ทิศทางการพัฒนาไฮโดรเจน: พลังงานทางเลือก สำหรับประเทศไทย

รับเมื่อ: 2 มีนาคม 2567
แก้ไขเมื่อ: 28 มิถุนายน 2567
ตอบรับเมื่อ: 10 กรกฎาคม 2567

มารี เคดารี[1] จอร์จ เคดารี[2] และ จงจิตร์ หิรัญลาภ[3*]

[1] บริษัท ซันซีร์ จำกัด กรุงเทพมหานคร

[2] คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี ปทุมธานี

E-mail: jongjit.hirunlabh@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นที่เน้นศึกษาทิศทางการพัฒนาและการใช้ไฮโดรเจนเป็นพลังงานทางเลือกของประเทศไทยที่เป็นประโยชน์ในอนาคต ไฮโดรเจน ถือเป็นวัตถุดิบที่สำคัญอย่างหนึ่ง ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นวัสดุตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ในปัจจุบัน ไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น น้ำ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน หรือเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทอื่น ๆ แต่ละประเภทจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาไหม้ มีการใช้สีต่าง ๆ เพื่ออธิบายแหล่งกำเนิดของไฮโดรเจน เช่น ไฮโดรเจนสีเขียว ผลิตจากแหล่งพลังงานสะอาด ในขณะที่โลกเผชิญกับภาวะโลกร้อน ไฮโดรเจนก็มีบทบาทสำคัญ เพราะไฮโดรเจนเป็นหนึ่งในตัวพาพลังงาน ที่สามารถผลิตได้จากพลังงานทดแทนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กลยุทธ์สำคัญในการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญและรวดเร็ว เพื่อไม่ให้โลกประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง เช่น ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ไฮโดรเจนจัดเป็นพลังงานทางเลือกในอนาคต สำหรับทุกภาคส่วน ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากผลการประชุม COP 28 ตามการประเมินสถานการณ์และการปฏิบัติการในระดับโลก พบว่า แม้มีความก้าวหน้าในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามเป้าหมายจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกที่ 1.5°C ในความตกลงปารีส มีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิของโลกจะเพิ่มขึ้นถึง 2.6 องศา ซึ่งเกินกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้บรรลุเป้าหมายปี 2593 ก๊าซเรือนกระจกจะต้องลดลง 43% ภายในปี 2573 และจะต้องลดลง 60 % ภายในปี 2578 ซึ่งทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยจำเป็นต้องมีการขับเคลื่อนด้านพลังงาน โดยต้องเพิ่มสัดส่วนพลังงานหมุนเวียน 3 เท่า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 2 เท่า รวมถึงการพยายามที่จะต้องยุติการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล สำหรับประเทศไทยได้มีแนวทางการดำเนินงานให้เป็นกลางทางคาร์บอน ด้วยการสื่อสารกับทุกภาคส่วน สร้างการมีส่วนร่วมที่ชัดเจน โดยมุ่งเป้าไปที่แผนปฏิบัติการ NDC (Nationally Determined Contribution) ปี 2021-2030 เร่งจัดทำพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยรับฟังเสียงประชาชนจากภาครัฐและเอกชน พัฒนาศักยภาพในการเข้าถึงแหล่งเงินทุนมากขึ้น พัฒนาศูนย์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และพัฒนาระบบติดตามการปฏิบัติงาน

คำสำคัญ: ไฮโดรเจน ตัวพาพลังงาน พลังงานทางเลือก ไฮโดรเจนสีเขียว ความเป็นกลางทางคาร์บอน

Direction for hydrogen development as an alternative energy for Thailand

Received: 2 March 2024
Revised: 28 June 2024
Accepted: 10 July 2024

Marie Khedari[1], Georges Khedari[2] and Jongjit Hirunlabh[3*]

[1] SUNSYR Co., Ltd, Bangkok

[2] Faculty of Architecture and Design, King Monkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

[3] Engineering Faculty of Engineering and Technology, Pathum Thani University, Pathum Thani

