บทความวิชาการ

ไฮโดรเจน – แหล่งพลังงานแห่งอนาคต
Hydrogen as a Future Energy Source

ณาวดี ศรีศิริวัฒน์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 E-mail: navadee@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับปัญหาสภาวะโลกร้อน มลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล และราคาของพลังงานที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ระบบพลังงานยั่งยืนในอนาคตซึ่งอยู่บนพื้นฐานของพลังงานหมุนเวียนที่ไม่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมดังเช่นไฮโดรเจนจะมีความสำคัญอย่างยิ่ง การใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานแห่งอนาคตเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสร้างไฮโดรเจนอีคอนโนมี ซึ่งก็คือระบบเศรษฐกิจที่มีไฮโดรเจนเป็นตัวขับเคลื่อนแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิงเป็นหนทางสำคัญที่ถูกคาดหวังเป็นอย่างมากในการที่จะแก้ปัญหาด้านพลังงานในอนาคต เทคโนโลยีเหล่านี้จะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งทำให้เกิดความมั่นคงทางพลังงาน และการสร้างอุตสาหกรรมด้านพลังงานใหม่ บทความนี้จะกล่าวถึงมุมมองของไฮโดรเจนอีคอนโนมีซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของวงจรสะอาดและง่าย ประกอบด้วย การแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนโดยใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น แสงอาทิตย์ การจัดเก็บและขนส่ง และการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและมีน้ำเป็นผลพลอยได้โดยปราศจากซึ่งมลพิษ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นละออง บทความนี้ยังนำเสนอเทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจน การจัดเก็บและการขนส่ง หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงและการประยุกต์ใช้งาน ภายใต้ขอบเขตของวิสัยทัศน์พลังงานที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: ไฮโดรเจน พลังงานหมุนเวียน เซลล์เชื้อเพลิง

Abstract

Nowadays, the world confronts many serious problems about greenhouse gas emission and atmospheric pollution from the direct fossil fuel combustion and continuously increasing energy prices. In a future sustainable energy system based on renewable energy, environmentally harmless energy carriers like hydrogen, will be vital importance. The use of hydrogen as a future energy source is a way to support the hydrogen economy instead of fossil fuel economy. Hydrogen and fuel cell are now extensively expected as one of the key energy solutions in the future. These technologies will contribute considerably to depletion in environmental problems, enhanced energy security, creation of new energy industries. This paper describes the vision for hydrogen economy based on a clean and simple cycle: separate water into hydrogen and oxygen using renewable energy such as solar; storage and distribute; use hydrogen to power a fuel cell to produce electrical energy and water. This process produces no pollution, no carbon dioxide and no particles. This paper also presents technologies of hydrogen production, hydrogen storage and distribution, and fuel cell operation and application within a sustainable energy vision.

Keywords: hydrogen, renewable energy, fuel cell

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของทุกคน และเป็นปัจจัยพื้นฐานสำหรับการผลิตทั้งในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม พลังงานที่เราใช้มากที่สุดในปัจจุบันก็คือเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานใช้หมดหรือพลังงานสิ้นเปลือง อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางอากาศและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [1] ซึ่งก่อให้เกิดวิกฤตการณ์ภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน นอกจากนี้ปัญหาความขาดแคลนพลังงานและราคาพลังงานที่สูงขึ้นทุกวัน ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานอื่นเพื่อมาทดแทนหรือใช้ควบคู่กับแหล่งพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานทางเลือกนี้ควรลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกอันเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อน แสงอาทิตย์ ลม และชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่หลายคนรู้จักและเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่แหล่งพลังงานเหล่านี้มีข้อจำกัดด้านพื้นที่การใช้งาน ขาดความต่อเนื่องในการใช้งาน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ยกตัวอย่างเช่นการติดตั้งกังหันลมต้องการพื้นที่ที่มีลมแรงและมีลมสม่ำเสมอ ดังนั้นไฮโดรเจนจึงเปรียบเสมือนตัวกักเก็บพลังงานในอุดมคติที่สนับสนุนการพัฒนาด้านพลังงานอย่างยั่งยืน [2] จึงกล่าวได้ว่าไฮโดรเจนเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ที่ได้รับความสนใจกับการเป็นพลังงานในอนาคต เนื่องจากสามารถผลิตจากแหล่งพลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้และไม่หมดไป เช่น น้ำ ชีวมวล และแสงอาทิตย์ เป็นต้น จึงก่อให้เกิดการพัฒนาด้านพลังงานไฮโดรเจนอย่างยั่งยืน ไฮโดรเจนถูกนำไปใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งประยุกต์ใช้กับทั้งยานพาหนะและโรงไฟฟ้า โดยเซลล์เชื้อเพลิงเปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิง (ไฮโดรเจน) และ ออกซิเจน (ออกซิเจนบริสุทธิ์หรือออกซิเจนจากอากาศก็ได้) เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้คือไฟฟ้าและน้ำ ซึ่งต่างจากเชื้อเพลิงอื่นที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือแม้แต่ไนโตรเจนออกไซด์ [3]

ความน่าสนใจของการใช้ไฮโดรเจนอยู่ที่มันสามารถถูกใช้เป็นตัวกลางกักเก็บสำหรับผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ดังเช่นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังลม พลังคลื่น และพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง ไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ

หรือไม่ใช่เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำ เอธานอล เมธานอล รวมถึงชีวมวล เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เป็นต้น ทำให้การใช้พลังงานไฮโดรเจนในอนาคตเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานและเศรษฐกิจอย่างมีศักยภาพอีกด้วย [3]

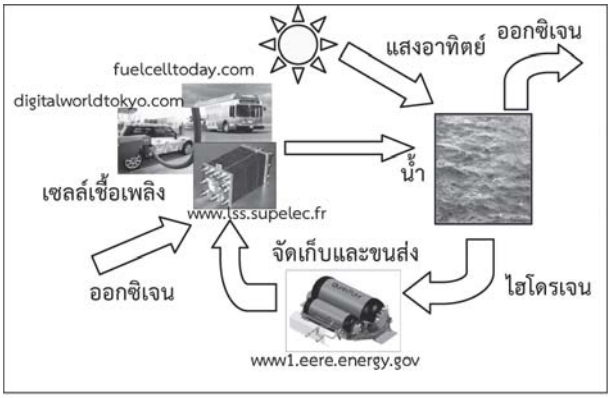
2. ไฮโดรเจนอีคอนโนมี (Hydrogen Economy)

หากในอนาคตโลกของเราสามารถเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจที่มีก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวขับเคลื่อนแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่จะหมดไปจากโลกของเราในอีกประมาณสี่สิบปีข้างหน้า ในขณะที่ถ่านหินก็มีให้ใช้อีกเพียงประมาณสองร้อยกว่าปีเท่านั้น [4] ไฮโดรเจนคือพลังงานทดแทนสะอาดไม่มีปัญหาสิ่งแวดล้อม ไม่ต้องกังวลว่าจะขาดแคลนพลังงานเพราะตราบใดที่มีน้ำในโลกนี้ตราบนั้นก็มีไฮโดรเจน (สูตรของน้ำคือ H_2O โดย H คือไฮโดรเจน และ O คือออกซิเจน) หากไฮโดรเจนสามารถหาซื้อได้ทุกหนทุกแห่ง รวมถึงการมีสถานีบริการไฮโดรเจนมากมายเหมือนปั๊มน้ำมันในปัจจุบัน มีโรงไฟฟ้าพลังไฮโดรเจนขนาดใหญ่แทนโรงไฟฟ้าแบบเดิม ไร้ซึ่งก๊าซพิษและฝุ่นควัน โรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ปล่อยควันดำ รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงวิ่งกันอย่างดาษดื่นตามท้องถนน นั่นคือ ไฮโดรเจนอีคอนโนมี (Hydrogen Economy) ที่มาของไฮโดรเจนอีคอนโนมีเกิดจากความต้องการระบบพลังงานอุดมคติแห่งอนาคตที่จะส่งผลทางบวกต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นไปอย่างรวดเร็วก่อนที่เชื้อเพลิงฟอสซิลจะร่อยหรอลงไปมาก ก็จะก่อให้เกิดผลกระทบในด้านภูมิศาสตร์การเมืองระหว่างประเทศอย่างมากมายมหาศาลอย่างยากที่จะประเมินได้ [5] ไฮโดรเจนอีคอนโนมีเป็นตัวส่งเสริมความมั่นคงของระบบพลังงานด้วยการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงแก่เซลล์เชื้อเพลิงแทนการพึ่งพาน้ำมันเป็นการสร้างแหล่งพลังงานที่ก่อให้เกิดความมั่นคงต่อมนุษยชาติ

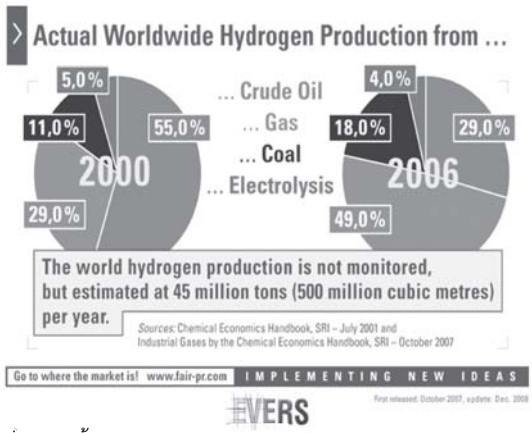
รูปที่ 1 แสดงวิสัยทัศน์สำหรับไฮโดรเจนอีคอนโนมีซึ่งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า วงจรสะอาดและใช้งานง่าย โดยวงจรเริ่มจากการใช้อิเล็คโตรไลซิส (Electrolysis) เพื่อแยกน้ำได้เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนโดยใช้พลังงานหมุนเวียนคือแสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน ไฮโดรเจนที่ได้จะถูกจัดเก็บด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การจัดเก็บในรูปของเหลว การอัดก๊าซด้วยแรงดันสูง การเก็บด้วยวิธีการสร้างพันธะระหว่างโลหะผสมกับไฮโดรเจนหรือที่เรียกว่า Metal hydride เป็นต้น [6, 7] หลังจากนั้นไฮโดรเจนจะถูกขนส่งไปยังสถานที่ใช้งาน ไฮโดรเจนจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ขั้วอะโนดของเซลล์เชื้อเพลิง ในขณะที่ออกซิเจน(จากอากาศ)จะถูกป้อนเข้าสู่ขั้วคะโทด ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือกระแสไฟฟ้า ความร้อน และน้ำ โดยน้ำจะกลับเข้าสู่วงจรอีกครั้งหนึ่ง ด้วยวงจรนี้เราจะได้พลังงานโดยปราศจากฝุ่นละออง ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่มีมลภาวะเกิดขึ้น

3. การผลิตไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสาม [3] แต่มันจะอยู่ในรูปของสารประกอบเคมี ซึ่งมีมากที่สุดในน้ำและสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปัจจุบันนี้การผลิตไฮโดรเจนทั่วโลกรวมแล้วมากกว่า 700 พันล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับรถเซลล์เชื้อเพลิงถึง 600 ล้านคัน [7] ปัจจุบันไฮโดรเจนผลิตจากก๊าซธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 2 ไฮโดรเจนที่ผลิตได้ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ในปีค.ศ. 2006 ไฮโดรเจนผลิตจากก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2000 ถึง 20% ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำมันดิบเพื่อผลิตไฮโดรเจนก็ลดลงจาก 55.0 % เป็น 29.0%

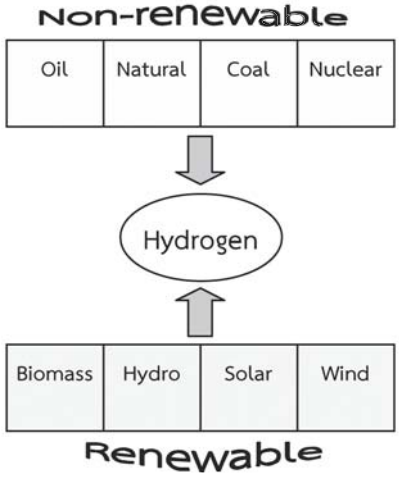


รูปที่ 1 วิสัยทัศน์ไฮโดรเจนอีคอนโนมี



รูปที่ 2 สารตั้งต้นสำหรับผลิตไฮโดรเจนในปีค.ศ. 2000 และ 2006
(www.hydrogenambassadors.com/background/facts.php)

การผลิตไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นทั้งจากแหล่งพลังงานใช้หมด เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และแหล่งพลังงานหมุนเวียน ยกตัวอย่างเช่น ชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นต้น [7-8] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การผลิตไฮโดรเจนจากแหล่งพลังงานใช้หมด
และแหล่งพลังงานหมุนเวียน

