เซลล์เชื้อเพลิง: เทคโนโลยีพลังงานสำหรับอนาคต

นิพนธ์ เกตุจ้อย* วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร และ สุขฤดี นาถกรณกุล

Fuel Cells: Energy Technology for the Future

Nipon Ketjoy*, Wattanapong Rakwichian and Sukruedee Nathakaranakule

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand.

*Corresponding author. E-mail address: niponk@nu.ac.th (N. Ketjoy)

Received 23 December 2004; accepted 5 July 2006

บทสรุป

สถานการณ์พลังงานของโลกและของประเทศไทยมีความตึงเครียดเนื่องจากราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องของประเทศจีนและอินเดีย ซึ่งกำลังจะกลายเป็นผู้บริโภคพลังงานรายใหญ่เนื่องจากประชากรของทั้งสองประเทศรวมกันคิดเป็นหนึ่งในสามของประชากรโลก นอกจากนี้ยังรวมถึงสถานการณ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้พลังงานทดแทนเป็นทางเลือกหนึ่งของการแก้ปัญหาสถานการณ์พลังงานของโลกและของประเทศ บทความฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งห้องปฏิบัติการไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิงของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร บทความได้นำเสนอประวัติความเป็นมาและพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง ข้อดีและข้อจำกัด การประยุกต์ใช้งาน และราคาของเซลล์เชื้อเพลิง

Summary

The energy situation of the world as well as of Thailand becomes crisis due to the continuous increase in oil price, along with the economic growth in China and India, whose population is one third of the world population, thus making both countries the world's biggest energy consumers and the environmental situation from the use of fossil fuel. Renewable energy is a key to solving this problem. This paper is part of the feasibility study for setting up a Hydrogen and Fuel Cell Laboratory of the School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University. The paper presents the introduction, types, advantages, limitations, applications and costs of fuel cells.

บทนำ

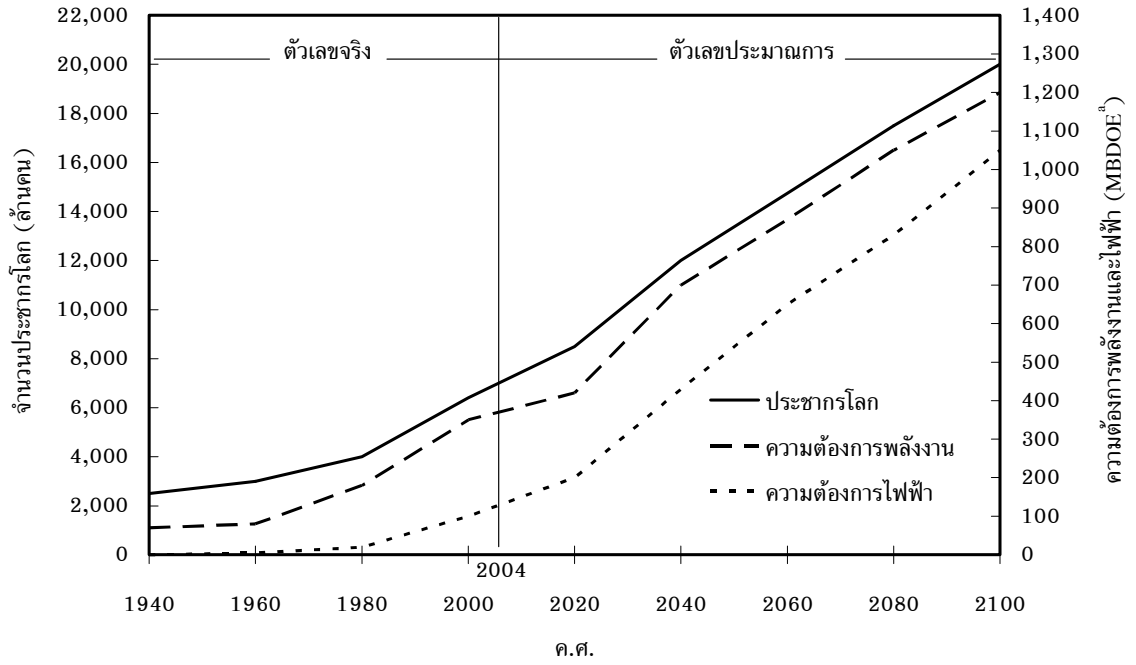
การใช้พลังงานของโลกใน พ.ศ. 2546 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ราคาน้ำมันและก๊าซธรรมชาติทำสถิติสูงสุดในรอบ 20 ปี การใช้พลังงานขั้นต้น (primary energy consumption) เพิ่มขึ้น 2.9 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของเศรษฐกิจโลก และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องของประเทศจีนและอินเดีย การใช้พลังงานขั้นต้นของประเทศในเอเชียแปซิฟิกมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 6.9 เปอร์เซ็นต์ หากพิจารณาในเรื่องของปริมาณสำรองและความมั่นคงทางด้านพลังงานของโลกจะพบว่า ปริมาณสำรองน้ำมัน 85 เปอร์เซ็นต์มีอยู่ในประเทศเพียง 11 ประเทศ ปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติ 75 เปอร์เซ็นต์ มีอยู่ใน 9 ประเทศ และปริมาณสำรองถ่านหิน 90 เปอร์เซ็นต์ มีอยู่ใน 10 ประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่ก็เป็นประเทศที่ซ้ำกันในกลุ่มดังกล่าว (British Petroleum, 2004) ปัญหาโลกร้อน (global warming) เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่า สาเหตุหลักเกิดจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกก็มีส่วนทำให้สถานการณ์พลังงานของโลกเลวร้ายลงเช่นกัน อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอยู่ที่ประมาณ 1.22 เปอร์เซ็นต์ต่อปีและคาดว่าประชากรโลกจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากจำนวนในปัจจุบัน โดยในช่วงกลางศตวรรษที่ 21 จะมีประชากรสูงถึง 12,000 ล้านคน อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และปริมาณความต้องการพลังงานก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งความต้องการพลังงานขั้นต้นจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.53 เท่าจากปัจจุบัน (รูปที่ 1) การแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ การอนุรักษ์พลังงาน และรักษาสิ่งแวดล้อมจึงเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งต่อมนุษย์ชาติ

