การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบใหม่ขนาดพกพา
Development of the Novel Portable Solid Oxide Fuel Cells

สุธิดา หมาดโต๊ะซ๊ะ[1*] มนตรี สุขเลื่อง[2] และวรรณทกาญจน์ ทองคง[3]
Sutida Marthosa[1*], Montri Suklueng[2] and Wontakan Thongkong[3]

บทคัดย่อ

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกที่มีศักยภาพในการแก้ปัญหาพลังงานขาดแคลนในอนาคต เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งสามารถใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงได้ และไม่จำเป็นต้องใช้แพลตตินัมที่ราคาแพงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงได้ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพกพาถูกพัฒนาขึ้นเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดต่ำกว่า 1 kW นักวิจัยได้ผลิตเซลล์ที่ให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงถึง 348 mW cm^{-2} และพบว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิในการทำงานชนิดของเชื้อเพลิง (มีเทน/อากาศ โพรเพน/อากาศและ บิวเทน/อากาศ) แทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามากนักเมื่อเทียบกับอิทธิพลของอุณหภูมิ

คำสำคัญ: เซลล์เชื้อเพลิง ไฮโดรเจน แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบพกพา

Abstract

Fuel cell is an important alternative technology which is capable of overcoming energy shortage problem in the future. Solid oxide fuel cells use the abundant natural gas as fuel and they can be operated without the need of the expensive noble metal catalyst such as platinum; reducing the operating cost. The portable solid oxide fuel cells have been developed to produce power in a scale less than 1 kW. Researchers have produced the fuel cell stack with the peak power density of 348 mW cm^{-2}. The power density was proportionally related to the operating temperature. There was an insignificant influence of the fuels (methane/air, propane/air and butane/air) on the portable solid oxide fuel cells performance, in comparison to the influence of the operating temperature.

Keywords: Fuel Cells, Hydrogen, Portable Solid Oxide Fuel Cells

---

[1] อ.ดร., สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สุราษฎร์ธานี 84000

[2] อ.ดร., สถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (PERIN) วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90110

[3] นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สุราษฎร์ธานี 84000

[1] Dr., Department of Industrial Management Technology, Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani, 84000

[2] Dr., PSU Energy System Research Institute (PERIN), Prince of Songkla University, Hatyai Campus, Songkhla, 90110

[3] Student, Department of Industrial Management Technology, Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani, 84000

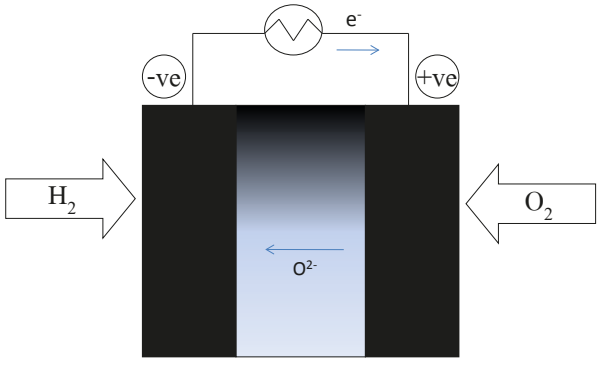
[*] Corresponding author: E-mail address:sutida.m@psu.ac.th

