

# Water Electrolysis

## เทคโนโลยี ผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่สะอาดและยั่งยืน



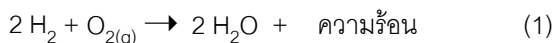
การนำไฮโดรเจนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง เป็นกระบวนการแปรรูปพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยตรงในขั้นตอนเดียว ไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ผลิตที่ได้มีเพียงน้ำ และความร้อน ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจก ชนิดอื่น ๆ เกิดขึ้น ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในชีวิตรประจำวันมีเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ตามจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น แต่พลังงานที่ได้จากฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานหลัก กำลังจะหมดไปในอนาคต หากไม่สามารถหาพลังงานจากแหล่งอื่นที่ยั่งยืนมาทดแทนได้ นอกจากนั้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลยังก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน

เมื่อมนุษย์มีความต้องการมากขึ้น ประกอบกับเทคโนโลยีมีการพัฒนาตลอดเวลา โรงงานอุตสาหกรรมก็เกิดขึ้นมากมาย คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ ปิโตรเลียม ตลอดจนเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ที่ปล่อยมาจากโรงงานอุตสาหกรรม และระบบขนส่ง คิดเป็นสัดส่วนสูงสุดของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ คือ ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเชื้อเพลิงเหล่านี้ล้วนมีคาร์บอนอยู่ในโครงสร้าง เมื่อเกิดการเผาไหม้กับออกซิเจน จึงเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น และหากเป็นการเผาไหม้

ที่ไม่สมบูรณ์จะยิ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ตามมา เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ และสารประกอบออกไซด์ไนโตรเจน (No<sub>x</sub>) หรือซัลเฟอร์ (So<sub>x</sub>) รูปแบบต่าง ๆ อีกด้วย

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการหาพลังงานทางเลือกในรูปแบบอื่น ๆ ที่เป็นพลังงานสะอาดมาทดแทน หนึ่งในทางเลือกคือ พลังงานจากไฮโดรเจน เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีอยู่มากที่สุดบนโลก และก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ให้พลังงานต่อหน่วยน้ำหนัก (power density) สูงสุดในบรรดาเชื้อเพลิงทั้งหมด คือ ประมาณ 120 MJ/kg (เทียบกับ 50 MJ/kg สำหรับมีเทน หรือ 44.4 MJ/kg สำหรับแก๊สโซลีน) โดยการเผาไหม้ของก๊าซไฮโดรเจน (ในกรณีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์) จะได้ผลผลิตเป็นเพียงน้ำ และพลังงานความร้อนโดยปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 1



โดยความร้อนที่ได้ สามารถนำไปใช้งาน หรือแปรรูปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ๆ เช่น พลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้งานต่อไป นอกจากนั้นเมื่อนำไฮโดรเจนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นระบบการแปรรูปพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงในขั้นตอนเดียวโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี (ผ่านสมการที่ 1 เช่นกัน) ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ผลผลิตที่ได้มีเพียงน้ำและความร้อนเท่านั้น ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกก๊าซอื่น ๆ เป็นผลผลิต ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้พลังงานจากไฮโดรเจนเหมาะที่จะเป็นพลังงานทางเลือกในการลดปัญหาโลกร้อนในอนาคตได้

## กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในปัจจุบัน

แม้ว่าไฮโดรเจนจะเป็นธาตุที่พบมากที่สุดบนโลก แต่ก็ไม่ได้อยู่ในสภาพก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ที่พร้อมใช้งาน เนื่องจากไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) เชื้อเพลิงฟอสซิล และ น้ำ (H<sub>2</sub>O) ดังนั้นก๊าซไฮโดรเจนจึงไม่จัดว่าเป็น “แหล่งพลังงานเบื้องต้น (primary energy source)” หรือ “วัตถุดิบ (feed stock)” ของการผลิตเชื้อเพลิง ที่ถูกต้องควรจะให้คำจำกัดความของไฮโดรเจนว่า “สื่อพลังงาน” หรือ “Energy carrier” (อีกตัวอย่างของ “สื่อพลังงาน” ที่เรารู้จักคือ “ไฟฟ้า”) ดังนั้นหากจะนำไฮโดรเจนมาใช้งาน จะต้องสกัดไฮโดรเจนให้อยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนจากสารประกอบ ซึ่งต้องผ่านกรรมวิธีที่ยุ่งยากเพื่อให้ได้ก๊าซไฮโดรเจนมาใช้ต่อไป