E-mail: jongjit.hirunlabh@hotmail.com*

Abstract

This article is a preliminary study that focuses on studying the direction of development of hydrogen as an alternative energy in Thailand to be beneficial in the future. Hydrogen is one of the raw materials widely used as a starting material in various industries, such as the petrochemical, steel, automotive, food, and electronics industries. As the world faces global warming, hydrogen plays a significant role because hydrogen is one of the energy carriers that can be produced from environmentally friendly renewable energy. A key strategy for solving climate change is to reduce greenhouse gas emissions significantly and quickly to prevent the world from experiencing severe climate change problems, such as increasing water levels and biodiversity loss. Hydrogen is classified as an alternative energy in the future for all sectors that will help improve energy efficiency, reduce dependency on fossil fuels, and reduce carbon dioxide emissions. From the COP 28 meeting, based on the assessment of the global situation, it was found that although there has been progress in reducing greenhouse gas emissions according to the 1.5 ˚C target limit in the Paris Agreement. Global temperature is expected to rise by 2.6 ˚C, which is more than the target set. However, to achieve the 2050 target, greenhouse gases must be reduced by 43 % by 2030 and must be reduced by 60 % by 2035. The world, including Thailand, needs to drive towards energy transition. It requires increasing the proportion of renewable energy 3 times and increasing energy efficiency 2 times, including efforts to end the use of fossil fuels. For Thailand, there are operational guidelines to be carbon neutral by communicating with all sectors. It is aimed at the NDC (Nationally Determined Contribution) Action Plan 2021-2030 to accelerate the preparation of the Climate Change Act by hearing public and private sectors. In addition, it is to develop the potential to access more funding sources, a climate change information center, and an effective monitoring system.

Keywords: Hydrogen, Energy carriers, Alternative energy, Green hydrogen, Carbon neutrality

1. บทนำ

ประเทศไทย โดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ทส.) กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม (สส.) ร่วมกับ องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit; GIZ) และโครงการ Supporting Preparedness for Article 6 Cooperation (SPAR6C) ได้จัดการประชุมเผยแพร่สรุปผลการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change Conference of the Parties: UNFCCC COP) ครั้งที่ 28 หรือที่เรียกโดยย่อว่า COP 28 และการประชุมอื่นที่เกี่ยวข้อง หรือ COP 28 ที่จัดขึ้น ณ เมืองดูไบ สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ จากเวที COP นั้นเป็นการเปลี่ยนผ่านที่ทุกประเทศต้องร่วมกันดำเนินงานอย่างเร่งด่วน เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายระยะยาวในการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียส ตามความตกลงปารีส ซึ่งขณะนี้มีสัญญาณว่า ยังห่างจากเป้าหมายอยู่มาก แต่ประเทศไทยมุ่งมั่นที่จะดำเนินงานร่วมกับประชาคมโลกด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ครอบคลุมทุกภาคส่วนเศรษฐกิจ การเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัว กลไกการเงินที่เหมาะสมและเข้าถึงได้ เพื่อเปลี่ยนผ่านสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์อย่างเป็นระบบ โดยเน้นย้ำการสื่อสาร สร้างความเข้าใจในวงกว้างให้กับทุกภาคส่วน และร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการขับเคลื่อนในการเปลี่ยนผ่านของประเทศไทย เพื่อตั้งรับและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากสถิติในปีค.ศ. 2015 ในสหภาพยุโรป มีการใช้ไฮโดรเจน อยู่ที่ 339 TWh เบื้องต้นมีการประเมินว่า ภายในปีค.ศ.2030 จะมีการใช้ไฮโดรเจน ในการสร้างพลังงานในสหภาพยุโรปได้ถึง 665 TWh หรือคิดเป็นร้อยละ 6 ของพลังงานทั้งหมดในสหภาพยุโรป และภายในปีค.ศ. 2050 จะมีการใช้ไฮโดรเจน เพื่อผลิตพลังงานถึง 2,250 TWh หรือคิดเป็นร้อยละ 24 ของพลังงานที่ต้องการใช้ในสหภาพยุโรป

พลังงานที่ใช้ในประเทศไทยมีหลายชนิดและมาจากแหล่งกำเนิดหลายประเภท ทั้งพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน น้ำมันดิบ ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ รวมไปถึงพลังงานคาร์บอนต่ำ ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่ภาครัฐและภาคเอกชนร่วมกันส่งเสริมและศึกษาหาแนวทางการนำมาใช้ในหลายภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคการผลิต ภาคคมนาคมขนส่ง ภาคการเกษตร รวมไปถึงภาคครัวเรือน เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

แหล่งพลังงานคาร์บอนต่ำและพลังงานหมุนเวียนแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด เช่น พลังงานน้ำ (Water Energy) พลังงานลม (Wind Energy) พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) หรือพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy) เป็นต้น แหล่งกำเนิดพลังงานเหล่านี้สอดคล้องกับการจัดทำแผนพลังงานชาติ ที่มีการกำหนดเป้าหมายมุ่งสู่พลังงานสะอาด และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (carbon neutrality) การส่งเสริมการลงทุนพลังงานสีเขียวในภาคพลังงาน เป็นการส่งเสริมความมั่นคงภาคพลังงาน และสนับสนุนให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมาย ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปีค.ศ. 2050 โดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนของประเทศให้ได้ร้อยละ 20.3 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยได้ริเริ่มการใช้ไฮโดรเจน โดยในปี พ.ศ. 2560 ที่ผ่านมาได้มีการกำหนดให้ใช้ไฮโดรเจนในภาคคมนาคมขนส่ง ในปริมาณ 100,000 กิโลกรัม ซึ่งเป็นหนึ่งก้าวที่สำคัญ ไฮโดรเจน จัดเป็นพลังงานที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก นำไปสู่การลดปัญหาภาวะโลกร้อน แต่ทั่วโลกยังคงมีความล่าช้าในการนำไฮโดรเจนมาใช้ด้วยข้อจำกัดบางประการ ที่ต้องมีการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติม เนื่องด้วยเหตุผลสำคัญ ดังนี้

