

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นเซลล์เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนอนุภาคโปรตอน (PEMFC) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นเซลล์มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง กล่าวคือเซลล์ที่ได้รับการกระตุ้นจะมีสมรรถนะการทำงานที่ดีกว่าเซลล์ที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรง ยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้ จากการศึกษาวิจัยของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรงที่ผ่านมา พบว่ามีการใช้วิธีการกระตุ้นเซลล์ที่หลากหลายและแตกต่างกันไป ดังนั้นในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงแบ่งงานวิจัยออกเป็นสองกลุ่ม โดยงานวิจัยกลุ่มแรกเป็นงานวิจัยที่ศึกษาอิทธิพลของการกระตุ้นเซลล์ที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนอนุภาคโปรตอน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในกลุ่มที่สอง เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรงซึ่งงานวิจัยในกลุ่มนี้อาจจะไม่ได้ศึกษาในเรื่องของการกระตุ้นเซลล์โดยตรงก็ตาม แต่ในงานวิจัยเหล่านี้ได้อธิบายวิธีการกระตุ้นเซลล์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรงที่ใช้ในงานวิจัยนั้นๆ ไว้ สำหรับรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสองกลุ่มมีดังนี้

Zhigang Qi และ Arthur Kaufman [7] ศึกษาการกระตุ้นเซลล์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนอนุภาคโปรตอน โดยทำการกระตุ้นเซลล์ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดัน ในการทดลองนั้น จะทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของเซลล์และอุณหภูมิของก๊าซ และปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ที่ใช้ขณะกระตุ้นเซลล์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงก่อนการกระตุ้นจะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำการกระตุ้นเซลล์แล้ว นอกจากนี้ยังปรากฏว่าประสิทธิภาพของเซลล์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการเพิ่มจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาของก๊าซ และการกระตุ้นเซลล์ที่ความต่างศักย์ต่ำจะทำให้เซลล์เข้าสู่ประสิทธิภาพสูงสุดได้เร็วกว่า และได้มีการเสนอว่าเหตุผลที่การกระตุ้นเซลล์ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์สูงขึ้น เพราะการกระตุ้นเซลล์จะไปทำการเปิดส่วนที่ใช้งานไม่ได้ในชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น 1. เชื้อเพลิงไม่สามารถเข้าไปสู่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เนื่องจากโคนปิดกั้น 2. แนนฟิออนที่อยู่ใกล้กับชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถผสมกับน้ำได้ง่ายและ 3. ไอออนหรืออิเล็กตรอนไม่สามารถส่งถ่ายได้อย่างต่อเนื่องในชั้นนี้ ซึ่งการกระตุ้นเซลล์จะเป็นการทำให้ส่วนที่โคนปิดกั้น นั้นเปิดออกและส่วนนี้ก็จะได้รับการกระตุ้น

Xu และคณะ [8] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกระตุ้นเซลล์ โดยวิธีที่เรียกว่า CO-oxidative stripping ซึ่งทำโดยการให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไปดูดซับบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อจากนั้นจะให้ความต่างศักย์เข้าไปเพื่อที่จะทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อทำการ CO-oxidative stripping หลายครั้งและจะเข้าสู่ประสิทธิภาพสูงสุดได้เนื่องจากการทำ CO-oxidative stripping จะไปเพิ่มพื้นที่ว่างไวบนพื้นผิวอิเล็กโทรด ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

Xu และคณะ [9] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผสมผสานวิธีการต่างๆ ในการกระตุ้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนอนุภาคโปรตอน โดยได้เสนอวิธีการไว้ 3 วิธีคือ 1) การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดัน 2) Hydrogen evolution 3) CO-oxidative stripping โดยได้ทำการทดลองโดยการหาว่าวิธีใดเหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นเซลล์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันจะให้ผลที่ดีกว่าใช้ Hydrogen evolution และวิธี CO-oxidative stripping เมื่อกระทำวิธีเดียว และหากทำวิธีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันหลังจากการทำวิธี Hydrogen evolution หรือวิธี CO-oxidative stripping จะให้ผลเหมือนกันกับการทำวิธีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันเพียงอย่างเดียว และหากทำวิธี Hydrogen evolution หรือวิธี CO-oxidative stripping หลังจากวิธีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นได้อีก

Qi และคณะ [21] ทำการศึกษากการกระตุ้นเซลล์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนอนุภาคโปรตอน โดยจากผลการทดลองพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงก่อนทำการกระตุ้นเซลล์ที่อุณหภูมิของเซลล์ / อุณหภูมิขาเข้าก๊าซไฮโดรเจน / อุณหภูมิขาอากาศเป็น 35/45/45 ตามลำดับนั้น เมื่อทำการดึงกระแสสมรรถนะการทำงานของเซลล์จะไม่เพิ่มขึ้นอีกหลังจากผ่านไป 180 นาที แต่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเซลล์ที่สภาวะ 75/95/90 ความดันของก๊าซไฮโดรเจนเป็น 20 psig และความดันของอากาศเป็น 30 psig พบว่าสมรรถนะการทำงานเพิ่มขึ้น กล่าวคือที่ความต่างศักย์ 0.5 V ความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นจาก 0.40 เป็น 1.04 mA/cm² และหลังจากที่ผ่านการกระตุ้นเซลล์แล้ว สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะคงที่หลังจากที่มีการดึงกระแสผ่านไป 120 นาที คณะผู้วิจัยให้ข้อสรุปไว้ว่า สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาของปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนและปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนนั่นเอง นอกจากนี้มีการเสนอไว้ว่ากระบวนการกระตุ้นเซลล์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการเปิดพื้นที่ปิดในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา

Liu และคณะ [20] ทำการศึกษาขั้นตอนการกระตุ้นเซลล์แบบหลายขั้นตอนของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมทานอลโดยตรง โดยการกระตุ้นเซลล์ทั้งสามขั้นตอนได้แก่ 1) Methanol activation ในขั้นตอนแรกนี้เป็นการปรับปรุงความสามารถในการนำโปรตอนของ MEA โดยน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการกระตุ้นในขั้นตอนนี้ 2) Force activation การกระตุ้นในขั้นตอนที่สองนี้ เป็นการช่วยเพิ่มและขยายช่องทางการถ่ายเทมวลสารของสารเริ่มต้นและสารผลิตภัณฑ์ให้มีความสะดวกมากขึ้น 3) Proton activation การกระตุ้นในขั้นตอนนี้ช่วยเพิ่มปริมาณอนุภาคโปรตอนให้กับ MEA เพื่อโครงข่ายการนำอนุภาคโปรตอนเป็นไปอย่างทั่วถึง จากผลการทดลองการกระตุ้นเซลล์แบบหลายขั้นตอนพบว่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับการกระตุ้นแบบหลายขั้นตอนดีขึ้น เพราะในการกระตุ้นในแต่ละขั้นตอนทำให้สภาพของ MEA มีความเหมาะสมต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของสารเชื้อเพลิง จากการที่การกระตุ้นเซลล์ทำให้พื้นที่ปิดอยู่นั้นเปิดออกและมีช่องทางสำหรับสารเริ่มต้นให้เข้าไปทำปฏิกิริยาได้ และมีช่องทางสำหรับให้สารผลิตภัณฑ์ถ่ายเทออกจากเซลล์เชื้อเพลิงได้ ทำให้สารเริ่มต้นเข้าไปทำปฏิกิริยาได้อย่างต่อเนื่อง การเพิ่มปริมาณโปรตอน และการเพิ่มน้ำให้กับ MEA ส่งผลให้โครงข่ายการถ่ายเทอนุภาคโปรตอนเป็นไปได้อย่างสะดวก ดังนั้นจากสภาพของ MEA ที่เหมาะสมนี้จึงช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงได้

Song และคณะ [10] ทำการศึกษาสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรง ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาทางด้านแอโนดเป็น PtSn/C ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันสองวิธี คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา PtSn/C-a ได้จากการเตรียมด้วยวิธี การเติม Sn ลงไปโดยตรงบนตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ผ่านวิธี Modified polyprocess ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา PtSn/C-b ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation และในการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง (Single cell test) จะเปรียบเทียบกันระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา PtSn/C ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันและเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา PtRu/C ที่ใช้ในเชิงธุรกิจ (Commercial PtRu/C catalyst) ในขั้นตอนก่อนการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Song และคณะได้ทำการกระตุ้นเซลล์เพื่อให้ได้ข้อมูลของกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆ ที่ถูกต้องที่สุด โดยการป้อนน้ำปราศจากประจุผ่านเข้าส่วนของด้านแอโนดที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้เซลล์และเมมเบรนมีความชื้นที่เหมาะสม ในช่วงเวลาเดียวกันทำการลัดวงจรหลายๆ ครั้งเพื่อกำจัดสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กที่เป็นสิ่งเจือปนออกไป

นอกจากนี้ Song และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงและการ Crossover ของสารละลายเอธานอลในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรง ซึ่งจะเปรียบเทียบผลของการประกอบขั้วอิเล็กโทรดกับเมมเบรน (Membrane electrode assembly, MEA) ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันสองวิธีคือการเตรียม MEA แบบ conventional method (CON) และการเตรียม MEA แบบ decal transfer method (DTM) โดยก่อนการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง S. Song และคณะได้ป้อนน้ำปราศจากประจุเข้าเซลล์ด้านแอโนดที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

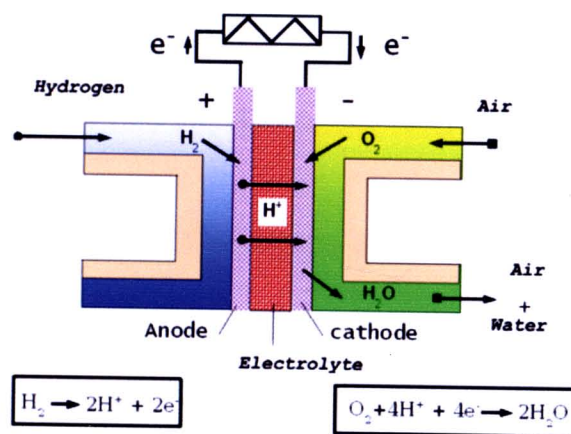
Jiang และคณะ [12] ทำการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้วอิเล็กโทรดของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรงภายหลังการทดสอบ life-time test ซึ่งก่อนการทดสอบนั้นเซลล์เชื้อเพลิงถูกกระตุ้นด้วยการป้อนสารละลายเอธานอลที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นอกจากนี้ในงานวิจัย L. Jiang อีกงานหนึ่งนั้น ศึกษาการเตรียม PtSn/C ที่แตกต่างกันสองวิธี และก่อนการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์จะถูกกระตุ้นด้วยสารละลายเอธานอลความเข้มข้น 1 mol/l ที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.2 เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงคืออุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการของเซลล์เชื้อเพลิงทำงานคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่แตกต่างจากแบตเตอรี่ คือกำลังของเซลล์เชื้อเพลิงจะไม่ลดลงและไม่มีการประจุไฟใหม่ เซลล์เชื้อเพลิงจะให้กระแสไฟฟ้า ความร้อน และน้ำตราบเท่าที่ยังมีการป้อนเชื้อเพลิงและออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า จะเกิดขึ้นที่บริเวณขั้วอิเล็กโทรด เพื่อผลิตอิเล็กตรอนไปใช้ในวงจรไฟฟ้า เซลล์เชื้อเพลิงจัดเป็นพลังงานสะอาดเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าคือ กระแสไฟฟ้า ความร้อน และน้ำ

