

**탄소중립 실현을 위한
재생에너지 연계 그린수소(CO₂-free)
생산 선진기술 및 정책연구
(개인과정)**

2022년 6월

산업통상자원부
정가영

목 차

| | |
|-----------------------------|----|
| ◇ 국외훈련개요 | 1 |
| ◇ 훈련기관개요 | 2 |
| ◇ 요약 | 3 |
| | |
| 제1장. 연구배경 | 5 |
| 가. 수소의 분류 | 7 |
| 나. 탄소중립을 위한 수소산업 생태계 | 10 |
| | |
| 제2장. 우리나라 수소산업 | 14 |
| 가. 정부 정책 및 예산 동향 | 14 |
| 나. 보급 및 기술개발 | 20 |
| 다. 민간기업의 투자현황 | 28 |
| | |
| 제3장. 해외의 수소산업 | 30 |
| 가. 주요국의 정책수립 | 30 |
| 나. 주요국의 기술개발 | 36 |
| 다. 그린수소 시장 및 생산기술 | 39 |
| 라. 영국의 정책수립 | 42 |
| 마. 영국의 수소생산 기술 | 50 |
| | |
| 제4장. 그린수소 생산 경쟁력 강화방안 | 52 |
| | |
| ◇ 참고문헌 | 56 |

<국외훈련 개요>

1. **훈련국** : 영국
2. **훈련기관명** : Imperial college
(Energy Futures Lab)
3. **훈련분야** : 에너지·환경
4. **훈련기간** : 2021. 12. 20. ~ 2022. 6. 16.

<훈련기관 개요>

| 명 칭 | 임페리얼 대학교 (Imperial College) | 훈련기관 성 격 | 대학 |
|---------------|---|-------------|----|
| 소재지 (홈페이지) | Exhibition Rd, South Kensington, London SW7 2BX (http://www.imperial.ac.uk) | | |
| 연 혁 | <ul style="list-style-type: none"> · 1907년 이공계와 의학에 중점을 둔 대학교로 설립되어, 2007년에 런던대학교에서 탈퇴하여 Imperial College London으로 독립 · 자연과학, 공학, 의학, 경영학 분야 특화 연구중심 대학교로 40여개의 학과와 연구기관으로 이루어져 있음 | | |
| 조 직 | <ul style="list-style-type: none"> · Nuclear Engineering Division, Energy System Division 등 · Energy Futures Lab에서 에너지, 환경 문제에 대해 연구중 | | |
| 주요교수 | <ul style="list-style-type: none"> · Professor Stephen Skinner <ul style="list-style-type: none"> - 탄소제로 경제를 위한 영국 Ceres Power社 연구책임자 - 수전해 기술을 위한 고온 전해질 개발 등 참여중 · Professor Anthony Kucernak <ul style="list-style-type: none"> - Faculty of Natural Sciences, Department of Chemistry 소속 - 물리화학 교수, 연료전지 시스템 연구 | | |

| | | | |
|------|--|--------|------------------------------|
| 성명 | 정가영 | 직급 | 6급 |
| 소속 | 산업통상자원부 | | |
| 파견국가 | 영 국 | 교육기간 | 2021. 12. 20. ~ 2022. 6. 16. |
| 교육기관 | Imperial college | 교육구분 | 단기 |
| 교육목적 | 탄소중립 실현을 위한 재생에너지 연계 그린수소(CO ₂ -free) 생산 선진기술 및 정책연구 | 보고서 매수 | 56매 |
| 내용요약 | <p>1. 연구배경</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 전 세계적인 기후변화의 심각성 인식에 따라 주요국의 탄소 중립 선언이 가속화되는 중. 국내도 탄소중립을 선언하고 적극적으로 에너지 전환 정책 추진중 - 수소는 친환경에너지임과 동시에 재생에너지의 단점을 보완할 수 있으며, 산업 전반에 걸쳐 활용될 수 있는 에너지로, 전후방 파급효과가 큰 혁신산업 ○ 수소는 생산 방식과 생산 과정의 이산화탄소 배출 여부에 따라 그레이수소, 블루수소, 그린수소 등으로 구분되며 탄소중립 목표 달성을 위해서는 CO₂ 배출이 없는 그린수소의 생산·활용 시기를 앞당길 필요 - 수소산업은 생산 - 저장 · 운송 - 활용, 안전 · 환경의 전주기 과정에서 새로운 산업 생태계 구축은 물론, 다양한 타 산업과도 연계되므로 그린수소 산업 생태계는 탄소중립에서 매우 큰 비중을 차지할 수 있음 <p>2. 국내 수소산업</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 수소경제 활성화 로드맵('19)을 시작으로, 수소경제 이행 기본 계획을 발표('21)하고 수소의 생산, 인프라, 활용, 생태계 기반 강화 분야의 구체적인 전략을 수립 | | |

- 정책 뒷받침을 위해 보급, 기술개발 등의 예산을 확대 중이며 '22년 전부처 수소 관련 사업 예산은 1조 3,400억원 규모로 최근 5년간 약 10배 증가
- '21년 2만여대의 수소차, 120대 이상의 수소버스, 170기의 수소충전소, 약 40여대의 수소드론, 767MW의 연료전지가 보급되었고, '22년에는 더 확대될 전망
- 수소 활용 분야 기술개발 수준은 높으나, 청정수소 생산 기술 수준은 해외와 기술격차가 크게 존재하며 '22년 대규모 실증 프로젝트를 추진하여 한국형 그린수소 생산 모델 발굴 예정

3. 해외 수소산업

- 주요국의 정책수립 방향은 탄소중립 확대를 위한 수소에너지의 핵심적인 역할에 집중, 특히 경제적인 그린수소 생산을 위해 기술력을 확보하고 활용처를 확대하는 등 지원 방안 모색중
- 그린수소 시장은 연평균 20% 이상 성장률을 보일 것으로 전망, 세계 각 국에서 도전적인 그린수소 생산 목표를 제시중
- 영국은 '50년에 에너지 소비의 20~35%를 수소가 차지할 것으로 전망하며, 풍부한 재생에너지의 이점을 활용하여 '30년 5GW의 저탄소 수소 생산 능력을 갖출 계획, 이에 따라 지역별 · 기업별로 수많은 프로젝트가 진행 중

4. 그린수소 생산 경쟁력 강화방안

- 국내는 수소 모빌리티 보급 속도가 가장 빠르지만, 그린수소 생산을 위한 기술적 · 제도적 측면은 미비한 상황
- 기 추진중, 준비중인 사업의 부족한 부분을 부가적인 효과 창출을 위한 기회로 전환할 필요
- 청정수소 인증 제도화, 그린수소 프리미엄 제공을 위한 정책 마련, 적극적인 기술개발이 필수적이며, 특히 국내 재생에너지 여건 고려시 불가피한 수소의 해외 수입을 주도하기 위해 관련 소재부품의 혁신적인 기술개발에 집중 투자 필요

제1장. 연구배경

전 세계적으로 기후변화의 심각성에 대한 인식이 확대됨에 따라 '19.9월 UN 기후정상회의 이후 121개 국가가 기후목표 상향동맹에 가입하였고, 주요국의 탄소중립 선언이 가속화되고 있다.

탄소중립을 위한 '에너지 전환'은 기후변화에 전략적으로 대응하면서 미래 세대의 지속가능한 성장을 가능하게 하는 시대적 과제으로써, 국내도 '20.10월 2050 탄소중립을 선언하고 '21.3월 탄소중립 기술혁신 추진전략을 수립하는 등 적극적인 에너지 전환 정책을 추진하고 있다. 특히 이를 달성하기 위한 구체적인 실행 방안으로써 탄소중립 기술혁신 추진전략의 10대 기술 중 하나인 수소에너지에 집중하고 있다.

친환경에너지는 태양광, 풍력, 지열 등 다양하지만, 보급이 가장 많이 이루어진 재생에너지는 설비 투자비가 과도하고 지역·계절에 따라 충분한 자원 확보가 어렵다는 한계점이 있다. 그러나 수소에너지는 연소 시 CO₂를 발생시키지 않는 친환경 에너지임과 동시에 지역적인 편중 없이 수요처 인근에서 생산이 가능하므로 재생에너지의 단점을 보완할 수 있다.

특히 물을 전기분해하는 수전해¹⁾ 공정으로 수소를 생산할 때, 사용되는 전기를 재생에너지 발전과 연계할 경우 CO₂가 발생하지 않으며 발전된 전기를 수소로 변환해 저장·운송에도 사용이 가능하다.

이 경우 재생에너지의 변동성을 줄여 전력계통의 불안정성을 해소하고 전력 손실을 최소화하는 등 문제점을 해결할 수 있으며, 시간별·계절별로 발생하는 에너지수요 편차에 의한 수급 불균형을 해소할 수 있다는 장점이 있다.

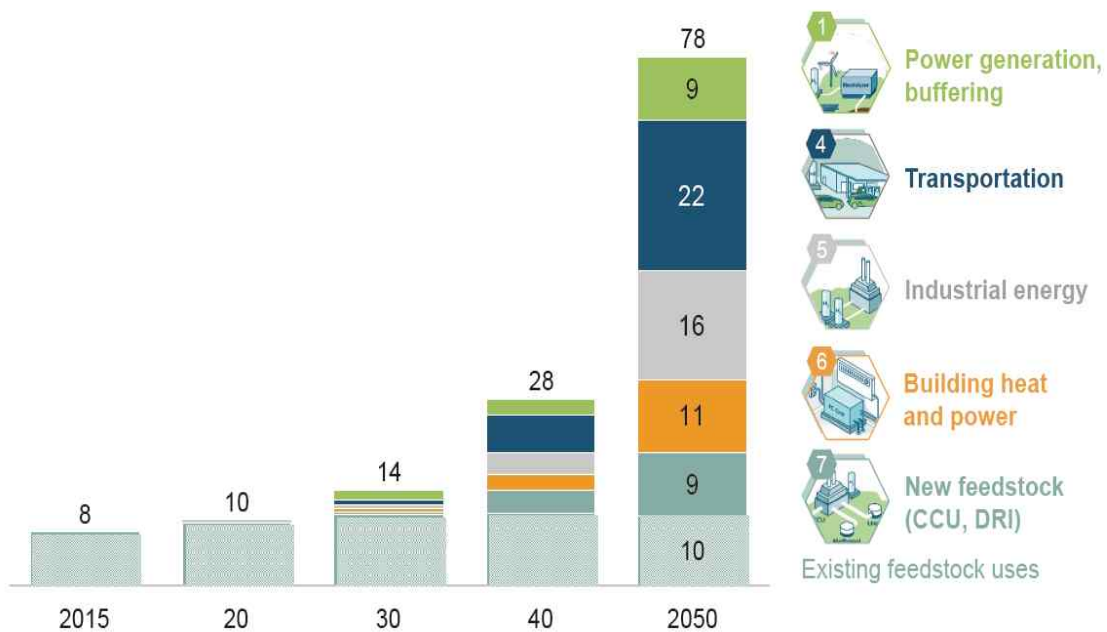
또한 수소에너지 분야는 전 세계적으로 성장초기단계로써 발전, 에너지 저장, 수송용 모빌리티, 산업공정 등 산업 전반에 걸쳐 활용될 수

1) 수전해: 물을 전기분해하여 수소와 산소를 생산($H_2O \rightarrow H_2+O_2$)

있는 에너지이므로 전통 산업의 전환을 유도할 수 있으며, 향후 에너지 차원을 넘어 산업적 차원에서 전후방 파급효과가 큰 혁신산업이 될 수 있다는 의미를 지닌다.

수소위원회²⁾는 세계 수소 수요가 ‘15년 5,600만톤에서 ‘50년 5억 44,600만톤까지 증가할 것으로 예측하고 있으며 다양한 영역에서 신산업 창출이 가능한 분야로 전망하고 있다.

< 세계 수소 수요 전망(단위 : EJ(7Mton))>



자료) Hydrogen Council(2016)

특히 세계 각 국은 탄소 배출량 증가에 대한 환경 문제와 결합하여 그린수소 정책을 확대·추진하고 있으므로 그린수소 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상하고 있다.

2) 수소위원회: 2017년 다보스포럼 중에 발족한 국제적 기업의 CEO로 구성된 집단, 수소·연료전지 분야의 개발 및 상용화에 대한 투자 및 정책 지원을 목표로 함

가. 수소의 분류

수소는 물이나 메탄 등 안정화된 화합물 형태로 존재하기 때문에 생산할 수 있는 화학공정이 다양하다. 따라서 생산 방식에 따라 부생수소³⁾, 추출수소⁴⁾, 수전해수소 등으로 분류된다. 현재 모빌리티 및 발전용 연료전지는 가격 경쟁력을 확보하기 위해 대부분 부생·추출 수소를 사용하지만, 생산 과정에서 이산화탄소 배출을 수반한다는 문제점이 있다.

최근에는 생산 방식 및 생산 과정의 이산화탄소 배출 여부에 따라 그레이수소, 블루수소, 그린수소 등으로 분류하고 있다.

< 수소의 분류 >

| 수소의 종류 | 정의 |
|-----------|--|
| 갈색·검은색 수소 | 갈탄 및 석탄을 가스화해 생산하는 수소 |
| 그레이수소 | LNG 등 화석연료로부터 추출되는 수소로, 생산과정에서 이산화탄소 배출을 동반하는 수소 |
| 블루수소 | 그레이수소 생산 과정에서 배출되는 탄소를 포집·저장·활용하여 온실가스 배출을 줄인 수소 |
| 핑크수소 | 원자력 에너지로 구동되는 전기분해를 통해 생성되는 수소 |
| 그린수소 | 태양광, 풍력 등 재생에너지 전력을 활용, 물을 전기분해하여 생산된 수소 |

환경적인 측면에서 수소경제 이행 필요성을 고려할 때, 청정수소 공급 확대는 필수적이다. 국내 2050 탄소중립 목표 달성을 위해서는 이

3) 부생수소: 정유·석유화학, 제철 공정 등에서 부산물로 생산되는 수소

4) 추출수소: 천연가스 등 탄화수소계 화석연료를 활용하여 화학반응을 통해 생성된 수소

산화탄소가 배출되는 그레이수소가 아니라 그린수소 생산·활용 시기를 앞당기고 활용 분야를 확대할 필요가 있다.