- ไฮโดรเจน เป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถผลิตได้จากวัสดุตั้งต้นหลายประเภท เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำ ก๊าซชีวภาพ ชีวมวล ถ่านหิน สาหร่าย เป็นต้น

- ไฮโดรเจน สามารถนำมาใช้งานใช้ได้ในหลากหลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า ก๊าซ (H2 gas, Synthetic Natural Gas) และพลังงานความร้อน

- ไฮโดรเจน มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ให้พลังงานต่อหน่วยได้สูงสุดในบรรดาเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ และสามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อม ซึ่งเป็นจุดเด่นของพลังงานสะอาด โดยผลผลิตจากการเผาไหม้ จะมีเพียงน้ำและออกซิเจนเป็นผลพลอยได้เท่านั้น

2. การจำแนกประเภทของไฮโดรเจน

ไฮโดรเจน เป็นธาตุที่พบมากที่สุดบนโลก แต่การจะนำมาใช้งาน จะต้องแปรสภาพให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนเสียก่อน ไฮโดรเจนเป็นตัวพาพลังงาน (Energy carrier) ดังนั้น เชื้อเพลิงไฮโดรเจน หมายถึงการนำไฮโดรเจนมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน ด้วยการสังเคราะห์จากวัตถุดิบตามธรรมชาติและกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน การผลิตไฮโดรเจนแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ดังนี้

1. อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis): การแยกโมเลกุลของน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนด้วยไฟฟ้า เมื่อไฟฟ้ามาจากแหล่งหมุนเวียน เช่น แสงอาทิตย์หรือลม จะผลิตไฮโดรเจนสีเขียว ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. Steam Methane Reforming (SMR): เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน แต่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล อาศัยการดักจับและกักเก็บการปล่อยก๊าซคาร์บอน ที่อาจช่วยในการพัฒนาไปสู่ความยั่งยืนมากขึ้นได้ (CCS: Carbon Capture and Storage)

3. ชีวมวลและแหล่งอื่น ๆ ไฮโดรเจน ผลิตได้จากชีวมวลหรือแหล่งหมุนเวียนอื่น ที่กระบวนการผลิตที่ต่างกัน

<u>ชนิดของไฮโดรเจน</u>

ไฮโดรเจนถูกแบ่งออกเป็นหลายชนิด ตามแหล่งกำเนิดด้วยสีที่แตกต่างกัน โดยชนิดที่สำคัญของไฮโดรเจนในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ ไฮโดรเจนสีเทา ไฮโดรเจนสีน้ำเงิน และไฮโดรเจนสีเขียว

- ไฮโดรเจนสีเทา (Grey hydrogen) คือไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติหรือถ่านหิน ไฮโดรเจนสีเทา คิดเป็นประมาณ 95 % ของไฮโดรเจนที่ผลิตได้ในโลกในปัจจุบัน

- ไฮโดรเจนสีน้ำเงิน (Blue hydrogen) ไฮโดรเจนสีน้ำเงินคล้ายกับไฮโดรเจนสีเทา เพียงแต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยนั้น ส่วนใหญ่จะถูกกักเก็บไว้ในพื้นดิน โดยใช้การดักจับและกักเก็บคาร์บอน แทนที่จะปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ จึงทำให้ไฮโดรเจนสีน้ำเงินเป็นเชื้อเพลิงคาร์บอนต่ำได้

- ไฮโดรเจนสีเขียว (Green hydrogen) คือไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาด ไฮโดรเจนสีเขียว ถือเป็นไฮโดรเจนที่มีการปล่อยมลพิษต่ำหรือเป็นศูนย์ เนื่องจากใช้แหล่งพลังงานสะอาด เช่น พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการที่มีราคาสูง แต่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฮโดรเจนสีเทา

นอกจากนี้ยังอาจพบไฮโดรเจนชนิดอื่น ๆ ได้อีกจากกระบวนการผลิต และวัตถุดิบที่แตกต่างกัน

- ไฮโดรเจนสีฟ้าน้ำทะเล (Turquoise hydrogen) ผลิตจากมีเทน โดยได้คาร์บอนในรูปของของแข็ง เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม และอาจมีการใช้พลังงานจากไฟฟ้าสีเขียว (ไฟฟ้าคาร์บอนต่ำ) บางส่วนร่วมในการผลิต