2.2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

โดยทั่วไป เซลล์เชื้อเพลิงจะประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วคือ ขั้วแอโนด และขั้วแคโทด โดยมีอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวนำโปรตอนและเป็นฉนวนทางไฟฟ้า กั้นกลางระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง และออกซิเจนเป็นสารออกซิเดนต์นั้น ไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วแอโนดและออกซิเจนจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วแคโทด ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรเจนจะถูกทำให้แตกตัวออกเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอน โปรตอนจะแพร่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ (เมมเบรน) ไปยังขั้วแคโทด ขณะที่อิเล็กตรอนจะถูกส่งไปยังวงจรไฟฟ้าภายนอก (ให้พลังงานออกมา) และจะวิ่งกลับเข้าสู่เซลล์อีกครั้งที่ขั้วแคโทด ที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยที่ออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามาจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนและโปรตอนที่ถูกส่งมาจากขั้วแอโนด กลายเป็นน้ำ และน้ำที่เกิดขึ้นนี้จะถูกขับออกจากเซลล์

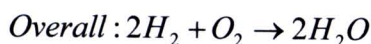
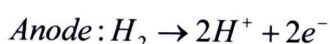


รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

2.2.2 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด แต่ละชนิดก็จะมีสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันออกไป แล้วแต่โครงสร้างและชนิดของสารทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ผู้ผลิตได้ผลิตออกมา การแบ่งชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงอาจแบ่งโดยใช้ความดันของก๊าซที่เข้าไป หรือใช้อุณหภูมิการทำงาน of เซลล์เชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง แต่สิ่งที่นิยมในการแบ่งประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง คือชนิดของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งจะแบ่งเซลล์เชื้อเพลิงออกมาได้ดังนี้ [13], [14]

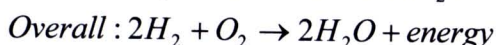
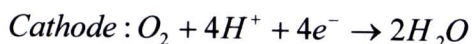
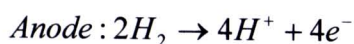
1. เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell : PAFC)



เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก ใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เข้มข้น 100% เป็นอิเล็กโทรไลต์ โดยกรดจะบรรจุอยู่ในเมตริกซ์ซิลิกอนคาร์ไบด์ และใช้คาร์บอนพอร์เป็นขั้วไฟฟ้าซึ่งบรรจุทองคำขาว (Pt) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานอุณหภูมิระหว่าง $150\text{ }^{\circ}\text{C} - 220\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากกรดฟอสฟอริกเข้มข้นมีความเสถียรเมื่อทำงานที่อุณหภูมินี้ ที่อุณหภูมิต่ำจะมีปัญหาเกี่ยวกับ CO เข้าทำลายตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วบวก (แอโนด) และการนำไอออนในอิเล็กโทรไลต์ไม่มีพอ

เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในปัจจุบันเป็นเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาเต็มที่แล้ว ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้อยู่ที่ 85% เมื่อใช้เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนร่วมกันแต่จะมีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว (37% ถึง 42%)

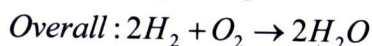
2. เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell : PEMFC)



เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เซลล์เชื้อเพลิงแบบแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ให้ความหนาแน่นพลังงานสูงและมีข้อได้เปรียบที่น้ำหนักเบาและปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน ใช้โพลีเมอร์แข็งเป็นอิเล็กโทรไลต์ ที่ใช้กันโดยส่วนใหญ่คือ Perfluorinated sulfonic acid polymer เพราะเป็นสารนำโปรตอนที่ดี ใช้แท่งคาร์บอนพูนเป็นขั้วไฟฟ้าซึ่งบรรจุทองคำขาว (Pt) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการแยกอิเล็กตรอนและโปรตอนของไฮโดรเจน เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ต้องการไฮโดรเจน ออกซิเจน และน้ำเท่านั้นในการทำงาน ไม่ต้องใช้กรดหรือด่างเหมือนเซลล์เชื้อเพลิงบางชนิด เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน ทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 80°C การทำงานที่อุณหภูมิต่ำทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเริ่มต้นทำงานได้เร็ว (ใช้เวลาอุ่นเครื่องน้อย) อุปกรณ์ในระบบสีกหรือน้อย ช่วงอายุการใช้งานดีกว่า แต่การใช้ Pt เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้มีราคาแพง และ Pt มีความไวต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ดังนั้นจึงต้องใช้เตาปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น เพื่อลด CO ในเชื้อเพลิง ถ้าได้ไฮโดรเจนจาก แอลกอฮอล์ หรือเชื้อเพลิงที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งทำให้ราคาเพิ่มขึ้นไปอีก ปัจจุบันนักพัฒนา กำลังคิดค้นตัวเร่งปฏิกิริยา platinum/ruthenium ที่มีความทนทานต่อ CO

ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน ไฮโดรเจนไหลเข้าสู่เซลล์ทางขั้วบวกในเซลล์ (Anode) และถูกแยกออกเป็นไฮโดรเจนไอออน (โปรตอน) และอิเล็กตรอน ไฮโดรเจนไอออนซึมผ่าน อิเล็กโทรไลต์เข้าไปยังขั้วลบในเซลล์ (Cathode) ในขณะที่อิเล็กตรอนไหลผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกป้อนกำลังให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ออกซิเจนในรูปแบบของอากาศถูกป้อนเข้าทางด้านขั้วลบในเซลล์ และรวมเข้ากับอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนไอออนกลายเป็นน้ำ

3. เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell : AFC)



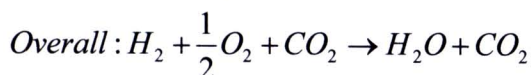
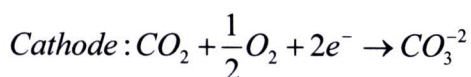
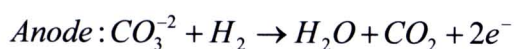
เซลล์เชื้อเพลิงแบบต่างเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการพัฒนารุ่นแรกๆ และเป็นชนิดแรกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงการอวกาศของสหรัฐอเมริกา เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำบนยานอวกาศ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอิเล็กโทรไลต์ และสามารถใช้โลหะที่ไม่มีค่าได้หลากหลายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วบวกและขั้วลบ เซลล์เชื้อเพลิงแบบ

ค่าการทำงานที่อุณหภูมิสูงระหว่าง 100°C และ 250°C อย่างไรก็ตามได้มีการออกแบบพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแบบต่างรุ่นใหม่ ให้สามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำลงมาที่ประมาณ 23°C ถึง 70°C

