

“เซลล์เชื้อเพลิง” แหล่งพลังงานทดแทนในอนาคต



Fuel cell

สุภาภรณ์ เลขพัฒน์¹ และ สมบัติ กัยทรัพย์²



บทคัดย่อ

พลังงานเป็นปัญหาสำคัญของโลกในอนาคต เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันกำลังหมดไปอย่างรวดเร็วหากใช้เพิ่มขึ้นด้วยอัตราปัจจุบัน เช่น ก๊าซธรรมชาติจะหมดไปในราว 20-30 ปี น้ำมันจะหมดไปใน 30-40 ปี และถ่านหินจะหมดไปในราว 80-100 ปี เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความพยายามในการวิจัยและพัฒนาเพื่อค้นหาพลังงานรูปแบบใหม่ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นนวัตกรรมใหม่ที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วจนใกล้ที่จะเข้าสู่การใช้งานในชีวิตประจำวันได้ บทความนี้มุ่งนำเสนอประวัติความเป็นมา เทคโนโลยี พัฒนาการที่เกิดขึ้นในโลก และการวิจัยและพัฒนาที่เกิดขึ้นในประเทศไทยด้วย

คำสำคัญ: เซลล์เชื้อเพลิง, พลังงานใหม่, สถานภาพเซลล์เชื้อเพลิงในประเทศไทย

Abstract

Energy is one of future world important problem due to most of popular form of energy used today will be depleted pretty soon, if incremental utilization rate increase as it was. For example, natural gas will deplete in 20-30 years, petroleum oil will deplete in 30-40 years, and coal will deplete in 80-100 year. So, there are efforts in research and development for finding innovative commercializes form of energy to be used as a substitute in the future.

¹สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: slp@kmutnb.ac.th

²รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย และ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

E-mail: sombat@eau.ac.th



Fuel cell is an innovation which develops very fast and very close to be used in quotidian life. This article aimed to present history, technology, world existing development, and development which have been done in Thailand.

Keywords: fuel cell, new energy, Thailand's fuel cell status



บทนำ

ในปัจจุบันอัตราการขยายตัวของภาคเศรษฐกิจตามสาขาต่าง ๆ ของประเทศไทยที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีบทบาทสำคัญในการดำรงชีพของมนุษย์ในสังคมยุคใหม่ พลังงานส่วนใหญ่ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ในประเทศไทย มาจากพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน หรือ ก๊าซธรรมชาติ ล้วนมีที่มาจากทรัพยากรของซากดึกดำบรรพ์ในชั้นใต้ดินเป็นเวลานานหลายล้านปี เพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานจำนวนมหาศาลของมนุษย์ พลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ที่สะสมอยู่ในชั้นใต้ดินได้ถูกขุดขึ้นมาใช้อย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มจะเข้าสู่ยุคขาดแคลนในอนาคตอันใกล้ จากการสำรวจและประมาณการพบว่าโลกจะมีน้ำมันเหลือใช้ได้อีกเพียง 30-40 ปี ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้น และความมั่นคงทางพลังงานของโลกลดลง นอกจากนี้การเผาเชื้อเพลิงที่เกิดจากซากดึกดำบรรพ์ยังเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาโลกร้อน โดยมีการประมาณกันว่าหากโลกยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายทางด้านพลังงาน อุณหภูมิของโลกโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นถึง 6°C ก่อนสิ้นศตวรรษนี้

จากข้อเท็จจริงดังกล่าวส่งผลให้มนุษย์ต้องมองหาพลังงานอื่นที่ยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มาแทนที่แหล่งพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทางออกคือความพยายามในการแสวงหาพลังงานจากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากน้ำขึ้นน้ำลง หรือ พลังงานจากชีวมวล และชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งเมื่อนำไปใช้แล้วไม่หมดไปสามารถมีเพิ่มเติมได้ แต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการ ทั้งการลงทุนในด้านอุปกรณ์ และลักษณะการนำไปใช้

การหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ที่มีมนุษย์สามารถสร้างขึ้นมาตัวเอง ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีการศึกษาค้นมานานแล้วคือ “เซลล์เชื้อเพลิง” หรือ “Fuel Cell”

เซลล์เชื้อเพลิง คืออะไร

“เซลล์เชื้อเพลิง” เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและไฟฟ้า ระหว่างก๊าซออกซิเจนกับก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยไม่ผ่านการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ถึง 1-3 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ มีหลักการทำงานคล้ายกับเซลล์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ทั่วไป สามารถอัดประจุใหม่ได้ แต่มีโครงสร้างแตกต่างกันมาก โดยเซลล์เชื้อเพลิงจะไม่มี การเก็บพลังงานไว้ภายในเซลล์ แต่เซลล์จะทำหน้าที่รับเชื้อเพลิงเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ และให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นไฟฟ้าและผลพลอยได้อื่น ๆ