- ไฮโดรเจนสีน้ำตาล (Brown hydrogen) ผลิตขึ้นจากถ่านหินลิกไนต์ โดยใช้การแปรสภาพเป็นก๊าซ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่ถูกดักจับ

- ไฮโดรเจนสีดำ (Black hydrogen) ผลิตขึ้นจากถ่าน โดยไม่มีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

- ไฮโดรเจนสีชมพู (Pink hydrogen) ผลิตจากกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์

- ไฮโดรเจนสีเหลือง (Yellow hydrogen) ผลิตจากกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหลากหลาย (mixed sources)

- ไฮโดรเจนสีขาว (White hydrogen) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทางอุตสาหกรรม

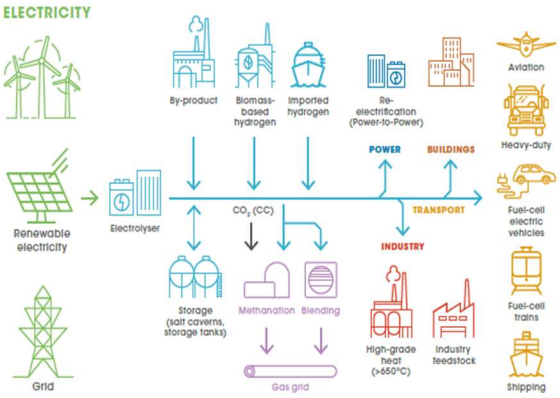
3. แนวทางการใช้ไฮโดรเจนในประเทศไทย

สนพ.เริ่มศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (electrolyzer) เพื่อให้ได้ไฮโดรเจน ซึ่งการจะได้ไฮโดรเจนสีอะไรขึ้นอยู่กับที่มาพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมจะให้ไฮโดรเจนสีเขียว แต่มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง ดังนั้นสนพ.จึงร่วมกับหลายภาคส่วนและได้ข้อสรุปว่าจะเริ่มต้นผลิตไฮโดรเจนสีฟ้าก่อน โดยใช้กระบวนการนี้กับโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ ควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในปี 2574 ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 แผนยุทธ์ศาสตร์ไฮโดรเจนไทย
ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

ไฮโดรเจนถูกนำไปประยุกต์ใช้ ในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยไฮโดรเจน ใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป

ไฮโดรเจน นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถบรรทุกและรถโดยสารได้ ในปัจจุบันภาคขนส่ง เริ่มมีรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยมีรถ BEV (Battery Electric Vehicle) สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นหลัก จากการส่งเสริมเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า แม้ว่าการเติมไฮโดรเจนในยานยนต์ใช้เวลาเพียง 3-5 นาที อย่างไรก็ตาม ปัญหาของไฮโดรเจน ที่ไม่เหมือนก๊าซตัวอื่น ที่ปกติอุณหภูมิที่หัวจ่ายจะราว ๆ 30 °C สำหรับการจ่ายของไฮโดรเจน จำเป็นต้องลดอุณหภูมิก่อนเข้าหัวจ่ายถึง -40 °C เนื่องจากการขยายตัวของไฮโดรเจนที่สูงมาก จึงจำเป็นต้องป้องกัน เพื่อไม่ให้อุณหภูมิหลังหัวจ่ายสูงเกินไป ปัจจุบันสถานีสำหรับการเติม H2 ที่ความดัน 700 bar_g มีต้นทุนรวมประมาณ 50 ล้านบาทต่อ 1 ระบบ ทั้งนี้หลักการกดอุณหภูมิให้ต่ำที่ -40 °C ไม่ได้เป็นต้นทุนหลักของการเติม H2 แต่ต้นทุนหลัก จะเกิดจากระบบอุปกรณ์ ที่ต้องรองรับความดัน 700 bar_g ให้ได้



รูปที่ 2 ห่วงโซ่คุณค่าการผลิตไฮโดรเจนจากไฟฟ้าและเชื้อเพลิงอื่น การกักเก็บ การขนส่ง และการใช้งานต่างๆ
ที่มา: "Renewable Power-to-Hydrogen", Innovation Landscape Brief, IRENA, 2019

