

H₂

บทที่ 9 พลังงานไฮโดรเจน: ฟองสบู่หรืออนาคตของโลก?

คำถามสำคัญ

1. พลังงานไฮโดรเจนคืออะไร มีกระบวนการผลิตพื้นฐานอย่างไร
2. พลังงานไฮโดรเจนส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับพลังงานฟอสซิลอย่างไร
3. พลังงานไฮโดรเจนมีบทบาทต่อความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างไร
4. ในชีวิตประจำวันเราสามารถที่ใช้พลังงานไฮโดรเจนอะไรบ้าง

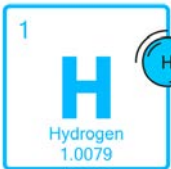
จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เข้าใจหลักการพื้นฐานของพลังงานไฮโดรเจนได้อย่างถูกต้อง
2. วิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัดของพลังงานไฮโดรเจน
3. เข้าใจถึงศักยภาพบทบาทของพลังงานไฮโดรเจนเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกที่ยั่งยืน
4. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน



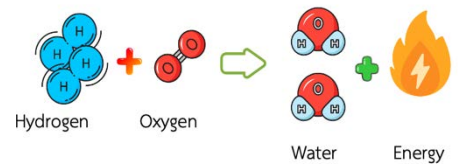
ไฮโดรเจน

มีความสำคัญอย่างมากในฐานะเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและยั่งยืน โดยเมื่อไฮโดรเจนผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นพลังงานด้วยการเผาไหม้จะปล่อยเพียงโมเลกุลน้ำออกสู่อวกาศ จึงถือเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และไฮโดรเจนยังมีค่าพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักสูงกว่าพลังงานฟอสซิลทำให้สามารถใช้งานในอุตสาหกรรมและระบบขนส่งระยะไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญกับการลงทุนในเทคโนโลยีผลิตพลังงานไฮโดรเจน เพื่อสร้างโอกาสในการเติบโตทางเศรษฐกิจ



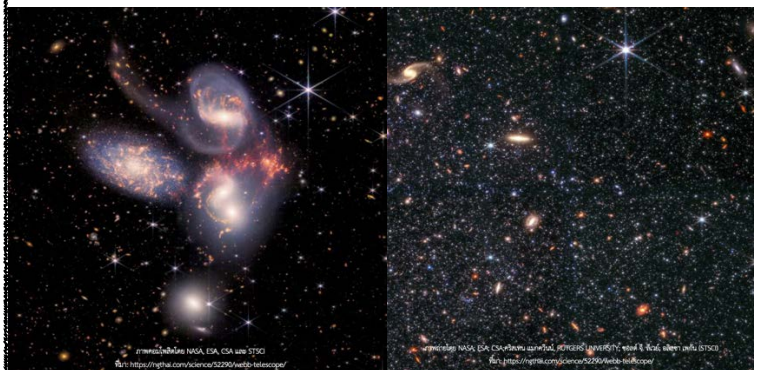
ไฮโดรเจน เป็นธาตุเคมีที่มีสัญลักษณ์ H และเลขอะตอม 1.00784 และมีน้ำหนักอะตอม 1.00811 ถือเป็นธาตุที่เบาที่สุดและพบมากที่สุดในจักรวาล คิดเป็นประมาณ 75% ของมวลทั้งหมดในเอกภพ โดยทั่วไปไฮโดรเจนจะอยู่ใน

สถานะก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส และความหนาแน่นต่ำมาก ทำให้สามารถลอยขึ้นไปในชั้นบรรยากาศได้ง่าย ไฮโดรเจนมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้เป็นโมเลกุลน้ำและพลังงานออกมา แหล่งที่พบไฮโดรเจนมากที่สุดบนโลกคือในน้ำ (H_2O)



เกร็ดความรู้

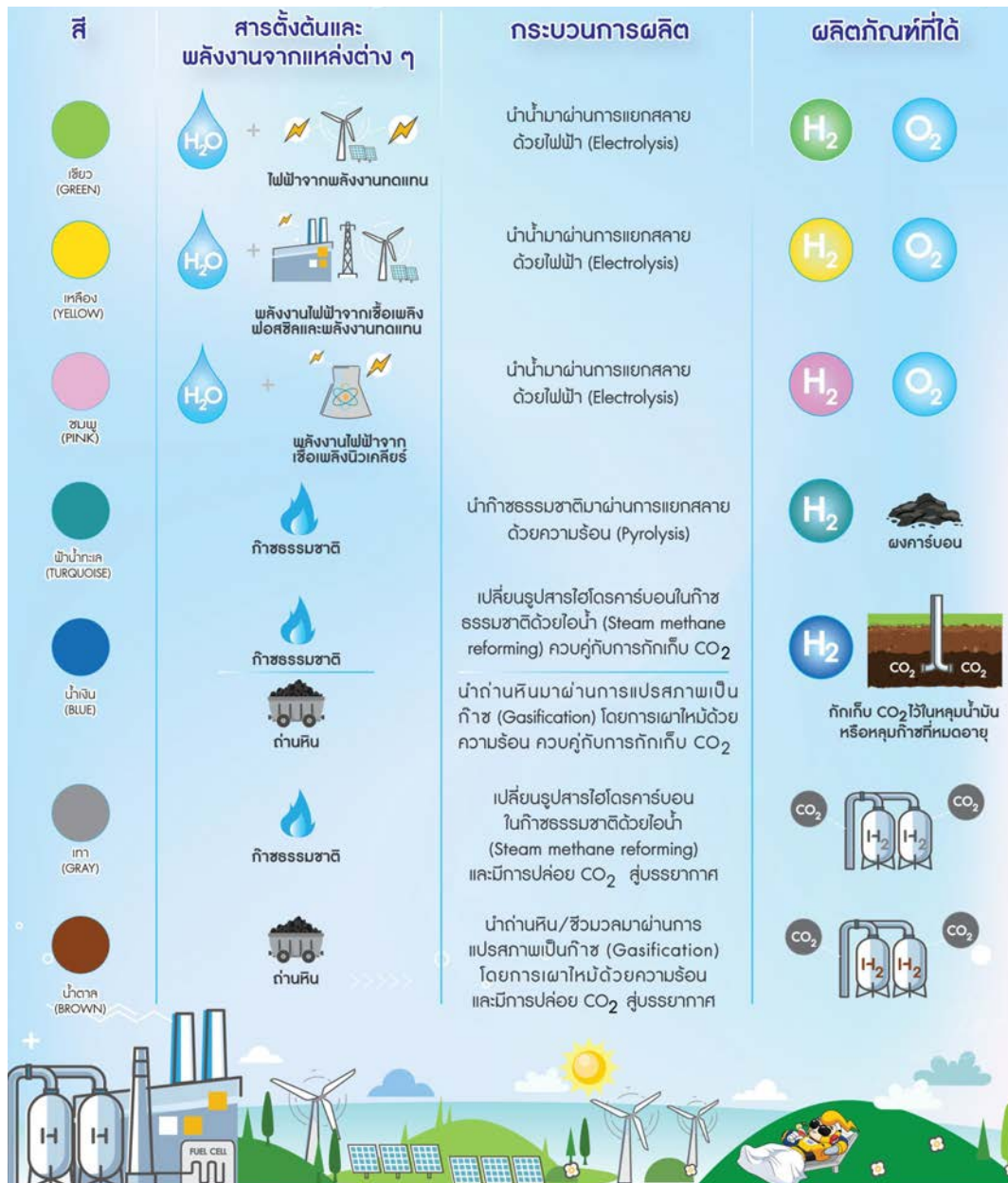
“เอกภพ หรือ จักรวาล (Universe)” เป็นระบบที่ใหญ่ที่สุดและไร้ขอบเขต และเป็นห้วงอวกาศที่เต็มไปด้วยดวงดาวจำนวนมากที่เราจะเรียกดวงดาวที่เกาะกันเป็นกลุ่มว่า กาแล็กซี และในแต่ละ กาแล็กซี ก็จะมีระบบของดาวฤกษ์ กระจุกดาว เนบิวลา หลุมดำอวกาศ ฝุ่นผง กลุ่มก๊าซ และที่ว่างอยู่รวมกันอยู่ ซึ่งโลกก็อยู่ในกาแล็กซีหนึ่ง ที่เรียกกันว่า กาแล็กซีทางช้างเผือก



การใช้งานของไฮโดรเจนนั้นครอบคลุมหลากหลายด้าน เช่น การใช้งานในภาคพลังงาน ไฮโดรเจนจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในบ้านเรือน หรือในอุตสาหกรรม การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมการผลิตแอมโมเนีย (NH_3) สำหรับผลิตปุ๋ย การใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในกระบวนการไฮโดรเจนเนชัน และสำหรับในอุตสาหกรรมยานยนต์ และอวกาศ ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์สันดาปภายในโดยใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนและอากาศยานรวมถึงการใช้เป็นเชื้อเพลิงจรวดได้อีกด้วย