따라서 정부는 단순히 수소의 생산방식이나 이산화탄소 배출 여부가 아닌 수소의 생산 및 제조 등 전 과정의 이산화탄소 배출량을 분석(LCA 평가⁵⁾)하여 적게 배출하는 수소를 인증하고 인센티브를 차등 지원하기 위한 청정수소 인증제 수립을 준비 중이다.

앞서 수소인증제를 마련 중인 EU의 사례를 살펴보면, 수소의 원재료 획득과정부터 수소 제조단계까지 전 과정의 온실가스 배출량을 확인하여 그린수소 및 저탄소 수소를 분류하고 있다.

‘14년부터 시작된 EU의 인증제도 설계 제도는 그린수소의 정의를 구체화하고 인증을 위한 거버넌스 체계 구축 및 과정·절차 설계, 인증제 운영기구 설립 및 규정·표준 등록 순서로 마련되었다.

또한 이를 검증하고 EU 전체로 확대하기 위해 CertifHy 프로젝트를 시범으로 운영 중이며, 시범사업을 통해 ‘18년에는 최초로 수소 원재료 보증서를 발급하였다.

인증 자격을 획득하기 위한 수소 생산 장치는 특정 기간 동안 생산 수소의 전과정 온실가스 배출량이 기준치 이하여야 한다. 이때에 생산된 수소에 대해 재생에너지를 활용한 경우 그린수소로 인증, 재생에너지 활용하지 않은 경우는 저탄소 수소로 인증한다.

중국과 일본에서도 청정수소 인증제 도입을 위해 제도를 마련하고 있으며, 마찬가지로 전과정 평가를 활용한 온실가스 배출량을 기반으로 인증서를 발급할 계획이다.

5) LCA(Life Cycle Assessment): 제품 또는 시스템의 모든 과정에 걸친 투입물과 배출물을 정량화하고 이와 관련된 잠재적 환경영향을 총체적으로 평가하는 환경영향평가 기법

중국은 ‘20년 중국 청정수소 인증제 도입을 위해 평가 방법 및 국가 표준을 최초로 제정하였다.

< 청정수소 등급 관련 해외 동향 >

| 국가 | 등급 | 주요내용 |
|----|-----|---|
| EU | 2단계 | · 그린수소(재생에너지 활용), 저탄소 수소(CO ₂ 60% 이상 감축) |
| 중국 | 3단계 | · 재생수소(재생에너지 활용), 청정수소, 저탄소수소 |
| 일본 | 4단계 | · 재생에너지 구분 없이 기준 배출량 대비 감축률에 따라 등급 인증 |
| 미국 | 5단계 | · CO ₂ 발생량 기준 |

수소 생산방식이나 저장·운송 방식이 다양한 만큼 수소생산 전과정 평가 방식, 인증기준 마련, 인센티브 부여 방안 등 정교한 제도설계가 요구된다.

인증제도 수립시 체계적인 분류 및 정책 지원을 통해 그린수소를 정의하고 활용을 촉진할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 탄소중립을 위한 수소산업 생태계

수소산업의 전주기를 살펴보면, 기존 탄소경제 중심에서 수소경제로 패러다임을 전환하는 것의 경제적·환경적인 파급효과에 대해 확인할 수 있다.

수소는 에너지의 생산 - 전달 - 소비의 전주기에 활용이 가능하기 때문이다. 실제로 발전, 저장, 수송, 산업공정 등 산업 전반에서 다양하게 활용될 전망이며 이에 따라 수소 시장규모도 크게 성장할 것으로 예상되고 있다.

<수소 시장규모 전망>

| 구분 | 기준년도 | 시장규모 | 전망기관 |
|----|------|---------|------------|
| 세계 | 2050 | 12조불 | 골드만삭스 |
| EU | 2030 | 1,623억불 | EU 집행위 |
| 미국 | 2050 | 7,500억불 | 美연료전지·수소협회 |
| 한국 | 2050 | 590억불 | Mckinsey |

수소산업을 구체적으로 살펴보자면 크게 ‘생산 - 저장·운송 - 활용, 안전·환경’ 단계로 나뉘는데 각각의 단계마다 새로운 산업 생태계를 구축함은 물론 다양한 타 산업과도 연계된다.

(생산) 수소를 생산하기 위해서는 앞서 살펴본 LNG 개질, 재생에너지 수전해 방법 이외에도 쓰레기 매립장에서 발생하는 바이오가스에서의 추출, 폐자원 활용, 해양미생물을 이용하는 등 다양한 방법이 있기 때문에 각 분야 산업의 발전을 유도할 수 있으며 CO₂가 발생하는 생산방식의 경우, 이를 포집하는 CCUS산업과 연계가 가능하다.

특히 재생에너지 수전해의 경우 전력계통 안정화에 기여하므로 장기적으로는 전력 수요에도 대응이 가능하다.

(저장·운송) 안정적이고 경제적인 방법으로 수소를 저장·운송하기 위한 단계이다. 액화 상태로 해외에서 수소를 도입하기 위한 액화수소⁶⁾ 운송선의 선박산업과 연계가 가능하며 암모니아 분해 방식⁷⁾, 액상화합물 수소저장 방식⁸⁾, 전국 네트워크 확대가 가능한 수소배관 등 다양한 분야에서 산업 생태계 구축이 가능하다.

(활용) 자동차, 버스, 트럭, 지게차, 드론 등 다양한 모빌리티에 수소를 활용할 수 있기 때문에 화석연료를 사용하는 기존 모빌리티 전통산업에서의 전환이 가능하다.

다양한 모빌리티에 수소를 충전하기 위한 충전소 설치, 저장탱크 구축·운영 및 부품산업까지 산업생태계가 확대될 수 있다. 또한 연료전지, 수소가스터빈 등 발전 분야의 부품산업 성장은 물론 철강산업, 시멘트 산업 등 타 산업공정에서의 수소 활용도 가능하다.

(안전·환경) 수소를 안전하게 생산·공급·활용하기 위한 제품의 표준 제정 및 인프라에 대한 안전기준 마련, 인증 제도 이행, 안전 검사설비 등 분야에서도 관련 기업의 성장과 시장 확대를 유도할 수 있다.

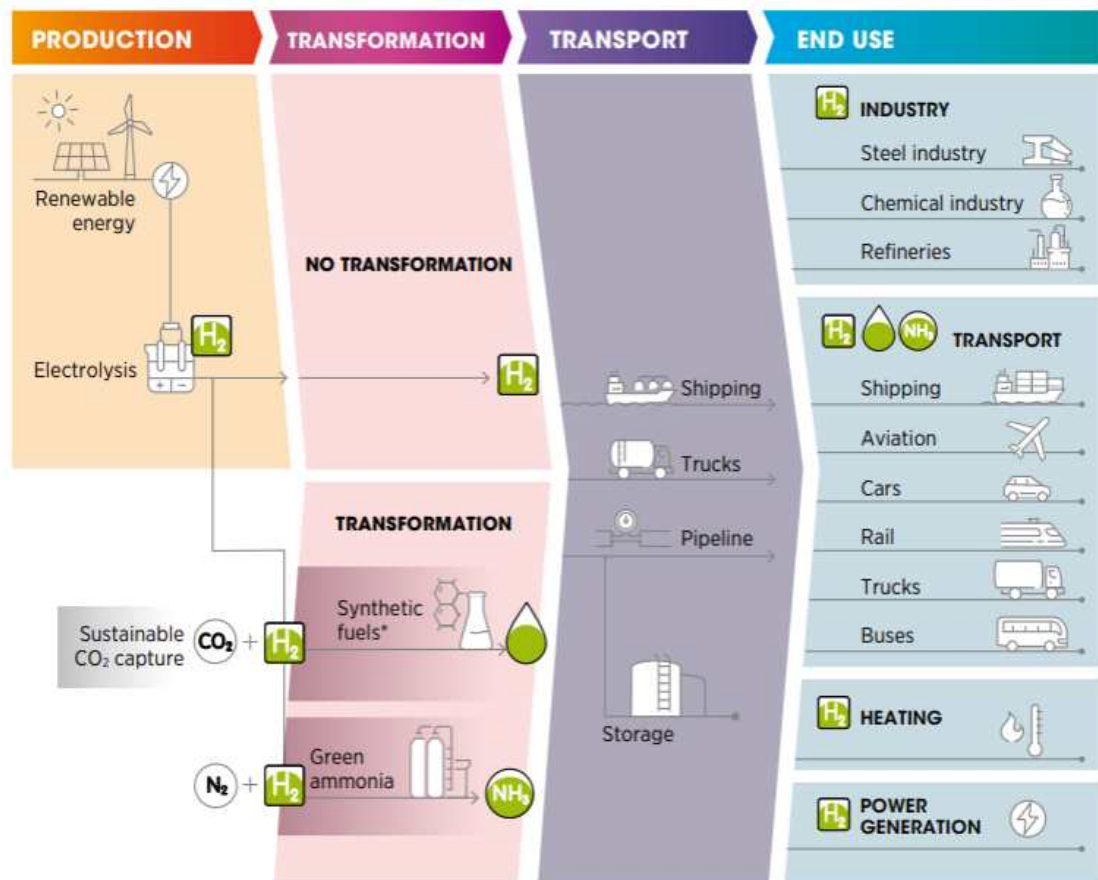
이 밖에도 기술개발 및 전문인력 양성, 안전관리자 육성, 글로벌 협력 등 추가적인 산업 생태계를 고려할 수 있다.

6) 액화수소: 기체상태의 수소를 -253°C 의 온도에서 액체 상태로 만든 것

7) 암모니아 분해 수소 추출: 암모니아에서 공정을 통해 수소를 추출 ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2$)

8) 액상화합물: 액체 상태의 유기화합물에 수소를 결합시켜 저장하여 운송 후 수소를 추출

< 그린수소 생산 및 에너지 시스템에서의 활용 >



이렇듯 수소산업 생태계는 직·간접적으로 국내 신산업 창출과 경제성장에 기여할 수 있으며, 지하매장 자원을 활용하는 기존 화석연료와 달리 지역적인 제한이 없이도 생태계를 구축할 수 있으므로 국내 기술 확보시 에너지 안보 강화가 가능하다는 측면에서도 중요성을 지닌다.

또한 환경적인 부분에서도 향후 재생에너지와 연계한 그린수소가 다양한 방식으로 저장·운송되어 수많은 종류의 모빌리티에 충전되고, 전기와 열을 생산하는 발전분야에 활용된다면 수소산업 생태계는 탄소 배출량 0을 달성하는 새로운 에너지 패러다임에도 기여할 수 있을 것이다.

특히 전 세계적으로 과거에는 수소자동차 등 수송 중심으로 논의되었던 반면, 최근에는 경제 전반에서 활용할 수 있도록 확대되어 논의 중이다. 탄소 배출량을 줄이기 어려운 부문에서도 중요한 대안으로써 수

소가 부각중이며, 신시장에서 주도권을 확보할 수 있는 기회로 자리잡고 있다.

수소에서 암모니아, 메탄올 등 다른 형태로 전환하는 것도 광범위하게 포함하여 논의 중이며, 수소 활용처 확대는 그린수소 관련 밸류체인에 시너지효과를 일으켜 단가 저감에 기여할 것으로 예상된다.

결과적으로 CO₂가 발생하지 않는 재생에너지 연계 그린수소 생산과 활용을 선도하는 정책 방향은 국가 에너지 자립도 향상에 기여할 수 있는 신산업임과 동시에 탄소중립 실현을 통한 기후변화위기에 대응하는 최적의 솔루션이라고 할 수 있다.

제2장. 우리나라의 수소산업 현황

가. 정부 정책 및 예산 동향

국내는 2050 탄소중립 목표를 설정하기에 앞서, '19년 수소경제활성화 로드맵을 시작으로 후속 대책을 발표하며 수소경제 조기 활성화를 유도하고 있다.

'19.1월 수소경제활성화 로드맵 발표 이후 수소경제 표준화 전략 로드맵, 수소인프라 및 충전소 구축방안, 수소 안전관리 종합대책, 수소 기술개발 로드맵 등을 마련하였으며, '20.2월 수소법 제정 이후 '20.7월에는 제1회 수소경제위원회를 개최하여 수소산업 생태계 경쟁력 강화방안을 발표하고 주요 정책에 대해 범부처간 심의·의결하였다.

특히 '21.11월에는 수소법 제5조에 근거한 제1차 수소경제 이행 기본계획을 발표하여, 청정수소경제 선도를 목표로 청정수소 생산 및 인프라 구축, 생태계 기반강화에 대한 전반적이고 구체적인 전략을 수립하였으며 대표적인 추진과제는 다음과 같다.

(생산) 현재 국내는 이산화탄소가 발생하는 부생·추출수소 중심으로 수소 공급이 확대되고 있으나, 그린·블루수소 생산·도입을 위한 인프라가 부족하고 해당 기술은 선도국 대비 기술격차가 크다.

따라서 대규모 생산 기반 구축을 통한 생산 단가 3,500원/kg의 목표 달성을 위해 '30년까지 MW급 그린수소 생산을 실증할 예정이다. 이를 위한 구체적인 추진 과제로 대용량 수전해 스택 기술 및 수전해 효율·수명 향상 기술개발, 주변 설비의 부품 가격 저감을 통한 저비용화를 중점 추진 목표로 제시하고 있다.

또한 수전해 기술개발과 함께 그린수소 경제성 확보를 위해 수전해 인프라 설치 보조, 수전해에 사용되는 전기요금 관련 제도 정비 등 제도적 지원도 목표로 하고 있다.

‘22년에는 신규 예산 지원을 통해 국내 기업의 수전해 시스템 최적 운전 경험 및 그린수소 생산 경제성 데이터 등을 축적하여 그린수소 생산 기술력 향상을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

탄소중립 목표 달성을 위한 그린수소 생산·활용량은 해외 청정수소 도입이 불가피하며, 이미 세계 각 국은 호주·중동 등을 중심으로 수소 생산 프로젝트를 추진하고 글로벌 공급망을 구축하기 위해 치열하게 경쟁 중이다.

잠재적인 수소생산·수출국을 대상으로 타당성 검토를 거쳐 협력 국가를 선정하고 국내 기술을 활용한 해외 청정수소 생산 시범사업까지 기업을 지원하는 등 ‘50년 해외수소 공급망 40개 구축을 목표로 하여 에너지 자급률도 확보할 계획이다.