กำเนิดเซลล์เชื้อเพลิง

กว่า 170 ปีมาแล้ว Sir William Robert Grove ศาสตราจารย์สาขาปรัชญาการทดลองที่ The Royal Institution ในกรุงลอนดอน ทำการผลิตและทดลองเซลล์เชื้อเพลิงเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1838 ต่อมาท่านได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งเซลล์เชื้อเพลิง ท่านทำการทดลองในเรื่องกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) โดยใช้กระแสไฟฟ้าแยกน้ำให้เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน อันนำมาสู่อุปกรณ์ชิ้นหนึ่งที่ต่อมาเรียกว่า “เซลล์เชื้อเพลิง” โดยคิดผลิตกระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน จากสมมุติฐานของ

ความเป็นไปได้ของการทำกระบวนการ อิเล็กโทรไลซิสย้อนกลับ เพื่อทดสอบแนวคิดนี้ ท่านจึงวางแผนแพลตินัม 2 แผ่น ไว้ในขวดที่ปิดแยกกัน ขวดหนึ่งมีไฮโดรเจนและอีกขวดหนึ่งมีออกซิเจน เมื่อขวดสองอันนี้ถูกจุ่มรวมกันด้วยซัลฟูริกเจือจาง ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสอง และเกิดน้ำขึ้นในขวดที่บรรจุก๊าซทั้งสอง เพื่อจะเพิ่มศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าต่ำที่ผลิตออกมา จึงได้ต่ออุปกรณ์เหล่านี้ในแบบอนุกรมกัน และเรียกอุปกรณ์นี้ว่า “ก๊าซแบตเตอรี่” ซึ่งเป็นต้นแบบของเซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบัน



ภาพ 1 Sir William Robert Grove

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายคนที่ได้เป็นผู้ประดิษฐ์ค้นค้นเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้อิเล็กโทรไลต์ต่างกันไป เช่น

Ludwig Mond และ Charles Langer ประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้งานได้จริง โดยการใช้อากาศและก๊าซถ่านหิน

William White Jacques ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นคนแรก

Bauer และ Preis ประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงชนิด Solid Oxide electrolyte

Francis Thomas Bacon ได้ประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้แอลคาไลน์เป็นอิเล็กโทรไลต์ และใช้นิกเกิลเป็นอิเล็กโทรด

Davtyan ได้พัฒนา Mixed carbonates and oxides with sand separator work basis for post-war fuel cell work ในปี ค.ศ. 1945

ในปี ค.ศ. 1950 หลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ Grove ได้คิดไว้ได้รับความสนใจอีกครั้ง โดยความต้องการเทคโนโลยีระบบพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่องานด้านอวกาศและการทหาร ยานอวกาศและเรือดำน้ำ ต้องการระบบพลังงานไฟฟ้าซึ่งต้องไม่ใช่เทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายใน และอีก 10 ปี ต่อมา องค์การนาซา (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ได้ทุ่มงบประมาณถึง 10 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพื่อพัฒนาเชื้อเพลิงสำหรับโครงการ Apollo ซึ่งใช้หลักการของ Bacon เพื่อผลิตน้ำดื่มและพลังงาน และเป็นเทคโนโลยีที่ปฏิบัติการใช้พลังงานของโลกในอนาคต United Technologies (UTX) เป็นบริษัทแรกที่ได้ผลิตเซลล์เชื้อเพลิง และสร้างเซลล์เชื้อเพลิงให้องค์การนาซา

หลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงแบ่งโครงสร้างเป็น 4 ส่วน คือ

1. **ขั้วแอโนด (Anode)** เป็นขั้วลบ มีหน้าที่ส่งอิเล็กตรอนออกจากขั้ว โดยอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา $H_2 \Rightarrow 2H^+ + 2e^-$ โดยที่ขั้วจะมีช่องที่ติดกับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งฉาบอยู่บนผิวหน้าของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยปฏิกิริยาจะเกิดเมื่อผ่านก๊าซไฮโดรเจนเข้าไป

2. **ขั้วแคโทด (Cathode)** เป็นขั้วบวก มีช่องติดกับเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ทำหน้าที่รับโปรตอนและก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปล่อยออกมาที่ผิวหน้าของเยื่อซึ่งฉาบตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้ และทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนกลับมาจากวงจรภายนอก เพื่อรวมกันเป็นน้ำ ดังปฏิกิริยา $O_2 + 4H^+ + 4e^- \Rightarrow 2H_2O$

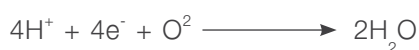
3. สารพาประจุ (Electrolyte) เป็นส่วนที่มีความสำคัญ เพราะ เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนชนิดต่าง ๆ และเป็นส่วนที่เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละประเภทแตกต่างกัน โดยประเภทที่เรากล่าวถึงอยู่นี้ สารพาประจุ จะเป็นเพียงเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane) เท่านั้น ซึ่งมีลักษณะเหมือนแผ่นพลาสติกในการทำครัว โดยจะให้โปรตอนผ่านได้ แต่จะไม่ยอมให้อิเลคตรอนผ่าน

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนต่าง ๆ เกิดได้ดี โดยส่วนใหญ่จะเป็นผงแพลทินัมเคลือบอยู่บนเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งจะมีลักษณะขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจน และ ออกซิเจน

ในการทำงานขั้วแอโนด (ขั้วลบ) และขั้วแคโทด (ขั้วบวก) รอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่ขั้วแอโนด ให้แก๊สไฮโดรเจนเข้าไป แก๊สไฮโดรเจนแพร่ผ่านแอโนด แก๊สไฮโดรเจนถูกเร่งด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาให้ไฮโดรเจนไอออนกับอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนถูกส่งผ่านเข้าไปในสายไฟ เกิดกระแสไฟฟ้า จากนั้นเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ดังสมการ



ที่ขั้วแคโทด ให้แก๊สออกซิเจนจากอากาศเข้าไป ที่ขั้วแคโทด เมื่อไฮโดรเจนไอออนกับอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่มายังขั้วแคโทด ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนจากอากาศที่ให้เข้าไปเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำจากแพลทินัม จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้น้ำบริสุทธิ์ ดังสมการ



แรงดันไฟฟ้าที่ได้ต่อหนึ่งเซลล์มีค่าประมาณ 1 โวลต์และได้กระแสออกมาประมาณ 10 แอมแปร์ ซึ่งถ้านำมาต่อกัน 12 เซลล์ ก็จะได้แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์เหมือนกับแบตเตอรี่ ปฏิกิริยารวมของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นการรวมตัวของไฮโดรเจนและออกซิเจนเกิดเป็นน้ำ ดังสมการ



หลักการทำงาน คือ H_2 จะถูกปล่อยไปในด้านแอโนดโดยใช้ความดัน เมื่อก๊าซไปสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก็จะทำให้เกิดการแตกตัวออกเป็น โปรตอนและอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะถูกส่งต่อไปยังวงจรภายนอก ส่วนโปรตอนนั้น จะผ่านช่องของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนไปยังขั้วแคโทด ซึ่งจะไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่รับมาจากวงจรภายนอก รวมไปถึงอะตอมของออกซิเจนซึ่งแตกตัวโดยการเร่งของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำขึ้นมา ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนนี้ จะนำไปใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ เพื่อประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ

แต่เนื่องจาก H_2 เป็นก๊าซที่อันตราย เนื่องจากติดไฟได้ จึงไม่เหมาะสมในการบรรจุ หรือ เคลื่อนย้ายไปมา และทำให้จึงมีการพัฒนา Fuel Processor ซึ่งมีหลักการคือ ใช้เครื่อง Reformer เปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ H_2O และ O_2 ให้กลายเป็น H_2 , CO , CO_2 จากนั้นใช้เครื่อง Catalytic Converter เปลี่ยน CO ให้กลายเป็น CO_2 นำ H_2 มาใช้ได้ตามต้องการ ส่วน CO_2 ก็ถูกปล่อยสู่อากาศต่อไป วิธีนี้ นอกจากจะเพิ่มความปลอดภัยแล้ว ยังเป็นการประหยัดอีกด้วย เนื่องจากสามารถเปลี่ยนสารอื่น ๆ มาเป็น H_2 ได้

ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง

จากการที่นักวิจัยได้ศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้อิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ กัน จึงได้มีการแบ่งชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงได้ 5 ประเภท ได้แก่

1. เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cells, AFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เหลว (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์ (30-43%) ซึ่งทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้องและให้ค่าความต่างศักย์สูงที่สุดที่ค่าความหนาแน่นของกระแสเดียวกัน ระบบ AFC นำไปใช้ในยานอวกาศ เรือดำน้ำ รถยนต์ไฟฟ้า และผลิตน้ำใช้ในยานอวกาศ อายุการทำงานของเซลล์อาจมีค่าสูงถึง 10,000-15,000 ชั่วโมง ราคาต้นทุนของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าสูงเนื่องจากใช้โลหะตระกูลสูงต้องใช้พลังงานในการอัดหรือทำให้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นของเหลว และต้องมีความบริสุทธิ์สูง จากข้อเสียดังกล่าวจึงทำให้เซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้ขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นได้ยาก และไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้

2. เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFC) ใช้เกลือคาร์บอนเนตหลอมของโซเดียมและโพแทสเซียมในเซรามิกเมตริก (Ceramic Matrix) ของลิเทียมอลูมินา (LiAlO_2) เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ออกมาจากหัวอะโนดจะถูกนำไปใช้ที่หัวแคโทด การไหลเวียนกลับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้สำคัญต่อการทำงานของเซลล์ อุณหภูมิการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง $500\text{--}700^\circ\text{C}$ ด้วยสภาวะอุณหภูมิที่สูง ปฏิกิริยาที่หัวอิเล็กโทรดจึงไม่จำเป็นต้องมี Pt เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเนตหลอมสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

- แบบมีการปฏิรูปภายนอกและแบบปฏิรูปภายใน ในรูปแบบแรกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ H_2 โดยเครื่องปฏิรูป (Reformer) ที่ติดตั้งภายนอก

- แบบมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ H_2 ภายในตัวเซลล์เชื้อเพลิง

แต่มีข้อควรระวังอย่างหนึ่งคือ ในกรณีที่วัตถุดิบที่ใช้เป็นถ่านหินที่มีธาตุกำมะถันอยู่ การผลิตก๊าซจากถ่านหินโดยปฏิกิริยาก๊าซซิฟเคชั่นอาจจะทำให้เกิด H_2S ซึ่งก๊าซ H_2S นี้จะเป็นพิษต่อหัวอิเล็กโทรดอุณหภูมิในการทำงานที่ $1,200^\circ\text{F}$ (650°C) ปัจจุบัน MCFC ใช้ได้กับไฮโดรเจน CO ก๊าซธรรมชาติ, โพรเพน, มีเทน และก๊าซจากกระบวนการก๊าซซิฟเคชั่นถ่านหิน กำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง $10\text{--}20\text{ MW}$ เนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำงาน ดังนั้นจึงถูกจำกัดการใช้ในโรงงานไฟฟ้าเท่านั้น

ในปี ค.ศ. 1990 บริษัท Ishikawajima ในญี่ปุ่นได้ผลิตเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้และให้กำลังไฟฟ้า 1 kW ทำงานได้ $10,000$ ชั่วโมงติดต่อกัน ปัจจุบันมีบริษัทในญี่ปุ่นอย่างน้อย 10 บริษัทได้นำเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มาใช้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1997 ได้มีการติดตั้ง MCFC 250 kW ที่รัฐอิลลินอยส์ ด้วย

3. เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) ในระบบ SOFC ทั้งอิเล็กโทรดและสารอิเล็กโทรไลต์ทำมาจากวัสดุเซรามิกจำพวก

ออกไซด์แข็ง อาทิ อิทรีอ (Yttria) หรือเซอร์โคเนีย (Zirconia) เป็นตัวนำไอออน O_2^- ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800°C ถ้าเซลล์มีสภาวะการทำงานที่ประมาณ 900°C การไหลเวียนกลับของ CO_2 จากทางออกหัวแคโทดไปยังหัวแคโทดเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซจากถ่านหินหรือเชื้อเพลิงเหลวที่ถูกทำให้ระเหยสามารถถูกปฏิรูปให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนภายในตัวเซลล์เชื้อเพลิง ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการสามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้ ระบบ SOFC สามารถใช้ร่วมกับก๊าซธรรมชาติ ดังนั้น SOFC จึงมีศักยภาพสูงในอนาคตอันใกล้

เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้สารเซรามิกเป็นอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสารที่ใช้มากคือ สารประกอบของเซอร์โคเนีย โดยให้ความร้อนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ $1,000^\circ\text{C}$ ไอออนออกซิเจนเคลื่อนที่จากแคโทดไปยังแอโนด แก๊สไฮโดรเจนซึ่งอยู่ที่หัวไฟฟ้าแอโนดทำปฏิกิริยากับไอออนออกซิเจนในน้ำและอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

การใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งสำหรับครัวเรือนขนาด 1 kW ของบริษัท Sulzer Hexis ที่จ่ายทั้งกระแสไฟฟ้าและน้ำร้อน หน่วยผลิตไฟฟ้าขนาด 220 kW ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งและเครื่องกังหันแก๊ส (micro turbine) ผลิตโดย Siemens Westinghouse ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) โดยได้ลงทุน

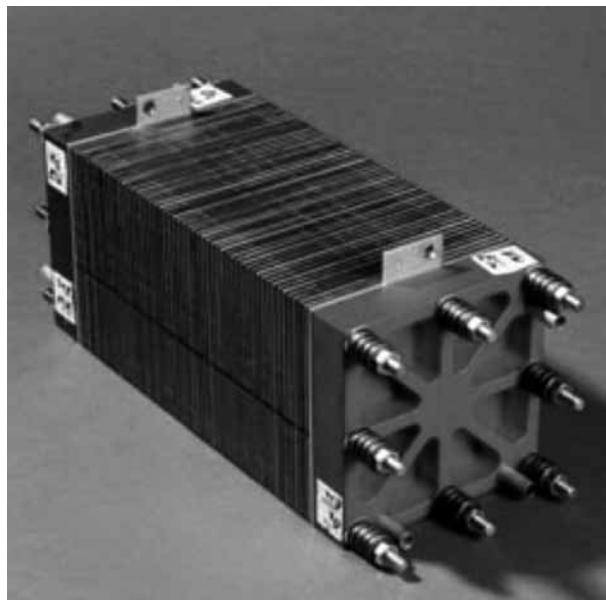
4. เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC) กรดฟอสฟอริกจะถูกใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ โดยที่กรดฟอสฟอริกถูกบรรจุในเมทริกซ์ของซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) ปฏิกิริยาในตัวกลางที่มีฤทธิ์เป็นกรด อุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้มีค่าอยู่ระหว่างในช่วง $170\text{--}200^\circ\text{C}$ ณ สภาวะอุณหภูมิดังกล่าว สารอิเล็กโทรไลต์จะมีความเสถียรซึ่งจะทำงานโดยสามารถใช้อากาศที่มีก๊าซ CO_2 อยู่ การที่เซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้มีสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิสูงปานกลาง จะช่วยลดความเป็นพิษของก๊าซ CO ที่มีผลต่อตัวคะตะลิสต์ลงจากการทดสอบพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PAFC นี้มีอายุ

การใช้งานได้นานถึง 40,000 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ามากกว่า 40% และใช้ไอน้ำที่ผลิตได้ 85% ในระบบผลิตความร้อนร่วม อุณหภูมิในการทำงานระหว่าง 300-400°F (150-200°C) ปัจจุบันมีขนาดใช้งานที่ 1 kW และ 1 MW นักวิจัยที่ Los Alamos National Laboratory ได้ศึกษาเพื่อนำไปพัฒนายานพาหนะไฟฟ้า มหาวิทยาลัย Georgetown พัฒนาเพื่อใช้ในรถประจำทางขนส่งซึ่งให้กำลังไฟฟ้า 50 kW และ 4 ปีต่อมาสามารถผลิตที่ให้กำลังไฟฟ้า 100 kW แต่ต้องอุ่นเครื่องก่อนใช้ ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้กับรถยนต์ส่วนบุคคล

5. เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cells, PEMFC) หรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์ของแข็ง (Solid Polymer Fuel Cell, SPFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จะใช้ซัลโฟเนทโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Sulphonated Polytetrafluoroethylene, Nafion) เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากเมมเบรนที่ใช้มีความหนาเพียงแค่ 50 μm ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้การสูญเสียแบบโอม (Ohmic losses) มีค่าลดลงและสามารถผลิตความหนาแน่นของกระแสที่สูงได้ ปฏิกริยาที่ขั้วอิเล็กโทรดจะเหมือนกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก อิเล็กโทรดเป็นธาตุคาร์บอนโดยมี Pt เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา ซึ่งจะประกบอยู่บนทั้งสองด้านของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการปฏิรูปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องไม่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพราะก๊าซดังกล่าวจะเป็นพิษต่อ Pt ความเป็นพิษดังกล่าวสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มปริมาณของอากาศเพียงเล็กน้อยเข้าไปที่ฝั่งของแอโนด หรือโดยการใช้โลหะผสมของ Pt กับโลหะอื่นๆ เพื่อเพิ่มความทนทานต่อความเป็นพิษแนวทางแก้ไข คือการใช้เมมเบรนบางๆ ที่ทำจากโลหะพาลลาเดียม (Palladium) หรือโลหะผสมระหว่างพาลลาเดียมกับเงิน ซึ่งเมมเบรนนี้ยอมให้ไฮโดรเจนแพร่ผ่านแต่ไม่ยอมให้ก๊าซอื่นผ่าน อุณหภูมิในการทำงานของ SPFC ประมาณ 175°F (80°C) ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้กำลังการผลิตไฟฟ้าระหว่าง 50-250 kW.

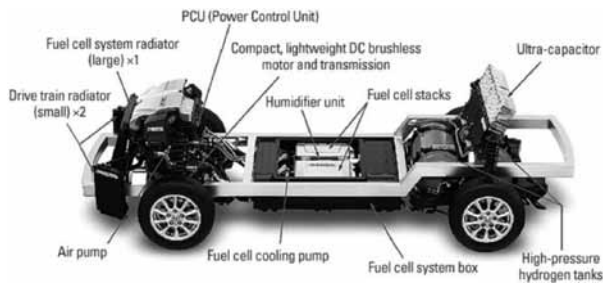
อภิปรายผล

จากการที่เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิด และขึ้นอยู่กับตัวอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ จะเห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM (Polymer Electrolyte Membrane หรือ Proton Exchange Membrane) ซึ่งมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา จะนิยมใช้งานกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต เพราะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และง่ายในการสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น ทั้งนี้ระบบดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับรถยนต์ทั่วไปที่มีขนาดใหญ่ รถไฟ หรืออื่นๆ ได้เป็นอย่างดี เพียงแต่ต้องมีการขยายสเกลของอุปกรณ์ให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นตามลักษณะของการใช้งาน ดังรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 kW และรูปที่ 3 แสดงรถยนต์ต้นแบบของ Honda ที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 100 kW ดังนั้นในอนาคตปั๊มน้ำมันจะถูกแทนที่ด้วยปั๊มไฮโดรเจนดังแสดงในรูปที่ 4 จากการทดลองพบว่ารถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงของ Honda มีประสิทธิภาพสูงมากถึง 60 % เมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพแค่ 18% ดังแสดงในรูปที่ 5



ภาพ 2 เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 kW

ที่มา. จาก “เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 kW” โดย fctec.com, 2556 ค้นจาก http://www.fctec.com/fctec_types_afc.asp



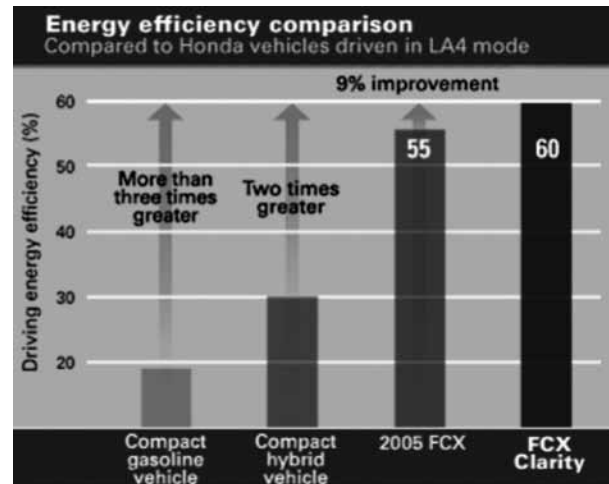
ภาพ 3 รถยนต์ต้นแบบของ Honda ที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 10 kW

ที่มา. จาก “รถยนต์ต้นแบบของ Honda ที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 10 kW” โดย Honda, 2556 ค้นจาก http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Nenryo-denchi_jidosha_Honda_FCX_1999.jpg



ภาพ 4 ปัมไฮโดรเจนจะแทนที่ปัมน้ำมันในอนาคตอันใกล้

ที่มา. จาก “เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 kW” โดย fctec.com, 2556 ค้นจาก http://www.fctec.com/fctec_types_afc.asp



ภาพ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของรถยนต์ Honda ที่ขับเคลื่อนระบบก๊าซไฮบริดด้วยแบตเตอรี่ และเซลล์เชื้อเพลิง (2005 FCX และ FCX Clarity)

ที่มา. จาก “รถยนต์ต้นแบบของ Honda ที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 10 kW” โดย Honda, 2013 ค้นจาก http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Nenryo-denchi_jidosha_Honda_FCX_1999.jpg

การศึกษาวิจัยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ในประเทศไทย ได้มีการดำเนินงานมาตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ.2543 โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (Chailorm, Nirunsin & Vilaithong, 2003) โดยได้ทำการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM โดยศึกษาหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมและวัสดุที่นำมาใช้ทำ gas flow field จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีงานวิจัยเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงดีฟิมพีพื้นฐานข้อมูล Scopus ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2543 งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นทางด้านวิศวกรรมเคมี โดยมีการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงทั้งชนิด PEM และ SOFC ต่อมาในปี พ.ศ.2549 นักวิจัย

ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้ร่วมกับนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยหลายแห่ง เช่น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม และมหาวิทยาลัยมหิดล ได้ทำการวิจัยร่วมกันอย่างต่อเนื่องเป็นเวลากว่า 4 ปี เพื่อพัฒนาเกี่ยวกับระบบประกอบห่อเซลล์ การจัดการทางความร้อนและไฟฟ้า สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นชนิด SOFC ขนาด 1 kW

กระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เริ่มต้นศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาการใช้ไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 โดยได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์พลังงานไฮโดรเจนและเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง กำหนดวิสัยทัศน์ว่า พลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาด มีความยืดหยุ่น ผลิตได้จากแหล่งทรัพยากรที่มีอยู่มากมายในประเทศ โดยมีการใช้อย่างปลอดภัยในทุกสาขาเศรษฐกิจ และครอบคลุมทั่วประเทศภายในปี พ.ศ. 2573 และได้ดำเนินโครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์เพื่อตอบสนองยุทธศาสตร์ได้แก่ โครงการพัฒนาสาริตเซลล์เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2548 และในปี พ.ศ. 2549 ได้ดำเนินงานโครงการพัฒนาสาริตการใช้ PEMFC ในรถยนต์สามล้อ โครงการพัฒนาสาริตการผลิตและการจัดเก็บไฮโดรเจน และโครงการพัฒนาและสาริตการผลิตไฮโดรเจนจากขบวนการความร้อนเคมี (กระทรวงพลังงาน, 2552)

ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงมาอย่างยาวนานและต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยได้ร่วมกับสถาบันวิศวกรรมศาสตร์ชั้นสูงแห่งชาติ ณ ลอแรน (Institut National Polytechnique de Lorraine, INPL) ประเทศฝรั่งเศส ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าและระบบจัดการพลังงานที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงในการส่งผ่านไปยังโหลดไฟฟ้า

เช่น มอเตอร์ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยศูนย์วิจัยมีงานตีพิมพ์อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ที่สามารถนำมาทดแทนพลังงานด้านปิโตรเลียมที่นับวันจะหมดไปจากโลก สำหรับใช้ในด้านการขนส่ง ถึงแม้ว่าปัจจุบันจะมีราคาค่อนข้างสูง แต่ถ้ามีความต้องการมากขึ้นจะทำให้ราคาถูกลงได้เนื่องจากผลิตในปริมาณมาก แต่เซลล์เชื้อเพลิงที่ให้พลังงานโดยก๊าซไฮโดรเจนและแอลกอฮอล์ที่ได้จากแหล่งพลังงานทดแทนนั้น ให้พลังงานไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางเคมีที่ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อย หรือไม่ผลิตก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์เลย อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก แต่ในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในโรงงานขนาดใหญ่ นั้นยังต้องอาศัยวิทยาศาสตร์และเทคนิคแขนงต่างๆ ในการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานรวมถึงการแก้ไขปัญหาอายุการใช้งานที่สั้นของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ ถึงแม้จะมีการนำระบบแบบเซลล์เชื้อเพลิงด้านพลังงานไฟฟ้าและความร้อนไปใช้งานเพิ่มขึ้นสำหรับแหล่งพลังงานพกพา แหล่งพลังงานยานยนต์ และแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ ก็น่า

ในประเทศไทยมีการศึกษาและวิจัยเซลล์เชื้อเพลิงกันน้อยมาก แต่มีการวิจัยและนำไปใช้งานหลายปีมาแล้วที่ต่างประเทศ ในแถบยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น หรือเกาหลี หลายๆ แห่งได้สาริตการนำเซลล์เชื้อเพลิงไปใช้งานในรถยนต์ หรือในโรงไฟฟ้า เช่น ปี ค.ศ. 1966 General Motor ได้ผลิตรถตู้เรียก Electrovan ปี 1995 Ballard ได้ผลิต Fuel Cell Bus ยาว 12 เมตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริษัท Honda ได้ผลิตรถยนต์ 4 ประตู 4 ที่นั่ง (Fuel Cell eXperimental, FCX) ในปี ค.ศ. 1999 รวมทั้ง Toyota ได้สร้างรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบที่มีเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM เป็นแหล่งพลังงานหลัก ซึ่งสามารถทำงานได้ดี ในอนาคตข้างหน้าเซลล์เชื้อเพลิงอาจจะถูกนำไปใช้งานจริงมากขึ้น และทำให้ราคาถูกลงอีก