ในมุมมองของพลังงานทางเลือก เป็นประเด็นสำคัญที่ควรแก่การเร่งพัฒนา คือการนำไฮโดรเจนไปผสมกับก๊าซธรรมชาติ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ทดแทนและลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และยังสามารถถูกส่งไปตามท่อก๊าซไปยังโรงไฟฟ้า ตามสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมต่อโครงสร้างของระบบท่อ (ในระบบท่อก๊าซก่อน ค.ศ. 2050 ไม่เกินร้อยละ 20 ของปริมาตรต่อปริมาตร) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานรูปแบบหลักที่มีการใช้กันในปัจจุบันนี้ทั้งนี้ ไฮโดรเจน อาจเข้ามาเติมเต็มในส่วนของกักเก็บพลังงาน (storage) ที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้าที่พึ่งพลังงานหมุนเวียนได้ จุดเด่นของ storage ที่ใช้เทคโนโลยีไฮโดรเจน คือ การจัดเก็บไว้ได้หลายสถานะ ทั้ง ก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ทำให้นำมาแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าเทคโนโลยี fuel cell ที่เปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นไฟฟ้า ในเวลาที่ต้องการใช้ได้ง่าย ไฮโดรเจน จึงมีทั้งบทบาทในฐานะเชื้อเพลิง (เทียบกับก๊าซธรรมชาติ หรือถ่านหิน) และ storage (เทียบกับแบตเตอรี่) ไฮโดรเจน จึงเข้ามาทำหน้าที่ส่งเสริมความมั่นคงทางพลังงานได้ เนื่องจากไฮโดรเจน สามารถนำมาใช้กักเก็บพลังงาน และสามารถควบคุมการดึงออกมาใช้แทนที่ในช่วงที่พลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพต่ำ จากปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การกักเก็บพลังงานจากฤดูที่พลังงานลมมีประสิทธิภาพสูง มาใช้ในฤดูร้อนที่ประสิทธิภาพพลังงานลมต่ำ หรือกักเก็บจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงฤดูร้อน ที่รังสีอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูง นำมาใช้ในฤดูฝนที่มีรังสีอาทิตย์น้อย

4. แผนการพัฒนาการใช้ไฮโดรเจน

การผลักดันให้มีการนำไฮโดรเจนไปใช้งานตามแผนพลังงานชาติ

จากการประชุมประเทศภาคี (Conference of the Parties) ครั้งที่ 28 หรือการประชุม COP 28 ที่จัดขึ้นในระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน – 12 ธันวาคม 2566 เป็นส่วนหนึ่งการประชุมว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งสหประชาชาติ (UN Climate Change Conference) ณ เมืองดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ โดยมีรัฐบาลกว่า 200 ประเทศทั่วโลกเข้าร่วม โดยมีประเด็นสำคัญที่ COP28 จะมุ่งเน้น ได้แก่ เร่งดำเนินการเปลี่ยนไปสู่แหล่งพลังงานสะอาด เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก่อนปี 2593 พลิกโฉมการเงินสำหรับการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศให้กับประเทศที่ยากจน และดำเนินการในข้อตกลงใหม่สำหรับประเทศกำลังพัฒนา มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบต่อธรรมชาติและผู้คน และเพื่อให้ COP28 เป็นการประชุมที่ครอบคลุมในประเด็นปัญหามากที่สุด อันเป็นผลมาจากการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่า ด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสมัยที่ 26 (COP 26) ที่เมืองกลาสโกว์ประเทศสกอตแลนด์ โดยรัฐบาลไทยได้มีข้อตกลงร่วมกัน เพื่อควบคุมปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการผลักดันให้ยุติการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ประเทศไทยได้ให้ความสำคัญสูงสุดกับการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และพร้อมที่จะยกระดับการดำเนินงาน เพื่อมุ่งสู่การบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี ค.ศ. 2050 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ เป็นศูนย์ได้ ในปีค.ศ. 2065 หากได้รับการสนับสนุนทางด้านการเงินและเทคโนโลยี อย่างเต็มที่และเท่าเทียม รวมถึงการเสริมสร้างขีดความสามารถจากความร่วมมือระหว่างประเทศ และกลไกอื่น ๆ ภายใต้กรอบอนุสัญญาฯ ประเทศไทยจะยกระดับเป้าหมายการมีส่วนร่วม โดยเร่งส่งเสริมประสิทธิภาพในการผลิตและประยุกต์ใช้พลังงานสะอาด รวมไปถึงไฮโดรเจน เพื่อเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกให้แก่การใช้สอยในประเทศ รวมถึงการกำหนดนโยบายและแผนพัฒนาให้มีความสอดคล้องในทุกระดับและทุกภาคส่วน

4.1 การพัฒนาเปลี่ยนผ่านการใช้พลังงานเชื้อเพลิงไปสู่พลังงานจากไฮโดรเจน

ไฮโดรเจน นำมาใช้ในรูปแบบของเชื้อเพลิงโดยตรงผ่านการสันดาปภายใน หรือผ่านปฏิกิริยาทางเคมี หรือใช้ในรูปแบบของการเป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน (Energy Storage)