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศโลกใน ค.ศ.2050 และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (tonnes/capita)

ระดับการเปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิสูงขึ้น (°C)	ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น (cm)	ความเข้มข้นของ CO_2 (ppmv)
ระดับต่ำ	0.9	12	467
ระดับปานกลาง	1.8	22	498
ระดับรุนแรง	2.4	67	528

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (tonnes/capita)										
สหรัฐอเมริกา	ออสเตรเลีย	ญี่ปุ่น	สหภาพยุโรป	รัสเซีย	ตะวันออกกลาง	จีน	ลาตินอเมริกา	เอเชีย	แอฟริกา	โลก (เฉลี่ย)
19.88	15.84	9.17	8.58	8.48	5.31	2.51	2.11	1.21	0.98	3.92

ที่มา: Stambouli & Traversa, 2002



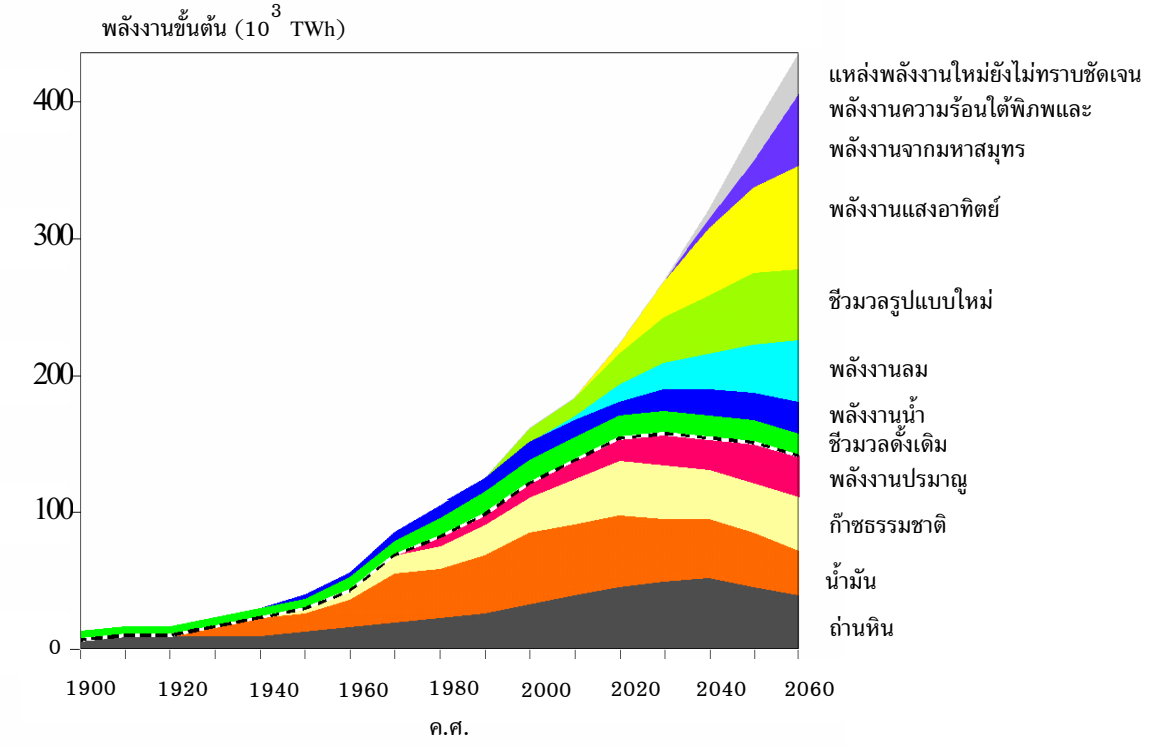
หมายเหตุ.
[a] ล้านบาเรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน (MBDOE)

รูปที่ 1 การเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ความต้องการพลังงาน และความต้องการไฟฟ้า (ที่มา: Stambouli and Traversa, 2002)

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอีก เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมหลายประการอันได้แก่ ปริมาณสำรองของน้ำมันที่ลดลง ความไม่มั่นคงทางการเมืองและเศรษฐกิจของกลุ่มประเทศตะวันออกกลางซึ่งเป็นแหล่งผลิตน้ำมันใหญ่ของโลก (เป็นแหล่งที่ประเทศไทยพึ่งพาเป็นหลัก) รวมถึงสงครามต่อต้านการก่อการร้าย ซึ่งเป็นที่แน่ชัดว่าสหรัฐอเมริกาไม่สามารถควบคุมราคาและปริมาณการผลิตน้ำมันของตะวันออกกลาง และประเทศกลุ่มโอเปกได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงฟอสซิลอื่นๆ ภายในประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้ทั้งหมด น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อการพาณิชย์ (น้ำมันดีเซล เบนซิน ฯลฯ) ถูกใช้ในภาคการขนส่งถึง 60 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเงินกว่า 500,000 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2547) เนื่องจากการคมนาคมขนส่งของประเทศผูกติดกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง จึงเป็นที่น่ากังวลว่า หากราคาน้ำมันยังคงสูงขึ้นไปอีก ประเทศจะต้องสูญเสียเงินตราเป็นจำนวนมหาศาล นอกจากนี้ปัจจุบันประเทศไทยได้ประกาศยุทธศาสตร์ที่จะพัฒนาประเทศให้เป็นศูนย์กลางทางด้านอุตสาหกรรมรถยนต์แห่งภูมิภาคเอเชีย (Detroit of Asia) ซึ่งมีส่วนส่งเสริมให้เกิดการผลิตรถยนต์เพื่อใช้ภายในประเทศและส่งออกเพิ่มขึ้น โดยเมื่อปลายปี พ.ศ. 2547 ยอดขายรถยนต์รวมทุกประเภท