ประสิทธิภาพของ AFC ค่อนข้างสูงซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ จากการใช้งานในอวกาศได้แสดงให้เห็นว่า เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพใกล้เคียง 60% ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้คือเสถียรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในความเป็นจริงแค่ CO₂ เพียงเล็กน้อยในอากาศก็สามารถมีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ ทำให้จำเป็นต้องใช้ ไฮโดรเจนและออกซิเจนบริสุทธิ์ กระบวนการที่ทำให้บริสุทธิ์นี้มีราคาแพง ความไวต่อ CO₂ นี้มีผลต่ออายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิง

การออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบต่างคล้ายกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEM แต่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอิเล็กโทรไลต์ ไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้นโดยที่ไฮดรอกไซด์ไอออน OH⁻ เคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังขั้วบวก และทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนได้น้ำและอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกนี้ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าให้กับวงจรไฟฟ้าภายนอกเซลล์และกลับไปที่ขั้วลบภายในเซลล์ ที่ขั้วลบนี้อิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำเพื่อผลิตไฮดรอกไซด์ไอออนเพิ่มขึ้น

4. เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอมเหลว (Molten Carbonate Fuel Cell : MCFC)

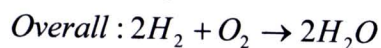
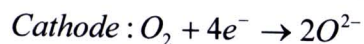
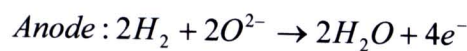


เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอมเหลว (MCFC) ในปัจจุบันกำลังพัฒนาเพื่อใช้กับก๊าซธรรมชาติและถ่านหินสำหรับโรงไฟฟ้า เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และการใช้กิจการทหาร MCFC เป็นเซลล์เชื้อเพลิงอุณหภูมิสูงซึ่งใช้อิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วยเกลือคาร์บอเนตผสมละลายบรรจุในเมตริกซ์เซรามิกลิเทียมอะลูมิเนียมออกไซด์ (LiAlO₂) ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 650°C ขึ้นไป ดังนั้นจึงสามารถใช้โลหะที่ไม่มีราคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วบวกและขั้วลบได้ ทำให้ลดราคาของเซลล์เชื้อเพลิงลง MCFC ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ปรับปรุงเชื้อเพลิงภายนอก เพื่อแปลงผันเชื้อเพลิงให้เป็นไฮโดรเจน เนื่องจาก MCFC ทำงานที่อุณหภูมิสูง เชื้อเพลิงจะถูกแปลงผันเป็นไฮโดรเจนภายในตัว

เซลล์เชื้อเพลิงเองด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการปรับปรุงภายใน (Internal reforming) ซึ่งทำให้ราคาลดลง

การปรับปรุงประสิทธิภาพเป็นเหตุผลอีกอย่างหนึ่งของ MCFC ที่ทำให้มีข้อได้เปรียบเหนือ PAFC เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอนเนตหลอมเหลวสามารถทำให้ประสิทธิภาพใกล้เคียง 60% และเมื่อนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ประสิทธิภาพรวมทั้งหมดของเชื้อเพลิงจะสูงขึ้น 85% ข้อเสียอย่างแรกของเทคโนโลยี MCFC ในปัจจุบันคืออายุการใช้งาน เนื่องจากเซลล์ทำงานที่อุณหภูมิสูงและใช้อิเล็กโทรไลต์ที่กัดกร่อนจึงเป็นตัวยุทธศาสตร์ทำให้ส่วนประกอบสึกกร่อนและเสียหาย เป็นการลดอายุการใช้งานลง ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์กำลังคิดค้นหาวัสดุที่ทนทานต่อการสึกกร่อนสำหรับทำส่วนประกอบและออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นโดยประสิทธิภาพไม่ลดลง เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอนเนตหลอมเหลวใช้เกลือลิเทียมโพแทสเซียมคาร์บอเนต หรือลิเทียมโซเดียมคาร์บอเนตหลอมเหลวละลายเป็นอิเล็กโทรไลต์ เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิประมาณ 650°C เกลือเหล่านี้จะหลอมละลายและผลิตไอออนคาร์บอเนตซึ่งไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวกและรวมกับไฮโดรเจนได้น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ผ่านไปตามวงจรไฟฟ้าภายนอกและกลับไปขั้วลบ สร้างพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผ่าน

5. เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell : SOFC)



เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งใช้เซรามิกส์เป็นอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งทำจากออกไซด์ของโลหะเช่น เซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium Oxide) ที่เจือด้วยยิตเรียม (Yttrium) จำนวนเล็กน้อย นอกจากนี้มีคู่ออกไซด์อื่นที่ใช้ทำเป็นอิเล็กโทรไลต์ได้อีก เช่น เซอร์โคเนียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ อิเล็กโทรไลต์แข็งเคลือบด้วยวัสดุพูนชนิดพิเศษทั้งสองข้างทำเป็นขั้วไฟฟ้า เซลล์ชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000°C ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้ถึง 60% และถ้านำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ร่วมด้วยประสิทธิภาพจะเพิ่มเป็น 85% เนื่องจากเซลล์ทำงานที่อุณหภูมิสูงทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้โลหะราคาแพงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการปรับปรุงเชื้อเพลิงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ทำให้สามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายโดยไม่ต้องเพิ่มตัวปรับปรุงเชื้อเพลิงภายนอกเข้ากับระบบ ซึ่งช่วยให้ราคาของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งลดลง นอกจากนี้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 7 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 249355
เลขเรียกหนังสือ.....

