

CHUỖI CUNG ỨNG VÀ CÁC CÔNG NGHỆ SẢN XUẤT HYDROGEN

Nguyễn Thị Lan Oanh

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: oanhnl@vpi.pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2021.12-02>

Tóm tắt

Hydrogen được dự báo là giải pháp năng lượng cho tương lai nhờ ưu điểm về độ sạch, sự phong phú và hiệu suất chuyển đổi năng lượng cao. Bài báo giới thiệu chuỗi cung ứng và các công nghệ sản xuất hydrogen đang sử dụng hoặc được kỳ vọng trong tương lai cũng như các thách thức cần giải quyết để có thể chuyển đổi thành công sang nền kinh tế hydrogen.

Từ khóa: Hydrogen, công nghệ sản xuất, chuỗi cung ứng.

1. Giới thiệu

Hydrogen là nguyên tố đơn giản nhất trong bảng tuần hoàn hóa học và phong phú nhất trong vũ trụ. Hydrogen là chất không độc, không màu, không mùi, không vị; dễ cháy (nhưng dễ tan vào môi trường xuống hàm lượng không bắt cháy được), không làm nhiễm bẩn nước ngầm do khả năng ít hòa tan và không gây ô nhiễm không khí hoặc nước.

Cho tới nay, hydrogen tự nhiên trên trái đất xuất hiện chủ yếu ở dạng hợp chất với các nguyên tố khác trong chất lỏng, khí hoặc chất rắn. Hydrogen kết hợp với oxygen tạo thành nước (H_2O), chiếm khoảng 70% diện tích trái đất. Hydrogen kết hợp với carbon tạo thành các hợp chất hữu cơ, các hydrocarbon khác nhau có trong khí đốt tự nhiên, than đá và dầu mỏ.

Do năng lượng hoặc nguyên liệu sử dụng mà quá trình sản xuất hydrogen có thể sinh carbon, gián tiếp phát thải khí nhà kính. Tên gọi hydrogen với nhiều màu khác nhau là cách sơ bộ phân biệt mức độ phát thải carbon hay công nghệ sản xuất hydrogen tương ứng được sử dụng. Các màu hydrogen phổ biến là:

- Hydrogen xanh (green) còn gọi là hydrogen "sạch" bởi có hàm lượng phát thải carbon bằng 0, được sản xuất bằng điện phân nước sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo. Sản lượng hydrogen sạch hiện nay chiếm tỷ lệ rất nhỏ, nhưng dự báo sẽ tăng lên do chi phí năng lượng tái tạo tiếp tục giảm;

- Hydrogen xanh lam (blue) là hydrogen được tạo ra trong quá trình tương tự như hydrogen xám nhưng carbon đã được cô lập và lưu trữ công nghiệp (carbon capture and sequestration/storage - CCS). Hydrogen xanh lam là giải pháp trong ngắn hạn đến trung hạn vì chi phí hợp lý nhưng lâu dài chi phí sẽ tăng do nguồn khí tự nhiên/than đá ngày càng giảm;

- Hydrogen xanh ngọc (turquoise) được tạo ra từ quá trình nhiệt phân methane - quá trình này tạo ra carbon rắn có thể được sử dụng vào các mục đích khác, do vậy không cần CCS;

- Hydrogen xám (grey) là dạng phổ biến nhất, được tạo ra qua quá trình reforming khí tự nhiên hơi nước (steam methane reforming - SMR), mặc dù vẫn tạo ra khí thải nhưng lượng nhỏ hơn so với hydrogen đen/nâu. Do thuế carbon ngày càng tăng, hydrogen xám ngày nay trở nên kém hấp dẫn;





- Ngoài ra còn có hydrogen vàng (yellow) được tạo ra qua quá trình điện phân nước sử dụng năng lượng hạt nhân, không phát thải carbon, đôi khi còn được gọi là hydrogen hồng (pink). Hydrogen đen hoặc nâu (black/brown) sử dụng than đen (bitumen) hoặc than nâu (than non) trong quá trình sản xuất hydrogen; 2 loại hydrogen này gây hại cho môi trường vì cả CO_2 và CO tạo ra trong quá trình này đều không được thu hồi.

Hiện nay khoảng 96% sản lượng hydrogen là từ công nghệ reforming hơi nước và khoảng 4% từ điện phân [1]. Hình 1 cho thấy các màu hydrogen chủ yếu được sản xuất hiện nay, tùy theo công nghệ sản xuất và nguyên liệu đầu vào.



Ngày nhận bài: 1/10/2021. Ngày phân biên đánh giá và sửa chữa: 1/10 - 11/11/2021.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 29/11/2021.

Loại hydrogen	Hydrogen xám	Hydrogen xanh lam	Hydrogen xanh ngọc	Hydrogen xanh
Công nghệ	SMR hoặc khí hóa	SMR hoặc khí hóa có thu giữ carbon (85 - 95%)	Nhiệt phân	Điện phân
Nguyên liệu	Methane hoặc than đá 	Methane hoặc than đá 	Methane 	Điện tái tạo 

SMR: Reforming khí tự nhiên hơi nước
Hydrogen xanh ngọc là một giải pháp khử carbon có triển vọng

Hình 1. Các màu hydrogen cơ bản và công nghệ sản xuất [7].

Hydrogen đang được sử dụng trong công nghiệp chủ yếu như 1 loại nguyên liệu, không phải năng lượng. Hydrogen có nhiều ứng dụng công nghiệp như làm sạch thủy tinh, sản xuất chất bán dẫn, luyện kim, trong công nghiệp dược phẩm, thực phẩm, trong các nhà máy điện và công nghiệp hạt nhân.