ภาพ 6 รถยนต์ Honda ชนิด FCX

ที่มา. จาก “รถยนต์ต้นแบบของ Honda ที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 10 kW” โดย Honda, 2556 ค้นจาก http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Nenryo-denchi_jidosha_Honda_FCX_1999.jpg

การมองหาแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงเหลวและก๊าซธรรมชาติที่จะหมดไปจากโลกในระยะเวลายาวไกลนี้ เซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงนั้น จะไม่มีวันหมดไปจากโลก เพราะก๊าซไฮโดรเจนสามารถสร้างขึ้นได้โดยใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนต่างๆ ไปแยกโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ออกเป็นก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และออกซิเจน ($\frac{1}{2}O_2$) จากนั้นเมื่อก๊าซทั้งสองผ่านการทำปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิงแล้ว ก๊าซทั้งสองจะรวมตัวกันเป็นน้ำบริสุทธิ์เช่นเดิมและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ไฮโดรเจนจึงไม่เพียงแต่ทำให้เราประหยัดเท่านั้น แต่ยังช่วยลดภาวะโลกร้อน ทำให้โลกน่าอยู่มากขึ้นและไร้มลพิษเผาไหม้จากเชื้อเพลิงจากการขับเคลื่อนด้วย

สรุป

ประเทศไทยเป็นประเทศที่พึ่งพาการนำเข้าพลังงานจำนวนมาก ทำให้ขาดความมั่นคงด้านพลังงาน ความพยายามในการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนจากแหล่งพลังงานในประเทศจึงเป็นความจำเป็นที่สำคัญและเร่งด่วน ภาวะโลกร้อนอันเกิดจากสภาวะเรือนกระจกทำให้สภาวะอากาศเปลี่ยนไปและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย เซลล์เชื้อเพลิงมีจุดแข็งในหลายด้าน และนับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในอนาคตซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ได้หลากหลาย เช่น รถยนต์ เครื่องผลิตไฟฟ้าภายในบ้าน แหล่งพลังงานพกพา และแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็ได้จากการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงที่ก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว คาดว่าในอนาคตอันใกล้ เซลล์เชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงเพียงพอที่จะทดแทนโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เรียบเรียงบทความขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปฏิพัทธ์ ทวนทอง และอาจารย์วัฒนา แก้วมณี ที่ได้ให้ข้อมูลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการจัดทำบทความนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2551). *แผนพลังงานทดแทน 15 ปี*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- กระทรวงพลังงาน. (2552). *ยุทธศาสตร์พลังงาน สำนักรับนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน.
- Abmann, D., Laumanns, U. & Uh, D. (2006). *Renewable energy: A global review of technologies, policies and market*. London: Earth scan.
- British Petroleum. (2009). Other fuel. *BP Statistical Review of World Energy 2009*. London: US Securities and Exchange Commission.
- Chailorm, K., Nirunsin, S. & Vilaithong, T. (2003). PEM fuel cell investigation at Chiang Mai university Thailand. *International Energy Journal*, 4(2), 119-127.
- Fctec.com. (2013). *Alternative energy/hydrogen*. Retrieved from http://www.energy.go.th/moen/upload/File/AlternativeEnergy/Hydrogen/6_7.pdf
- Graham Weaver. (2010). *History of PEM fuel cell*. World Fuel Cells: An Industry Profile with Market Prospects to 2010.
- Gregor Hoogers. (2003). *Fuel cell technology handbook*. Washington, DC: CRC Press.
- Honda. (2013). *Nenryo*. Retrieved from http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Nenryodenchi_jidosha_Honda_FCX_1999.jpg
- REN21. (2009). *Renewable Global Status Report: 2009 Update*. Paris: REN21 Secretariat.
- Thounthong, P., Davat, B. Raël, S. & Sethakul, P. (2009). Fuel Cell High-Power Applications. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 3(1), 32-46.
- Thounthong, P., Davat, B. Raël, S. & Sethakul, P. (2009). Fuel cell high-power applications. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 15(4), 52-59.
- Thounthong, P., Chunkag, V., Sethakul, P., Davat, B. & Hinaje, M. (2009). Comparative study of fuel-cell vehicle hybridization with battery or super capacitor storage device. *IEEE transactions on vehicular technology*, 58(8), 3892-3904.