ของประเทศสูงถึง 626,026 คัน (S. P. International, 2005) ซึ่งในแง่ของการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมรถยนต์ของประเทศเป็นเรื่องที่ดี แต่ในอีกแง่หนึ่งอาจทำให้มีรถยนต์ใหม่เข้ามาในระบบคมนาคมอย่างมากมาย ซึ่งหมายถึงความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

จากสถานการณ์ดังกล่าว หากไม่มีการเตรียมการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาแหล่งพลังงานใหม่มาทดแทนแล้ว ในอนาคตประเทศจะได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงอย่างแน่นอน ซึ่งไม่เพียงส่งผลต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศเท่านั้น ประชาชนทุกคนที่ใช้พลังงานก็จะได้รับผลกระทบดังกล่าวด้วยเช่นกัน รูปที่ 2 เป็นสัดส่วนของการใช้พลังงานขั้นต้นของโลก ซึ่งได้มาจากการศึกษาข้อมูลปริมาณสำรองพลังงานฟอสซิลและศักยภาพของพลังงานทดแทนของโลก เห็นได้ว่า ในอีกประมาณ 20 ปีข้างหน้าการใช้พลังงานขั้นต้นของโลกจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะถึงจุดสูงสุด แต่ที่น่าสนใจคือ การใช้พลังงานทดแทนมีสัดส่วนถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหลายประเทศจึงได้เริ่มทำการศึกษา วิจัย และพัฒนาด้านพลังงานทดแทนอย่างจริงจัง โดยได้รับการส่งเสริมอย่างดีจากภาครัฐบาล รวมถึงบริษัทพลังงานยักษ์ใหญ่เช่น เชลล์ (Shell) บีพี (BP) อาลสตรอม (ALSTOM) หรือ โทเทล (TOTAL) ซึ่งปัจจุบันบริษัทเหล่านี้ได้เริ่มธุรกิจด้านพลังงานทดแทนแล้ว เพื่อสามารถคงความเป็นมหาอำนาจทางด้านธุรกิจพลังงานต่อไปในอนาคต



รูปที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานขั้นต้นของโลก (ที่มา: Shell, 2004)

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานใหม่ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น ระบบไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ชนบทห่างไกล ในครัวเรือน หรือในอาคารสำนักงานต่างๆ รวมถึงในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ วิทยุ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กอื่นๆ อุปกรณ์ทางการทหาร ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบ Combine Heat Cycle Power Plant (CHP) ปัจจุบันยังไม่มีหน่วยงานใดในประเทศไทยทำการศึกษาการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงอย่างจริงจังและต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อให้ประเทศมีความพร้อมในการที่จะรองรับในเทคโนโลยีดังกล่าว จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเริ่มศึกษาเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงอย่างเร่งด่วน

ประวัติของเซลล์เชื้อเพลิง

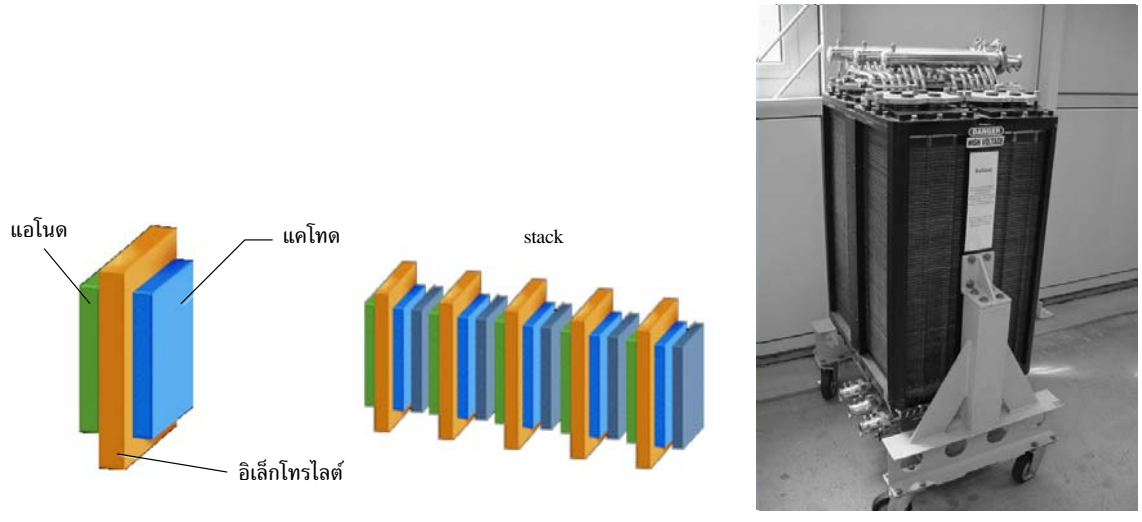
เซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบตัวแรกของโลกที่สามารถทำงานได้ถูกสร้างขึ้นโดย เซอร์วิลเลียม โรเบิร์ต โกรฟ (Sir William Robert Grove) นักกฎหมายและนักฟิสิกส์ชาวเวลส์ ใน ค.ศ. 1839 เซลล์เชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วย