Tại các nhà máy chế biến dầu khí, hydrogen được dùng nhiều trong hydrocracking (là quá trình bẻ mạch các hydrocarbon nặng với sự có mặt của chất xúc tác và hydro hóa để tạo ra nhiên liệu tinh chế với các hydrocarbon nhỏ hơn và có tỷ lệ H/C cao) và hydroprocessing (là quá trình hydro hóa các hợp chất lưu huỳnh và nitrogen trong các sản phẩm thành NH₃ và H₂S để có thể loại bỏ dễ dàng). Trong hóa dầu, hydrogen phản ứng với CO để tạo ra methanol ở áp suất và nhiệt độ cao với sự có mặt của chất xúc tác. 50% sản lượng hydrogen trên thế giới được sử dụng để sản xuất ammonia làm phân bón [2].

Ứng dụng quan trọng nhất của hydrogen hiện nay là làm nhiên liệu đẩy cho tên lửa trong ngành hàng không vũ trụ. Hydrogen cũng được dùng trong các phương tiện giao thông, theo 2 cách: i) làm nhiên liệu trực tiếp trong các động cơ đốt trong và ii) gián tiếp thông qua pin nhiên liệu để sản xuất điện trên ô tô và các thiết bị gia dụng.

Hydrogen được coi là nhiên liệu hữu ích vì có hiệu suất năng lượng cao nhất so với bất kỳ loại nhiên liệu thông thường nào tính theo trọng lượng, gấp khoảng 2 - 3 lần so với xăng [3]. Đây còn là nguồn nhiên liệu không tổn hại môi trường do chất lượng đốt cháy sạch - chỉ tạo ra H₂O.

Khi nguồn năng lượng hóa thạch ngày càng cạn kiệt, các yêu cầu về mức phát thải khí nhà kính ngày càng khắt khe, mức độ ô nhiễm không khí đô thị ngày càng trầm

trọng... hydrogen được coi là giải pháp năng lượng của tương lai bởi:

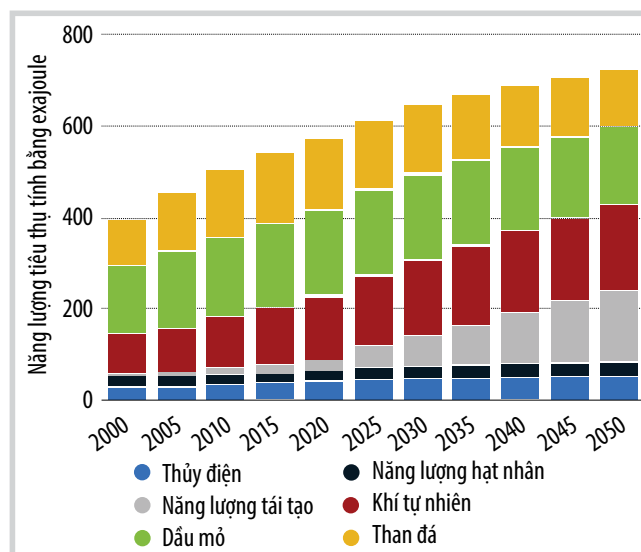
- + Đảm bảo an ninh năng lượng: Hydrogen là phương tiện tiềm năng để lưu trữ và cung cấp năng lượng dồi dào. Khai thác được năng lượng hydrogen làm giảm sự phụ thuộc vào các nguồn tài nguyên dầu, khí - vốn phân bố không đồng đều về địa lý dẫn đến nguồn cung (và giá cả) có thể bị kiểm soát bởi một số quốc gia. Các phương tiện vận hành bằng năng lượng hydrogen làm giảm đáng kể sự phụ thuộc vào các sản phẩm dầu mỏ mà nhiều nước đang phải nhập khẩu;

- + Có tính bền vững: Hydrogen là nguyên tố nhiều nhất trên trái đất và có thể được sản xuất bằng sử dụng các nguồn tái tạo đa dạng sẵn có ở mỗi quốc gia như mặt trời, gió, nước, địa nhiệt...;

- + Chống biến đổi khí hậu: Hydrogen là nhiên liệu không phát thải hoặc có mức phát thải carbon thấp; các phương tiện giao thông có mức phát thải carbon gần bằng 0 nếu sử dụng hydrogen được sản xuất từ các nguồn tái tạo, năng lượng hạt nhân, hoặc kể cả năng lượng hóa thạch (với điều kiện carbon tạo ra được cô lập và lưu trữ);

- + Cải thiện chất lượng không khí: Sử dụng năng lượng hydrogen giảm/loại bỏ các loại khí độc hại (CO, NO₂...) từ ống xả của các loại phương tiện giao thông.

Ngoài thủy điện, điện mặt trời, điện gió, sinh khối... đang được ứng dụng rộng rãi, các quốc gia trên thế giới đã xây dựng chiến lược phát triển hydrogen. Năng lượng hydrogen dự báo sẽ đóng góp vào sự gia tăng mạnh mẽ mức tiêu thụ năng lượng tái tạo từ sau năm 2030 (Hình 2).



Hình 2. Dự báo tiêu thụ năng lượng tái tạo toàn cầu đến năm 2050 [6].

2. Chuỗi cung ứng hydrogen

Các thách thức trong chuỗi cung ứng hydrogen (từ sản xuất, vận chuyển, tồn trữ, đến các ứng dụng cuối) cần được giải quyết đồng bộ, đòi hỏi đầu tư nhiều thời gian, chi phí... trước khi mở rộng quy mô sử dụng hydrogen.

