การพัฒนาด้านเซลล์เชื้อเพลิง

Development of Fuel Cells

ดร. สุมิตรา จรสโรจน์กุล
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)

บทคัดย่อ

เซลล์เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีจากปฏิกิริยาเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงโดยที่ไม่ต้องอาศัยการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความสนใจเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต ก็คือ เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ลดการเกิดก๊าซที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ซัลเฟอร์ออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ เซลล์เชื้อเพลิงแบ่งออกได้ 5 ชนิดหลัก ตามลักษณะของวัสดุอิเล็กโตรไลต์ คือ แบบเกลืออัลคาไลน์ แบบกรดฟอสฟอริก แบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แบบเกลือคาร์บอเนตหลอม และแบบออกไซด์ของแข็ง จากประสิทธิภาพการทำงานนั้น เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งและแบบเกลือคาร์บอเนตหลอมมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงกว่าชนิดอื่น ๆ เนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า

Abstract

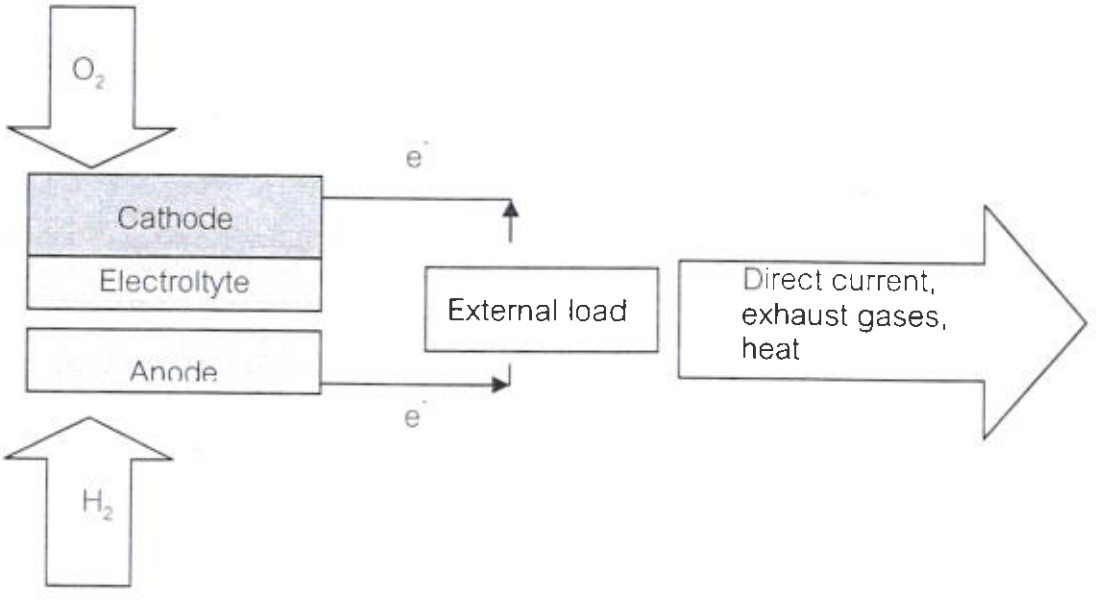
A fuel cell generates electricity via electrochemical reactions which converts chemical energy directly to electrical energy without any combustion of fossil fuels. Advantages of a fuel cell include a higher rate of electrical conversion in comparison to conventional combustion process and lower emissions such as SOx and NOx. Fuel cells can be classified into 5 groups according to their electrolytes i.e. an Alkaline Fuel Cell, a Phosphoric Acid Fuel Cell, a Proton Exchange Membrane Fuel Cell, a Molten Carbonate Fuel Cell and a Solid Oxide Fuel Cell. The MCFC and SOFC yield higher conversion efficiencies than other types due to their high operating temperatures.

