



수소생산 기술의 현황과 정책 제언

박진남 경일대학교 신재생에너지학부 부교수 jnpark@kiu.kr

1. 서론

수소경제 활성화 로드맵¹⁾의 발표 이후에 수소전기차를 비롯하여 다양한 수소에너지 관련 산업의 육성을 통한 수소경제 사회로의 전환이 모색되고 있다. 수소경제 사회로 가기 위한 첫걸음은 수소전기차 및 이를 위한 수소충전소 인프라의 보급이며, 근본적으로는 적절한 가격과 친환경성을 가지는 수소의 생산 및 공급이 가장 중요한 요소이다. 본고에서는 다양한 수소생산 기술의 현황 및 향후의 전망에 대해 검토하고자 한다.

2. 수소생산 기술 현황

가. 부생수소

우리나라는 울산, 여수, 대산 등의 석유화학단지에서 대부분의 부생수소가 생산되며, 주로 클로르-알칼리 공

정, 탈수소 공정, 나프타 분해 공정 등에서 생산된다. 국내 수소생산량은 연간 171만 톤이며 자가소비를 제외하면 약 24만 톤 정도의 수소가 외부로 판매되고 있다 (2016년 기준). 현재도 수소의 유통이 이루어지고 있는데, 기존의 수소 유통 생태계를 유지하면서 공급 가능한 부생수소는 연간 5~10만 톤 정도로 추정된다.

나. 화석연료 이용 수소생산

천연가스를 이용한 수소생산에는 여러 가지 방법이 있으나, 그 중 수증기 개질반응²⁾이 가장 널리 사용된다. 개질 반응의 원료로 주로 메탄을 사용하나, 프로판과 나프타 등 다른 탄화수소도 사용 가능하다.

수증기 개질반응은 기술적 완성도가 높으며, 저가로 대량의 수소를 생산할 수 있는 기술이다. 하지만, 원료인 천연가스를 수입해야 하며, 화석연료를 원료로 사용하므로 수소생산 시 이산화탄소의 배출이 수반된다. CNG 차량을 운행할 경우와 천연가스로부터 생산한 수

1) 2019년 1월 17일 울산에서 문재인 대통령이 발표

2) 수증기 개질반응: SMR, Steam Methane Reforming, $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$, 정부 문건에서는 “수소 추출기술”로 표현하고 있음



소를 이용하여 수소전기차를 운행할 경우를 비교하면 30~50% 정도의 탄소배출량 저감 효과를 보인다.

수증기 개질시스템은 대용량³⁾의 수소생산 공장과 소용량⁴⁾의 수소충전소용 생산 설비로 구별되는데, 대용량 시스템은 완성된 상용화 기술이 이미 존재한다. 소용량 시스템은 기술적 난이도가 높아 효율 향상 및 가격 저감을 위한 연구개발이 필요한데, 제이엔케이히터, 온시스, 범한 등의 국내 기업은 해외의 선진사 대비 경쟁력이 낮다.

다. 수전해를 이용한 수소생산

물을 전기분해하는 기술은 크게 알칼리 수전해⁵⁾, 고분자전해질 수전해⁶⁾, 고온 수전해⁷⁾의 세 가지로 나뉘어진다. 알칼리 수전해는 가장 먼저 상용화되었으며, 기술적 성숙도가 높다. 고분자전해질 수전해도 상용화 단계이나, 알칼리 수전해에는 미치지 못하고 있다. 수소생산 효율은 고온 수전해가 가장 우수하지만, 아직 상용화 단계에는 도달하지 못하였으며 연구개발이 진행 중이다.

수전해 수소생산의 가장 큰 장점은 탄소배출이 없다는 것인데, 이의 전제조건은 전력의 생산 과정에서 탄소배출이 없을 것이다. 현재는 전력생산 과정에서 탄소가 배출되므로 수전해 수소생산 역시 탄소배출이 수반되게 된다.

유럽은 재생에너지의 보급이 활발하여 잉여전기가 발생하고 있는 상황이며, 재생에너지 전력으로 수전해를 하고, 생산된 수소와 이산화탄소를 반응시켜 메탄을 생산하는 P2G⁸⁾ 실증이 다수 진행 중이다.

국내에는 엘캠텍, 수소에너지, 이엠솔루션 등에서 수전해 시스템 기술을 보유하고 있으나, 아직 해외 선진사에 비해서는 가격과 효율 측면에서 경쟁력이 낮다.