เพื่อลดข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นปัจจัยนอกเหนือการควบคุม เช่น สภาพภูมิอากาศ ปริมาณลม และความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ จึงมีการใช้พลังงานหมุนเวียนเหล่านั้นในช่วงที่ประสิทธิภาพสูงอย่างเต็มที่ ทั้งการผลิตไฟฟ้า และเสริมด้วยการผลิตไฮโดรเจนสีเขียว เพื่อทำการเปลี่ยนเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานที่เก็บไว้ได้ในรูปแบบของก๊าซ หรือ ของเหลวแทนแบตเตอรี่ ที่เป็นทางเลือกใหม่ในการจัดเก็บพลังงานขนาดใหญ่และได้ระยะเวลานาน จากรายงานของ สนพ. ระบุว่า การใช้งานไฮโดรเจน ส่วนใหญ่เป็นการใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ปรับปรุงสมบัติน้ำมันเตาชนิดเบา เพื่อลดค่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพลังงาน ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการใช้เชิงพาณิชย์เต็มรูปแบบ และอยู่ในขั้นสาธิตและพัฒนาต้นแบบ

ไฮโดรเจน จะมีส่วนช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ในระยะยาว ซึ่งอาจเป็นปัญหาที่จะตามมาในอนาคตจากซากแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน หากการการกำจัดซากผลิตภัณฑ์อย่างผิดวิธี เช่น มีการถอดแยกชิ้นส่วนและเกิดการรั่วไหลของสารพิษต่าง ๆ ย่อมเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน แต่ด้วยกฎระเบียบที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เอื้ออำนวยต่อการจัดการซากผลิตภัณฑ์ที่ชัดเจนอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง และยังไม่มีกระบวนการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต การขนส่ง และการแปรรูป ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) รวมถึงการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานอย่างครบวงจรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

4.2 การนำ Carbon Capture and Storage หรือ CCS เข้ามาใช้งาน เพื่อกักเก็บคาร์บอน

เนื่องด้วยปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจน ยังคงพึ่งพาพลังงานฟอสซิลอยู่ จึงทำให้เกิดการพัฒนา Carbon Capture and Storage หรือ CCS เป็นหนึ่งในแผนการดำเนินงาน เพื่อรองรับการเปลี่ยนผ่านด้านพลังงาน (Energy Transition) ก้าวสู่การเป็นองค์กรคาร์บอนต่ำที่สำคัญในอนาคตในการเติบโตอย่างยั่งยืน CCS ช่วยในการดักจับก๊าซเรือนกระจก ที่ปล่อยจากกิจกรรมต่าง ๆ ของภาคอุตสาหกรรมได้ถึงร้อยละ 90 และเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่จะช่วยให้อุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ใช้พลังงานสูงได้ ด้วยการดักจับและกักเก็บคาร์บอนไว้ ทำให้ CCS เป็นเครื่องมือที่ลดความเสี่ยงเรื่องสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการพัฒนาไปสู่ธุรกิจ รูปแบบใหม่ CCS และ Carbon Capture Utilization and Storage (CCUs) เป็นเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นการมีส่วนร่วมในการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นแนวโน้มใหญ่ของโลกและพัฒนาได้ในระดับเชิงพาณิชย์ เพราะปัจจัยกระทบจากต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ภาษีคาร์บอน มาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน (Carbon Border Adjustment Mechanism; CBAM) เงินอุดหนุนจากรัฐบาลเป็นปัจจัยหลักในการนำเทคโนโลยีเข้าสู่เชิงพาณิชย์ อีกทั้ง CCS มีส่วนสำคัญในการบรรลุเป้าหมาย ความเป็นกลางทางคาร์บอน และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ โดยประเทศไทยจะต้องมีการทำ CCS ในปริมาณ 60 ล้านตันต่อปีภายในปี พ.ศ. 2608 (กรุงเทพธุรกิจ 23 พ.ย. 2023) ด้วยการกักเก็บในพื้นที่บริเวณแหล่งก๊าซในอ่าวไทย ที่มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในปริมาณมาก การดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับ CCS หรือ CCUS จะกลายเป็นรูปแบบธุรกิจใหม่ ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศในอนาคต สำหรับธุรกิจ CCS มีผู้ประกอบการที่พัฒนาธุรกิจอย่างต่อเนื่อง อันได้แก่ บริษัท ปตท. สำรวจ และผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) และบริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) โดยการศึกษาการกักเก็บใน แหล่งอาทิตย์ ที่มีกำลังการกักเก็บคาร์บอน ได้ถึง 1 ล้านตันต่อปี ซึ่งคาดว่าจะดำเนินการเชิงพาณิชย์ได้ ภายในปี พ.ศ. 2569-70 ขณะเดียวกัน บริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) มีโครงการ CCS อยู่ 2 โครงการ ได้แก่ Barnett Zero และ Cotton Cove ในสหรัฐฯ โดยมี

