

# H<sub>2</sub>

## บทที่ 9 พลังงานไฮโดรเจน: พองสบู่หรืออนาคตของโลก?

### คำถามสำคัญ

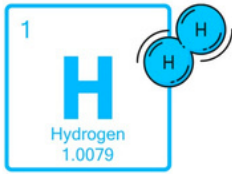
1. พลังงานไฮโดรเจนคืออะไร มีกระบวนการผลิตพื้นฐานอย่างไร
2. พลังงานไฮโดรเจนส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับพลังงานฟอสซิลอย่างไร
3. พลังงานไฮโดรเจนมีบทบาทต่อความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างไร
4. ในชีวิตประจำวันเราสามารถใช่พลังงานไฮโดรเจนอะไรบ้าง

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายหลักการพื้นฐานของกระบวนการผลิตพลังงานไฮโดรเจนได้ได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายข้อดีและข้อจำกัดของพลังงานไฮโดรเจนได้
3. เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างพลังงานไฮโดรเจนกับพลังงานฟอสซิลได้
4. นำความรู้ด้านพลังงานไฮโดรเจนไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

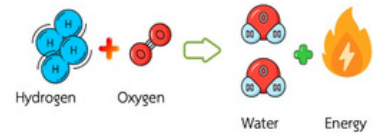


**ไฮโดรเจน** มีความสำคัญอย่างมากในฐานะเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและยั่งยืน โดยเมื่อไฮโดรเจนผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นพลังงานด้วยการเผาไหม้ จะปล่อยเพียงโมเลกุลน้ำออกสู่บรรยากาศจึงถือเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและไฮโดรเจนยังมีค่าพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักสูงกว่าพลังงานฟอสซิลทำให้สามารถใช้งานในอุตสาหกรรมและระบบขนส่งระยะไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญกับการลงทุนในเทคโนโลยีผลิตพลังงานไฮโดรเจนเพื่อสร้างโอกาสในการเติบโตทางเศรษฐกิจ



**ไฮโดรเจน** เป็นธาตุเคมีที่มีสัญลักษณ์ H และเลขอะตอม 1.00784 และมีน้ำหนักอะตอม 1.00811 ถือเป็นธาตุที่เบาที่สุดและพบมากที่สุดในจักรวาลคิดเป็นประมาณ 75% ของมวลทั้งหมดในเอกภพ โดยทั่วไปไฮโดรเจนจะอยู่ใน

สถานะก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส และความหนาแน่นต่ำมากทำให้สามารถลอยขึ้นไปในชั้นบรรยากาศได้ง่ายไฮโดรเจนมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้เป็นโมเลกุลน้ำและพลังงานออกมา แหล่งที่พบไฮโดรเจนมากที่สุดในสุดับนโลกคือในน้ำ (H<sub>2</sub>O)



**เกร็ดความรู้**

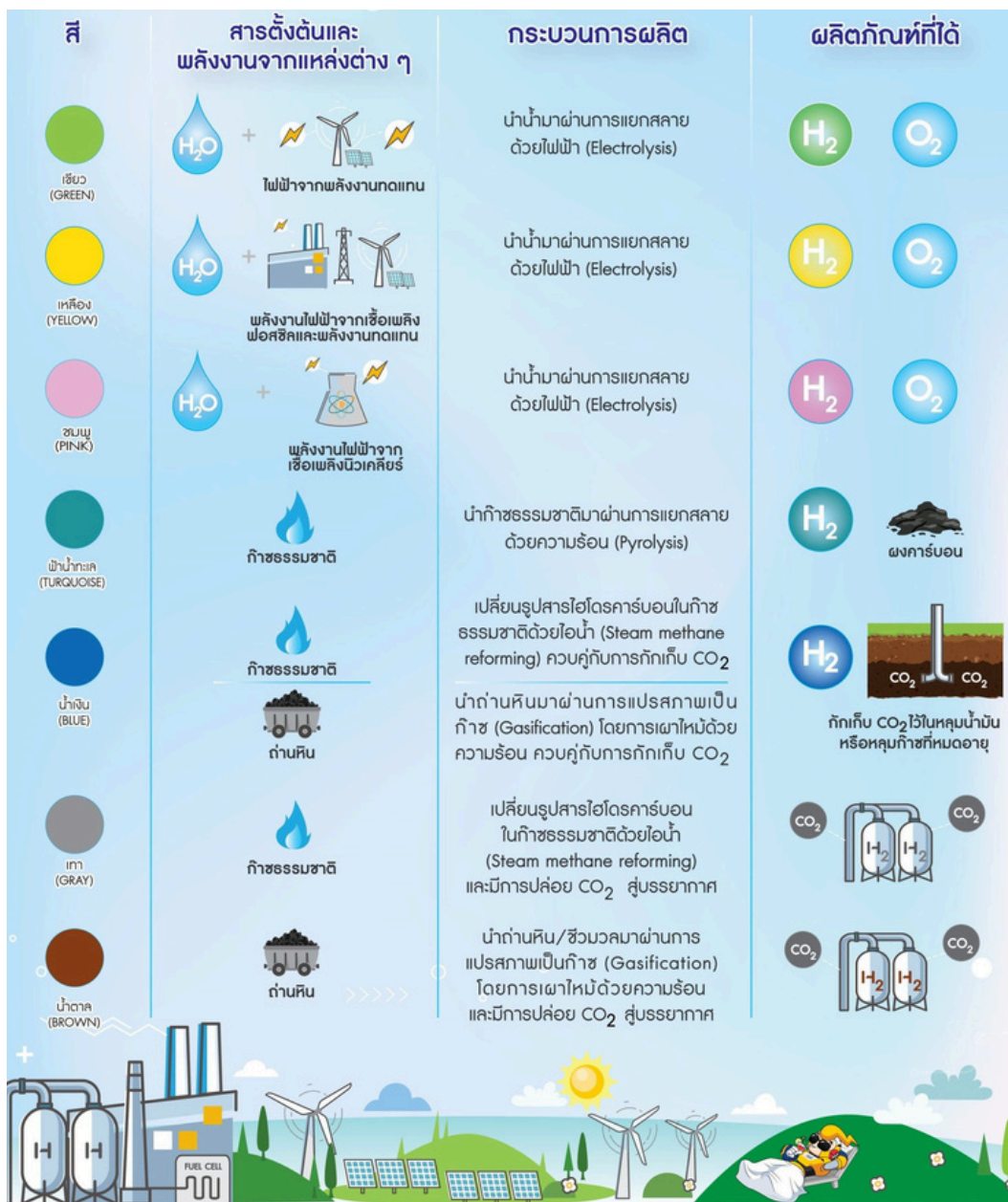
“เอกภพ หรือ จักรวาล (Universe)” เป็นระบบที่ใหญ่ที่สุด และไร้ขอบเขตและเป็นห้วงอวกาศที่เต็มไปด้วยดวงดาวจำนวนมากที่เราจะเรียกดวงดาวที่เกาะกันเป็นกลุ่มว่า กาแล็กซี และในแต่ละ กาแล็กซี ก็จะมีระบบของดาวฤกษ์ กระจุกดาว เนบิวลา หลุมดำอวกาศบาตฝุ่นผงกลุ่มก๊าซ และที่ว่างอยู่รวมกันอยู่ ซึ่งโลกก็อยู่ในกาแล็กซีหนึ่ง ที่เรียกกันว่า กาแล็กซีทางช้างเผือก



