



เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

ชลดา เกษเกียรติไกร*

ในช่วงที่ผ่านมาพลังงานหลักของโลกล้วนได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะน้ำมัน เชื้อเพลิง แต่ปัจจุบันเมื่อเกิดวิกฤตการณ์ราคาน้ำมัน รวมถึงปัญหามลภาวะทางอากาศ เนื่องจากการปล่อยสารพิษจำนวนมากเข้าสู่ชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นควันเสียจากยานพาหนะ บ้านเรือน หรือโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้หลายฝ่ายพยายามร่วมมือกันในการหาพลังงานทดแทนที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานชีวภาพ ซึ่งนอกเหนือจากที่กล่าวมา หนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจคือ เซลล์เชื้อเพลิง หรือ Fuel cell เพราะเป็นแนวทางที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน รวมถึงสามารถแก้ไขปัญห่อื่นๆมากมาย เช่น ปัญหาการนำน้ำมันที่สูงขึ้น

เซลล์เชื้อเพลิง คืออุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษ โดยมีแก๊สไฮโดรเจน (H_2) และออกซิเจน (O_2) เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้นจึงเป็นการลดมลภาวะทางอากาศได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งประสิทธิภาพที่ได้จากกระบวนการนี้ยังสูงกว่าเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้แบบสันดาปภายใน ในกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงนั้นสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องไม่มีที่สิ้นสุดตรงเท่ากับที่มีการเติมสารที่เป็นเชื้อเพลิงหลักเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ซึ่งต่างจากแบตเตอรี่ที่แม้จะใช้หลักการทำงานเดียวกันกับเซลล์เชื้อเพลิง คือ การเปลี่ยนปฏิกิริยาทางเคมีเป็นไฟฟ้าโดยทำการแปรสภาพสารเคมีที่บรรจุอยู่ในแบตเตอรี่ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า แต่เมื่อใช้งานไปเรื่อยๆ แบตเตอรี่จะหมดพลังงานได้ ถ้าอยากจะใช้ใหม่ก็ต้องมีการชาร์จ ดังนั้นเมื่อมองในระยะยาวนั้นจะเห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงให้พลังงานได้มากกว่าแบตเตอรี่

หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยเมมเบรนพอลิเมอร์ของแข็งเป็นอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ทำหน้าที่ในการเป็นตัวนำไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง โดยชั้นของเมมเบรนทั้งสองด้านจะถูกประกบด้วยอิเล็กโทรดซึ่งก็คือขั้วไฟฟ้าแอโนด (anode) และแคโทด (cathode) นั่นเอง โดยทั่วไปอิเล็กโทรดทำจากแพลตินัม หรือสารประกอบผสมกับแพลตินัม

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์



หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงคือการนำเอาแก๊สที่มีปริมาณไฮโดรเจนสูงมากนั้นให้เหลือเฉพาะไฮโดรเจนแล้วส่งเข้าสู่ขั้วไฟฟ้าแอโนด จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดจะทำการแยกประจุของไฮโดรเจนออกเป็นขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งขั้วบวกก็คือโปรตอน (H^+) ส่วนขั้วลบก็คืออิเล็กตรอน (e^-) นั่นเอง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะวิ่งไปที่วงจรภายนอกซึ่งต่อระหว่างขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทดจากการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าแอโนดไปยังแคโทดนั้นทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่โปรตอนนั้นจะแพร่ผ่านตัวนำไฟฟ้าไปรวมกับออกซิเจนที่ขั้วแคโทดและรวมตัวกันเป็นน้ำซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ น้ำก็คือของเสียที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้างั้นนั่นเองของเสียของระบบเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นของเสียที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม สารตั้งต้นที่นิยมใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน โดยปกติแล้วเมื่อมีสารตั้งต้นไหลเข้าสู่ระบบ สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก็จะไหลออกจากระบบไปด้วย ดังนั้นการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงดำเนินต่อไปได้เรื่อยๆ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก็คือน้ำนั่นเอง

ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงมีหลากหลายประเภทโดยแบ่งตามลักษณะของตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกันไป โดยทั่วไปเซลล์เชื้อเพลิงแบ่งออกเป็นหลายประเภทได้แก่