ไฮโดรเจน (Hydrogen) พกได้จากที่ไหนบ้าง

ไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากธรรมชาติและกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยในธรรมชาติไฮโดรเจนส่วนมากจะพบอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ เช่น น้ำ (H_2O) ก๊าซธรรมชาติ (เช่น มีเทน CH_4) และสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมถึงแหล่งพลังงานจากชีวมวลและกระบวนการทางชีวภาพบนโลกนี้เราสามารถพบไฮโดรเจนในรูปแบบก๊าซอิสระได้ในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นการใช้งานไฮโดรเจนจึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางอุตสาหกรรมเพื่อแยกไฮโดรเจนออกจากสารประกอบอื่น ๆ กระบวนการผลิตไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมสามารถทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น การแยกด้วยไอร้อน การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า และกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันของชีวมวลและถ่านหิน



ที่มา: <https://www.egat.co.th/home/20231225-art01/>

พลังงานไฮโดรเจนเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดแห่งอนาคต เราอาจดูกันว่าในภาคอุตสาหกรรมการผลิตไฮโดรเจนเพื่อใช้เป็นพลังงานสามารถทำได้ด้วยกระบวนการหลัก ๆ อะไรบ้าง

กระบวนการความร้อน (Thermal Processes)

เป็นกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุด โดยใช้เทคนิคการใช้ไอน้ำที่มีความร้อนสูงทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล ถ่านหิน หรือชีวมวล เพื่อให้เปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ กระบวนการนี้สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ในปริมาณมากและมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ กระบวนการทางความร้อนมีเทคนิคการผลิตที่สำคัญอยู่ 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคการผลิตไฮโดรเจนด้วยการแปรรูปถ่านหินให้เป็นก๊าซ เทคนิคการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติ และเทคนิคการแปรรูปชีวมวล

1. เทคนิคการผลิตไฮโดรเจนด้วยการแปรรูปถ่านหิน (Coal gasification)

ถ่านหินถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลัก โดยต้องใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีการดักจับคาร์บอน (Carbon Capture) เนื่องจากผลพลอยได้จากเทคนิคนี้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เทคนิคการผลิตไฮโดรเจนจากถ่านหินผ่านขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน ดังนี้

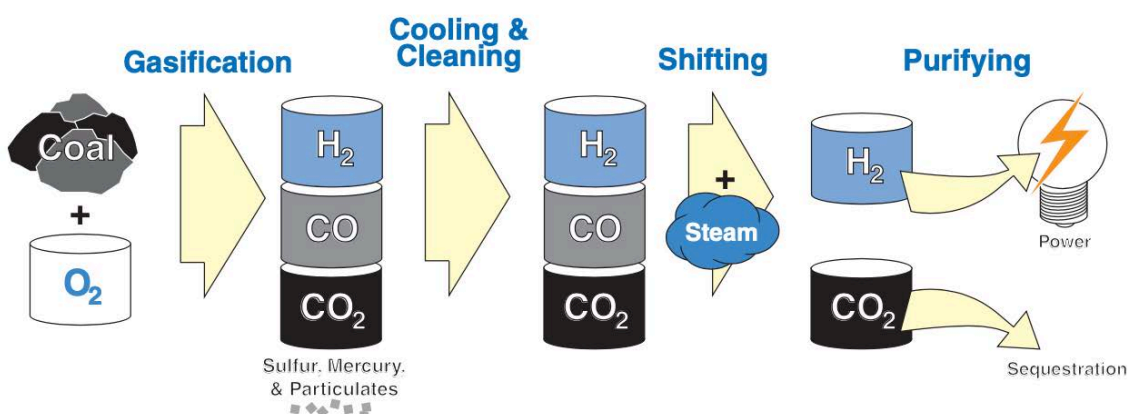
● **การเตรียมถ่านหินและการแปรรูปถ่านหิน** ให้เป็นก๊าซด้วยความร้อนและแรงดันสูง เรียกว่ากระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) เพื่อเปลี่ยนถ่านหินให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซอื่น ๆ เราเรียกก๊าซที่ได้จากขั้นตอนนี้ว่า “ก๊าซสังเคราะห์”

● **กำจัดสิ่งปนเปื้อน** ก๊าซสังเคราะห์ จะถูกส่งต่อเข้าระบบหล่อเย็นและกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Cooling & Cleaning) เช่น ปรอท กำมะถัน และอนุภาคอื่น ๆ ซึ่งก๊าซหลักที่ได้หลังจากผ่านขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน

● **การเปลี่ยนรูป** ก๊าซที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการเปลี่ยนรูป (Shifting) ในขั้นตอนนี้ก๊าซจะถูกส่งไปยังถังปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยน้ำ และได้ไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น ในขั้นตอนนี้ก๊าซหลักที่ได้จะประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน

● **ขั้นตอนการแยกไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์** หรือเรียกขั้นตอนนี้ว่า การทำให้บริสุทธิ์ (Purifying) ด้วยการใช้เทคโนโลยีดักจับคาร์บอนที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตนั้นๆ ก๊าซหลักที่ได้จากกระบวนการนี้จะเป็นก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์

● **การเก็บและการใช้งาน** ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะนำไปผ่านเทคโนโลยีเพื่อการเปลี่ยนเป็นพลังงานสำหรับใช้งานต่างๆ เช่น การผลิตไฟฟ้าและการเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์



2.เทคนิคการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติเป็นไฮโดรเจน (Natural Gas Reforming)

ในกระบวนการนี้จะใช้ก๊าซมีเทนเพื่อผลิตเป็นก๊าซไฮโดรเจนกลายเป็นหลัก โดยทำปฏิกิริยาภายใต้ความร้อนและแรงดันสูง เทคนิคนี้มีรูปการผลิต 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1.รูปแบบการผลิตด้วยกระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซมีเทนไปเป็นไฮโดรเจนด้วยไอน้ำ (Steam-Methane Reforming - SMR) เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูง (700-1,000°C) และแรงดันปานกลาง (15-30 บาร์) เพื่อแยกก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ออกจากก๊าซมีเทน (CH_4) กระบวนการนี้จะต้องใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีดักจับคาร์บอนเพื่อการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากในกระบวนการผลิตจะเกิดผลพลอยได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซอื่นเล็กน้อย กระบวนการผลิตนี้มีขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอน ดังนี้

● **การเตรียมก๊าซ (pre-purification)** เป็นขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อนมากับก๊าซมีเทนที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารประกอบกำกวมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จากนั้นก๊าซที่ผ่านกระบวนการนี้จะถูกส่งไปยังขั้นตอนต่อไป

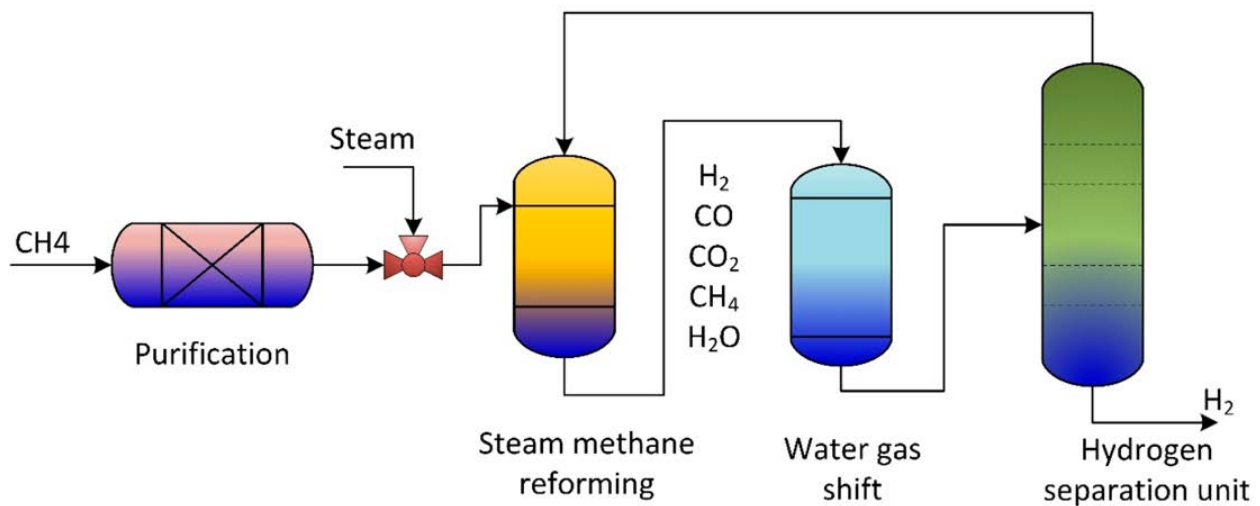
● **กระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติขั้นต้น (pre-reforming or steam)** เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นที่มากับก๊าซวัตถุดิบให้อยู่ในรูปของ มีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยกระบวนการนี้จะใช้อุณหภูมิประมาณ 400 - 550°C