(인프라) 현재 국내 수소 유통 인프라는 충전소를 중심으로 보급되고 있으나, 운영비 경감 등을 통한 보급 가속화가 필요하며 장거리·대용량 운송을 위한 액화·액상 기술은 조속한 기술 격차 해소가 필요한 상황이다. 따라서 항만, 배관활용 등 중장기적인 수소 유통 인프라 구축을 위한 목표를 제시하고 있다.

우선 선박, 항만 하역장비 등 오염물질 다배출 모빌리티를 수소 기반으로 전환하기 위해 관련 기술을 개발하고 인센티브 및 규제 제도를 신설하여 활성화를 유도할 계획이다.

또한 액화, 액상 등 다양한 수소 저장형태의 유통을 지원하기 위해, 수소액화플랜트를 조기에 구축하고 출하센터, 충전소 등 유통과정 전반을 지원할 예정이며, 관련 기술 확보도 지속 추진한다.

이와 동시에 국내 거점을 기반으로 수소 생산지역과 연계된 배관망을 구축하며, 현재 인프라가 완비된 LNG 배관에 수소 혼입 가능여부를 실증하고 안전성을 확보하여 수소 공급을 확대해 나갈 예정이다.

액화수소 및 트레일러, 배관 등을 통해 유통되는 수소는 수소거래소 및 전주기 유통정보 통합관리 플랫폼 등 구축과 정량검사 장비 개발·검사를 추진하여 수요에 맞는 공급물량 확보 및 소수독점에 의한 가격 급등을 방지하는 등 빈틈없는 수소 유통 인프라 구축 목표를 제시 중이다.

< 단계별 수소 배관망 구축 로드맵 >

| 2025년 | 2030년 | 2050년 |
|--|------------------------|---------------|
| | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 부생수소 생산설비 ● LNG 터미널 ● 추출+CCU ● 중대규모 생산기지 ● 규제특구 ● 수소 클러스터 ● 수소 시범도시 ● 지역배관망 ● 공급인프라(E) | | |
| 수소항만·수소도시·산업단지 등을 중심으로 거점화 | 거점지역 기반 확대 LNG 배관망과 연결 | 5개 권역별 배관망 구축 |

(활용) 수소차, 연료전지 보급은 세계 최고 수준의 성장세를 보이고 있으나 발전·수송·산업 전반의 수소 활용 및 신규 시장수요 확대를 통한 수소 활용 생태계 조성이 요구된다.

우선 발전 분야에서는 연료전지의 특성을 고려하여 분산 자원으로의 역할이 강화될 수 있도록 수요지 인근으로 설치를 유도하며, LNG 터빈에 수소를 혼소하여 탄소 저감을 유도할 계획이다.

특히 발전에 사용되는 수소를 청정수소로 전환할 수 있도록 청정수소 발전 의무화 제도를 도입할 예정이다.

모빌리티는 세계시장 선도를 목표로, ‘28년 내 수소상용차까지 전 차종에 대한 생산능력을 확보하기 위해 수소버스 대량 보급, 공공분야 수소청소차, 트럭 등 지원 강화 계획을 제시하고 있다. 이와 함께 승용차·상용차의 내구성과 주행거리를 확보하기 위한 기술개발을 지속 추진하여 글로벌 시장 선도를 유도하며 구매보조금, 연료비용 보조 등 정책 지원을 통해 가격경쟁력을 확보할 계획이다.

산업 분야의 수소활용 기반을 마련하기 위해서는 신규·노후 산단을 중심으로 수소 연료 사용을 유도하는 수소 산단을 조성하고, 석유화학 공정에 사용되는 연료를 수소로 대체하며 철강 산업에서도 수소환원제철 공정으로의 전환을 추진하는 등 산업 전반에서 수소가 활용될 수 있도록 구체적인 계획을 제시한다.

(생태계 기반 강화) 수소산업 전주기의 확장과 생태계 기반 강화를 위해서는 수소에 대한 대국민 인식 전환 및 중소·중견기업 기술 혁신, 수소전문 인력양성 등 정책기반을 통한 저변 강화가 필요하다.

수소에 대한 대국민 인식 전환을 위해 ‘22.2월 민-관 합동 ‘수소경제 홍보협의회’를 발족하였으며, 정확한 정보를 전달하고 이를 교육·홍보하기 위해 유튜브 등 다양한 미디어 플랫폼을 활용한 콘텐츠를 제작·배포하여 수소 경제 홍보를 추진 중이다.

또한 ‘22년도에는 수소사업 매출액, R&D 투자액을 기준으로 하여 수소전문기업 30개를 발굴·육성하고 수소전문기업의 기술사업화, 판로 개척 등을 지원하여 수소기업의 혁신을 통한 수소산업 생태계 육성에 투자할 계획이다.

‘22.2월에는 수소법의 안전 분야 시행을 통해 수소용품에 대한 제조허가·등록제도·안전 검사가 실시되어, 수소생산시설과 수소모빌리티 등의 안전성이 향상될 전망이다.

9) 청정수소발전의무화제도(Clean Hydrogen energy Portfolio Standards): 기존 신재생에너지 발전 의무화 제도에서 수소발전을 분리하여 수소발전에서 청정수소의 사용을 촉진하는 제도

생태계 기반 강화를 뒷받침하기 위한 전문 인력 양성을 위해서는 수전해 설비 개발을 위한 전문 대학원 과정을 개설하는 등 전 주기에 따른 인력 양성 교육과정 및 프로그램을 개발할 계획이다.

(예산) 정부는 이러한 정책을 뒷받침하기 위해 보급, 기술개발 등의 예산을 확대해 나가고 있다. 전부처 수소관련 사업 예산은 '18년 1,027억원 규모에서 '22년 1조 3,400억원 규모로 5년간 약 10배 증가하였으며 특히 기술 개발 분야는 '18년 660억원 규모에서 '22년 3,212억원으로 약 5배 증가하였다. 이는 세계 수소시장을 선점하기 위한 보급 확대와 기술 확보의 중요성과 동일한 의미를 지닌다.

< 최근 5년간 부처별 수소예산 >

(단위: 억원)

| 구분 | '18년 | '19년 | '20년 | '21년 | '22년 |
|-----|---------|-------|-------|-------|--------|
| 산업부 | 638.2 | 1,164 | 1,823 | 2,821 | 3,049 |
| 과기부 | 81.3 | 210 | 245 | 288 | 261 |
| 국토부 | 9.6 | 194.5 | 519.5 | 907.5 | 828.8 |
| 환경부 | 298.4 | 2,265 | 3,177 | 4,416 | 8,958 |
| 해수부 | - | - | 37.4 | 212.4 | 311.4 |
| 합계 | 1,027.5 | 3,834 | 5,802 | 8,644 | 13,408 |

수소의 활용 측면에서는 초기 예산이 수소차 위주의 보급·기술개발 중심이었던 반면 최근에는 상용차(수소버스, 수소트럭) 등 다양한 종류의 모빌리티로 확대되고 있으며, 산업 분야에도 수소 활용을 확대하기 위해 발전용 가스터빈 등에 수소를 혼소하는 기술을 개발 중이다.

수소의 저장 및 운송은 민간 주도의 액화수소 도입이 본격화되면서 관련 소재·부품의 국산화는 물론 안전과 관련된 기술개발, 검사 관련 기반 구축 사업이 추진 중이다.

또한 해외 청정수소 도입에 대비하여, 친환경 수소선박 및 암모니아 수소 추출 기술 등 국내 기술 확보를 위한 기술개발 사업이 진행 중이다.

특히 최근 본격적으로 수소 생산과 관련한 예산이 확대되었는데, 수소생산기지 구축 등 안정적인 모빌리티 운영을 위한 추출수소 생산 지원을 시작으로 부생수소 출하센터 지원 등 생산을 확대해나가고 있다.

‘20년 이후에는 그린뉴딜과 탄소중립 목표 수립에 따라 소재·부품의 기술개발에 이어 수전해 제품의 실증, 재생에너지 연계형 그린수소 생산 등의 관련 예산이 확대되었으며, 초기 그린수소 시장을 위해 보급·기술개발을 가속화할 전망이다.

(국제협력) 국내는 수소경제 구현을 위한 국가간 협력 촉진을 위해 ‘03년도에 설립, 22개국이 참여하고 있는 IPHE(국제 수소 연료전지 파트너십)에 참여하여 수소 국제 교역을 위한 연구를 시행하고 정보를 공유하고 있다.

또한 ‘19년 설립, 23개국이 참여 중인 CEM H2I(청정에너지 장관회의 수소이니셔티브)의 개최에 참여하여 수소에너지 확대를 위한 공동 연구를 진행하고 있다.

특히 모빌리티를 강점으로 수소경제를 주도하는 만큼, 국제사회에서 국가간의 MOU를 체결하고 협력 중이다. ‘21년에는 한-호주 수소협력 LoI를 체결하여 양국의 협력분야를 도출하였으며, 한-UAE 수소경제 협력 MOU, 한-칠레 저탄소 수소협력 MOU, 한-호주 청정수소경제 협력 MOU 등을 체결하였다.

나. 보급 및 기술개발

(보급) 이러한 정책 수립과 예산 확대에 따라, 국민이 체감할 수 있는 모빌리티 등 활용분야를 중심으로 보급이 지속적으로 확대되고 있다.

우리나라 수소경제 확산을 주도하는 모빌리티의 경우, 수소차는 수출을 포함하여 ‘18년 1,829대에서 ‘21년 23,035대까지 보급이 확대되었다. 이에 따라 수소충전소도 ‘18년 14기에서 ‘21년 170기가 설치되었다.

‘22년에는 정부 보조금 기준 27,650대의 수소차, 172기의 수소충전소가 추가로 보급될 예정이다.

수소차는 국내뿐만 아니라 해외 수출도 증가중이며, ‘18년에 넥쏘 모델이 출시된 이후 ‘20년에는 넥쏘의 글로벌 수소차 시장 점유율이 70% 이상을 달성하는 등 한국이 세계 시장을 빠르게 선도하고 있다.

모빌리티 분야에서는 자동차뿐만 아니라 수소드론, 수소건설기계(지게차, 굴착기 등), 수소버스 등의 개발 및 보급도 이루어지고 있다.

산업용 드론 시장은 다양한 미션을 수행하기 위해 체공시간이 길게 요구되므로 수소에너지 사용이 증가할 것으로 전망된다. 수소드론은 배터리 대비 에너지 밀도가 높으므로 비행시간이 4~5배 향상된 2시간 이상의 비행이 가능하고 충전시간이 짧다는 장점이 있다.

또한 사람이 직접 수행하기 위험한 임무의 대체 수행이 가능하므로 해상 인명구조, 풍력과 같은 높은 구조물의 점검, 산림 분야 감시 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다.

현재 국내에는 약 40대의 수소드론이 보급되었으며, 미래 교통수단으로 각광받는 도심항공교통의 동력원으로 수소가 활용될 수 있도록 소재·부품을 경량화하는 기술개발도 추진 중이다. 향후 다양한 분야의

수요 증대 및 규모의 경제를 통한 가격경쟁력 확보시 글로벌 수소드론 시장에서도 우위를 점할 수 있을 것으로 기대된다.

건설기계에서도 빠른 충전시간과 긴 운행거리의 장점을 지닌 수소에너지 활용이 증가하고 있으며 글로벌 건설기계 선도기업들은 이미 상용화 단계에 접어들었다. 미국에서는 플러그파워사에서 아마존, 월마트, 코카콜라 등 사업장을 상대로 수소지게차와 충전시스템을 결합한 통합 솔루션을 제공하며 2만대 이상의 수소지게차를 운영하고 있다.

국내도 국산화 기술을 활용한 수소지게차 보급을 확산하기 위해 시범 사업을 준비하는 한편, 수소굴착기 등의 기술개발을 지속적으로 추진하고 있다.

국민이 체감할 수 있는 수소경제 확산을 위해 수소 버스, 수소트럭 등 대규모 모빌리티의 실증 및 보급도 확대될 예정이다. 현재 수소버스는 보조금을 통해 전국에 129대 이상 보급되었으며, '22년에는 정부 보조금 기준 340대가 더 보급될 예정이다.

향후 대형 모빌리티의 기술개발이 완료되고 수소청소차, 광역버스 등 공공분야에서 수소 활용이 증가할 경우 수소경제에 대한 국민 수용성과 관심도를 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

연료전지는 수소와 산소가 만나 전기화학반응을 통해 전기·열을 생성하며 규모에 따라 발전용과 가정·건물용으로 나뉘어 보급이 진행 중이다. 수백kW급 이상의 발전용 연료전지는 PAFC¹⁰⁾, SOFC¹¹⁾ 방식을 중심으로 '21년까지 767MW가 보급되었다.

발전용 연료전지는 RPS 정책의 가중치 우대에 따라 주로 전력공급사를 통해 보급이 확대되고 있다. 가정·건물용의 경우 보조금 지급 및

10) PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell): 연료전지 내 전기 발생을 위해 전해질로 인산염을 사용하는 인산형 연료전지

11) SOFC(Solid Oxide Fuel Cell): 전해질을 고체산화물 또는 세라믹 전해질을 이용해 연료전지 내 전기를 발생시키는 고체산화물형 연료전지

설치의무화를 통해 보급되고 있으나 발전효율 및 전기가격 등의 문제로 발전용 대비 보급 및 활용은 저조한 편이다.

연료전지는 국내를 비롯하여 미국, 일본 등 핵심기술을 확보한 국가를 중심으로 시장이 확대되고 있다. 전 세계의 탄소중립 목표 및 청정수소 활용 계획에 따라 연료전지 수요도 지속적으로 늘어날 전망이다.

수소를 생산하는 시설의 경우, 정부 예산을 통한 추출수소 생산기지 구축이 이루어지고 있으나 CO₂를 배출한다는 문제점을 지니고 있다. 생산기지는 현재 창원, 삼척, 평택에서 건설 중이며, 부생수소 출하센터 구축을 확대하여 수소 유통이 원활하게 이루어질 수 있도록 지원하고 있다.

탄소중립에 가장 중요한 청정수소 생산의 글로벌 시장을 살펴보면 현재 전세계 수소 생산의 약 0.02%를 수전해 수소가 차지하고 있으며 300여개, 200MW급의 그린수소 생산 실증이 진행 중이다. EU를 중심으로 GW급 수전해 프로젝트가 기획 중이므로 실증 규모와 시설이 확대될 전망이다.