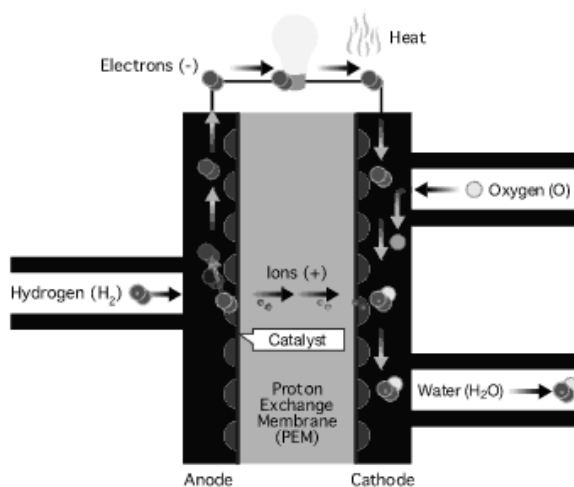
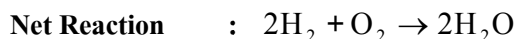
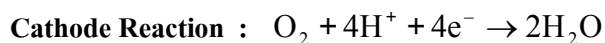
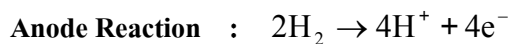
- เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)
- Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)
- เซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell)
- Biological Fuel Cell
- Phosphoric-acid Fuel Cell
- Molten-carbonate Fuel Cell
- Formic Acid Fuel Cell
- Direct Borohydride Fuel Cell

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนและ Direct Methanol Fuel Cell เพราะเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่กำลังได้รับความสนใจจากท้องตลาดมากโดยเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับรถยนต์, รถจักรยานยนต์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพกพา

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell: PEMFC)

PEMFC หรือบางที่เรียกว่า Hydrogen Fuel Cell เป็นเซลล์ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการผลิตและพัฒนาเพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายไฟ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 80 องศาเซลเซียส) ซึ่งหมายถึงการใช้เวลาในการอุ่นเครื่องค่อนข้างน้อย ให้กำลังไฟฟ้าสูง ให้ความหนาแน่นกำลังไฟสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในวงการอุตสาหกรรมยานยนต์และเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโรงงานไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพกพา

หลักการทำงานของ PEMFC (ภาพประกอบที่ 1) เริ่มต้นจากการอัดไฮโดรเจนเข้าสู่ขั้วแอโนด หลังจากนั้นไฮโดรเจนจะแพร่ผ่านชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วเกิดการแตกตัวเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนจะผ่านขั้วออกมาสู่วงจรภายนอกเพื่อให้กำเนิดกระแสไฟฟ้าแล้วไหลเข้าสู่ขั้วแคโทดของระบบเซลล์เชื้อเพลิง ในขณะที่โปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวนำไฟฟ้า (PEM membrane) ไปยังด้านแคโทดแล้วรวมตัวกับออกซิเจนที่ถูกจ่ายเข้าทางด้านแคโทด และรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ไหลมาจากแอโนดเกิดเป็นน้ำหรือไอน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ ดังสมการต่อไปนี้

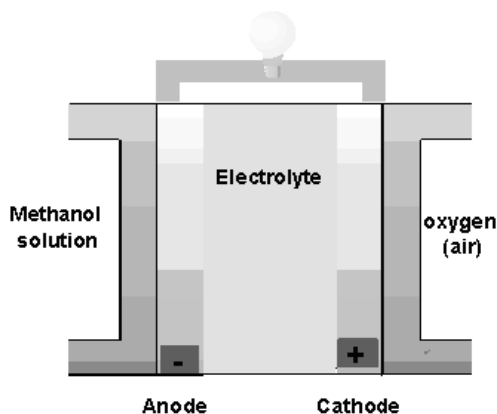
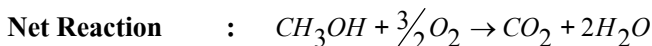
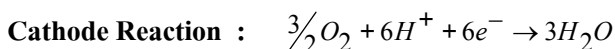


ภาพประกอบที่ 1 Fuel Cell Structure

Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)