● **กระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติ (reforming or steam methane reforming)** ก๊าซธรรมชาติจากกระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซขั้นต้น จะถูกส่งมายังถังปฏิกรณ์ เมื่อเข้ามายังถังปฏิกรณ์ก๊าซจะถูกผสมกับน้ำและอากาศที่เหมาะสม พร้อมทั้งให้อุณหภูมิประมาณ 800-900°C และควบคุมความดันประมาณ 15-30 บาร์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการสลายแยก ไฮโดรเจน ออกจากมีเทน ในขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จะเป็นไฮโดรเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์

● **ขั้นตอนการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นไฮโดรเจน (gas Shift)** ในขั้นตอนนี้ จะทำการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นไฮโดรเจนด้วย 2 วิธี คือวิธีการเปลี่ยนที่อุณหภูมิสูง (HTS - High Temperature Shift) อุณหภูมิในขั้นตอนนี้จะถูกควบคุมที่ประมาณ 350°C วิธีนี้สามารถ ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลงเหลือประมาณ 4% และวิธีการเปลี่ยนที่อุณหภูมิต่ำ (LTS - Low Temperature Shift) อุณหภูมิในขั้นตอนนี้จะถูกควบคุมให้อยู่ต่ำกว่า 260°C วิธีนี้ช่วยลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลงเหลือประมาณ 0.4-0.8% ทำให้ก๊าซที่ได้มีไฮโดรเจนในปริมาณสูง

● **กระบวนการแยกและการทำให้บริสุทธิ์ (hydrogen separation unit)** เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากในปฏิกิริยาการผลิตไฮโดรเจนนี้อาจจะมีก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ เจือปนมาในผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องกำจัดออกด้วยเทคโนโลยีการดูดซับแบบเปลี่ยนความดัน (Pressure Swing Adsorption - PSA)

● **การเก็บและการใช้งาน** ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้นำไปผ่านเทคโนโลยีเพื่อการเปลี่ยนเป็นพลังงานสำหรับใช้งานต่างๆ เช่น การผลิตไฟฟ้าและการเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์



กระบวนการเปลี่ยนก๊าซมีเทนให้เป็นไฮโดรเจนด้วยไอน้ำแรงดันสูง
 ที่มา: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/24/16064>

2.2 กระบวนการปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial Oxidation) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ก๊าซมีเทนและไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ที่อยู่ในก๊าซธรรมชาติจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในปริมาณที่จำกัด ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการนี้ ได้แก่ ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจน (ในกระบวนการต้องใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์) นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนไดออกไซด์และสารอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย กระบวนการนี้ไม่ได้รับความนิยมมากนักเนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จะน้อยกว่ากระบวนการเปลี่ยนรูปด้วยไอน้ำ หลักการผลิตจะมีความคล้ายกับกระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติด้วยไอน้ำ

การผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการแปรรูปชีวมวล (Biomass gasification)

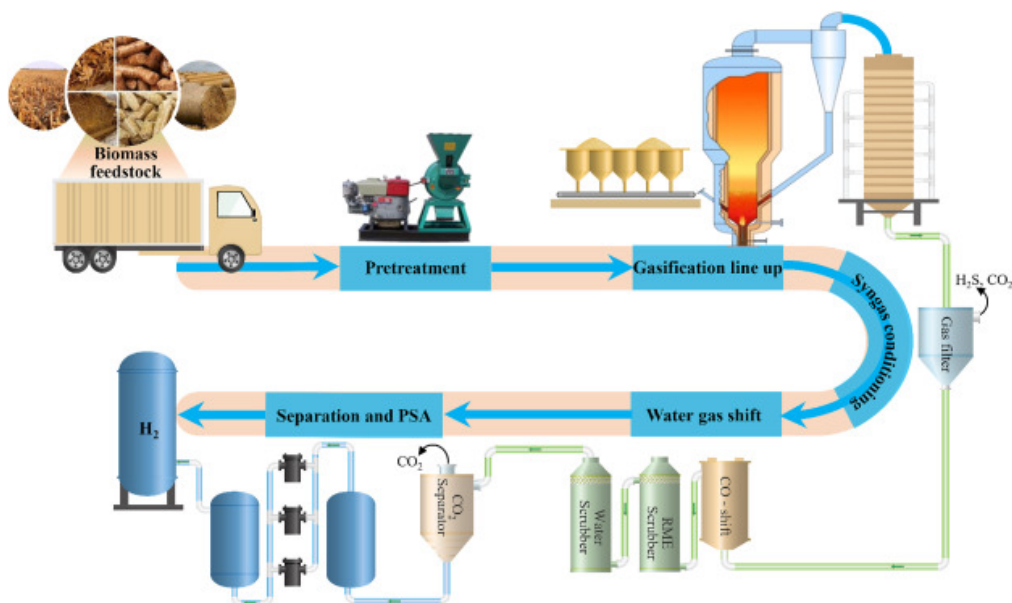
เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นก๊าซสังเคราะห์ (synthesis gas) ก๊าซที่ได้นี้จะผ่านถึงปฏิกิริยาเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจน กระบวนการนี้เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีแรงดันสูงและอุณหภูมิสูงประมาณ 800-1,200°C โดยใช้ปริมาณออกซิเจนหรือไอน้ำที่ควบคุมอย่างเหมาะสม ขั้นตอนหลัก ๆ ประกอบด้วย

- **การเตรียมชีวมวล** ชีวมวลจะถูกบดและทำให้แห้งก่อนเข้าสู่กระบวนการ เพื่อให้เหมาะสมกับการแปรรูป

- **กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน** ชีวมวลจะถูกให้ความร้อนและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือไอน้ำในถังปฏิกิริยาที่ควบคุมสภาวะ โดยกระบวนการนี้จะได้ก๊าซที่เรียกว่าก๊าซสังเคราะห์ (synthesis gas) ซึ่งก๊าซองค์ประกอบหลักคือ ไฮโดรเจน (H_2), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่น ๆ เล็กน้อย ก๊าซที่ได้นี้จะส่งเข้าสู่ขั้นตอนการทำความสะอาดและแยกบริสุทธิ์

- **กระบวนการทำความสะอาดและแยกก๊าซ** ก๊าซจะถูกทำความสะอาดเพื่อลดสิ่งเจือปน เช่น กำมะถัน น้ำมันดิน และอนุภาคฝุ่น จากนั้นทำการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นไฮโดรเจนเพิ่มเติมผ่าน Water-Gas Shift Reaction ในกระบวนการนี้จะทำการเติมน้ำและให้ความร้อนในระบบเพื่อเปลี่ยน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็น ก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มเติม ผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้จะประกอบด้วยก๊าซหลักคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน

- **การแยกไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์** (purifying) ในกระบวนการนี้จะใช้กระบวนการแยกก๊าซ เช่น Pressure Swing Adsorption (PSA) เพื่อให้ได้ไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง



การผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวล
(Hydrogen production: Biomass gasification)

<https://images.app.goo.gl/Ft7dC9KHL6czZ7UU9>

กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Processes)

การผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส เป็นวิธีที่ใช้กระแสไฟฟ้าแยกโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ออกเป็น ไฮโดรเจน (H_2) และ ออกซิเจน (O_2) โดยอุปกรณ์ที่ใช้เรียกว่า อิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyzer) โดยเครื่องอิเล็กโทรไลเซอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนปัจจุบันมีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่

- 1. เครื่องอิเล็กโทรไลเซอร์ ชนิดอัลคาไลน์** เรียกว่า ชนิดอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลซิส (Alkaline Electrolysis) เป็นเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายต่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวกลาง มีต้นทุนต่ำและใช้งานได้อย่างแพร่หลาย ประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนสูง
- 2. เครื่องอิเล็กโทรไลเซอร์ ชนิดโซลิดออกไซด์** เรียกว่า โซลิดออกไซด์ อิเล็กโทรไลซิส (Solid Oxide Electrolysis - SOE) ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจะต้องใช้อุณหภูมิในระบบการผลิต ประมาณ $700-1,000^\circ C$ เพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยาการแยกน้ำให้เป็นไฮโดรเจน และออกซิเจน เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงแต่ต้องใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น
- 3. เครื่องอิเล็กโทรไลเซอร์ ชนิดโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (Polymer Electrolyte Membrane - PEM)** เป็นเทคนิคการใช้เยื่อเมมเบรนชนิดพิเศษที่ช่วยให้ไอออนผ่านได้ เทคนิคนี้ใช้พลังงานน้อยกว่าและมีความทนทาน มูลค่าการติดตั้งสูง