การใช้งานของไฮโดรเจนนั้นครอบคลุมหลากหลายด้าน เช่น การใช้งานในภาคพลังงาน ไฮโดรเจนจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในบ้านเรือน หรือในอุตสาหกรรม การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมการผลิตแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) สำหรับผลิตปุ๋ย การใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในกระบวนการไฮโดรเจนเนชัน และสำหรับในอุตสาหกรรมยานยนต์ และอวกาศใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง สำหรับรถยนต์สันดาปภายในโดยใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนและอากาศยานรวมถึงการใช้เป็นเชื้อเพลิงจรวดได้อีกด้วย

## ไฮโดรเจน (Hydrogen) พบได้จากที่ไหนบ้าง?

ไฮโดรเจน สามารถผลิตได้จากธรรมชาติและกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยในธรรมชาติไฮโดรเจนส่วนมากจะพบอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ เช่น น้ำ (H<sub>2</sub>O) ก๊าซธรรมชาติ (เช่น มีเทน CH<sub>4</sub>) และสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมถึงแหล่งพลังงานจากชีวมวลและกระบวนการทางชีวภาพบนโลกนี้เราสามารถพบไฮโดรเจนในรูปแบบก๊าซอิสระได้ในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นการใช้งานไฮโดรเจนจึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางอุตสาหกรรมเพื่อแยกไฮโดรเจนออกจากสารประกอบอื่น ๆ กระบวนการผลิตไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมสามารถทำได้หลายวิธีตัวอย่างเช่น การแยกด้วยไอร้อน การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า และกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลและถ่านหิน



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

พลังงานไฮโดรเจนเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดแห่งอนาคตเรามาดูกันว่าในภาคอุตสาหกรรมการผลิตไฮโดรเจนเพื่อใช้เป็นพลังงานสามารถทำได้ด้วยกระบวนการหลัก ๆ อะไรบ้าง

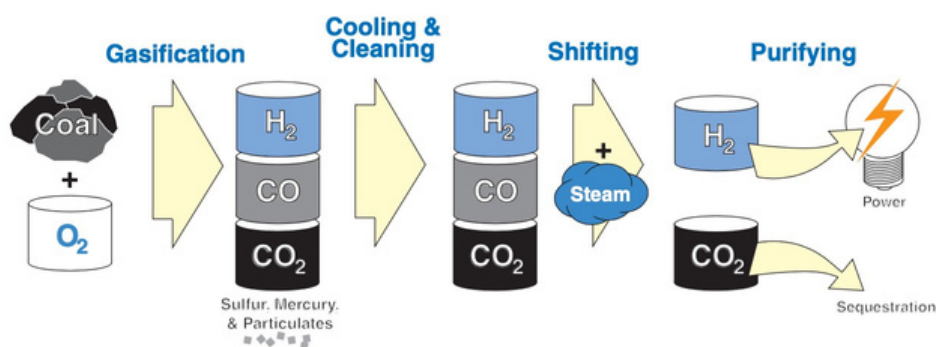
## กระบวนการความร้อน (Thermal Processes)

เป็นกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุด โดยใช้เทคนิคการใช้ไอน้ำที่มีความร้อนสูงทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล ถ่านหิน หรือชีวมวล เพื่อให้เปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ กระบวนการนี้สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ในปริมาณมากและมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ กระบวนการทางความร้อนมีเทคนิคการผลิตที่สำคัญอยู่ 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคการผลิตไฮโดรเจนด้วยการแปรสภาพถ่านหินให้เป็นก๊าซ เทคนิคการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติ และเทคนิคการแปรสภาพชีวมวล

### 1. เทคนิคการผลิตไฮโดรเจนด้วยการแปรสภาพถ่านหิน (Coal gasification)

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

- **การเตรียมถ่านหินและการแปรสภาพถ่านหิน** ให้เป็นก๊าซด้วยความร้อนและแรงดันสูง เรียกว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เพื่อเปลี่ยนถ่านหินให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซอื่น ๆ เราเรียกก๊าซที่ได้จากขั้นตอนนี้ว่า “ก๊าซสังเคราะห์”
- **กำจัดสิ่งปนเปื้อน** ก๊าซสังเคราะห์ จะถูกส่งต่อเข้าระบบหล่อเย็นและกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Cooling & Cleaning) เช่น ปรอท กำมะถัน และอนุภาคอื่น ๆ ซึ่งก๊าซหลักที่ได้หลังจากผ่านขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน
- **การเปลี่ยนรูป** ก๊าซที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการเปลี่ยนรูป (Shifting) ในขั้นตอนนี้ก๊าซจะถูกส่งไปยังถังปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยน้ำ และได้ไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น ในขั้นตอนนี้ก๊าซหลักที่ได้จะประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน
- **ขั้นตอนการแยกไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์** หรือเรียกขั้นตอนนี้ว่าการทำให้บริสุทธิ์ (Purifying) ด้วยการใช้เทคโนโลยีดักจับคาร์บอนที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตนั้น ๆ ก๊าซหลักที่ได้จากกระบวนการนี้จะเป็นก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์
- **การเก็บและการใช้งาน** ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะนำไปผ่านเทคโนโลยีเพื่อการเปลี่ยนเป็นพลังงาน สำหรับใช้งานต่างๆ เช่น การผลิตไฟฟ้าและการเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์



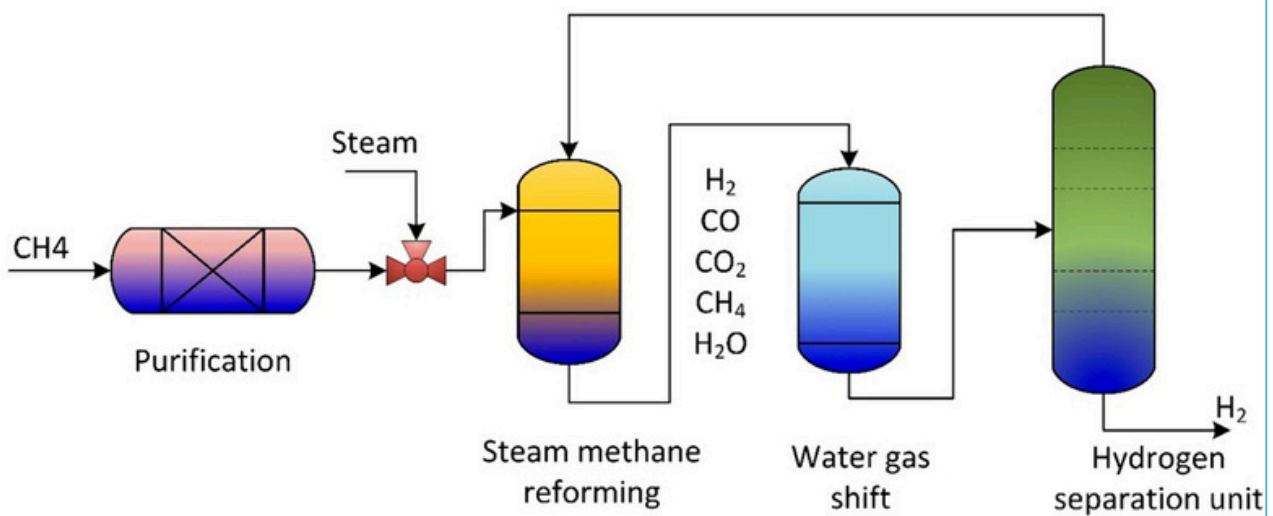
## 2. เทคนิคการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติเป็นไฮโดรเจน (Natural Gas Reforming)