DMFC เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ถูกผลิตและพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพกพา เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ PEMFC เพราะใช้วัสดุนำไฟฟ้าเป็นพอลิเมอร์เช่นเดียวกัน

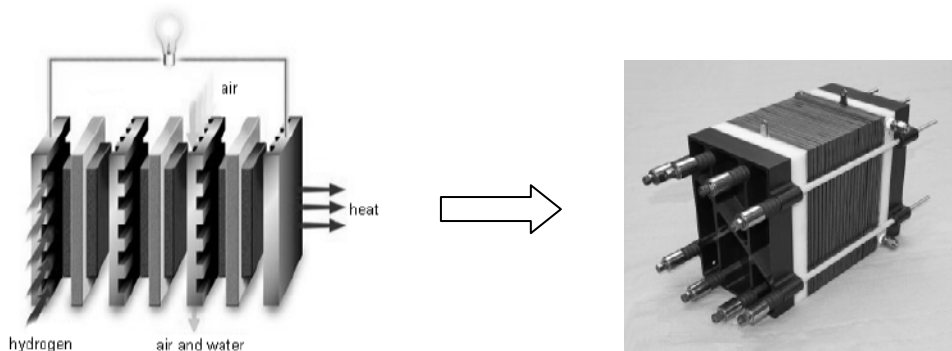
หลักการทำงานของ DMFC เริ่มต้นจากการอัดเซลล์เชื้อเพลิงหลักคือเมทานอลเข้าสู่ขั้วแอโนด สำหรับออกซิเจนจะถูกอัดผ่านตัวนำไฟฟ้าเช่นกันแต่ผ่านทางแคโทดแทนซึ่งเหมือนกับระบบการทำงานของ PEMFC เมื่อเมทานอลถูกออกซิไดส์ด้วยน้ำจะเกิดการแตกตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), โปรตอน และอิเล็กตรอน จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านจากขั้วแอโนดไปทั่ววงจรภายนอก ในขณะที่โปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวนำไฟฟ้าและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและอิเล็กตรอนจากวงจรภายนอกได้ผลลัพธ์คือโมเลกุลของน้ำ จะเห็นได้ว่าหลักการทำงานของทั้ง PEMFC และ DMFC มีหลักการทำงานที่คล้ายกันต่างกันแค่เพียงเซลล์เชื้อเพลิงหลักที่ใช้เท่านั้น (ภาพประกอบที่ 2)



ภาพประกอบที่ 2 Direct Methanol Fuel Cell Structure

(www.personal.utulsa.edu/.../paper.htm, มกราคม 2552)

โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับหนึ่งเซลล์เชื้อเพลิงสามารถให้แรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 0.7 โวลต์ แต่ปัจจุบันมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้นโดยการนำเซลล์ไฟฟ้ามาเรียงต่อกันมากกว่า 1 เซลล์เรียกว่า Fuel cell stack เพื่อเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานทางด้านต่างๆ ภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 Fuel cell stacks (estarfuturcorp.com, ธันวาคม 2551)

(<http://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/h2sf/img/pemfc>, ธันวาคม 2551)

การประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิง

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงเป็นพลังงานสีเขียวที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่สิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงยังมีราคาสูงมากเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ แพลตินัมซึ่งมีราคาแพง อย่างไรก็ตามคาดว่าจะการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันมุ่งหาวิธีลดค่าใช้จ่ายโดยหาสารแทนที่แพลตินัมหรือใช้สารอื่นที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ามาผลิตเป็นสารประกอบผสมกับแพลตินัมเพื่อลดปริมาณการใช้แพลตินัมลง นอกจากนี้ปัญหาคือหากเปลี่ยนจากระบบเดิมมาใช้เซลล์เชื้อเพลิง ปริมาณไฮโดรเจนเพียงเล็กน้อยที่รั่วไหลจากการเก็บและขนส่งอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นต้องมีการวางแผนการจัดเก็บและติดตั้งไฮโดรเจนให้รัดกุมและปลอดภัย ในขณะนี้นักวิทยาศาสตร์กำลังเร่งศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการลดมูลค่าในการผลิตเซลล์เชื้อเพลิง โดยพยายามออกแบบอุปกรณ์เซลล์เชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตามโอกาสที่ราคาเซลล์เชื้อเพลิงจะลดลงในอนาคตก็มีแนวโน้มสูงมาก เนื่องจากทุกฝ่ายให้ความสำคัญกับการพัฒนาพลังงานสีเขียวตัวนี้อย่างจริงจัง