การอิเล็คโตรไลซิสของน้ำ การปฏิรูปก๊าซธรรมชาติ แก๊สซิฟิเคชั่นของถ่านหิน เป็นเทคโนโลยีสำหรับผลิตไฮโดรเจนที่ใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วโลก การปฏิรูปด้วยไอน้ำของก๊าซธรรมชาติเป็นกระบวนที่ถูกใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เพราะว่าเป็นวิธีที่ถูกที่สุดและมีการปล่อย CO_2 น้อย ส่วนอิเล็คโตรไลซิสมีราคาสูงมากจึงถูกประยุกต์ใช้เมื่อต้องการผลิตไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงเท่านั้น จากราคาก๊าซธรรมชาติที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงคาดว่าในค.ศ. 2030 แก๊สซิฟิเคชั่นของถ่านหินจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่ประหยัดคุ้มค่า อย่างไรก็ตามแก๊สซิฟิเคชั่นของชีวมวลซึ่งยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นนั้นถูกคาดการณ์ว่าจะเป็นอีกทางเลือกในการผลิตพลังงานไฮโดรเจนหมุนเวียนที่ถูกที่สุดในทศวรรษหน้า การผลิตไฮโดรเจนสามารถแบ่งได้หลักๆ เป็น 3 เทคโนโลยี คือ

- **Thermal Processes** เทคโนโลยีนี้เป็นกระบวนการใช้ความร้อนกับแหล่งพลังงานเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจน เช่น ถ่านหิน ชีวมวล ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยความร้อนได้แก่

O Steam Reforming – กระบวนการรีฟอร์มมิ่ง หรือกระบวนการปฏิรูปด้วยไอน้ำมีสารตั้งต้นคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและน้ำ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะการทำปฏิกิริยาขึ้นกับชนิดของสาร เช่น การปฏิรูปเอธานอลใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจาก Non-noble metal เช่น Ni/Al_2O_3, Ni/La_2O_3, Ni/MgO, Ni/CeO_2-ZrO_2/Al_2O_3 หรือ จาก Noble metal เช่น Ru/Al_2O_3, Rh/MgO ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 450 – 700°C [1, 9-10]

O Partial Oxidation – กระบวนการออกซิเดชั่นบางส่วนมีสารตั้งต้นคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจนหรืออากาศ ยกตัวอย่าง การออกซิเดชั่นบางส่วนของเอธานอลใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น V_2O_5/TiO_2-SiO_2, V_2O_5/TiO_2-ZrO_2, Ni/ZrO_2- Al_2O_3, Ru/Al_2O_3, Rh/CeO_2 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 550 – 850°C [11-13]

O Autothermal Reforming – กระบวนการออโต้เทอร์มอลรีฟอร์มมิ่ง หรือกระบวนการร่วมระหว่างปฏิกิริยาปฏิรูปด้วยไอน้ำกับปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ออกซิเจนหรืออากาศ และน้ำเป็นสารตั้งต้น ยกตัวอย่าง กระบวนการออโต้เทอร์มอลของเอธานอลใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น Rh/CeO_2 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 550 – 650°C [14] ปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายใต้ความดันใกล้บรรยากาศ Therdthainwong และคณะ [15-16] ยังได้ทดลองการผลิตไฮโดรเจนจากสารละลายเอธานอลความเข้มข้นต่ำ (7 – 11 %โดยน้ำหนัก) ผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (เมื่อแตกตัวจะได้ออกซิเจนกับน้ำ) ภายใต้สภาวะ supercritical water ที่ความดันสูงประมาณ 250 บาร์ อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 500°C ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ Ni/CeO_2-ZrO_2/Al_2O_3

O Gasification – กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนชีวมวล ของเสียอินทรีย์ ถ่านหิน หรือวัสดุที่มีคาร์บอนเปลี่ยนเป็นก๊าซผสมของ H_2, CO, CO_2 และอื่นๆ โดยการให้ความร้อนภายใต้บรรยากาศที่มีไอน้ำและออกซิเจน หรือที่เรียกว่า gasifier ในปริมาณที่เหมาะสม ปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันจะเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลด้วยความร้อนของ gasifier, น้ำ และออกซิเจนได้เป็น synthesis gas หรือซินแก๊ส (syngas) มีองค์ประกอบของ H_2, CO, CO_2 เป็นหลัก โดย CO ที่ผลิตได้จะทำปฏิกิริยากับน้ำเพื่อผลิตไฮโดรเจนที่มากขึ้นและ CO_2 หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยา water-gas shift (สมการที่ (1)) ไฮโดรเจนจะถูกแยกออกด้วยการผ่านเมมเบรนชนิดพิเศษ [17]

$$CO + H_2O \longrightarrow H_2 + CO_2 \qquad (1)$$

O Pyrolysis – กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลโดยปราศจากออกซิเจน กระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นมีความคล้ายคลึงกันมาก เมื่อพิจารณาแล้วกระบวนการไพโรไลซิสนั้นนับว่าเป็นกระบวนการเริ่มต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการไพโรไลซิสจะเกิดได้เร็วกว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน [17]

O High-Temperature Water Splitting [18] – การแยกน้ำด้วยอุณหภูมิสูงหรือเรียกอีกอย่างว่า “Thermochemical Process” การทำงานของกระบวนการนี้ต้องการความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 500 – 2,000°C ในการทำปฏิกิริยาเคมีอนุกรมเพื่อผลิตไฮโดรเจน สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการจะสามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ความร้อนสูงที่ต้องการได้มาจากปฏิกรณ์ไฟฟ้านิวเคลียร์ (1000°C) หรือใช้แสงแดดจาก Solar Concentrators ซึ่งได้อุณหภูมิสูงถึง 2000°C สำหรับการวิจัยเบื้องต้น High-temperature water splitting เหมาะสำหรับระบบขนาดใหญ่เพื่อใช้เป็นศูนย์กลางการผลิตไฮโดรเจน กระบวนการที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อนจะใช้ Solar Concentrators ซึ่งทำจากกระจกและเลนส์สะท้อนเพื่อเก็บและรวมแสงให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ถึง 2,000°C ที่อุณหภูมินี้จะสามารถใช้ขับเคลื่อนปฏิกิริยาเคมีสำหรับการผลิตไฮโดรเจนได้