กำลังการกักเก็บคาร์บอนรวม 0.3 ล้านตันต่อปี ซึ่งทั้ง 2 โครงการนี้ จะเริ่มดำเนินการ ในปี พ.ศ. 2566 - 2567 ตามลำดับ สำหรับประเทศไทย ราคาคาร์บอนเครดิตเฉลี่ย มีอัตราเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2561 อยู่ที่ 21.37 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ปี พ.ศ. 2562 อยู่ที่ 24.71 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ปีพ.ศ. 2563 อยู่ที่ 25.76 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ปีพ.ศ. 2564 อยู่ที่ 34.34 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ปี พ.ศ. 2565 ราคาสูงขึ้นแบบก้าวกระโดดไปอยู่ที่ 107.23 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือประมาณ 3 ดอลลาร์ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในขณะที่ราคาคาร์บอนเครดิตในแต่ละตลาด หรือแต่ละมาตรฐานจะมีความแตกต่างกัน ปัจจุบันราคาคาร์บอนเครดิตโลกอยู่ที่ประมาณ 25 ดอลลาร์ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ข้อจำกัดของการดำเนินงานด้าน CCS คือ กฎหมายที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน (CCS Directive) ต้องมีการกำหนดสถานที่ตั้งของแหล่งกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะต้องได้รับอนุญาตด้วย และถือเป็นเรื่องสำคัญ เพื่อให้ได้มาตรฐานสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย ปัจจุบันกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดเก็บคาร์บอนในอ่าวไทย เพื่อให้มีการเข้าใช้พื้นที่แหล่งผลิตปิโตรเลียมนั้นให้ใช้ทำการกักเก็บได้ ด้วยมีการศึกษาศักยภาพของชั้นหินที่ทำการกักเก็บที่ไม่เกิดการรั่วไหลแล้ว แต่เนื่องจากกฎหมายว่าด้วยปิโตรเลียมที่บังคับใช้อยู่ในปัจจุบัน ไม่ได้มีข้อบัญญัติในการเข้าใช้พื้นที่ในลักษณะดังกล่าวได้ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาทบทวน เพื่อแก้ไขเพิ่มเติมกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

4.3 ด้านกฎหมาย ระเบียบ ที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบัน กฎหมาย ที่บังคับใช้กับไฮโดรเจน ในรูปแบบของเชื้อเพลิงโดยตรงในกิจการพลังงาน ยังไม่มีการบัญญัติไว้เป็นการเฉพาะ แต่อย่างไรก็ตามหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนดแผนงานในการเตรียมความพร้อม รองรับการดำเนินงานด้านกฎหมาย เพื่อบัญญัติกฎหมายลำดับรอง มาบังคับใช้แทน เพื่อกำหนดให้ไฮโดรเจน เป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งตามบทนิยามของกฎหมาย เพื่อให้อยู่ภายใต้การกำกับดูแล ความปลอดภัย ในการเก็บรักษา การขนส่ง การครอบครอง โดยในช่วงที่อยู่ระหว่างการทดลองโครงการนำร่อง ได้มีการนำกฎหมายที่มีการกำกับดูแลในการดำเนินงาน ที่เป็นมาตรฐานกลางและมีลักษณะของกฎหมายด้วย เช่น กฎหมายว่าด้วยโรงงาน กฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตราย เข้ามากำกับดูแลเพื่อให้เกิดความปลอดภัย แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการของกฎหมาย ที่ยังไม่ครอบคลุมการดำเนินงาน ในพื้นที่นอกสถานประกอบการที่ไม่เป็นไปตามบทนิยามของ “โรงงาน” ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน การกำกับดูแลกิจการในสถานีบริการเหล่านั้น จึงไม่อยู่ภายใต้กฎหมายว่าด้วยโรงงาน ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อเตรียมความพร้อม สำหรับการใช้งานของไฮโดรเจนในเชิงพาณิชย์ ที่จะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2578 ต่อไป

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ประเทศไทย ได้มีการใช้ไฮโดรเจนในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยไฮโดรเจนจะทำหน้าที่สนับสนุนการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานลม เพื่อเพิ่มความเสถียรในการผลิตกระแสไฟฟ้า และได้มีการนำร่องทดลองใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV) โดยใช้รถยนต์ไฮโดรเจนรับส่งนักท่องเที่ยวและผู้ที่สนใจในพื้นที่พัทยา – ชลบุรี และพื้นที่ใกล้เคียง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งสถานีต้นแบบเติมไฮโดรเจนสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงแห่งแรกของประเทศไทย (Hydrogen Station) ที่ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี ถึงแม้ว่าตอนนี้ไฮโดรเจนยังไม่ใช่เชื้อเพลิงหลักที่ได้รับความนิยม แต่ไฮโดรเจนถือเป็นพลังงานทางเลือก ที่ยังมีคนให้สนใจในการคิดค้นนวัตกรรมเพื่อให้เป็นพลังงานสะอาด ที่จะนำมาแก้ไขปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดการปลดปล่อยมลพิษ พร้อมมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero GHG Emissions) เพื่อให้เกิดการแก้ไขต้นตอของปัญหาโลกร้อนให้สำเร็จได้อย่างแท้จริง และ เพื่อให้เกิดการลงทุนและ