ข้อดีของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

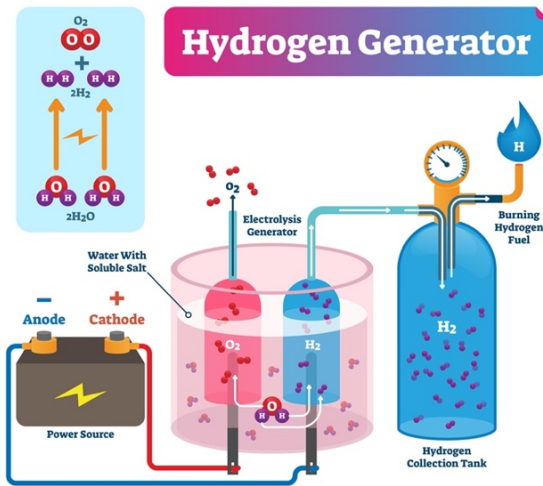
- เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม: ไม่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หากใช้พลังงานหมุนเวียน
- ความบริสุทธิ์สูง: ได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ถึง 99.99%
- การใช้งานที่หลากหลาย: สามารถใช้ในอุตสาหกรรม พลังงาน และการขนส่ง

ข้อเสียของกระบวนการนี้

- ต้นทุนการผลิตสูง: ไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีต้นทุนต่ำจึงจะคุ้มค่า
- ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน: กระบวนการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก ทำให้ต้องใช้แหล่งพลังงานที่เพียงพอและยั่งยืน

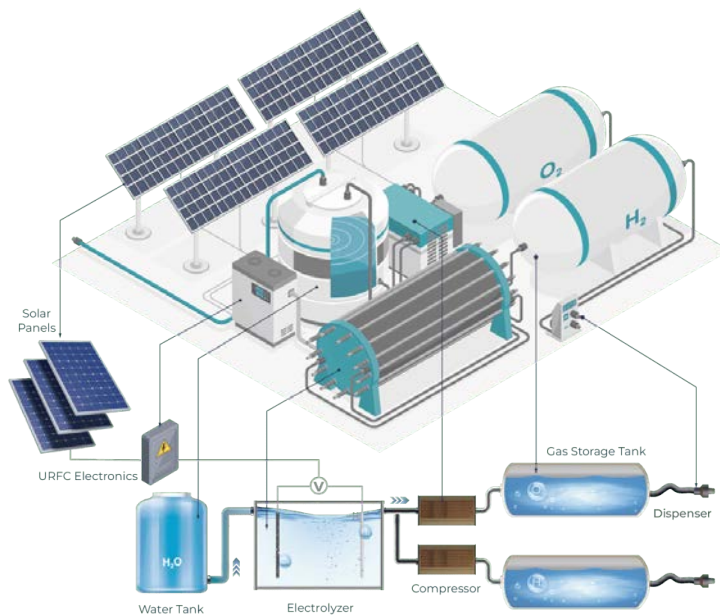
หลักการทำงานของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการแยกสารประกอบออกเป็นองค์ประกอบหรือธาตุต่าง ๆ โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า กระบวนการนี้มักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตโลหะบริสุทธิ์ การแยกก๊าซจากน้ำ และการเคลือบผิวโลหะ หลักการทำงานของอิเล็กโทรไลซิสอาศัยการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งทำให้ไอออนบวก (แคตไอออน) เคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ (แคโทด) และไอออนลบ (แอนไอออน) เคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก (แอโนด) เมื่อถึงขั้วไฟฟ้าแล้ว ไอออนจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะหรือโครงสร้างของสารนั้น ๆ ไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะถูกกักเก็บในระบบกักเก็บที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหรือเป็นแหล่งพลังงานสะอาด



กระบวนการอิเล็กโทรไลซิสผลิตไฮโดรเจนจากน้ำ

ที่มา: <https://www.openaccessgovernment.org/green-hydrogen-produced-seawater-fuel-alternative/152420/>



ระบบการผลิตพลังงานไฮโดรเจนจากน้ำด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส
ของ บริษัท jenningsanode ประเทศ สหรัฐอเมริกา รัฐเท็กซัส

ที่มา: www.jenningsanodes.com

ตัวอย่างการใช้พลังงานไฮโดรเจนในครัวเรือน

บ้านฝั่เสื่อ เป็นโครงการที่พักอาศัยที่เน้นความยั่งยืน ณ จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฮโดรเจน โครงการนี้ถูกออกแบบให้เป็นบ้านตัวอย่างที่นำเทคโนโลยีพลังงานสะอาดมาใช้จริง โดยมีจุดเด่นสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการอยู่อาศัยแบบยั่งยืน อาทิ

- การใช้ระบบพลังงานไฮบริดที่ผสานการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบเก็บพลังงานไฮโดรเจนเพื่อความต่อเนื่องของการใช้งาน
- การออกแบบที่ยั่งยืนโดยเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยึดหลักการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Zero Emission) เพื่อลดผลกระทบต่อธรรมชาติ
- การนำเทคโนโลยีอัจฉริยะมาใช้ในการควบคุมพลังงานและทรัพยากรผ่านระบบ IoT ทำให้สามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่า ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียและการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

ระบบการทำงานของระบบบ้านฝั่เสื่อ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเวลากลางวัน และพลังงานส่วนเกินถูกนำไปใช้ผลิตไฮโดรเจนผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า
2. ไฮโดรเจนที่ได้ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าผ่านเซลล์เชื้อเพลิงในเวลากลางคืน
3. ระบบแบตเตอรี่สำรองจะจ่ายไฟฟ้าเพิ่มเติมหากมีความต้องการไฟฟ้าเกินกว่าที่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตได้
4. ระบบสามารถจ่ายไฟให้กับบ้านพักอาศัย 3 หลังและพื้นที่ส่วนกลาง ตลอด 24 ชั่วโมง

ข้อจำกัด

- ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากไฮโดรเจนยังสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากราคาของเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กโทรไลเซอร์ที่ยังสูง
- ระยะคืนทุนของระบบไฮโดรเจนยาวกว่าการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว
- เหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น บนดอยหรือเกาะ

แนวโน้มในอนาคต

- หากเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กโทรไลเซอร์มีประสิทธิภาพดีขึ้นและต้นทุนต่ำลง การผลิตไฟฟ้าจากไฮโดรเจนจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากขึ้น
- ไฮโดรเจนอาจกลายเป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนและสามารถนำมาใช้ในระดับอาคารและโครงการขนาดใหญ่ได้อย่างคุ้มค่า



ส่วนผลิตพลังงานที่ใช้ในบ้านด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฮโดรเจน
ที่มา: <https://www.phisueahouse.com/index.php>



ส่วนที่อยู่อาศัยของบ้านฟิสิโอ
ที่มา: <https://www.phisueahouse.com/index.php>

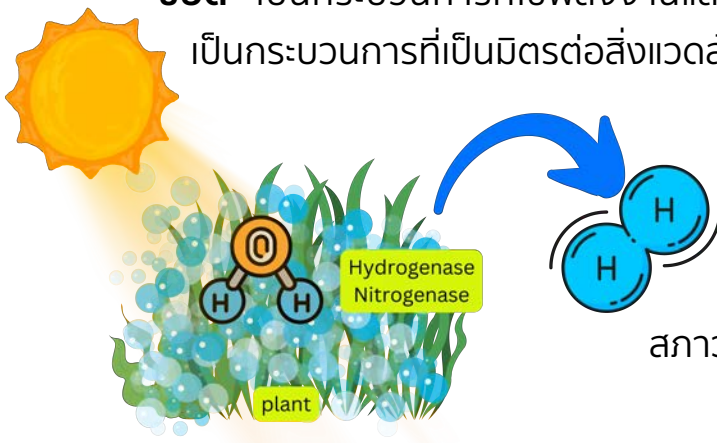
กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีทางชีวเคมี (Biochemical process)

การผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นการใช้จุลินทรีย์ เช่น สาหร่าย (Algae), แบคทีเรีย (Bacteria) และอาร์เคีย (Archaea) ในการเปลี่ยนสารตั้งต้นอย่างน้ำ ของเสียอินทรีย์ หรือชีวมวลให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน โดยกระบวนการนี้อาจต้องใช้เอนไซม์หรือโปรตีนช่วยเร่งปฏิกิริยาชีวเคมี กระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ การแบ่งตามการใช้แสง (Photosynthetic Hydrogen Production) โดยจุลินทรีย์จะใช้พลังงานจากแสงแดดเพื่อเปลี่ยนน้ำเป็นไฮโดรเจน และกระบวนการที่ไม่ใช้แสง (Dark Fermentation) ซึ่งจุลินทรีย์จะย่อยสลายของเสียอินทรีย์เพื่อสร้างไฮโดรเจนในสภาวะไร้ออกซิเจน ปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนชีวภาพยังไม่สามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความรู้ความเข้าใจที่ยังไม่สมบูรณ์และประสิทธิภาพพอ