라. 바이오매스를 이용한 수소생산

바이오매스를 이용하는 다양한 수소생산 기술 중에서 축산분뇨 또는 음식물 쓰레기 등의 유기물을 미생물이 분해시켜 수소와 메탄을 생산하는 혐기성발효가 가장 대표적인 공정이다. 이는 생물학적 수소생산방식 중 가장 생산성이 높으며, 메탄을 수증기 개질하는 공정을 추가하면 수소생산량을 늘릴 수 있다. 혐기성발효 공정은 상용화되었으며, 그린 수소⁹⁾의 생산이 가능하나, 원료공급의 한계로 수소의 생산량을 늘리는데 제한이 있다.

바이오매스 가스화 공정은 목질계 바이오매스를 가스화 시켜 합성가스를 생성시킨 후, 수증기 개질반응 또는 수성가스 전환반응¹⁰⁾ 등을 이용하여 수소를 생산한다. 상용화가 가능하나, 목질계 원료의 원활한 공급이 어려워 국내 적용은 어렵다.

3) 연간 수소생산 용량이 수 천~수만 톤인 개질시스템

4) 연간 수소생산 용량이 수 백~수천 톤인 개질시스템

5) Alkaline electrolysis: 알칼리 용액을 전해질로 사용하는 수전해 기술

6) Polymer electrolyte membrane electrolysis: 고분자 전해질막을 이용하는 수전해 기술

7) Solid oxide electrolysis: 고체산화물을 전해질로 사용하며, 700~900 °C의 고온에서 작동

8) P2G: Power-to-Gas, 잉여전력을 이용한 수전해 수소와 이산화탄소로 메탄을 생산

9) 수소생산 과정에서 탄소배출이 없으면 그린 수소(Green hydrogen)이며, 탄소배출이 있으면 회색 수소(Grey hydrogen)임

10) 수성가스 전환반응: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$, 일산화탄소와 물을 반응시켜 수소를 생산하는 반응



이슈와 시선

수소생산 기술의 현황과 정책 제언

마. 원자력을 이용한 수소생산

원자력을 수소생산에 이용하는 가장 손쉬운 방법은 원자력 전기를 이용하여 수전해를 하는 것이며, 이를 통해 대량의 수소를 국내에서 생산할 수 있다. 원자력 발전에서 발생하는 열을 효과적으로 이용할 수 있는 것은 고온 수전해이며, 이를 이용하면 수소생산 효율을 높일 수 있다.

4세대 원자로인 초고온 가스로¹¹⁾에서 발생하는 고열을 직접 이용하여 열화학 사이클 공정¹²⁾을 가동하면 가장 효율적으로 수소생산이 가능하다. 미국, 일본, 유럽 등은 열화학 사이클을 이용한 수소생산을 계속 연구하고 있으나, 국내는 연구가 정체 상태이다. 초고온 가스

로와 열화학 사이클은 아직은 미완성인 기술로서 기술의 개발에는 장기적인 투자가 필요하지만, 개발 시에는 가치가 매우 높다.

바. 생물학적/광화학적 물분해를 이용한 수소생산

태양광을 이용하여 물로부터 수소를 생산하는 미생물도 있으며, 태양광을 활용하여 수소를 생물학적으로 생산하는 다양한 기술들¹³⁾이 있다.

광촉매¹⁴⁾나 광전기화학셀¹⁵⁾을 이용하면 태양광을 이용하여 물로부터 수소생산이 가능하다.

생물학적 및 광화학적 수소생산 기술은 원료로 물만 이용하여 그린 수소를 생산할 수 있는 장점이 있으나,

[그림 1] 수소생산 방법



자료 : NEDO(2015, 2); 최동원(2019, 3), p.76 재인용

11) 초고온 가스로: VHTR, Very High Temperature Reactor, 원자로를 헬륨 등으로 냉각하며, 1,000℃ 열원으로 활용이 가능

12) 1,000℃ 이하에서 일어나는 여러 가지 화학반응을 순차적으로 일어나게 하여 결과적으로는 물을 수소와 산소로 분해시키는 것을 열화학 사이클이라고 하며, S-I(황-요오드) 사이클이 대표적임

13) 직접광분해(Direct photolysis) 수소생산, 간접광분해(Indirect photolysis) 수소생산, 광합성 발효(Photosynthetic fermentation) 수소생산

14) 이산화티탄에 백금을 코팅한 광촉매를 물에 분산시키면 태양광을 받아서 물을 수소와 산소로 분해

15) 반도체 물질을 광전극으로 사용하여, 태양광으로 전기를 생산하는 대신 물을 수소와 산소로 분해



대량생산 시스템 구축이 어려워 실험실 수준에서 연구 개발이 진행 중이다.

좌측 그림은 위에서 언급된 주요 수소생산 방법을 나타낸 것이다.

