราคาต่ำอื่นๆ สามารถถูกนำมาใช้ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิสูงๆ ได้เช่นเดียวกัน

เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cells, AFC)

เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์จะใช้ KOH เป็นอิเล็กโทรไลต์ (30-43% โดยน้ำหนัก) เซลล์เหล่านี้จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำและจะให้ค่าความต่างศักย์สูงที่สุดที่ค่าความหนาแน่นของกระแส (current densities) เดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงอื่นๆ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้มีดังต่อไปนี้

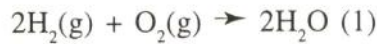
ปฏิกิริยาที่ขั้วอะโนด



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด

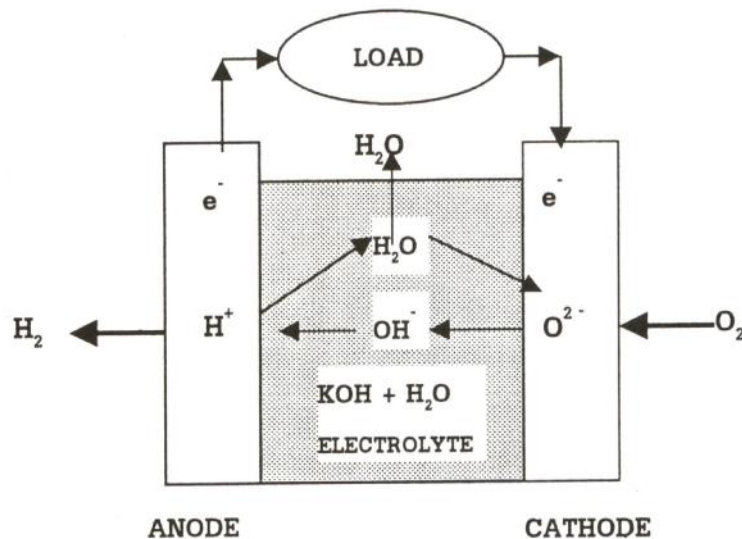


ปฏิกิริยาของเซลล์



ก๊าซที่ป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์จะมีก๊าซ CO_2 ไม่ได้ทั้งนี้เพราะ CO_2 จะเกิดเป็นคาร์บอเนตในตัวกลางที่เป็นด่างและทำให้รูพรุนอุดตัน ก๊าซ CO_2 จะถูกดึงออกจากอากาศโดยการดูดซับกับน้ำโซดา (soda lime) ขั้วแคโทดจะทำจากนิเกิลพรุนที่มี Li เกาะอยู่ (lithiated porous nickel cathodes) และขั้วแอโนดจะทำจากนิเกิลพรุนตัว (porous nickel) ในการประยุกต์ใช้งาน Pt จะถูกนำไปเกาะบนอิเล็ก-

โทรด เซลล์เชื้อเพลิงบางเครื่องจะทำงานที่อุณหภูมิ 200°C และที่ความดันสูงขึ้น (5 MPa) รูปที่ 1 แสดงภาพการทำงานของระบบ AFC ระบบ AFC เคยถูกใช้ในยานอวกาศ เรือดำน้ำ และรถยนต์ไฟฟ้า อายุการทำงานของเซลล์อาจมีค่าสูงถึง 10,000-15,000 ชั่วโมง ราคาต้นทุนของเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จะมีค่าสูงทั้งนี้เพราะใช้โลหะตระกูลสูง ต้องใช้พลังงานในการอัดหรือทำให้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นของเหลว ก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ต้องมีควมบริสุทธิ์สูง ด้วยข้อเสียดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้เซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้ยากต่อการขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้น



รูปที่ 1 หลักการพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ไฮโดรเจน-ออกซิเจน

เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFC)

ของผสมของเกลือลิเทียมคาร์บอเนตกับเกลือโบตัสเซียมคาร์บอเนตที่เกาะอยู่บนตัวกลาง LiAlO_2 จะถูกใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ในระบบเซลล์เชื้อเพลิง MCFC ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบนี้คือ

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



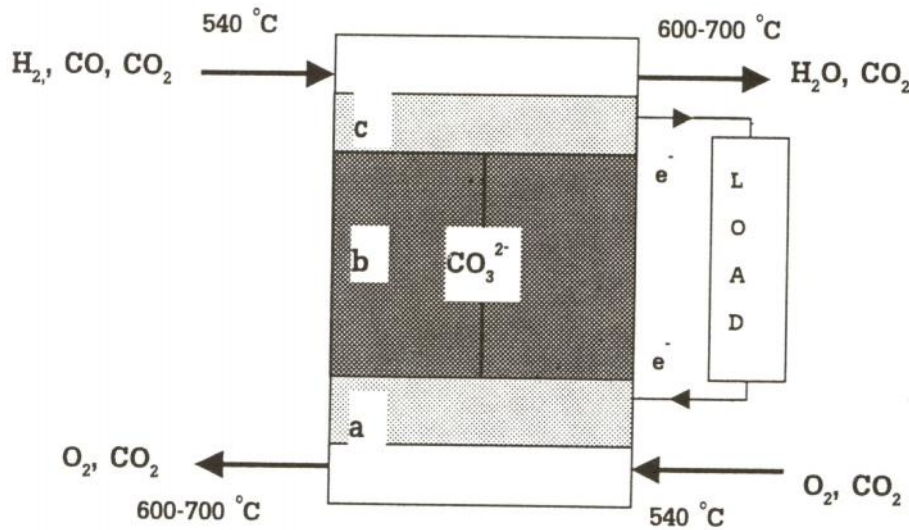
ปฏิกิริยาของเซลล์



ดังจะเห็นได้จากปฏิกิริยาที่อิเล็กโทรด ก๊าซ CO_2 ที่ออกมาจากขั้วแอโนดจะถูกใช้ที่ขั้วแคโทด ซึ่งการไหลเวียนกลับของ CO_2 นี้เป็นสิ่งสำคัญต่อการทำงานของเซลล์ อุณหภูมิการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $500-700^\circ\text{C}$ [General Electric