1. กระบวนการผลิตไฮโดรเจนทางชีวเคมีด้วยแสง

เป็นกระบวนการที่ใช้สิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์แสง เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria) และแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria) ใช้พลังงานจากแสงแดดในการเปลี่ยนน้ำ (H_2O) หรือสารประกอบอินทรีย์บางชนิดให้กลายเป็นไฮโดรเจน (H_2) ผ่านกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ เช่น ไฮโดรจีเนส (Hydrogenase) หรือไนโตรจีเนส (Nitrogenase) ในกระบวนการนี้มีปัจจัยสำคัญจะต้องมีแหล่งพลังงานแสงที่เพียงพอและสภาวะแวดล้อม เช่น ค่า pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ตลอดจนสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบวนการ

ข้อดี เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานแสงธรรมชาติไม่ต้องใช้แหล่งพลังงานภายนอกและเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ข้อจำกัด ประสิทธิภาพการผลิตต่ำในสภาวะแวดล้อมที่มีแสงน้อย ความสามารถของจุลินทรีย์ในการทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ยังมีข้อจำกัด และจำเป็นต้องมีระบบควบคุมแสงและสภาวะที่เหมาะสม

2. กระบวนการผลิตไฮโดรเจนทางชีวเคมีในที่ไม่มีแสง

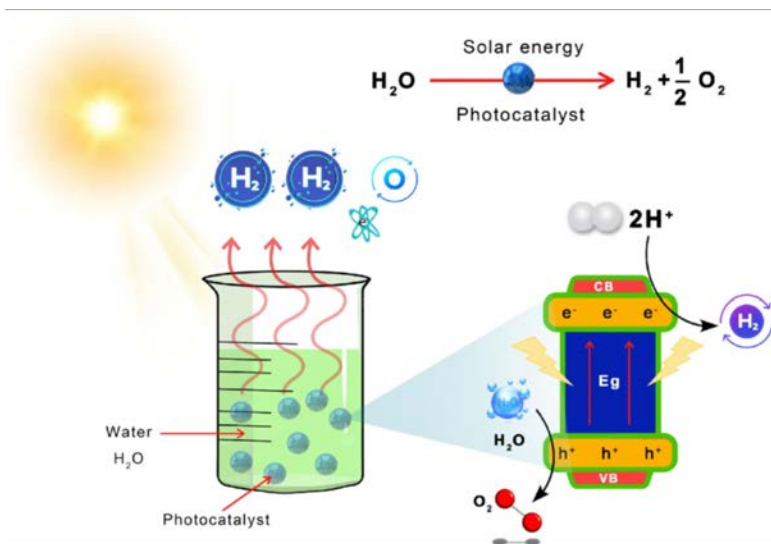
เป็นกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล แป้ง และสารประกอบชีวภาพ เพื่อผลิตไฮโดรเจน ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการนี้คือ ประเภทของสารตั้งต้น เช่น กากน้ำตาล ของเสียจากการเกษตร ส่งผลต่อผลผลิตและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ สภาวะการหมัก เช่น pH อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารตั้งต้น

ข้อดี สามารถใช้ของเสียอินทรีย์เป็นวัตถุดิบได้ ไม่ต้องพึ่งพาพลังงานแสง เป็น กระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ต่อเนื่องในอุตสาหกรรม

ข้อจำกัด ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนยังค่อนข้างต่ำ มีความยากต่อการควบคุม สภาวะการหมัก ผลพลอยได้ที่เกิดขึ้น เช่น กรดอินทรีย์ อาจต้องมีการกำจัดหรือรีไซเคิล

กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีการแยกด้วยแสง (Photocatalysis)

กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธีการแยกตัวของน้ำโดยใช้สารกึ่งตัวนำ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อแยกโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ออกเป็นก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) โดยเมื่อสารกึ่งตัวนำได้โฟตอน (Photon) จากแสงอาทิตย์ อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ (Valence Band) และเคลื่อนที่ผ่านแถบพลังงาน (Energy Band) ไปสู่แถบนำไฟฟ้า (Conduction Band) ส่งผลให้เกิดหลุม (Hole) ในแถบวาเลนซ์ ซึ่งอิเล็กตรอนและหลุมเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน



<https://images.app.goo.gl/nWj9AT2WRFUtMn2o7>

ในกระบวนการนี้ อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปยังแถบนำไฟฟ้าจะถูกส่งไปทำปฏิกิริยากับไอออนของไฮโดรเจนในน้ำ ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ในขณะที่หลุมที่เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลน้ำเพื่อปลดปล่อยออกซิเจน กระบวนการนี้มักต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งมีความเสถียรในการทำปฏิกิริยา

หลังจากการแยกน้ำสำเร็จแล้วก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน เช่น ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ เพื่อให้ได้ไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) หรือใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมี เทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้ถือว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



การจัดเก็บไฮโดรเจน

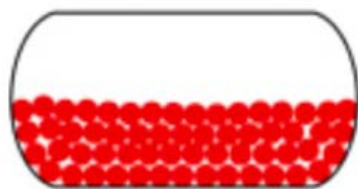
การจัดเก็บพลังงานไฮโดรเจนเป็นหัวใจสำคัญในการนำพลังงานชนิดนี้มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการจัดเก็บไฮโดรเจนยังคงมีความท้าทาย โดยเฉพาะในเรื่องของการรักษาความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม การเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ และการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดต้นทุนในการจัดเก็บให้เกิดความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ สำหรับปัจจุบันวิธีการจัดเก็บไฮโดรเจนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

1. การจัดเก็บเชิงกายภาพ (Physical Storage) วิธีการนี้เป็นการกักเก็บไฮโดรเจนในสถานะก๊าซหรือของเหลวโดยอาศัยเงื่อนไขทางกายภาพ เช่น

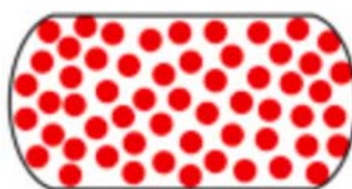
การจัดเก็บในรูปของไฮโดรเจนเหลว (Liquid Hydrogen - LH2) ไฮโดรเจนถูกทำให้เย็นยิ่งยวดจนถึงอุณหภูมิ -253°C เพื่อให้อยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งมีความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก๊าซแรงดัน ข้อเสียหลักคือการใช้พลังงานสูงในการทำให้เย็น และความต้องการของระบบฉนวนป้องกันการระเหย

การจัดเก็บในรูปของไฮโดรเจนอัด (Compressed Hydrogen Gas - CHG) จะทำการบีบอัดไฮโดรเจนให้อยู่ในภาชนะที่มีความแข็งแรงสูง เช่น ถังคาร์บอนไฟเบอร์ ข้อดีคือความง่ายต่อการนำไปใช้งาน แต่ข้อเสียคือต้องการใช้พลังงานจำนวนมากในการบีบอัด

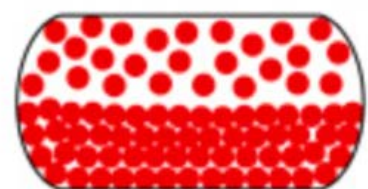
การจัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจนอัดเย็นยิ่งยวด (cryo-compressed hydrogen: CcH2) หรือ สลัชไฮโดรเจน (slush hydrogen: sH2) จะทำการบีบอัดไฮโดรเจนให้อยู่ในภาชนะที่มีความแข็งแรงสูง โดยไฮโดรเจนในถังจะมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ถังที่นิยมใช้ ถังคาร์บอนไฟเบอร์ ข้อดีคือความง่ายต่อการนำไปใช้งาน แต่ข้อเสียคือต้องการใช้พลังงานจำนวนมากในการบีบอัด



จัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจนเหลว



จัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจนอัด



จัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจน
อัดเย็นยิ่งยวด

ลักษณะของโมเลกุลไฮโดรเจนในถังบรรจุ

ที่มา: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112743>



ภาพตัวอย่างการจัดเก็บเชิงกายภาพ

2. การจัดเก็บเชิงวัสดุหรือเชิงเคมี (Material-based Storage) วิธีการนี้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการดูดซับหรือกักเก็บไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของวัสดุต่างๆ เช่น