ขั้วอิเล็กโทรดสองขั้วซึ่งทำจากแพลทินัมแยกออกจากกันด้วยหลอดแก้วซึ่งบรรจุก๊าซเอาไว้ ข้างหนึ่งเป็นไฮโดรเจนและอีกข้างหนึ่งเป็นออกซิเจน แท่งอิเล็กโทรดทั้งสองจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (กรดซัลฟูริกเจือจาง)เชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ซึ่งสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองได้แต่ต่ำมาก ดังนั้นโกรฟจึงนำเซลล์เชื้อเพลิงดังกล่าวมาต่อกันหลาย ๆ ตัวเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น การค้นพบของเขาได้รับความสนใจน้อยมากในช่วงเวลานั้น ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงถูกลืมไป จนในช่วง ค.ศ. 1950 หลักการของโกรฟได้รับความสนใจอีกครั้ง เนื่องจากความต้องการเทคโนโลยีระบบพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่องานด้านอวกาศและด้านการทหาร ยานอวกาศและเรือดำน้ำต้องการระบบพลังงานไฟฟ้าซึ่งต้องไม่ใช่เทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายใน ใน ค.ศ. 1960 องค์การบริหารการบินอวกาศสหรัฐฯ (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ใช้งบประมาณ 10 ล้านเหรียญสหรัฐเพื่อพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโครงการอวกาศอพอลโล (Apollo) เนื่องจากการใช้แบตเตอรี่ธรรมดามีน้ำหนักมากเกินไปสำหรับยานอวกาศ ในช่วงต้นทศวรรษที่ 90 นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้พัฒนาเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงแบบต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและลดราคาของระบบได้ในขณะเดียวกัน ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ และจะเป็นเทคโนโลยีที่ปฏิวัติการใช้พลังงานของโลกในอนาคต

พื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง คือ อุปกรณ์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า โดยการรวมตัวกันระหว่างเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ (ไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ โพรเพน) และอากาศ (ออกซิเจน) ผลของกระบวนการดังกล่าวยังทำให้ได้น้ำซึ่งเป็นเสมือนไอเสียของระบบด้วย เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่มีเชื้อเพลิงป้อนให้ระบบ ไม่ต้องการการประจุใหม่เหมือนแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการแปลงรูปพลังงานที่สูงกว่าเทคโนโลยีการแปลงรูปพลังงานอื่น ๆ ที่ใช้กันอยู่ การทำงานปราศจากการเผาไหม้จึงไม่มีมลพิษ ไม่มีการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์

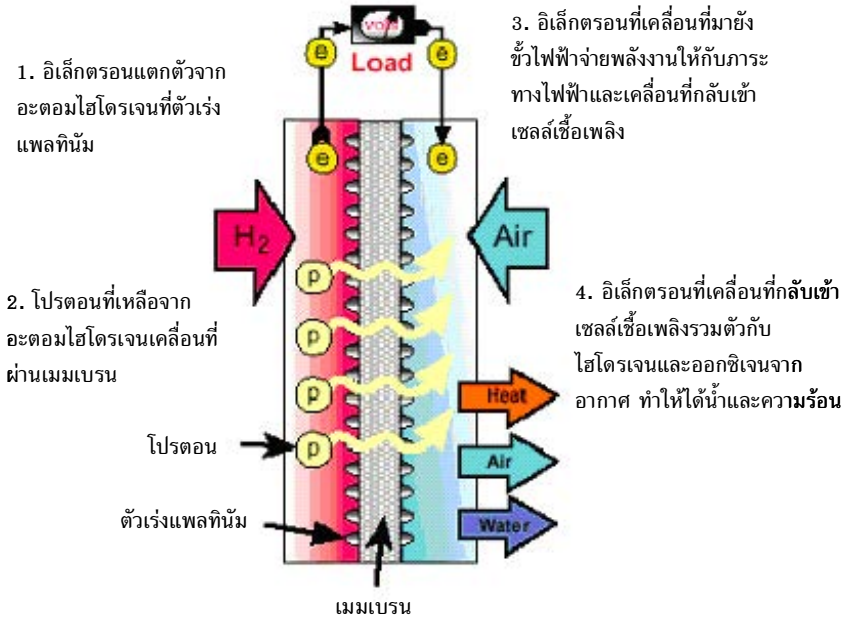
เซลล์เชื้อเพลิงประกอบไปด้วยชั้นของวัสดุสามชั้นเรียงซ้อนกัน ชั้นแรกเป็นแอโนด ชั้นที่สองเป็นอิเล็กโทรไลต์และชั้นที่สามเป็นแคโทด โดยที่แอโนดและแคโทดทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง (catalyst) ส่วนชั้นกลางเป็นโครงสร้างที่เป็นพาหะดูดซับอิเล็กโทรไลต์เอาไว้ เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะใช้อิเล็กโทรไลต์ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็งในรูปของโครงสร้างเมมเบรน เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงหนึ่งเซลล์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เพียงเล็กน้อยจึงจำเป็นต้องนำเซลล์เชื้อเพลิงหลายเซลล์มาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าตามต้องการ ซึ่งเรียกลักษณะของการนำเซลล์เชื้อเพลิงมาต่อกันหลาย ๆ เซลล์ว่าแสตก (stack) ดังรูปที่ 3 (ก) ลักษณะของแสตกเซลล์เชื้อเพลิงของจริงขนาด 250 kW แสดงดังรูปที่ 3 (ข) (Stambouli & Traversa, 2002; Bewag, 2004)