การผลิตก๊าซไฮโดรเจน หรือการสกัดไฮโดรเจนให้อยู่ในรูปก๊าซไฮโดรเจนจากสารประกอบที่เป็นวัตถุดิบมีหลายวิธี (ดังแสดงในตารางที่ 1) ได้แก่ วิธีสตีมีรีฟอร์มเมชัน (steam reformation) วิธีแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) และวิธีพาสเซิลออกซิเดชัน (partial oxidation) ซึ่งแต่ละวิธีขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานเบื้องต้นที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เช่น ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งรวมวลหรือถ่านหิน โดยวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน คือ วิธีสตีมีรีฟอร์มเมชัน คิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ ของการผลิตก๊าซไฮโดรเจนทั้งหมด เนื่องจากมีประสิทธิภาพผลสูงสุด และมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ยังมีข้อด้อยคือ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งรวมถึงวิธีแก๊สซิฟิเคชัน และวิธีพาสเซิลออกซิเดชัน) มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน (ดังสมการเคมีแสดงในตารางที่ 1) ดังนั้นจึง

ตารางที่ 1 กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้โดยทั่วไป

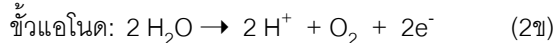
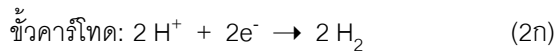
กระบวนการ	วัตถุดิบ	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน
สตีมีรีฟอร์มเมชัน	ก๊าซธรรมชาติ	(ขั้นที่ 1) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ (ขั้นที่ 2) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ปฏิกิริยารวม $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$
แก๊สซิฟิเคชัน	ถ่านหิน และชีวมวล	(ขั้นที่ 1) $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ (ขั้นที่ 2) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ปฏิกิริยารวม $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$
พาเซิลออกซิเดชัน	ก๊าซธรรมชาติ	$\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$
แยกน้ำโดยไฟฟ้า	น้ำ	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

เป็นเพียงการย้ายจุดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล มาเป็นที่กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนแทน

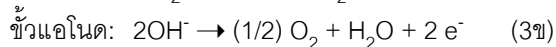
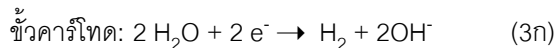
## ทางเลือกในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์สะอาดและยั่งยืน

อย่างไรก็ตามยังมีกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนอีกวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้ โดยไม่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ นั่นคือ การผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยวิธีแยกน้ำโดยไฟฟ้า (water electrolysis) อาศัยหลักการทางเคมีไฟฟ้าในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน โดยมีน้ำเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้น (แทนที่จะเป็นสารประกอบคาร์บอนดังเช่นวิธีอื่น ดังรูปที่ 1)

ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าจากการแยกน้ำโดยไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแต่ละขั้ว ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดและเบสของสารละลายน้ำที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน เมื่อสารละลายน้ำอยู่ในสภาวะกรด ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วเป็นดังสมการที่ 2



และเมื่อสารละลายน้ำอยู่ในสภาวะเบสปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วเป็นดังสมการที่ 3



ปฏิกิริยารวมของทั้งสองกรณีจะเป็นปฏิกิริยาเดียวกัน (ดังสมการแสดงในตารางที่ 1) จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของกระบวนการแยกน้ำโดยไฟฟ้า มีเพียงก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่ขั้วคาร์โทด (ขั้วลบ) และก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด (ขั้วบวก) (สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้) จึงกล่าวได้ว่า การผลิตก๊าซไฮโดร-