การจัดเก็บด้วยวัสดุโลหะไฮไดรด์ (Metal Hydrides) ไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม อะลูมิเนียม หรือไททานียม เพื่อก่อให้เกิดสารประกอบไฮไดรด์ซึ่งสามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมาเมื่อถูกให้ความร้อน

การจัดเก็บด้วยวัสดุนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes): ใช้โครงสร้างนาโนของคาร์บอนเพื่อดูดซับไฮโดรเจนในระดับโมเลกุล ซึ่งช่วยให้การจัดเก็บมีความปลอดภัยและมีเสถียรภาพมากขึ้น

การจัดเก็บในรูปแบบสารเคมีเหลว (Liquid Organic Hydrogen Carriers - LOHCs): ไฮโดรเจนถูกกักเก็บในโมเลกุลสารเคมีเหลว เช่น โทลูอีน และสามารถปล่อยออกมาโดยการให้ความร้อนเพื่อใช้งานในภายหลัง

การเลือกใช้วิธีการจัดเก็บไฮโดรเจนแต่ละรูปแบบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพทางพลังงาน ความคุ้มค่าในการลงทุน และความสะดวกในการนำไปใช้งานในระบบขนส่งและอุตสาหกรรม การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการจัดเก็บยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การใช้ไฮโดรเจนเป็นไปอย่างยั่งยืนและคุ้มค่ามากที่สุดในอนาคต

การขนส่งไฮโดรเจน

เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นก๊าซเบาและไวไฟ ปัจจุบันไฮโดรเจนสามารถขนส่งได้ 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ **ก๊าซไฮโดรเจนอัดแรงดันสูง (Compressed Gas)**, **ไฮโดรเจนเหลว (Cryogenic Liquid Hydrogen)** และ**สารกักเก็บไฮโดรเจน (Hydrogen Carriers)** โดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระยะทาง ปริมาณ และต้นทุนในการดำเนินการ

1. การขนส่งทางท่อ (Pipeline Transportation) การขนส่งรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการขนส่งไฮโดรเจนในปริมาณมากและต่อเนื่องไปยังจุดใช้งานที่อยู่ห่างไกล



โดยต้องใช้ท่อที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อรองรับแรงดันของก๊าซไฮโดรเจนที่ถูกอัด มีต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นสูงแต่คุ้มค่าหากมีการใช้งานในระยะยาว ส่วนมากระบบนี้ใช้สำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการไฮโดรเจนในปริมาณมาก เช่น โรงกลั่นน้ำมัน และโรงงานผลิตปุ๋ย

2. การขนส่งทางรถบรรทุกและเรือ (Truck and Ship Transportation) เหมาะสำหรับการ



ขนส่งไฮโดรเจนในปริมาณปานกลางถึงมากในระยะทางไกล สามารถขนส่งได้ทั้งในรูปแบบไฮโดรเจนอัดความดันสูง (Compressed Hydrogen) และไฮโดรเจนเหลว (Liquid Hydrogen) โดยรถบรรทุกถึงไฮโดรเจนแรงดันสูงใช้สำหรับระยะใกล้ ส่วนเรือขนส่งใช้สำหรับระยะไกลหรือข้ามทวีป การขนส่งวิธีนี้

มีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยและต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยสูงกว่าการขนส่งทางท่อ

3. การขนส่งผ่านสารกักเก็บไฮโดรเจน (Hydrogen Carriers) เป็นการขนส่งผ่านทางเรือ

หรือรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยการใช้สารเคมีที่สามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรเจนได้ เช่น Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) หรือการใช้โลหะไฮไดรด์ (Metal Hydrides) เป็นกระบวนการที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการรั่วไหลของไฮโดรเจน และทำให้การขนส่งสะดวกขึ้น วิธีการขนส่งรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการขนส่งในระยะกลางถึงไกลโดยเฉพาะกรณีที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน และกระบวนการนี้จำเป็นจะต้องใช้กับกระบวนการเปลี่ยนกลับเพื่อแยกไฮโดรเจนออกจากสารกักเก็บเมื่อถึงปลายทาง



ที่มา: <https://www.breakthroughenergy.org>

การใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจน

การนำไฮโดรเจนมาใช้ประโยชน์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ การใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรม และ การใช้ในภาคพลังงาน โดยแต่ละกลุ่มมีบทบาทสำคัญในหลากหลายอุตสาหกรรม ดังนี้

1) การใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรม

ไฮโดรเจนถูกใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เพื่อเป็นสารตั้งต้นหรือสารช่วยในอุตสาหกรรมสำคัญ ได้แก่

การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมอาหาร

ไฮโดรเจนถูกใช้เป็นส่วนเติมแต่ง (Hydrogenating Agent) ตัวอย่างเช่นการใช้ไฮโดรเจนเพื่อการเปลี่ยน



โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ช่วยในการผลิตเนยขาว เนยเทียม และเนยถั่ว

การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมโลหะ ไฮโดรเจนถูกใช้ในกระบวนการผลิตโลหะบริสุทธิ์ การถลุงโลหะ และเป็นก๊าซป้องกันในการเชื่อมโลหะ เช่น ผสมกับอาร์กอนสำหรับเชื่อมสแตนเลส รวมถึงสนับสนุนการเชื่อมพลาสมาและกระบวนการตัดโลหะ

การใช้ในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม ไฮโดรเจนใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตซอร์บิทอล (Sorbitol) ซึ่งเป็นสารให้ความหวานที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง วัสดุประสาน สารตั้งผิว และวิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามินเอและซี

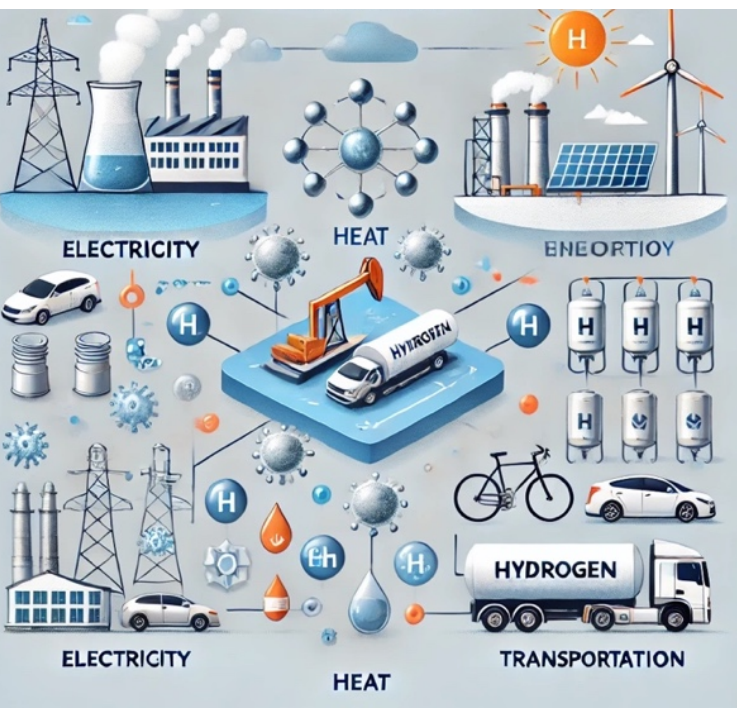
การใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ไฮโดรเจนเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตแอมโมเนียและเมทานอล รวมถึงเป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น สบู่ ฉนวน พลาสติก และซีพีจี

2) การใช้ในภาคพลังงาน การใช้ไฮโดรเจนในภาคพลังงานส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การใช้เป็น

เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงาน โดยยังอยู่ในช่วงพัฒนาและยังไม่ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายเชิงพาณิชย์ รูปแบบการใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่

ภาคพลังงานไฟฟ้า ใช้ไฮโดรเจน เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในการผลิตไฟฟ้าผ่านกังหันก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen Gas Turbine) หรือใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Technology) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และลดการปล่อยมลพิษ

ภาคพลังงานความร้อน ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือผสมกับก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตาเพื่อใช้ในกระบวนการให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรมและการผลิตไอน้ำ



ภาคขนส่ง ไฮโดรเจนถูกใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันปิโตรเลียม และไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะได้ทั้งในรูปแบบของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) และเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าในรถยนต์ไฮโดรเจน

การใช้ไฮโดรเจนในภาคอุตสาหกรรมและภาคพลังงานแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนและสะอาด ซึ่งมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคตควบคู่กับการพัฒนาเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ข้อดีของการใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมและการขนส่ง