Corp., 1985] ด้วยสภาวะอุณหภูมิที่สูงนี้ ปฏิกริยาที่
 ขั้วอิเล็กโทรดจึงไม่จำเป็นต้องมี Pt เป็นคะตะลิสต์ การ
 ออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเนตหลอมสามารถทำ
 ได้ 2 แบบคือ แบบที่มีการปฏิรูปภายนอกและแบบ
 ปฏิรูปภายใน ในรูปแบบแรกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
 จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ H_2 โดยเครื่องปฏิรูป (reformer)
 ที่ติดตั้งภายนอก ส่วนในรูปแบบที่สองนั้นสารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ H_2 ภายในตัวเซลล์
 เชื้อเพลิง [Energy Research Corp., 1995] ข้อ
 ควรระวังอย่างหนึ่งในกรณีนี้ที่วัตถุดิบที่ใช้เป็นถ่านหินที่
 มีธาตุกำมะถันอยู่ การผลิตก๊าซจากถ่านหินโดย
 ปฏิกริยาก๊าซซิฟเคชั่นอาจจะทำให้เกิด H_2S ซึ่งก๊าซ
 H_2S นี้จะเป็นพิษต่อขั้วอิเล็กโทรด แผนภาพการทำงานของ
 ของ MCFC ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเนตหลอม (MCFC)

a) แคโทด b) อิเล็กโทรไลต์ c) อะโนด

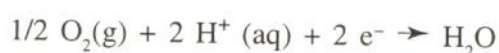
เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC)

กรดฟอสฟอริกจะถูกใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์
 ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ โดยที่กรดฟอสฟอริกถูกบรรจุใน
 เมทริกซ์ของซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide)
 ปฏิกริยาในตัวกลางที่มีฤทธิ์เป็นกรดมีดังต่อไปนี้

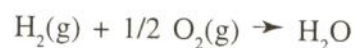
ปฏิกริยาที่ขั้วอะโนด



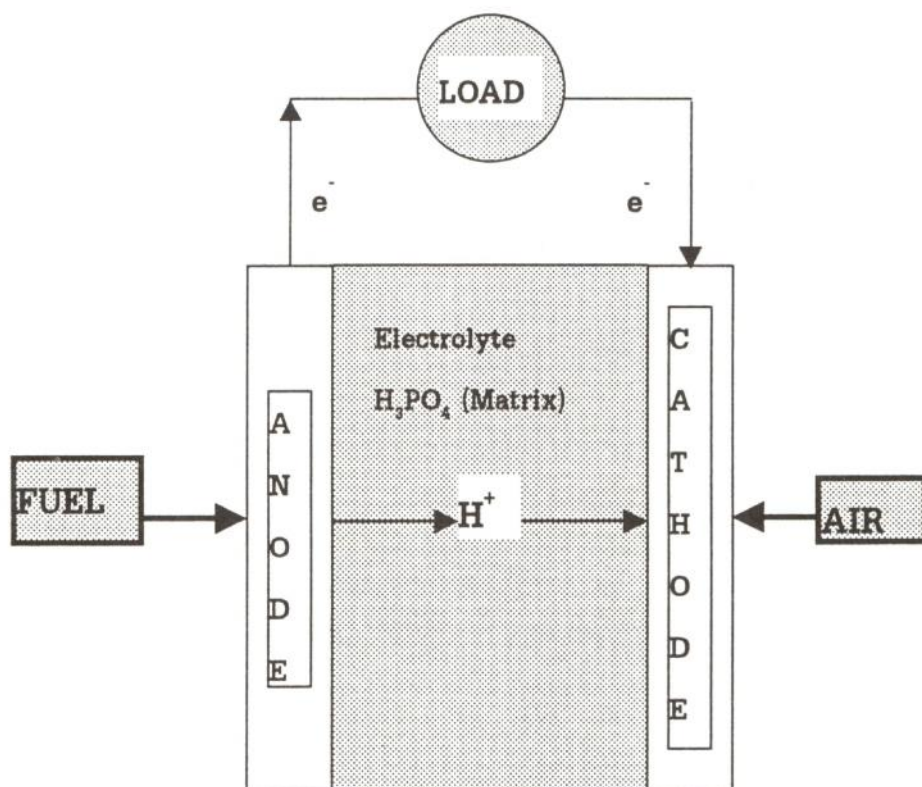
ปฏิกริยาที่ขั้วแคโทด



ปฏิกริยาของเซลล์



อุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้มี
 ค่าอยู่ในช่วง 170-200 °C ณ สภาวะอุณหภูมิดังกล่าว
 สารอิเล็กโทรไลต์จะมีความเสถียรซึ่งจะทำงานโดย
 สามารถใช้อากาศที่มีก๊าซ CO_2 อยู่ การที่เซลล์เชื้อเพลิง
 แบบนี้มีสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิสูงปานกลาง จะ
 ช่วยลดความเป็นพิษของก๊าซ CO_2 ที่มีผลต่อตัว
 คะตะลิสต์ลง จากการทดสอบพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบ
 PAFC นี้มีอายุการใช้งานได้นานถึง 40,000 ชั่วโมง
 แผนผังการทำงานของ PAFC ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3