พัฒนาเศรษฐกิจไฮโดรเจน ภาครัฐจำเป็นต้องให้การสนับสนุนและริเริ่มในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย การพัฒนาการผลิต การจัดเก็บ การขนส่งและการจัดจำหน่าย รวมถึงเทคโนโลยีในการนำไฮโดรเจนไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นนี้ ค่าใช้จ่ายในห่วงโซ่มูลค่าของไฮโดรเจนยังมีราคาสูง ต้องการการสนับสนุนเพื่อให้เกิดการวิจัย พัฒนาประสิทธิภาพ และเทคโนโลยี ให้ราคาและต้นทุนของไฮโดรเจนลดลงได้ในอนาคต ดังนั้นนโยบายของภาครัฐ จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดเศรษฐกิจไฮโดรเจน และการใช้ไฮโดรเจนสะอาด ในการพัฒนาเศรษฐกิจไฮโดรเจนให้ควบคู่ไปกับการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงการลงทุนด้านไฮโดรเจน โดยเฉพาะการผลิตไฮโดรเจนสีเขียวจากเชื้อเพลิงสะอาดที่มีต้นทุนสูง จำเป็นต้องมีการคิดวางแผนและจัดการทั้งระบบห่วงโซ่มูลค่า ส่วนการขนส่งไฮโดรเจนนั้นเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายสูง ด้วยไฮโดรเจน เป็นสิ่งที่การจัดเก็บและขนส่งยาก และด้วยสมบัติไฮโดรเจนที่ต่างจากก๊าซธรรมชาติ จึงเป็นข้อจำกัดหลายประการของไฮโดรเจน ประเทศไทยจึงควรจะต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดและรอบคอบ ทั้งในด้านกฎหมาย ด้านการพัฒนาเศรษฐกิจไฮโดรเจน เพื่อให้มีการนำไฮโดรเจนมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมในอนาคต เศรษฐกิจไฮโดรเจนเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูง สร้างงาน และรายได้ให้กับประเทศ ในขณะเดียวกันยังช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอน จึงกล่าวโดยสรุปได้ว่า “ไฮโดรเจน” เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือก ที่สามารถช่วยส่งเสริมพลังงานสะอาดและการลดคาร์บอนในอนาคต สำหรับประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). *คู่มือความรู้ด้านพลังงานไฮโดรเจน.* กรุงเทพมหานคร.

[2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (26 พฤศจิกายน 2566). *พลังงานไฮโดรเจน พลังงานทางเลือกแห่งอนาคต.* https://www.onep.go.th/พลังงานไฮโดรเจน-พลังงาน/

[3] AT Kearney Energy Transition Institute. (2014). [online]. “Hydrogen-based energy conversion”. AT Kearney Energy Transition Institute. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://www.kearney.com/documents/17779499/17781897/AT%20Kearney%20Energy%20Transition%20Institute%20Media%20Presentation180606a.pdf/686bd467-62af-9601-501f-45d562a34fc0

[4] Debarre, R, P Gahlot, C Grillet and M Plaisant (2021). [Online]. “Carbon capture utilization and storage: Towards net-zero”. Kearney Energy Transition Institute. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://www.kearney.com/documents/17779499/17781864/CCUS-2021+FactBook.pdf

[5] Decourt, B, R Debarre, S Alias and P Gahlot (2018). [Online]. “Electricity storage gaining momentum”. AT Kearney Energy Transition Institute. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://www.energy-transition-institute.com/documents/17779499/17781903/Electricity+Storage_FactBook.pdf/671389f7-6206-3bd9-50dd-4d214cf77871?t=1561052363000

[6] IEA (2019). [online]. “The future of hydrogen: Seizing today’s opportunities”. Technology report prepared by the IEA for the G20, Japan. International Energy Agency, Paris. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf

[7] IRENA (2020). [online]. “Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolysers to meet the 1.5 °C climate goal”. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [cited Dec 27, 2023].

Available from : URL : https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf

[8] IRENA (2020). [online]. "Green hydrogen: A guide to policy making". International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_hydrogen_policy_2020.pdf

[9] IRENA (2021). [online]. "Renewable power generation costs in 2020". International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf

[10] IRENA (2021). [online]. "Green hydrogen supply: A guide to policy making". International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/May/IRENA_Green_Hydrogen_Supply_2021.pdf

[11] L'Huby, T, P Gahlot and R Debarre (2020). [online]. "Hydrogen applications and business models: Going blue and green?". Kearney Energy Transition Institute. [cited Dec 27, 2023]. Available from : URL : https://broadleaf.com.au/resource-material/the-colour-of-hydrogen/