- **Electrolytic Process** [19] เทคโนโลยีแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะผลิตไฮโดรเจนได้จากการแยกไฮโดรเจนและออกซิเจนจากน้ำ โดยกระบวนการนี้จะไม่กระทบต่อธรรมชาติเลย ไม่ก่อมลพิษทางอากาศ ซึ่งกระบวนการจะสะอาดเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับว่าแหล่งที่ผลิตกระแสไฟฟ้าที่นำมาใช้มีกระบวนการผลิตแบบใด ในกระบวนการอิเล็คโตรไลซิสนั้นการแยกน้ำ 1 โมลด้วยไฟฟ้าจะได้ไฮโดรเจน 1 โมลและออกซิเจน 0.5 โมลดังสมการเคมี

Electrolysis : $H_2O \longrightarrow H_2 + ½\ O_2$ (2)

ไฮโดรเจนที่ผลิตด้วยกระบวนการอิเล็คโตรไลซิสจะมีความบริสุทธิ์สูงมาก แต่ก็มีต้นทุนการผลิตที่แพงมากเช่นกัน

- **Photolytic Technologies** [20] เป็นเทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจน โดยใช้แสงอาทิตย์แยกไฮโดรเจนออกจากน้ำ และยังมีการศึกษาใช้แสงอาทิตย์ และแสงประดิษฐ์กับเอมไซม์สำหรับสาหร่ายเพื่อผลิตไฮโดรเจน หรือเรียกว่าเทคโนโลยี Photobiological นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยี Photoelectrochemical Water-Splitting Systems สำหรับผลิตไฮโดรเจนอีกด้วย

จากเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยเฉพาะกระบวนการใช้ความร้อนและกระบวนการอิเล็คโตรไลซิสจำเป็นต้องใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานอื่น เช่น จากไฟฟ้า หรือน้ำมันในการให้ความร้อน นั่นหมายความว่าเมื่อผลิตไฮโดรเจนเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับเซลล์เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว จะต้องคำนึงถึงปริมาณของพลังงานที่ต้องให้กับกระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วย นอกจากนี้หากมองภาพรวมของระบบเซลล์เชื้อเพลิงควบคู่กับกระบวนการผลิตไฮโดรเจนที่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงฟอสซิลในการให้พลังงานกับกระบวนแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าการนำไฮโดรเจนมาใช้งานเป็นเชื้อเพลิงนั้นอาจจะไม่ได้ทำให้เกิดมลพิษน้อย

กว่าการนำเอาเชื้อเพลิงฟอสซิลไปผลิตเป็นไฟฟ้าหรือเผาไหม้เพื่อให้พลังงานโดยตรง อย่างไรก็ตามการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจนที่อาศัยพลังงานฟอสซิลซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการปลดปล่อยมลพิษให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้น่าจะเป็นมุมมองสำคัญ หากต้องการให้เกิดการใช้งานของไฮโดรเจนอย่างแท้จริง

นอกจากนี้ระบบสำหรับทำให้ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น (ความบริสุทธิ์ของก๊าซไฮโดรเจนที่ต้องการขึ้นอยู่กับประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง) เป็นสิ่งจำเป็น แต่นั่นก็หมายถึงเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นด้วย ยกตัวอย่างเช่น ตัวจับก๊าซ CO_2 เพื่อลดปริมาณ CO_2 หน่วยสำหรับปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นก๊าซ (Water-gas shift reaction) เพื่อลดปริมาณ CO และเพิ่ม H_2 เป็นต้น

4. การจัดเก็บและการขนส่ง

ไฮโดรเจนมีค่าพลังงานจำเพาะ (พลังงานต่อกิโลกรัม) สูงที่สุดซึ่งเป็นเหตุผลที่ไฮโดรเจนถูกเลือกให้ใช้สำหรับยานอวกาศ แต่ไฮโดรเจนมีความหนาแน่นต่ำมาก และมีค่าความหนาแน่นพลังงาน (พลังงานต่อปริมาตร) ต่ำที่สุด นั่นคือจะต้องใช้ความดันสูงมากในการอัดก๊าซไฮโดรเจนปริมาณมากลงในถังขนาดเล็กทำให้การเก็บไฮโดรเจนเป็นสิ่งที่ยากและต้องใช้พลังงานในการอัดมากเช่นกัน โดยเฉพาะการทำก๊าซไฮโดรเจนให้เป็นของเหลวซึ่งมีขั้นตอนการอัดที่ยุ่งยากและต้องทำที่อุณหภูมิต่ำถึง 22 เคลวิน และเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวไฮโดรเจนยังคงมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำคือ 71 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึงแม้ว่าจะสามารถเก็บไฮโดรเจนในรูปของก๊าซที่ถูกอัดหรือของเหลว หรือการเก็บโดยวิธีทางเคมีก็ตาม สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือวิธีการเก็บที่ง่าย มีต้นทุนของกระบวนการและพลังงานในการเก็บต่ำ และมีความปลอดภัยในการจัดเก็บ [21] วิธีในการจัดเก็บไฮโดรเจนมีหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การเก็บไฮโดรในรูปของเหลว (Liquid H_2) การเก็บโดยใช้แรงดันสูง (Compressed H_2) การเก็บด้วยวิธีการสร้างพันธะระหว่างไฮโดรเจนกับโลหะ (Metal hydride) เป็นต้น

วิธีการเก็บไฮโดรเจนนอกจากต้องคำนึงถึงคือราคาในการเก็บความสะดวก และง่ายในการใช้งาน หากในอนาคตไฮโดรเจนใช้กันอย่างแพร่หลาย ผู้ใช้งานควรเข้าใจถึงหลักการและวิธีการใช้งาน อย่างไรก็ตามหากไม่มีระบบการจัดเก็บไฮโดรเจนที่มีประสิทธิภาพมากพอ ไฮโดรเจนอีคอนโนมีก็ยากที่จะสำเร็จได้ สำหรับอุตสาหกรรมด้านยานยนต์ดูเหมือนว่าการจัดเก็บไฮโดรเจนแบบ On-Board (การผลิตไฮโดรเจน ณ จุดที่เป็นสถานีเติมเชื้อเพลิงหรือจุดที่ต้องการใช้เชื้อเพลิง) เป็นหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมาก แต่ด้วยสมบัติทางฟิสิกส์ของความหนาแน่นในการจัดเก็บไฮโดรเจนแบบการอัดไฮโดรเจน และการเก็บไฮโดรเจนในรูปของเหลวนั้นต้องใช้พลังงานปริมาณมาก ในขณะที่วิธีการเก็บไฮโดรเจนด้วยวัสดุของแข็ง เช่น Metal Hydride ยังอยู่ระหว่างการพัฒนาให้มีศักยภาพด้านการใช้งานให้ดียิ่งขึ้น ดังจะเห็นว่ามีงานวิจัยมากมายที่พัฒนาวัสดุและกระบวนการจัดเก็บไฮโดรเจนเพื่อให้สามารถเก็บไฮโดรเจนได้มากขึ้นและลดน้ำหนักของถังเก็บให้เบาลง [7, 21- 22] ตารางที่ 1 แสดงทางเลือกในการจัดเก็บไฮโดรเจนแบบ On-Board