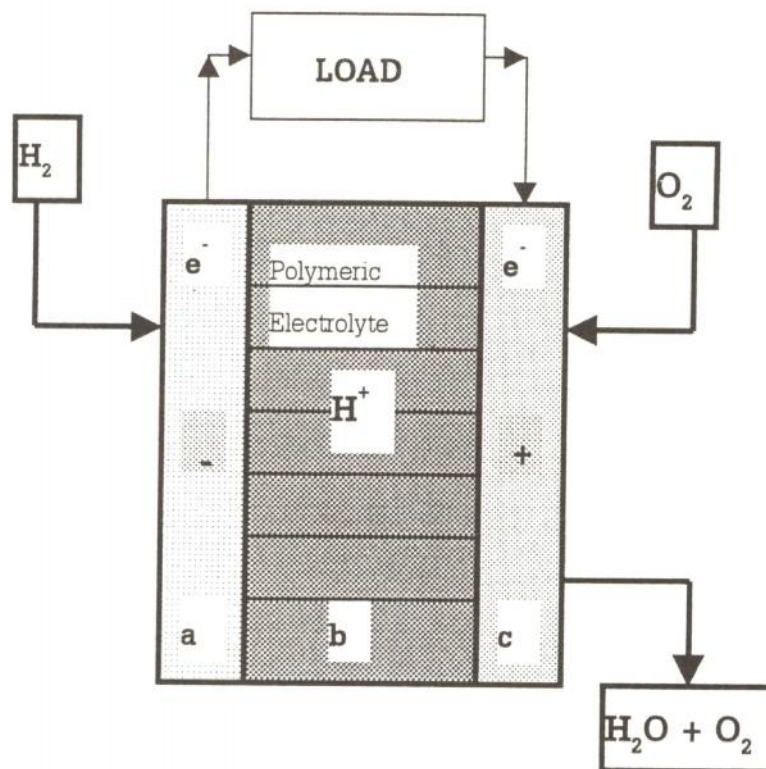


รูปที่ 3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (PAFC)

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) หรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์ของแข็ง (Solid Polymer Fuel Cells, SPFC)

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จะใช้ซัลโฟเนทโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (sulphonated polytetrafluoroethylene, Nafion) เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากเมมเบรนที่ใช้มีความหนาเพียงแค่ 50 μm เซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จึงมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้การสูญเสียแบบโอห์ม (ohmic losses) มีค่าลดลงและสามารถผลิตความหนาแน่นของกระแสที่สูงได้ ปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรดจะเหมือนกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก อิเล็กโทรดที่เป็นธาตุคาร์บอนโดยมี Pt เป็นตัวคะตะลิสต์บรรจุอยู่จะประกบอยู่บนทั้งสองด้านของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการปฏิรูปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องไม่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพราะก๊าซดังกล่าวจะเป็นพิษต่อ Pt ความเป็นพิษดังกล่าวสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มปริมาณของอากาศเพียงเล็กน้อยเข้าไปที่ฝั่งของอะโนด หรือโดยการใช้โลหะผสมของ Pt กับโลหะอื่นๆ เพื่อเพิ่มความทนทานต่อความเป็นพิษ แนวทางแก้ไขอื่นๆ คือการใช้เมมเบรนบางๆ ที่ทำจากโลหะพาลลาเดียม (palladium) หรือโลหะผสมระหว่างพาลลาเดียมกับเงิน ซึ่งเมมเบรนนี้ยอมให้ไฮโดรเจนแพร่ผ่านแต่ไม่ยอมให้ก๊าซอื่นผ่าน อุณหภูมิในการทำงานของ SPFC มีค่าประมาณ 100°C แผนภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบ SPFC ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 4

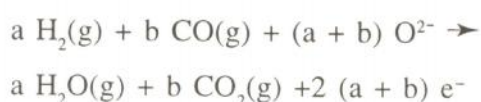


รูปที่ 4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEMFC) หรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์ของแข็ง (SPFC) a) ขั้วอะโนด (H_2 electrode) b) สารอิเล็กโทรไลต์แบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน c) ขั้วแคโทด (O_2 electrode)

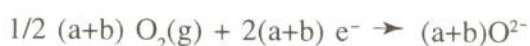
เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC)

ในระบบ SOFC ทั้งอิเล็กโทรดและสารอิเล็กโทรไลต์ต่างก็ทำมาจากวัสดุเซรามิกส์จำพวกออกไซด์ของแข็ง อาทิเช่น อิทเทรีย (yttria) หรือเซโคเนีย (zirconia) วัสดุเหล่านี้จะสามารถเป็นตัวนำไอออน O^{2-} ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800°C ถ้าเซลล์มีสภาวะการทำงานที่ประมาณ 900°C ปฏิกิริยาต่อไปนี้จะเกิดขึ้น

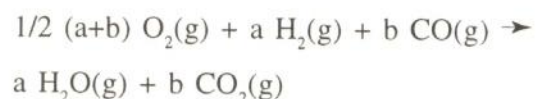
ปฏิกิริยาที่ขั้วอะโนด



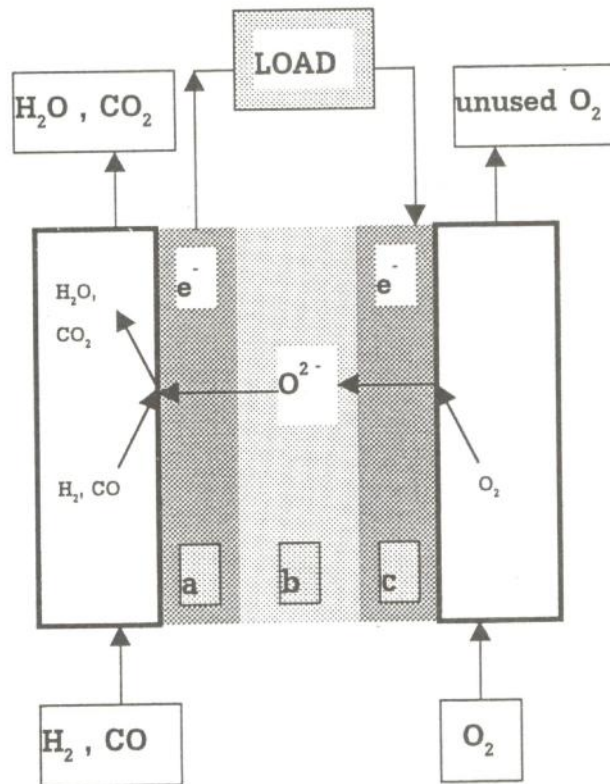
ปฏิกิริยาของแคโทด



ปฏิกิริยาของเซลล์



เซลล์เชื้อเพลิงแบบ SOFC ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 5 การไหลเวียนกลับของ CO_2 จากทางออกขั้วอะโนดไปยังขั้วแคโทดเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซจากถ่านหินหรือเชื้อเพลิงเหลวที่ถูกทำให้ระเหยสามารถถูกปฏิรูปให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนภายในตัวเซลล์เชื้อเพลิง ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการสามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้ ระบบ SOFC สามารถใช้ได้กับก๊าซธรรมชาติ ดังนั้น SOFC จึงมีศักยภาพสูงในอนาคตอันใกล้