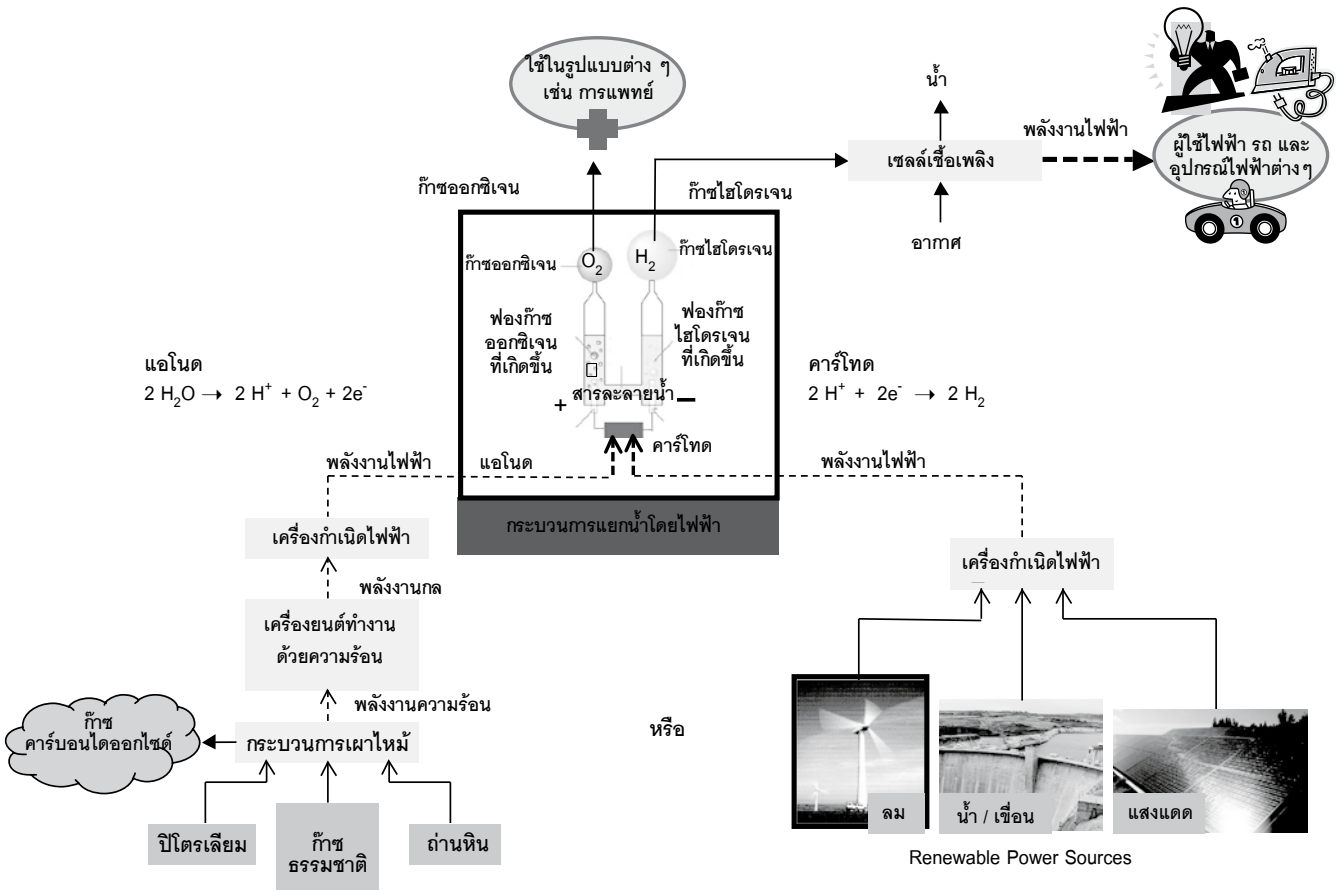
เจนด้วยวิธีนี้ มีศักยภาพที่จะนำไปสู่การพัฒนาพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจน

ทั้งนี้ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ ยังมีความบริสุทธิ์ที่สูงที่สุด (มากกว่า 99.999 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตโดยวิธีอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากจะนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง จะต้องมีความบริสุทธิ์มากที่สุด หากมีสิ่งเจือปนในรูปแบบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ แม้เพียงไม่กี่ส่วนในล้านส่วน (<10 ppm) จะส่งผลให้เซลล์เชื้อเพลิงเสื่อมประสิทธิภาพลงอย่างมาก

อย่างไรก็ตาม การได้มาซึ่งก๊าซไฮโดรเจนในรูปแบบของพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน โดยปราศจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศนั้น จะต้องพิจารณาถึงที่มาของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกน้ำ โดยพลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้ในกระบวนการแยกน้ำโดยไฟฟ้านั้น มาจากหลายแหล่ง (แสดงดังรูปที่ 1) แต่การที่จะทำให้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน (sustainable energy) ได้นั้น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ควรได้มาจากแหล่งพลังงานที่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ (renewable energy) และไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศในกระบวนการผลิตไฟฟ้าเช่นกัน

กล่าวคือ หากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ได้มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อ





▲ รูปที่ 1 แผนผังการผลิตและการใช้แก๊สไฮโดรเจน โดยวิธีแยกน้ำโดยไฟฟ้า

ใช้ในกระบวนการแยกน้ำโดยไฟฟ้า แก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตได้ก็ไม่ได้ถือว่าเป็นพลังงานที่ยั่งยืน ในทางตรงข้ามหากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการแยกน้ำโดยไฟฟ้า ได้มาจากแหล่งพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น พลังงานจากลม น้ำ (น้ำตก เขื่อน หรือ คลื่น) และแสงแดด แก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตโดยวิธีแยกน้ำโดยไฟฟ้า จึงจะจัดว่าเป็นพลังงานที่ยั่งยืน ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และภาวะโลกร้อนได้อย่างสมบูรณ์

### สิ่งที่ยังต้องพัฒนาต่อ

อย่างไรก็ตาม การจะนำแก๊สไฮโดรเจนมาใช้ในรูปแบบพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนในชีวิตประจำวัน แทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล จะต้องเอาชนะอุปสรรคทางเทคนิคให้ได้ก่อน กล่าวคือ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม และแสงอาทิตย์ จะต้องมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่เป็นอยู่ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า (ราคา/กิโลวัตต์/ชั่วโมง) อยู่ในระดับเดียวกับการผลิตไฟฟ้าจากฟอสซิล หรือก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากต้นทุนส่วนใหญ่ของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยวิธีแยกน้ำโดยไฟฟ้า

อยู่ที่ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า ที่ส่งผลให้ราคาแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตโดยใช้วิธีแยกน้ำโดยไฟฟ้าสูงกว่าวิธีอื่น ทำให้ในปัจจุบันการนำแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตโดยวิธีแยกน้ำโดยไฟฟ้า ยังคงจำกัดการใช้งานเฉพาะความต้องการใช้แก๊สไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงเท่านั้น

นอกจากนั้น วัสดุที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ดีที่สุด คือ แพลตินัม ซึ่งมีราคาสูง จึงต้องมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่า แต่ราคาถูกลง เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของโลหะผสมต่าง ๆ เช่น โลหะผสมนิกเกิลกับโลหะทรานซิชันอื่น ๆ เพื่อช่วยลดต้นทุนของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยวิธีเคมีไฟฟ้า ให้สามารถแข่งขันด้านราคากับเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในปัจจุบันได้