

ISSUE PAPER

미래를 보는 정책, 현재를 이끄는 기획
가치를 그리고, 생각을 실현하다

2021.06

제7호

수소 경제 선점을 위한 수소경제 활성화 대응 전략

정책기획단

요 약



세계 주요국은 수소 경제 선점을 위하여 수소가 가진 가능성에 대한 큰 관심과 기대를 걸고 있다.

지구상에서 매우 풍부한 물을 전기분해만 하면 얻을 수 있고, 수소는 연소하더라도 물만 만들어낼 뿐, 오염물질을 배출하지 않아 석탄, 석유를 대체할 환경친화적 에너지로써 주목받고 있다. 이에, 수소에너지는 다른 형태의 에너지 전환이 쉬워 연료로서뿐만 아니라 에너지 저장 매체로도 뛰어난 성능을 가진 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 수소에너지의 실용화를 위한 수소의 생산, 저장 및 운반 기술 등과 수소의 이용 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

수소에너지의 활용 분야로는 가정용 전기기기를 시작으로 자동차, 산업용 기기 및 산업 공정 등 다양한 분야에서 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원으로 사용 가능하며, 현재 국내 사용량 또한 계속해서 증가하고 있다.

수소 경제 사회로 가기 위한 첫걸음은 수소, 전기차 및 이를 위한 수소충전소 인프라의 보급이며, 근본적으로는 적절한 가격과 친환경성을 가지는 수소의 생산 및 공급이 가장 중요한 요소이다. 국내외적으로 수소 생산 방법으로는 부생 수소, 탄화수소의 개질, 물 전기분해 방식이 주목받고 있으며 그 외 다양한 방법으로도 생산이 가능하다. 물론 수소가 근본적인 탈탄소화에 크게 공헌할 수 있게 되기까지 극복해야 하는 문제·장벽들이 존재한다. 공급 비용을 대폭으로 줄이고, 필요한 인프라를 적절하게 정비해야 할 것이며, 기술적·경제적·사회적인 장벽 또한 높아서, 그것을 극복하는 데 많은 시간과 노력이 필요하다. 그러므로 수소가 가진 가능성에 대한 관심과 기대가 세계적으로 높아지고 있는 와중, 장기적인 관점에서 일관된 정책·전략을 실시하는 것이 더욱 중요해지고 있다. 정부와 민간이 힘을 합쳐 국제적인 협력하에 보완해나 가야 할 것이다.

현재 수소 경제는 2050년 연간 2조 5,000억 달러(한화 3,000조 원) 규모의 수소 및 관련 장비 시장과 3000만개 이상의 누적 일자리를 창출할 것으로 전망되며 독일·일본·중국 등 세계 주요국들도 미래 유망산업으로 수소 경제 활성화에 나서고 있다. 한국은 모빌리티와 발전용 연료전지 등 수소 활용 측면에서는 세계 최고의 경쟁력을 보유하고 있지만, 수소 생산 및 공급 인프라는 상대적으로 뒤쳐져 있는 것으로 나타났다. 우리나라가 조기에 대외경쟁력을 확보하기 위해서는 그린 수소 관련 원천기술 개발과 인프라 구축에 집중 투자해 그린 수소 생산량 증대와 생산단가 절감에 노력을 기울여야 한다. 종합적인 수소 경제 생태계를 갖추기 위해서는 인프라를 비롯한 막대한 투자가 요구되기 때문에, 각국이 제시하는 로드맵과 해당 정부의 역할을 살펴보는 것이 도움이 될 것이다.

C O N T E N T S

I. 수소 경제 생태계	1
II. 수소 생산·운송/저장 분야 기술 동향	5
III. 세계 주요국 및 국내 수소 경제 동향	10
IV. 시사점	16

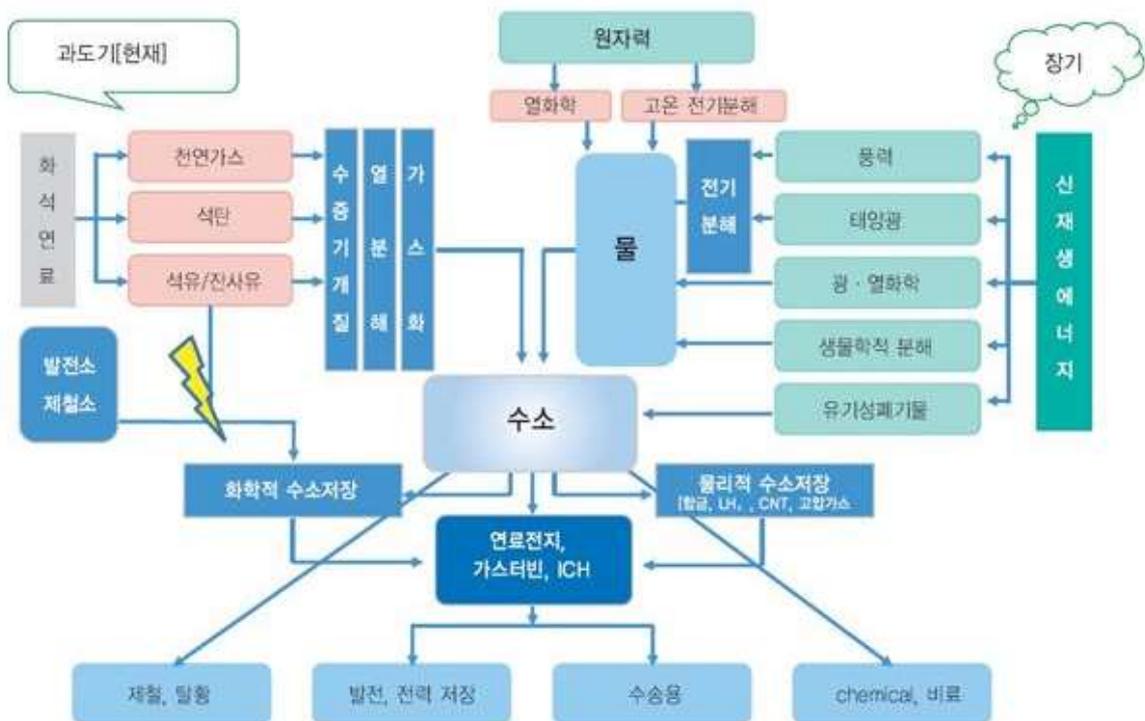
I

수소 경제 생태계

01 수소에너지 개요

수소(hydrogen, 水素)는 주기율표 첫 번째 자리를 차지하는 비금속원소로, 원소기호 H, 원자량 1.0794g/mol, 끓는점 -252.87°C , 녹는점 -259.16°C , 밀도 0.0898g/L이다. 지구상에 존재하는 가장 가벼운 원소로 무색·무미·무취의 기체로, 우주 질량의 약 75%를 차지하는 가장 풍부한 원소이기도 하다. 수소는 산소와 결합한 물(H_2O)처럼 다른 원소와 결합된 상태로 지구상에 대량으로 존재한다. 수소가 연료로 주목받는 이유는 청정하고 생산, 저장, 운반이 안전하기 때문이다. 수소는 현재까지는 주로 공업 원료로 사용되고 있지만, 일반적으로는 친숙한 물질은 아니다. 수소를 직접 활용하기 위해서는 기술적 난이도가 상대적으로 높지만, 지역적 편중이 없는 보편적인 자원인 동시에, 장기간·대용량 저장이 가능하다는 장점도 지닌다. 지구상에서 매우 풍부한 물을 전기분해만 하면 얻을 수 있고, 수소는 연소하더라도 물만 만들어낼 뿐, 오염물질을 배출하지 않아 석탄, 석유를 대체할 환경친화적 에너지로써 주목받고 있다. 이에, 수소에너지는 다른 형태의 에너지 전환이 쉬운 연료로서뿐만 아니라 에너지 저장 매체로도 뛰어난 성능을 가진 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 수소에너지의 실용화를 위한 수소의 생산, 저장 및 운반 기술 등과 수소의 이용 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

<수소에너지로의 전환>



자료: 과학과 기술('12.4)

02 수소의 종류(생산 방법)

수소는 생산 방법에 따라 여러 가지의 색을 지칭하여 분류된다. 그중에서 가장 대표적인 종류로는 그레이 수소, 블루 수소, 그린 수소로 분류할 수 있다. 그레이 수소는 가장 보편적인 수소이다. 현존하는 수소 중 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 천연가스의 수증기 개질(SMR, steam Methane Reforming), 석탄 가스화 방법 등으로 화석연료에서 추출한 수소를 지칭한다. 생산기술이 잘 확립되어 있고, 수소 생산비용은 1kg당 1~2달러로 저렴하기에 가장 경제성이 높다는 장점이 있다. 하지만 수소 생산과정에서 대량의 이산화탄소를 배출하는 고탄소 수소(High-Carbon Hydrogen)로 분류되기 때문에, 수소에너지의 가장 큰 장점인 청정에너지가 아니라는 치명적인 단점이 있다.

블루 수소는 그레이 수소의 생산 방식을 기반으로 수소를 추출하지만, 해당 추출과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집 및 제거한 수소를 지칭한다. 즉, 탄소 포집 장치¹⁾(Carbon Capture and Storage; CCS)가 의무적으로 장착된다. 그레이 수소가 가지고 있는 장점을 유지한 채, 이산화탄소 포집을 통해 그레이 수소의 단점(고탄소 수소) 또한 보완할 수 있다는 게 장점이다. 하지만 CCS 과정에서 CO₂ 1톤당 50~70유로의 비용이 발생하기 때문에, 총 생산비용이 높은 단점을 가지고 있다.

그린 수소는 그레이 및 블루 수소와 달리 재생에너지에서 생산한 전기를 이용해 물을 전기분해하여(수전해) 추출한 수소를 지칭한다. 이는 생산과정에서 대기오염물질이나 CO₂가 배출되지 않기 때문에 지속 가능한 청정에너지라는 장점을 보유하고 있다. 즉, 탄소중립 시대로 진입하기 위해 필수 요소이자 수소 경제를 구성하는 진정한 의미의 수소이다. 다만 아직 기술적 진보가 초기국면이라는 점과 이로 인해 현저히 낮은 경제성이 단점으로 꼽힌다. 그린 수소의 CO₂ 배출량이 없어야 하는 조건을 가지고 있다. 그러므로 수전해를 위한 투입 전력이 재생에너지여야만 하는데, 아직까지는 재생에너지의 전력 생산단가가 화석에너지보다 높다. 또한 수전해 시장 자체가 태생 단계이기 때문에, 설비 장치 가격이 현저히 높기도 하다. 그러므로 현재 수소 경제의 핵심은 그린 수소 비중의 확대이나 단계적으로 블루 수소의 과도기를 거쳐 그린 수소로 넘어가는 시나리오를 그리고 있다.

<그레이-블루-그린 수소 개념도>



자료: 수소요

자료: 포스코('20.12)

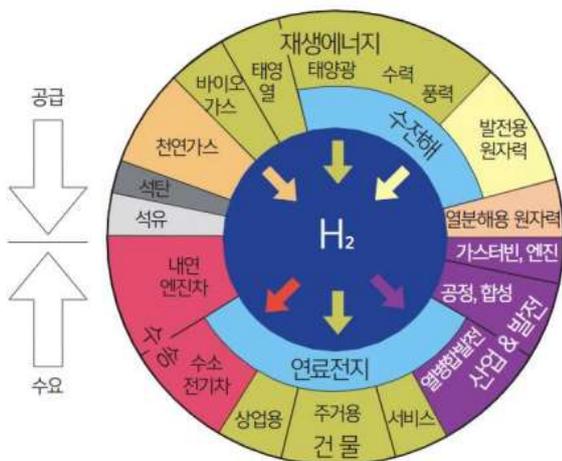
1) 탄소 포집 및 저장(CCS:Carbon Capture and Storage)은 화석연료 사용으로 인해 발전소, 철강, 시멘트 공장 등 대량 배출원에서 배출되는 이산화탄소를 대기로부터 격리시키는 기술이다.

03 수소의 용도 및 수소 관련 국내외 현황

아래 그림과 같이 수소는 천연가스, 석탄, 석유, 바이오매스와 같은 다양한 공급원료(Feedstock)와 재생에너지, 원자력과 같은 에너지를 사용하여 생산할 수 있다. 연간 7,900만 톤에 달하는 전 세계 수소생산량의 약 48~50%는 천연가스의 수증기 개질, 30%는 정유 및 화학 부문의 부생 수소, 18%는 석탄 가스화(주로 중국) 등 화석연료에서 생산된다. 나머지 2~4% 정도는 염소 생산의 부산물로 물의 전기분해(수전해) 방법이 차지할 정도로 아직은 화석연료 의존도가 압도적이지만 재생에너지를 이용한 수전해 기술에 관심이 집중되고 있다.

수소에너지의 활용 분야로는 가정용 전자기기를 시작으로 자동차, 산업용 기기 및 산업 공정 등 다양한 분야에서 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원으로 사용 가능하며, 현재 국내 사용량 또한 계속해서 증가하고 있다. 2015년 기준 국내 수소 사용량은 240만 톤으로, 2050년에는 1,690만 톤으로 전체 에너지 수요의 21%를 차지할 것으로 예상하고 있다. 하지만 이러한 수소에너지를 활용하기 위한 인프라 구축이 현재로서는 아직 부족한 수준이다. 이러한 문제를 해결하고 수소 경제 활성화를 위해 정부는 “수소 경제 활성화 로드맵”을 발표하고 수소 산업을 육성하기 위해 정책적인 지원을 실시하고 있다. 로드맵은 수소 자동차, 에너지 부문, 그리고 효율적인 수소 생산을 중심으로 수소 경제 사회를 실현하기 위한 방안을 제시하고 있다. 이 중, 수소 자동차의 경우, 지구 연평균 온도 상승 폭을 2℃보다 작게 줄이기 위한 파리 협정에 의해 친환경 수소 자동차 시장이 확대될 것으로 예상되는 가운데, 일본, 영국, 독일, 중국, 미국에서는 이미 전체 자동차에서 수소 자동차가 차지하는 비율을 증가시키기 위한 정책을 실시 중에 있다. 이러한 세계적 흐름에 대한 대비 방안으로 정부에서는 2030년 수소차 10% 시대라는 비전으로 수소 자동차 보급을 확대할 수 있도록 정부 보조금, 지자체 구매 보조금, 세금 감경 등의 방법을 활용하여, 국가 차원의 로드맵 설정 및 지원을 계획 및 실시하고 있다.

<수소에너지의 공급과 수요관계>



<한국의 2050 수소 비전, 부문별 수소 사용량 >



자료: Engineers journal('16.7)

자료: Hydrogen meets digital(맥킨지)

04 탈탄소화를 위한 수소의 역할 - 수소와 재생에너지의 연계

IEA에서는 재생에너지 보급 비율에 따라 단계를 구분하여 국가별 대응 수단에 대해 제안하고 있다. 우리나라는 전체적으로 IEA에서 분류하는 재생에너지 보급단계의 1단계에 속하지만, 제주도는 3단계(2019년 약 14%)에 속한다. 출력제한은 태양광 발전량이 많은 낮 시간을 중심으로 발생하며 증·감발에 대한 요구는 태양광 발전이 감소하는 저녁 시간을 중심으로 나타난다. 제주도는 풍력 및 태양광 설비 증가로 전력공급 과잉이 발생해 이미 출력제한을 지속적으로 시행 중이다. 지금까지는 풍력만을 제어해왔으나, 풍력발전 출력제어 횟수 및 제어량 증가로 태양광 출력제어도 필요한 상황이다.

이러한 문제점의 해결방안으로는 P2G를 통한 전력을 수소의 형태로 전환하여 전력을 소비하게 하는 방법이 있다. 수소의 형태로 저장하기 때문에 에너지 저장 수단으로 볼 수 있고, 전력을 소비하기 때문에 잉여전력 발생 시 잉여전력을 흡수하는 플러스 DR(demand response, 수요반응자원)의 수단으로도 볼 수 있다. 다양한 목적으로 사용될 수 있는 P2G인 만큼 다양한 분야에서 활용할 수 있다. 이처럼 P2G가 재생에너지의 잉여전력을 흡수하여 계통의 안정성 제고에 기여하면서 동시에 수소 경제의 수소 공급원으로서 역할을 할 수 있다는 점을 기대할 수 있다.

수소의 대규모 도입 정책은 재생에너지 발전의 수요 증가를 크게 자극할 것으로 보인다. IRENA는 최종 에너지 소비 합계에서의 재생에너지 전력 유래 수소의 경제적 잠재력을, 2050년까지 전 세계 19EJ²⁾이 될 것으로 보고 있다. 한편, 다른 기관(수소 협의회 등)은 이 수치가 약 80EJ까지 증가할 것으로 보고 있다. 이러한 수요에 대해, 전기분해에 필요한 재생에너지 전력은 30~120EJ 또는 8~30PWh이다. 즉 2050년에 재생에너지 수소와 수소 기반 제품을 제조하려면, 공급체인 전체의 손실을 고려하면, 약 4~16테라와트(TW)의 태양광·풍력발전 설비 용량을 도입해야 한다. 그에 비해 현재 전 세계의 발전설비 용량은 7TW이며, 1TW의 태양광·풍력발전 설비가 가동되고 있다. 2050년의 IRENA의 REmap 시나리오에서는, 재생에너지 전력 유래의 수소 19EJ는 같은 해의 최종 에너지 소비량 합계의 5% 및 수소 제조에 충당되는 총발전전력량의 16%에 상응한다.

그러므로 수소를 대규모로 도입한다면 전력 부문에 큰 영향을 끼칠 것이며, 그린 수소 생산을 위한 재생에너지 전력의 도입 확대가 이루어질 것으로 보인다. 하지만 기후변화에 대응하는 재생에너지의 확대가 친환경성은 높일 수 있으나, 전력 계통에서는 변동성을 증가시킬 수 있다. 태양광, 풍력 등의 재생에너지는 탄소를 배출하지 않는 친환경적인 전력을 제공함으로써 기후변화 대응에 이바지한다. 기상 조건에 의존하는 변동성 재생에너지는 전력 계통에 급격한 불확실성을 가져오고 계통이 지니는 관성을 낮추어 안정적인 전력공급을 위협할 수 있다. 그러므로 재생에너지의 변동성으로 인해 발생하는 잉여전력을 저장하거나 변환하여 전력 계통을 안정적으로 운영하기 위한 시스템 구축이 필요하다.

2) 1EJ(엑사 줄) : 1018Joule = 석유 1.7억만배럴 = 전력 278TWh

II

수소 생산 · 운송/저장 분야 기술 동향

01 수소 생산 분야

수소 경제 사회로 가기 위한 첫걸음은 수소, 전기차 및 이를 위한 수소충전소 인프라의 보급이며, 근본적으로는 적절한 가격과 친환경성을 가지는 수소의 생산 및 공급이 가장 중요한 요소이다. 국내외적으로 수소 생산 방법으로는 부생 수소, 탄화수소의 개질, 물 전기분해 방식이 주목받고 있으며 그 외 다양한 방법으로도 생산할 수 있다.

	실용화단계	안정성	환경성(CO ₂ 배출)	경제성
부생 수소	종류에 따라 이미 도입된 곳도 많음.	제품의 생산량에 따라 좌우됨.	CO ₂ 는 배출하지만, 추가적인 환경부하는 없음.	부차적으로 생산되는 물질을 활용하기 때문에 경제적이다.
화석연료개질	이미 도입되어 실용화 단계임.	안정적이며 대규모 생산이 가능.	CCS 등을 이용하지 않는 한 CO ₂ 가 배출됨.	기술이 확립되어 비교적 저가로 제조가 가능.
수전해 (화력)	이미 도입되어 실용화 단계임.	안정적이며 대규모 생산이 가능.	CCS 등을 이용하지 않는 한 CO ₂ 가 배출됨.	개질과 비교하면 비용이 많이 들지만 비교적 저렴함.
수전해 (재생에너지)	기술이 확립됨. 재생에너지 발전의 저비용화가 관건	재생에너지의 종류에 따라서는 출력변동이 존재.	CO ₂ 는 배출하지 않음.	재생에너지 발전을 활용하기 때문에 일반적으로 비쌈.
바이오매스	기술이 확립됨. 재생에너지 발전의 저비용화가 관건.	공급지가 분산되어 있음.	CO ₂ 배출량은 없다고 할 수 있음.	현재는 비용이 많이 듦.
열분해	연구개발단계(일부 실증도 실시).	안정적인 공급이 가능.	어디서 열을 가져오느냐에 따라 달라짐.	N/A
광촉매	연구개발단계(현재 변환효율은 0.5% 정도).	기상 조건에 좌우됨.	CO ₂ 는 배출되지 않음.	N/A

(1) 부생 수소

부생 수소는 석유화학(나프타 분해) 공정이나 제철 공정에서 화학반응에 의해 부수적으로 생산되는 수소이다. 부생 수소는 폐가스를 활용하므로 수소 생산을 위한 추가설비 투자 비용 등이 없어 경제성이 높다는 장점이 있지만, 부산물로 발생하는 수소로 생산량에 한계가 존재하고, 활용을 위해서는 고순도화 공정이 필수적이다.

국내에서는 현재 울산, 여수, 대산 등 석유화학단지를 중심으로 부생 수소를 생산 중이다. 2017년 국내 수소 생산능력은 연간 192만 톤(울산 50%, 여수 34%, 대산 1%, 기타 5%) 정도로, 실제 생산량은 약 164만 톤(정유공장, 석유화학업체 등 자체 소비 141만 톤+외부 활용 23만 톤)이다. 국내 여유 생산능력은 연간 약 5만 톤으로, 이는 수소전기차 약 25만 대에 필요한 양이다. 석유화학 공정의 가동률과 연계되는 부생 수소의 특성을 고려했을 때 부생 수소의 생산량은 큰 변동이 없을 것으로 예상된다. 장기적으로는 외부 유통량 중 일부를 수소 경제 분야로

전용해서 활용할 수 있을 것으로 전망된다.

(2) 화석연료 개질

화석연료를 통한 수소 제조 방법으로는 수증기 개질, 이산화탄소 개질, 부분산화법, 자연 개질, 직접 분해법 등이 있다. 개질 수소는 천연가스, 석탄, 석유 등 탄화수소계 화석연료를 활용하여 촉매 반응으로 생성된 수소이다. 현재는 천연가스를 이용한 수증기 개질 공정이 세계적으로 가장 경제적인 대량 수소 제조법인데, 연간 생산되는 7천만 톤 규모의 수소 중 3/4을 차지한다. 상용화 단계에 있는 공정 중, 가장 환경친화적인 수소 생산 방법은 물 전기분해법이지만, 경제성 측면에서 보완이 필요한데, 현재 수소 생산량을 전부 물 전기분해로 생산하려면 약 3,600TWh의 전기가 소요되며 이는 EU 전체의 연간 발전량을 상회하는 수준이다.

수증기 개질은 수소 생산에서 가장 저렴한 방법으로 여겨지고 있으며, 세계 총 수소 생산의 거의 절반을 이 방법으로 제조하고 있다. 700~1,100°C에서 스팀을 메탄과 혼합하여 압력 0.3~0.25MPa의 촉매 반응기에서 반응하며, 약 75%의 수율을 나타낸다. 메탄과 물 모두에서 수소가 생산되기 때문에 높은 생산수율이 가능하다.

부분산화법은 천연가스와 산소와의 반응으로 이루어지며, 수소와 일산화탄소가 주요 산물이다. 부분산화반응은 산소가 소요될 때까지의 메탄가스의 빠른 연소, 수소와 일산화탄소가 생성되는 비교적 느린 반응으로 이루어진다. 비교적 반응속도가 빠르며 작은 반응기를 사용하는 장점이 있으나, 단위 원료당 적은 양의 수소를 생산한다.

자연 개질법은 수증기 개질과 부분산화의 조합반응 기술이라 할 수 있으며, 수증기 개질 흡열 반응에 필요한 열을 부분산화 발열반응에 의하여 자체 공급하여 외부로부터의 열원이 필요 없으며 초기 시동의 신속성 및 부하 변동에 대한 응답 특성이 매우 빠르다. 천연가스, 스팀 그리고 산소가 약 1,250°C에서 부분 연소 되어 흡열반응에 필요한 열을 제공하게 되며 반응압력은 약 2~7MPa 정도이다.

(3) 수전해(물의 전기분해)

수전해(물의 전기분해)란 물의 이온화에 활용되는 전해질(Electrolyte)에 전력을 공급하여 수소와 산소로 추출하는 기술을 의미한다. 다만, 전력을 공급할 전해질의 종류에 따라 고분자 전해질(PEM: Polymer Electrolyte Membrane), 알칼라인(AE: Alkaline Electrolysis), 고체 산화물(SOEC: Solid Oxide Electrolysis Cell) 수전해 방식으로 나뉜다.

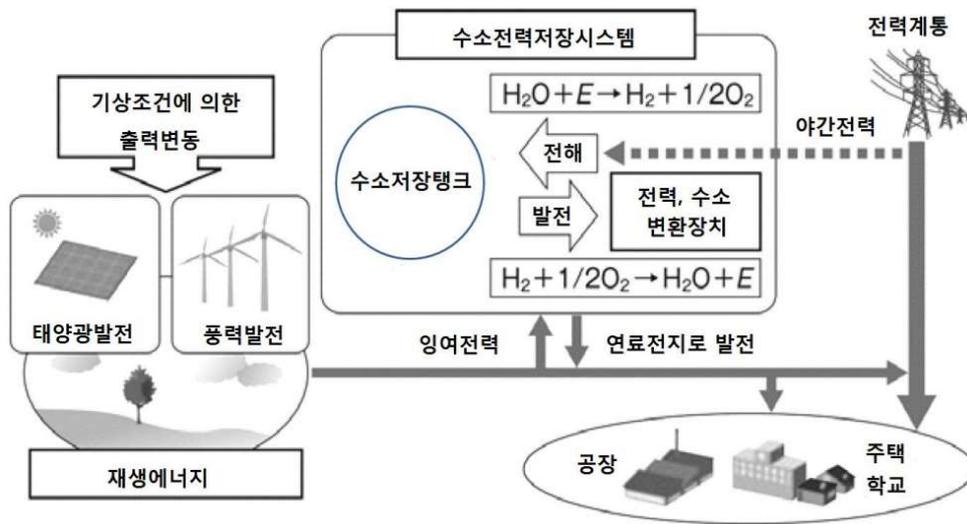
고분자 전해질(PEM) 수전해는 수소 이온이 이동할 수 있는 고분자 전해질막을 이용하여 물을 전기분해하는 방법이다. 이는 전류밀도가 높아 에너지 효율이 매우 높은 방법으로 작은 크기로도 제작할 수 있다. 또한, 수전해 셀을 적층 형식으로 제조할 수 있기에 제작공정을 단순화할 수 있고, 전해액을 사용하지 않기 때문에 수소의 순도가 높다는 장점이 있다. 하지만 사용되는 분리막의 가격이 비싸며 수명이 짧은 단점이 있다. 또한 분리막의 부식성으로 인해 내구성이 좋은 귀금속 계열의 전극이 사용되어야 하기에 전반적인 유지비용이 높은 단점도 있다.

알칼라인(AE) 수전해는 알칼라인 전해액을 이용하여 물을 전기분해하는 방법이다. 알칼라인 전해액으로는 수산화나트륨(NaOH)과 수산화칼륨(KOH)이 사용된다. 알칼라인 수전해는 기술적 성숙도와 신뢰도가 높아 현재 여러 수전해 방식 중 상용화 진행 속도가 가장 많이 이루어졌으

며, 이로 인해 설치비용도 여타 방식 대비 작다는 장점이 있다. 또한 PEM에서 사용되는 고가의 귀금속 촉매 대신 저렴한 니켈 또는 스테인리스강을 사용 함으로써 유지비용 또한 낮다. 다만, 운전 전류밀도가 낮아 장치의 부피가 타 공정 대비 크며, 느린 시작/정지 응답성이란 단점을 가지고 있다. 이는 간헐적이면서 불규칙한 출력 특성을 갖는 신재생에너지 전력과 연계할 경우, 기존 정격출력 운전 모드로 개발된 알칼라인 수전해 장치의 내구성 훼손 및 효율 저하 등의 문제점을 발생시킬 수 있다.

고체 산화물(SOEC) 수전해는 고체 산화물 전해질을 이용하여 700℃ 이상의 고온 수증기를 전기분해 하여 수소를 생산하는 방법이다. 앞서 살펴본 PEM 수전해와 AE 수전해는 100℃ 미만에서 작동하는 점을 감안했을 때, SOEC 수전해는 여타 방식 대비 고온 처리 기술임을 알 수 있다. 이로 인해 여러 방식 중 전력 사용량이 가장 적으며, 에너지 효율 또한 가장 우수하다. 또한 고체상의 전해질을 사용하기에 부식에 대한 내구성이 좋다는 장점이 있다. 하지만 고온 환경을 만들기 위해 추가적인 열원이 필요하다는 점과 고온에서 충분히 내구성을 가지는 고체 전해질에 대한 연구개발이 좀 더 필요하다는 게 현시점에서 단점이다. 이로 인해 SOEC 수전해는 혁신적이지만 여타 방식 대비 기술적 성숙도가 떨어진다고 볼 수 있다.

<고체산화물수전해 셀(SOEC)의 예>

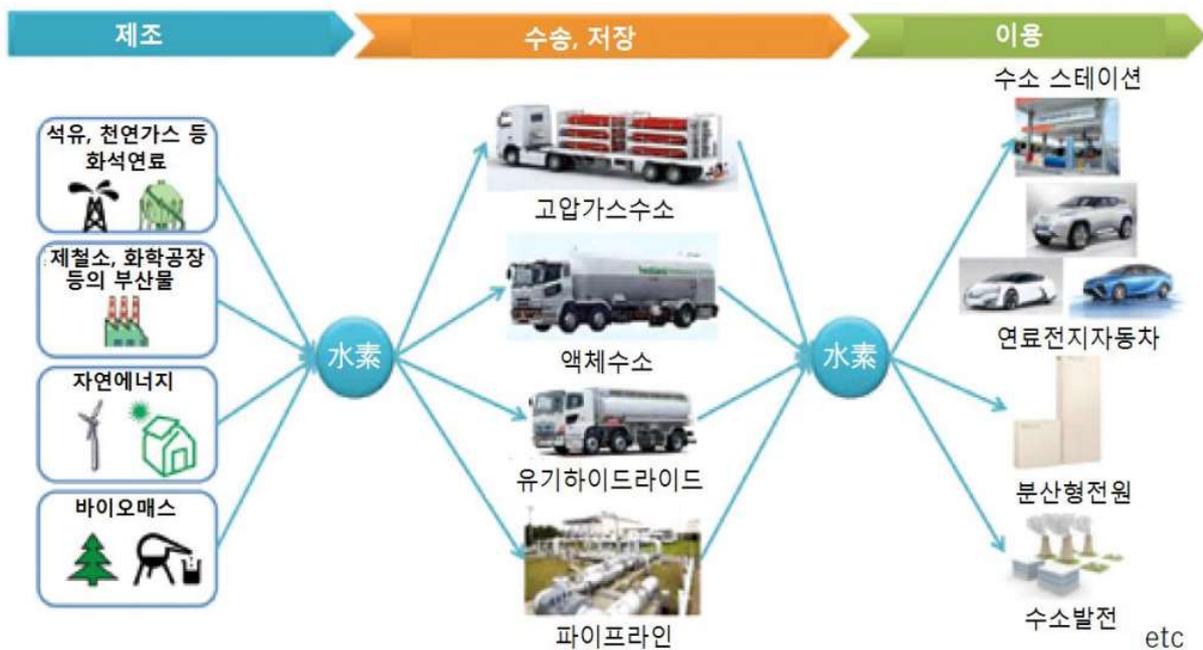


자료: 2021 수소 경제 실현을 위한, 수소·연료전지 관련 핵심기술 개발동향과 시장·사업화 전망(IRS Global, '20.09)

이처럼 전 세계적으로 현재 화석연료 중심의 수소 생산 방식에서 CO₂를 적게 발생시키는 친환경적 수소 생산 방식으로 전환해 나가고 있다. 물론 수소가 근본적인 탈탄소화에 크게 공헌할 수 있게 되기까지 극복해야 하는 문제·장벽들이 존재한다. 공급 비용을 대폭으로 줄이고, 필요한 인프라를 적절하게 정비해야 할 것이며, 기술적·경제적·사회적인 장벽 또한 높아서, 그것을 극복하는 데 많은 시간과 노력이 필요하다. 그러므로 수소가 가진 가능성에 관한 관심과 기대가 세계적으로 높아지고 있는 와중, 장기적인 관점에서 일관된 정책·전략을 실시하는 것이 더욱 중요해지고 있다. 정부와 민간이 힘을 합쳐 국제적인 협력하에 보완해나가야 할 것이다.

수소의 Value Chain은 크게 생산, 유통 그리고 활용으로 분류하여 볼 수 있다. 그중에서도 유통은 수소를 생산지에서 수요처로 이동시켜주는 역할을 의미하는데, 이는 크게 저장과 운송이라는 두 가지 측면으로 나누어진다. 왜냐하면 얼마나 많은 양의 수소를 얼마나 멀리까지 유통할 것이냐에 따라 저장과 운송의 방식이 달라지기 때문이다. 물량과 거리에 따라, 저장과 운송의 방식이 달라지는 이유는 수소가 원유나 천연가스 대비 유통하기 어렵기 때문인데, 이는 수소의 특징적인 에너지 밀도에 기인한다. 수소는 질량 에너지 밀도가 석유제품 및 기타 액화가스에 비해 높지만, 체적(부피) 에너지 밀도는 낮다. 즉, 가볍지만 부피가 큰 특징으로 인해 전통적인 화석원료 대비 경제적인 대용량 저장과 장거리 운송이 어렵다. 따라서 운송의 방식에 따라 저장 형태를 달리하여 한계점을 극복해야 한다.

<수소의 수송 · 저장 방법>



자료: 2021 수소 경제 실현을 위한, 수소 · 연료전지 관련 핵심기술 개발동향과 시장 · 사업화 전망(IRS Global, '20.09)

수소의 운송 · 저장 방식은 기존의 압축방식과 최근의 액화수소 방식, 메탄화 방식 및 유기 하이드라이드 방식 등이 있다.

첫째, 압축방식은 수소 파이프라인이나 트레일러로 운송하는 가장 전통적인 방식으로, 주로 사업용 및 공업용에 적용되어 왔으며 저장용량의 한계 및 압축에 필요한 에너지 비용이 단점으로 지적되고 있다.

둘째, 액화수소 방식은 수소를 -253°C 로 액화시켜 운송하는 방식으로, 압축방식에 비해 12배 정도의 운송효율이 있으며 육상 및 해상 선박 운송에 적합하다.

셋째, 메탄화 방식은 수소를 CO_2 와 반응시켜 메탄화하여 기존의 천연가스 망으로 운송하는

방식으로, 기존의 천연가스 망을 이용한 수소 운송의 경우, 적은 양은 특별한 전환과정 없이 그대로 천연가스에 혼합해 운송 가능하지만, 메탄화 방식을 이용할 경우 대용량의 수소 주입이 가능하다.

넷째, 유기 하이드라이드(Hydrate)³⁾ 톨루엔⁴⁾을 수소와 반응시켜 메틸시클로헥산⁵⁾의 형태로 운송·저장하는 방식으로, 압축방식 대비 8배 정도의 운송효율이 있으며 상온·상압에서의 운송 가능 및 취급이 용이하다.

<수소의 운송·저장 방식별 특징>

형태		특징
기존	압축방식	<ul style="list-style-type: none"> 가장 일반적인 운송 방식 압축에 필요한 에너지 비용이 단점
최근	액화수소 방식	<ul style="list-style-type: none"> 수소를 -253℃로 액화, 체적은 1/80로 감소 육상 및 해상(선박) 운송 방식으로 활용 압축방식 대비 12배 정도의 운송효율 액화효율향상과 보일오프가스 저감이 향후 과제
	P2G (메탄화)방식	<ul style="list-style-type: none"> 수소의 대량 주입·운송 가능 CO2의 재활용을 통한 배출량 삭감 효과 기존 가스 인프라 활용 메탄화에 필요한 에너지 손실이 단점
	유기 하이드라이드 (MCH)방식	<ul style="list-style-type: none"> 톨루엔을 수소와 반응, 메틸시클로헥산의 형태로 저장·운송 사용장소에서 탈수소 반응을 통해 수소를 추출 압축방식 대비 8배 정도의 운송 효율 상온·상압에서의 운송 가능 및 취급 용이 소형 탈수소장치의 실용화 필요

자료: 신에너지 시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제(산업연구원, '16)

한편, 국내의 운송·저장 기술 경쟁력은 상대적으로 낮은 수준이다. 우선, 수소 가격 중 운송 비용은 수소 가격에 큰 영향을 준다. 국내 부생 수소 가격은 1톤당 20만~60만 원 정도로 수소 전용 파이프라인을 통한 판매는 1톤당 20만 원인 데 반해 튜브 트레일러를 이용한 공급은 1톤당 60만 원 수준이다. 현재 국내의 수소 운송 중 파이프라인 운송은 8%, 튜브 트레일러를 이용한 차량 운송은 12%의 비중을 차지하고 있다. 또한, 고압 및 액화 저장·운송 기술도 부족하다. 현재 기체 형태로 압축하여 운송하는 방식이 일반적이지만 수소 수요가 확대될 경우 대용량 운송에 적합한 액화수소 방식이 필수적이다. 미국, 유럽 및 일본은 두 가지 방식에 대한 기술을 모두 보유하고 있는 반면 우리나라는 아직 액화수소 공급에 대한 기술이 부족한 실정이다.

3) 유기 하이드라이드 : 석유화학 부산물인 벤젠, 나프탈렌 등과 같은 유기 불포화 화합물이 수소와 용이하게 결합하여 포화화합물 형태가 된 것을 말한다.

4) 톨루엔 : 톨루엔은 C₇H₈의 화학식을 갖는 유기화합물이며 IUPAC 명명법으로는 메틸벤젠(methylbenzene)이라 한다. 벤젠 고리에 작용기가 치환된 가장 간단한 형태의 화합물이고 대표적인 유기 용매로 광범위하게 사용되고 있다.

5) 메틸시클로헥산(MCH) : C₆H₁₁CH₃의 화학식을 갖으며, 수소 추출이 쉽고 운반도 용이한 액체의 물질이다. MCH는 상온·상압에서 운반이 가능하며 연소되기 쉬운 수소를 기체나 액체 상태로 운반하는 것보다 운반에 적합하다.

III

세계 주요국 및 국내 수소 경제 동향

‘수소 경제’는 수소가 자동차 등 수송용 연료, 전기·열 생산 등 주요한 에너지원으로 사용되는 경제로, 국가 경제, 사회, 국민 생활 전반에 근본적인 변화를 초래하는 것을 말한다. 에너지원으로서 탄화수소를 기반으로 한 ‘탄소 경제(Carbon Economy)’를 대신해, 이러한 수소를 기반으로 운영되는 경제체계를 의미하는 ‘수소 경제(Hydrogen Economy)’라는 개념이 등장한 1970년대부터 대안적 이상향으로 주목받아왔다.

현재 세계 주요 에너지원은 석유, 석탄, 천연가스과 같은 화석연료와 원자력, 다양한 신재생에너지 등이 모두 사용되고 있다. 특히 석탄과 천연가스의 비중이 2018년 기준 각각 27.2%와 23.9%로 상당 부분을 차지하고 있다. 그럼에도 불구하고 현재를 석유 경제 시대라고 부르는 이유는, 석유를 중심으로 한 세계 정치·경제 구도가 형성되어 있기 때문이다.

현재 수소 경제는 2050년 연간 2조 5,000억 달러(한화 3,000조 원) 규모의 수소 및 관련 장비 시장과 3,000만 개 이상의 누적 일자리를 창출할 것으로 전망되며 독일·일본·중국 등 세계 주요국들도 미래 유망산업으로 수소 경제 활성화에 나서고 있다. 글로벌 그린 수소 생산단가 하락, 주요국 정부의 수소 경제 투자 확대, 상용차의 수소 모빌리티 선도, 발전 및 건물용 연료 전지 시장 확대 등으로 인해 수소 경제로의 전환이 가속화됨에 따라, 글로벌 시장 선점을 위한 국가 간 경쟁이 매우 치열하다.

한국은 모빌리티와 발전용 연료전지 등 수소 활용 측면에서는 세계 최고의 경쟁력을 보유하고 있지만, 수소 생산 및 공급 인프라는 상대적으로 뒤쳐져 있는 것으로 나타났다. 우리나라가 조기에 대외경쟁력을 확보하기 위해서는 그린 수소 관련 원천기술 개발과 인프라 구축에 집중 투자해 그린 수소 생산량 증대와 생산단가 절감에 노력을 기울여야 한다. 또한 특정 에너지원이 널리 쓰이기 위해서는 생산, 유통, 활용의 모든 측면에서 경쟁력을 확보하여야 한다. 수소 경제의 경제성을 평가할 때, 기술 자체의 경제성과 안전성뿐만 아니라 글로벌 관점에서 지정학적 측면도 고려해야 한다. 종합적인 수소 경제 생태계를 갖추기 위해서는 인프라를 비롯한 막대한 투자가 요구되기 때문에, 각국이 제시하는 로드맵과 해당 정부의 역할을 살펴보는 것이 도움이 될 것이다.

01 독일(Germany)

독일은 2020년 6월, 전반적인 수소 생태계 조성을 위한 수소 경제 추진전략을 발표했다. 전략 수립을 위해 정부 부처, 산업계 간 6개월가량의 논의 기간을 거쳤다. 파리기후협약 준수를 위한 이산화탄소 감축 노력과 독일의 강점인 신재생 발전과의 연계를 통해 미래 그린 수소 시장 선점, 온실가스 배출량이 많은 화학 철강 항공 산업 중심의 에너지 효율화 대응 조치, 수소 생태계 조성을 위한 수소 생산 및 확산 인프라 건설, 외국으로부터 그린 수소 수입 추진 등이 있다.

독일의 수소 경제 추진전략은 생산 저장 운송 충전 활용의 5단계로 수소 전 밸류체인을 완성하고 글로벌 수소 선도시장으로 위치를 공고히 하겠다는 계획이다. 글로벌 Zero emission을 달

성하기 위해 수소는 필수 불가결한 에너지원이다. 수소는 수소차를 통해 석유의 운송 수요를 일부 대체할 수 있으며 전력에서는 P2G(Power to Gas, 신재생 발전으로 얻은 잉여전력으로 수전해→수소 생산&저장→추후 전력 혹은 난방 등으로 활용) 형태로 신재생 발전의 단점을 보완할 수 있다. Zero emission⁶⁾의 목표를 달성하는 것이 경제성이 아닌 생존의 문제이기에 에너지 구조 변화 과정에서 어쩔 수 없이 많은 비용을 사용하는 점, 반대로 탈탄소화 체제를 선도하면서 관련 산업군을 선점하려는 것이 독일을 비롯한 수소 경제로의 변화를 천명한 대부분의 국가들의 목적이다.

〈독일 수소 경제 5단계 밸류체인 구축〉

단계	주요 기업	주요 기술	비고
생산	Linde Group	메탄(가스)을 고온 수증기로 분해	장점: 낮은 생산단가 & 상용화
	Messer Group	- 그레이/블루 수소	단점: 수소 생산 시 CO ₂ 발생
	McPhy Energy Siemens	재생에너지를 이용한 수전해 - 그린 수소	장점: Zero-emission 단점: 수전해 기술력/재생에너지 인프라 필요
저장	Linde Group	기체	고압으로 안전 운반 가능한 저장용기 개발
	Salzgitter Framatome Hydrogeious	액체	높은 저장밀도, 낮은 폭발위험으로 중요도 증가 액화공정을 위한 플랜트 등 대규모 인프라 투자 필요 타 저장 방식에 비해 전력소모 ^多
	Bayernets ONTRAS OpenGridEuro pe Hy2gen	기체 운송(배관, 튜브트레일러) 액체운송(액화) 액체운송(액상)	파이프라인 배관 기술 필요 액화 시 많은 전력 필요, 온실가스 배출 증가 액상 형태 운송 기술 미약 액상 화합물 저장 기술 필요
충전	Linde Group	액화수소 충전소	저장용기 내부 -250도 유지 저장 기술
	Hydrogeious Salzgitter	수소충전소용 고압 복합용기 수소충전기술	900bar 이상의 고압 복합용기 개발 극저온 액화수소를 순식간에 -40도로 만들어 차량에 주입
	Linde Group proton Bosch Continental	모빌리티 연료전지	(스택)기체 확산층 소재 개발 (운전장치)수소공급장치 내 화학필터, 베어링 등 소재개발 (전장)전력변환장치 소재 개발 촉매제조&소재 개발, 전력변환&제어장치 발전

자료: KOTRA

02 일본(Japan)

일본은 환경문제뿐만 아니라 에너지 안보 강화 차원에서 수소에 주목하고 수소 공급, 저장·운송, 활용 등 전 분야를 아우르는 정책 목표와 추진전략이 담긴 ‘수소기본전략’을 2017년 12월에 채택하였다. 이에 2018년 발표한 ‘제5차 에너지기본계획’을 반영하여 2019년 3월 ‘수소·연료전지 전략 로드맵(3차 개정)’을 발표하였다. 일본의 수소 전략은 기존 화석연료 수준의 수소 가격경쟁력 확보 차원에서 수소 공급 부문에 초점을 두고 있다.

먼저, 탄소 포집·저장 기술을 활용한 해외 미이용 에너지에서 수소를 생산하여 저장·운송하

6) Zero-emission : 환경을 오염 시키거나 기후를 방해하는 폐기물을 배출하지 않는 엔진, 모터, 프로세스 또는 기타 에너지원을 말한다.

는 국제 수소 서플라이 체인 구축을 시도하고 있다. 2015년부터 실증 사업을 진행하고 있는데, 호주에서 남아 버려지는 저품질, 미이용 갈탄에서 추출한 수소를 액화수소로 만들어 운송하는 사업, 브루나이에서는 천연가스에서 개질한 수소를 메틸시클로헥산(MCH) 형태로 변환하여 일본으로 운송하는 사업을 시행하고 있다. 진행 중인 실증 사업 이외에도 러시아와 사우디아라비아, 남미 및 중동 지역에서 수소 서플라이 체인 구축을 위한 협력 가능성을 검토 중이다. 또한, 일본 내에서는 그린 수소 생산 실증사업도 적극적으로 추진 중이다. 2032년 상용화를 목표로 Power-to-Gas(P2G) 기술을 연구하기 위해 2020년 10MW급 수소 생산시설을 갖춘 ‘후쿠시마 수소에너지 연구단지(FH2R)’ 를 구축하고 실증 운영 단계에 돌입하였다.

〈일본 수소기본전략〉

분야	수소 이용의 확대 (~2025년)	대규모 수소공급망 도입 (2020년대 후반~2030년대)	미래지향적 목표 CO ₂ free 수소 사회
저비용 수소 이용의 실현	수소 생산전략: 해외 미이용 에너지 + CCS 기술 수소 수입 국내 재생 수소 생산	2030년 국제 수소공급망 도입 연간 30만 톤 수소 수입 수소 가격:30엔/Nm ³	수소 가격:20엔/NM3 환경가치 포함 기존 에너지원과 동등한 수준의 가격경쟁력 실현
국제 수소공급망	국제수소공급망전략: 효율적인 수소 저장·운송 기술 개발 〈액화수소〉 2020년대 실증연구·운전 〈유기 하이드라이드〉 2020년 기반 기술 확립 2025년 공급망 상용화 〈암모니아〉2020년 중반 활용 시작	〈액화수소〉 2030년경 공급망 상용화	설비의 대형화·고효율화 수소 공급망의 가격 절감을 위한 기반 기술 개발 지속
재생에너지 추출 수소 활용 확대	수전해장치 세계 최고 가격경쟁력 확보(5만엔/kW)	재생 수소 생산기술 확립 2032년 상용화 목표	-
수소발전	2020년 수소발전 발전효율(26% → 27%)	2030년 상용화 비용: 17엔/kWh, 용량:100만kW	가스 화력발전 대체 비용:12엔/kWh, 용량: 15-50GW
수소연료 전지차	〈FCEV〉 4만대('20) → 20만대('25) 〈수소충전소〉 160개소('20) → 320개소('25) 〈수소 버스〉 2020년 100대	〈FCEV〉 2030년 80만대, 자립화 〈수소충전소〉 2020년대 후반 자립화 2030년 900개소 상당 〈수소 버스〉 2030년 1,200대, 자립화 〈지게차〉 2030년 1만대, 수출	수익성 향상으로 주유소 대체 가격경쟁력을 통한 가솔린자동차 대체 대형차량 수소화 ※트럭, 철도, 선박
연료전지	〈에네팜: Ene-farm〉 2020년 자급화 PEFC: 80만엔, SOFC: 100만엔 〈산업용 연료전지〉 발전효율, 내구성 향상	〈에네팜〉 2030년 530만 대	순차적으로 CO ₂ free 수소 활용
산업공정 열 이용	전략: (카본프리) 수소 이용을 목표		

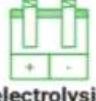
자료: 水素基本戦略, ‘수소연료전지 전략로드맵(2014, 2019)’ 를 참고하여 대외경제정책연구원 작성

03 영국(United Kingdom)

영국은 2050년까지 탄소 배출량을 제로(0)로 줄이는 새로운 법을 채택한 첫 주요국으로 지난 몇 년간 수소에너지 생산 및 수소 기기 상용화에 대한 투자를 지속해왔다. 최근에는 코로나19 여파로 인한 경기침체를 저탄소 경제 활성화를 통해 이겨내고 수소에 대한 적극적 투자 및 국가적 전략 수립을 통해 영국이 수소 분야의 글로벌 리더로 발돋움해야 한다는 의견이 확대되고 있다.

2020년 9월 기준 영국은 지금까지 유럽연합, 독일 등 주변국처럼 범국가적인 수소 전략을 발표한 바가 없다. 다만 정부는 탈탄소 경제 및 녹색경제회복(Green Economic Recovery) 정책의 일환으로 수소 부문에 대한 지원을 꾸준히 해오고 있다. 2020년 7월 존슨 영국 총리는 산업의 탈탄소화를 위해 3억 5,000만 파운드 규모의 투자를 발표했으며, 이 중 1억 3,900만 파운드는 중공업 분야의 탄소 절감 및 블루 수소 개발에 쓰일 예정이다. 2019년 7월에는 산업단지 내 이산화탄소 포집 및 저장(CCS: Carbon Capture and Storage) 기술 및 수소 네트워크 설치를 위해 1억 7,000만 파운드를 투자한 바 있다.

<영국 그린 수소 및 블루 수소>

<h3 style="text-align: center;">Green hydrogen</h3> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>renewable electricity</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>electrolysis</p> </div> </div> <p>재생 에너지원으로 물을 전기분해해 생산한 수소. 생산과정에서 이산화탄소 배출이 없어 블루수소보다 친환경적임.</p>	<h3 style="text-align: center;">Blue hydrogen</h3> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>natural gas</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>steam reforming</p> </div> </div> <p>이산화탄소를 포집해 분리, 저장하는 방식으로 생산한 수소. 탄소 포집 저장기술(CCS)을 활용해 대기 중으로 배출되는 이산화탄소는 없음.</p>
---	--

자료: 영국 의회 수소공동위원회(APPG on Hydrogen)

2020년 6월에는 영국 각 산업의 주요 기업 41개 사가 ‘Hydrogen Strategy Now’ 동맹/캠페인을 구성, 리시 수낙 재무장관에게 범영국 수소 전략(UK-wide Hydrogen Strategy)의 수립을 촉구하는 공개 서신을 보냈다. 해당 서신을 통해 호주, 일본, 한국, 독일 등의 국가적 수소 전략을 언급하며 영국 정부의 즉각 대응을 요구하고 수소 프로젝트 및 관련 일자리 창출에 15억 파운드를 투자할 준비가 됐음을 밝혔다.

2020년 8월 수소 대책위원회(Hydrogen Taskforce)가 발표한 수소 경제 영향 평가 보고서에 따르면 영국은 수소에너지 사용 확대를 통해 2035년까지 180억 파운드 규모의 경제효과 및 7만 5,000개의 일자리 창출 효과를 볼 것으로 전망된다. 특히 풍력발전 시설 및 이산화탄소 포집 저장 시설이 밀집해 있는 북부지역은 제조업 쇠퇴로 인해 경제활동이 상대적으로 저조한데 기존 인프라를 바탕으로 블루 수소 생산 공급망을 구축하면 지역 불균형 해소에 도움이 될 전망이다.

영국 가정 및 사업장의 80% 이상이 가스 파이프라인(그리드)으로 연결돼 있으며, 이 중 99.9%가 문제없이 운영 중이다. 이는 영국이 수소에너지로 전환 시 영국 전역에 안정적이고 효율적으로 수소에너지를 공급할 수 있음을 의미한다. 2016년 영국 북부지역의 가스 공급업체 Northern Gas Networks는 기존 천연가스 인프라의 100% 수소로의 전환에 대한 타당성 연구를 실시, 리즈시의 적격성을 확인했다. 이후 3단계의 연구개발, 위험평가 등을 거쳐 2022년 중반까지 670명을 대상으로 수소에너지 공급을 시범 운영할 계획이다.

영국 정부는 다양한 수소 사업 공모전(Competition)⁷⁾을 실시 중이며, 2020년 2월에는 저탄소 수소 생산 및 유통 프로젝트에 1,300만 파운드를, 4월에는 5개의 프로젝트를 선정해 약 13~16개월간 2,820만 파운드를 투자하기로 했다.

〈2020년 영국 정부 지원 수소 생산·공급 프로젝트〉

프로젝트명	주요 기관/기업	프로젝트 목표	투자 규모(파운드)
HyNet project	HyNet 컨소시움 (Progressive Energy, Essar Oil UK, Johnson Matthey)	Essar Oil사 Stanlow 정유공장에 저탄소 블루 수소 생산 공장 설립 및 북서부지역에 새로운 수소 공급 파이프라인 구축, 매년 탄소 60만 톤 포집·저장 및 수소 3TWh 생산 목표	750만
		유니레버사 Port Sunlight 공장 및 필킹턴사 St Helens 공장에 수소충전소 설치	520만
Dolphyn	ERM	부유식 풍력발전기와 해수를 이용해 그린 수소 생산	312만
Hynet	Progressive Energy	영국 최초의 저탄소 블루 수소 발전소 설립. 생산비 20% 절감이 목표	748만
Gigastack	ITM Power	해상 풍력단지 두 군데에서 생산한 전력을 이용해 저비용 대용량 그린 수소 생산	750만
Acorn	Pale Blue Dot Energy(PBDE)	북해 천연가스로부터 블루 수소 생산 및 CCS 인프라 설치	270만
HyPER	Cranfield University, Doosan	저탄소 대용량 블루 수소 생산·공급 시스템 개발	744만

자료: 영국 기업·에너지·산업전략부(BEIS)

04 한국(Republic of Korea)

2019년 1월, 정부는 수소차와 연료전지를 양대 축으로 세계 최고 수준의 수소 경제 선도국가로 도약하기 위한 ‘수소 경제 활성화 로드맵’을 제시했다. ‘수소 경제’를 혁신성장의 새로운 성장동력이면서 친환경 에너지의 원동력으로 삼아 2040년까지 수소 경제 활성화를 위한 수소 생산·저장·운송·활용 전 분야를 아우르는 정책 방향성과 목표 및 추진전략을 담았다. 로드맵을 차질 없이 이행하면 2040년에는 연간 43조 원의 부가가치와 42만 개의 새로운 일자리

7) Hydrogen Supply Competition, Industrial Fuel Switching Competition 등

를 창출하는 혁신성장의 원동력이 될 것으로 기대하고 있다.

17년 기준 국내 수소 생산능력은 연간 192만 톤, 실제 수소 생산량은 164만 톤으로 정유공장과 화학 업체의 자체 소비량 141만 톤을 제외하면 외부에 유통되는 물량은 약 23만 톤, 12% 수준이다. (에너지 경제연구원, 산업통상자원부 자료) 그 중 수소차 발전 연료전지용 수요는 전체 유통 물량의 절반 수준으로 판단된다. 17년 이후 국내 정유화학업체들의 생산능력 확장으로 수소 생산능력은 약 10~20% 확대되었을 것으로 추정되나 자체 소비량 역시 커졌기에 실제 유통 가능한 수소 생산능력은 25만 톤 내외로 크지 않은 것으로 판단된다.

국내 유통되는 수소의 54%는 NCC⁸⁾ 공정에서 생산되며, 염소 전해조(소금물 전기분해) 23%, 천연가스 개질(SMR) 17%, PDH 5% 순이다. SMR을 제외하면 석유화학 공정에서 나오는 부생가스가 대부분이다. 에너지경제연구원에 따르면 18년 기준 부생 수소 생산 비용은 kg당 1,500~2,000원 수준이며 천연가스 개질은 2,700원~5,100원, 수전해는 9,000원~10,000원(vs. Linde CEO 언급 \$8/kg) 수준으로 추정하고 있다. 수소 유통가격이 유통 형태에 따라 kg당 3,000원~9,000원 수준임을 감안하면 현재는 부생 수소, SMR 방식의 생산만 시장성을 가진다. 수전해 기술 발전이 동반되어야만 국내에서도 그레이 수소가 아닌 그린 수소가 경제성을 갖출 수 있게 된다.

추후 국내 수소 수요는 발전 자가용 연료전지, 수소차 수요 증가로 급증할 것으로 예상하고 있다. 국내 수소 경제 활성화 방안의 계획에 따르면 발전용 수소 연료전지는 18년 315MW 22년 1.05GW 40년 10GW 이상으로 확대될 것으로 예상되고 내수 수소차 보급은 18년 0.9천 대→22년 6.7만 대→40년 290만대로 성장하는 것을 목표로 하고 있다. 정부의 목표가 현실화된다면 필요한 수소량은 18년 13만 톤→22년 47만 톤→40년 526만 톤으로 커지게 된다. 22년 기준 정부가 예상하는 연료전지 수소차 충전용 수소 kg당 6,000원을 대입하면 22년 관련 유통 수소 시장은 2.8조 원에 이른다. 현재 수소차 충전소용 수소 가격은 kg당 8,000원~9,000원 수준이다.

국내 산업용 수소 유통업체 중 최대 생산능력을 보유한 업체는 덕양이다. 19만Nm³/h 생산능력(연 환산 약 14만 톤)을 보유하고 있으며 5만Nm³/h은 자체 천연가스 개질을 통해 나머지 14만 Nm³/h은 부생 수소 정제를 통해 수소를 생산/유통하고 있다. 19년 에스피지 수소로 사명을 바꾼 에스피지케미칼은 덕양에 이은 2위 수소 유통업체로서 약 6만Nm³/h의 생산능력을 보유하고 있다. 덕양과 에스피지의 19년 기준 영업이익률은 9% 수준이다. 추후 수소 사용량이 증가하면 부생 수소 중심의 국내 수소 생산능력은 턱없이 부족하다. 상위 공정인 정유/화학 업체의 생산능력이 급증하지 않는 한 생산되는 부생 수소 역시 한정적이기 때문이다. 따라서 추후 그레이/블루/그린 수소 생산설비 확충이 필수적이며 시간이 갈수록 초기 수소 생산/저장/유통망을 선점한 업체들의 수혜가 커질 수 있다. 유통망을 갖춘 산업가스 업체와 수소 생산 계획을 발표한 업체들을 주목할 필요가 있다.

8) 원유를 상압 증류할 때 200~370°C의 비점 범위 30°C~170°C 정도의 온도 범위에서 얻어지는 경질 유분을 Naphtha라 하는데, NCC는 납사를 분해하여 석유화학의 기초원료인 에틸렌, 프로필렌 등 기초유분을 생산하는 설비를 말함.

미래 수소 경제 선점을 위하여 몇 가지를 제언하자면, 첫째, 수소의 정확한 수요 예측이 필요하며, 이를 기반으로 수소 공급 방안을 모색하여야 할 것이다. 둘째, 단기적으로 수소의 가장 큰 수요처는 수소충전소가 될 것이다. 초기에는 부생 수소를 공급받는 저장식 수소충전소가 많이 보급될 것이나, 장기적으로 수요가 늘게 되면 부생 수소의 공급량 부족, 높은 공급 단가 등의 문제가 예상된다. 중장기적으로 해당 문제점을 타파하여야 할 것이며, 부생 수소의 공급이 어려운 지역에 수소 생산을 위한 거점을 구축하는 것도 필요하다. 셋째, 그린 수소의 공급량을 늘리는 것이 바람직하지만, 이의 확대에는 반드시 경제성이 고려되어야 할 것이다. 넷째, 수소 경제로의 전환을 통해 탄소 배출량 감축이 가능할 것이며, 수소 생산 방법의 결정에는 경제성뿐만 아니라 전 과정 평가를 통한 탄소 배출량 및 에너지 소비량 분석이 동시에 고려되어야 할 것이다. 특정 에너지원이 널리 쓰이기 위해서는 생산, 유통, 활용의 모든 측면에서 경쟁력을 확보해야 한다. 수소 경제의 경제성을 평가할 때, 기술 자체의 경제성과 안전성뿐만 아니라 글로벌 관점에서 지정학적 측면도 고려해야 한다. 종합적인 수소 경제 생태계를 갖추기 위해서는 인프라를 비롯한 막대한 투자가 요구되기 때문에, 각국이 제시하는 로드맵과 해당 정부의 역할을 살펴보는 것이 도움이 될 것이다.

우리나라가 수소 경제를 발전시키고 글로벌 선도국가로 도약하기 위해서는 우리나라가 상대적인 강점이 있거나 발전 가능성이 큰 부분에 대한 선택과 집중이 필요하다. 물론 수소 산업의 모든 부문을 고르게 발전시키는 것이 이상적이겠지만, 현실에서는 사용할 수 있는 자원이 제한되기 때문에 성공 가능성이 큰 부분을 선정하고 지원정책에 집중할 필요가 있다. 또한 대용량 수소충전소 확보, 고압 튜브 트레일러 보급 등의 인프라 구축을 위해서는 정부의 단독이 아닌 관련 기업들이 모두 힘을 모아 민·관 공동으로 대처하여 해결해야 할 것이다.

앞서 살펴본 바와 같이, 수소 경제 생태계가 자리 잡기 위해서는 수소의 생산, 유통, 활용 측면에 균형 잡힌 성장전략이 필요하다. 하지만, 국가 차원에서 이 모든 부문을 동시에 달성하기는 어렵기 때문에 주요국은 현시점에 가진 강점에서 시작하여 전체 수소 생태계로 확장하는 전략을 취하고 있다. 성공적인 수소 경제 생태계의 안착을 위해서 글로벌 협력체계가 작동해야 함은 물론이다. 수소 시대는 이미 시작되고 있으며, 미래의 신재생 수소 사회의 선도적 역할을 수행하고자 관련 기술에 관한 집중적인 연구를 수행해야 할 것이다. 또한 주요국에서 재생에너지 및 수소 경제 생태계 투자의 증가가 기대되는 만큼 우리나라 또한 수소 경제의 빠른 확산 및 지속 가능한 성장을 위해 수소 경제의 경제성 확보에 정책을 우선순위를 두어 경쟁력 확보에 우위를 차지하였으면 한다.

참고문헌

<보고서>

- 수소 경제 실현을 위한 수소·연료전지 관련 핵심기술 개발 동향과 시장·사업화 전망(IRS Global, 2021.1.)
- 신에너지 시대를 여는 수소산업의 성장 가능성과 발전과제(산업연구원, 2016.08.)
- 앞으로 다가올 수소 경제의 미래(한국무역협회, 2020.10)
- 주요국의 수소 경제 추진전략 (안성배, 2020)
- 수소 생산(김기봉, 김태경, 한국과학기술기획평가원, 2021.02.)
- GREEN HYDROGEN(IRENA(International Renewable Energy Agency, 2020.11.)
- ESG 시대, 에너지 대전환(ESG 연구소 X EV/모빌리티팀, 2020.11.)
- 국내외 에너지 전환 전략과 그린뉴딜 시장분석:시장총람(신성장동력산업정보기술연구회, 2021.02.)
- 에너지포커스(에너지경제연구원, 2019.04.)
- 주요국 수소 전략의 추진 방향과 시사점(안성배, 대외경제정책연구원, 2020.08.)
- 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구(이태의, 에너지경제연구원, 2020.12.)

<보도자료>

- 제주, 국내 최초 '그린 수소' 생산.활용 연구 본격 추진(홍창빈 기자, 헤드라인제주)
- 기지개 펴는 '수소경제 시대'모빌리티 중심 개발·논의 속도낸다(이창원 기자, 시사저널e)
- 포스코, 수소 500만 톤 생산체제 구축 '탈탄소 시대' 선도(신석주 기자, 에너지신문)
- 영국 수소 경제 동향 및 전망(KOTRA해외시장뉴스,)
- 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G의 역할(이태의 기자, 월간수소경제)

저자 소개

2021 제7호

수소경제 선점을 위한 수소경제 활성화 대응 전략

작 성	제주테크노파크 정책기획단 산업기획팀		
	오민규 연구원	064-720-2317	ok3455@jejutp.or.kr
기획·자문	제주테크노파크 정책기획단		
	류성필 단장	064-720-2305	rsp0404@jejutp.or.kr
	박수영 팀장	064-720-2306	user111@jejutp.or.kr
	손성민 선임연구원	064-720-2309	sohnsn@jejutp.or.kr
	권철만 선임연구원	064-720-3062	mwater@jejutp.or.kr
	김신영 연구원	064-720-2319	cnyong@jejutp.or.kr

- 본 이슈페이퍼는 필자의 개인적인 견해이며, 제주테크노파크의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

ISSUE PAPER