ในกระบวนการนี้จะใช้ก๊าซมีเทนเพื่อผลิตเป็นก๊าซไฮโดรเจนเป็นหลัก โดยทำปฏิกิริยาภายใต้ความร้อนและแรงดันสูง เทคนิคนี้มีรูปการณ์ผลิต 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1. รูปแบบการผลิตด้วยกระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซมีเทนไปเป็นไฮโดรเจนด้วยไอน้ำ (Steam - Methane Reforming - SMR) เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูง (700-1,000°C) และแรงดันปานกลาง (15-30 บาร์) เพื่อแยกก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ออกจากก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) กระบวนการนี้จะต้องใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีดักจับคาร์บอนเพื่อการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากในกระบวนการผลิตจะเกิดผลพลอยได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์คาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซอื่นเล็กน้อย กระบวนการผลิตนี้มีขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอน ดังนี้

- **การเตรียมก๊าซ (pre-purification)** เป็นขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อนมากับก๊าซมีเทนที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารประกอบกำถันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จากนั้นก๊าซที่ผ่านกระบวนการนี้จะถูกส่งไปยังขั้นตอนต่อไป
- **กระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติขั้นต้น (pre-reforming or steam)** เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นที่มากับก๊าซวัตถุดิบให้อยู่ในรูปของมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO<sub>2</sub>) โดยกระบวนการนี้จะใช้อุณหภูมิประมาณ 400 - 550°C
- **กระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติ(reforming or steam methane reforming)** ก๊าซธรรมชาติจากกระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซขั้นต้น จะถูกส่งมายังถังปฏิกรณ์ เมื่อเข้ามายังถังปฏิกรณ์ก๊าซจะถูกผสมกับน้ำและอากาศที่เหมาะสม พร้อมทั้งให้อุณหภูมิประมาณ 800-900°C และควบคุมความดันประมาณ 15-30 บาร์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการสักรัดแยก ไฮโดรเจน ออกจากมีเทนในขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จะเป็นไฮโดรเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์
- **ขั้นตอนการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นไฮโดรเจน (gas Shift)** ในขั้นตอนนี้จะทำการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นไฮโดรเจนด้วย 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% ทำให้ก๊าซที่ได้มีไฮโดรเจนในปริมาณสูงขึ้น

- กระบวนการแยกและทำให้บริสุทธิ์ (hydrogen separation unit) เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากในปฏิกิริยาการผลิตไฮโดรเจนนี้อาจจะมีก๊าซมีเทนคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนมอนนอกไซด์ เจือปนมาในผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องกำจัดออกด้วยเทคโนโลยีการดูดซับแบบเปลี่ยนความดัน (Pressure Swing Adsorption - PSA)
- การเก็บและใช้งาน ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้นำไปผ่านเทคโนโลยีเพื่อการเปลี่ยนเป็นพลังงานสำหรับใช้งานต่าง ๆ เช่น การผลิตไฟฟ้าและการเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์



กระบวนการเปลี่ยนก๊าซมีเทนให้เป็นไฮโดรเจนด้วยไอน้ำแรงดันสูง

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

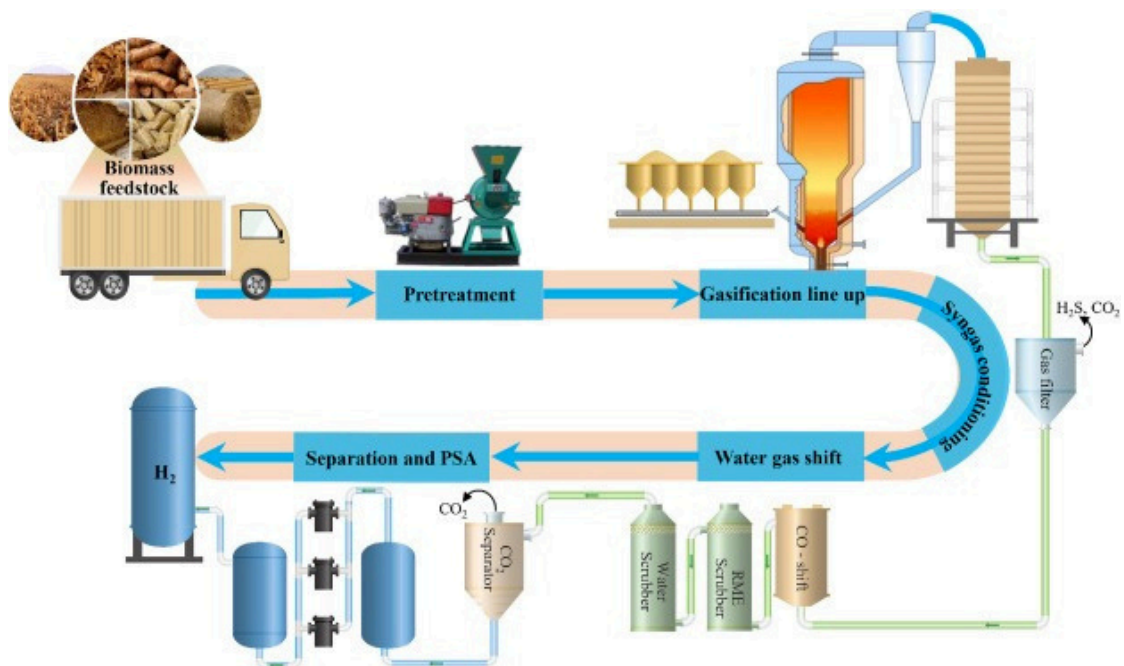
2.2 กระบวนการปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial Oxidation) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ก๊าซมีเทนและไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ที่อยู่ในก๊าซธรรมชาติจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในปริมาณที่จำกัดส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการนี้ ได้แก่ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจน (ในกระบวนการต้องใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์)

นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนไดออกไซด์และสารอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย กระบวนการนี้ไม่ได้รับความนิยมมากนักเนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จะน้อยกว่ากระบวนการเปลี่ยนรูปด้วยไอน้ำหลักการผลิตจะมีความคล้ายกับกระบวนการเปลี่ยนรูปก๊าซธรรมชาติด้วยไอน้ำ

## การผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการแปรสภาพชีวมวล (Biomass gasification)

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

- **การเตรียมชีวมวล** ชีวมวลจะถูกบดและทำให้แห้งก่อนเข้าสู่กระบวนการ เพื่อให้เหมาะสมกับการแปรรูป
- **กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน** ชีวมวลจะถูกให้ความร้อนและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือไอน้ำในถังปฏิกรณ์ที่ควบคุมสภาวะโดยกระบวนการนี้จะได้ก๊าซที่เรียกว่าก๊าซสังเคราะห์ (synthesis gas) ซึ่งก๊าซองค์ประกอบหลักคือ ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และก๊าซอื่น ๆ เล็กน้อย ก๊าซที่ได้นี้จะส่งเข้าสู่ขั้นตอนการทำความสะอาดและแยกบริสุทธิ์
- **กระบวนการทำความสะอาดและแยกก๊าซ** ก๊าซจะถูกทำความสะอาดเพื่อลดสิ่งเจือปน เช่น กำมะถัน น้ำมันดิน และ อนุภาคฝุ่น จากนั้นทำการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นไฮโดรเจนเพิ่มเติมผ่าน Water-Gas Shift Reaction ในกระบวนการนี้จะทำการเติมน้ำและให้ความร้อนในระบบเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็น ก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มเติม ผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้จะประกอบด้วยก๊าซหลัก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน
- **การแยกไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์ (purifying)** ในกระบวนการนี้จะใช้กระบวนการแยกก๊าซ เช่น Pressure Swing Adsorption (PSA) เพื่อให้ได้ไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง



การผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันชีวมวล  
(Hydrogen production: Biomass gasification)

ที่มา: <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. เครื่องอิเล็กโทรไลเซอร์ชนิดอัลคาไลน์

เรียกว่า ชนิดอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลซิส (Alkaline Electrolysis)

- เป็นเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายต่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวกลาง มีต้นทุนต่ำ และใช้งานได้อย่างแพร่หลายประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนสูง

### 2. เครื่องอิเล็กโทรไลเซอร์ชนิดโซลิดออกไซด์

เรียกว่า โซลิดออกไซด์ อิเล็กโทรไลซิส (Solid Oxide Electrolysis - SOE)

- ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจะต้องใช้อุณหภูมิในระบบการผลิตประมาณ  $700 - 1,000^{\circ}C$  เพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยาการแยกน้ำให้เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงแต่ต้องใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น

### 3. เครื่องอิเล็กโทรไลเซอร์ชนิดโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลซิส

(Polymer Electrolyte Membrane - PEM)

- เป็นเทคนิคการใช้เยื่อเมมเบรนชนิดพิเศษที่ช่วยให้ไอออนผ่านได้เทคนิคนี้ใช้พลังงานน้อยกว่าและมีความทนทานมูลค่าการติดตั้งสูง

### ข้อดีของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

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

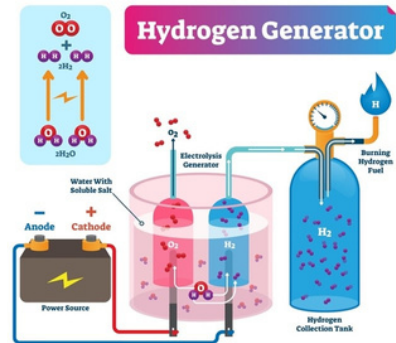
### ข้อเสียของกระบวนการนี้

- ต้นทุนการผลิตสูง: ไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีต้นทุนต่ำจึงจะคุ้มค่า
- ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน: กระบวนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากทำให้ต้องใช้แหล่งพลังงานที่เพียงพอและยั่งยืน

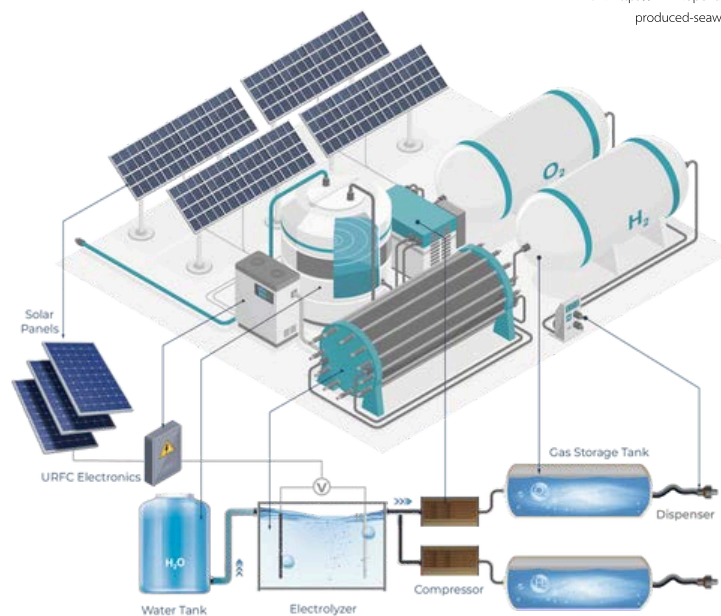
## หลักการการทำงานของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการแยกสารประกอบออกเป็นองค์ประกอบหรือธาตุต่าง ๆ โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า กระบวนการนี้มักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตโลหะบริสุทธิ์ การแยกก๊าซจากน้ำและการเคลือบผิวโลหะ

หลักการการทำงานของอิเล็กโทรไลซิสอาศัยการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งทำให้อิออนบวก (แคตไอออน) เคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ (แคโทด) และอิออนลบ (แอนไอออน) เคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก (แอโนด) เมื่อถึงขั้วไฟฟ้าแล้วอิออนจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะหรือโครงสร้างของสารนั้น ๆ ไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะถูกกักเก็บในระบบกักเก็บที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหรือเป็นแหล่งพลังงานสะอาด



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



ระบบการผลิตพลังงานไฮโดรเจนจากน้ำด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

ของบริษัท jenningsanode ประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐเท็กซัส

ที่มา: [www.jenningsanodes.com](http://www.jenningsanodes.com)

## ตัวอย่างการใช้พลังงานไฮโดรเจนในครัวเรือน

**บ้านสีเขียว** เป็นโครงการที่พักอาศัยที่เน้นความยั่งยืน ณ จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฮโดรเจน โครงการนี้ถูกออกแบบให้เป็นบ้านตัวอย่างที่นำเทคโนโลยีพลังงานสะอาดมาใช้จริง โดยมีจุดเด่นสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการอยู่อาศัยแบบยั่งยืน เช่น

- การใช้ระบบพลังงานไฮบริดที่ผสมผสานการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบเก็บพลังงานไฮโดรเจน เพื่อความต่อเนื่องของการใช้งาน
- การออกแบบที่ยั่งยืนโดยเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยึดหลักการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Zero Emission) เพื่อลดผลกระทบต่อธรรมชาติ
- การนำเทคโนโลยีอัจฉริยะมาใช้ในการควบคุมพลังงานและทรัพยากรผ่านระบบ IoT ทำให้สามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่าด้วยระบบบำบัดน้ำเสียและการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

### ระบบการทำงานของระบบบ้านสีเขียว

1. เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเวลากลางวัน และพลังงานส่วนเกินถูกนำไปใช้ผลิตไฮโดรเจนผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า
2. ไฮโดรเจนที่ได้ถูกใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าผ่านเซลล์เชื้อเพลิงในเวลากลางคืน
3. ระบบแบตเตอรี่สำรองจะจ่ายไฟฟ้าเพิ่มเติมหากมีความต้องการไฟฟ้าเกินกว่าที่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตได้
4. ระบบสามารถจ่ายไฟให้กับบ้านพักอาศัย 3 หลังและพื้นที่ส่วนกลางตลอด 24 ชั่วโมง

### ข้อจำกัด

- ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากไฮโดรเจนยังสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากราคาของเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กโทรไลเซอร์ที่ยังสูง
- ระยะคืนทุนของระบบไฮโดรเจนยาวกว่าการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว
- เหมาะสำหรับใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น บนดอยหรือเกาะ

### แนวโน้มในอนาคต

- หากเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กโทรไลเซอร์มีประสิทธิภาพดีขึ้นและต้นทุนต่ำลงการผลิตไฟฟ้าจากไฮโดรเจนจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากขึ้น
- ไฮโดรเจนอาจกลายเป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนและสามารถนำมาใช้ในระดับอาคารและโครงการขนาดใหญ่ได้อย่างคุ้มค่า



ส่วนผลิตพลังงานที่ใช้ในบ้านด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฮโดรเจน

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



ส่วนที่อยู่อาศัยของบ้านผีเสื้อ

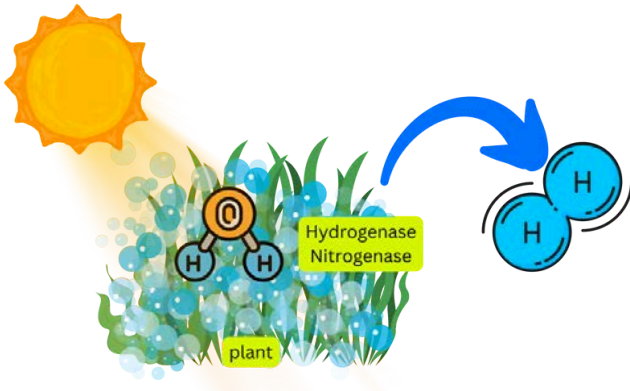
ที่มา: <https://www.phisueahouse.com/index.php>

## กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีทางชีวเคมี (Biochemical process)

การผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เป็นการใช้อินทรีย์ เช่น สาหร่าย (Algae), แบคทีเรีย (Bacteria) และอาร์เคีย (Archaea) ในการเปลี่ยนสารตั้งต้นอย่างน้ำของเสียอินทรีย์หรือชีวมวลให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน โดยกระบวนการนี้อาจต้องใช้เอนไซม์หรือโปรตีนช่วยเร่งปฏิกิริยาชีวเคมีกระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ การแบ่งตามการใช้แสง (Photosynthetic Hydrogen Production) โดยจุลินทรีย์จะใช้พลังงานจากแสงแดดเพื่อเปลี่ยนน้ำเป็นไฮโดรเจน และกระบวนการที่ไม่ใช้แสง (Dark Fermentation) ซึ่งจุลินทรีย์จะย่อยสลายของเสียอินทรีย์เพื่อสร้างไฮโดรเจนในสภาวะไร้ออกซิเจน ปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนชีวภาพยังไม่สามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความรู้ความเข้าใจที่ยังไม่สมบูรณ์และประสิทธิภาพ

### 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 และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ตลอดจนสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบวนการ



**ข้อดี** เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานแสงธรรมชาติ ไม่ต้องใช้แหล่งพลังงานภายนอกและเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

**ข้อจำกัด** ประสิทธิภาพการผลิตต่ำในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อย ความสามารถของจุลินทรีย์ในการทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ยังมีข้อจำกัด และจำเป็นต้องมีระบบควบคุมแสงและสภาวะที่เหมาะสม

### 2. กระบวนการผลิตไฮโดรเจนทางชีวเคมีในที่ไม่มีแสง

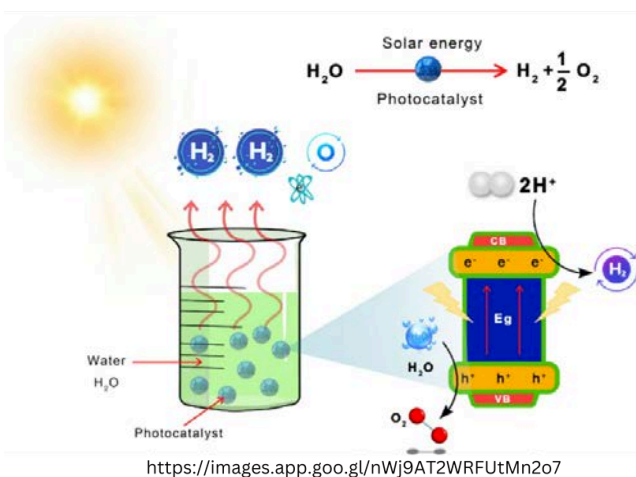
เป็นกระบวนการที่ใช้อินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล แป้ง และสารประกอบชีวภาพ เพื่อผลิตไฮโดรเจนปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการนี้คือประเภทของสารตั้งต้น เช่น กากน้ำตาล ของเสียจากการเกษตร ส่งผลต่อผลผลิตและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ สภาวะการหมัก เช่น pH อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้น

**ข้อดี** สามารถใช้ของเสียอินทรีย์เป็นวัตถุดิบได้ไม่ต้องพึ่งพาพลังงานแสงเป็นกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ต่อเนื่องในอุตสาหกรรม

**ข้อจำกัด** ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนยังค่อนข้างต่ำ มีความยากต่อการควบคุมสภาวะการหมัก ผลพลอยได้ที่เกิดขึ้น เช่น กรดอินทรีย์อาจต้องมีการกำจัดหรือรีไซเคิล

## กระบวนการผลิตไฮโดรเจน ด้วยวิธีการแยกด้วยแสง (Photocatalysis)

กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธีการแตกตัวของน้ำโดยใช้สารกึ่งตัวนำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเป็นเทคโนโลยีที่อาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อแยกโมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) ออกเป็นก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) โดยเมื่อสารกึ่งตัวนำได้โฟตอน (Photon) จากแสงอาทิตย์อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ (Valence Band) และเคลื่อนที่ผ่านแถบพลังงาน (Energy Band) ไปสู่แถบนำไฟฟ้า (Conduction Band) ส่งผลให้เกิดหลุม (Hole) ในแถบวาเลนซ์ ซึ่งอิเล็กตรอนและหลุมเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน



ในกระบวนการนี้ อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปยังแถบนำไฟฟ้าจะถูกส่งไปทำปฏิกิริยากับไอออนของไฮโดรเจนในน้ำทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนในขณะเดียวกันหลุมที่เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลน้ำเพื่อปลดปล่อยออกซิเจน กระบวนการนี้มักต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น ไททานเนียมไดออกไซด์ ( $TiO_2$ ) ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานแสงและมีความเสถียรในการทำปฏิกิริยา

หลังจากการแยกน้ำสำเร็จแล้ว ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน เช่น ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ เพื่อให้ได้ไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) หรือใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมี เทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้ถือว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



## การจัดเก็บไฮโดรเจน

**การจัดเก็บพลังงานไฮโดรเจน** เป็นหัวใจสำคัญในการนำพลังงานชนิดนี้มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการจัดเก็บไฮโดรเจนยังคงมีความท้าทายโดยเฉพาะในเรื่องของการรักษาความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม การเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานต่อหน่วยพื้นที่และการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดต้นทุนในการจัดเก็บให้เกิดความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์สำหรับปัจจุบันวิธีการจัดเก็บไฮโดรเจนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

### 1. การจัดเก็บเชิงกายภาพ (Physical Storage)

วิธีการนี้เป็นการกักเก็บไฮโดรเจนในสถานะก๊าซหรือของเหลวโดยอาศัยเงื่อนไขทางกายภาพ เช่น

- **การจัดเก็บในรูปของไฮโดรเจนเหลว (Liquid Hydrogen - LH2)**

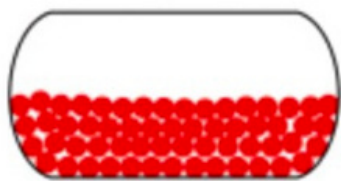
ไฮโดรเจนถูกทำให้เย็นยิ่งยวดจนถึงอุณหภูมิ  $-253^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้อยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งมีความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก๊าซแรงดัน ข้อเสียหลักคือการใช้พลังงานสูงในการทำให้เย็น และความต้องการของระบบฉนวนป้องกันการระเหย

- **การจัดเก็บในรูปของไฮโดรเจนอัด (Compressed Hydrogen Gas - CHG)**

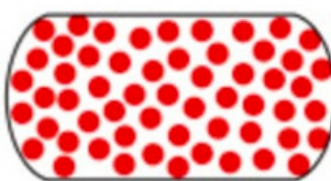
จะทำการบีบอัดไฮโดรเจนให้อยู่ในภาชนะที่มีความแข็งแรงสูง เช่น ถังคาร์บอนไฟเบอร์ ข้อดีคือความง่ายต่อการนำไปใช้งาน แต่ข้อเสียคือต้องการใช้พลังงานจำนวนมากในการบีบอัด