Sản xuất: Do hiếm khi được tìm thấy trong tự nhiên dưới dạng tinh khiết nên cần phải có các quá trình công nghệ để tách hydrogen. Nguyên liệu đầu vào và nguồn năng lượng tiêu thụ trong quá trình sản xuất hydrogen sẽ quyết định mức độ phát thải carbon, chi phí sản xuất, khả năng mở rộng quy mô... và do đó đến khả năng thương mại hóa hydrogen thành phẩm. Có công nghệ đã hoàn chỉnh và đang được sử dụng phổ biến như SMR, tuy nhiên để phát triển hydrogen xanh thì cần đầu tư cải tiến công nghệ có sẵn (như SMR kết hợp với CCS), hoặc thử nghiệm các công nghệ mới, sạch hơn (một số đang ở giai đoạn nghiên cứu ban đầu) nhưng đều yêu cầu phải có giá thành sản xuất thấp hơn hiện tại.

Tồn trữ: Hiệu suất năng lượng theo thể tích thấp của hydrogen (chỉ bằng 1/4 so với xăng; có nghĩa là để tạo ra cùng mức năng lượng như 1 lít xăng thì cần có ~ 4 lít hydrogen) cùng các tính chất hóa lý của nó khiến việc phát triển công nghệ lưu trữ (và vận chuyển) hydrogen gặp nhiều thách thức. Hydrogen có thể được lưu trữ ở dạng khí, khí nén, hóa lỏng (làm lạnh) và rắn (bằng cách kết hợp hydrogen với các vật liệu rắn thông qua hấp phụ và hấp thụ hóa học và vật lý). Các phương tiện lưu trữ hydrogen là các bình/bồn chuyên dụng chịu áp lực cao - phổ biến nhất hiện nay, và sử dụng các kho chứa ngầm dưới đất (là các tầng chứa nước, các mỏ khí tự nhiên đã cạn kiệt, các hang/vòm muối) phù hợp cho quy mô lưu

trữ lớn trong trung và dài hạn; tồn trữ dạng rắn vẫn ở giai đoạn nghiên cứu ban đầu.

Vận chuyển: Hydrogen nén được chuyển theo các đường ống áp lực cao, các xe kéo ống, các toa ống chuyên dụng của tàu hỏa. Hydrogen hóa lỏng được vận chuyển bằng các loại phương tiện chuyên dụng theo đường bộ, xe lửa, tàu biển. Các loại xe chuyên dụng đường bộ phù hợp để vận chuyển khí hydrogen nén/hydrogen hóa lỏng đối với khoảng cách dưới 200 km. Đối với khoảng cách xa và khối lượng lớn, cách hiệu quả nhất là dùng đường ống. Do các tính chất hóa lý của hydrogen mà chi phí làm đường ống vận chuyển hydrogen đắt gấp đôi đường ống vận chuyển khí đốt tự nhiên [4].

Ứng dụng: Hydrogen được sử dụng rộng rãi ở nhiều ngành công nghiệp, tuy nhiên ứng dụng hấp dẫn nhất và được kỳ vọng nhất trong tương lai của hydrogen chính là dự trữ năng lượng và dùng cho các phương tiện chạy pin nhiên liệu (fuel cell vehicles, FCV) dù hiện tại ứng dụng này vẫn còn rất hạn chế: 3% doanh số bán xe toàn cầu vào năm 2030 dự kiến sẽ sử dụng nhiên liệu hydrogen và tỷ lệ này có thể đạt 36% vào năm 2050.

3. Các công nghệ sản xuất hydrogen

3.1. Thách thức chung

Mỗi công nghệ sản xuất hydrogen phải đối mặt với rào cản kỹ thuật nhất định, các thách thức chung cần được nghiên cứu, thử nghiệm và phát triển để mở đường cho việc thương mại hóa thành công hydrogen như một loại năng lượng trong tương lai.

3.1.1. Chất lượng hydrogen

Độ tinh khiết là vấn đề chính đối với bất kỳ hydrogen nào được sử dụng trong pin nhiên liệu trên các phương tiện giao thông. Các chất xúc tác bạch kim dùng trong pin nhiên liệu của xe có thể dễ dàng bị nhiễm bẩn bởi tạp chất trong hydrogen, làm giảm hiệu quả xúc tác. Do đó, công nghệ sản xuất phải tạo ra hydrogen có độ tinh khiết hoàn toàn hoặc phải kết hợp các quy trình tinh chế bổ sung.

3.1.2. Vốn và chi phí hoạt động

Chi phí vốn liên quan đến công nghệ, nguyên liệu, năng lượng để sản xuất hydrogen khiến giá thành hydrogen cao hơn đáng kể so với các nhiên liệu khác (khí tự nhiên, than). Để giảm chi phí này, các nghiên cứu phát triển công nghệ sản xuất hydrogen phải dựa trên nguyên tắc "thiết kế để sản xuất" bằng cách sử dụng vật liệu tốt hơn, đơn giản hóa thiết kế hệ thống để sẵn sàng chuyển

sang sản xuất hàng loạt. Chi phí vận hành sẽ giảm khi các nhà chế tạo thiết bị xác định được các vật liệu cải tiến, chuẩn hóa các bước xử lý, giảm yêu cầu bảo trì và nhân công, tăng cường hiệu suất và tích hợp thiết bị.

3.1.3. Xây dựng các quy chuẩn

Việc kiểm tra, thử nghiệm, chứng nhận và cấp phép cần thiết để chuyển các công nghệ sản xuất hydrogen mới sang giai đoạn sử dụng thương mại cần phải có các bộ quy chuẩn, mã và tiêu chuẩn được xây dựng mới hoặc được sửa đổi đáng kể.