그러나 보급 현황에서는 활용 분야의 확대가 두드러지고 있음에도 불구하고, 이에 비해 생산 시설은 아직 부족한 상황이다. 특히 그린·블루수소 생산 및 도입을 위한 인프라는 기술개발 진행 단계이다.

선도기업의 수전해 제품 용량이 2MW~10MW로 규모와 효율 측면에서 국내와 기술격차가 크다는 점을 고려할 때, 청정수소 상용화를 위해서는 관련 기술 확보를 적극적으로 앞당길 필요가 있다.

(기술개발 현황) 국내에서 기술이 가장 성숙한 연료전지(차량용·발전용)의 경우, 수소차의 내구성은 16만km, 연료전지의 발전 종합효율은 85%에 달하는 등 세계 최고 기술을 확보하고 있으며 시장 수요 확대에 따라 다양한 모빌리티에 기술 적용이 확대될 전망이다.

모빌리티에 수소를 충전하기 위해 필수적인 고압기체 저장·운송 기술은 국내 기업이 수소 저장용기를 생산 및 공급 중이며, 운송비 저감을 위한 대용량 튜브트레일러 기술도 개발 중이다. 이와 함께 정부는 수소충전소의 부품 국산화율을 점차 개선하고 핵심설비의 내구성 향상 및 가격을 저감하기 위한 기술개발을 지속적으로 지원하고 있다.

또한 장거리·대용량 운송으로 효율성을 극대화하기 위한 액화수소 방식의 경우, 상용급 기술은 글로벌 3사(독일 Linde, 프랑스 Air Liquide, 미국 Air products)에서 독점 중이며 일본 카와사키 중공업에서도 개발 중이다.

국내에서는 민간 기업을 중심으로 하여 대용량 수소액화 플랜트 구축을 준비 중이다. 정부에서는 핵심 부품 국산화를 위한 소규모 기술개발을 진행 중이며, 액화수소 생산 플랜트와 함께 운송을 위한 액화수소 탱크로리 국산화 기술개발도 추진 중이다.

액화수소를 운송하여 모빌리티에 충전하기 위한 액화수소충전소는 국내에는 아직 없으나, 향후 기술개발 성공시 기체수소충전소 대비 4배 이상 충전이 가능하여 대용량 모빌리티에도 적용 가능한 국내 기술을 확보하게 된다.

장기적으로는 해외에서 안정적으로 청정수소를 도입하기 위해 암모니아, LOHC 등을 활용한 다양한 수소 저장 기술개발도 추진 중이다.

암모니아 형태로 수소를 이송한 뒤 고순도 수소를 추출하는 기술 확보는 청정수소 경제 도래에 핵심적인 역할을 할 전망이다. 현재 암모니아 기반 수소 추출은 1,000Nm³/h급 규모의 플랜트 기술개발이 진행되고 있다.

이와 동시에 액화수소 충전소 등 안전성 확보가 필요한 부분을 중심으로 규제자유특구, 샌드박스 등 제도적인 기반을 마련하여 기업의 기술 확보를 지원하고 있다.

발전 분야에서는 연료전지 보급 확산 및 규모의 경제 달성을 통해 단가를 절감하고 스택 수명 및 발전효율을 높이기 위한 기술개발이 추진 중이다.

PAFC는 수소를 직접 연료로 사용하기 위한 모델이 개발 중이며, 수입에 의존하고 있는 핵심 부품 국산화를 위해 기술개발이 진행 중이다. SOFC는 300kW급 이상 용량 및 발전효율 60% 이상을 목표로 개발되고 있다.

가정·건물용 연료전지의 경우 일본이 보급량과 기술 확보 측면에서 세계 최고 수준으로 앞서 나가고 있으며, 국내에서는 효율 향상 및 내구성 증가를 위한 기술 개발을 지속적으로 추진하여 국내 보급 목표를 달성하고자 하고 있다.

또한 연료전지뿐만 아니라 활용 분야에서 수소 사용을 확대하기 위해, 기존 터빈을 개조하여 수소를 혼소 또는 전소하기 위한 기술개발 및 실증이 추진 중이다. 일본에서는 SOFC 기술을 기반으로 가스터빈과 연료전지를 연계한 복합 발전시스템을 실증 완료하였다.

(수전해 기술개발) 그린수소 생산의 핵심인 수전해 기술은 주로 전기를 이용한 전기분해 방식을 일컬으며, 구체적으로 전해질의 종류에 따라 알칼라인 수전해, 고분자 전해질 수전해, 고온수전해, 음이온 교환막 수전해로 구분된다. 수전해를 위한 관련 기술로는 공정상의 소재·부품·스택·시스템의 설계 및 제조 기술이 있다.

알칼라인 수전해(AEC)는 고농도의 알칼라인 전해질을 기반으로 물을 전기분해하며, 비귀금속 소재를 사용하기 때문에 수전해 방식 중 가장 경제적이라는 평가를 받고 있다. 따라서 시스템 운영 기술이 가장 성숙된 상용 기술이며 대용량 및 장기운전에 유리하다. 그러나 전류밀도가 낮아 설치 공간이 많이 필요하다는 한계점이 있다.

국내 알칼라인 수전해는 중소기업을 중심으로 개발되어 왔으며 재생 에너지 연계가 가능한 1MW급 수전해 개발 및 실증을 진행 중이다. 최근 제주도에서 실증이 완료된 수전해의 경우 수소 생산량이 평균 8.9kg/hr이며, 향후에는 부하변동에 대응이 가능한 3MW이상의 단일 스택 개발 및 실증을 통해 대량 생산 기술력 확보가 필요하다.

고분자 전해질 수전해(PEMEC) 방식은 고분자 전해질막을 전해질로 이용하여 물을 전기분해하는 방식으로, 알칼라인 수전해에 비해 부피가 작고 빠른 응답성을 보이는 기술이지만 귀금속 소재를 사용하므로 가격이 다소 높다. 중소기업을 중심으로 수전해 장치를 개발 중이며, 재생에너지 연계 기술로 확대해 나가고 있다.

고체산화물 수전해(SOEC) 방식은 고온에서 고체산화물을 전해질로 이용하여 물을 전기분해하는 방식으로 전력 사용량이 적으나 고온을 유지하기 위한 가열이 필요하다. 생산 효율이 높음에도 불구하고 낮은 소재 내구성 및 수명으로 인해 아직 원천기술 단계인 기술이다.

이 밖에도 음이온 교환 고분자 전해질막을 이용하는 음이온교환막 수전해(AEMEC) 방식도 존재하나, 막의 내구성이 확보되지 않은 미성숙 기술이다. 향후 기술 확보시 저렴한 소재 사용 및 소형화를 통해 경제적인 수소 생산이 가능할 것으로 기대되며, 특히 AEM 초기 시장에서 글로벌 우위를 선점할 수 있을 것으로 기대된다.

<그린수소 생산기술의 비교>

| 구분 | 알카라인 수전해(AEC) | 고분자 전해질 막 수전해(PEMEC) | 고체산화물 수전해(SOEC) | 음이온 교환막 수전해(AEMEC) |
|-----|--|--|---|--|
| 개념도 | | | | |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> 기술성숙도 높음 長수명(수명 10년) 낮은 장치비 | <ul style="list-style-type: none"> 비부식성 전해질 높은 수소 생산성 빠른 응답속도 | <ul style="list-style-type: none"> 100%에 가까운 높은 전기 효율 비부식성 전해질 | <ul style="list-style-type: none"> PEMEC수준의 높은 수소 생산성 낮은 장치비(예상) |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> 부식성 전해질 관리 필요 (KOH 용액) 전류밀도가 낮아 설치공간이 큼 | <ul style="list-style-type: none"> AEC 대비 수명 짧음 귀금속 사용으로 장치비 높음 | <ul style="list-style-type: none"> 고온 운전으로 낮은 내구성 및 짧은 수명 고온의 열원 필요 | <ul style="list-style-type: none"> 짧은 수명 고내구성 소재부품 기술개발 필수 |

해외 수전해 시장은 오랜 기술개발을 통해 기술이 상용화 수준이며, 글로벌 부품 공급망도 형성하고 있다.

국내는 해외 기술격차를 따라잡기 위해 신뢰성·내구성을 향상하고 수전해 타입별 소재·부품 기술개발 및 재생에너지 연계 수전해 시스템 실증을 추진하고 있다.

현재 전력소비량이 500kW급인 수전해 기술 수준을 ‘25년 MW급, ‘30년 10MW급으로 대용량화할 계획이며, 수전해 시스템의 전력소비량 감소를 통해 현재 55%인 수전해 효율을 ‘30년 69%, ‘50년 77%까지 향상시켜 나갈 계획이다.

‘22년에는 신규로 대규모 실증을 위한 프로젝트도 추진되는데 제주·전북·전남 등 국내 재생에너지단지를 중심으로, 수전해 시스템을 전력 시장제도에 설계·적용하고 경제성 데이터를 확보 및 축적하여 한국형 그린수소 생산 모델을 발굴할 예정이다.

실증 완료시 MW급 스택 상용화 및 연간 950톤의 그린수소 생산 기반을 마련하고, 수소 생산단가 6,000원/kg을 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 기술 확보가 시급한 핵심 소재부품에 대해서는 수요 기업의 참여를 통한 기술개발 및 실증 지원, 국내외 공급망 다각화를 추진할 예정이다.

< 국내기업의 수전해 기술력 확보 및 실증 추진 계획 >

| 수전해 종류 | 기술개발 및 실증 계획 |
|----------------|---|
| 알카라인 AEC | <ul style="list-style-type: none"> - 8.9kg/hr급 스택, 53.4kg/hr급 시스템 설치 - 17.8kg/hr급 스택 실증 예정 - 해외기술 벤치마킹 후 국산화 추진 - 저가 전략으로 산업용 수전해 시스템 공급 (분리막, 전극, 셀프레임 등 저가 소재 사용) |
| 고분자 전해질 PEM | <ul style="list-style-type: none"> - 8.9kg/hr급 스택 실증 예정('22) - 해외 기업과 기술 협력을 통해 시작품 실증('24) - MW 시스템 출시 예정('26) |
| 고체산화물 SOEC | <ul style="list-style-type: none"> - 해외 기업과 기술 협력을 통해 시작품 실증 예정('22~'24) - 해외 시장 진출을 위한 100MW급 시스템으로 확장('25) |
| 음이온 교환막 AEM | <ul style="list-style-type: none"> - 전해질막 등 원천연구를 통한 기술 확보 추진 및 스택 개발 ('22) |

다. 민간기업의 투자현황

국내 민간 기업들은 ‘21.2월 전세계 최초로 시행된 수소법 등 정부 정책을 마중물로 하여 수소경제에 대한 투자 계획 및 비전을 발표하고 있다. 대기업은 물론 수소 분야 중소·중견기업에서도 부품·전문분야를 중심으로 미래 신산업을 위한 투자를 계획하고 있다.

< 주요 그룹별 투자 계획(안) >

| 그룹사 | 투자분야 | 총액 (조원) |
|-------|--|------------|
| SK | · 대규모 액화플랜트 구축, 연료전지발전 확대 등 | 18.5 |
| 현대차 | · 수소차 설비투자 및 R&D(분리막 등), 연관인프라(충전소 등) 투자 | 11.1 |
| POSCO | · 부생수소 생산·해외 그린수소 도입, 수소환원제철 개발 등 | 10 |
| 한화 | · 그린수소(수전해) R&D·실증·생산, 수소혼소발전 등 | 1.3 |
| 효성 | · 액화플랜트 구축, 액화충전소 보급 등 | 1.2 |
| 중소·중견 | · 가정용 연료전지, 그린수소 R&D, 수소추출기, 수소저장용기 등 | 1.2 |

민간은 생산 분야에서 그린·블루수소와 같은 청정수소를 대량 생산하기 위한 기술 확보와 생산기지 구축을 목표로 하고 있으며, 특히 G사는 전통에너지인 오일산업에서 수소산업으로 분야를 확장하기 위해 한-UAE MOU 체결, 블루 암모니아 도입 등을 계획하고 있다.

유통분야에서도 액화수소 유통을 통한 수소생태계 구축 기여를 위해 S사를 중심으로 액화플랜트 준공 및 액화수소 중심 충전소 확대를 추진 중이다.

전력공기업은 현재 발전중인 석탄·가스발전소 또한 수소를 활용하는 무탄소 전원으로 전환하기 위해 수소 혼소 기술개발 및 활용을 목표로 하고 있다.

특히 활용에 치우치지 않은 수소산업 전주기 발전을 위하여, 국내 수전해 기술로 해외에서 생산된 수소를 도입하기 위한 ‘H2 STAR’ 프로젝트가 민간 주도로 추진 중이며 이를 통한 조선업, 발전 산업의 부가가치 창출이 기대된다.

이와 함께 민간은 15개 회원사로 구성된 수소기업협의체(H₂ Business Summit)을 구성하여 회원사간 수소사업 협력 추진, 해외 수소기술 및 파트너 공동 발굴 등 정보공유와 과감한 투자를 약속하고 있다.

또한 발전 6사와 전력거래소 등 14개의 에너지 공공기관은 매월 주기적으로 에너지공공기관 수소경제협의회를 개최하여 각종 제도 마련을 위해 논의하고, 공공 부문에서 선도적으로 수소 수요를 창출할 수 있도록 할 계획이다.

정부는 민 - 관 협력의 수소경제위원회를 통해 세제, 금융, R&D 등 지속적이고 효율적으로 민간을 지원하기 위한 정책을 수립할 예정이다.

제3장. 해외의 수소산업

가. 주요국의 정책수립

최근 몇 년간 다수의 국가와 국제기구는 앞서 살펴본 수소의 특성에 주목하여 수소 관련 정책 및 전략을 발표하고 있다. 2017년 13개사의 논의체로 시작한 수소위원회는 현재 100개 이상의 기업이 참여하고 있으며, 수소경제 구축을 위한 다양한 전망을 공유하는 주요 기구로 성장하였다.

(EU) 유럽연합은 '18년 '기후 중립 EU 비전 전략' 을 발표하면서 기후 정책에서의 핵심적인 역할로 수소를 명시하였으며, '20년에는 유럽의 수소 비전을 구체화한 수소전략을 발표하였다.

해당 전략에서는 기후변화 대응과 EU 경제회복에 있어 수소의 역할을 재확인하였으며, 수소 산업 육성이 장기적으로 유럽의 기술 지배력을 확장시키고 경제성장 및 일자리 창출에 기여할 것이라고 밝혔다.

특히 유럽의 산업적인 강점을 고려하여, 재생에너지를 사용하여 생산되는 수전해 수소 생산 개발을 우선순위에 두고 있다. 수전해를 통한 청정수소는 '30년 이전 온실가스 감축은 물론 경제 회복에 기여할 것으로 기대되며, '50년에는 화석연료를 대체함으로써 탄소 중립에 핵심적으로 기여할 것으로 기대하고 있다.

이에 따라 '24년까지 수전해 시스템을 최소 6GW 설치하고 수전해 수소를 100만톤 이상 생산할 계획이며, '30년에는 수전해 시스템 40GW 설치 및 최대 1,000만톤의 수소 생산을 목표로 하고 있다.

상대적으로 짧은 기간 동안 지속적인 수소 수요 규모를 확대하고 생태계를 구축하기 위해서는 투자를 촉진하고 시장을 완성하는 것이 필수적이며, 특히 CO₂가 배출되는 타 수소에 비해 수전해를 통한 그린수소는 비용이 높아지므로, 가격 경쟁력 확보를 위해 철강제조, 모빌리티

등 활용 분야를 정책적으로 확대할 계획이다.

유럽은 로드맵 실행을 위해 유럽지역 민-관 공동체인 EU 청정수소 동맹(European Clean Hydrogen Alliance)을 발족하고 민간-공공 이해관계자간 협력을 촉진하여 정책을 추진하고 있다. 약 280여개의 회사에서 수전해 수소 생산을 위해 활동 중이며 1GW 이상의 수전해 프로젝트를 진행 중이나, '30년 40GW 목표를 달성하기 위해서는 추가적으로 다양한 지원 정책이 요구된다.

우선 정책적 측면에서는, 청정수소의 가격경쟁력 확보를 위해 탄소계약을 위한 입찰 시스템을 만들고 탄소가 적은 청정수소에 대해 보상하기 위한 자금을 지원한다. 이와 함께 에너지 운반체로써 수소를 광범위하게 사용 가능하도록 하기 위하여 수소 생산-수요간 연결을 지원하는 인프라를 구축한다.

또한 산업분야에서 증가하는 수소 수요를 충족하기 위해, 기존 가스 파이프라인에 수소를 혼입하는 지역 네트워크 전략을 추진한다. 혼입에 따라 예상되는 품질 저하를 해결하기 위해 국가간 표준을 제정하고 품질 향상을 위한 비용을 고려하고 있다.

기술적 측면에서는 100MW급 수전해를 위한 대용량 수전해 기술 확보, 장거리 운송 및 분배가 가능한 인프라 개발, 최종 활용처에서 안전하게 사용 가능한 모니터링·평가 시스템 개발이 향후 필요할 전망이다.

이를 달성하기 위해 저탄소 기술을 지원하는 기금을 활용하고 인접국가와의 협력 기회를 적극적으로 발굴할 계획이다.

(독일) 독일은 '20년 수소경제 추진 전략을 발표하는 등 EU 내에서 선도적으로 수소 정책을 추진하고 있다. 추진 전략에는 탈탄소화 정책 수단으로 수소를 설정하고 수소 생산·공급망의 국제적인 시장 확대를 통해 비용 경제성을 확보하고자 하는 목표가 담겨 있다.

우선 생산 분야에서는 수전해 공정에 투입되는 전기에 대해 재생에너지 부담금 감면, 사업자간 협력모델 개발, 청정수소 공공입찰 모델 개발을 구상 중이며, 그린수소 생산을 위한 해상풍력 발전단지를 확대할 예정이다.

활용분야 촉진을 위해서는 수소모빌리티 구매보조금 및 기술개발 지원, 수소 저장 탱크 및 충전 인프라 지원, 연료전지 플랫폼에 대한 표준 선도를 목표로 하고 있다.

또한 실증사업을 확대하고 범부처간 정책을 연계하기 위해 ‘수소기술 2030’ 협의체를 구성함은 물론 EU차원의 협력을 넘어 국제 수소 시장 조성을 위한 국제협력을 추진 중이다. 특히 독일의 경우 린데(Linde), 지멘스(Siemens) 등 다수의 글로벌 선도업체가 전 세계를 대상으로 수소 관련 사업을 적극적으로 확대하고 있다.

이를 위해 총 90억 유로를 투자하여 수소의 생산과 운송, 활용에 대한 민간 투자 및 혁신을 지원할 계획이며, 특히 그린수소만이 장기적으로 지속가능한 바, ‘40년까지 5GW의 그린수소 생산 플랜트를 증설하고자 하며 수소 전용 공급망 인프라 건설을 추진할 예정이다.

(일본) 대표적인 에너지 수입국인 일본의 경우, 핵심 기술을 선점하기 위해 신규 에너지원인 수소에 대해 선행적으로 연구를 진행하여 왔으며 수소의 해외도입을 적극적으로 추진 중이다.

일본정부는 ‘16년 수소·연료전지 로드맵 발표 이후, ‘19년에 구체적인 전략을 담은 로드맵 개정안을 발표하였다. 동 전략에서는 수소가 안정적인 에너지 확보에 기여하고 자급률 향상 및 CO₂ 배출 감소 등 일본이 직면한 과제를 해소할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

특히 해외 수소 도입을 통한 연간 수소 공급량과 목표 수소 가격을 구체적으로 제시하고 있으며, 수소사회의 조속한 실현을 위한 단계별 계획을 수립하고 있다.

일본 내에서는 다양한 정부 주도의 수소공급 실증 프로젝트들이 추진 중이며, 대표적으로 후쿠시마 실증 프로젝트의 경우 10MW급 수소생산 설비 - 공급 시스템을 구축하기 위해 주요 기업들이 참여하고 있다.

민간에서도 ‘20년 수소 관련 산업의 88개 기업이 참여하는 ‘수소 밸류체인 추진 협의회’가 설립되었으며 수소 인프라 정비 목적으로 개별 사업 추진을 적극적으로 검토 중이다.

또한 호주 - 일본간 국제 협력을 통해 50여개의 민간기업이 참여하여 수소 공급망 구축 실증 사업을 진행 중이다. 가격이 저렴한 갈탄에서 수소를 생산하고 이를 해상 및 육상화물로 운송하기 위한 액화 저장 관련 기술 확립을 목표로 하고 있다.

이와 같은 다양한 프로젝트를 통해 해외 수소 도입을 위한 방법으로 MCH¹²⁾ 전환, 암모니아 합성·운송 기술을 확보 중이며 운영 경험을 적극적으로 축적 중이다. ‘25년에는 대규모 액화수소 플랜트를 건설할 계획이며 이에 따라 ‘30년 내에 청정수소의 대량 생산 및 수출입이 본격화될 수 있을 것으로 전망된다.

최근에는 글로벌 공급망 구현을 위해 3,170억엔을 지원할 것을 발표하였으며 최종적으로 수소충전소 및 수소저장시설 안전 확보 등 조치를 통해 각 지역의 특성에 맞는 수소 공급망을 구축하고, 대중의 수용성 향상을 위한 교육·홍보를 강화하여 완전한 수소사회 구축을 목표로 하고 있다.

(미국) 에너지 자원 강국인 미국은 ‘20년 에너지부 주관으로 수소프로그래를 발표하여 수소 경제의 방향성을 제시하고 있다. ‘21년에는 민간 주도로 10여개 기업이 모여 ‘Hydrogen Forward’라는 연합을 형성하기도 하였으며, 탄소 저감과 에너지 안보를 강화할 수 있는 수소의 다용성을 중심으로 수소에너지협회에서 로드맵을 발표하였다.

12) MCH: 메틸사이클로hexan, 수소를 액상화합물 상태로 전환하여 운송하기 위한 물질 중 하나

10년 내 수소 가격을 kg당 1달러로 제시하는 ‘\$1 for 1kg in 1decade’ 목표 달성 및 청정수소 생산을 위해 11.5조원 투자를 위한 계획을 수립하였다.

우선 ‘22년까지 초기 시장에서 대중의 인식과 수용성을 높이고, 탈탄소화의 구체적인 목표를 세운다. 특히 수소연료전지 지게차의 확장과 같이 성숙한 활용분야를 중심으로 수소사회 진입 장벽을 줄이기 위한 인프라 개발에 중점을 두고 있다.

‘25년에는 대규모 수전해 수소 생산기술을 개발하고 수소 관련 인프라 구축을 확대하며, 특히 중장거리 트럭 운송 인프라를 중심으로 수요 중심의 모빌리티 보급 확대가 이루어질 것으로 전망하고 있다.

또한 ‘30년에는 미국 전역의 수소 충전 인프라를 확장하고 파이프라인을 통해 수소를 운송·저장하며, 산업계에서도 저탄소 수소 중심의 연료 공급이 이루어질 것으로 기대한다.

미국에서는 이미 25,000대 이상의 연료전지 지게차가 운행 중이며, 7,000대 이상의 수소차, 대형 수소트럭이 운영 중이다. 향후 수전해 수소의 가격경쟁력 확보를 위해 단기적으로 기술에 대한 투자와 공급망 개선에 집중할 예정이다.

(중국) ‘16년부터 대기오염을 해결하고 전략산업을 육성하기 위해 수소연료전지 자동차 보급에 앞장선 중국은 현재에도 수소차 보급과 충전소 확대를 위해 보조금을 지원하는 등의 정책을 추진하고 있다.

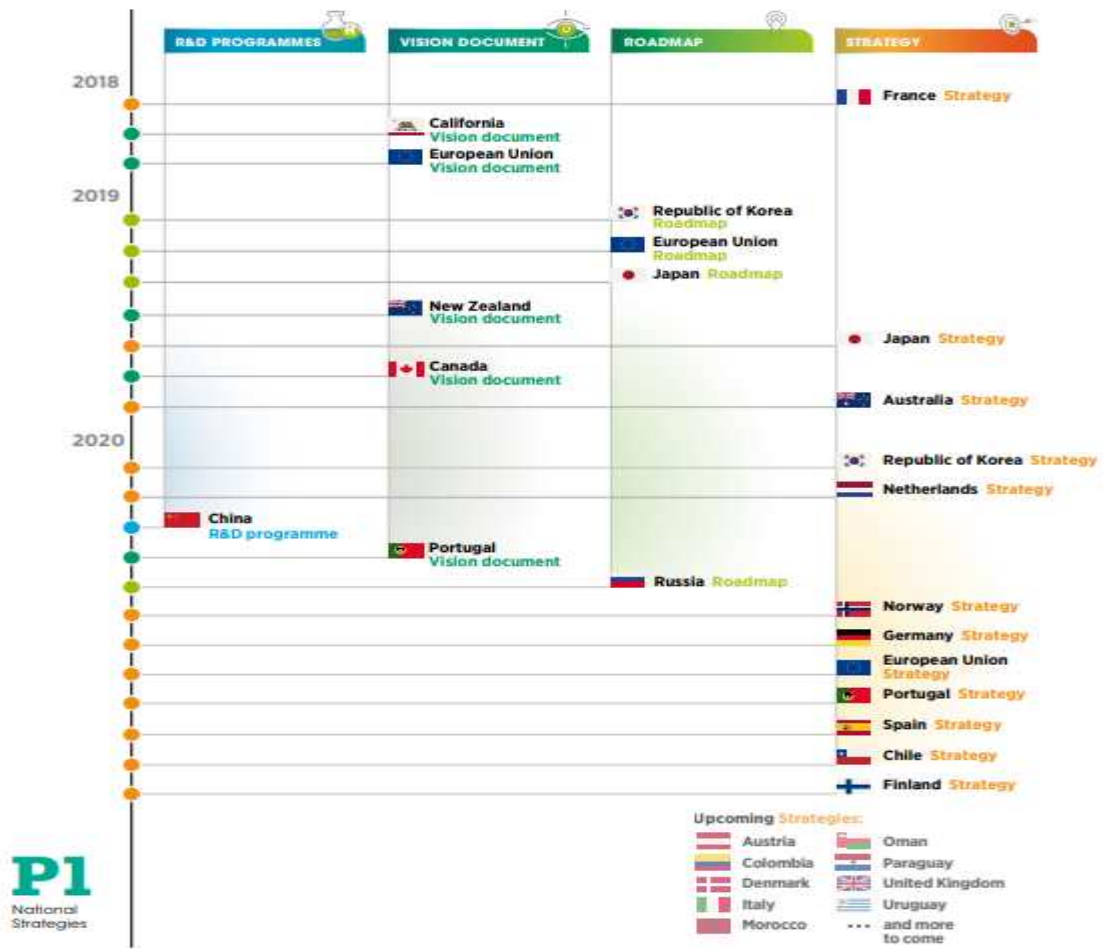
특히 수소 활용분야에 집중하고 있으며 ‘20년에는 중·장기에 걸친 수소차 보급, 충전소 설치 계획의 목표를 담은 ‘수소에너지 산업 개발 계획’을 발표하였다. ‘30년에는 1천만대의 수소차 시장 규모에 도달할 것으로 전망하고 있다.

또한 중국은 모빌리티용 연료전지의 지속적인 기술개발과 함께 산업

용 수소 생산시 CCUS 설치를 통해 블루수소 생산량을 높일 계획이며, 최근 ‘35년까지 모든 산업영역에서 수소 활용을 목표로 하는 ‘수소 에너지산업 중장기 발전계획’을 발표하였다.

이렇듯 주요국의 정책수립 방향은 탄소중립 확대를 위한 수소에너지의 핵심적인 역할에 집중하고 있으며 특히 경제적인 그린수소를 생산하기 위한 기술을 끌어올리고 활용처 확대를 중심으로 지원 방안을 모색하고 있다.

< 주요국 정책발표 현황 >



나. 주요국의 기술개발

천연가스 개질 수소 생산 기술은 이산화탄소 배출에도 불구하고, 석유화학, 암모니아 생산 등 공정에 필수적으로 활용하기 위해 산업 분야에서 널리 사용되고 있다.

일본, 유럽 등을 중심으로 대형 공정이 가능한 수준의 기술이 확보되어 있어 수소 생산량을 높일 수 있으며, 최근에는 이산화탄소 포집기술을 연계하기 위한 공정 구성이 고려되고 있다.

또한 생산된 수소를 장거리로 운송하기 위해 액화수소, 암모니아, LOHC 등 다양한 운반 방법이 연구개발 되고 있다.

액화수소는 이미 미국에서 우주개발 프로그램과 맞물려 60년대 이전부터 기술개발을 주도하고 있으며, 현재 미국과 유럽을 중심으로 액화플랜트가 운영되어 액화수소를 생산하고 있다.

현재 전 세계에서 운영되는 상용급 수소액화플랜트 규모는 미국, 유럽, 일본을 중심으로 총 355t/d 규모이며 약 20여개의 액화수소충전소가 운영 중이다.

수소를 암모니아로 합성하는 방법 또한 1900년대 초에 개발된 성숙한 기술이므로, 이미 저장·운송 기술이 상용화되어 있어 경제적인 수소 운송 방법으로 고려되고 있다. 열 손실을 줄이고 효율성을 높이기 위해서는 저온·저압에서의 암모니아 합성이 필요하며, 일본이 수전해 연계 암모니아 합성 관련 최고 수준의 기술을 보유하고 있다.

다만 암모니아를 탄소중립 시대의 저장·운송 수단으로 활용하기 위해서는 그린수소로 합성된 그린암모니아에서 고순도의 수소를 추출하는 기술이 필수적이며 유럽에서는 다양한 그린암모니아 생산 프로젝트를 진행 중이다.

독일은 ‘Haru Oni’ 프로젝트를 추진 중이며, 칠레의 강한 바람을 이용하여 연료를 생산하는 것을 목적으로 한다. 독일 Siemens 에너지가 플랜트 건설에 약 820만 유로를 투자하였으며, 파일럿 단계에서 ‘22년까지 연간 약 75만리터의 e-메탄올을 생산할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

덴마크의 풍력발전회사인 Oredted사는 노르웨이의 Yara사와 협력하여 100MW 규모의 전해조를 개발하여 그린암모니아로 생산하는 프로젝트를 추진 중이다. ‘25년 운영을 목표로 하고 있으며 프로젝트 성공시 연간 약 7.5만톤의 그린암모니아 생산이 가능하다.

스페인 전력회사인 Iberdrola사는 100MW급 태양광 발전소와 20MW급 수전해 생산시스템을 기반으로, 비료회사인 Fertiberia사와 함께 그린 암모니아 생산을 위해 협력 중이다.

미국 에너지부는 Refuel 프로그램을 통해 재생에너지 기반 암모니아 합성 및 수소 추출을 통한 연료 사용방안을 연구개발 중이며 ‘23년 2t/d 규모로 확대 예정이다.

일본 또한 수소충전소급 고순도 수소 생산을 위해 암모니아 추출 시스템 및 PSA 정제 시스템을 평가 완료 하였다.

수소를 액상화합물 형태로 변환하여 운송하기 위한 LOHC의 경우, 일본과 독일을 중심으로 대규모 LOHC 기반 수소 저장·추출 시스템 구성을 위해 기업간 협력을 기반으로 실증이 추진 중이다.

일본은 톨루엔-MCH 물질을 활용하여 브루나이-일본간 운송을 실증하는 SPERA Hydrogen 프로젝트를 추진하며 앞서나가고 있다. 브루나이의 천연가스 개질을 통해 공급받은 수소를 톨루엔에 저장하여 선박을 이용해 일본으로 운송하는 동 프로젝트는 ‘20년 실증을 마친 상태로 ‘25년까지 상용화를 목표로 하고 있다.

일본의 프로젝트는 아직까지는 해외의 개질수소라는 한계점이 있으며 그린수소 운송을 고려하면 경제성이 매우 낮지만, 향후 경쟁력을 갖춘 그린수소 등장시 이를 저장·운송하기 위한 발판이 될 수 있을 것으로 보인다.

독일에서는 Hydrogenious사에서 LOHC 기반 수소저장·추출 시스템을 개발하여 독일 및 미국시장에 수출중이다.

현재 가장 활발하게 상용화된 기체수소 운송의 경우 500bar의 튜브트 레일러가 이미 미국에서 상용화되었으며 수소전용 파이프라인도 이미 구축 및 운영되고 있다.

미국은 추가적으로 대용량의 기체수소 운송을 위해 700bar의 튜브트 레일러를 실증 중이며, 파이프라인의 수명을 50년까지 확대하기 위한 기술개발도 추진 중이다.

다. 그린수소 시장 및 생산 기술

전 세계 그린수소 시장은 연평균 20% 이상의 성장률을 보일 것으로 전망되며, 지속적인 기술개발을 통해 수전해 설비가격이 하락하고 설비 효율 및 운영시간 상승, 재생에너지 전기 가격 하락 등에 따라 '50년에는 수소 생산 단가가 kg당 \$1~3.4로 형성될 수 있을 것으로 전망되고 있다.

특히 재생에너지 잠재량이 우수한 국가의 경우 '30년에 kg당 \$2.2~2.7의 수소 생산단가가 형성될 전망이며, 세계 각 국에서 최근 몇 년간 도전적으로 그린수소 생산 목표를 제시하고 있는 점을 고려시 목표 가격 달성 시기를 앞당길 수 있을 것으로 예상된다.

수전해 기술을 선도하는 대표 기업들은 다음과 같으며 최근 공장 확장을 선언하고 있다.

<해외 수전해 기업 현황>

| 기술 | 대표 기업 |
|-------|--|
| AEC | Nel Hydrogen(노르웨이), Teledyne(미국), McPhy(프랑스), ETOGAS(덴마크), Cummins(미국) 등 |
| PEMEC | Cummins(미국), Nel Hydrogen(노르웨이), Plug Power(미국), ITM Power(영국), Siemens Energy(독일) 등 |
| AEMEC | Enapter(독일) 등 |
| SOEC | Sunfire(독일), Bloom Energy(미국), Ceres Power(영국) 등 |

(수전해 기술) 물을 전기분해하는 알칼라인 수전해 기술은 탄소중립 실현과 그린수소 생산만을 위한 기술이 아니라, 1800년대부터 암모니아, 염화나트륨 등 생산을 위해 활용된 매우 성숙한 기술이다.

따라서 미국 및 유럽을 중심으로 MW급의 상업화가 가능한 수준의 수전해 기술을 보유한 기업들이 많으며, 그린수소의 가격 경쟁력 확보를 통한 탄소중립 실현을 위해 수전해 시스템의 기술개발을 지속적으로 추진 중이다.

먼저 독일의 Thyssenkrupp사는 1GW급 대용량 알칼라인 수전해 장치를 개발 및 실증 중이다. 최근에는 네덜란드에서 진행되는 대규모 프로젝트(Hydrogen Holland)에 대한 공급 계약을 체결하고, 200MW의 수전해 플랜트를 설계 및 제작하여 '24년 생산을 목표로 하고 있다.

노르웨이의 Nel Hydrogen사는 50MW급 수전해 기술을 확보하여 다수의 유럽 PtG¹³⁾ 실증 사업에 참여 중이며, 그린수소 생산비용을 75% 절감하기 위해 수전해 생산 공장을 '25년까지 2GW 규모로 확대 건설 예정이다.

일본의 Asahi Kasei사는 10MW급 수전해 단일스택을 개발하여 후쿠시마에서 운전 중이며, '24년까지 35MW급 단일 스택 개발을 위한 연구를 수행중이다. 또한 프랑스의 McPhy는 수소를 시간당 800Nm³ 생산 가능한 수전해 설비를 보유하고 있다.

PEM 수전해의 경우 MW급 수전해 시스템을 조기 상용화하고 스택 규모를 확대해 나가는 중이며 귀금속 촉매 사용을 저감시키는 등의 기술 개발도 추진되고 있다.

독일의 Siemens사는 시간당 100~2,000kg의 수소 생산이 가능한 PEM 수전해를 개발하여 호주, 독일 등에 판매하고 있으며, 미국의 플러그파워사는 단일스택 1MW급을 상용화하고 2MW급을 개발 완료하였다.

13) PtG(Power to Gas): 전력을 수소 등 가스로 변환하는 기술, 전력계통에 여유가 없을 경우 태양광, 풍력 등 재생에너지로 생산된 전력을 수소 또는 메탄가스 형태로 전환하는 에너지 저장 기술

노르웨이의 Nel Hydrogen사에서는 1,698Nm³/hr의 수소 생산이 가능한 제품을 판매중이며, 최근 미국에 수출 계약을 체결하였다.

SOEC 수전해의 경우 상용화 단계는 아니나, 독일의 Sunfire사를 선도로 하여 고온 수전해를 위한 내구성 및 신뢰성 향상을 목표로 프로젝트가 수행중이다.

AEM 수전해는 독일의 Enapter사에서 소규모 제품을 실증·판매중이며, MW급 수전해를 위해 기술개발중이다.

< 해외 기업 기술 수준 >

| 수전해 타입 | 기업명 (국가) | 단일 스택 규모 | 최대시스템규모 (제조사 사양) |
|--------|---------------------|----------|------------------|
| 알칼라인 | IHT (스위스) | 3.5 MW | 100 MW |
| | NEL (노르웨이) | 2 MW | 20 MW |
| | McPhy (프랑스) | 4 MW | 100 MW |
| | AsahiKASEI (일본) | 10 MW | 35 MW |
| | Thyssenkrupp (독일) | 3.3 MW | 20 MW |
| PEM | NEL (노르웨이) | N.A. | N.A. |
| | Siemens Energy (독일) | 0.73 MW | 17.5 MW |
| | Plug Power (미국) | 2 MW | N.A. |

다. 영국의 정책수립

영국은 2050 탄소중립을 달성하기 위해 ‘20년 10대 중점계획을 발표하고 ‘21년 탄소중립(Net Zero) 전략을 발표하는 등 단계적으로 전략을 제시하고 있다.

10대 중점계획에서는 ‘50년 목표 달성을 위해 전력, 건물, 산업, 업스트림 석유 및 가스 등 경제 전반에 걸친 조치가 필요하며 에너지 시스템이 탄소중립에 적합하도록 효율적인 시장을 만드는 것의 필요성을 강조하고 있다.

저탄소 기술과 시스템의 상용화를 가속화하고 탄소중립을 달성하여 새로운 일자리를 창출하기 위해 제시된 계획이며, 수소, 원자력, 해상풍력 등을 비롯해 2030년까지 지원할 10대 중점분야를 선정하였다.

구체적인 친환경 목표 전략으로는 1GW의 부유식 풍력 및 ‘30년 40GW의 해상풍력을 포함하여, 산업 클러스터에 CCUS를 배치하고 ‘30년까지 운영하도록 지원한다.

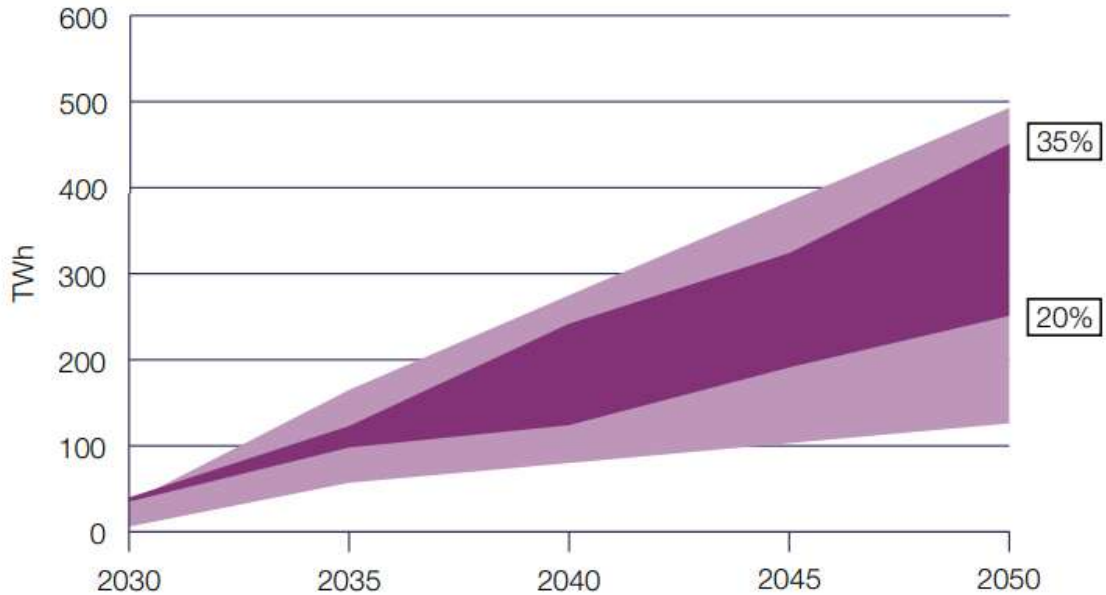
이러한 영국의 정책 방향은 대용량 저탄소 전기 생산이 가능하게 하며 이를 위해 ‘25년까지 10억 파운드를 투자하고, ‘30년까지 5GW의 저탄소 수소 생산 능력 개발을 목표로 민간과 협력할 계획이다.

특히 영국은 새로운 저탄소 솔루션으로써 수소 전주기 밸류체인에서 세계적 수준의 지속 가능한 공급망 구축을 목표로 구체적인 수소 전략을 발표하였다. 2035년까지 1990년 대비 78%의 탄소를 줄이기 위한 목표를 세웠으며, 이를 위해서는 수소에너지가 ‘50년에 영국 최종 에너지소비의 20~35%를 차지할 것으로 전망하고 있다.

영국의 구체적인 목표를 살펴보면, ‘30년 5GW의 저탄소 수소 생산 능력 달성을 위해 ‘22년 2억 4천만 파운드의 펀드를 초기 수소 생산 프로젝트에 투자할 계획이며 저탄소 수소에 대한 표준 설계 및 비즈니스

스 모델 설계를 완료하여 ‘23년부터 수소 계약이 이루어질 수 있도록 할 예정이다.

< 영국 에너지 소비의 수소수요 전망 >



또한 영국은 목표 달성을 위해서 극복해야 하는 과제로써 높은 수소 비용, 기술적 불확실성, 정책 및 규제 불확실성, 수요와 공급 조율의 필요성 등을 제시하고 있다.