(ก) (ข)

รูปที่ 3 (ก) โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง (ข) เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 250 kW (ที่มา: Bewag, 2004)

รูปที่ 4 แสดงการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นไฮโดรเจน โดยเมื่อไฮโดรเจนผ่านเข้ามาที่ตัวเร่งแพลทินัม (platinum catalyst) จะเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรไลต์ขึ้น ในขณะที่ทำปฏิกิริยานั้น โมเลกุลของไฮโดรเจนจะแตกตัวให้อิเล็กตรอนและโปรตอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปที่ขั้วไฟฟ้า โปรตอนที่เหลืออยู่เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน อิเล็กตรอนเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อให้พลังงานกับภาระทางไฟฟ้า จากนั้นก็เคลื่อนที่กลับเข้าเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อรวมตัวกับโปรตอนจากไฮโดรเจน และออกซิเจนจากอากาศ ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้ได้ความร้อนและน้ำ



รูปที่ 4 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง (ที่มา: Kammen, 2002)

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นการเปลี่ยนรูปจากพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไปที่พลังงานเคมีจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนและเปลี่ยนเป็นพลังงานกลก่อนเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกกระบวนการดังกล่าวว่า "วัฏจักรคาร์โนต (carnot cycle)" ซึ่งประสิทธิภาพของวัฏจักรคาร์โนตจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายของกระบวนการ ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องจักรคาร์โนตแม้จะทำงานที่อุณหภูมิต่ำเพียง 80 ^{o}C ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง (η_{fC}) ในทางทฤษฎีขึ้นอยู่กับสัดส่วนของตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์สองตัว คือ พลังงานทางเคมีหรือพลังงานของกิบส์ (Gibbs energy, ΔG^{O}) และพลังงานความร้อนรวมหรือเอนทาลปี (enthalpy, ΔH^{O}) ของเชื้อเพลิงเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (Tse, 2005)

$$\eta_{fc} = \frac{\Delta G^{0}}{\Delta H^{0}} \qquad (1)$$

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถจำแนกชนิดตามอุณหภูมิการทำงานและชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ซึ่งปัจจุบันมีเซลล์เชื้อเพลิงอยู่หลายชนิด ออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งานที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2 และมีข้อดีข้อเสียแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง อุณหภูมิการทำงาน เชื้อเพลิงและออกซิแดนท์ อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ กระบวนการในอิเล็กโทรไลต์เป้าหมายขนาดกำลังผลิต การประยุกต์ใช้และผู้จำหน่าย

ชนิด	อุณหภูมิทำงาน (°C)	เชื้อเพลิง/ออกซิแดนท์	อิเล็กโทรไลต์	กระบวนการในอิเล็กโทรไลต์	เป้าหมายขนาดกำลังผลิต	การประยุกต์ใช้และผู้จำหน่าย
อัลคาไลน์ (Alkaline, AFC)	50-200 (60-90)*	ไฮโดรเจน/ออกซิเจน	โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	OH^- → (รับอิเล็กตรอน)	20-100 kW	ด้านอวกาศ (บริษัท ZeTek)
กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, PAFC)	160-210 (60-120)*	ก๊าซธรรมชาติ/อากาศ	กรดฟอสฟอริก	H^+ → (ให้โปรตอน)	50 kW-20 MW	การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค (บริษัท ONSI)
คาร์บอเนตเหลว (Molten carbonate, MCFC)	630-650 (ca. 400)*	ก๊าซธรรมชาติ/อากาศ	เกลือเหลว (เกลือไนเตรด, เกลือซัลเฟต, คาร์บอเนต)	CO_2^- → (รับอิเล็กตรอน)	300 kW-3 MW	ทดสอบภาคสนาม (บริษัท MC Power, FCE, MTU)
โซลิตออกไซด์ (Solid oxide, SOFC)	600-1000 (300-600)*	ก๊าซธรรมชาติ/อากาศ	ออกไซด์เซอร์โคเนียมเสถียรและสารโดปเพอรอฟสไกต์	O^- → (รับอิเล็กตรอน)	2 kW-300 MW	ทดสอบภาคสนาม (บริษัท Siemens, Sulzer-Hexis)
โปรตรอนเอ็กเชนจ์เมมเบรน (Proton-exchange membrane, PEMFC)	50-80 (< 75)*	ไฮโดรเจน, เมทานอล/อากาศ	โพลิเมอร์, โปรตรอน เอ็กเชนจ์เมมเบรน	H^+ → (ให้โปรตอน)	2-250 kW	ต้นแบบ (บริษัท Ballard, IFC, DeNora, H-Power, plug power)
ไดเร็กเมทานอล (Direct methanol, DMFC)	60-200	เมทานอล/อากาศ	โพลิเมอร์	H^+ → (ให้โปรตอน)	N/A	งานวิจัยพื้นฐาน
กรดซัลฟูริก (Sulphuric acid, SAFC)	80-90	แอลกอฮอล์, ไฮโดรเจน/อากาศ	กรดซัลฟูริก	H^+ → (ให้โปรตอน)	N/A	N/A
โซลิตโพลิเมอร์ (Solid polymer, SPFC)	90	ไฮโดรเจน/อากาศ	โซลิตซัลโพเนตโพลีสไตรีน	H^+ → (ให้โปรตอน)	N/A	N/A

หมายเหตุ.