ที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงกับวงการอุตสาหกรรมยานยนต์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพกพาต่างๆ ดังนี้

▽ รถยนต์ไฮโดรเจนและการเติมเชื้อเพลิง

ปัจจุบันเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงได้เข้ามามีบทบาทต่อวงการอุตสาหกรรมรถยนต์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากบริษัทรถยนต์ต่างๆ ตระหนักถึงปัญหาราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงมากขึ้น รวมถึงปัญหาสภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ผลจากการพัฒนาและปรับปรุงระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงทำให้เกิดสถานีบริการไฮโดรเจนแห่งแรกที่ Reykjavik ประเทศไอร์แลนด์ ซึ่งเปิดบริการในเดือนเมษายน ปี 2003 เพื่อให้บริการแก่รถบัส 3 คันที่สร้างโดย DaimlerChrysler เป็นรถบัสที่ให้บริการแก่สาธารณชนในเขต Reykjavik ซึ่งสถานีแห่งนี้ผลิตไฮโดรเจนด้วยระบบการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า

นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าบริษัทรถยนต์หลายประเภท เช่น BMW, Hyundai, Nissan, Toyota, Ford, Honda และ Mazda กำลังเดินหน้านำพัฒนารถยนต์เซลล์เชื้อเพลิง ทั้งในรูปของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถบัส ตัวอย่างง่ายๆ ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความสนใจซึ่งเป็นเซลล์ที่ถูกพัฒนามาใช้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับรถยนต์และในครัวเรือนคือเซลล์เชื้อเพลิงประเภท PEMFC ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีข้อดี คือ สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เครื่องยนต์ติดเร็วไม่ต้องเสียเวลาในการอุ่นเครื่องยนต์นาน อีกทั้งช่วยลดการสึกกร่อนของอุปกรณ์เครื่องยนต์อีกด้วย แต่ข้อเสีย คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีราคาแพง เนื่องจากเป็นแพลตินัม

ค่ายรถยนต์ Honda ทำการพัฒนารถยนต์ Honda รุ่น FCX ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จ สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ปัญหาคือที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส นั้นจะมีปัญหาในการสตาร์ทเครื่องยนต์ ซึ่งจากการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมนั้นยังเป็นปัญหาที่ท้าทายอยู่มาก (ภาพประกอบที่ 4)



ภาพประกอบที่ 4 Honda FCX Hydrogen fuel cell

(www.reuk.co.uk, กุมภาพันธ์ 2552)

▽ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในขณะที่วงการอุตสาหกรรมยานยนต์กำลังเร่งพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับยานพาหนะนั้นในเวลาเดียวกันวงการอุตสาหกรรมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งในยุโรปและเอเชียก็กำลังค้นหาศึกษาค้นคว้าการนำเอาเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้เป็นแหล่งให้พลังงานแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ, คอมพิวเตอร์พกพาและเครื่องเล่น MP3 เช่นกัน โดยในปี 2004 ทาง Fujitsu ประสบความสำเร็จในการนำเอาระบบเซลล์เชื้อเพลิงประเภท DMFC มาใช้กับคอมพิวเตอร์พกพาด้วยเทคโนโลยี micro fuel cell ซึ่งใช้เมทานอลเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณเพียง 300 มิลลิลิตร เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง ข้อดีคือ

คอมพิวเตอร์แบบพกพานี้สามารถทำงานได้ถึง 8-10 ชั่วโมง ยิ่งไปกว่านั้นยังมีน้ำหนักเบาว่าคอมพิวเตอร์ที่ใช้แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนมาก ถึง 5-10 เท่าซึ่งไม่เฉพาะแค่น้ำหนักของคอมพิวเตอร์ที่ลดลงเท่านั้นแต่ยังสามารถทำให้รูปทรงของคอมพิวเตอร์เพรียวบางขึ้นได้อีกด้วย (ภาพประกอบที่ 5)