SOFC ยังเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ทนต่อกำมะถันมากที่สุดและไม่ถูกทำลายด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ดังนั้นก๊าซจากถ่านหินสามารถใช้ได้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้

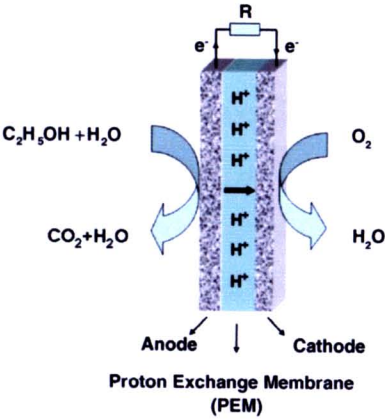
การทำงานที่อุณหภูมิสูงของเซลล์สามารถทำให้เกิดข้อเสียได้คือ เริ่มต้นจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ช้า ต้องการฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนและป้องกันคน เหมาะสำหรับเป็นโรงงานไฟฟ้าที่อยู่กับที่ไม่เหมาะสำหรับการขนส่งหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องมีการเคลื่อนย้าย นอกจากนั้นยังทำให้วัสดุที่ใช้สร้างเซลล์เชื้อเพลิงมีอายุการใช้งานสั้นลง

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์กำลังค้นคว้าหาทางพัฒนา SOFC ที่ทำงานที่อุณหภูมิต่ำโดยทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800°C ซึ่งทำให้ปัญหาเกี่ยวกับอายุการใช้งานและราคาของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง แต่กำลังไฟฟ้าที่ได้จะลดลงด้วย

2.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรง (direct ethanol fuel cell) [15]

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรงจัดเป็นเซลล์เชื้อเพลิงโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนชนิดหนึ่งซึ่งใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเซลล์โดยตรง โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนรูปให้เป็นไฮโดรเจนก่อน

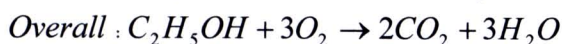
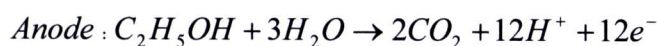
2.3.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรง



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรง

จากรูปที่ 2.2 สารละลายเอทานอลจะถูกป้อนเข้ามาที่ขั้วแอโนด เอทานอลจะถูกออกซิไดซ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นผลิตภัณฑ์ออกมา ในขณะที่เดียวกัน ก็จะได้โปรตอน (H^+) และอิเล็กตรอน (e^-) ออกมา โดยโปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารอิเล็กโทรไลต์ (membrane) ไปยังขั้วแคโทด ส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งออกนอกเซลล์ไปยังวงจรไฟฟ้าภายนอก และจะวิ่งเข้าสู่เซลล์ที่ขั้วแคโทดอีกครั้งที่ขั้วแคโทด สารออกซิเจน (ออกซิเจนหรืออากาศ) จะทำปฏิกิริยากับโปรตอนและอิเล็กตรอนที่ถูกส่งมาจากขั้วแอโนดได้ผลิตภัณฑ์ออกมาคือน้ำ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วของตัวเร่งปฏิกิริยาในกรณีที่เป็นอุดมคติ [16] เป็นดังนี้



เซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรง (DEFC) โดยตรงจะแตกต่างกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (PEMFC) คือความต่างศักย์สูญเสีย (Over potential loss) ของ DEFC เกิดจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าอย่างช้าที่ขั้วแอโนด

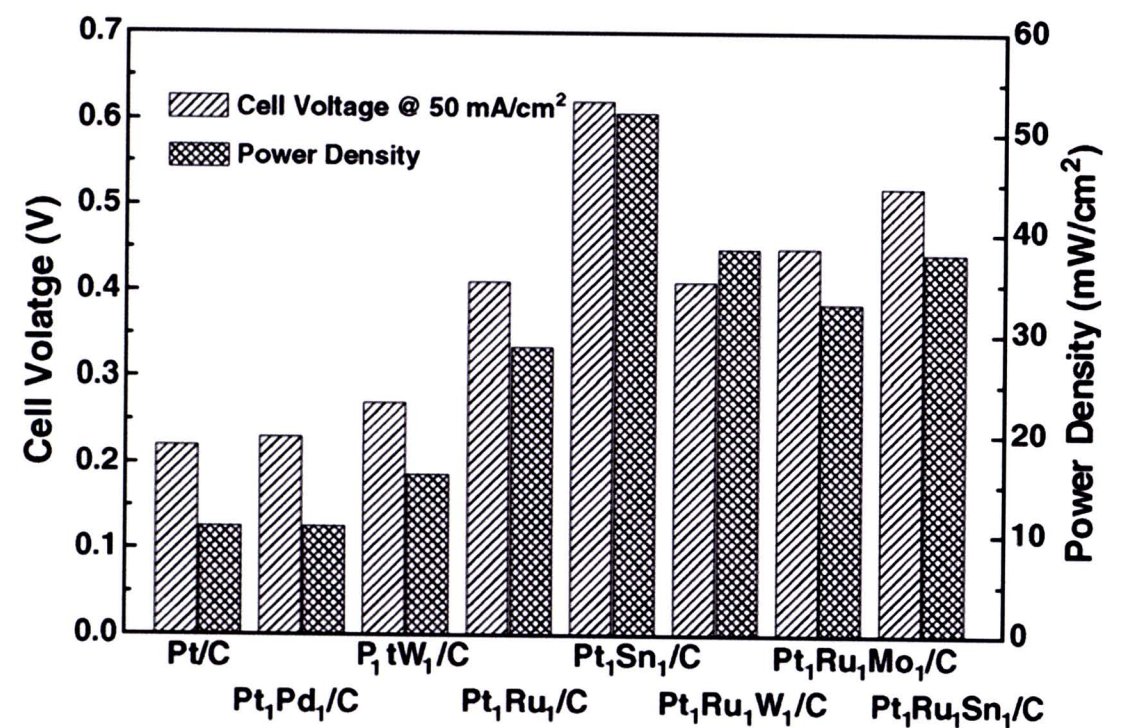
2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรง

การเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อมาใช้ในการทำขั้วอิเล็กโทรด สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลโดยตรงเพื่อต้องการให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เกิดได้อย่างสมบูรณ์ (ได้ผลิตภัณฑ์เป็น CO_2) และขั้วอิเล็กโทรดที่ดินนอกจากจะต้องมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาแล้ว ยังต้องมีสมบัติเป็นตัวนำอิเล็กตรอนที่ดีด้วย ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ และช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เราให้ความสนใจ นอกจากนี้ การทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยากระจายตัวบนตัวรองรับนั้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ว่องไว (Active area) และลดปริมาณโหลดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst loading) ได้ด้วย ตัวรองรับ (Support) ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือคาร์บอน (Carbon) โดยเฉพาะ Carbon XC-72 (Cabot) ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) ประมาณ $240 \text{ m}^2/\text{g}$

ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตตินัม (Pt) เป็นวัสดุที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลแต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ใช้ Pt เพียงอย่างเดียว และทำปฏิกิริยาในสภาวะสมดุล (Steady state operation mode) Pt จะมีความว่องไว้น้อย ยิ่งไปกว่านั้น เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงมากขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง การแตกพันธะ C-C เป็นสิ่งสำคัญมากเพื่อให้ปฏิกิริยาออกซิ

เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ด้วยการเพิ่มสารเติมแต่ง (Additive) โลหะบางชนิดเข้าไปดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3

จากรูป เราจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนว่าสารเติมแต่งสามารถเพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอธานอลให้กับตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ได้ไม่มากนักน้อย ที่เด่นชัดที่สุดคือตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตตินัม – ทิน (Pt-Sn) เราพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density) ที่ 50 mA cm^{-2} ค่าความต่างศักย์ของเซลล์ (Cell voltage) และความหนาแน่นกำลัง (Power density) มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3 และ 5 เท่าของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็น Pt อย่างเดียว



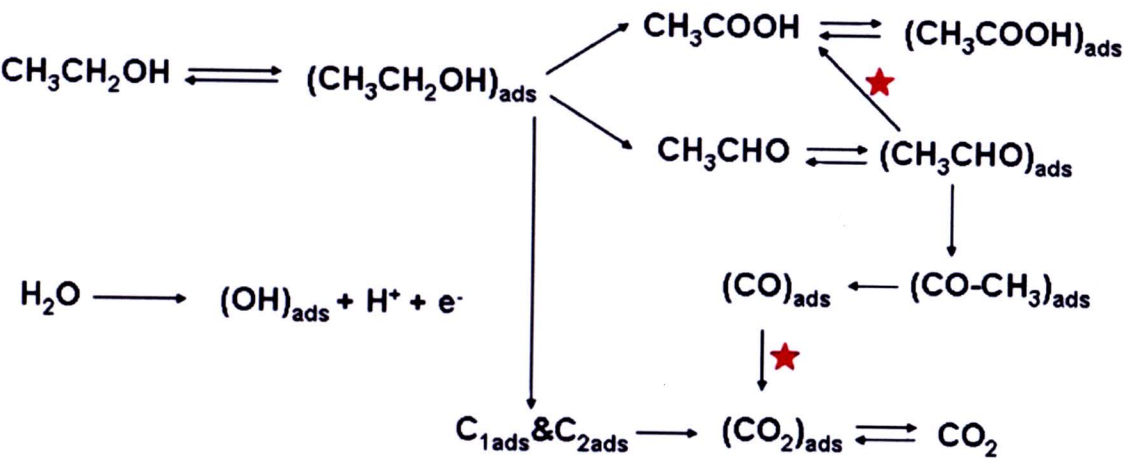
รูปที่ 2.3 ผลของการเติมสารเติมแต่ง ที่มีต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอธานอล ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรง (DEFC) ที่สภาวะการทำงาน: อุณหภูมิเซลล์ 90°C แอโนด: PtM/C, $1.3 \text{ mg Pt cm}^{-2}$, ความเข้มข้นของสารละลายเอธานอล 1.0 โมลต่อลิตร, อัตราการไหล 1.0 มิลลิตรต่อนาที แคโทด: Pt/C (20% Johnson Matthey Corp.), 1.0 mg cm^{-2} , $P_{O_2} = 2.0 \text{ atm}$ อิเล็กโทรไลต์: Nafion-115 membrane

ตารางที่ 2.1 ค่าความต่างศักย์เริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน

ตัวเร่งปฏิกิริยา	Pt/C	Pt ₁ Ru ₁ /C	Pt ₁ Sn ₁ /C
ค่าความต่างศักย์เริ่มต้น(mV vs. DHE)	380	200	85

จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นได้ชัดว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเกิดได้ง่ายเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น PtSn/C แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีความพยายามในการหาตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ทำให้เกิดปฏิกิริยาดำเนินไปตามที่ต้องการ โดยการเพิ่มสารเติมแต่ง (Additive) ตัวที่สามลงไป Liu et al. ได้รายงานไว้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา PtRu ที่ทำการเติม Sn ลงไปเป็นสารเติมแต่งตัวที่สามนั้น ให้ค่าสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงดีที่สุด Lamy et al. ได้ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณของ Sn ที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล เขาพบว่าสัดส่วนอะตอม (Sn atomic ratio) ของ Sn ในตัวเร่งปฏิกิริยา PtSn ในช่วง 10-20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลดำเนินไปตามที่ต้องการ นอกจากนี้ เขายังพบว่าการเพิ่ม Sn ลงไปทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปแล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็น กรดอะซิติก (Acetic acid) และเขายังได้เสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยาไว้ด้วย

จากการรวบรวมผลการทดลองของ Lamy, Zhou และ Song กลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลที่เป็นไปได้ เมื่อใช้ PtSn เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงให้ดูดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล เมื่อใช้ PtSn เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

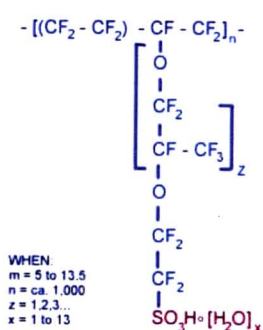
จากรูปการดูดซับ (Adsorption) และการหลุดออก (Decomposition) ของเอธานอลและ intermediate ของเอธานอลที่เกิดจากปฏิกิริยา จะเกิดขึ้นบริเวณวงวอวของ Pt (Pt active site) ขณะที่การดูดซับของน้ำจะเกิดขึ้นบริเวณวงวอวของ Sn (Sn active site)