การขนส่งและจำหน่ายไฮโดรเจนมีหลายทางเลือก เช่น การขนส่ง Compressed H_2 และ Liquid H_2 ใช้รถบรรทุก หรือรถไฟ ส่วนการขนส่งผ่านทางระบบท่อที่ใช้สำหรับส่งก๊าซไฮโดรเจนมีมานานกว่า 50 ปีจนถึงปัจจุบัน การส่งก๊าซไฮโดรเจนทางท่อมีความยาวประมาณ 16,000 กิโลเมตรทั่วโลก แต่จุดประสงค์หลักของการสร้างท่อส่งไฮโดรเจนก็เพื่อป้อนให้กับโรงกลั่นน้ำมันและโรงงานอุตสาหกรรมเคมี เครือข่ายการส่งนี้มีอย่างหนาแน่นในประเทศเบลเยียม ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ และประเทศเยอรมัน หรือต่อไปยัง Gulf coast ในสหรัฐอเมริกา [7] อย่างไรก็ตามระบบท่อที่มีอยู่ในขณะนี้ทำให้มองเห็นโอกาสของการนำระบบท่อดังกล่าวมาใช้กับการขนส่งก๊าซไฮโดรเจนที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเซลล์เชื้อเพลิงได้ด้วย

ตารางที่ 1 ทางเลือกการจัดเก็บไฮโดรเจนแบบ On-Board [23]

Fuel	Gasoline	Compressed H_2	Liquefied H_2	Metal Hydride
Energy (MJ)	1,408	664	664	664
Fuel weight (kg)	29.5	4.7	4.7	4.7
Tank weight (kg)	13.4	63.3-86	18.6	120
Volume (liters)	40.1	409-227	178	120
Vehicle range (km)	600	600	600	570
Development status	Commercial	Commercial Prototype	Initial Prototype	Initial Prototype

การแข่งขันทางเทคนิคและราคาของแต่ละทางเลือกในการขนส่งขึ้นกับปริมาตรที่ขนส่งกับระยะทาง หลักการที่ใช้ในการตัดสินใจว่าควรเลือกใช้วิธีการแบบใดมีดังนี้ [7, 24]

- การขนส่งก๊าซผ่านท่อ เหมาะสำหรับการส่งปริมาณมากและระยะทางไกล
- การขนส่งไฮโดรเจนเหลวด้วยรถบรรทุก ใช้สำหรับการส่งปริมาตรน้อยและระยะทางไกล
- การขนส่งไฮโดรเจนในถังเก็บความดันสูงด้วยรถบรรทุก เหมาะสำหรับการส่งปริมาณน้อยและระยะทางใกล้
- การใช้ Metal Hydride สำหรับระยะทางใกล้

หากเปรียบเทียบการขนส่งก๊าซไฮโดรเจนด้วยรถบรรทุกก๊าซซึ่งปกติสามารถบรรทุกก๊าซธรรมชาติได้ประมาณ 2,400 กิโลกรัม เพื่อไปส่งยังสถานีเชื้อเพลิง จะสามารถบรรทุกก๊าซไฮโดรเจนได้เพียง 288 กิโลกรัมเท่านั้น แสดงว่าต้องใช้รถบรรทุกถึง 15 คันสำหรับบรรทุกไฮโดรเจนเพื่อให้ได้ปริมาณพลังงานเท่ากับก๊าซธรรมชาติ 1 คัน ถ้าบรรทุกไฮโดรเจนเหลวก็สามารถลดลงจาก 15 คันเหลือเพียง 3 คัน เพื่อขนส่งพลังงานจำนวนเท่ากับรถบรรทุกก๊าซธรรมชาติ 1 คัน [25]

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการขนส่งก็มีความแตกต่างกันกล่าวคือการขนส่งก๊าซผ่านท่อมีต้นทุนการดำเนินงานต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นค่าพลังงานสำหรับการอัดก๊าซ แต่มีต้นทุนด้านเงินลงทุนสูงมาก ส่วน Liquid H_2 มีต้นทุนการดำเนินงานสูง เนื่องจากค่าไฟฟ้าที่ใช้ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนกลายเป็นไฮโดรเจนเหลว (Liquefaction) (คิดเป็น 30-60% ของต้นทุน Liquefaction) แต่สำหรับเงินลงทุนจะขึ้นกับปริมาณไฮโดรเจนและระยะทางการขนส่ง ระยะทางเป็นตัวแปรสำคัญที่จะใช้ตัดสินใจว่าจะเลือกการ

ขนส่งในรูปแบบของเหลวหรือก๊าซ ค่าขนส่งไฮโดรเจนโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1 – 4 ct/kWh (0.3 – 1.3 $/kg) [24]

วัสดุที่นำมาใช้สร้างระบบท่อจะต้องเป็นวัสดุคุณภาพสูงไม่พรุน ตัวเช่น เหล็กกล้าไร้สนิม ถ้าเปรียบเทียบที่ขนาดท่อเท่ากันจะพบว่าเงินลงทุนในการสร้างระบบท่อสำหรับไฮโดรเจนจะสูงเป็นสองเท่าของราคาระบบท่อที่ใช้ขนส่งก๊าซธรรมชาติ ต้นทุนอาจลดลงหากโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้สำหรับก๊าซธรรมชาติสามารถปรับให้ใช้ได้กับไฮโดรเจน แต่หากใช้ท่อเหล็กกล้ากับไฮโดรเจนก็อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้เพราะไฮโดรเจนสามารถแพร่กระจายอย่างรวดเร็วผ่านวัสดุและประเก็นทำให้เกิดการแตกร้าวจากไฮโดรเจน (Hydrogen Embrittlement) การใช้ท่อส่งก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่อาจก่อให้เกิดปัญหาได้ การเคลือบท่อภายนอกหรือการเติมออกซิเจนเพียงเล็กน้อยอาจแก้ปัญหาเพื่อให้สามารถใช้ท่อเหล็กสำหรับส่งก๊าซธรรมชาติระยะไกลที่มีอยู่แล้วได้ นอกจากนี้ยังต้องมีการปรับเปลี่ยนวาล์ว แมนิโฟล์ด โดยเฉพาะคอมเพรสเซอร์ที่จะต้องสามารถใช้ได้กับไฮโดรเจนด้วย อีกทางเลือกหนึ่งคือการผสมก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซธรรมชาติให้สามารถส่งผ่านทางท่อที่มีอยู่แล้วไปแยกที่จุดใช้งานหรือใช้ก๊าซผสมนี้เลยก็ได้ เช่น การประยุกต์ใช้กับระบบการเผาไหม้แบบอยู่นิ่งกับที่ แต่ทางเลือกนี้ก็ไม่ได้แก้ปัญหากับการประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง จึงสรุปได้ว่าเพื่อรองรับการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงในอนาคตระบบท่อส่งก๊าซไฮโดรเจนเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องสร้างขึ้น [7] แต่ก็จะมีต้นทุนระบบท่อที่สูงมาก [25]