*คืออุณหภูมิทำงานจากเอกสารอ้างอิง Erdmann, 2003; N/A คือ ยังไม่ปรากฏข้อมูล

ที่มา: Stambouli & Traversa, 2002; Erdmann, 2003

ตารางที่ 3 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง	ข้อดี	ข้อเสีย
โปรตรอนเอ็กเชนจ์เมมเบรน (PEMFC)	- มีอิเล็กโทรดเป็นของแข็ง ลดการกัดกร่อน และการแก้ไขปัญหาการกัดกร่อนทำได้ง่าย - อุณหภูมิทำงานต่ำ - การเริ่มต้นทำงานของระบบทำได้รวดเร็ว (quick start-up)	- การทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ต้องใช้ตัวตัวเร่งที่มีราคาสูง - มีความอ่อนไหวต่อความบริสุทธิ์ของเชื้อเพลิงสูง
อัลคาไลน์ (AFC)	- การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดเร็วมากในอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์ ทำให้มีสมรรถนะสูง	- ต้นทุนในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเชื้อเพลิงสูง และต้องการระบบอัดอากาศ
กรดฟอสฟอริก (PAFC)	- ประสิทธิภาพสูงสุดถึง 85 เปอร์เซ็นต์สำหรับการทำงานแบบระบบผลิตร่วมระหว่างไฟฟ้าและความร้อน - สามารถใช้กับเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ไม่บริสุทธิ์ได้	- ต้องการตัวเร่งแพลทินัม - ให้กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ต่ำ - ขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก
คาร์บอเนตเหลว (MCFC)	- ประสิทธิภาพสูง - ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด - สามารถใช้ตัวเร่งได้หลายแบบ	- ทำงานที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการสึกกร่อนและเซลล์เสียหายได้ง่าย
โซลิตออกไซด์ (SOFC)	- ประสิทธิภาพสูง - ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด - สามารถใช้ตัวเร่งได้หลายแบบ - มีอิเล็กโทรดเป็นของแข็ง ลดการกัดกร่อน และการแก้ไขปัญหาทำได้ง่าย	- ทำงานที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการสึกกร่อนและเซลล์เสียหายได้ง่าย

ที่มา: U.S. Department of Energy, 2005

ข้อดีและข้อจำกัดของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ความมั่นคงทางด้านพลังงาน: การใช้เซลล์เชื้อเพลิงช่วยลดการใช้น้ำมัน ลดการนำเข้าและเพิ่มความเป็นไปได้ของจัดหาไฟฟ้าในหลายประเทศ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงซึ่งสามารถจัดหาและผลิตได้จากหลายแหล่ง เช่น จากก๊าซธรรมชาติ น้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านหิน ชีวมวล น้ำ และสารเคมี (McLellan et al., 2005)

ความมั่นคงของระบบสูง: ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ความมั่นคงและความสม่ำเสมอของการจ่ายพลังงานสูงกว่า 99.99 เปอร์เซ็นต์ (Stambouli & Traversa, 2002)

ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ: เซลล์เชื้อเพลิงมีต้นทุนในการเดินระบบต่ำมากหากเทียบกับเทคโนโลยีพลังงานอื่น โดยเฉพาะหากมีการผลิตและใช้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบในระบบเซลล์เชื้อเพลิงแล้วจะพบว่า ไม่มีความสลับซับซ้อน และไม่มีส่วนใดของระบบที่มีการเคลื่อนไหวระหว่างทำงาน

สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง: สามารถเดินระบบได้อย่างต่อเนื่องต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองชนิดอื่น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องจ่ายไฟสำรอง (Uninterrupted Power Supply;UPS)

เซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานอย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่มีเชื้อเพลิงป้อนให้ระบบ (Stambouli & Traversa, 2002)

สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด: เช่น ไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ โพรเพน บิวเทน เมทานอล และน้ำมันดีเซล เป็นต้น

เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม: เซลล์เชื้อเพลิงเป็นพลังงานที่สะอาดมากมีการปลดปล่อยมลพิษที่ต่ำกว่า 100-1,000 เท่าเมื่อเทียบกับมาตรฐานของ American Clean Bus Standard 1998 (15 ppmv of CO_2) และเมื่อเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีในปัจจุบัน (Stambouli & Traversa, 2002)

ไม่มีเสียงดังระหว่างทำงาน: การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีเสียงดังรบกวนเหมือนกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน สามารถติดตั้งภายในอาคาร ไม่ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเสียงดัง ตารางที่ 4 เปรียบเทียบระดับเสียงจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบระดับเสียงจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ

รายการ	โรงไฟฟ้าก๊าซ	ไมโครเทอร์ไบน์	โรงไฟฟ้าดีเซล	เซลล์เชื้อเพลิง	มาตรฐานในเขตชุมชน
ระดับเสียง	ดัง	ปานกลาง	ดัง	เบา	เบา*
ระบบป้องกันเสียง	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ

หมายเหตุ.

*ระดับเสียงเดียวกับเซลล์เชื้อเพลิง; มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป: ดัง คือ สูงกว่า 100 เดซิเบลเอ / ปานกลาง คือ ระหว่าง 70-100 เดซิเบลเอ / เบา คือ ต่ำกว่า 70 เดซิเบลเอ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548; Stambouli & Traversa, 2002