1. ข้อดีของไฮโดรเจนในภาคอุตสาหกรรม

- เป็นพลังงานสะอาดและลดการปล่อยคาร์บอน เนื่องจากไฮโดรเจนสามารถผลิตพลังงานโดยไม่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หากใช้วิธีผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น ไฮโดรเจนสีเขียว (Green Hydrogen) จากกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ที่ใช้พลังงานหมุนเวียน
- สามารถนำไปใช้งานที่หลากหลายในอุตสาหกรรม ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตสารเคมี เช่น แอมโมเนีย เมทานอล และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าเพื่อลดการใช้ถ่านหินโค้กและลดการปล่อย CO₂
- การใช้เป็นพลังงานสำรอง เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่สามารถกักเก็บได้ในระยะยาว ซึ่งสามารถใช้ในช่วงเวลาที่พลังงานหมุนเวียน (ลมและแสงอาทิตย์) ไม่สามารถผลิตได้เพียงพอ หรือใช้ในกรณีฉุกเฉินด้านการขาดแคลนพลังงาน
- เพิ่มความยืดหยุ่นในโครงสร้างพื้นฐานพลังงาน โดยไฮโดรเจนสามารถใช้ร่วมกับระบบโครงข่ายพลังงานไฟฟ้าและระบบผลิตความร้อนในอุตสาหกรรม เพื่อช่วยเสริมความเสถียรของระบบ

2. ข้อดีของไฮโดรเจนในภาคการขนส่ง

- ไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด ปราศจากการปล่อยไอเสีย เนื่องจากเมื่อใช้กับยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน (FCEVs) ปล่อยออกมาเพียงไอน้ำทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง
- พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานพาหนะสามารถเดินทางได้ในระยะทางที่ยาวกว่าเมื่อเทียบกับรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่
- เหมาะสำหรับการขนส่งยานพาหนะขนาดใหญ่ ไฮโดรเจนมีศักยภาพในการใช้กับยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น รถบรรทุก เรือ และเครื่องบิน ซึ่งแบตเตอรี่อาจไม่สามารถให้พลังงานที่เพียงพอได้ในระยะไกล
- การเติมเชื้อเพลิงรวดเร็วและสะดวก การเติมไฮโดรเจนใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที ซึ่งแตกต่างจากการชาร์จแบตเตอรี่ที่อาจใช้เวลานานหลายชั่วโมง
- ช่วยลดการพึ่งพาน้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้ไฮโดรเจนในระบบขนส่งสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบและช่วยเสริมความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศต่างๆ
- เสี่ยงรบกวนของเครื่องยนต์ขณะทำงานต่ำ ยานพาหนะที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนทำงานเงียบกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน

การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมและการขนส่งมีศักยภาพสูง ในการเปลี่ยนจากระบบพลังงานไปสู่ความยั่งยืน ด้วยข้อดีที่สำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพิ่มประสิทธิภาพในการจัด

เก็บพลังงาน และเป็นพลังงานที่สะอาดต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การเร่งพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและลดต้นทุนจะเป็นปัจจัยสำคัญในการผลักดันการใช้งานไฮโดรเจนในวงกว้างในอนาคต

การใช้พลังงานไฮโดรเจนในยานพาหนะ

รถยนต์ส่วนบุคคล

ในรถยนต์ส่วนบุคคลจะใช้รถยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน (Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV) ในการเปลี่ยนไฮโดรเจนให้เป็นไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า คุณสมบัติเด่นมีการเติมเชื้อเพลิงรวดเร็ว (ประมาณ 3-5 นาที) ระยะทางขับขี่ที่ยาวกว่า EV ทั่วไป (ประมาณ 500-700 กิโลเมตร) ไม่มีการปล่อยไอเสียที่เป็นมลพิษ มีเพียงน้ำบริสุทธิ์เป็นผลพลอยได้



Honda Clarity

ที่มา: www.hondainamerica.com



Toyota Mirai 2014

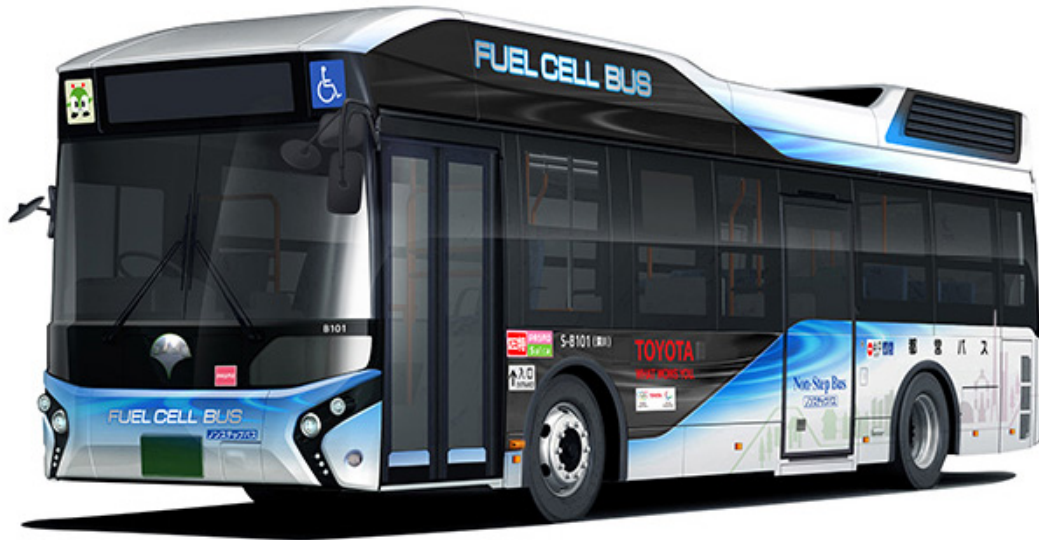
ที่มา: www.toyota-europe.com



Hyundai Nexo

ที่มา: www.hyundaicanada.com

รถบัสและรถบรรทุก ไฮโดรเจนใช้ในภาคการขนส่งสาธารณะและโลจิสติกส์ เนื่องจากมีความสามารถในการขับขี่ระยะไกลและรองรับน้ำหนักได้ดี ในหลายประเทศเริ่มนำไปใช้งาน เช่น รถบัสไฮโดรเจนในเยอรมนีและสหรัฐอเมริกา เหมาะสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ที่ต้องการพลังงานต่อเนื่องและลดมลพิษในเมือง



รถบัสไฮโดรเจนในญี่ปุ่น

ที่มา: <https://global.toyota/en/detail/15160167>



รถบรรทุกพลังงานไฮโดรเจน

ที่มา: <https://global.toyota/en/detail/15160167>

เรือและเครื่องบิน ไฮโดรเจนถูกพัฒนาเพื่อลดมลภาวะ อุตสาหกรรมการบินกำลังพัฒนาเครื่องบินที่ใช้ไฮโดรเจนเหลวเป็นเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก



เครื่องบินพลังงานไฮโดรเจน

ที่มา: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2024-01-first-zeroe-engine-fuel-cell-successfully-powers-on>



เรือพลังงานไฮโดรเจน

ที่มา: <https://www.allamericanmarine.com/hydrogen-fuel-cell-project/>

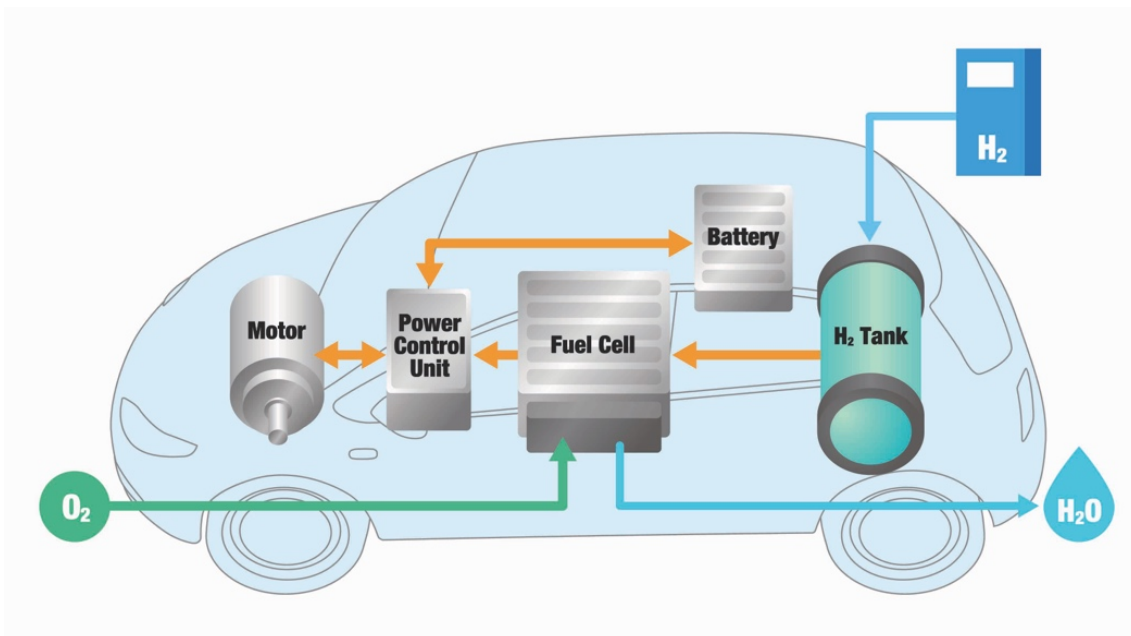
หลักการการทำงานของยานพาหนะไฮโดรเจน

ยานพาหนะไฮโดรเจนทำงานโดยการนำไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะถูกใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ข้อดีของกระบวนการนี้คือไม่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์หรือมลพิษอื่น ๆ ออกมา มีขั้นตอนสำคัญของการทำงาน ได้แก่