이를 극복하여 ‘30년 이후 5GW의 수소생산 능력은 물론 생산 비용 절감, 대중의 인식 제고, 다양한 수요자가 존재하는 수소시스템 형성을 계획하고 있으며 ‘30년까지 9,000개 이상, ‘50년에는 100,000개의 일자리 창출 효과를 낼 것으로 전망하고 있다. 환경적 측면에서는 ‘23년에서 ‘32년 사이에 약 41Mt의 CO₂ 배출량 절감 효과를 얻을 것으로 기대하고 있다.

(지역별 현황) 영국 내 지역별로도 다양한 목표와 프로젝트들이 추진 중이다. 웨일즈 지역은 연안 풍력 및 조력, 파력 발전의 잠재력을 기반으로 저탄소 수소 생산·활용이 유리한 지역이며 수소 선도기업 및 연구 클러스터의 본거지 역할을 하고 있다. 수소 생산 측면에서는 Dolphin Flow를 통해 수소 파이프라인과 연계한 수소풍력발전 단지의

가능성을 연구하고 있으며, 수소 차량, 연료전지 응용 등 추가 연구 개발도 추진 중이다.

북아일랜드 역시 풍력 자원과 가스 네트워크를 기반으로 수소 혁신을 가속화하고 있으며 GenComm 프로젝트를 통해 수소 버스용 수전해 수소 생산을 시험 중이다.

육상·해상풍력이 특히 우수한 스코틀랜드 지역은 수소 개발을 위해 1억 파운드의 자금을 투입하고 약 50여개의 다양한 재생에너지 기반 수소 생산 프로젝트를 지원한다.

Whitelee Renewable Hydrogen 프로젝트는 영국 최대의 육상풍력발전단지인 Whitelee 지역에 20MW의 그린수소 생산 시설을 만들어 '23년 최대 8톤의 수소 사용을 목표로 한다. 태양광과 풍력, ESS 기술을 혼합하는 등 프로젝트는 최대 550대의 수소버스에 전력을 공급할 수 있을 것으로 기대된다.

스코틀랜드 지역에서는 BIG HIT 프로젝트도 추진 중이다. 동 시범사업은 Orkney 섬에서 시행된 스마트 그리드 시범사업의 연장선으로 청정에너지의 생산·활용을 목표로 한다. 통합 저탄소 및 지역 에너지 시스템을 구축하여 수소 생산·저장·분배 및 열 사용이 가능한 모델을 구축하고자 하며, 지역의 풍력 및 조력에너지를 사용한 PEM 수전해를 통해 수소를 생산하고 이를 활용하는 프로젝트이다.

영국은 수소사회로의 도약을 위해 3단계로 구분된 로드맵을 발표한 바 있다. 1단계(~ '20)에서는 연구개발 및 실증 등을 통해 수소사회 구축을 위한 토대를 마련하고, 방향성을 결정한다. 2단계(~ '25)에서는 건물 등의 수소 시스템 적용과 수소 교통분야에 대한 연료전지 등 수소 시스템의 적용성 평가기간을 갖는다. 그리고 3단계에서('25년 이후) 기존 가스 그리드, 빌딩, 교통, 산업까지 수소시스템을 확장하고자 한다.

특히 Leeds시를 수소시범도시로 지정하고, 기존 천연가스 배관을 활용하여 수요 에너지의 100%를 수소로 공급, 가정 및 산업에서 활용하는 방안을 실증 추진 중이다.

수소사회의 실현을 위해서는 재생에너지 기반 그린수소 생산과 함께, 수소의 저장·운송 네트워크가 필수적이다. 운송을 위해서는 수소 네트워크 인프라를 탐색하는 Union 프로젝트가 추진 중이며 잠재적으로 2,000km에 걸쳐 영국 전역의 산업 클러스터에 수소네트워크가 합류할 수 있도록 하는 연구이다. 현재 가스를 운송하는 파이프라인의 약 25%를 용도 변경하고 '26년부터는 수소 전용을 위한 파이프라인 변환을 시작할 수 있는지 타당성을 조사하여 '22년부터 테스트가 시행될 계획이다.

영국의 '미래에너지 시나리오 2021'에서는 '50년에 12TWh에서 51TWh 사이의 수소 저장이 필요할 것이라고 제안하고 있다. 수소의 저장분야가 재생에너지의 간헐성을 완화하는 데에 중요한 역할을 할 수 있으며 액화수소, 암모니아 변환 등 다양한 수소의 저장 방식이 있는 점을 감안할 때 어느 방식이 가장 효율적인지와 적절한 용량을 산출하는 것이 매우 중요하다.

현재 SSE Thermal 발전사와 Equinor사는 Aldbrough 프로젝트를 추진 중이다. 이는 요크셔 지역 해안과 기존 천연가스 저장 시설에 세계 최대의 수소 저장시설 계획을 개발하는 것으로 '28년에 연간 860대의 수소버스를 운영할 수 있는 양의 저탄소 수소를 저장하는 것을 목표로 하고 있다.

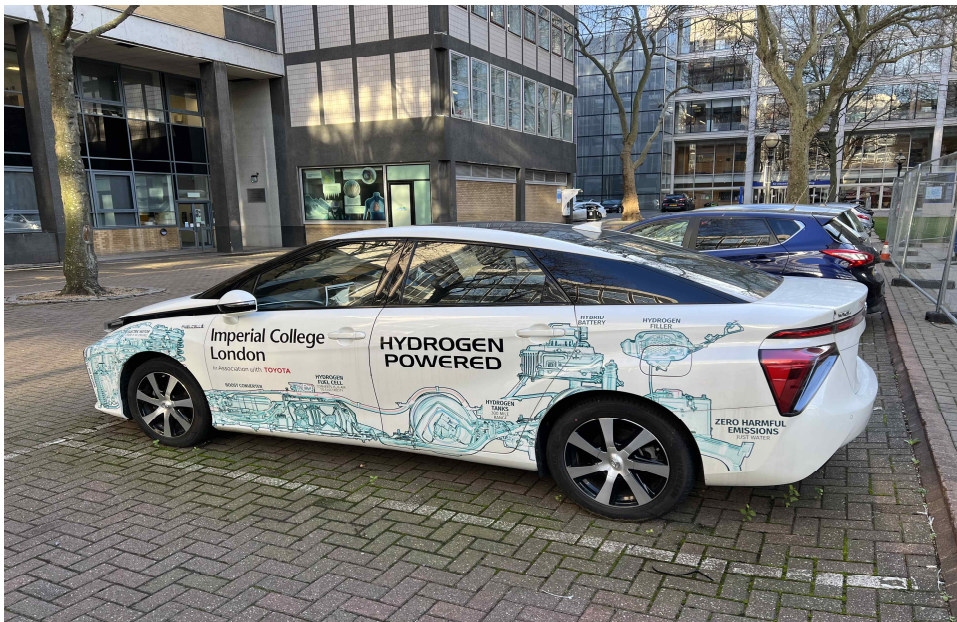
영국은 수소의 사용 부문에서도 많은 지원을 하고 있다. 우선 탄소가 많이 배출되는 산업 분야의 연료를 대체하기 위한 수단으로써 수소의 중요성을 고려하여 산업 공정과 관련한 탄소 배출량 감소 기술의 활용을 위해 3억 1,500만 파운드의 산업 에너지 변환 기금을 지원하고 있으며 저탄소를 위한 다양한 솔루션 개발을 위한 타당성 연구에도 지원 중이다.

전력 시스템의 100% 탈탄소화와 저비용을 위해서는 재생에너지의 급속한 성장이 필수적이거나, 재생에너지에 대한 의존도가 높아질수록 발전의 간헐성인 단점이 확대될 수 있다. 이러한 친환경 에너지 전환을 지원하기 위해서는 전력 공급과 수요의 균형 유지가 필수적이며 저탄소 수소가 이 역할을 수행한다.

이에 따라 수전해를 위한 차세대 전해조, 대규모 수소 저장, 수소터빈 등 수소 밸류체인 전반에 걸친 다양한 기술 확보가 조속히 필요할 것으로 보고 있다.

수소 초기시장에서 가장 중요한 역할을 하는 모빌리티 분야에서는 2,300만 파운드의 지원을 통해 300대 이상의 수소 차량 운영을 지원하고 있다. 또한 탄소배출 제로 버스 지역(Zero Emission Bus Regional Areas)을 계획하여 ‘22년까지 4,000대 이상의 무공해 버스를 지원하고 1억 2천만 파운드를 제공한다.

< 영국 내 수소차량 >



< 영국 내 수소버스 >



모빌리티와 관련한 다양한 기술개발 프로젝트도 추진 중인데, 우선 Hyseas 프로젝트는 섬에서 재생에너지 기반으로 생산되는 수소를 사용하여 세계 최초로 탄소 배출이 없는 해상 차량 및 여객선을 제공하고 있다. 이를 위해 약 1,080만 파운드가 지원되었다.

또한 항공기의 탈탄소화를 위해 진행 중인 HyFlyer 프로젝트는 1,500만 파운드의 지원을 통해 ZeroAvia사에서 개발 중이며 '24년 최대 19명의 승객을 태울 수 있는 수소 항공기 출시를 목표로 하고 있다. 이외에도 액화수소 추진력을 동력으로 하는 항공기 개발을 목표로 H2GEAR 프로젝트에 2,700만 파운드가 지원되었다.

철도 분야에서는 '40년까지 디젤철도차량을 퇴출하기 위해 프랑스 Alstom사와 함께 수소연료전지 철도차량(Breeze)도 제작 중이다. 100만 파운드 이상 투자된 수소 열차는 '24년에 리버풀 지역에서 첫 운행될 예정이며 200개 이상의 일자리를 창출할 것으로 기대된다.

영국의 Poterbrook사는 산학연과 연계하여 기존 열차를 수소연료전지로 개조 및 운행하는 HydroFLEX 프로젝트를 추진 중이며, 개발된 열차는 향후 수소가 충분히 생산될 경우 스코틀랜드 지역에서 운행될 예정이다.

대표적인 그린수소 생산 프로젝트 중 하나는 해상풍력을 연계한 Dolphyn 프로젝트로, 풍력발전 전력으로 해수를 담수화한 후 이를 수전해하여 수소를 생산하는 개념이다. '23년 스코틀랜드 연안에서 2MW급 프로토타입의 프로젝트를 시작으로 '26년 이후에는 10MW의 규모 확대를 목표로 하고 있다. 프로젝트 성공시 연간 320,000톤 이상의 수소 생산이 가능할 것으로 전망되고 있다.

또한 영국의 석유회사인 BP는 Teesside 지역에서 '27년에 영국 정부의 수소 생산 목표 중 20%를 차지하는 1GW의 블루수소를 생산하고 연간 2백만t 이상의 CO₂를 포집하고자 한다.

이와 함께 HyGreen Teesside 프로젝트를 통해 '25년까지 60MW, '30년까지 500MW의 그린수소 생산 시설을 만들어 정부 목표의 30%를 달성할 계획이다. 건설 및 운영 단계에서 지역의 경제 개발은 물론, 고품질의 일자리 창출 및 기술개발을 지원하여 수소 공급망 구축을 촉진할 전망이다.

살펴본 바와 같이, 영국은 산업 에너지 전환 기금, 녹색 기금 등 정부의 공동투자를 통해 다양한 프로젝트와 프로그램을 추진하면서 수소산업 전주기를 아우르는 수소 혁신을 지원하고 있다.

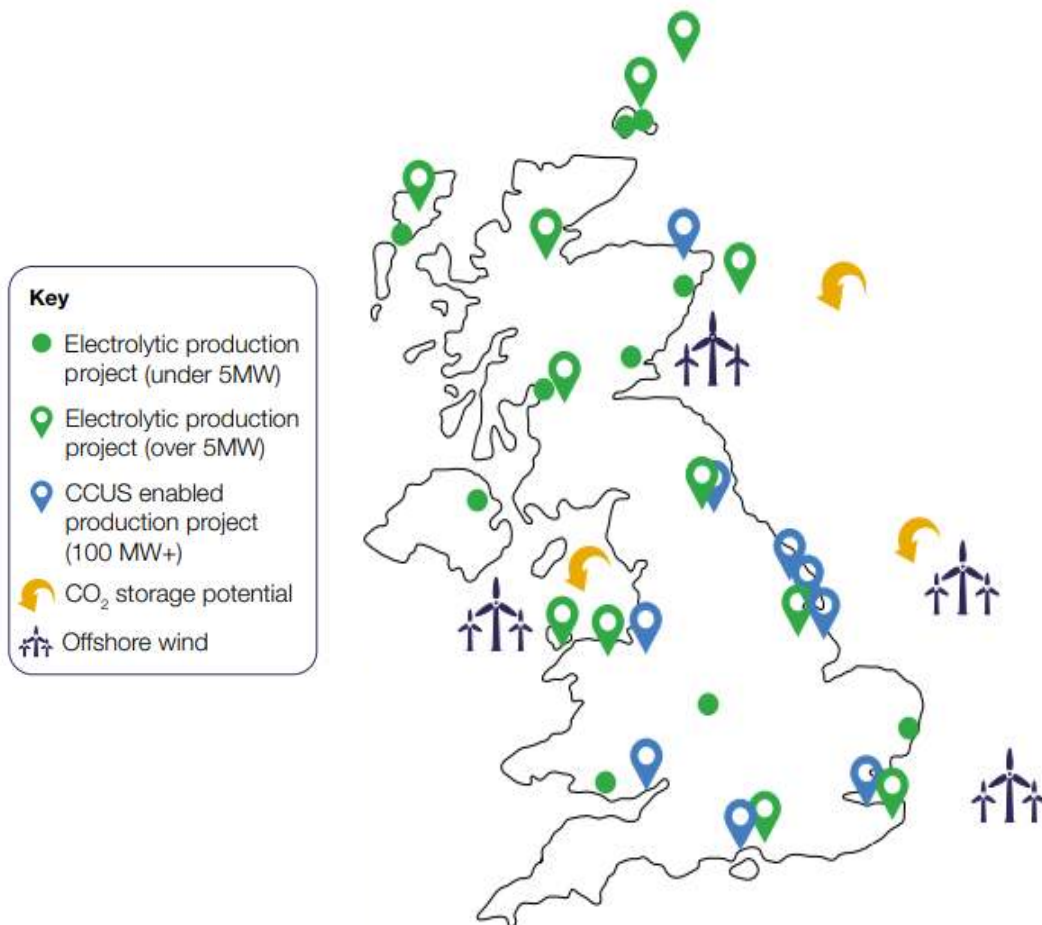
프로젝트를 통해 만들어진 수소 비즈니스 모델은 생산자가 경쟁력 있는 수소 가격을 책정할 수 있도록 하며, 수소에 대한 민간 부문의 투자를 이끌어 낼 수 있을 것으로 기대된다.