บทนำ

การพัฒนาพลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทนเป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาในอนาคต หนึ่งในแนวทางของการแก้ไขปัญหาพลังงานที่กำลังจะหมดลงคือ การใช้พลังงานทางเลือกชนิดต่างๆ อาทิ พลังงานจากชีวภาพ (Biomass) พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) และในขณะนี้แหล่งพลังงานใหม่ที่สำคัญและมีการค้นคว้าเป็นอย่างมากในกลุ่มนักวิจัย คือแหล่งพลังงานไฮโดรเจนเพื่อผลิตไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงนี้จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น [1] เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) เป็นเซลล์เคมีไฟฟ้าซึ่งผลิตไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิง (Fuel) กับสารออกซิแดนท์ (Oxidant) โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ [2] ดังนั้นประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจึงไม่ถูกกำหนดด้วยข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของวัฏจักรคาร์นอต (Carnot Efficiency Limit) เซลล์เชื้อเพลิงให้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและไม่ผลิตมลพิษ อาทิเช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงไม่ก่อมลภาวะทางอากาศ (ควัน) ผลิตภัณฑ์อย่างเดียวที่เกิดจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงคือน้ำ เซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยประสิทธิภาพสูงมากกว่า 50% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน เซลล์เชื้อเพลิงมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับแบตเตอรี่ แต่แบตเตอรี่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตลอดเวลาถ้าประจุในการทำปฏิกิริยาหมด ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตลอดเวลาตราบใดที่มีการเติมเชื้อเพลิงและออกซิเจนให้กับเซลล์ ด้วยคุณสมบัตินี้เซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่ตอบสนองต่อยุทธศาสตร์การวิจัยด้านแหล่งจัดเก็บพลังงาน (Energy Storage) ได้เป็นอย่างดี

เซลล์เชื้อเพลิง

ส่วนประกอบพื้นฐานภายในเซลล์เชื้อเพลิงจะประกอบไปด้วยชั้นของวัสดุอิเลคโทรไลท์ (Electrolyte) อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode) ทั้งสองนั่นคือขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความพรุน เชื้อเพลิงเช่น แก๊สไฮโดรเจน จะถูกส่งเข้าไปยังแอโนดและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปล่อยอิเล็กตรอนออกสู่วงจรภายนอกเซลล์ ในขณะที่สารออกซิแดนท์ เช่น ออกซิเจน หรือ อากาศ จะถูกส่งเข้าไปยังแคโทดและรับอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากวงจรภายนอกทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน กระแสไฟฟ้าตรงเกิดขึ้นจากการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วแอโนดไปยังแคโทด นอกจากนี้ยังมีความร้อนเกิดขึ้นด้วย (ภาพที่ 1) ส่วนอิเลคโทรไลท์จะมีหน้าที่หลักคือเป็นตัวนำพาไอออนผ่านระหว่างอิเลคโทรดทั้งสองแต่จะไม่เป็นตัวนำอิเล็กตรอน [3]



ภาพที่ 1 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง

หลักการทำงานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง ที่ขั้วแอโนด ไฮโดรเจนทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไอออนของออกซิเจนเพื่อผลิตน้ำกับอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนเดินทางผ่านวงจรไฟฟ้าไปยังขั้วแคโทด ปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทดใช้ออกซิเจนกับอิเล็กตรอนเพื่อผลิตไอออนของออกซิเจนซึ่งเดินทางผ่านชั้นอิเลคโทรไลท์ไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนด ปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็งแสดงได้ดังนี้ [3]

ขั้วแอโนด: $H_2 + 2O^{2-} \leftrightarrow H_2O + 4e^-$ ..... (1)

ขั้วแคโทด: $O_2 + 4e^- \leftrightarrow 2O^{2-}$ ..... (2)

ภาพรวม: $H_2 + O_2 \leftrightarrow H_2O$ ..... (3)

การแบ่งชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถแบ่งได้โดยพิจารณาจากอุณหภูมิที่เซลล์ทำงานรวมถึงชนิดและธรรมชาติของอิเลคโทรไลท์ที่ใช้ ปัจจุบันมีการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อใช้ในงานที่แตกต่างกันหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็มีการใช้สารเคมีที่ต่างกันด้วยเซลล์เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภทดังนี้ [2-6]

1. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cells) ใช้แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงและออกซิแดนท์ตามลำดับ โดยทั่วไปเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าทำด้วยแพลตตินัมซึ่งมีราคาสูงมาก และใช้สารแอลคาไลน์เช่นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารอิเลคโทรไลท์เซลล์ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 50 - 200 °C

2. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว (Molten Carbonate Fuel cells) ใช้แก๊สไฮโดรเจน (อาจจะผสมคาร์บอนมอนนอกไซด์และมีเทน) เป็นเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนหรืออากาศเป็นออกซิแดนท์เกลือคาร์บอเนตที่นิยมใช้เป็นสารอิเลคโทรไลท์ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนตตัวเร่งปฏิกิริยามักใช้โลหะนิกเกิลเป็นส่วนใหญ่อุณหภูมิขณะทำงานของเซลล์สูงกว่าจุดหลอมเหลวของสารอิเลคโทรไลท์คือประมาณ 650 °C

3. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cells) ใช้แก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนเป็นออกซิแดนท์เซลล์ชนิดนี้ใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีแพลตตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแพร่กระจายอยู่บนกระดาษคาร์บอนและใช้กรดฟอสฟอริกในชั้นซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นสารอิเลคโทรไลท์อุณหภูมิขณะทำงานอยู่ที่ประมาณ 220 °C

4. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) ใช้แก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนเป็นออกซิแดนท์อิเลคโทรไลท์อยู่ในรูปของแผ่นเยื่อบางๆ ที่ไอออนสามารถซึมผ่านได้ นิยมทำจากพอลิเมอร์ชนิดฟลูออโรซัลโฟเนต (Fluorosulfonate polymers) เช่น Nafion® ในสารละลายกรดตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันมากคือ แพลตตินัม อุณหภูมิขณะทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงอยู่ที่ประมาณ 30-100 °C

5. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดใช้เมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cells) ใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนหรืออากาศเป็นออกซิแดนท์เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นชั้นอิเลคโทรไลท์แต่แผ่นเยื่อด้านแอโนดต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นที่นอกเหนือจากแพลตตินัม เช่นนิกเกิล

6. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดใช้เอทานอลโดยตรง (Direct Ethanol Fuel Cells) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการพัฒนาล่าสุด ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนเป็นออกซิแดนท์ ทำงานที่ 70 – 100 °C และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ส่วนใหญ่เป็น แพลตตินัม หรือ แพลตตินัมผสมดีบุก [6-8]

7. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cells) ใช้แก๊สไฮโดรเจน (อาจจะผสมคาร์บอนมอนนอกไซด์และมีเทน) เป็นเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนหรืออากาศเป็นออกซิแดนท์สารอิเลคโทรไลท์แข็งเป็นเซรามิคทนความร้อนสูง ที่ทำจากสารประกอบโลหะออกไซด์เช่น แบเรียมออกไซด์ (Barium Oxide) หรือเซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium Oxide) โดยแคโทดนิยมทำด้วยโลหะสารประกอบของแลนทานัมแมงกาเนต (Lanthanum manganate) เช่นLa-Ni-Fe ออกไซด์ (LNF) ส่วนแอโนดทำด้วยโลหะ นิกเกิล-เซอร์โคเนีย (Nickel-Zirconia)

ขั้วไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเซลล์ต้องสามารถทนความร้อนสูงได้ดีเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิสูง 500 –1,000 °C เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งสามารถใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ไม่บริสุทธิ์ได้จึงสามารถใช้แก๊สธรรมชาติ เอทานอล เมทานอล ที่ราคาไม่แพงเป็นเชื้อเพลิงได้ และไม่จำเป็นต้องใช้แพลตตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ลดต้นทุนของเซลล์เชื้อเพลิงลง ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งได้รับความนิยม เอามาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูง ถึง 60 - 70% เนื่องจากความร้อนในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง (500 –1,000 °C) สามารถผลิตไอน้ำแรงดันสูงเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงงานได้ [9]ในอดีตนั้น เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งไม่ได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ส่วนบุคคลหรือในครัวเรือนขนาดเล็ก เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งต้องทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 500 – 1,000 °C แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาเซลล์ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่อุณหภูมิปานกลาง (300 - 400 °C) ขนาดเล็กลง และสามารถเคลื่อนย้ายได้ การพัฒนาของเซลล์เชื้อเพลิงแบบใหม่ที่เรียกว่าแบบพกพาจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

วัสดุสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง

โลหะและคาร์บอนเช่น แกรไฟต์ แพลตตินัม โคบอล เหล็ก และนิกเกิล มักจะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับขั้วอิเลคโทรด เนื่องจากราคาถูกและมีความเสถียรในการเกิดปฏิกิริยาทั้งไฮโดรเจนออกซิเดชันและออกซิเจนรีดักชัน ในปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงหลายชนิด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

วัสดุสำหรับแอโนด

นิกเกิลนิยมนำมาใช้เป็นขั้วแอโนดมานานแต่เนื่องจากนิกเกิลขยายตัวเมื่อโดนความร้อนในอัตราที่แตกต่างกับสารที่นิยมนำมาใช้เป็นอิเลคโทรไลท์ เช่น Yttria-Stabilized Zirconia (YSZ) มากเกินไป จึงก่อให้เกิดรอยร้าวระหว่างชั้นของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ นิกเกิลจึงถูกทดแทน กลุ่มสารชนิดใหม่ที่นิยมมักจะเป็นสารผสมระหว่างโลหะและเซรามิค (Cermet) เช่น Ni/Yttria-Stabilized Zirconia [10-11] หรือ สารออกไซด์ของโลหะ เช่น cerium oxide [12] ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดีและทำงานร่วมกับ Yttria-Stabilized Zirconia ได้ดีกว่าโลหะบริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาวัสดุแอโนดที่ทนทานการกัดกร่อนของสารซัลเฟอร์ในแหล่งไฮโดรเจนตามธรรมชาติเช่น สารเพอรอฟสไกท์ $Sr_{(1-x)}La_xTiO_3$ โดย x = 0.3-0.4 [13]

วัสดุสำหรับแคโทด

วัสดุแคโทดต้องนำไฟฟ้าได้ดีมีค่าการขยายตัวทางความร้อนใกล้เคียงกับสารอิเลคโทรไลท์ สามารถนำไอออนของออกซิเจนได้ดี และมีรูพรุนเพียงพอสำหรับการไหลผ่านของแก๊สออกซิเจน [14-15] ตัวอย่างสารที่นิยมนำมาใช้ได้แก่สารประกอบออกไซด์ของ แลนทานัม (Lanthanum) กาโดลิเนียม (Gadolinium) สตรอนเทียม (Strontium) และยิทเทรีย (Yttria) สารประกอบที่ได้รับความนิยมใช้อย่างกว้างขวางในการวิจัยคือสารเพอรอฟสไกท์ของ $La_{(1-x)}Sr_xMnO_{(3-\delta)}$ หรือ LSM [16]

วัสดุสำหรับอิเลคโทรไลท์

ชั้นอิเลคโทรไลท์ที่ดีต้องสามารถนำไอออนออกซิเจนจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดได้ผ่านกลไก Oxygen Vacancy Hopping ซึ่งใช้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยา และสารที่นำมาใช้จะต้องมีความแข็งแรงเชิงกลและความเสถียรต่อปฏิกิริยาเคมีในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1,000 °C จากการทบทวนงานวิจัยพบว่าวัสดุสำหรับอิเลคโทรไลท์แบ่งออกเป็นสารประกอบที่ใช้ สารกลุ่มเซอโคเนีย (Zirconia) กลุ่มซีเรีย (Ceria) และกลุ่มแลนทานัม (Lanthanum) เป็นสารประกอบหลัก ตัวอย่างของสารกลุ่มเซอโคเนีย ได้แก่ Yttria-Stabilized Zirconia ตัวอย่างของสารกลุ่มซีเรียได้แก่ Gadolinium Doped Ceria หรือ Samaria Doped Ceria ตัวอย่างของสารกลุ่มแลนทานัม ได้แก่ Lanthanum Strontium Gallium Magnesium [17]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงขนาดใหญ่