3.1.4. An toàn và kiểm soát

Tuy không độc, nhưng việc hydrogen kết hợp với các chất khác có thể gây nguy hiểm cho sức khỏe hoặc có nguy cơ cháy nổ cao. Các tính chất hóa lý của hydrogen phải được xem xét kỹ lưỡng để đưa ra các tiêu chuẩn an toàn trong quá trình sản xuất và sử dụng. Dù khác với các nhiên liệu phổ biến nhưng hydrogen có thể được sử dụng an toàn khi toàn bộ quá trình sản xuất, tồn trữ, vận chuyển và sử dụng hydrogen đều tuân thủ các yêu cầu nghiêm ngặt nhất với các biện pháp bảo vệ có độ tin cậy được xác thực.

3.2. Các công nghệ sản xuất hydrogen

Hiện có 7 công nghệ chính để sản xuất hydrogen và được chia thành 3 nhóm sau [5]:

- Quá trình nhiệt gồm: Công nghệ reforming khí tự nhiên, công nghệ reforming chất lỏng có nguồn gốc sinh học, công nghệ khí hóa than và sinh khối, và công nghệ nhiệt - hóa (thermochemical). Trong nhóm này, các công nghệ sử dụng năng lượng từ tài nguyên (như than đá hoặc sinh khối) để giải phóng hydrogen chứa trong cấu trúc phân tử hoặc sử dụng nhiệt kết hợp với chu trình hóa học khép kín (công nghệ nhiệt - hóa) để tạo ra hydrogen từ nguyên liệu thô (như nước).

- Quá trình điện phân nước: Trong quá trình điện phân, dòng điện được truyền qua để tách nước thành H₂ và O₂; tùy thuộc vào nguồn điện được sử dụng, quá trình này có thể đạt đến ngưỡng phát thải khí nhà kính bằng 0.

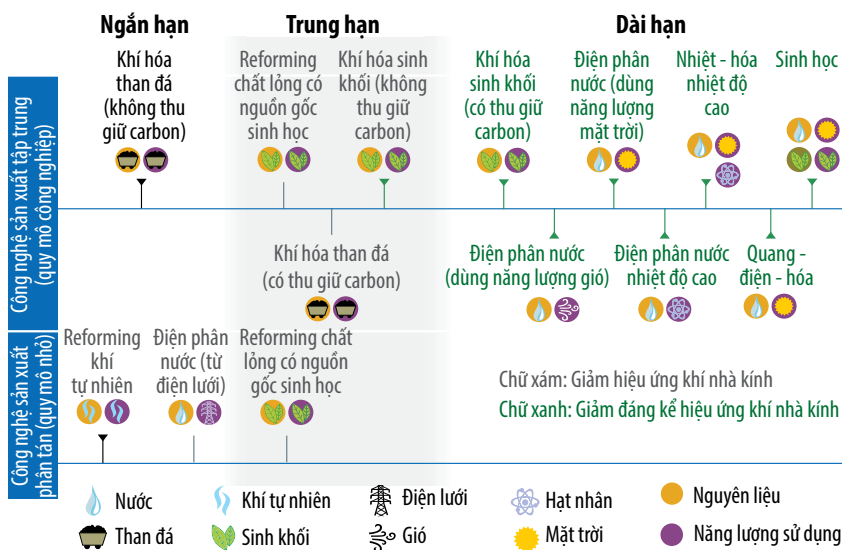
- Quá trình quang phân gồm: Công nghệ quang - điện hóa (photoelectrochemical) và công nghệ sinh học. Quá trình quang phân sử dụng năng lượng ánh sáng để tách nước thành H₂ và O₂. Đây là các quá trình có tiềm năng sản xuất hydrogen bền vững với mức tác động môi trường thấp, tuy nhiên đang trong giai đoạn nghiên cứu sơ khởi.

Hình 3 cho biết các loại công nghệ sản xuất hydrogen, khả năng ứng dụng trong ngắn - trung và dài hạn, loại năng lượng và nguyên liệu cần cho mỗi công nghệ, phù hợp sử dụng để sản xuất tập trung (quy mô lớn) hay phân tán (quy mô nhỏ, tại các trạm tiếp nhiên liệu...).

3.2.1. Công nghệ reforming khí tự nhiên

Công nghệ này sử dụng hơi nước nhiệt độ cao để reforming khí tự nhiên (SMR) thành H₂ và CO₂, SMR hiện là công nghệ được sử dụng phổ biến nhất tại các cơ sở sản xuất hydrogen công nghiệp và cung cấp chủ yếu sản lượng hydrogen trên thế giới. Phương pháp này phù hợp vì có thể sản xuất hydrogen thương mại đủ đáp ứng các nhu cầu hiện tại với chi phí hiệu quả. Tuy nhiên, đây được coi là lựa chọn tạm thời/trung gian vì quá trình sản xuất hydrogen vẫn thải ra lượng khí carbon nhất định (dù thấp hơn nhiều so với các công nghệ phụ thuộc xăng) và bị phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu hóa thạch đang giảm dần.

SMR tại các trạm tiếp liệu là cách tiếp cận khả thi nhất trong tương lai gần để đưa hydrogen vào thị trường phương tiện vận tải trong thời gian tới - thị trường ban đầu này sẽ giúp xây dựng cơ sở hạ tầng cần thiết để mở rộng việc sử dụng hydrogen. Thách thức của việc áp dụng công nghệ SMR khi sản xuất hydrogen phân tán tại các trạm tiếp liệu là phải giảm quy mô thiết bị để đảm bảo hiệu quả chi phí. Ngoài ra, cần bổ sung hệ thống tích hợp, tối ưu hóa và xác thực công nghệ.



Hình 3. Các công nghệ sản xuất hydrogen, khả năng ứng dụng trong ngắn - trung và dài hạn [5].

3.2.2. Công nghệ reforming chất lỏng có nguồn gốc sinh học

Sử dụng nhiệt độ cao tương tự như công nghệ SMR để chuyển đổi chất lỏng có nguồn gốc sinh khối thành hydrogen. Có thể áp dụng quy trình reforming ở nhiệt độ thấp hơn đối với chất lỏng có nguồn gốc sinh học, giúp cải thiện đáng kể hiệu quả hệ thống và giảm chi phí reforming. Một trong số đó là reforming pha nước đang được nghiên cứu ứng dụng.

Nhiều loại nguyên liệu thô sinh học dạng lỏng (đường, ethanol, dầu sinh học) và dòng đường ít tinh chế (như cellulose từ thực vật không ăn được) có thể dùng trong công nghệ này nhưng cần tìm ra chất xúc tác tốt hơn nhằm cải thiện hiệu suất chuyển đổi hydrogen của quá trình.

Trong ngắn hạn, nguyên liệu khả thi nhất cho công nghệ này là ethanol. Trong dài hạn, các nhà máy reforming có thể sử dụng một loạt sinh khối có sẵn quanh năm của địa phương và kỳ vọng trong tương lai có thể xử lý sinh khối trực tiếp thành hydrogen không cần qua bước chuyển đổi thành chất lỏng trung gian.

3.2.3. Công nghệ khí hóa than và sinh khối

Quá trình khí hóa có thể phá vỡ nguyên liệu thô có chứa carbon thành các thành phần hóa học của nó. Than hoặc sinh khối được đặt trong điều kiện hơi nước nóng và không khí dưới áp suất và nhiệt độ cao sẽ làm các phân tử vỡ ra và nhờ các phản ứng hóa học sẽ tạo ra CO trộn với H₂ và các hợp chất khí khác. CO sau đó có thể đưa vào quá trình biến đổi khí - nước (water-gas shift, WGS) để sản xuất hydrogen.

Các thiết bị khí hóa than đang được sử dụng thương mại để sản xuất điện, hóa chất và nhiên liệu tổng hợp, nhưng cũng đồng thời tạo ra CO₂. Những thách thức là tối ưu hóa hệ thống sản xuất hydrogen, xây dựng các quy trình hạ nguồn và phát triển phương pháp thu giữ và lưu trữ carbon tốt hơn với chi phí thấp hơn. Khí hóa sinh khối thay cho than đá giúp giảm thiểu tác động của carbon nhưng sẽ nảy sinh các vấn đề về chi phí cho sinh khối và nguồn cung không ổn định.

Một phương pháp sản xuất cải tiến sạch hơn là đồng khí hóa, sử dụng đồng thời cả than và sinh khối làm nguyên liệu thô. Khí hóa kết hợp than và sinh khối giúp giảm phát thải carbon liên quan đến than, giải quyết các vấn đề chi phí và nguồn cung kém ổn định liên quan đến sinh khối.

3.2.4. Công nghệ nhiệt - hóa

Công nghệ nhiệt - hóa sử dụng năng lượng mặt trời để kích hoạt các phản ứng hóa học phân ly H₂O, tạo ra H₂

mà không thải ra các khí độc hại. Đây là quy trình khép kín, bền vững do cả nguyên liệu và năng lượng tham gia vào quá trình này đều tái tạo được. Nhiệt độ cao cho phép tốc độ phản ứng cực nhanh và làm tăng tốc sản xuất đáng kể.

Các nghiên cứu cho thấy có hơn 300 chu kỳ phản ứng hóa học có thể xảy ra và đang trong quá trình phân tích, lựa chọn để có thể phát triển và thử nghiệm thêm. Tính khả thi về kinh tế của công nghệ nhiệt - hóa phụ thuộc vào việc xác định các vật liệu có khả năng chống ăn mòn trong điều kiện phản ứng nhiệt - hóa. Các lớp vật liệu tiềm năng gồm kim loại chịu lửa, kim loại phản ứng, siêu hợp kim, gốm sứ, polymer và chất phủ. Tuy nhiên, công nghệ này còn tương đối sơ khai, đòi hỏi nhiều nghiên cứu về hóa học cơ bản và vật liệu.

3.2.5. Điện phân nước

So với phương pháp phản ứng hóa học trực tiếp thì hiệu suất tạo hydrogen của điện phân thấp hơn nhưng gần như không gây ô nhiễm/hình thành các sản phẩm phụ độc hại nếu sử dụng năng lượng điện tái tạo (từ địa nhiệt, gió, năng lượng mặt trời và năng lượng hydrogen).

Điện phân nước nhiệt độ thấp không cần nhiều không gian, có thể sử dụng cơ sở hạ tầng điện nước sẵn có. Do vậy, công nghệ điện phân nước có thể dùng để sản xuất hydrogen ngay tại các trạm tiếp nhiên liệu trong ngắn hạn để phát triển các phương tiện sử dụng pin nhiên liệu. Hạn chế chính của công nghệ này là chi phí điện và lượng khí thải carbon phát ra tùy vào năng lượng được sử dụng.

Về lâu dài, để sản xuất quy mô lớn, điện phân nước bằng năng lượng hạt nhân - sử dụng nhiệt từ các lò phản ứng - sẽ hiệu quả hơn bởi có phát thải carbon bằng 0 và quá trình điện phân nhiệt độ cao tiêu thụ điện ít hơn nhiều so với điện phân ở nhiệt độ thấp.

3.2.6. Công nghệ quang - điện - hóa

Công nghệ này sử dụng năng lượng mặt trời và 1 lớp vật liệu bán dẫn đặc biệt để phân ly nước trực tiếp. Những chất bán dẫn đặc biệt hấp thụ ánh sáng mặt trời và sử dụng năng lượng ánh sáng để tách hoàn toàn các phân tử nước thành H₂ và O₂.

Công nghệ quang - điện - hóa sản xuất hydrogen đòi hỏi vật liệu vừa bền, vừa có hiệu quả cao. Các nhà nghiên cứu đang tiếp tục tìm kiếm các vật liệu quang điện và lớp phủ có thể chuyển đổi hiệu quả 1 phổ ánh sáng rộng nhưng vẫn ổn định khi tiếp xúc với chất điện phân.

Tách nước bằng phương pháp quang - điện - hóa tuy

Bảng 1. Lợi ích, thách thức và nghiên cứu thử nghiệm cần thiết của các công nghệ sản xuất hydrogen

Quá trình	Công nghệ	Lợi ích cơ bản	Thách thức chủ đạo	Nghiên cứu thử nghiệm cần thiết
Quá trình nhiệt	1 Reforming khí tự nhiên quy mô phân tán	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Là cách tiếp cận khả thi nhất trong ngắn hạn để bắt đầu xây dựng thị trường năng lượng hydrogen ▪ Có chi phí sản xuất thấp nhất hiện nay ▪ Cơ sở hạ tầng sẵn có 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chi phí vốn cao ▪ Chi phí vận hành bảo dưỡng cao ▪ Thiếu các thiết kế để chế tạo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nâng cao hiệu suất xúc tác và giảm chi phí ▪ Phát triển phương pháp tách/tinh chế có chi phí thấp, hiệu quả cao ▪ Kết hợp vận hành các khâu để tăng hiệu quả chi phí ▪ Cải thiện hiệu quả tiền xử lý nguyên liệu ▪ Tối ưu hóa vận hành để đáp ứng các biến động về nhu cầu ▪ Phát triển các thiết kế linh hoạt dạng module reforming bằng cách sử dụng vật liệu chi phí thấp ▪ Tự động hóa kiểm soát quy trình ▪ Tăng độ tin cậy của thiết bị ▪ Giảm thiểu thất thoát năng lượng và đẩy mạnh nhu cầu
	2 Reforming chất lỏng có nguồn gốc sinh học	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Là phương pháp khả thi nhất để phát triển hydrogen tái tạo trong ngắn hạn ▪ Đang có cơ sở hạ tầng cho một số nguyên liệu thô 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chi phí vốn cao ▪ Chi phí vận hành bảo dưỡng cao ▪ Thiếu các thiết kế để chế tạo ▪ Chất lượng và số lượng nguyên liệu không ổn định 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tăng năng suất và hiệu quả chuyển đổi hydrogen ▪ Phát triển các chất xúc tác để có thể sử dụng công nghệ ở nhiệt độ thấp hoặc pha lỏng ▪ Phát triển phương pháp tách/tinh chế có chi phí thấp, hiệu quả cao ▪ Tối ưu hóa vận hành để đáp ứng sự thay đổi về nhu cầu ▪ Phát triển các thiết kế reforming linh hoạt, dạng module bằng cách sử dụng vật liệu chi phí thấp ▪ Đề xuất cách tiết kiệm để đặc trưng hóa sinh khối ▪ Xác định nguồn nguyên liệu tốt nhất theo khu vực ▪ Đảm bảo chất lượng hydrogen với các nguyên liệu thô khác nhau ▪ Tiến xử lý nguyên liệu phù hợp với yêu cầu tinh khiết.
	3 Khí hóa than và sinh khối	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ngoài hydrogen còn cung cấp nhiên liệu tổng hợp với chi phí thấp ▪ Sử dụng nguyên liệu than dồi dào, giá cả phải chăng 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chi phí lò phản ứng cao ▪ Hiệu suất hệ thống thấp ▪ Độ tinh khiết của nguyên liệu không đảm bảo ▪ Chưa thu hồi và lưu giữ carbon 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phát triển phương pháp phân tách/tinh chế có chi phí thấp, hiệu quả cao ▪ Cải thiện khả năng chịu tạp chất của chất xúc tác ▪ Phát triển các bộ phận hiệu quả và mạnh hơn cho toàn bộ hệ thống ▪ Giảm chi phí lưu giữ, chuẩn bị và xử lý nguyên liệu sinh khối ▪ Phát triển các phương pháp hiệu quả để thu giữ và lưu trữ carbon ▪ Phát triển cách thức tiết kiệm để giám sát chất lượng hydrogen ▪ Phát triển các bộ khí hóa kết hợp sử dụng sinh khối/than ▪ Tăng nguồn cung sinh khối với giá hợp lý
	4 Nhiệt - hóa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sử dụng nước, năng lượng từ mặt trời hoặc lò phản ứng hạt nhân và các hóa chất tái chế được. ▪ Sạch và bền vững 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chi phí lò phản ứng cao ▪ Hiệu quả và tuổi thọ của vật liệu xây dựng không cao ▪ Còn đang trong giai đoạn nghiên cứu ban đầu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phát triển các vật liệu mạnh, chi phí thấp để chế tạo các thiết bị thu năng lượng mặt trời, chu trình hóa học, lò phản ứng và kho nhiệt ▪ Thiết kế các lò phản ứng và thiết bị dễ sản xuất với chi phí thấp ▪ Tối ưu hóa thiết kế hệ thống lưu trữ nhiệt và hóa chất phù hợp sự biến động của năng lượng mặt trời với chi phí thấp hơn ▪ Phát triển các mẫu thiết kế thành phần, thiết bị dạng module linh hoạt để sản xuất với khối lượng lớn, chi phí thấp ▪ Cải thiện hiệu quả truyền nhiệt cho chu trình hóa học
Quá trình điện phân	5 Điện phân nước	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sản xuất hầu như không ô nhiễm nhờ sử dụng năng lượng tái tạo ▪ Sử dụng cơ sở hạ tầng hiện có ▪ Sử dụng những tiến bộ của pin nhiên liệu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chi phí vốn cao ▪ Hiệu suất chuyển đổi hydrogen chưa hiệu quả ▪ Cần tích hợp với các nguồn năng lượng tái tạo ▪ Thiếu các thiết kế để chế tạo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phát triển các loại màng mỏng bền và ít tổn kém hơn ▪ Phát triển các loại khớp nối bền, chống ăn mòn ▪ Phát triển các chất xúc tác hoạt hóa bền, chi phí thấp ▪ Thiết kế các kiến trúc mới để sản xuất quy mô lớn ▪ Cân bằng năng lực tổn trữ và tốc độ sản xuất để đáp ứng các biến động về nhu cầu ▪ Phát triển các hệ thống linh hoạt và có thể mở rộng bằng cách sử dụng vật liệu chi phí thấp hơn ▪ Tăng độ tin cậy cho các thiết bị làm việc ở nhiệt độ cao ▪ Phát triển các công nghệ sấy khô mới, hiệu quả hơn ▪ Phát triển hệ thống điều hòa nước hiệu quả