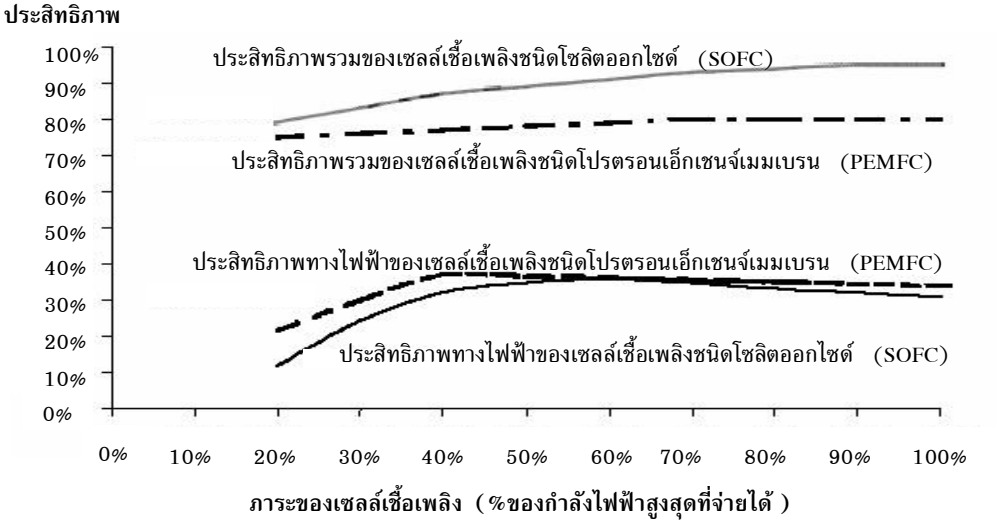
ประสิทธิภาพสูง: ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานสูงถึง 50-70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้า และ 90 เปอร์เซ็นต์ หากรวมพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ตารางที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ และรูปที่ 5 เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโซลิตออกไซด์ (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) ขนาด 1.0 kW_e และชนิดโปรตรอนเอ็กเชนจ์เมมเบรน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) ขนาด 4.5 kW_e ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ

รายการ	โรงไฟฟ้าก๊าซ	ไมโครเทอร์ไบน์	โรงไฟฟ้าดีเซล	เซลล์เชื้อเพลิง
ประสิทธิภาพ	20%	24%	32%	90% (รวมการใช้ความร้อน)

ที่มา: Stambouli & Traversa, 2002

ข้อจำกัด: เซลล์เชื้อเพลิงต้องการออกซิเจนและไฮโดรเจนในการผลิตไฟฟ้า โดยปกติออกซิเจนจะได้มากจากอากาศประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่างจากไฮโดรเจนที่มีข้อจำกัดในเรื่องของการกักเก็บและการขนส่ง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้มีการศึกษาและวิจัยการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ทดแทนการใช้ไฮโดรเจนโดยตรง เช่น แอลกอฮอล์และสารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ซึ่งปัจจุบันได้เริ่มมีการนำมาใช้งานแล้ว แต่การใช้เชื้อเพลิงในลักษณะนี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เปลี่ยนรูป (reformer) เชื้อเพลิงให้เป็นไฮโดรเจนเพื่อป้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงบางชนิดทำให้เกิดปัญหาการจัดการอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte management) เช่น อิเล็กโทรไลต์แบบของเหลวมีปัญหาเรื่องการกัดกร่อน อิเล็กโทรไลต์แบบของแข็งบางชนิดมีราคาสูงมาก เช่น แพลทินัมในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโปรตรอนเอ็กเชนจ์เมมเบรน อิเล็กโทรไลต์บางประเภทต้องการอุณหภูมิทำงานสูงมาก เช่น โซลิตออกไซด์และคาร์บอเนตเหลว



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด SOFC ขนาด 1.0 kWe และ PEMFC ขนาด 4.5 kWe ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (Erdmann, 2003)

การประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ตั้งแต่ระบบที่ต้องการความมั่นคงของพลังงานสูง เช่น ระบบคอมพิวเตอร์ ศูนย์กระจายข่าว ศูนย์สื่อสาร ศูนย์ประมวลผลข้อมูล หรือโรงงานอุตสาหกรรมไฮเทค ฯลฯ ระบบที่ต้องการการลดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสาร การใช้งานในเขตชุมชนเมือง (โรงงานอุตสาหกรรมในเขตชุมชนเมือง) สนามบิน พื้นที่หรือเขตที่มีมาตรฐานของการปลอดปล่อยมลพิษที่เข้มงวด พื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ เช่น ใช้ในระบบไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ห่างไกลจากสายส่งไฟฟ้า ช่วยเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบสายส่งไฟฟ้า สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับโรงงานกำจัดขยะ ซึ่งก๊าซจากขยะสามารถนำมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อนด้วยการใช้เซลล์เชื้อเพลิง รูปที่ 6 เป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิง

(ก) (ข)

รูปที่ 6 (ก) สถานีไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 250 kW (ที่มา: Bewag, 2004) (ข) รถยนต์ใช้พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง

ราคาของเซลล์เชื้อเพลิง

ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มากนัก ทำให้ราคาเริ่มต้นของเซลล์เชื้อเพลิงยังคงสูงอยู่มาก คือ ประมาณ 10,000-20,000 ยูโร/kW (Erdmann, 2003) เบาว์เอิน และคณะทำการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้เซลล์เชื้อเพลิงขนาดต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศกำลังพัฒนา

ซึ่งได้ตัวเลขแสดงดังตารางที่ 6 (Bauen et al., 2003) นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอผลการศึกษาซึ่งแสดงสมมุติฐานของการประเมินราคาของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโซลิตออกไซด์จากผู้ผลิตในประเทศเยอรมัน ดังตารางที่ 7 (Erdmann, 2003; Tsuchiya & Kobayashi, 2004)

ตารางที่ 6 ราคาประเมินของระบบเซลล์เชื้อเพลิงขนาดต่าง ๆ ในแต่ละปี (เหรียญสหรัฐ ฯ/kWe ติดตั้ง)