นอกจากผลของการเติมสารเติมแต่งลงบน Pt แล้ว แรงกระทำระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา กับตัวรองรับ (Support) ก็มีความสำคัญเช่นกัน สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอธานอล ตัวรองรับที่เป็น Carbon nanotube จะแสดงการเกิดปฏิกิริยาที่ดี ส่วนปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอธานอลที่ใช้ตัวรองรับเป็น Multi-wall carbon nanotube (MWNTs) และตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น PtSn แสดงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับ ตัวรองรับที่เป็น Carbon XC-72

2.3.3 ส่วนประกอบ MEA ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรง

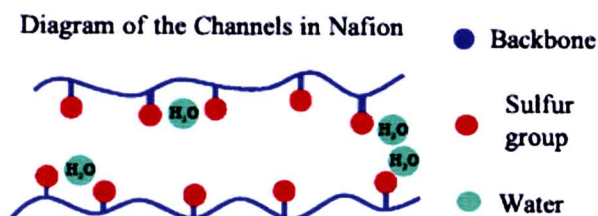
เมมเบรน (Membrane) [14]

โดยทั่วไป เมมเบรนที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีสมบัติเป็นตัวนำโปรตอนที่ดี (high proton conductivity) และต้องเป็นตัวกั้นไม่ให้ เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าที่ขั้วแอโนดและสารออกซิไดซ์ที่ป้อนเข้าขั้วแคโทดไหลมาผสมกัน ลักษณะทั่วไปของเมมเบรนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงต้องมีสภาพน้ำที่สูง มีสมบัติขวางกั้น (Barrier Property) ที่ดี มีความแข็งแรงทางกลที่ดี มีความทนทานต่อความร้อนและสารเคมี และเป็นฉนวนทางไฟฟ้า เมมเบรนจะต้องมีอันตรกิริยากับน้ำ และให้เกิดสภาพน้ำที่ดีในสถานะไฮเดรชัน และต้องยอมให้มีการส่งผ่านน้ำที่เพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดโพลาริเซชัน ซึ่งเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้เป็นพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรนในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนคือ Perfluorosulfonic Acid Ionomer หรือที่รู้จักกันในชื่อของแนฟิออน (Nafion)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Nafion

Nafion มีโครงสร้างหลักเป็น Teflon ซึ่งมีความเป็น hydrophobic (เกลียดน้ำ) สูง แต่ที่บริเวณปลายสุดของสายโซ่มีหมู่ฟังก์ชัน Sulphonic acid (SO_3H) เกาะอยู่ ซึ่งมีความเป็น hydrophilic (ชอบน้ำ) สูง ดังนั้นมันจึงสามารถดูดซับน้ำได้ Nafion มีโครงสร้างที่สามารถดูดซับน้ำได้ ทำให้โปรตอน (H^+) สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนที่ชุ่มไปด้วยน้ำได้ นี่จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมเมมเบรนจึงมีสมบัติในการนำโปรตอนที่ดี



รูปที่ 2.6 แสดงการแพร่ผ่าน Nafion membrane ของโปรตอน

Nafion เมมเบรนมี equivalent weight (EW) และความหนา (thicknesses) ที่แตกต่างกัน โดย EW คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของโพลิเมอร์เมมเบรนกับหมู่ sulphonic acid ซึ่งจะบอกจำนวนของโปรตอนที่สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนไปได้ เมมเบรนที่มีค่า EW ต่ำแสดงว่ามีสมบัติเป็นตัวนำโปรตอนที่ดี (high proton conductivity) ส่วนความหนาของเมมเบรนก็เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมบัติการนำโปรตอนของเมมเบรนเช่นกัน คือ เมมเบรนที่มีความหนามากจะเพิ่มความต้านทานการนำโปรตอน เป็นผลให้เกิดการสูญเสียแบบโอห์มมิก (Ohmic loss) มากขึ้น สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงก็จะลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่า equivalent weight ของเมมเบรนมีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงมากกว่าความหนาของเมมเบรน

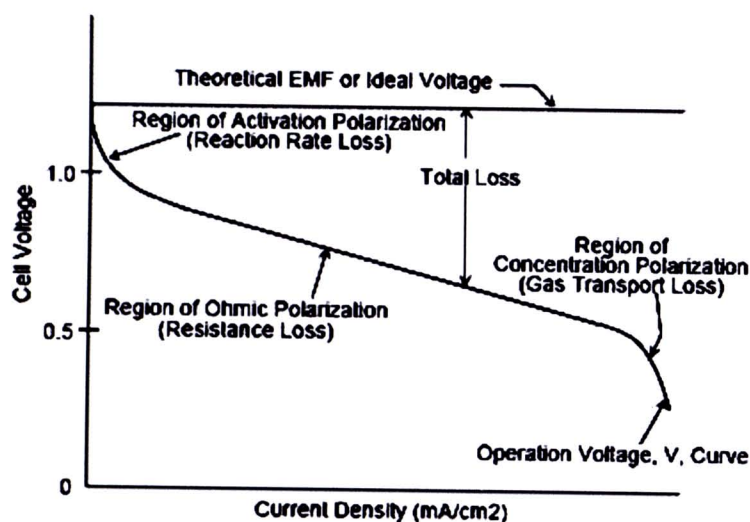
ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Layer) [14]

ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer หรือ Active layer) อยู่ระหว่างเมมเบรน และชั้นกระจายก๊าซ เป็นชั้นที่ช่วยกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยานี้ ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (โดยปกติเป็นแพลตตินัมบนตัวรองรับคาร์บอน) ผสมกับตัวประสานเนฟฟิออน (Nafion ionomer) และเทฟลอนมาผสม แต่ในปัจจุบันจะไม่ใช้เทฟลอนมาผสม แต่จะใช้ Nafion ionomer เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเป็นตัวช่วยประสานในทั้งสองฝั่งแอโนดและแคโทด

ชั้นแพร่กระจายก๊าซ (Gas Diffusion Layer) [14]