บทนำ

เซลล์เชื้อเพลิง หรือ Fuel Cells เป็นเครื่องมือที่ให้กำเนิดไฟฟ้าได้จากกระบวนการทางเคมี (Electrochemical reaction) ไฟฟ้าที่ได้ สามารถนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า เป็นเครื่องปั่นไฟ

ยนต์ไฟฟ้า หรือแม้แต่ใช้แทนแบตเตอรี่ในคอมพิวเตอร์ Notebook และโทรศัพท์มือถือได้ ศูนย์
ลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติได้เล็งเห็นความสำคัญของเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง จึงได้ร่วมกับ
าลัยในประเทศหลายแห่งในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งเพื่อเป็นเครื่อง
ะแสไฟฟ้า ขณะนี้อยู่ในระหว่างการดำเนินการวิจัย

ทำงาน : ปฏิกิริยาเคมี ระหว่าง ก๊าซไฮโดรเจน และ ก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิด น้ำ และ ไฟฟ้า
หลักการทำงานของแบตเตอรี่ เพียงแต่แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่แน่นอน ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บ
และจ่ายประจุต้องทำการชาร์จไฟก่อนนำไปใช้งาน และต้องชาร์จไฟใหม่เมื่อหมดแรงดัน แต่
เพลิงสามารถจ่ายไฟได้ตลอดเวลา ตราบใดที่ยังป้อนก๊าซเชื้อเพลิงอยู่
ระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงนั้นมาจากการเกิดออกซิเดชันและรีดักชันที่ขั้วไฟฟ้าแต่
มื่อต่อขั้วไฟฟ้าจะก่อให้เกิดการไหลเวียนของอิเล็กตรอน โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิง (fuel) ที่เป็น
องปฏิกิริยาเคมีคือ ก๊าซไฮโดรเจน และมีก๊าซออกซิเจนเป็นสารออกซิแดนต์ (oxidant)
ีดักชันของก๊าซออกซิเจนนั้นเกิดขึ้นที่ขั้วคาโทด และปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจน
ขั้วอาโนด อิเล็กตรอนจึงไหลจากขั้วอาโนดผ่านวงจรไปที่ขั้วคาโทดเพื่อทำปฏิกิริยา ดังแสดง



รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลัก และ การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ข้อดีของเซล
1. ประสิท
กังหันไอ
2. เป็นมิตร
3. ไม่มีเขม่า
4. ไม่มีเสียง
5. ใช้เชื้อเพล
6. เพิ่มและล
(Modular

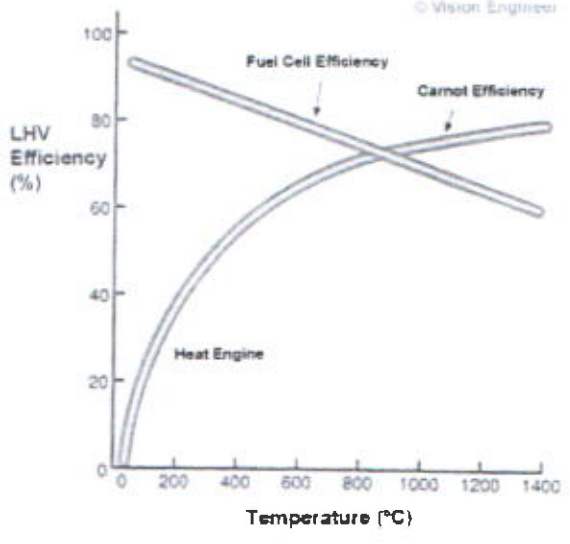
รูปที่ 2 ปร

ประวัติของเซลล์

- ปฏิกิริยาของเซ
(Christian Friedri
ระหว่างไฮโดรเจน
- เซอร์วิลเลียม โ
แพลตินัมและสังก
เครื่องแรกในโลก

ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิง

1. ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อน (ระบบเครื่องสันดาป กังหันก๊าซ กังหันไอน้ำ) โดยไม่ขึ้นอยู่กับ Carnot cycle ดังแสดงในรูปที่ 2
2. เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีก๊าซพิษจากกำมะถัน และไนโตรเจนออกไซด์
3. ไม่มีเขม่าควันดำ
4. ไม่มีเสียงดังรบกวน
5. ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ อัลกอฮอล์
6. เพิ่มและลดปริมาณการผลิตไฟได้ โดยไม่กระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของหน่วย (Modular operation)