กิโลวัตต์ติดตั้งของ	ราคาในแต่ละปี (พ.ศ.) ในหน่วย เหรียญสหรัฐ ฯ/kWe				
ระบบเซลล์เชื้อเพลิง	2546	2548	2553	2558	2563
1–100 kW	5,285	3,819	1,624	1,079	901
100 kW–1 MW	6,231	3,920	1,777	1,230	1,041
1–10 MW	7,250	3,983	1,813	1,249	1,087

หมายเหตุ.

kWe ติดตั้ง คือ กิโลวัตต์ไฟฟ้าติดตั้งของระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ที่มา: Bauen et al., 2003

ตารางที่ 7 ต้นทุนและการประเมินราคาของระบบเซลล์เชื้อเพลิง

เป้าหมายของราคาระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโซลิตออกไซด์ (SOFC)	
เงินลงทุนระบบเซลล์เชื้อเพลิง SOFC (ยูโร)	
กรณีใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง	I = 900 + 500 x power (kW)
กรณีใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง	I = 1,400 + 500 x power (kW)
ค่าบำรุงรักษาระบบเซลล์เชื้อเพลิง SOFC (ยูโร/ปี)	oc = 100 + 100 x power (kW)
ค่าสัญญาการใช้งานระบบ SOFC	250 ยูโร/ปี
ราคาพลังงาน	
ราคาค่าไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย	0.1402 ยูโร/kWh + 46.26 ยูโร/ปี
ราคาค่าก๊าซธรรมชาติสำหรับบ้านพักอาศัย	0.0389 ยูโร/kWh + 94.90 ยูโร/ปี
ราคาค่าน้ำมันเตาสำหรับบ้านพักอาศัย	39 ยูโร/100 ลิตร
ราคาค่าไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบ (Fed in power)	0.025 ยูโร/kWh
เงินสนับสนุนค่าไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบ (Subsidy for fed in power)	0.0511 ยูโร/kWh

ที่มา: Erdmann, 2003; Tsuchiya & Kobayashi, 2004

บทสรุป

เซลล์เชื้อเพลิง คือ อุปกรณ์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้าโดยการรวมตัวกันระหว่างเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจน เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยชั้นของวัสดุสามชั้นเรียงซ้อนกัน ชั้นแรกเป็นแอโนด ชั้นที่สองเป็นอิเล็กโทรไลต์ และชั้นที่สามเป็นแคโทด โดยที่แอโนดและแคโทดทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง ส่วนชั้นกลางเป็นโครงสร้างที่เป็นพาหะดูดซับอิเล็กโทรไลต์เอาไว้ เซลล์เชื้อเพลิงหนึ่งเซลล์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จำเป็นต้องนำเซลล์เชื้อเพลิงหลายเซลล์มาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าตามต้องการ เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานสูงถึง 50–70 เปอร์เซ็นต์สำหรับการเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้า และ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรวมพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ เซลล์เชื้อเพลิงสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ระบบคอมพิวเตอร์ ศูนย์กระจายข่าว ศูนย์สื่อสาร ศูนย์ประมวลผลข้อมูล โรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสาร เครื่องบิน ใช้ในพื้นที่หรือเขตที่มีมาตรฐานของการปลอดปล่อยมลพิษที่เข้มงวด และพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เท่าใดนัก ทำให้ราคาเริ่มต้นของเซลล์เชื้อเพลิงยังคงสูงอยู่มากที่ประมาณ 10,000–20,000 ยูโร/kW

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการศึกษาความเป็นไปได้การจัดตั้งห้องปฏิบัติการไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิง ได้รับทุนสนับสนุนโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร และสถานทูตไทยในประเทศเยอรมัน

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). *มาตรฐานคุณภาพอากาศและเสียง*. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2548 จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd04.html#s1.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2547). *ข่าวพลังงาน*. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2547 จาก http://www.eppo.go.th.

Bauen, A., Hart, D., & Chase, A. (2003). Fuel cells for distributed generation in developing countries-an analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, *28*, 695-701.

Bewag. (2004). *Bewag fuel cell innovation park*. Retrieved September 20, 2004, from http://www.innovation-brennstoffzelle.de/e/index.html.

British Petroleum. (2004). *BP statistical review of world energy 2004*. Retrieved September 20, 2004, from http://www.bp.com/statisticalreview2004.

Erdmann, G. (2003). Future economics of the fuel cell housing market. *International Journal of Hydrogen Energy*, *28*, 685-694.

Kammen, D. M. (2002, February). *The role of fuel cells in the renewable roadmap to energy independence*. Paper presented at the Testimony for the United States House Subcommittee on Energy, Washington, DC.

McLellan, B., Shoko, E., Dicks, A. L., & Diniz da Costa, J. C. (2005). Hydrogen production and utilisation opportunities for Australia. *International Journal of Hydrogen Energy*, *30*, 669-679.

Shell. (2004). *Shell renewable energy*. Retrieved September 20, 2004, from http://www.shell.com.

S. P. International. (2005). *News & update*. Retrieved June 19, 2005, from http://www.spinter.com/spi_news.htm.

Stambouli, B. A., & Traversa, E. (2002). Fuel cells, an alternative to standard sources of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *6*, 297-306.

Tse, L. (2005). *Fuel cell versus Carnot efficiency*. Retrieved September 22, 2005, from http://www.visionengineer.com/env/fc_efficiency.php.

Tsuchiya, H., & Kobayashi, O. (2004). Mass production cost of PEM fuel cell by learning curve. *International Journal of Hydrogen Energy*, *29*, 985-990.

U.S. Department of Energy. (2005). *Energy efficiency and renewable energy: Fuel cell*. Retrieved September 22, 2005, from http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html.