รูปที่ 5 เซลเชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (SOFC) a) ขั้วอะโนด b) สารอิเล็กโทรไลต์ c) ขั้วคะโทด

การเปรียบเทียบชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

ดังที่ได้เคยกล่าวมาแล้วว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 จำพวกใหญ่ ๆ นั่นคือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบอุณหภูมิต่ำและเซลล์เชื้อเพลิงแบบอุณหภูมิสูง โดยทั่วไปเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์และเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์ของแข็งจัดเป็นเซลล์เชื้อเพลิงแบบอุณหภูมิ

ต่ำ ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก และเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งตลอดจนเซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอมจะถูกพิจารณาเป็นเซลล์เชื้อเพลิงอุณหภูมิสูง คุณสมบัติที่สำคัญบางประการของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบเซลล์เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ [Norbeck, 1996]

ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง	อุณหภูมิในการทำงาน (°C)	ค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (kW/litre)	ความทนทานต่อ CO ₂	ความทนทานต่อ CO
แบบออกไซด์ของแข็ง	1000	1-4	ใช่	ดี
แบบคาร์บอเนตหลอม	600	-	ใช่	ดี
แบบกรดฟอสฟอริก	150-205	0.16	ใช่	ปานกลาง
แบบอัลคาไลน์	65-220	0.1-1.5	ไม่ใช่	ไม่ดี
แบบโพลิเมอร์ของแข็ง	25-120	0.1-1.5	ใช่	ไม่ดี

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell efficiency)

ข้อได้เปรียบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของเซลล์เชื้อเพลิง คือ ความสามารถในการทำงานด้วยประสิทธิภาพที่สูงกว่าเครื่องจักรความร้อน (heat engines) ทั้งนี้เพราะเซลล์เชื้อเพลิงจะเปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ในขณะที่เครื่องจักรคาร์โนท์ (Carnot engine) จะเปลี่ยนพลังงานเคมีไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยใช้ความร้อนเป็นตัวกลาง ในกรณีของเครื่องจักรความร้อนมาตรฐาน ค่าประสิทธิภาพถูกวิเคราะห์ได้จากปริมาณของงานที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ (W) ซึ่งงานดังกล่าวเกิดจากปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าไป (Q_{in}) งานที่ใช้ประโยชน์ได้ (W) จะมีค่าเป็นฟังก์ชันกับปริมาณความร้อนที่เข้า (Q_{in}) ลบด้วยปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอก (Q_{out}) ดังนั้นค่าประสิทธิภาพสามารถถูกนิยามได้ดังต่อไปนี้ [Blomen, 1993]

$$\eta = \frac{W}{Q_{in}} = \frac{(Q_{in} - Q_{out})}{Q_{in}}$$

เนื่องจากค่าความร้อนของระบบสามารถถูกกำหนดในเทอมของเอนโทรปี (entropy) ได้ สมการประสิทธิภาพจึงสามารถถูกเขียนใหม่ในเทอมของอุณหภูมิทางเข้า T_{in} และอุณหภูมิทางออก T_{out} ของระบบได้ดังนี้

$$\eta = \frac{(T_{in} - T_{out})}{T_{in}}$$

ในทางปฏิบัติความร้อนบางส่วนจะถูกถ่ายเทไปยังสิ่งแวดล้อม และสิ่งนี้คือขอบเขตจำกัดของวัฏจักรคาร์โนท์ ขอบเขตจำกัดของเครื่องจักรกลความร้อนสามารถถูกหลีกเลี่ยงได้เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงถูกนำมาใช้ เพราะว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะเปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง ปริมาณของงานที่ทำโดยเครื่องจักรจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (enthalpy, ΔH) ของระบบลบด้วย

ปริมาณความร้อนที่แลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งก็คือ $T\Delta S$ เมื่อ ΔS คือการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (entropy change) ดังนั้นงานที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับระบบคือการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy, ΔG)

$$W = -\Delta H - Q = (\Delta H - T\Delta S) = -\Delta G$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจึงคำนวณได้จากปริมาณงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งคิดได้จากการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีที่ได้

$$\eta_{rev} = \Delta G / \Delta H = \frac{-U}{-U + T\Delta S} \\ = \frac{U}{U - T(\partial U / \partial T)_p}$$

เมื่อ U = electromotive force (V)

P = ความดัน

ค่าประสิทธิภาพดังกล่าวข้างต้นจะมีค่าสูงกว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากความจริงข้างต้นที่ว่าปริมาณความร้อนที่แลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อมมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี สำหรับปฏิกิริยาเคมีบางปฏิกิริยาค่าประสิทธิภาพนี้มีค่าเกินกว่า 100% แต่ไม่ได้หมายความว่า เป็นการฝ่าฝืนกฎพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ แต่เป็นเพราะว่าระบบทำการดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อมแล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