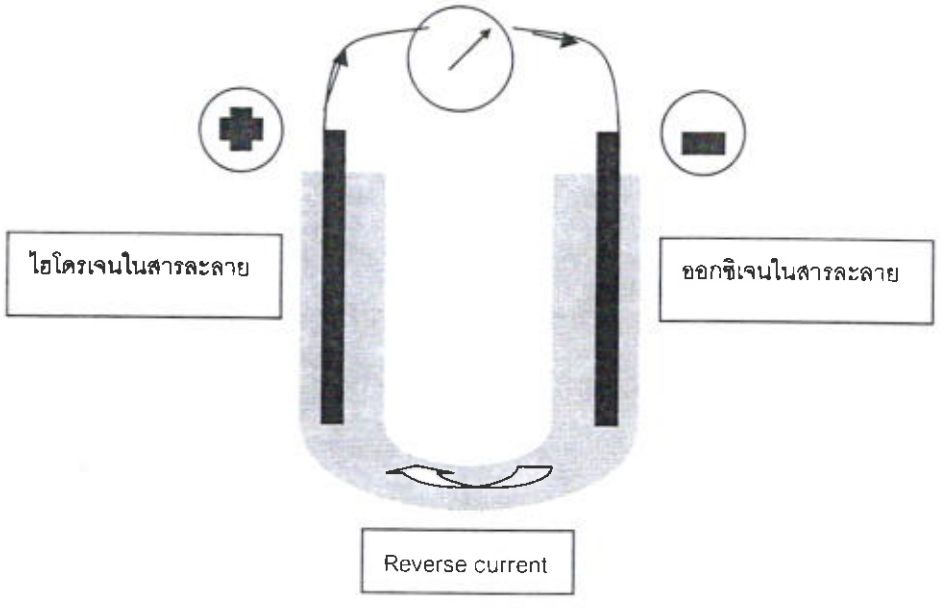


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับระบบพลังงานความร้อน

ประวัติของเซลล์เชื้อเพลิง

- ปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นมีการรายงานครั้งแรกโดยศาสตราจารย์คริสเตียน เฟรเดอริก เชอนบาย (Christian Friedrich Schoenbein) ซึ่งเป็นชาวสวิส ในปี ค.ศ.1839 ว่ามีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยใช้กรดซัลฟุริก และลวดแพลตินัม
- เซอร์วิลเลียม โกรว์ฟ (Sir William Grove) ชาวอังกฤษรายงานในอีก 1 เดือนถัดมาถึง แบตเตอรี่ที่ใช้แพลตินัมและสังกะสี เมื่อใช้กรดซัลฟุริกและกรดไนตริกเป็นอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งถือว่าเป็นเซลล์เชื้อเพลิงเครื่องแรกในโลก

นั้นก็ได้มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วอีกครั้งในกลางศตวรรษที่ 20 ประสิทธิภาพของเซลล์นั้นได้จากประสิทธิภาพทางเคมี โดยอาศัยหลักการทางเทอร์โมไดนามิก ไม่เกี่ยวข้องกับวัฏ เนต์ (Carnot cycle) ที่เป็นตัวควบคุมประสิทธิภาพการทำงานในเครื่องกำเนิดพลังงานจากความ ง ระบบกังหันก๊าซ และเครื่องยนต์สันดาปภายใน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากปฏิกิริยา เรง ประสิทธิภาพการทำงานจึงสูงถึง 85 % ในทางทฤษฎี



รูปที่ 3 รูปแสดงการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงของ ศาสตราจารย์ เชอนบาย

องเซลล์เชื้อเพลิง

พลิงแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ตามชนิดของอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ในเซลล์ .