- **การจัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจนอัดเย็นยิ่งยวด (cryo-compressed hydrogen: CcH2)**

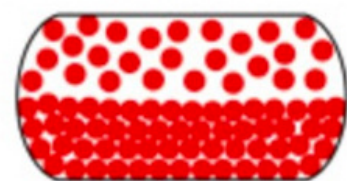
หรือ สลัชไฮโดรเจน (slush hydrogen: sH2) จะทำการบีบอัดไฮโดรเจนให้อยู่ในภาชนะที่มีความแข็งแรงสูง โดยไฮโดรเจนในถังจะมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ถังที่นิยมใช้ ถังคาร์บอนไฟเบอร์ ข้อดีคือความง่ายต่อการนำไปใช้งาน แต่ข้อเสียคือต้องการใช้พลังงานจำนวนมากในการบีบอัด



จัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจนเหลว



จัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจนอัด



จัดเก็บในรูปแบบไฮโดรเจน  
อัดเย็นยิ่งยวด

### ลักษณะของโมเลกุลไฮโดรเจนในถังบรรจุ

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



ภาพตัวอย่างการจัดเก็บเชิงกายภาพ

## 2. การจัดเก็บเชิงวัสดุหรือเชิงเคมี(Material-based Storage)

วิธีการนี้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการดูดซับหรือกักเก็บไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของวัสดุต่าง ๆ เช่น

- **การจัดเก็บด้วยวัสดุโลหะไฮไดรด์ (Metal Hydrides)**

ไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม อะลูมิเนียม หรือไททาเนียม เพื่อก่อให้เกิดสารประกอบไฮไดรด์ซึ่งสามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมาเมื่อถูกให้ความร้อน

- **การจัดเก็บด้วยวัสดุคาร์บอนนาโน (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) และสารกักเก็บไฮโดรเจน (Hydrogen Carriers) โดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะทาง ปริมาณ และต้นทุนในการดำเนินการ

### 1. การขนส่งทางท่อ (Pipeline Transportation)

การขนส่งรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการขนส่งไฮโดรเจนในปริมาณมากและต่อเนื่องไปยังจุดใช้งานที่อยู่ห่างไกล

โดยต้องใช้ท่อที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อรองรับแรงดันของก๊าซไฮโดรเจนที่ถูกอัด มีต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นสูงแต่คุ้มค่าหากมีการใช้งานในระยะยาว ส่วนมากระบบนี้ใช้สำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการไฮโดรเจนในปริมาณมาก เช่น โรงกลั่นน้ำมัน และโรงงานผลิตปุ๋ย





## 2. การขนส่งทางรถบรรทุกและเรือ (Truck and Ship Transportation)

เหมาะสำหรับการขนส่งไฮโดรเจนในปริมาณปานกลางถึงมากในระยะทางไกล สามารถขนส่งได้ทั้งในรูปแบบไฮโดรเจนอัดความดันสูง (Compressed Hydrogen)

และไฮโดรเจนเหลว (Liquid Hydrogen) โดยรถบรรทุกถังไฮโดรเจนแรงดันสูงใช้สำหรับระยะใกล้ ส่วนเรือขนส่งใช้สำหรับระยะไกลหรือข้ามทวีป การขนส่งวิธีนี้มีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยและต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยสูงกว่าการขนส่งทางท่อ

## 3. การขนส่งผ่านสารกักเก็บไฮโดรเจน (Hydrogen Carriers)

เป็นการขนส่งผ่านทางเรือ หรือรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยการใช้สารเคมีที่สามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรเจนได้ เช่น Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) หรือการใช้โลหะไดรด์ (Metal Hydrides) เป็นกระบวนการที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการรั่วไหลของไฮโดรเจนและทำให้การขนส่งสะดวกขึ้นวิธีการขนส่งรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการขนส่งในระยะกลางถึงไกล โดยเฉพาะกรณีที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน และกระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้กักเก็บการเปลี่ยนกลับเพื่อแยกไฮโดรเจนออกจากสารกักเก็บเมื่อถึงปลายทาง



## การใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจน

การนำไฮโดรเจนมาใช้ประโยชน์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ การใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรม และ การใช้ในภาคพลังงาน โดยแต่ละกลุ่มมีบทบาทสำคัญในหลากหลายอุตสาหกรรม ดังนี้

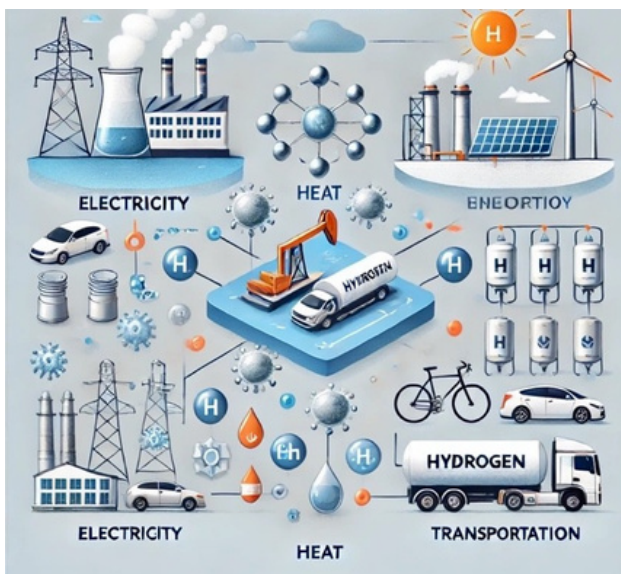
### 1. การใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรม

ไฮโดรเจนถูกใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เพื่อเป็นสารตั้งต้นหรือสารช่วยในอุตสาหกรรมสำคัญ ได้แก่

- **การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมอาหาร** ไฮโดรเจนถูกใช้เป็นสารเติมแต่ง (Hydrogenating Agent) ตัวอย่างเช่น การใช้ไฮโดรเจนเพื่อการเปลี่ยน โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ช่วยในการผลิตเนยขาว เนยเทียม และเนยถั่ว



- **การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมโลหะ** ไฮโดรเจนถูกใช้ในกระบวนการผลิตโลหะบริสุทธิ์ การถลุงโลหะ และเป็นก๊าซป้องกันในการเชื่อมโลหะ เช่น ผสมกับอาร์กอนสำหรับเชื่อมสแตนเลสรวมถึงสนับสนุนการเชื่อมพลาสมาและกระบวนการตัดโลหะ
- **การใช้ในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม** ไฮโดรเจนใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตซอร์บิทอล (Sorbitol) ซึ่งเป็นสารให้ความหวานที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง วัสดุประสาน สารตั้งผิว และวิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามินเอและซี
- **การใช้ในอุตสาหกรรมเคมี** ไฮโดรเจนเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตแอมโมเนียและเมทานอลรวมถึงเป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น สบู่ ฉนวน พลาสติก และซีเมนต์



## 2. การใช้ในภาคพลังงาน

การใช้ไฮโดรเจนในภาคพลังงานส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงาน โดยยังอยู่ในช่วงพัฒนาและยังไม่ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายเชิงพาณิชย์ รูปแบบการใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่

- **ภาคพลังงานไฟฟ้า** ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในการผลิตไฟฟ้าผ่านกังหันก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen Gas Turbine) หรือใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Technology) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและลดการปล่อยมลพิษ
- **ภาคพลังงานความร้อน** ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือผสมกับก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตาเพื่อใช้ในกระบวนการให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรมและการผลิตไอน้ำ
- **ภาคขนส่ง** ไฮโดรเจนถูกใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันปิโตรเลียมและไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะได้ทั้งในรูปแบบของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) และเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าในรถยนต์ไฮโดรเจน