แต่อย่างไรก็ตามยังมีกลไกหลายอย่างที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานในระบบเซลล์เชื้อเพลิง อาทิเช่น พลังงานที่ต้องการสำหรับอุปกรณ์ประกอบ เช่น การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้กลายเป็นกระแสสลับ ตลอดจนกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิง จากการสูญเสียดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้ประสิทธิภาพทั้งหมดของกระบวนการหรือระบบมีค่าต่ำลง นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงจะต้องทำงานที่สภาวะต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเช่น ค่าความหนาแน่นของกระแสและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สมเหตุสมผล

เพราะยังกระแสไฟฟ้าถูกดึงออกจากเซลล์เชื้อเพลิงมากเท่าใด ความเป็ยเบนจากสภาวะผันกลับได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น อันจะส่งผลให้ทั้งประสิทธิภาพของระบบและค่าความต่างศักย์ตรงทางออกมีค่าลดลง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ในสภาพความเป็นจริงเซลล์เชื้อเพลิงจะมีสภาพการทำงานแบบผันกลับไม่ได้ และส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้า (electrical conversion efficiency, η) ซึ่งนิยามตามสมการข้างล่างนี้มีค่าไม่เท่ากับ $\frac{\Delta G}{\Delta H}$ หรือ η_{rev} และมีค่าใหม่ตามสมการต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้}}{\text{พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถูกผลิตขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเคมี}}$$

$$\eta = \frac{-nFU_i}{\Delta H} = \frac{-U_i}{\Delta H/nF} = \frac{-(\Delta G/\Delta H)U_i}{(\Delta G/\Delta H)(\Delta H/nF)}$$

$$= \eta_{rev} \frac{U_i}{U} = \eta_{rev} \eta_u$$

เมื่อ U_i = ค่าความต่างศักย์ของเซลล์ (cell voltage, V) สำหรับค่า I ที่กำหนดให้

I = กระแส (current, A) ที่ผลิตจากเซลล์เชื้อเพลิง

n = จำนวนของอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาโดยรวมของอิเล็กโทรด

F = ค่าคงที่ฟาราเดย์ ($96,495 \text{ C. mol}^{-1}$)

เทอม $\frac{U_i}{U}$ จะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอและถูกเรียกว่าเทอมประสิทธิภาพความต่างศักย์ (voltage efficiency, η_u) จากการพิจารณาทางจลนพลศาสตร์ของขั้วอิเล็กโทรด (electrode kinetic) เป็นที่ทราบกันดีว่า U_i จะมีค่าขึ้นอยู่กับ $\log I$ ยิ่งค่า I มีค่าสูงเท่าใด ค่า U_i ก็จะมีค่าต่ำลงเท่านั้น และค่าประสิทธิภาพก็จะมีค่าลดลงน้อย

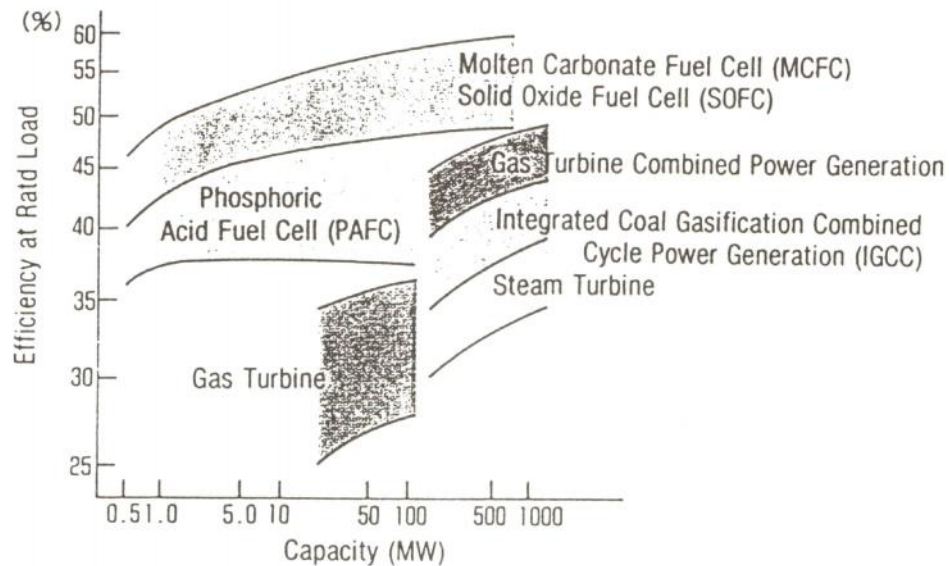
ในเซลล์เคมีไฟฟ้า (Electrochemical cells) ปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรดไม่ได้เกิดเฉพาะปฏิกิริยาหลัก (หรือปฏิกิริยาเซลล์เชื้อเพลิง) แต่มักมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นร่วมด้วย อาทิเช่น ปฏิกิริยาการกัดกร่อนจึงทำให้เชื้อเพลิงทั้งหมดไม่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีการนิยามเทอมประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า (current efficiency, η_i) หรือบางทีเรียกว่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ (Faradaic efficiency) และนิยามของ η จึงถูกเขียนใหม่ว่า

$$\eta = \eta_{rev} \eta_u \eta_i$$

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งหมด จะประกอบด้วยระบบการปรับสภาพก๊าซเชื้อเพลิงตรงทางเข้า การหล่อเย็นระบบ การหมุนเวียนก๊าซตั้งต้นกลับมาใช้ใหม่ และอื่นๆ ซึ่งในระบบดังกล่าวข้างต้นมักมีการสูญเสียพลังงานจะทำให้ค่า η มีค่าลดลง ดังนั้นจึงต้องคูณค่า η ด้วยประสิทธิภาพของระบบ (system efficiency, η_s) ของเซลล์เชื้อเพลิงดังนี้

$$\eta = \eta_{rev} \eta_u \eta_i \eta_s$$

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพดังกล่าวมีค่าขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของเซลล์เชื้อเพลิงด้วย โดยปกติค่าประสิทธิภาพเชิงจลนพลศาสตร์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบ H_2-O_2 จะมีค่าเท่ากับ 83% ถ้าผลิตภัณฑ์เป็นของเหลว น้ำ และมีค่าเท่ากับ 94% ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นไอน้ำ ค่าประสิทธิภาพจริงของเซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันมีค่าอยู่ในช่วง 40-65%