Bảng 1. Lợi ích, thách thức và nghiên cứu thử nghiệm cần thiết của các công nghệ sản xuất hydrogen (tiếp theo)

Quá trình	Công nghệ	Lợi ích cơ bản	Thách thức chủ đạo	Nghiên cứu thử nghiệm cần thiết
Quá trình quang phân	6 Quang - điện - hóa (sử dụng năng lượng mặt trời để phân ly nước trực tiếp)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoạt động ở nhiệt độ thấp ▪ Sạch và bền vững do chỉ sử dụng nước và năng lượng mặt trời 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hiệu quả của vật liệu quang xúc tác thấp ▪ Hiệu quả hệ thống không cao ▪ Chi phí lò phản ứng ▪ Còn đang trong giai đoạn nghiên cứu ban đầu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phát triển các chất quang xúc tác và xúc tác chuyển điện tử bền và hiệu quả ▪ Phát triển các vật liệu đa chức năng sẵn có với số lượng lớn và chi phí thấp ▪ Phát triển vật liệu ổn định, bền cho các quá trình phụ trợ và lớp phủ... ▪ Phát triển kỹ thuật sản xuất để đảm bảo chất lượng đồng nhất ▪ Tối ưu hóa thiết kế sản xuất quy mô lớn để giảm chi phí ▪ Tự động hóa điều khiển hệ thống, tăng độ tin cậy của thiết bị và giảm thiểu thất thoát năng lượng ▪ Giảm mất mát năng lượng ký sinh
	7 Sinh học (phân ly nước bằng quang - sinh)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sạch và bền vững ▪ Khả năng chịu nước đa dạng ▪ Tự duy trì 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Các vi sinh hiệu quả để sản xuất bền vững ▪ Chức năng vi sinh tối ưu trong một sinh vật ▪ Tìm kiếm vật liệu phù hợp làm lò phản ứng sinh học ▪ Còn trong giai đoạn nghiên cứu ban đầu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phát triển chức năng vi sinh nhằm sản xuất bền vững và hiệu quả ▪ Xác định và đặc trưng hóa các loại vi sinh mới ▪ Phát triển các phương pháp rẽ tiến để phát triển và duy trì vi khuẩn ▪ Phát triển vật liệu chi phí thấp, bền với các đặc tính riêng để sử dụng trong lò phản ứng sinh học ▪ Tối ưu hóa hệ thống để quản lý sự thay đổi về sản xuất và quản lý chu kỳ liên tục (suốt ngày đêm) ▪ Thiết kế quy trình để sản xuất khối lượng lớn với chi phí thấp

hứa hẹn tiềm năng sản xuất hydrogen bền vững với mức tác động môi trường thấp trong dài hạn nhưng còn trong giai đoạn nghiên cứu ban đầu.

3.2.7. Công nghệ sinh học

Là các quá trình sinh học tự nhiên chuyển đổi và lưu trữ năng lượng của ánh sáng mặt trời như hydrogen tái tạo. Các phương thức trao đổi chất để tạo ra hydrogen được tìm thấy trong các vi sinh vật như đơn bào tảo lục, vi khuẩn lam, vi khuẩn quang hợp và một số dạng vi khuẩn lên men sẫm màu.

Các nhà khoa học đang nghiên cứu 4 hoặc 5 cách thức chính sau để tạo ra hydrogen bằng công nghệ sinh học:

- Phương pháp sinh học quang phân từ nước: Quá trình chuyển đổi này tạo ra hydrogen bằng cách sử dụng ánh sáng mặt trời và các vi sinh vật chuyên biệt để tách nước. Tương tự quá trình quang hợp của thực vật, những vi khuẩn này tiêu thụ nước và tạo ra hydrogen như sản phẩm phụ từ các quá trình trao đổi chất. Chuyển đổi quang học rất hứa hẹn về lâu dài, nhưng còn nhiều thách thức liên quan đến các công nghệ di truyền học phân tử cần được giải quyết.
- Phương pháp vi khuẩn quang hợp: Ánh sáng mặt trời là tác nhân để vi khuẩn phân hủy vật liệu hữu cơ, do

đó giải phóng hydrogen. Khí H₂ có thể được tạo ra khi các vi khuẩn tím không lưu huỳnh kết hợp với loại enzyme đặc biệt dưới năng lượng ánh sáng cận hồng ngoại từ mặt trời.

- Phương pháp lên men tối: Vi khuẩn có thể hoạt động trên vật liệu hữu cơ và phân hủy thành hydrogen và các sản phẩm phụ khác mà không cần ánh sáng mặt trời. Quy trình này sử dụng vi khuẩn kỵ khí phát triển trong bóng tối trên chất nền giàu carbohydrate. Những vi khuẩn này phân hủy sinh khối, tương đối rẻ, dồi dào và có hàm lượng carbohydrate cao. Các vấn đề cần nghiên cứu là xác định các chủng vi khuẩn cụ thể có thể trực tiếp lên men hiệu quả vật liệu hữu cơ thành hydrogen và chọn lọc các đột biến để tăng hiệu suất chuyển đổi hydrogen.

- Điện phân có sự hỗ trợ của vi sinh vật: Tế bào điện phân vi sinh sử dụng vi khuẩn để chiết xuất năng lượng hiệu quả từ chất hữu cơ. Khi vi khuẩn phân hủy vật liệu hữu cơ sẽ tạo ra điện áp thấp ở cực dương. Hydrogen được tạo ra tại cực âm - khi được nhúng hoàn toàn và được bổ sung năng lượng rất yếu. Tối ưu hóa môi trường để khai thác quá trình tự nhiên này có thể tạo ra hydrogen với hiệu suất lớn hơn nhiều so với phương pháp điện phân thông thường.

- Phương pháp kết hợp: Con đường sản xuất hydrogen sinh học hứa hẹn nhất là tích hợp một số hoặc tất cả công nghệ trên vào 1 hệ thống duy nhất. Cách tiếp cận tích hợp

này có thể làm giảm bớt đòi hỏi phải vượt qua tất cả rào cản của từng công nghệ riêng lẻ, miễn là hệ thống tổng thể có chi phí cạnh tranh. Các hệ thống tích hợp có thể sử dụng các sản phẩm phụ của một số phương pháp sản xuất làm đầu vào cho những phương pháp khác trong hệ thống gần như khép kín để tạo ra hydrogen ở mỗi giai đoạn.

Quang - điện - hóa và sản xuất hydrogen sinh học là các công nghệ sản xuất hydrogen sạch và tinh khiết từ các nguồn tái tạo dồi dào nhất như nước và ánh sáng mặt trời nhưng công nghệ này vẫn còn sơ khai và cần nghiên cứu chi tiết trước khi thương mại hóa. Bảng 1 phân tích các lợi ích, thách thức và nghiên cứu thử nghiệm cần thiết của các công nghệ sản xuất hydrogen.

4. Kết luận

Hydrogen có vai trò quan trọng trong chiến lược đa dạng hóa nguồn năng lượng của nhiều quốc gia trên thế giới. Nhiều nước đã đưa ra chiến lược/lộ trình phát triển năng lượng hydrogen như Mỹ, Canada, Anh, Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc...

Để đưa hydrogen vào sử dụng thương mại, các công nghệ liên quan đến sản xuất, vận chuyển tồn trữ và ứng dụng đang được đầu tư nghiên cứu, thử nghiệm. Các cải tiến và tìm kiếm mới trong công nghệ sản xuất hydrogen đều hướng đến sạch hơn (không phát thải carbon), bền vững hơn (sử dụng các nguyên/nhiên liệu tái tạo), hiệu quả chuyển đổi tốt hơn (sử dụng các vật liệu mạnh, có độ bền và hiệu suất cao), chi phí hợp lý hơn (vật liệu rẻ tiền, vận hành tối ưu) và phù hợp để nâng cấp quy mô và thương mại hóa (thiết kế linh hoạt). Do chuỗi cung ứng hydrogen là liên hoàn, công nghệ và cơ sở hạ tầng đòi hỏi chi phí vốn cao hơn so với các loại nhiên liệu thông thường nên việc nghiên cứu phát triển công nghệ sản xuất công nghệ và công nghệ tồn trữ, vận chuyển hydrogen là không thể tách rời.

Tài liệu tham khảo

[1] Alka Pareek, Rekha Dom, Jyoti Gupta, Jyothi Chandran, Vivek Adepur, and Pramod H. Borse, "Insights into renewable hydrogen energy: Recent advances and prospects", *Materials Science for Energy Technologies*, Vol. 3, pp. 319 - 327, 2020. DOI: 10.1016/j.mset.2019.12.002.

[2] Abdalla M. Abdalla, Shahzad Hossain, Ozan B. Nisfindy, Atia T. Azad, Mohamed Dawood, and Abul K. Azad, "Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review", *Energy Conversion and Management*, Vol. 165, pp. 602 - 627, 2018. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.03.088.

[3] Meiling Yue, Hugo Lambert, Elodie Pahon, Robin Roche, Samir Jemei, and Daniel Hissel, "Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 146, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111180.

[4] Xusheng Ren, Lichun Dong, Di Xu, and Baoshan Hu, "Challenges towards hydrogen economy in China", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 45, No. 59, pp. 34326 - 34345, 2020. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.01.163.

[5] "Hydrogen production: Overview of technology options", 2009. [Online]. Available: https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/h2_tech_roadmap.pdf.

[6] Statista, "Energy consumption worldwide from 2000 to 2018, with a forecast until 2050". [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/222066/projected-global-energy-consumption-by-source/>.

[7] Agenda, "Grey, blue, green - why are there so many colours of hydrogen?". [Online]. Available: <https://www.weforum.org/agenda/2021/07/clean-energy-green-hydrogen/>.

HYDROGEN SUPPLY CHAIN AND PRODUCTION TECHNOLOGY

Nguyen Thi Lan Oanh

Vietnam Petroleum Institute

Email: oanhnl@vpi.pvn.vn

Summary

Hydrogen is forecasted as an energy solution for the future thanks to its advantages of cleanliness, abundance and high energy conversion efficiency. The paper briefly introduces the hydrogen supply chain, hydrogen production technologies prevailing or expected in the future, as well as challenges that need to be addressed for a successful transition to a hydrogen-based economy.

Key words: Hydrogen, production technology, supply chain.