1. การจัดเก็บไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนถูกเก็บในถังแรงดันสูง (350-700 บาร์) เพื่อให้สามารถใช้งานได้ปริมาณมากพอ ซึ่งถังกักเก็บพลังงานไฮโดรเจนจะต้องทนต่อแรงกระทำสูงและมีการออกแบบความเหมาะสมต่อการใช้งาน

2. การผลิตไฟฟ้า ก๊าซไฮโดรเจนในถังกักเก็บจะไหลเข้าสู่ระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อสร้างกระแสไฟฟ้า

3. การขับเคลื่อนมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังมอเตอร์เพื่อหมุนล้อและขับเคลื่อนยานพาหนะ



หลักการการทำงานของยานพาหนะไฮโดรเจน

ที่มา: <https://images.app.goo.gl/Gu5BhVUFBZEPwLVq5>

ยานพาหนะพลังงานไฮโดรเจนมีข้อดีหลายประการที่ทำให้เป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการเดินทางและขนส่ง หนึ่งในข้อดีสำคัญคือเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งช่วยลดปัญหามลพิษทางอากาศและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เดินทางได้ไกลกว่ารถยนต์ไฟฟ้าทั่วไป (BEV) ที่ใช้แบตเตอรี่ ทำให้เหมาะสำหรับการเดินทางระยะไกล นอกจากนี้การเติมเชื้อเพลิงไฮโดรเจนยังใช้เวลารวดเร็วเพียง 3-5 นาที ซึ่งสะดวกกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ที่ต้องใช้เวลานานกว่ามาก ข้อดีที่สำคัญคือยานพาหนะไฮโดรเจนมีเสถียรภาพในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิต่ำจึงสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพในทุกสภาพอากาศและทุกภูมิภาค

แนวโน้มอนาคตของพลังงานไฮโดรเจน

แนวโน้มในอนาคตของพลังงานไฮโดรเจนมีทิศทางที่สดใส เนื่องจากหลายประเทศทั่วโลก กำลังผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนผ่านไปสู่พลังงานสะอาดเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง นอกจากนี้รัฐบาลหลายประเทศ เช่น สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น ได้กำหนดเป้าหมายระยะยาวในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการใช้ไฮโดรเจน ในภาคพลังงานและอุตสาหกรรมหนัก เทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น ระบบอิเล็กโทรไลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมถึงการจัดเก็บและขนส่งไฮโดรเจนในรูปแบบเหลวหรือสารประกอบเคมี ทำให้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานได้มากขึ้น ด้วยการสนับสนุนจากภาครัฐและการลงทุนจากภาคเอกชน ไฮโดรเจนจึงมีแนวโน้มกลายเป็นพลังงานหลักที่สามารถขับเคลื่อนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในอนาคต

อย่างไรก็ตาม การนำพลังงานไฮโดรเจนมาใช้อย่างแพร่หลายยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ โดยเฉพาะต้นทุนการผลิตที่ยังคงสูงเมื่อเทียบกับพลังงานฟอสซิล การผลิตไฮโดรเจนสีเขียวจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และลม ต้องการการลงทุนมหาศาลในโครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยีการผลิตที่ยังอยู่ในช่วงพัฒนา อีกทั้งระบบขนส่งและการจัดเก็บไฮโดรเจนต้องใช้เทคโนโลยีที่มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่ไวไฟและต้องการสภาวะแรงดันสูงเพื่อการจัดเก็บและขนส่งอย่างปลอดภัย นอกจากนี้ การขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะเฉพาะทางและความเข้าใจของสาธารณชนเกี่ยวกับประโยชน์และความปลอดภัยของไฮโดรเจนยังเป็นอุปสรรคสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไข เพื่อให้พลังงานไฮโดรเจนสามารถเข้ามา มีบทบาทสำคัญในระบบพลังงานของโลกได้อย่างแท้จริง

สรุปท้ายบทเรียน

- พลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen Energy) เป็นพลังงานทางเลือกที่ได้จากราตุไฮโดรเจน (H_2) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในจักรวาล ไฮโดรเจนสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานสะอาดโดยไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกหากผลิตจากแหล่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrolysis) การปรับเปลี่ยนก๊าซธรรมชาติ (Steam Methane Reforming - SMR) การก๊าซซิฟิเคชันของชีวมวล (Biomass Gasification) และ กระบวนการชีวภาพ (Biological Processes)
- การใช้พลังงานไฮโดรเจนมีข้อดีด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ เพราะ **ไม่มีการปล่อยมลพิษโดยตรง** เมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิง จะได้เพียงน้ำเป็นผลพลอยได้ ต่างจากพลังงานฟอสซิลที่ปล่อยก๊าซ CO_2 , NO_x , และสารก่อมะเร็ง **ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก** หากผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ไฮโดรเจนจะช่วยลดปริมาณการปล่อย CO_2 ลงได้มาก **ลดมลภาวะทางอากาศ** ไม่มีการปล่อยมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละอองและเขม่า ซึ่งเป็นปัญหาหลักของเชื้อเพลิงฟอสซิล **ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยกว่า** การรั่วไหลของไฮโดรเจนในสิ่งแวดล้อมไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนเหมือนเช่นน้ำมันดิบที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล
- พลังงานไฮโดรเจนมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนและการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุผลดังนี้ **แหล่งพลังงานทดแทน** ไฮโดรเจนสามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการพึ่งพาน้ำมัน ลดความเสี่ยงด้านพลังงานของประเทศ **ใช้ร่วมกับพลังงานหมุนเวียน** ไฮโดรเจนสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานจากแหล่งหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ไม่มีแสงแดดหรือลม **ความมั่นคงด้านพลังงาน** ประเทศที่ไม่มีแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ลดการนำเข้าน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ **การสนับสนุนเศรษฐกิจสีเขียว**
- การใช้พลังงานไฮโดรเจนในชีวิตประจำวันมีหลากหลายรูปแบบ โดยหนึ่งในภาคส่วนสำคัญคืออุตสาหกรรมขนส่ง ซึ่งกำลังพัฒนาไฮโดรเจนให้เป็นทางเลือกแทนน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ไฮโดรเจน (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV) รถโดยสารและรถบรรทุก รวมถึงเรือและเครื่องบิน การใช้ไฮโดรเจนในภาคการขนส่งไม่เพียงช่วยลดการปล่อยมลพิษ แต่ยังเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนในระยะยาว นอกจากนี้ไฮโดรเจนยังสามารถใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเป็นแหล่งพลังงานสำรองสำหรับบ้านเรือนและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่สามารถเข้าถึงโครงข่ายพลังงานหลัก ระบบเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสามารถให้พลังงานต่อเนื่องและมีเสถียรภาพสูง

ตรวจสอบความรู้พื้นฐานท้ายบทเรียน

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความต่อไปนี้ แล้วเติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคำตอบของข้อความที่ถูกต้อง หรือเครื่องหมาย ✗ ลงในช่องคำตอบของข้อความที่ผิด

ข้อที่	ความรู้พื้นฐาน	คำตอบ
1	พลังงานไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากน้ำโดยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส	
2	ไฮโดรเจนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้	
3	ไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบาที่สุดและติดไฟได้ง่าย	
4	พลังงานไฮโดรเจนไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเผาไหม้	
5	การเผาไหม้ไฮโดรเจนผลิตเฉพาะไอน้ำเป็นผลพลอยได้	
6	พลังงานไฮโดรเจนสามารถใช้ร่วมกับพลังงานหมุนเวียนเพื่อสร้างระบบพลังงานที่ยั่งยืน	
7	ไฮโดรเจนสีเขียว (Green Hydrogen) คือไฮโดรเจนที่ผลิตโดยใช้พลังงานหมุนเวียนเท่านั้น	
8	พลังงานไฮโดรเจนไม่สามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมได้	
9	พลังงานไฮโดรเจนสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องบินพาณิชย์ได้แล้วในปัจจุบัน	
10	พลังงานไฮโดรเจนสามารถช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลได้	