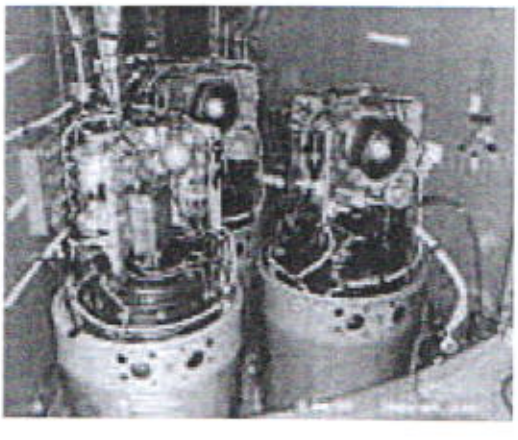
วัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell -AFC) อิเล็กโตรไลต์ที่ใช้คือ ด่างชนิดโปแตสเซียมไฮดรอก ายลว โดยจะต้องใช้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์และก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์เท่านั้น การใช้งานจึง อยู่ในงานทางด้านอวกาศ เช่น ในยานอวกาศอพอลโล อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 60-120 องศา ียส (รูปที่ 4)

อสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell -PAFC) ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงและก๊าซ เจนเป็นออกซิแดนต์เช่นเดียวกับชนิดเกลืออัลคาไลน์ แต่อุณหภูมิการใช้งานอยู่ที่ประมาณ งศาเซลเซียส ปัญหาของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้คือ การกัดกร่อนของกรดที่อุณหภูมิการใช้งาน จุบันได้มีการใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว โดยมีขนาดกำลังไฟฟ้า ประมาณ 200 กิโลวัตต์ (รูปที่ 5)

3. โพลิเมอร์
PEFC) เ
โตรไลต์ที่
เกิน 120
นำมาใช้กั
โพลิเมอร์เ
4. เกลือคาร์เ
คาร์บอเนต
โดยอุณหภู
ความสำคัญ
นำมาใช้เป็
เหมาะสมก
5. ออกไซด์ข
ไลต์ ซึ่งส
เซลเซียส
เกลือคาร์บ
ในอากาศน์
สำหรับบ้าน