รูปที่ 6 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ [Energy Research Corp., 1995]

การประยุกต์ใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ [Anahara and et al., 1993]

เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงมีลักษณะเฉพาะตัว สภาวะการทำงาน ความทนทานต่อก๊าซ และค่าประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน จึงเป็นสาเหตุทำให้การประยุกต์ใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ มีทิศทางและเป้าหมายที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (AFC)

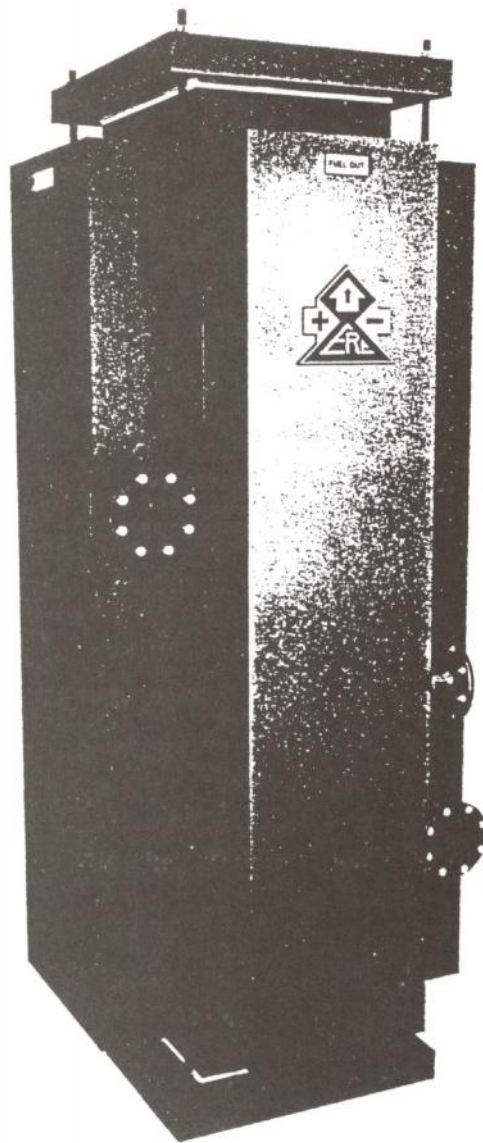
ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นได้ถูกริเริ่มใช้กับงานทางอวกาศก่อน ระบบนี้จะใช้ร่วมกับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นโพลิเมอร์ของแข็งสำหรับการประยุกต์ใช้งานบนพื้นโลก ระบบดังกล่าวยังคงต้องใช้กับไฮโดรเจนบริสุทธิ์ (ความบริสุทธิ์ > 99.99%) และใช้อากาศเป็นสารตั้งต้นสำหรับขั้วแคโทด สิ่งที่ยุงยากคือการดึงเอา CO_2 ออกจากสารตั้งต้นและการพัฒนาระบบเก็บก๊าซไฮโดรเจนที่มีความปลอดภัยและมีน้ำหนักเบา เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์เป็นระบบหนึ่งที่มี

มีความเหมาะสมกับงานขนส่ง ทั้งนี้เพราะระบบนี้จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงและสามารถทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของกำลังงานสูง โดยไม่มีความจำเป็นต้องใช้โลหะตระกูลสูงมาทำเป็นแคตะลิสต์ การประยุกต์ใช้งานอีกอย่างหนึ่งของเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ คือ การใช้เป็นแหล่งสำรองพลังงาน ยกตัวอย่างเช่นบริษัท ไทรคอมนาคม หากเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ได้รับการพัฒนาจนสามารถใช้วัสดุที่ราคาไม่สูงมาทำการสร้างและมีการใช้โลหะอื่นมาแทน Pt ราคาต้นทุนของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์จะมีราคาต่ำกว่าระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นกรด สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับการขนส่ง ราคาต้นทุนเป้าหมายควรมีค่าอยู่ในช่วง \$50-\$100 ต่อกิโลวัตต์ สำหรับการประยุกต์ใช้งานอื่นๆ เช่นเป็นแหล่งสำรองพลังงานราคาต้นทุนที่มีค่าอยู่ในช่วง \$500 ต่อกิโลวัตต์ จะเป็นที่ยอมรับได้ แต่สำหรับในช่วงเริ่มต้นนี้ การประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นทางอวกาศและทางทหาร ราคาของเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้อาจยอมให้มีค่าสูงจนถึง \$5,000-\$15,000 ต่อกิโลวัตต์ หรือมากกว่าได้

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเดทลอม (MCFC)

เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเดทลอมได้รับการคาดหวังว่าจะนำมาใช้เป็นโรงผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อเซลล์เชื้อเพลิงนี้ถูกนำมาใช้ร่วมกับเครื่องก๊าซซิไฟเออร์ของถ่านหิน (coal gasifier) MCFC ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพเชิงเชื้อเพลิง (fuel efficiency) ที่สูงจะสามารถทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเดทลอมมีประสิทธิภาพสูงกว่า 50% โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเดทลอมกำลังอยู่ในช่วงของการพัฒนา

ออกแบบและจัดสร้าง โดยคาดว่าจะภายในปี ค.ศ. 2000 เซลล์เชื้อเพลิง MCFC ขนาดเป็นเมกะวัตต์จะถูกผลิตขึ้นโดยบริษัท Energy Research Corporation (ERC) ประเทศสหรัฐอเมริกา ราคาประมาณการของโรงผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเดทลอมจะมีค่าอยู่ในช่วง \$1000-\$1500 ต่อกิโลวัตต์ [Blomen, 1993] ตัวอย่างของเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเดทลอมกำลังการผลิต 100 kW ซึ่งผลิตจากบริษัท ERC ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 7