영국은 향후에도 수소 전문가 포럼을 설립하여 기술 로드맵을 개발하고, 10억 파운드가 투자되는 10가지의 탄소중립 포트폴리오 중 수소

혁신을 적극적으로 지원할 예정이다. 또한 저탄소 에너지 기술로의 업종전환을 통해 탄소배출 산업 분야의 종사자 등을 재교육 하는 등의 방법으로 수소산업 분야 일자리 창출과 인재양성에도 집중할 계획이다.

또한 EU 등 주요국과 함께 ‘30년까지 청정 수소 비용을 kg당 \$2로 가능하게 하는 MI Clean Hydrogen Mission을 공동 주도한다. EU, 칠레, 호주, 미국 등 회원국과 각 국가 수소 전략을 개발하고 실행하는 한편, 국제적 가치 사슬의 개발을 위해 공공 및 민간 이해관계자와 협력하여 매년 청정수소 연구 개발에 대한 노력을 가속화할 예정이다.

< 영국의 그린·블루수소 프로젝트 >



라. 영국의 수소 생산 기술

영국은 '21년 기준 약 14.5GW의 육상 풍력과 11.3GW의 해상풍력, 약 13.8GW의 용량의 태양광을 설치하였다.

특히 전 세계 해상풍력 용량의 약 35%가 영국에 설치되어 있으며, 10대 풍력 발전시설 중 7곳이 영국을 본거지로 하고 있다. 영국 정부는 화력 발전 용량을 '20년 41.9%에서 '30년 26.8%로 감소시키기 위해 해상풍력 발전 용량을 확장하고자 하며, 이를 위해 약 9,500만 파운드를 투자할 계획이다.

재생에너지가 확대될수록 전기의 가격도 하락하고 있지만, 수요를 충족하기 위해 공급을 유연하게 설정할 수 없는 재생에너지의 문제점 또한 커지고 있다. 따라서 전력시스템 운영자 및 재생에너지 사업자는 재생에너지의 간헐성을 해결할 수 있는 그린수소에 집중하고 있다.

이를 기반으로 ITM Power사, Ceres Power사 등 영국 기업은 이미 저탄소 청정수소 생산 기술을 보유하고 있다.

먼저 ITM Power사는 대표적인 PEM 수전해 시스템 제조기업이다. 현재 0.7MW스택 기반으로 최대 15개의 스택을 이용한 10MW급 수전해 시스템을 판매하고 있다. 0.7MW 스택은 최대 270kg/d 수소 생산이 가능하다. '21년에는 24MW 규모의 PEM 전해조를 독일 Linde사에 수주하였으며 '23년 말에는 2.5GW 규모의 수전해 공장을 Sheffield 지역에 건설 및 가동할 계획이다.

ITM Power사가 참여하는 대표적인 그린수소 프로젝트 'Gigastack'는 영국의 최대 산업클러스터에서 대규모 해상 풍력 연계 그린수소 생산의 가능성을 입증하기 위한 프로젝트이다.

영국 정부의 지원을 받아 '19년 5MW의 전해조 스택을 설계·개발하고 초기 타당성 연구를 완료하였고, '20년부터 Humber 지역에

100MW의 수전해를 설치하기 위한 설계 연구를 진행 중이며 ‘22년 1.4GW 규모의 해상풍력과 연계 예정이다.

영국의 화학 엔지니어링 그룹인 Johnson Matthey사는 기존에 보유한 연료전지의 소재·부품 기술을 기반으로 ‘20년에 그린수소 사업에도 착수했다. 최근에는 미국의 8 Rivers Capital과 함께 청정수소 공정의 상업화를 위한 MOU를 체결하기도 하였으며, 수전해 관련 부품 업체인 Oxis Energy사를 인수하는 등 청정수소 사업으로의 가속화를 추진하고 있다.

Ceres Power사는 수전해와 SOFC 연료전지의 셀에 이용되는 기술을 보유한 선도 기업이다. 국내에서는 두산과 함께 최소 4,300만 파운드의 셀을 생산하기 위해 약 50MW 공장을 건설하는 파트너십을 구축하고 있다. 동 기업의 SteelCell 기술은 기존 SOFC보다 낮은 온도에서 작동할 수 있으며, 생산 비용을 낮출 수 있다는 장점이 있다. 따라서 연료전지의 역반응인 SOEC 수전해의 생산 비용을 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

현재까지 전 세계 수소의 90% 이상이 CO₂가 발생하는 화석연료 기반이며, 영국 또한 아직까지 천연가스 개질 방법의 수소 생산이 일반적이다.

그러나 영국의 ‘50년 목표 달성을 위해서는 연간 270TWh의 수소 생산이 가능하여야 하며, 이는 현재의 약 10배 규모이다. 수전해는 수소 생산비용이 가장 높으나, 풍부한 재생에너지를 가진 지리적 이점을 활용하여 그린수소 생산을 선도할 것으로 전망된다.

제4장. 그린수소 생산 경쟁력 강화방안

국제사회는 급격히 다가오는 기후위기에 맞서 탄소 배출 저감을 위해 규제를 강화하고 신산업을 성장시키는 등 강력하게 대응하고 있다. 유럽은 향후 10년간 예산의 25%를 기후·환경 사업에 배정하고자 하며, '27년까지 기후 변화 대처를 위해 Horizon EU 예산으로 약 955억 유로를 지원할 계획이다.

탄소중립의 수단으로 전 세계가 수소에너지에 집중하고 있으며, 과거 수송 부문에 집중되어있던 수소의 활용 범위도 산업 전반으로 확장되고 있다. 국내도 10대 탄소중립 핵심기술로 수소산업 전주기 기술 확보를 선정하였다.

현재 우리나라는 전 세계에서 수소차 보급수가 가장 많으며 규제완화를 통해 수소충전소를 가장 빠른 속도로 보급하는 등 모빌리티 분야 수소경제를 선도하고 있다.

그러나 모빌리티에 사용되는 수소는 추출·부생수소 기반이며, 국내에서 재생에너지 기반의 그린수소를 생산하기에는 기술적·제도적인 측면에서 아직 미비한 상황이다.

수소에너지가 2050 탄소중립을 위한 새로운 대안이라는 것은 전세계가 공감하고 있지만, 재생에너지가 풍부하고 수전해 기술이 앞선 영국 등 주요 국가에서도 그린수소의 생산과 유통은 아직 장애 요인으로 남아있다.

먼저 그린수소는 그레이수소 대비 생산단가가 2~3배 이상 높아 경제성을 확보하지 못했다는 한계점이 있다. 수소차의 연료전지와 수소저장 탱크의 단가까지 고려시, 높은 그린수소 가격은 저탄소 수소경제의 걸림돌이 되고 있다.

전통산업과 달리 수소를 생산 및 이송하고 활용하는 과정에서 전용 인프라 보급이 부족하고 에너지 손실이 일어날 수 있다는 점도 수소 경제 확산의 한계점으로 작용하고 있다.

재생에너지 전력을 수소화하고 다시 연료전지를 활용해 전력으로 변환하는 경우, 탄소는 배출되지 않지만 에너지 손실의 발생은 불가피하다. 또한 전 세계적으로 저탄소 청정수소 인증 및 활용 등 국제적인 표준과 기준이 부재하다는 제도적 한계점도 있다.

국제재생에너지기구(IRENA)는 그린수소 지원을 위한 정책을 3단계로 나누어 설명하고 있다.

(1단계) 기술 준비단계로 그린수소는 실증프로젝트를 제외하고는 시장에서 유통, 활용되지 않는다. 가장 큰 장애 요인은 그린수소 가격으로 이 시기에는 정책적으로 수전해 설치를 장려하고 가속화할 필요가 있다. 이를 위해 연구개발 자금 조달, 위험 완화 정책, 대형 프로젝트의 자금 조달이 필요하며, 민간과의 협력 및 이를 지원하는 거버넌스 시스템 구축이 필수적이다.

(2단계) 시장 침투단계로 기술개발에 따른 비용 절감, 수소 수요 증가, 생산 및 인프라 규모의 실현으로 시너지효과를 낼 수 있으며 이 효과는 산업클러스터, 항구, 수소도시 등에서 발생할 수 있다. 천연가스 네트워크 등 기존 인프라를 활용할 수 있으며, 다수의 생산자와 사용자에 대한 수소의 국제 무역로가 설정되어 글로벌 시장 창출로 이어질 수 있는 단계이다. 이 때에는 충분한 재생에너지 전력이 확보되어야 한다.

(3단계) 시장 성장단계로 그린수소가 에너지 운반체로 널리 사용되며, 공급과 수요 측면 모두 경쟁력을 갖춘다. 민간 자본이 수소 성장을 주도하며, 각 지역의 특정 조건에 맞게 편리한 대안으로써 수소가 사용된다. 특히 각 국가는 천연가스 등 기존 에너지 인프라를 수소로 전환하는 등 상황과 용도에 맞게 수소 활용 정도를 달리하는 단계이다. 예

를 들어 재생에너지원이 풍부한 국가에서는 수소 생산에 집중하고, 반대의 경우에는 수소 수입을 주도하는 것이다.

국내에서 기 추진 중인 사업을 위 단계와 비교해보면 수소도시 시범사업의 경우 도시를 선정 및 지원하고 있으나 수소 수요가 모빌리티에 한정되어 있고 도시 내 기존 천연가스 네트워크 사용도 아직 불가능한 단계이며, 그린수소 생산 기술 또한 확보되지 못한 상황이므로 국내 기술이 배제된 채 진행되고 있는 측면이 있다.

향후 수소산업 클러스터, 수소특화단지 등 정책·예산 지원시 국내 기술수준과 목표를 우선 고려하여야 하며, 이미 지원되고 있는 사업의 경우 수소경제에 대한 국민의 인식 제고 등 수소경제 선도의 마중물 역할을 할 수 있는 부가적인 효과 창출이 필요할 것으로 생각된다.

국내는 선도국 대비 재생에너지가 풍부하지 않고 아직 수전해 기술 격차가 크므로 이를 따라잡는 것과 동시에 한국형 그린수소 경쟁력 강화 방안을 마련할 필요가 있다. 해외의 그린수소 인프라 구축 방향과 청정수소 인증제 등을 분석하여 국내 여건에 맞게 점진적으로 도입하여야 한다.

우선 제도적 측면에서, 수소 산업은 국내의 신기술 개발은 물론 액화수소 등 새로운 해외 기술이 도입되고 있는 상황이므로 산업 육성과 안전성을 고려한 규제가 동시에 필요한 산업이다. 수소안전법이 시행된 만큼 산업 육성에만 치우치지 않기 위해 표준을 마련하고 검사 기반 및 인력을 확충하여, 민간에서 원활하고 조속하게 사업을 추진할 수 있도록 하는 예산 지원이 필요하다.

이와 함께 청정수소 인증을 제도화하고, 그린수소에 대한 프리미엄 제공을 위해 보조금, 세액공제 등 정책을 마련하여야 한다. 모든 국가에서 재생에너지 전기 가격 하락과 설비 효율 향상 등을 전망하고 있으나, 국내 수소 가격 목표 달성을 위해서는 해외 대비 더 적극적인 기술개발과 정책 수립이 요구된다.

또한 국내 재생에너지 보급량을 고려할 때 청정수소의 해외 도입은 불가피한 상황이므로 수소운반선, 암모니아 수소 추출 등 관련 신산업을 중점적으로 육성하고 소재·부품의 혁신적인 기술개발에 집중 투자하여 해당 분야의 기술을 선도할 필요가 있다.

재생에너지 연계 그린수소 생산의 경우, 영국은 ‘25년까지 수전해 설비 규모를 100MW로 확장하기 위한 타당성 조사 연구에만 115억원을 지원하였다. 이러한 목표 설정과 충분한 사전 준비는 민간에 투자 시그널을 제공할 수 있다.

국내 재생에너지 여건을 고려한 대규모 그린수소 실증 사업의 시작은 민간의 투자를 확대하고 혁신적인 기술을 개발할 수 있는 출발점이 될 것으로 기대된다.

마지막으로 그린수소 경제를 위한 주민수용성이 확보되어야 한다. 재생에너지 보급의 경우 주민수용성 문제는 생태계 및 주거 생활에 부정적인 영향을 미친다는 이유로 가장 큰 장애 요인으로 작용한다.

생활에 밀접한 수소경제 및 수소사회를 위해서는 수전해 및 수소 저장·운송 시설 등 국민이 신뢰할 수 있는 인프라 구축과 안전성 보장이 필수적으로 요구된다. 탄소중립의 필요성과 수소경제의 중요성을 강조하고 지속적인 관심도를 제고하는 체계적인 정책 홍보가 필요한 시점이다.

대한민국이 주도하는 첫 번째 에너지를 목표로, 수소 생산 및 활용 등 인프라 구축에 대한 보조금 지원, 기술 확보를 위한 국가 R&D 예산 지원 확대, 민간의 투자를 촉진하는 전용 펀드 조성, CHPS 등 그린수소 확대를 위한 제도적 기반 마련, 탄소중립과 수소경제에 대한 국민의 공감대 형성 등 다방면의 노력이 요구되며, 보다 빠른 시일 내에 그린수소 경제를 통한 탄소중립이 이루어지기를 기대한다.

참고문헌

IRENA(2020), Green Hydrogen Guide to Policy Making

UK Parliament (2021), UK Hydrogen Strategy

Hydrogen Council (2016)

Energy White Paper, Powering our Net Zero Future (2020)

Draft Hydrogen Action Plan UK (2021)

EU Energy System Factsheet (2021)

EU strategy on hydrogen (2020)

The Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells (2019)

Roadmap to US Hydrogen economy (2021)

Sustainability Report, Siemens energy (2021)

The National Hydrogen Strategy GERMANY (2020)

Hydrogen as an Energy Carrier (2018)

수소경제이행기본계획 (2021)

수소경제 민간투자 계획 및 정부 지원방안 (2020)

2050 탄소중립 시나리오 (2021)

산업통상자원부 보도자료 (2021, 2022)