รูปที่ 4 เชื้อเพลิง

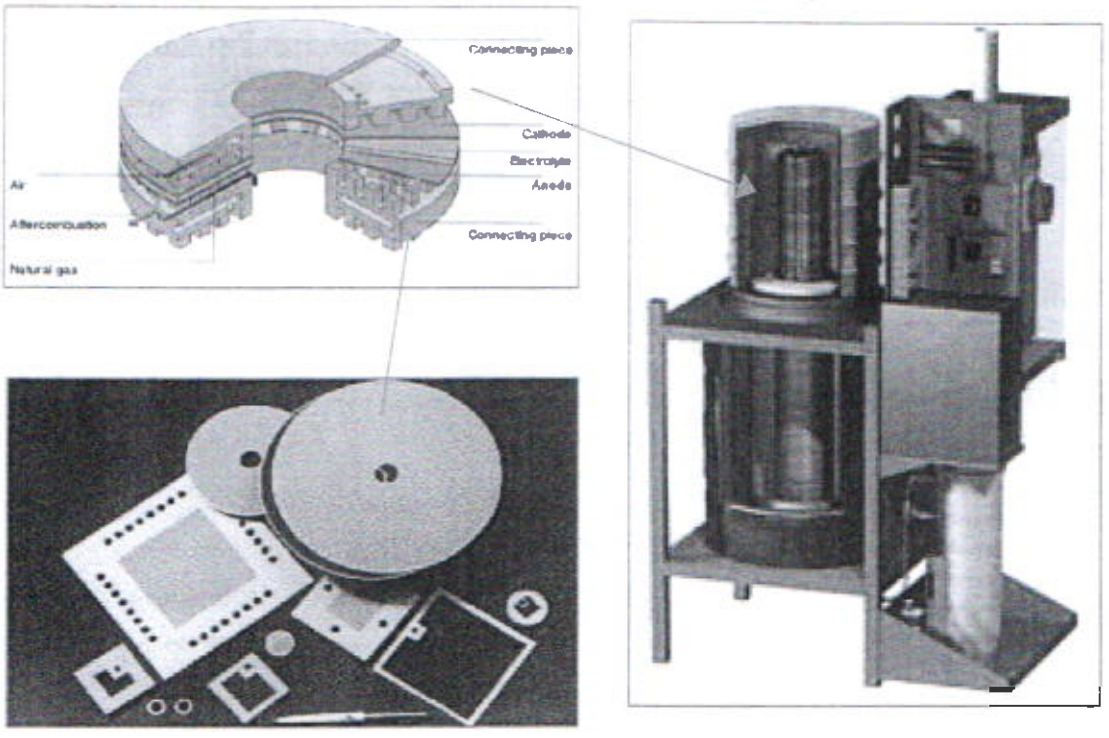
3. โพลิเมอร์เมมเบรน (Polymer Membrane Fuel Cell -PMFC หรือ Polymer Electrolyte Fuel Cell - PEFC) เป็นชนิดที่โพลิเมอร์เมมเบรนใช้เป็นอิเล็กโตรไลต์ ดังนั้นจึงไม่มีปัญหากับของเหลวอิเล็กโตรไลต์ที่กัดกร่อนเพราะของเหลวชนิดเดียวภายในเซลล์คือ น้ำ เซลล์ชนิดนี้ใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนในการทำปฏิกิริยา เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่นำมาใช้กับรถยนต์ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (รูปที่ 6) นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาเมมเบรนโพลิเมอร์เพิ่มเติม เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้จากเชื้อเพลิงเมทานอล
4. เกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell -MCFC) อิเล็กโตรไลต์ที่ใช้เป็นพวกเกลือคาร์บอเนตหลอมของโซเดียม และโปแตสเซียมในโครงสร้างเซรามิกของ ลิเทียมอลูมิเนต ($LiAlO_2$) โดยอุณหภูมิที่ใช้งานอยู่ที่ประมาณ 650 องศาเซลเซียส ดังนั้นปัญหาจากการกัดกร่อนจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง สารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ นิยมใช้เป็นโรงไฟฟ้าขนาดเมกกะวัตต์จึงจะเหมาะสมกับประสิทธิภาพการทำงานเนื่องจากระบบที่ใช้ค่อนข้างซับซ้อน
5. ออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell -SOFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้สารเซรามิกเป็นอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งสารที่ใช้มากคือ สารประกอบของเซอร์โคเนีย โดยใช้งานที่อุณหภูมิ 650-1000 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับการออกแบบและสารที่ใช้เป็นอิเล็กโตรไลต์ เช่นเดียวกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม สารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และออกซิเจนในอากาศนำมาใช้เป็นออกซิแดนต์ได้ การใช้งานมีทั้งในรูปของแหล่งจ่ายพลังงานขนาดเล็กสำหรับบ้านเรือน (รูปที่ 7) และขนาดใหญ่ระดับโรงไฟฟ้าย่อยในชุมชน (รูปที่ 8)



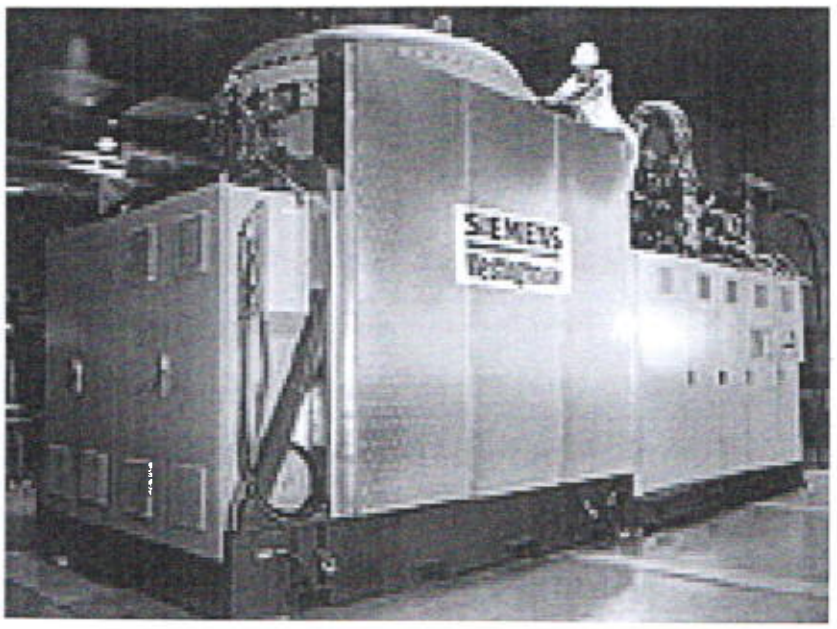
รูปที่ 4 เชื้อเพลิงแบบเกลืออัลคาไลน์ ที่ใช้ในยานอวกาศอพอลโล พัฒนาโดย United Technologies Corp.

เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริกขนาด 200 กิโลวัตต์ ในการใช้งานด้านบำบัดน้ำเสีย พัฒนา
ed Technologies Corp.

เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ของ NEC ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน
แทนแบตเตอรี่ จ่ายไฟได้สูงสุด 24 วัตต์ สามารถทำงานติดต่อกันได้นาน 5 ชั่วโมง



รูปที่ 7 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งของ บริษัท Sulzer Hexis ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ขนาด 1 กิโลวัตต์



รูปที่ 8 หน่วยผลิตไฟฟ้าขนาด 220 กิโลวัตต์ ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง และเครื่องกังหันก๊าซ (micro turbine) ผลิตโดย Siemens Westinghouse

เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องการเชื้อเพลิงและก๊าซออกซิแดนท์ที่มีความบริสุทธิ์แตกต่างกัน อุณหภูมิการทำงาน การนำไปใช้งาน และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน ตารางที่ 1 สรุปรวมรายละเอียดของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

Fuel Cell type	Fuel	Oxidant	Electrolyte	Operating temperature (°C)	Application	Efficiency %
Alkaline Fuel Cell (AFC)	Pure H_2	Pure O_2	Potassium hydroxide	60-200	Space, Defence 300W, 5kW	30-45% (max. 70%)
Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)	H_2	O_2	Phosphoric acid	150-200	Power plant 200kW, 1MW	40% 85% cogen.
Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)	Pure H_2	O_2	Fluorinated sulfonic acid polymer	80	Transport, 50W – 250kW	30-35%
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	H_2 (hydrocarbon)	O_2 (air)	Molten salt of lithium and potassium carbonate	650	Power plant 10kW, 2MW	60% 85% cogen.
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	H_2 (hydrocarbon)	O_2 (air)	Doped zirconia ceramic (YSZ)	650-1000	Power plant 1 kW, 25 kW, 220 kW	60% 85% cogen.

รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เมทานอลได้โดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell) พัฒนามาจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์เมมเบรน PMFC มีอุณหภูมิการใช้งานค่อนข้างต่ำจึงใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องน้อยกว่าประเภทอื่น จึงได้นำมาใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า บริษัทรถยนต์ต่าง ๆ ตระหนักถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ จึงได้มีการพัฒนา PMFC เพื่อใช้ในรถยนต์สำหรับอนาคตซึ่งได้เริ่มทำมาหลายปีแล้ว คาดว่าในอนาคตอันใกล้นี้ จะมีรถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงออกสู่ตลาดในเชิงพานิชย์ ทั้งในรูปของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรสบัส บริษัทที่มีการพัฒนาเช่น Daimler

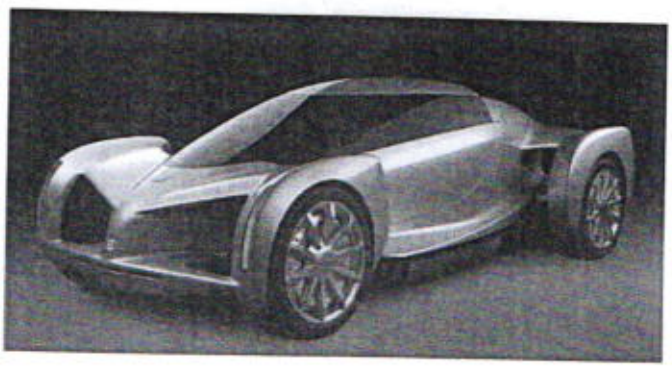
Chrysler โตโยต้า ฟอร์ด จีเอ็ม ฮอนด้า นิสสัน และมาสด้า เพื่อนำมาใช้ในการขับเคลื่อนโดยมีเป้าหมายอยู่ที่ยานยนต์ปราศจากมลพิษ (Zero Emission Vehicle)

รถบัส Citaro ของ Daimler Chrysler คันแรกที่ใช้งานจริง ที่เมืองมาดริด ประเทศสเปน โดยเริ่มใช้งานเมื่อต้นเดือน พฤษภาคม ปีนี้ ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์ สามารถเดินทางได้ในระยะ 200 กิโลเมตร ด้วยความเร็วสูงสุด 80 กม./ช.ม.