ชั้นแพร่กระจายก๊าซหรือ GDL เป็นส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีผลกระทบค่อนข้างมากต่อสมรรถนะเซลล์ อย่างแรกคือค่าการนำไฟฟ้าระหว่างแผ่นเก็บกระแส (Collecting Plates) และชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Layer) ชั้นแพร่กระจายก๊าซที่บางและมีค่าการนำที่สูงเป็นสิ่งที่ต้องการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการนำทางไฟฟ้าที่ดี อย่างไรก็ตามชั้นแพร่กระจายก๊าซจะต้องมีความพรุนตัวที่เหมาะสมต่อการส่งถ่ายก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยา แต่การพัฒนาการส่งผ่านมวลที่มาก จะมีผลกระทบในเรื่องของการนำไฟฟ้า โดยอาจจะไปเพิ่มค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หน้าที่อื่น ๆ ของชั้นแพร่กระจายก๊าซใน MEA คือกำจัดน้ำออกจาก MEA โดยชั้นแพร่กระจายก๊าซทำจากการผสมคาร์บอนกับ PTFE หรือ เทฟลอนซึ่งเป็นสารที่เกลียดน้ำ จะทำให้การกำจัดน้ำได้ดี อย่างไรก็ตาม เทฟลอนไม่นำไฟฟ้าและมันยังลดความพรุนตัวของชั้นแพร่กระจายก๊าซ ซึ่งทำให้การส่งผ่านก๊าซไม่ดี และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการท่วมขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อให้การปฏิกิริยาต่าง ๆ เหมาะสม จึงควรใส่ปริมาณเทฟลอนในชั้นแพร่กระจายก๊าซที่เหมาะสม

2.4 การสูญเสียความต่างศักย์ (Polarization losses)



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างศักย์ และความหนาแน่นกระแส

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับค่าความหนาแน่นกระแส (Current Density) ของเซลล์เชื้อเพลิง จะสังเกตได้ว่าที่สภาวะวงจรเปิด (Open circuit) ค่าความต่างศักย์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าความต่างศักย์ทางทฤษฎี ที่ความหนาแน่นกระแสต่ำๆ ค่าความต่างศักย์ของเซลล์มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความหนาแน่นกระแสมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความต่างศักย์จะลดลงแบบเชิงเส้น และค่าความ

ต่างศักย์จะลดลงอย่างมากเมื่อค่าความหนาแน่นกระแสมีค่าสูงกว่าค่าๆ หนึ่ง ค่าความต่างศักย์วงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิงหาได้จากสูตร

$$E^\circ = -\frac{\Delta G^\circ}{nF} \quad (2.1)$$

สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรง ค่าความต่างศักย์ทางทฤษฎี (Theoretical Potential: E°) ที่อุณหภูมิ 298 K มีค่าเท่ากับ 1.14587 V (โดยที่ $\Delta G^\circ = -1326.7 \text{ kJ mol}^{-1}$: base on liquid water) สำหรับสมการเนินสท์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอธานอลโดยตรงนั้น เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความดันดังสมการต่อไปนี้

$$E^{\text{Nerns}} = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{(P_{\text{CO}_2}^2 / P^\circ)(P_{\text{H}_2\text{O}}^3 / P^\circ)}{(P_{\text{EtOH}} / P^\circ)(P^3 / P^\circ)} \quad (2.2)$$

เซลล์เชื้อเพลิงเมื่อนำไปใช้งานจริง เราจะพบว่าค่าความต่างศักย์ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าความต่างศักย์ที่ได้ทางทฤษฎีค่อนข้างมาก สาเหตุที่ทำให้ค่าความต่างศักย์จริงของเซลล์เชื้อเพลิงมีความแตกต่างจากค่าความต่างศักย์แบบผันกลับได้ เกิดจากการสูญเสียภายในตัวเซลล์ ค่าความแตกต่างนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าการผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) หรือ การสูญเสีย (Losses) หรือความต่างศักย์เกิน (Overvoltage)

2.4.1 สาเหตุของการสูญเสียค่าความต่างศักย์ของเซลล์เชื้อเพลิง

1. การสูญเสียอันเนื่องมาจากพลังงานกระตุ้น (Activation Losses)

การเกิดปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิง จะมีความต่างศักย์ส่วนหนึ่งที่ถูกลดลงเพื่อใช้ในการทำให้ปฏิกิริยาที่ช้าอิเล็กโทรดสามารถเกิดขึ้นและดำเนินไปได้ ดังนั้นเราจึงพบว่า ในช่วงแรกของการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงหรือที่สภาวะวงจรเปิด (Open circuit) ความต่างศักย์ของเซลล์จะมีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี

$$V = E - A \ln \left(\frac{i}{i_0} \right) \quad (2.3)$$

2. การสูญเสียแบบโอห์มมิก (Ohmic Losses)

การสูญเสียอันเนื่องมาจากความต้านทานทางไฟฟ้า (Electrical Resistance) ของขั้วอิเล็กโทรด และความต้านทานการไหลของไอออนในอิเล็กโทรไลต์ จัดเป็นการสูญเสียแบบโอห์มมิก ค่าความต่างศักย์ของการสูญเสียนี้มีค่าแปรผันโดยตรงกับกระแสดังนี้

$$V = IR \quad (2.4)$$

ในเซลล์เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ ค่าความต้านทานส่วนมากเกิดจากอิเล็กโทรไลต์ และจุดเชื่อมต่อตรงแผ่นสองขั้ว (Bipolar Plate) หรือแผ่นสะสมกระแส

3. การสูญเสียอันเนื่องจากการส่งถ่ายมวล (Mass Transport Losses)

เป็นผลเนื่องจากความดันที่ตกลงของแก๊สบริเวณใกล้ทางออกของเซลล์และสภาพการหมุนเวียนแก๊สที่แย่ลงเมื่อเซลล์ทำงานที่ค่ากระแสสูง ๆ เมื่อให้ i_l คือค่าความหนาแน่นกระแสพิกิด (Limiting Current Density) ซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์เชื้อเพลิง ณ ขณะที่ปริมาณการใช้ไปของเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับอัตราการป้อนสูงสุดของเชื้อเพลิงไปยังอิเล็กโทรด เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์เกินเนื่องจากความเข้มข้นได้เป็น

$$V_m = B \ln \left(1 - \frac{i + i_n}{i_l} \right) \quad (2.5)$$