เมื่อคิดต้นทุนการจัดเก็บและขนส่งรวมกันแล้ว การเก็บไฮโดรเจนในรูปของเหลวได้รับประโยชน์อย่างเห็นได้ชัด สำหรับอัตราการผลิตไฮโดรเจน 450 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ถูกกักเก็บหนึ่งวันและมีระยะทางการขนส่งประมาณ 160 กิโลเมตรนั้น การขนส่งไฮโดรเจนเหลวจะถูกกว่าการขนส่งด้วยวิธีการอัดลงในถังที่บรรจุด้วยวัสดุ Metal hydride แต่ที่ระยะทางไกลถึง 1,600 กิโลเมตร ราคาต้นทุนการจัดเก็บและขนส่งแบบไฮโดรเจนเหลวจะถูกกว่าแบบ Metal hydride ถึง 4 เท่า และถูกกว่าถึง 7 เท่าเมื่อเทียบกับการขนส่งไฮโดรเจนในถังอัดแรงดันสูง [24]

ปัญหาด้านการจัดเก็บและขนส่งไฮโดรเจนเป็นอุปสรรคสำคัญในการใช้เซลล์เชื้อเพลิงที่จะต้องมีไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง หากต้องการที่จะมีรถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงมาใช้งานอย่างแพร่หลายแล้วนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีสถานีเติมไฮโดรเจน และระบบการเติมไฮโดรเจนที่ปลอดภัย การนำเทคโนโลยี Home Station หรือการผลิตไฮโดรเจนที่บ้านเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานทางเลือก เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ หรือก๊าซธรรมชาติ (ประเทศสหรัฐอเมริกามีการส่งก๊าซธรรมชาติไปยังบ้านเรือนผ่านระบบท่อ) ให้เป็นเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่สามารถเติมเข้าไปที่รถยนต์ได้ขณะที่จอดอยู่ที่บ้าน [25]

5. การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงและการประยุกต์ใช้งาน

การเปลี่ยนพลังงานไฮโดรเจนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจะต้องมีหน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่า เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นเครื่องมือทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความต่างศักย์ต่ำได้โดยตรงและมีประสิทธิภาพสูง โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ จะได้ไฟฟ้าและน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ [7] เซลล์เชื้อเพลิงจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ตราบเท่าที่ไฮโดรเจนและออกซิเจนถูกป้อนเข้าสู่เซลล์พร้อมทั้งมีการดึงเอาผลิตภัณฑ์ออก และขั้วอิเล็คโทรดยังไม่เกิดการชำรุดอันเนื่องมาจากทางกลหรือจากการเสื่อมสภาพทางเคมี

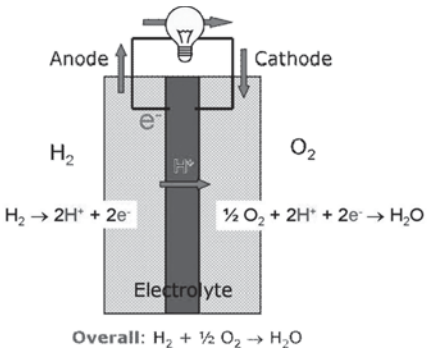
องค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยขั้วอิเล็คโทรดที่มีความพรุนตัว 2 ขั้ว คือขั้วอะโนดและขั้วคะโทด จุ่มหรือสัมผัสกับสารอิเล็คโทรไลท์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวและ/หรือของแข็ง เชื้อเพลิงไฮโดรเจนถูกป้อนเข้าไปยังขั้วอะโนดซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (สมการที่ (3)) ในขณะที่สารออกซิแดนซ์ (ออกซิเจนหรืออากาศ) จะถูกป้อนเข้าไปขั้วคะโทดซึ่งเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (สมการที่ (4))

ขั้วอะโนด: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ (3)

ขั้วคะโทด: $2H^+ + ½\ O_2 + 2e^- \rightarrow H_2O$ (4)

ปฏิกิริยาสุทธิ: $H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$ (5)

หลังจากเกิดปฏิกิริยาขึ้นค่าความต่างศักย์จะเกิดขึ้นที่ขั้วอิเล็คโทรดทั้งสอง เมื่อต่อกับวงจรภายนอกอิเล็คตรอนจะไหลจากขั้วอะโนดผ่านวงจรภายนอกและถูกนำไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะไหลกลับไปที่ขั้วคะโทด ในลักษณะครบวงจร (ดูรูปที่ 4) ส่วน H^+ จะแพร่ผ่านอิเล็คโทรไลท์ข้ามไปอีกด้านหนึ่งของเซลล์เชื้อเพลิง (ฝั่งขั้วคะโทด) ที่ขั้วดังกล่าวไฮโดรเจนอิออนจะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นน้ำ และทุกๆหนึ่งโมลของน้ำที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับอิเล็คตรอนจำนวน 2 ตัว การประยุกต์ใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงส่วนใหญ่มักต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าเป็นแบบกระแสสลับ ดังนั้นไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรงจึงถูกนำมาเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้เครื่องผกผันหรืออินเวอร์เตอร์ [26]



รูปที่ 4 แผนภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง (http://addis.caltech.edu/research/FCs%20for%20sustain%20energy.html)