ภาพประกอบที่ 5 High Capacity Micro Fuel Cell Technology

(pr.fujitsu.com/en/news/2004/01/26-1.html, ธันวาคม 2551)

นอกจากนั้นทาง Motorola ได้ทำการพัฒนาโทรศัพท์มือถือแบบใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิด DMFC ร่วมกับแบตเตอรี่จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้เซลล์เชื้อเพลิงให้ประสิทธิภาพดีกว่าใช้แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน เพราะใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เพียงแค่ 10 นาทีเท่านั้น ซึ่งขณะนี้ยังอยู่ในช่วงทดลองใช้ คาดว่าจะนำออกสู่ตลาดในต้นปี 2010 นอกจากนี้ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้เซลล์เชื้อเพลิงกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ คือ เป็นการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในขณะที่แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม (ภาพประกอบที่ 6)



Mobile phone fuel cell has been produced by Angstrom Power.

ภาพประกอบที่ 6 Motorola fuel cell phone

(http://www.platinum.matthey.com/media_room/1200499213.html, ธันวาคม 2551)

อีกหนึ่งในความสำเร็จจากการประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงคือ Toshiba ประสบความสำเร็จจากการใช้เซลล์เชื้อเพลิงประเภท DMFC กับ เครื่องเล่น MP3 และ wireless headset สำหรับโทรศัพท์มือถือ ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานได้มากถึง 100 mW นอกจากนี้สามารถใช้งานเครื่องเล่น MP3 ได้นานถึง 20 ชั่วโมงในขณะที่ใช้เมทานอลเพียง 20 cc เท่านั้น (ภาพประกอบที่ 7)



“Toshiba has announced that Guinness World Records has officially certified the company's highly compact direct methanol fuel cell (DMFC) as the world smallest DMFC.”

ภาพประกอบที่ 7 Toshiba's DMFC

(www.japancorp.net/topimg/Thumb_toshiba0303.jpg, ธันวาคม 2551)



จะเห็นได้ว่าจากที่กล่าวมาข้างต้นเซลล์เชื้อเพลิงประเภท DMFC นั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เนื่องจากสามารถจ่ายพลังงานในปริมาณน้อยแต่จ่ายได้เป็นระยะเวลานาน ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงประเภท PEMFC นั้นเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นแหล่งให้พลังงานหลักเพื่อยานพาหนะ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการเผาไหม้ที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดแก๊สเรือนกระจก คาดว่าในอนาคตอันใกล้นี้จะมีการประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงสำหรับอาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งระบบนี้จะผลิตไฟฟ้าในอัตราที่คงที่สามารถนำไฟฟ้าคืนสู่ระบบส่งได้ เมื่อไม่ใช้งานพร้อมๆ กับการพัฒนาและออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ รวมถึงการลดมูลค่าด้านการผลิตควบคู่กับการลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.howstuffworks.com/fuel-cell.htm>, มกราคม 2552
- [2] http://th.wikipedia.org/wiki/Direct_methanol_fuel_cell, มกราคม 2552
- [3] <http://www.fuelcells.org/gallery.htm>, กุมภาพันธ์ 2552
- [4] <http://www.fuelcells.org>, กุมภาพันธ์ 2552
- [5] http://www.fctec.com/fctec_basics.asp, กุมภาพันธ์ 2552
- [6] <http://www.dodfuelcell.com/>, มกราคม 2552
- [7] <http://www.personal.utulsa.edu/~christina-bishop/ChE4133Paper/paper.htm>, มกราคม 2552
- [8] http://www.toshiba.com/taec/components/Generic/DMFC_FAQ.pdf, มกราคม 2552
- [9] www.reuk.co.uk, กุมภาพันธ์ 2552
- [10] pr.fujitsu.com/en/news/2004/01/26-1.html, ธันวาคม 2551
- [11] http://www.platinum.matthey.com/media_room/1200499213.html, ธันวาคม 2551
- [12] www.japancorp.net/topimg/Thumb_toshiba0303.jpg, ธันวาคม 2551
- [13] <http://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/h2sf>, ธันวาคม 2551
- [14] estarfuturcorp.com/fuelcellworks.html, ธันวาคม 2551
- [15] www.apec.uci.edu/.../Technologies/FuelCells.aspx, มกราคม 2552