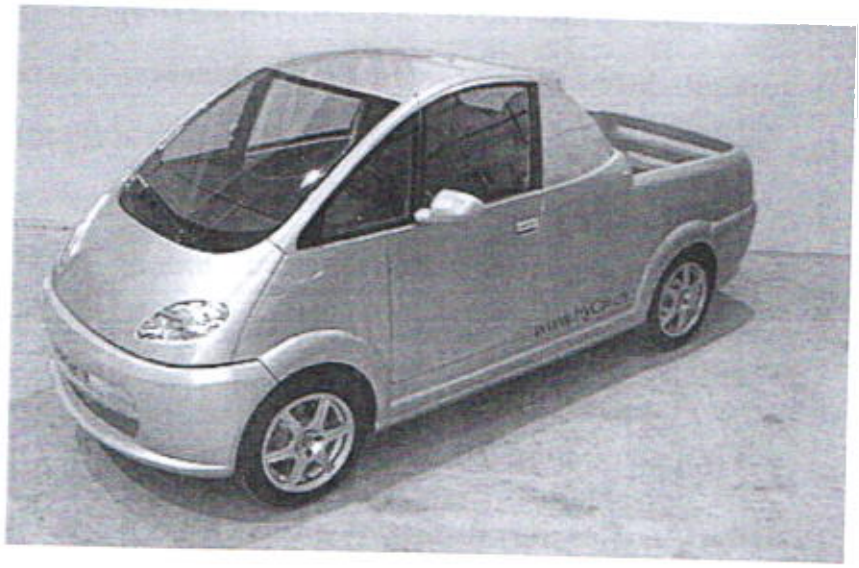
รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์ของบริษัท Daimler Chrysler ใช้โครงสร้างของ Mercedes Benz A-class ได้ทำการทดสอบระยะทางจากซานฟรานซิสโก ไปถึง วอชิงตัน ดีซี ภายใน 2 สัปดาห์ ระหว่าง 20 พฤษภาคม – 4 มิถุนายน ปี พ.ศ. 2545

การใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์เมมเบรนในยานยนต์ของบริษัท Toyota Rav 4

รถยนต์ฟอร์ดที่ขับเคลื่อนด้วย เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์เมมเบรน ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง (ปี 2545)



รถยนต์แบบสปอร์ตของ GM ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์เมมเบรน ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง (ปี 2545)



รถยนต์ ESORO เป็นรถระบบไฮบริดระหว่างแบตเตอรี่ Ni/MH และเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลิเมอร์เมมเบรน ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง (ปี 2544)

เอกสารอ้างอิงและแหล่งข้อมูล

1. N.Q. Minh, and T. Takahashi, "Science and Technology of Ceramic Fuel Cells," Elsevier, 1995.
2. U. Bossel, "The Birth of the Fuel Cell," European Fuel Cell Forum, 2000.
3. J.H. Hirschenhofer, D.B. Stauffer, R.R. Engleman, and M.G. Klett, "Fuel Cell Handbook," 4th Ed., DOE/FETC-99/1076, U.S. Department of Energy, Federal Energy Technology Center, 1998.
4. http://www.daimlerchrysler.com/index_e.htm?/products/products_e.htm
5. http://www.toyota.com/html/about/environment/partner_tech/spaceship_common.html
6. http://www.hexis.ch/english/frhexis.htm
7. http://www.fe.doe.gov/
8. http://www.pg.siemens.com/en/fuelcells
9. http://www.cfcl.com.au/
10. http://www.nec.com/
11. http://www.ford.com/
12. http://www.gm.com/
13. http://www.h2cars.de/