ในปี พ.ศ. 2549 ดร.ภาวดี อังค์วัฒนะ และคณะวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ได้ศึกษาและทำการวิจัยทางด้านเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนของประเทศไทย โครงการวิจัยและพัฒนาหน่วยต้นแบบ 1-3 kW ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในบ้านและชุมชน (1-3 kW Tubular SOFC Stack for Household Distributed Generator) โดยมีเป้าหมายหลัก เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 3 kW [18]

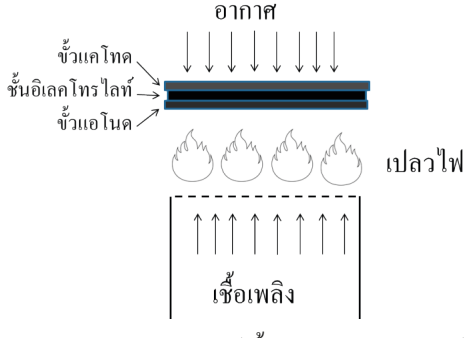
ตั้งแต่ปีพ.ศ.2537 กองทัพไทยโดยกรมการพลังงานทหาร ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงแบบ Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) ผลการศึกษาได้สร้างระบบทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล ทำให้ทราบถึงกลไกการทำงาน ต่อมาในระหว่างปี พ.ศ.2546 - 2547 ได้ดำเนินการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEMFCs ขนาดกำลังไฟฟ้า 50 W และสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า และในปี พ.ศ.2551 ได้ร่วมมือกับหน่วยงานจาก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ขนาด 1kW [19]

ในปี พ.ศ. 2535 พลากร พรหมเมศร์ [20] ระบุว่าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ร่วมมือกับองค์การเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีด้านอุตสาหกรรมและพลังงานใหม่ (New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO) ประเทศญี่ปุ่น ในโครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยติดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริกขนาด 50 kW ที่บริเวณโรงไฟฟ้าบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นการทดลองและศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน และได้เริ่มผลิตไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบตั้งแต่นั้นมา

นอกจากการผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ (1 – 50 kW) แล้วในปี พ.ศ. 2559 บริษัทพลังงานระดับใหญ่อย่างเช่น Ballard ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง (SOFCs) ขนาดเล็กเพื่อผลิตไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 1kW โดยระบบ SOFCs ที่ผลิตจะเป็นแบบท่อ เนื่องจากเซลล์แบบท่อจะมีความแข็งแรงมากกว่าแบบแผ่น สามารถทนความร้อนได้ดีเมื่อนำเข้าไปประกอบร่วมกับส่วนอื่นๆ ของระบบที่อุณหภูมิสูง และโครงสร้างแบบท่อยังสามารถทนความเครียดเชิงกลได้ดีกว่าอีกด้วย [21] ระบบ SOFC แบบพกพาของบริษัท Ballard สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 100-1000 W.

งานวิจัยของการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบพกพา

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบพกพาได้รับการพัฒนาเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าร่วมกับการผลิตความร้อน มีรูปแบบโครงสร้างไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เตาเผาเชื้อเพลิงเช่นแก๊สปิโตรเลียมเหลวชนิดต่างๆ มักถูกนำมาใช้ โดยการเผาแก๊สจะผลิตไฮโดรเจนและสารประกอบอื่นๆที่จะถูกส่งไปยังขั้วแอโนด ในขณะที่ขั้วแคโทดสัมผัสกับอากาศและมีชั้นอิเลคโทรไลท์กั้นระหว่างทั้งสองขั้ว หลักการทำงานปรากฏในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบพกพา

งานวิจัยในอดีตนิยมใช้ขดลวดความร้อนเพื่อสร้างความร้อนให้เหมาะกับการทำงานของวัสดุ จึงต้องใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ร่วมกับเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง แต่แหล่งจ่ายพลังงานแบบพกพาที่ได้รับการวิจัยในปัจจุบันมีรูปแบบคล้ายกับภาพที่ 2 โดยจะใช้เพียงเปลวไฟจากเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเซลล์เพื่อทำงานเท่านั้น จะเห็นได้ว่าการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบพกพาในปัจจุบันใช้ความร้อนน้อยกว่าจึงให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่ารูปแบบเดิมในอดีต

Wang และ Sun [22] สร้างระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ใช้แก๊สบิวเทนเป็นแหล่งเชื้อเพลิงโดยตรง เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ Ni/YSZ เป็นแอโนด จำนวน 3 เซลล์ต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน ระบบดังกล่าวสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 0.24 W และให้ความต่างศักย์ที่วงจรเปิดเท่ากับ 2.1V เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

Kronemayer และ Barzan [23] ผลิตชุดเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบแบน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร ใช้นิกเกิลเป็นแอโนด ใช้ cobaltite เป็นแคโทด และใช้ samaria-doped ceria เป็นอิเลคโทรไลท์ การทดลองใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิด ได้แก่ มีเทน/อากาศ โพรเพน/อากาศและบิวเทน/อากาศ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง ให้วงจรไฟฟ้าความต่างศักดิ์ที่วงจรเปิดเท่ากับ 0.8–0.9V ซึ่งเป็นค่าปกติสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเลคโทรไลท์ที่นำไอออนและอิเล็กตรอน [24-25] กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.16 W ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Peak Power Density) สูงถึง 120 $mWcm^{-2}$ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของเซลล์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและชนิดของเชื้อเพลิงด้วยค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะสูงขึ้นจาก 10 $mWcm^{-2}$ ไปเป็น 120 $mWcm^{-2}$ เมื่ออุณหภูมิในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจาก 300 °C เป็น 600 °C เนื่องจากเซลล์สามารถนำไอออนและอิเล็กตรอนได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูง ชนิดของเชื้อเพลิง (มีเทน โพรเพนและบิวเทน) แทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในระบบนี้มากนักเมื่อเทียบกับอิทธิพลของอุณหภูมิ เนื่องจากสารที่ได้หลังการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทุกชนิดเช่น ไฮโดรเจน น้ำ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ที่เข้าถึงบริเวณขั้วแอโนดนั้นมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ดังนั้นนักวิจัยจึงเชื่อว่าการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบพกพา ควรพัฒนาด้านฉนวนกันความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำงานและปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์

นอกจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงแล้ว นักวิจัยยังสนใจการผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน (Combined Heat and Power Generation or CHP) อีกด้วย Zhu และ Wei [26] ติดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งในเตาที่ใช้แก๊สแอลพีจีหรือแก๊สหุงต้ม โดยชุด SOFCs ประกอบด้วย 4 เซลล์ แอโนดทำมาจาก $La_{0.75}Sr_{0.25}Cr_{0.5}Mn_{0.5}O_{3-\delta}$ (LSCM) ค่าความต่างศักดิ์ที่วงจรเปิดเท่ากับ 0.92 V และสามารถผลิตค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าได้มากถึง 348 $mWcm^{-2}$ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาที เพื่อเริ่มผลิตไฟฟ้าและสามารถทำงานได้แม้ในสภาวะที่ออกซิเจนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย Zhu และ Wei [26] กล่าวว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่แอโนดทำมาจาก $La_{0.75}Sr_{0.25}Cr_{0.5}Mn_{0.5}O_{3-\delta}$ (LSCM) ดีกว่าเซลล์ที่ใช้ Ni/Yttria-Stabilized Zirconia (Ni/YSZ) เป็นแอโนด เนื่องจากเซลล์ชนิดหลังมีเขม่าติดมากและใช้เวลานานในการเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้า

แนวทางในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็งแบบพกพาในอนาคต

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็งแบบพกพา จะเห็นได้ว่างานวิจัยในเบื้องต้นมุ่งเน้นที่การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงสร้างเซลล์ที่ทำงานในช่วงอุณหภูมิปานกลางได้และการทดสอบความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดโดยยังคงใช้วัสดุแบบเดียวกันกับเซลล์ที่ทำงานที่อุณหภูมิสูง แนวทางการพัฒนาในอนาคตคือการผลิตวัสดุเพื่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานได้ที่อุณหภูมิปานกลางและการออกแบบโครงสร้างเซลล์ให้ทำงานร่วมกับวัสดุชนิดใหม่ได้

สรุป

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cells, SOFCs) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เซรามิคเป็นวัสดุอิเลคโทรไลท์ ซึ่งมักใช้สารประกอบของ samaria-doped ceria นำไอออนที่อุณหภูมิสูง โดยการทำงานที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งสามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายประเภท โดยเฉพาะเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอน เช่น แก๊สธรรมชาติ เอทานอล และไม่จำเป็นต้องใช้แพลตตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเชื้อเพลิงชนิดนี้จะให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่สูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแหล่งอุตสาหกรรมได้ ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งได้ถูกนำมาใช้กับเชื้อเพลิงในครัวเรือนเช่น แก๊สแอลพีจี ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันอยู่ที่ ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงเท่า 348 $mW\ cm^{-2}$ และการพัฒนาในอนาคตสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งแบบพกพาควรเน้นที่การจัดการความร้อนที่สูญเสียระหว่างการทำงาน เนื่องจากประสิทธิภาพของเซลล์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำงานเป็นอย่างมากและการพัฒนาวัสดุเพื่อใช้ในการทำงานที่อุณหภูมิปานกลาง

เอกสารอ้างอิง

[1] Kulikovsky, A.A. (2010). **Chapter 1 - Fuel cell basis. Analytical Modelling of Fuel Cells**. Amsterdam: Elsevier.

[2] Larminie, J. and Dicks, A. (2000). **Fuel cell systems explained** (3rd Edition). United Kingdom: John Wiley.

[3] Marthosa, S. (2012). **Improvement of electrocatalyst performance in hydrogen fuel cells by multiscale modelling**. Doctoral thesis. University of Manchester.

[4] Kwanmuang, S., Praneenararat, T., Piang-ngok, A. and Limsookniran, W. (2016). **Fuel Cells: Energy for future**. Accessed by February 2016. From http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/97/fuelcell/fuel-cell.htm.

[5] Barbir, F. (2005). **PEM Fuel Cells Theory and Practice**. Elsevier Academic Press.

[6] Rousseau, S., Coutanceau, C., Lamy, C. and Léger, J.M. (2006). "Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC): Electrical performances and reaction products distribution under operating conditions with different platinum-based anodes", **Journal of Power Sources**. 158(1), 18-24.

[7] Antolini, E. (2007). "Catalysts for direct ethanol fuel cells", **Journal of Power Sources**. 170(1), 1-12.

[8] Zhou, W.J., Song, S.Q., Li, W.Z., Zhou, Z.H., Sun, G.Q., Xin, Q., Douvartzides, S. and Tsiakaras. P. (2005). "Direct ethanol fuel cells based on Pt/Sn anodes: the effect of Sn content on the fuel cell performance", **Journal of Power Sources**. 140(1), 50-58.

[9] Boonpasawai, S. (2005). **Fuel cell and application of fuel cells in 21st century**. Accessed by February 2016. From http://design.ipst.ac.th/docu/photo/D006.pdf.

[10] Spacil, H.S. (1970). Electrical device including nickel-containing stabilised zirconia electrode. **US Patent**.

[11] Boer, Bd., Gonzalez, M., Bouwmeester, H.J.M. and Verweij, H. (2000). "The effect of the presence of fine YSZ particles on the performance of porous nickel electrodes", **Solid State Ionics**. 127, 269 - 276.

[12] Costa-Nunes, O., Gorte, R.J. and Vohs, J.M. (2005). "Comparison of the performance of Cu–CeO_2–YSZ and Ni–YSZ composite SOFC anodes with H_2, CO and syngas", **Journal of Power Source**. 141, 241 - 249.

[13] Mukundan, R., Brosha, E.L. and Garzon, F.H. (2004). "Sulfur tolerant anodes for SOFCs", **Electrochemical Solid-State Letter**. 7, (A5 - A7).

[14] Kao, W-X., Lee, M-C., Chang, Y-C., Lin, T-N., Wang, C-H. and Chang, J-C. (2010). "Fabrication and evaluation of the electrochemical performance of the anode-supported solid oxide fuel cell with the composite cathode of $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_{3-}$ Gadolinia-doped ceria oxide/$La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$", **Journal of Power Source**. 195, 6468 - 6472.

[15] Veen, A.Cv., Rebeilleau, M., Farrusseng, D. and Mirodatos, C. (2003). "Studies on the performance stability of mixed conducting BSCFO membranes in medium temperature oxygen permeation", **Chemistry Communication**. 9, 32 – 33.

[16] Jiang, S.P. (2008). "Development of lanthanum strontium manganite perovskite cathode materials of solid oxide fuel cells: a review", **Journal of Material Science**. 43, (6799 – 6833).

[17] Wincewicz, K.C. and Cooper, J.S. (2005). "Taxonomies of SOFC material and manufacturing alternatives", **Journal of Power Source**. 140, 280 - 296.

[18] Timakul, P. and Aungkavattana, P. (2007). **Hydrogen and Fuel cells: New alternative energy for tomorrow**. Accessed by February 2016. From http://www.technologymedia.co.th/column/columnview.asp?id=202.

[19] Wongvaranon, K. (2013). **Fuel cell: Clean energy from hydrogen.** Accessed by January 2016. From http://www.dockyard.navy.mi.th/doced/Homepage/sontetset_files/varasan_dock56/18.pdf.

[20] Prommet, P. (2015). "The fuel cells alternative energy for the future", **Princess of Naradhiwas University Journal**. 7(2), 157-170.

[21] Protonex @ Ballard® company. (2016). **Solid Oxide Fuel Cell Technlogy**. Accessed by February 2016. From http://www.protonex.com/technology/solid-oxide-fuel-cell/.

[22] Wang, Y.G., Sun, L.L., Luo, L.H., Wu, Y.F., Liu L.L. and Shi, J.J. (2014). "The study of portable direct-flame solid oxide fuel cell (DF-SOFC) stack with butane fuel", **Journal of Fuel Chemistry and Technology**. 42(9), 1135-1139.

[23] Kronemayer, H., Barzan, D., Horiuchi, M., Suganuma, S., Tokutake, Y., Schulz, C. and Bessler, G. (2007). "A direct-flame solid oxide fuel cell (DFFC) operated on methane, propane and butane", **Journal of Power Sources**. 166(1), 120-126.

[24] Hao, Y., Shao, Z., Mederos, J., Lai, W., Goodwin, D.G. and Haile, S.M. (2006). "Recent advances in single-chamber fuel-cells: Experiment and modeling", **Solid State Ionics**. 177(19-25), 2013-2021.

[25] Gödickemeier, M. and Gauckler, L.J. (1998). "Engineering of solid oxide fuel cells with ceria-based electrolytes", **Journal of The Electrochemical Society**. 145(2), 414-421.

[26] Zhu, X., Wei, B., Lü, Z., Yang, L., Huang, X., Zhang, Y. and Liu, M. (2012). "A direct flame solid oxide fuel cell for potential combined heat and power generation", **International Journal of Hydrogen Energy**. 37(10), 8621-8629.