รูปที่ 7 เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเดทลอมขนาด 100 kW ซึ่งผลิตออกจำหน่ายในทางการค้าโดยบริษัท ERC ประเทศสหรัฐอเมริกา

เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (PAFC)

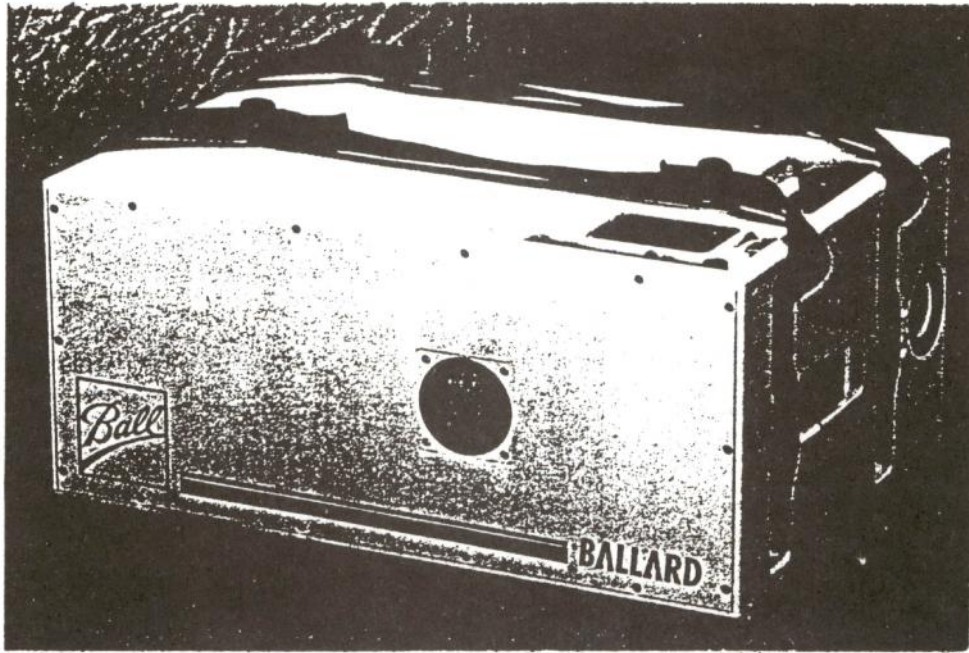
ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริกเป็นระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการพัฒนามากที่สุดเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานบนพื้นโลก ความตั้งใจเริ่มแรกในการพัฒนาระบบ PAFC ก็เพื่อนำมาใช้สำหรับพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง การประยุกต์ใช้งานในลักษณะนี้ยังคงใช้กันมากในประเทศญี่ปุ่น และอิตาลี แต่สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PAFC จะมีคู่แข่งที่สำคัญคือกังหันก๊าซ (gas turbine) การประยุกต์ใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ในปัจจุบันคือ เป็นระบบพลังงานร่วมซึ่งจะให้ทั้งพลังงานความร้อนและกระแสไฟฟ้าสำหรับบ้านเรือน ศูนย์การค้า โรงพยาบาล โรงแรม และอื่นๆ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PAFC จะใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบ บริษัท International Fuel Cells ได้ริเริ่มโครงการที่จะจัดสร้างระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PAFC ขนาด 200 kW เป็นจำนวน 100 เครื่องเพื่อการประยุกต์ใช้งานดังกล่าวข้างต้น ระบบนี้จะขายในราคา \$575,000 หรือ \$2875 ต่อ กิโลวัตต์ [Blomen, 1993] ประเทศญี่ปุ่นจะจัดสร้างระบบ PAFC ที่มีขนาดกำลังการผลิตในระดับ 1-2 MW เพื่อใช้เป็นโรงผลิตกระแสไฟฟ้า และบริษัท Fuji จะทำการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงขนาดกำลังผลิต 50 kW ออกขายเพื่อใช้กับบ้านเรือน

ระบบ PAFC ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงโดยมีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า 1-5 kW ได้เคยถูกนำไปใช้ในทางทหาร และ PAFC ที่มีกำลังการผลิต 40 kW - 5 MW โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงได้ถูกนำมาใช้เป็นโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ประเทศญี่ปุ่นได้ทำการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PAFC ขนาดใหญ่ที่สุดในโลกโดยมีกำลังการผลิต 11 MW

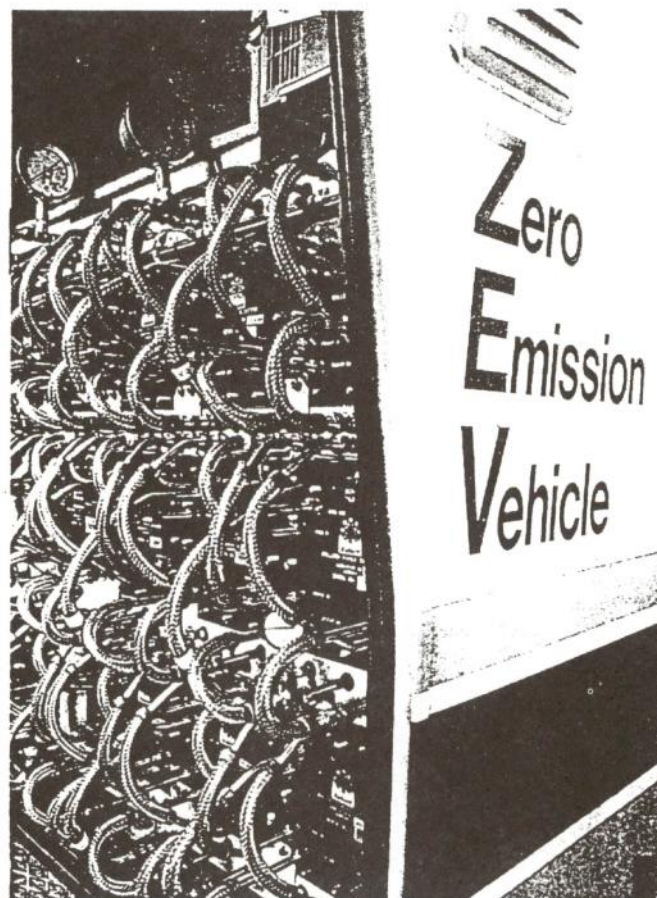
เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนหรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์ของแข็ง (SPFC)

เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์ของแข็งมีสมรรถะการทำงานที่สูง จึงทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ได้รับความนิยมสนใจทั้งการประยุกต์ใช้งานบนโลก อวกาศ และในทะเลลึก เซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ได้ถูกแสดงให้เห็นแล้วว่าสามารถประยุกต์ใช้กับงานขนส่งได้ดี เพราะมีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่สูง (high power densities) และอิเล็กโทรดที่ใช้ก็มีปริมาณของ Pt ต่ำ เซลล์เชื้อเพลิงแบบ SPFC จะใช้ไฮโดรเจนและอากาศเป็นสารตั้งต้น

ในปัจจุบันงานที่ทำหายหลักๆ คือปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ นั่นคือ ต้องพยายามที่จะลดราคาของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนและอิเล็กโทรดลง ราคาของอิเล็กโทรดที่มีค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่สูง ($> 0.5 \text{ W/cm}^2$) และมีปริมาณของ Pt ต่ำ จะมีค่าอยู่ในช่วง \$30-\$40 ต่อ กิโลวัตต์ [Blomen, 1993] ราคาของเมมเบรนที่ผลิตโดยบริษัท DuPont และ Dow มีค่าประมาณ \$60-\$200 ต่อ กิโลวัตต์ ราคาของเมมเบรนนี้จะต้องมีค่าลดลงกว่านี้ 10-20 เท่า จึงจะทำให้ราคาค่าต้นทุนของเซลล์เชื้อเพลิงแบบ SPFC มีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้สำหรับงานขนส่ง คือประมาณ \$200 ต่อ กิโลวัตต์ เซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้ได้รับการพิจารณาจากองค์การ NASA ให้ใช้กับยานอวกาศที่ถูกส่งไปยังดาวอังคารและในสถานีอวกาศ (space station) ตัวอย่างของเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ซึ่งถูกผลิตขายในท้องตลาด โดยบริษัท Ballard Technologies Corporation ประเทศแคนาดา ทั้งแบบเคลื่อนย้ายได้และแบบที่ใช้กับรถยนต์ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 8 เซลเชื้อเพลิงแบบ SPFC ขนาด 100 Watts แบบเคลื่อนย้ายได้ซึ่งผลิตโดยบริษัท Ballard



รูปที่ 9 เซลเชื้อเพลิงแบบ SPFC ที่ประยุกต์ใช้กับรถบัส (ผลิตโดยบริษัท Ballard) [Blomen, 1993]

ระบบ SPFC ได้รับการพิจารณาว่ามีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้งานขนส่ง และสามารถนำมาทดแทนเครื่องยนต์สันดาปภายใน แต่งานวิจัยต่อไปนี้ยังคงต้องดำเนินการต่อไป 1) การหาอะตอมลิสท์ที่ใช้ทำขั้วอะโนดและมีความทนทานต่อก๊าซ CO 2) อะตอมลิสท์ที่ใช้กับขั้วคะโทดเพื่อให้อาจมีความสามารถในการรีดิวซ์ออกซิเจน และ 3) เมมเบรนอิเล็กโทรไลต์ที่มีราคาถูกโดยสามารถทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูงได้

เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (SOFC)

เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งได้รับความสนใจมากที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าและงานทางอุตสาหกรรม จากสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิและการทนต่อสิ่งเจือปนที่ติดปนมากับสารตั้งต้นทำให้ระบบ SOFC สามารถใช้ได้กับก๊าซ H_2 และ CO ที่ผลิตได้มาจากกระบวนการปฏิรูปโดยใช้ไอน้ำของก๊าซธรรมชาติ และกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันของถ่านหิน เป้าหมายทางการค้าของ SOFC คือการพัฒนาโรงไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง SOFC ขนาดกำลังการผลิต 100 kW จนถึง 100 MW ซึ่งจะมีสภาพเหมาะสมต่อการกระจายพลังงานออกจากส่วนกลาง เป้าหมายในอนาคตของ SOFC คือจะต้องพยายามลดราคาต้นทุนของเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ให้มีค่าประมาณ \$1000-\$1500 ต่อ กิโลวัตต์ [Blomen, 1993]

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณต่อกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิงในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

1. Blomen, Leo, J.M.J. and Mugerwa, M.N. (Editor), Fuel cell Systems, Plenum Press, New York, 1993.
2. Norbeck, J.M., et al., Hydrogen Fuel for Surface Transportation, Published by Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, 1996.
3. Yurum, Y. (Editor), Hydrogen Energy System, Production and Utilization of Hydrogen and Future Aspects, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1995.
4. Sheila Blum (Editor), Hydrogen energy activities, in Eleven IEA Countries, International Planning Associates, Inc., Silver Spring, 1994.
5. Energy Research Corporation, Simulated Coal - Gas Fueled Carbonate Fuel Cell Power Plant System Verification, Final Report prepared for United States Department of Energy, March 1995.
6. Anahara, R., Yokokawa, S., and Sakurai, M., "Present Status and Future Prospects for fuel Cell Power Systems", Proceedings of the IEEE, 81, 3, 1993, pp. 399-408.
7. General Electric Corporate Research and Development Laboratory, "Development of Molten Carbonate Fuel Cell Power Plant, Final Report submitted to United States Department of Energy, volume 1, March 1985.