เชื้อเพลิงที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงนอกจากไฮโดรเจนแล้วยังมีเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น การเลือกใช้เชื้อเพลิงขึ้นกับตัวแปรหลายอย่าง เช่น ราคา ความยากง่ายในการจัดหาเชื้อเพลิง ความสามารถในการกักเก็บพลังงาน ปริมาตร และความสามารถในการถูกขนส่ง สิ่งจำเป็นของการใช้เซลล์เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า คือ การที่ต้องหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมและหาได้ง่าย แต่ถึงแม้ว่าจะมีขอบเขตจำกัดดังกล่าวกลับพบว่ามีงานหลายประเภทที่สามารถนำเซลล์เชื้อเพลิงไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม [27] สองทางเลือกหลักๆ ของการเลือกใช้เชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง [28] คือ 1) การใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์กับเซลล์เชื้อเพลิงแบบโปรตอนแลกเปลี่ยนเมมเบรน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) เนื่องจากแพลทตินัมบนขั้วอะโนดจะเป็นพิษเมื่อมี CO เพียง 10 ppm เจือปนในก๊าซ

ไฮโดรเจน 2) การปฏิรูปเชื้อเพลิง เช่น เมธานอล (สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงใน Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) ก๊าซธรรมชาติ หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon, hc) เพื่อผลิตก๊าซผสมที่มีไฮโดรเจนปริมาณสูงที่ใช้ได้กับเซลล์เชื้อเพลิงอุณหภูมิสูงแม้มี CO และ CO_2 เจือปนอยู่ก็ตาม ดังเช่น เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) และเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)

PEMFC นิยมใช้ผลิตไฟฟ้าสำหรับยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Vehicle, FCV) ในขณะที่ MCFC และ SOFC เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานกับโรงผลิตกระแสไฟฟ้า (Stationary Power) ดังแสดงในตารางที่ 2 อายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งาน (อุณหภูมิขณะเริ่มการเดินเครื่อง, ความชื้น, ความบริสุทธิ์ของเชื้อเพลิง) ภายใต้สภาวะที่เกิดขึ้นในยานยนต์อายุการใช้งานปกติของ PEMFC อยู่ที่ประมาณ 2,000 ชั่วโมง (100,000 กิโลเมตร) ในการประยุกต์ใช้สำหรับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า PEMFC มีอายุการใช้งานสูงถึง 30,000 ชั่วโมง ระบบ SOFC มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 6,000 – 8,000 ชั่วโมง ด้วยผลการทดลองที่ดีที่สุดมีอายุการใช้งานถึง 20,000 ชั่วโมง อายุการใช้งานตามเป้าหมายของ PEMFC คือ 3,000 – 4,000 ชั่วโมงสำหรับรถยนต์ และมากกว่า 20,000 ชั่วโมงสำหรับรถบัส และอายุการใช้งานตามเป้าหมายสำหรับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าของ SOFC และ MOFC คือ 40,000 – 60,000 ชั่วโมง [29]

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงและการประยุกต์ใช้งาน [29]

ประเภท	PEMFC	SOFC	MCFC	DMFC
อุณหภูมิการทำงาน (°C)	80-150	800-1,000	>650	80-100
เชื้อเพลิง	H_2	H_2, hc	H_2, hc	methanol
ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง (%)	35-40	<45	44-50	15-30
การประยุกต์ใช้งาน	ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับยานยนต์	โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า	โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า	หน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่
อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	2,000 – 30,000	6,000 – 20,000	8,000 – 20,000	na
อายุการใช้งานตามเป้าหมาย (ชั่วโมง)	4,000 – 20,000	40,000 – 60,000	40,000 – 60,000	na

6. อุปสรรคสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง

หากพิจารณาจากบทความข้างต้นจะเห็นว่าพลังงานไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิงสามารถตอบปัญหาด้านพลังงานได้มากมาย แต่ก็ยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน นั่นเป็นเพราะมีอุปสรรคดังต่อไปนี้ [30]

- ราคา: เซลล์เชื้อเพลิงมีราคาสูงมาก เนื่องจากต้นทุนการผลิตและต้นทุนวัสดุที่จะนำมาสร้างส่วนประกอบของเซลล์เชื้อพลิงมีราคาแพง
- โครงสร้างพื้นฐานและการขนส่ง: รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันยังมีราคาแพงมาก และไม่สามารถเติมไฮโดรเจนได้ในสถานีเติมน้ำมันทั่วไป จึงต้องมีโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถให้บริการเติมเชื้อเพลิงได้สะดวกและง่าย
- การกักเก็บไฮโดรเจน: ยานยนต์ส่วนใหญ่จะสามารถวิ่งได้ประมาณ 300 ไมล์ก่อนที่จะต้องการเติมเชื้อเพลิงใหม่ เพื่อให้ได้มาตรฐานเดียวกัน หากต้องการใช้รถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงอย่างแพร่หลายในอนาคตจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแก้ปัญหาด้านการกักเก็บไฮโดรเจน ซึ่งเกี่ยวข้องกับเรื่องของราคา น้ำหนัก ปริมาตร และความปลอดภัย
- ความทนทาน: เซลล์เชื้อเพลิงกำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้มีความทนทานต่อการใช้งาน เพื่อจะสามารถแข่งขันกับรถยนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้

7. สรุป

เช่นเดียวกันกับไฟฟ้า ไฮโดรเจนก็สามารถผลิตจากหลายๆ แหล่งทั้งเชื้อเพลิงฟอสซิล แหล่งพลังงานหมุนเวียน พลังงานนิวเคลียร์ ไฮโดรเจนและไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งเป็นอีกรูปหนึ่งได้โดยใช้อิเล็คโตรไลเซอร์ (ไฟฟ้าเป็นไฮโดรเจน) และเซลล์เชื้อเพลิง (ไฮโดรเจนเป็นไฟฟ้า) ไฮโดรเจนจึงเปรียบเสมือนตัวกลางกักเก็บพลังงานที่พร้อมจะนำไปผลิตไฟฟ้าเมื่อไหร่ก็ได้ ดังนั้นไฮโดรเจนจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญในอนาคต และหากโลกของเราใช้พลังงานไฮโดรเจน ก็จะทำให้โลกของเราสะอาด ปราศจากมลพิษทางอากาศ ตามแนวทางของไฮโดรเจนอีคอนโนมี ทั้งยังเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานอีกด้วย หากแต่การผลักดันให้มีการใช้ไฮโดรเจนควบคู่กับเซลล์เชื้อเพลิงก็ยังมีอุปสรรคอยู่มาก ถ้าสามารถแก้ไขปัญหาด้านราคาเซลล์เชื้อเพลิง ราคาและน้ำหนักของถังบรรจุไฮโดรเจน ความปลอดภัย และความสะดวกในการใช้งานได้ ในอนาคตเราคงจะได้เห็นการใช้พลังงานไฮโดรเจนกันอย่างจริงจัง

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Ni, D.Y.C. Leung, M.K.H. Leung, A review on reforming bio-ethanol for hydrogen production, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 32, 2007, pp. 3238 – 3247.