3. 수소생산 기술의 전망

현재 활용되지 못하는 부생수소는 연료로 사용되고 있으며, 이를 최대한 활용한다면 연간 10~20만 톤까지는 부생수소의 공급이 가능할 것으로 추정된다. 부생수소 이후로는 경제성 및 대량생산 측면에서 유리한 천연가스의 수증기 개질이 주된 수소생산 기술이 될 것이다.

재생에너지원과 수전해를 결합한 수소생산은 그린 수소의 생산이 가능하지만 이의 활용에는 경제성이 중요한 요인이 될 것이다. 수전해의 경제성은 ①전기가격(원/kWh) ②가동률(운전시간/day) ③수전해 장치의 설치비 ④수소생산 효율에 따라 결정된다. 이 중 전기가격이 가장 큰 영향을 미치며, 수전해 수소가 경제성을 가지려면 50원/kWh 이하의 전기가격이 요구된다.

바이오매스 또는 미활용 폐자원을 활용하여 수소를 어느 정도 생산할 수 있으나, 이는 대량생산이 어려우므로 수소의 주된 공급원으로 사용하기는 어렵다.

원자력을 이용한 수소생산은 에너지 안보, 대량생산, 경제성, 그린 수소 측면에서 유리하나, 아직 전 세계적으로 기술 개발 단계이다.

호주¹⁶⁾ 등의 국가는 수소를 수출하고자 하며, 우리나라

라도 미래에는 해외로부터 수소를 수입하는 것이 바람직하다. 만약 수소 경제에서 필요로 하는 수소 수요량이 연간 백만 톤 이상으로 늘어난다면 경제성과 탄소배출량¹⁷⁾을 고려하여 수소의 국내 생산과 수입의 비율을 결정하여야 할 것이다.

4. 정책 제언

수소의 생산과 관련하여 다음과 같이 제언한다.

첫째, 수소의 정확한 수요 예측이 필요하며, 이를 기반으로 수소 공급 방안을 모색하여야 할 것이다.

둘째, 단기적으로 수소의 가장 큰 수요처는 수소충전소가 될 것이다. 초기에는 부생수소를 공급받는 저장식 수소충전소¹⁸⁾가 많이 보급될 것이나, 장기적으로 수요가 늘게 되면 부생수소의 공급량 부족, 높은 공급 단가 등의 문제가 예상된다. 중장기적으로는 제조식 수소충전소¹⁹⁾의 보급을 확충하여야 할 것이며, 부생수소의 공급이 어려운 지역에 수소생산을 위한 거점을 구축하는 것도 필요하다.

셋째, 그린 수소의 공급량을 늘리는 것이 바람직하지만, 이의 확대에는 반드시 경제성이 고려되어야 할 것이다.

넷째, 에너지 자원이 부족한 국내 여건을 고려할 때, 대량의 그린 수소를 자급할 수 있는 방법은 원자력을 활용하는 방법뿐이며, 이는 장기적인 투자가 필요하다.

다섯째, 장기적으로는 해외로부터의 수소 수입이 필요하게 될 것인데, 해외 수소 수입이 예상되는 시점보

16) 호주는 단기적으로 갈탄으로부터 수소를 생산하고, 장기적으로는 대규모 태양광 발전과 수전해를 연계하여 수소 수출국이 되고자 함

17) 수입한 수소는 우리나라의 입장에서는 그린 수소에 해당함

18) 저장식 수소충전소: off-site refueling station, 수소를 튜브트레이일로 공급받아서 판매하는 수소충전소

19) 제조식 수소충전소: on-site refueling station, 수소를 직접 생산해서 판매하는 수소충전소이며, 수소생산 공정은 천연가스 개질, 수전해 등이 가능



이슈와 시선

수소생산 기술의 현황과 정책 제언

다 최하 5년 이전부터는 수입에 대한 구체적인 계획을 수립하여야 할 것이다.

여섯째, 수소경제로의 전환을 통해 탄소배출량 감축이 가능할 것이며, 수소생산 방법의 결정에는 경제성 뿐만 아니라 전 과정 평가²⁰⁾를 통한 탄소배출량 및 에너지 소비량 분석이 동시에 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

관계부처 합동, 수소경제 활성화 로드맵, 2019.1

최동원, 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출, 2017.3

한국수소산업협회, 부생수소를 활용한 실증단지 산업 발전 로드맵 수립, 2017

〈외국 문헌〉

COAG Energy Council, “Australia’s National Hydrogen Strategy”, 2019

NEDO, 「NEDO水素エネルギー白書」, 2015.2

20) 전 과정 평가: LCA, Life Cycle Analysis, 원료 확보에서부터 생산된 제품의 활용까지 모든 과정에 대해 평가