การใช้ไฮโดรเจนในภาคอุตสาหกรรมและภาคพลังงานแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนและสะอาด ซึ่งมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคตควบคู่กับการพัฒนาเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

## ข้อดีของการใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมและการขนส่ง

### 1. ข้อดีของไฮโดรเจนในภาคอุตสาหกรรม

- เป็นพลังงานสะอาดและลดการปล่อยคาร์บอน เนื่องจากไฮโดรเจนสามารถผลิตพลังงานโดยไม่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) หากใช้วิธีผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น ไฮโดรเจนสีเขียว (Green Hydrogen) จากกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ที่ใช้พลังงานหมุนเวียน
- สามารถนำไปใช้งานที่หลากหลายในอุตสาหกรรม ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตสารเคมี เช่น แอมโมเนีย เมทานอล และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าเพื่อลดการใช้ถ่านหินโค้กและลดการปล่อย CO<sub>2</sub>
- การใช้เป็นพลังงานสำรอง เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่สามารถกักเก็บได้ในระยะยาว ซึ่งสามารถใช้ในช่วงเวลาที่พลังงานหมุนเวียน (ลมและแสงอาทิตย์) ไม่สามารถผลิตได้เพียงพอ หรือใช้ในกรณีฉุกเฉินด้านการขาดแคลนพลังงาน
- เพิ่มความยืดหยุ่นในโครงสร้างพื้นฐานพลังงาน โดยไฮโดรเจนสามารถใช้ร่วมกับระบบโครงข่ายพลังงานไฟฟ้าและระบบผลิตความร้อนในอุตสาหกรรม เพื่อช่วยเสริมความเสถียรของระบบ

### 2. ข้อดีของไฮโดรเจนในภาคการขนส่ง

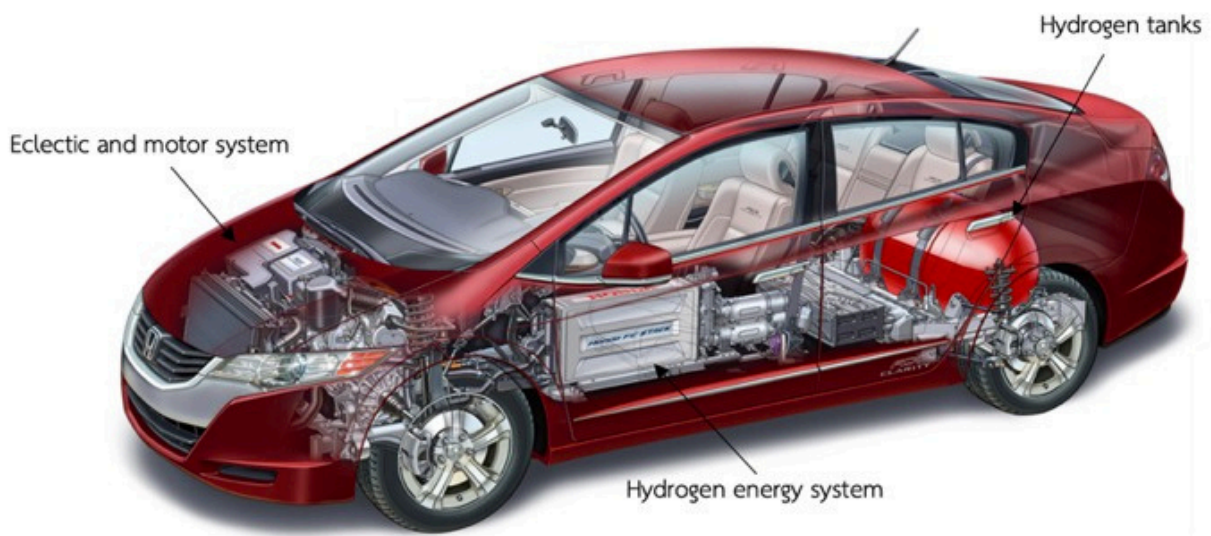
- ไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด ปราศจากการปล่อยไอเสีย เนื่องจากเมื่อใช้กับยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน (FCEVs) ปล่อยออกมาเพียงไอน้ำทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง
- พลังงานไฮโดรเจนสำหรับยานพาหนะสามารถเดินทางได้ในระยะทางที่ยาวกว่าเมื่อเทียบกับรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่
- เหมาะสำหรับการขนส่งยานพาหนะขนาดใหญ่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

การใช้ไฮโดรเจนในอุตสาหกรรมและการขนส่งมีศักยภาพสูง ในการเปลี่ยนโฉมระบบพลังงานไปสู่ความยั่งยืน ด้วยข้อดีที่สำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บพลังงาน และเป็นพลังงานที่สะอาดต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การเร่งพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและลดต้นทุน จะเป็นปัจจัยสำคัญในการผลักดันการใช้งานไฮโดรเจนในวงกว้างในอนาคต

## การใช้พลังงานไฮโดรเจนในยานพาหนะ

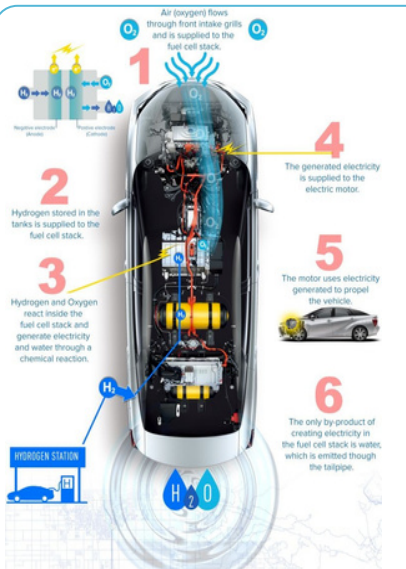
### รถยนต์ส่วนบุคคล

ในรถยนต์ส่วนบุคคลจะใช้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน (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](http://www.hondainamerica.com)



Toyota Mirai 2014

ที่มา: [www.toyota-europe.com](http://www.toyota-europe.com)



### Hydrogen Storage system



Powertrain-Fuel Cell (PFC)

High-voltage Battery

Hyundai Nexo

ที่มา: [www.hyundaicanada.com](http://www.hyundaicanada.com)

## รถบัสและรถบรรทุก

ไฮโดรเจนใช้ในภาคการขนส่งสาธารณะและโลจิสติกส์ เนื่องจากมีความสามารถในการขับเคลื่อนระยะไกลและรองรับน้ำหนักได้ดี 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>



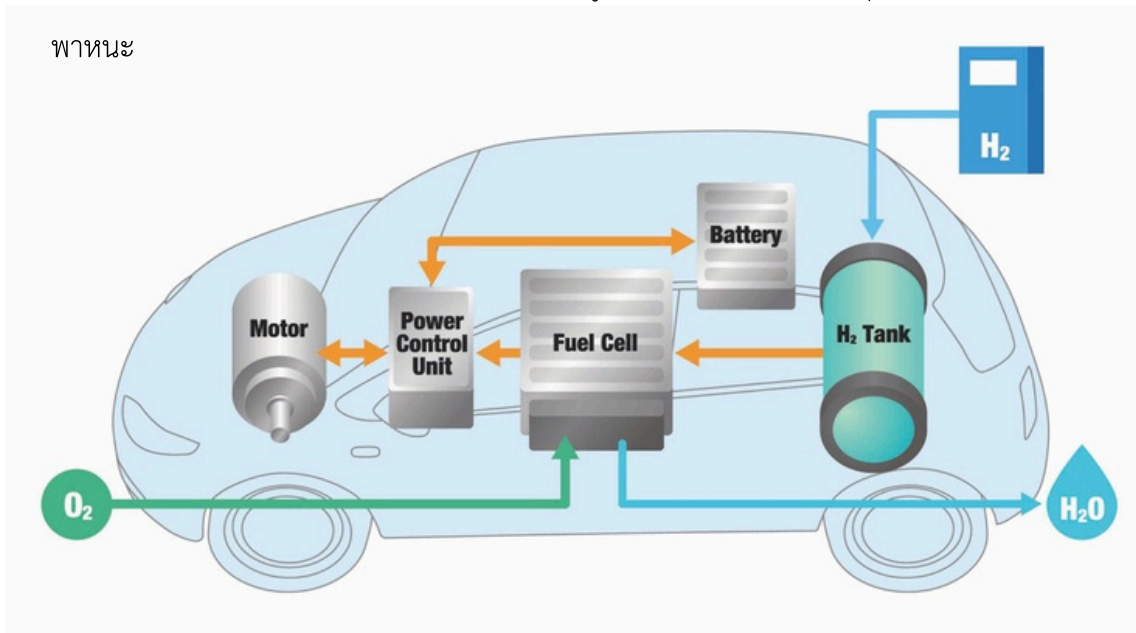
### เรือพลังงานไฮโดรเจน

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

## หลักการทำงานของยานพาหนะไฮโดรเจน

ยานพาหนะไฮโดรเจนทำงานโดยการนำไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพื่อผลิตไฟฟ้าซึ่งจะถูกใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ข้อดีของระบบ วนการนี้คือไม่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์หรือมลพิษอื่น ๆ ออกมา มีขั้นตอนสำคัญของการทำงาน ได้แก่

1. **การจัดเก็บไฮโดรเจน** ก๊าซไฮโดรเจนถูกเก็บในถังแรงดันสูง (350-700 บาร์) เพื่อให้สามารถใช้งานได้ ในปริมาณมากพอ ซึ่งถังกักเก็บพลังงานไฮโดรเจนจะต้องทนต่อแรงกระทำสูงและมีการออกแบบความที่เหมาะสมต่อการใช้งาน
2. **การผลิตไฟฟ้า** ก๊าซไฮโดรเจนในถังกักเก็บจะไหลเข้าสู่ระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อสร้างกระแสไฟฟ้า
3. **การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสไฟฟ้า** ที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังมอเตอร์เพื่อหมุนล้อและขับเคลื่อนยานพาหนะ



### หลักการทำงานของยานพาหนะไฮโดรเจน

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

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

## แนวโน้มอนาคตของพลังงานไฮโดรเจน

แนวโน้มในอนาคตของพลังงานไฮโดรเจนมีทิศทางที่สดใส เนื่องจากหลายประเทศทั่วโลกกำลังผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนผ่านไปสู่พลังงานสะอาดเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง

นอกจากนี้รัฐบาลหลายประเทศ เช่น สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น ได้กำหนดเป้าหมายระยะยาวในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการใช้ไฮโดรเจนในภาคพลังงานและอุตสาหกรรมหนัก เทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น ระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมถึงการจัดเก็บและขนส่งไฮโดรเจนในรูปแบบเหลวหรือสารประกอบเคมีทำให้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานได้มากขึ้น ด้วยการสนับสนุนจากภาครัฐและการลงทุนจากภาคเอกชน ไฮโดรเจนจึงมีแนวโน้มกลายเป็นพลังงานหลักที่สามารถขับเคลื่อนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในอนาคต



อย่างไรก็ตาม การนำพลังงานไฮโดรเจนมาใช้อย่างแพร่หลายยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ โดยเฉพาะต้นทุนการผลิตที่ยังคงสูงเมื่อเทียบกับพลังงานฟอสซิล การผลิตไฮโดรเจนสีเขียวจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และลม ต้องการการลงทุนมหาศาลในโครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยีการผลิตที่ยังอยู่ในช่วงพัฒนา อีกทั้งระบบขนส่งและการจัดเก็บไฮโดรเจนต้องใช้เทคโนโลยีที่มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่ไวไฟและต้องการสภาวะแรงดันสูงเพื่อการจัดเก็บและขนส่งอย่างปลอดภัย นอกจากนี้ การขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะเฉพาะทางและความเข้าใจของสาธารณชนเกี่ยวกับประโยชน์และความปลอดภัยของไฮโดรเจนยังเป็นอุปสรรคสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไข เพื่อให้พลังงานไฮโดรเจนสามารถเข้ามามีบทบาทสำคัญในระบบพลังงานของโลกได้อย่างแท้จริง

## สรุปท้ายบทเรียน

- พลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen Energy) เป็นพลังงานทางเลือกที่ได้จากธาตุไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในจักรวาล ไฮโดรเจนสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานสะอาดโดยไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกหากผลิตจากแหล่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrolysis) การเปลี่ยนก๊าซธรรมชาติ (Steam Methane Reforming - SMR) การแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล (Biomass Gasification) และ กระบวนการชีวภาพ (Biological Processes)
- การใช้พลังงานไฮโดรเจนมีข้อดีด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติเพราะไม่มีการปล่อยมลพิษโดยตรง เมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิง จะได้เพียงน้ำเป็นผลพลอยได้ ต่างจากพลังงานฟอสซิลที่ปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, และสารก่อมะเร็ง ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก หากผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนไฮโดรเจนจะช่วยลดปริมาณการปล่อย CO<sub>2</sub> ลงได้มาก ลดมลภาวะทางอากาศ ไม่มีการปล่อยมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละอองและเขม่า ซึ่งเป็นปัญหาหลักของเชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยกว่า การรั่วไหลของไฮโดรเจนในสิ่งแวดล้อมไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนเหมือนเช่นน้ำมันดิบที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล
- พลังงานไฮโดรเจนมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนและการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุผลดังนี้ แหล่งพลังงานทดแทน ไฮโดรเจนสามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการพึ่งพาน้ำมันลดความเสี่ยงด้านพลังงานของประเทศ ใช้ร่วมกับพลังงานหมุนเวียนไฮโดรเจนสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานจากแหล่งหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ไม่มีแสงแดดหรือลม ความมั่นคงด้านพลังงาน ประเทศที่ไม่มีแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ลดการนำเข้าน้ำมันและก๊าซธรรมชาติการสนับสนุนเศรษฐกิจสีเขียว
- การใช้พลังงานไฮโดรเจนในชีวิตประจำวันมีหลากหลายรูปแบบ โดยหนึ่งในภาคส่วนสำคัญคืออุตสาหกรรม การขนส่ง ซึ่งกำลังพัฒนาไฮโดรเจนให้เป็นทางเลือกแทนน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ไฮโดรเจน (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV) รถโดยสารและรถบรรทุก รวมถึงเรือและเครื่องบิน การใช้ไฮโดรเจนในภาคการขนส่งไม่เพียงช่วยลดการปล่อยมลพิษ แต่ยังเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนในระยะยาว นอกจากนี้ไฮโดรเจนยังสามารถใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเป็นแหล่งพลังงานสำรองสำหรับบ้านเรือนและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่สามารถเข้าถึงโครงข่ายพลังงานหลัก ระบบเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสามารถให้พลังงานต่อเนื่องและมีเสถียรภาพสูง



## ตรวจสอบความรู้พื้นฐานท้ายบท

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วเติมเครื่องหมาย ✓ 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	



ชื่อวิดีโอ