[2] V.A. Goltsov, T.N. Veziroglu, L.F. Goltsova, Hydrogen civilization of the future – a new conception of the IAHE, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 31, 2006, pp. 153 – 159.

[3] P.P. Edwards, V.L. Kuznetsov, W.I.F. David and N.P. Brandon. Hydrogen and Fuel Cell: Towards a sustainable energy future. Energy Policy, Vol. 36, 2008, pp. 4356 – 4362.

[4] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย, 2542. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2554 จาก http://www.eppo.go.th/doc/doc-AlterFuel.html.

[5] วราภรณ์ สามโกเศศ. ไฮโดรเจนอีคอนโนมี. มติชนรายวัน ประจำวันที่ 25 เมษายน 2545 หน้า 6. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2554 จาก http://www.dpu.ac.th/laic/page.php?id=6032.

[6] J.A.Ritter, A.D. Ebner, J. Wang and R. Zidan, Implementing a hydrogen economy, materialstoday, September 2003, pp. 18 – 23.

[7] M. Ball and M. Wietschel. The future of hydrogen-opportunities and challenges. International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 34, 2009, pp. 615 – 627.

[8] V.C. Niculescu, M. Anghel and I. Stefanescu, Hydrogen as a future energy source. An impact study, International Journal of Energy and Environment, Vol. 4, 2010, pp. 153-160.

[9] N. Srisiriwat, S. Therdthainwong, and A. Therdthainwong, "Oxidative steam reforming of ethanol over Ni/Al_2O_3 catalysts promoted by CeO_2, ZrO_2 and CeO_2-ZrO_2", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34, 2009, pp. 2224-2234.

[10] D.L. Trimm and Z. Ilsen Önsan. Onboard fuel conversion for hydrogen-fuel-cell-driven vehicles. Catalysis Reviews. Vol. 43, 2001, pp. 31-84.

[11] D.K. Liguras et al. Production of hydrogen for fuel cells by catalytic partial oxidation of ethanol over structured Ni catalysts. Journal of Power Source. Vol. 130, 2004, pp. 30-37.

[12] D.K. Liguras et al. Production of hydrogen for fuel cells by catalytic partial oxidation of ethanol over structured Ru catalysts. International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 29, 2004, pp. 419-427.

[13] L.O.O. Costa, S.M.R. Vasconcelos, A.L. Pinto, A.M. Silva, L.V. Mattos, F.B. Noronha and L.E.P. Borges. Rh/CeO_2 catalyst preparation and characterization for hydrogen production from ethanol partial oxidation. Journal of Materials Science. Vol. 43, 2008, pp. 440-449.

[14] W. Cai, F. Wang, A.C. Van Veen, H. Provendier, C. Mirodatos and W. Shen, Autothermal reforming of ethanol for hydrogen production over an Rh/CeO_2 catalyst. Catalysis Today. Vol. 138, 2008, pp. 152-156.

[15] Therdthianwong, S., Srisiriwat, N., Therdthianwong, A., and Croiset, E., Reforming of bioethanol over Ni/Al2O3 and Ni/CeZrO2/Al2O3 catalysts in supercritical water for hydrogen production, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36, 2011, pp. 2877-2886.

[16] Therdthianwong, S., Srisiriwat, N., Therdthianwong, A., and Croiset, E., 2011, Hydrogen production from bioethanol reforming in supercritical water, The Journal of Supercritical Fluids, Vol. 57, 2011, pp. 58-65.

[17] การใช้พลังงานจากชีวมวล, สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2554 จาก http://www.eng.mut.ac.th/upload_file/article/148.doc.

[18] High-temperature Water Splitting, สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2554 จาก http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/production/water_splitting.html.

[19] Electrolysis of Water, สืบค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2554 จาก http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/electrol.html.

[20] Photolytic Processes, สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2554 จาก http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/production/photoelectrochemical.html.

[21] D. Mori and K. Hirose, Recent Challenges of hydrogen storage technologies for fuel cell vehicles, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34, 2009, pp. 4569-4574.

[22] M. Conte, P.P. Prosini, S. Passerini, Overview of energy/hydrogen storage: state-of-the-art of the technologies and prospects for nanomaterials, Vol. 108, 2004, pp. 2-8.

[23] L. Browning. and A.D. Little. (2001). Projected automotive fuel cell use in California แหล่งที่มา: www. energy.ca.gov.

[24] W.A. Amos, Cost of storing and transporting hydrogen, National Renewable Laboratory, 1998, สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2554 จาก http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25106.pdf.

[25] Scoop: Hydrogen Economy เศรษฐกิจไฮโดรเจน, Energy Plus, ฉบับที่ 23 ประจำเดือน กรกฎาคม – กันยายน 2552, หน้า 30 – 32, สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2554 จาก http://old.energy.go.th/moen/upload/File/Energy%20Plus/v23/v_scoop.pdf.

[26] อภิชัย เทอดเทียนวงษ์. เทคโนโลยีเซลเชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cells Technology). วิศวกรรมสาร. ปีที่ 50 เล่มที่ 8, 2540, หน้า 52 – 59.

[27] Leo J. M. J. Blomen, Michael N. Mugerwa. editors in Fuel Cell Systems. Plenum Press, New York, 1993.

[28] P.J. Berlowitz and C.P. Darnell. Fuel Choices For Fuel Cell Powered Vehicles, SAE Technical Paper Series 2000-01-0003, SAE 2000 World Congress, Detroit, Michigan, 2000. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2554 จาก http://papers.sae.org/2000-01-0003/.

[29] IEA Energy Technology Essentials, Fuel Cells, 2007. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2554 จาก www.iea.org/techno/essentials6.pdf.

[30] Obstacles For The Fuel Cell. สืบค้นเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2554 จาก www.future-alternative-energy.net/fuel-cell-cars.html.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ดร.ณาวดี ศรีศิริวัฒน์
วศ.บ. (เกียรตินิยมอันดับ2)
วศ.ม. และ วศ.ด. (วิศวกรรมเคมี)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สถานที่ทำงาน: สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ: การผลิตไฮโดรเจน เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานหมุนเวียน การวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการทางเคมี