

삼성 KPMG

Samjong INSIGHT

Vol. 79·2021

삼성KPMG 경제연구원

수소생산에서 활용까지,
수소경제에서 찾는 기회

Thought Leadership I

수소경제로의 이행

Thought Leadership II

수소경제 밸류체인으로 본
비즈니스 기회



H₂

수소생산에서 활용까지, 수소경제에서 찾는 기회

Executive Summary

Thought Leadership I 수소경제로의 이행

수소경제의 의미와 잠재력	02
글로벌 수소경제 전망과 주요국 동향	07
국내 수소경제 전망과 정책 동향	12

Thought Leadership II 수소경제 밸류체인으로 본 비즈니스 기회

수소경제 밸류체인 구성	16
생산: 청색 수소와 녹색 수소	23
저장: 수소 액화와 암모니아	27
운송: 차세대 튜브트레일러와 액화수소 캐리어	30
충전: 수소 복합 충전소와 이동식 충전소	32
활용: 수송·산업·건물·발전 분야 세분시장	34
수소경제 시대를 선도하기 위한 기업의 전략방향	40

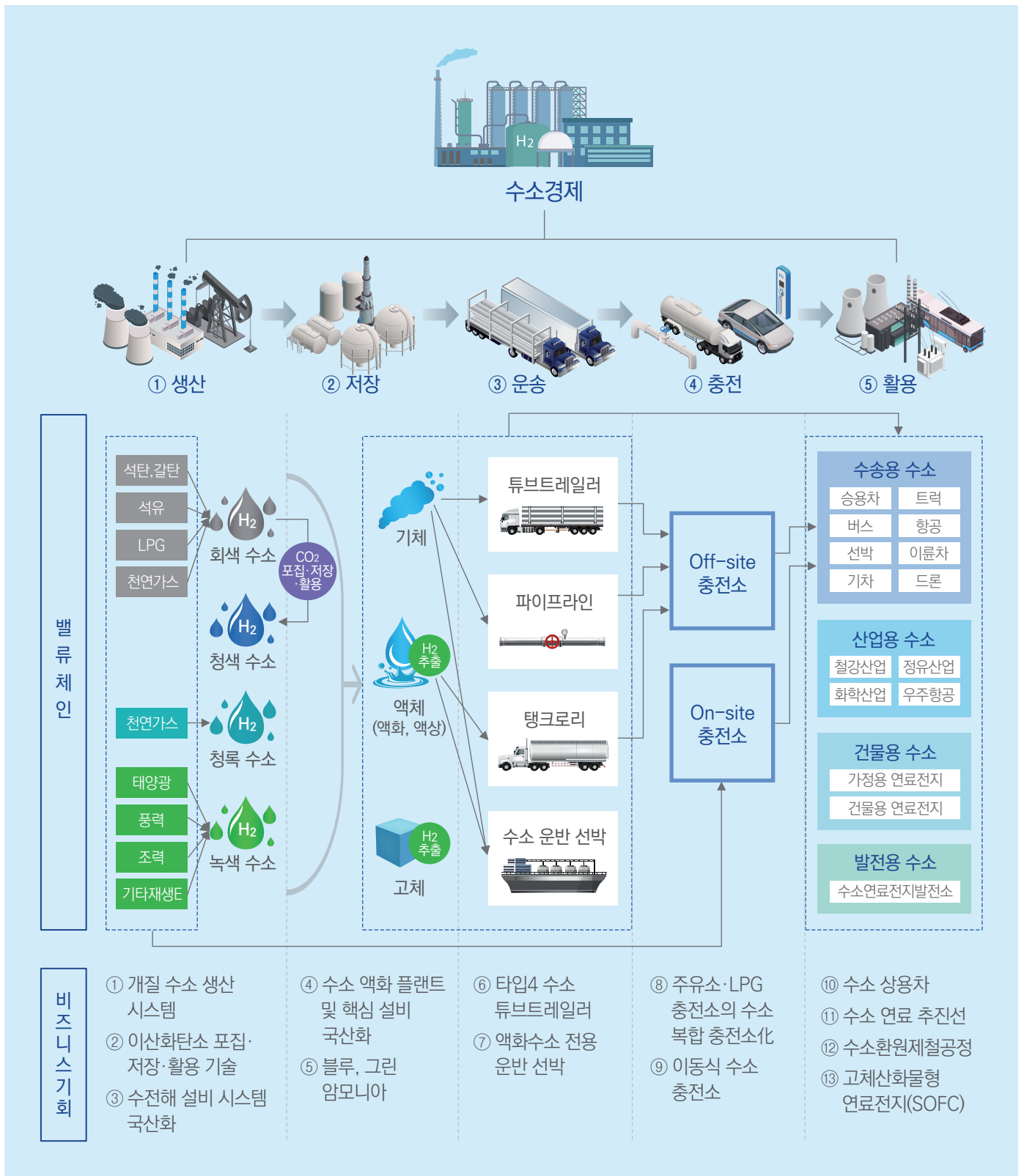
Contact us

김나래 수석연구원	nkim15@kr.kpmg.com	02-2112-7095
엄이슬 책임연구원	yeom@kr.kpmg.com	02-2112-3918
임두빈 수석연구원	doobeenyim@kr.kpmg.com	02-2112-7469

본 보고서는 삼성KPMG 경제연구원과 KPMG member firm 전문가들이 수집한 자료를 바탕으로 일반적인 정보를 제공할 목적으로 작성되었으며, 보고서에 포함된 자료의 완전성, 정확성 및 신뢰성을 확인하기 위한 절차를 밟은 것은 아닙니다. 본 보고서는 특정 기업이나 개인의 개별 사안에 대한 조언을 제공할 목적으로 작성된 것이 아니므로, 구체적인 의사결정이 필요한 경우에는 당 법인의 전문가와 상의하여 주시기 바랍니다. 삼성KPMG의 사전 동의 없이 본 보고서의 전체 또는 일부를 무단 배포, 인용, 발간, 복제할 수 없습니다.

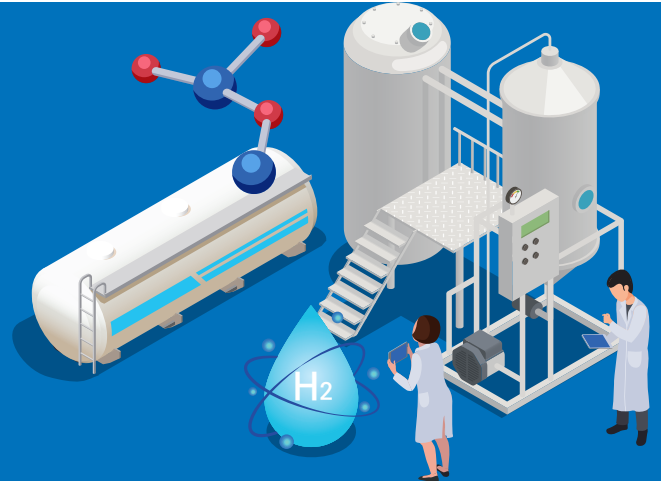
Executive Summary

각국의 탄소중립 선언으로 친환경에너지인 수소가 각광받고 있다. 주요국은 수소경제로의 이행을 천명하고 있으며, 수소 생태계 조성을 위한 정책을 적극 추진하고 있다. 본 보고서에서는 수소의 생산, 저장, 운송, 충전, 활용을 아우르는 수소산업 밸류체인을 분석하여 수소경제 시대 주목해야 할 13가지 비즈니스 기회를 선별했다. Samjong INSIGHT 79호가 우리 기업들이 수소경제 시대에 떠오르는 비즈니스 기회를 선점하고, 글로벌 시장을 선도해 나가는 데 기여할 수 있기를 기대한다.



Thought Leadership I

수소경제로의 이행



수소경제의 의미와 잠재력



수소경제는 낮은 경제성과 기술력 한계로 수십년간 이행이 지연...

기술적 진보, 탄소중립, 각국의 경제재건 정책으로 다시 화두로 부상 ”

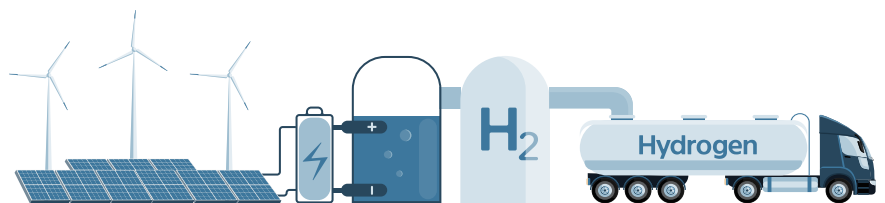
다시 돌아온 수소에너지, 수소경제 시대를 열 수 있을까?

수소는 어디에나 있다. 원자번호 1번 수소는 우주물질의 75%를 차지할 정도로 풍부하다. 지역적 편중이 없는 보편적 에너지원이며 장기간 대용량의 저장이 가능하다는 특징이 있다. 또한 수소는 에너지 효율이 높다. 수소의 질량당 에너지 밀도는 142kJ/g으로 휘발유의 4배, 천연가스의 3배 수준이다. 뿐만 아니라 수소는 산소와의 화학반응으로 열과 전기를 생산한 이후 생성되는 부산물이 물(H₂O)밖에 없어 환경 친화적인 자원이라고 할 수 있다.

이러한 특성으로 수소는 꽤 오랜 시간 동안 미래 에너지 패러다임을 바꿀 이상적인 에너지원으로 손꼽혀왔으나, 수소를 활용하기 위해서는 높은 기술력이 필요해 폭넓은 상용화가 지연되었고, 특정 산업 영역에서만 일부 사용되는 데 그쳤다. 2003년 미국 부시 행정부에서 수소 연료 이니셔티브(Hydrogen Fuel Initiative)를 통해 수소를 국가 에너지 정책으로 추진하기도 했으나, 경제성과 활용 측면에서의 기술적 한계로 오바마 행정부에서 사실상 폐기된다.

그러나 최근 10여년간 연료전지 발전시스템의 고도화와 수소전기차의 상용화로 수소의 활용 범위가 크게 확대되면서, 수소에 대한 기대가 다시 한번 고조되고 있다. 특히 코로나19 팬데믹 이후, 주요국의 경제재건 정책으로 그린뉴딜과 수소산업이 채택되면서, 이제 정부와 기업 모두 앞다퉀 수소경제로의 이행을 외치고 있다. 그렇다면 수소경제는 무엇을 의미할까?

수소경제라는 용어가 등장한지는 지금으로부터 약 50년 전인 1970년대로 거슬러 올라간다. 수소경제는 1970년 미국 자동차 기업 GM의 기술센터 강연에서 텍사스 A&M 대학교 교수인 존 보크리스(John O'M Bockris)가 '수소가 석유를 대체하여 에너지 수요를 충족시키는 에너지시스템 및 경제'라는 의미로 처음 언급했다. 그리고 1973년 미국 가스기술협회의 그레고리(D. P. Gregory) 박사가 'The Hydrogen Economy'라는 제목의 칼럼을 사이언티픽 아메리칸(Scientific American)에 게재하면서 수소경제라는 용어가 본격적으로 사용하게 된다.



“

수소경제는
수소를 주요 에너지원으로
사용하는 경제산업
구조로 경제성장의
새로운 동력으로 기대

”

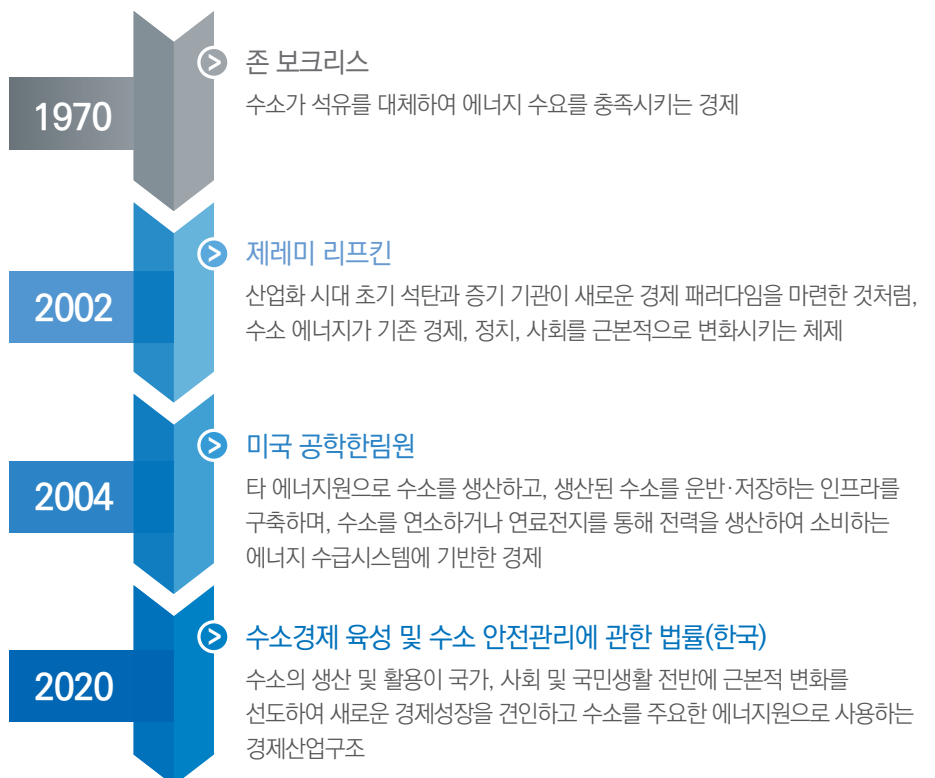
이후 수소경제는 경제학자이자 미래학자로 잘 알려진 제레미 리프킨이 2002년 발간한 저서인 ‘The Hydrogen Economy’를 통해 대중화된다. 제레미 리프킨은 이 저서를 통해 수소경제란 ‘산업화 시대 초기 석탄과 증기 기관이 새로운 경제 패러다임을 마련했듯이, 수소 에너지가 기존의 경제, 정치, 사회를 근본적으로 바꾸는 것’으로 보았다.

2004년 미국 공학한림원(National Academy of Engineering, NAE)은 수소경제를 밸류체인 관점에서 보다 체계적이고 구체적으로 설명했는데, ‘수소경제란 석탄, 천연가스, 원자력, 신재생에너지를 이용하여 수소를 생산하고, 생산된 수소를 운반·저장하는 인프라를 구축하며, 수소를 직접 연소하거나 연료전지를 이용하여 전력을 생산하여 최종적으로 소비하는 에너지 공급 시스템에 기반한 경제’로 정의했다.

한편 우리나라의 경우 2020년 ‘수소법’(수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률)을 세계 최초로 제정하면서 제2조 정의에 “수소경제란 수소의 생산 및 활용이 국가, 사회 및 국민생활 전반에 근본적 변화를 선도하여 새로운 경제성장을 견인하고 수소를 주요한 에너지원으로 사용하는 경제산업구조를 말한다.”고 명문화 했다.

지난 50여 년간 수소경제는 잠시 주목받다가 다시 잊혀지기를 반복해 왔다. 그러나 코로나19 팬데믹 이후의 상황은 이전과 사뭇 다르다. 기후변화 대응과 탄소중립, 경제재건을 위해 수소 생태계의 성장 모멘텀이 강력하게 형성되었고, 세계 주요국들은 수소경제 로드맵을 구축하여 체계적인 정책을 일관되게 추진하고 있다. 민간부문에서도 수소경제의 전 밸류체인에 걸쳐 비즈니스 기회를 적극 모색하고 있다. 수소경제가 본격적으로 태동하고 있으며, 수소경제의 실현 가능성은 그 어느때보다 높은 상황이다.

» 연도별 수소경제의 정의



탄소경제에서 수소경제로의 전환

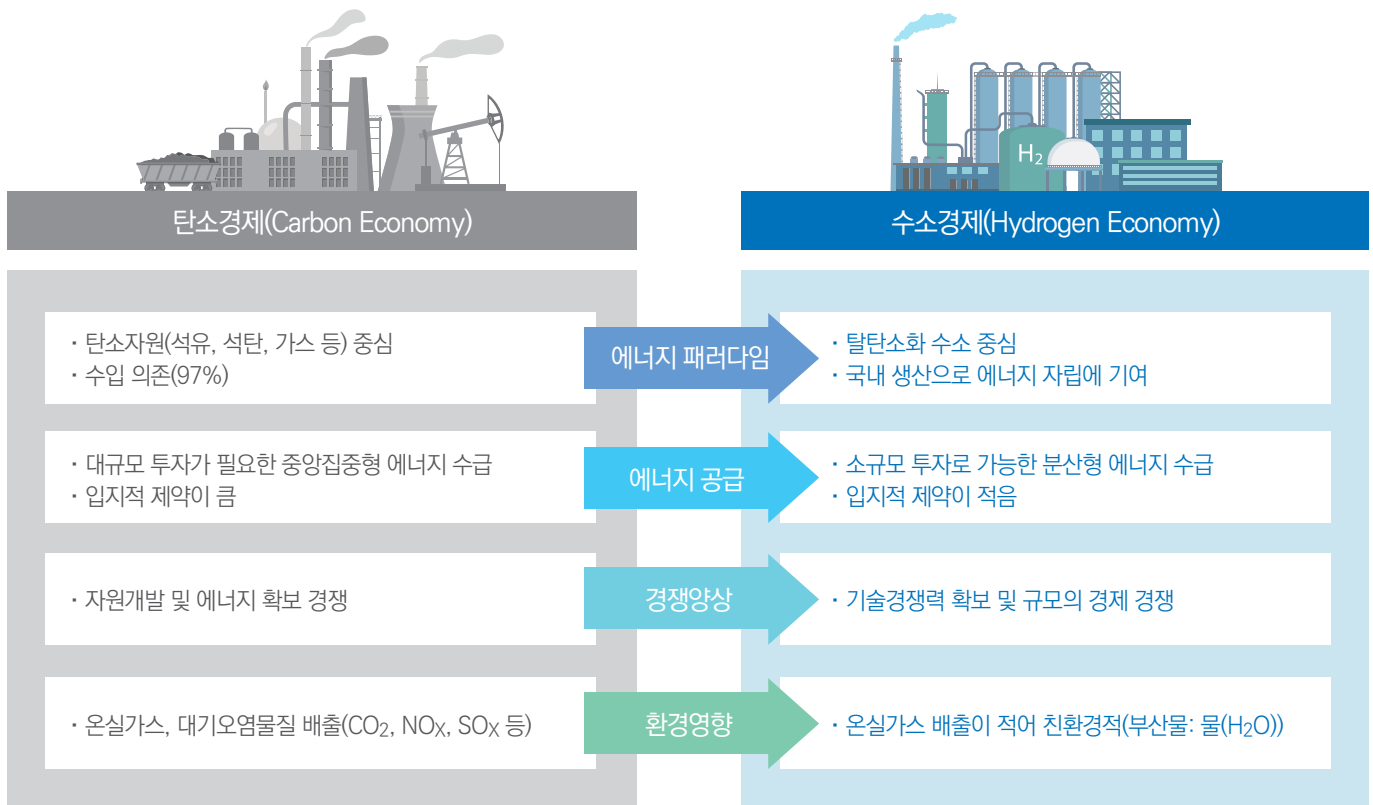
수소경제는 명문화된 정의 외에도 기존 화석 연료 중심의 탄소경제에서 벗어나겠다는 에너지 전환의 의미를 담고 있다.

수소경제를 기존의 탄소경제와 비교하면, 탄소경제는 석유, 석탄, 가스 등 탄소를 배출하는 화석 연료 자원이 중심이 되며 97% 이상을 해외 수입에 의존하고 있다. 반면 수소경제는 탄소 배출이 거의 없는 수소를 중심으로 활용하여 국내 생산이 가능하다. 또한, 에너지 공급구조 측면에서는 탄소경제의 경우 대규모 투자가 필요한 중앙집중형 에너지 공급구조를 띄며, 입지적 제약이 크다. 반면, 수소경제는 소규모 분산형 에너지 공급구조를 갖고 입지적 제약이 상대적으로 적다. 시장경쟁 측면에서 탄소경제는 자원개발과 에너지 확보 경쟁이 치열한 반면, 수소경제는 기술경쟁력 확보와 규모의 경제가 관건이다.

전 세계가 탄소중립(Net-Zero)을 선언하고, 이행해 나가는 과정에서 수소경제로의 전환은 중요한 정책적 수단이 될 것이다. 그러나 현재 수소는 경제성의 이유로 대부분 정유, 석유화학, 제철 등의 공정에서 부산물로 생산되거나, 천연가스를 통해 생산되고 있어, 탄소경제에서 완전히 벗어났다고 볼 수 없다. 또한 전기분해를 통해 수소를 얻는다고 하더라도, 화력발전을 통한 전력을 사용한다면, 이 또한 탄소경제에서 수소경제로의 전환을 설명하기에 한계가 있다. 따라서 최근 진행되고 있는 수소경제로의 전환은 궁극적으로 재생에너지를 활용해 수소를 생산하는 것이고, 일부 산유국에 집중된 화석 연료의 공급 체인에서 벗어나 혁신기술을 통해 에너지 공급과 수요 전체 영역에서 수소를 주요 에너지 유통수단으로 사용하는 것이다.

“ 수소경제로의 이행은 궁극적으로 화석 연료 중심의 탄소경제에서 벗어나 에너지 전환을 이루는 것 ”

탄소경제 vs. 수소경제



Source: 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

왜 수소에너지에 주목하는가?

수소경제의 핵심은 탄소를 배출하는 화석 연료 기반 에너지 시스템을 수소에너지로 전환하는 것이므로 수소 중심의 에너지 시스템을 구축하면 환경, 에너지, 사회 및 경제 분야 등에서 나타나는 여러가지 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 수소에너지에 주목해야 하는 이유는 크게 4가지로 정리된다.

“

수소에너지는 에너지
안보, 탄소중립, 에너지
운반체, 전후방 산업
파급효과 측면에서
중요한 역할을 담당할
전망 ”

첫째, 수소에너지는 특정 국가 또는 지역에 집중적으로 매장되어 있는 화석에너지와 달리 지역적 편중이 없는 보편적인 에너지원이다. 지구 표면에서는 산소와 규소에 이어 세 번째로 많은 원소이며, 우주에서는 질량 기준으로 약 75%, 원자 개수로는 90%를 차지하는 가장 풍부한 원소이다. 따라서 활용에 대한 기술적 난이도는 높지만 현재 화석 연료의 97% 이상을 수입하는 우리나라에서는 국내 생산이 가능한 수소를 활용하여 에너지원을 다각화하면 해외 에너지 의존도를 낮춰 에너지 안보를 강화할 수 있다.

둘째, 수소는 산소와 반응하여 열과 전기를 만든 후 부산물로 물(H₂O)을 남기는 친환경 에너지이다. 수송 및 발전 등 다양한 분야에서 활용되어 탄소 저감으로 탄소 비용을 줄이고, 태양광 및 풍력과 같이 기후에 따른 간헐성과 변동성, 지역간 편차 등의 재생에너지의 근본적 한계를 보완해주는 보완재의 역할을 함으로써 재생에너지 활용도를 높일 수 있다. 따라서 미국이 파리 기후변화협정에 복귀한 상황에서 글로벌 탄소감축 목표를 달성하고, 우리나라 에너지 정책의 기본방향인 '에너지 전환'이라는 큰 목표를 달성하는 데 수소가 미래에너지로서의 재생에너지 확산을 보완하고 촉진하는 역할을 할 것으로 기대된다.

» 수소경제가 중요한 이유



에너지 자립 및 에너지 안보 강화

- 수입에 의존하고 있는 화석 연료를 수소로 대체 시 국내 생산 가능
- 에너지원의 다각화로 에너지 공급 리스크 완화



친환경에너지로 탄소중립 사회 실현에 기여

- 수소는 열과 전기를 만든 후 부산물로 물(H₂O) 생성
- 온실가스 감축 및 미세먼지 저감을 실현



에너지 운반체(Carrier)로서의 역할

- 전력 등 타 에너지원과 비교하면 상대적으로 저장하기에 용이
- 저장 용이성은 유통 경제성뿐만 아니라 충전소 인프라 구축에도 이점



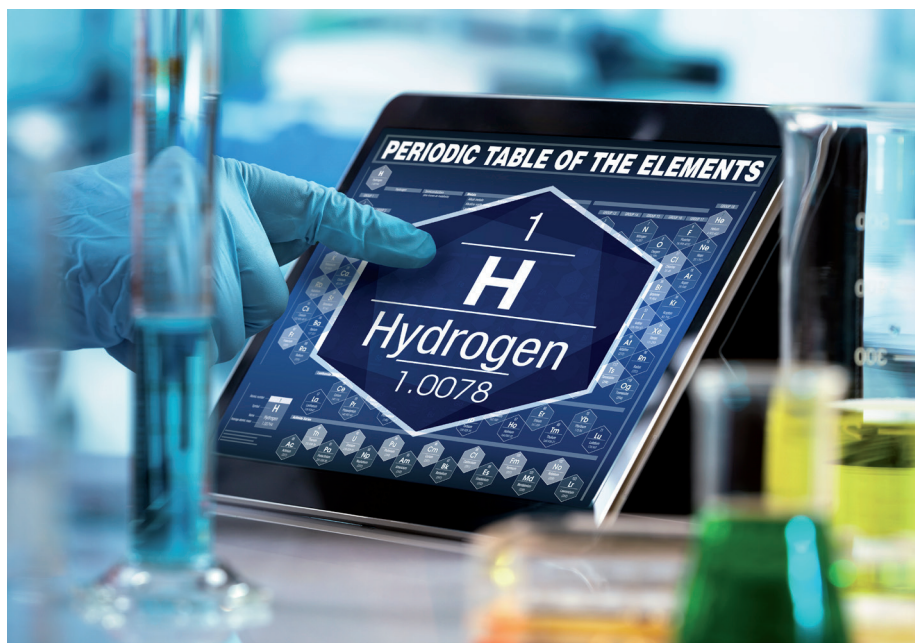
전후방 산업에 파급효과가 큰 미래 성장 동력

- 신규 미래산업 창출 가능
- 밸류체인 전반에 걸쳐 다양한 산업과 연계 가능, 관련 산업의 시장 확대 촉진

셋째, 수소는 에너지 운반체(Carrier)로서의 역할을 하며, 저장 및 운반에 활용도가 높다. 가장 흔히 사용하는 에너지 운반체인 전기와 비교하면 저장하기 쉽다는 것은 수소가 갖는 큰 장점이다. 현재 기체 상태로 수소를 압축해 저장하는 기술이 상용화된 상황이며, 부피를 800배나 줄일 수 있는 액화수소 저장 기술도 빠르게 발전하고 있다. 이러한 저장 용이성은 유통뿐만 아니라 충전소 등 인프라 구축에도 이점이 있다. 실제로 기체수소 충전소는 부지 약 250평이 필요하지만, 액화수소 충전소는 3분의 1 정도인 약 80평이면 충분하다. 이 때문에 도시 내에 설치하기 용이하여 인프라 구축에 유리한 것으로 평가된다.

넷째, 수소에너지는 전후방 파급효과가 큰 미래 성장동력 아이템으로서 차량을 중심으로 한 수송 분야에서부터 전기, 열 등 전반적인 에너지 산업에 걸쳐 다양한 미래 산업을 창출할 수 있다. 수송 부문에서는 승용차부터 상용차, 열차, 선박, 드론, 건설기계 등 모든 운송 분야에 수소가 활용되어 새로운 산업 생태계를 창출할 수 있다. 한편, 에너지 부문에서는 친환경적 이면서 고효율 방식으로 전기와 열을 생산하는 연료전지가 분산형 전원의 대표적 기술로 떠오를 것이다.

수소 관련 산업은 협력 부품업체가 많고, 수소 생산-저장 및 운송-활용 등의 밸류체인 전반에 걸쳐 다양한 산업과 연계가 되어 있어 전방산업뿐만 아니라 후방산업까지 파급효과가 크다. 전기차보다 차량에 들어가는 부품 수가 많은 수소차와 연료전지 등은 협력업체가 대부분 중소 혹은 중견기업이기 때문에, 활용이 확대됨에 따라 협력기업들의 성장과 고용창출로 이어질 수 있다. 또한, 수소 생산, 저장 및 운송, 활용 등에 필요한 인프라 구축은 화학·금속·기계 설비 등 관련 산업의 투자와 고용 및 시장확대를 촉진한다. 즉, 새로운 시장의 형성은 물론 밸류체인 전반에 걸친 관련 산업의 확대도 기대할 수 있다.



글로벌 수소경제 전망과 주요국 동향

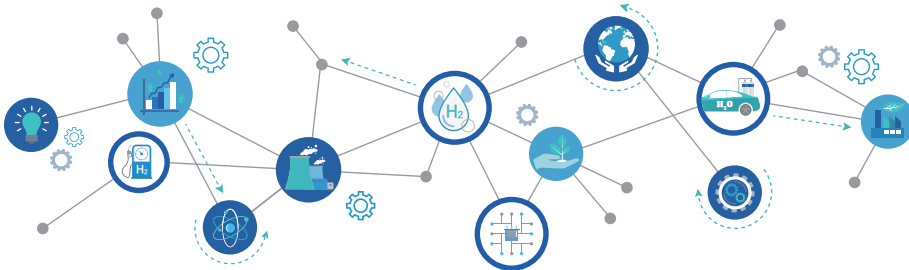
“

수소 생산시장은
아시아·태평양에서
가장 높은 증가세를 보이며,
2050년 수소 수요는
최종 에너지 수요의
24%를 차지할 것 ”

글로벌 수소시장 현황

글로벌 수소 생산시장은 2020년 기준 1,290억 달러(148조 6,000억 원)로 추정되며 2025년까지 연평균 9.2%씩 성장할 것으로 예측된다. 물론 수소 생산시장의 규모가 전체 수소시장의 규모를 의미하는 것은 아니지만, 수소 생산시장은 저장 및 운송, 활용 등 전방 밸류체인인 성장성을 가능하는 척도가 될 수 있다. 2020년을 기준으로 아시아·태평양 지역에서의 수소 생산 비중이 전체의 절반에 달하며 2025년까지 연평균성장률도 10%로 가장 높게 나타난다. 이는 해당 지역에 중화학 공업 인프라가 집중되어 있어 부생 수소 시장이 크기 때문이다. 그러나 부생 수소보다는 탄소배출이 없는 녹색 수소가 탄소중립을 위해서는 더욱 필요하기 때문에 다양한 수전해 방식에 대한 R&D가 활발히 실시되고 있으며, 특히, 100MW급 이상의 대규모 수전해 실증사업이 유럽을 중심으로 진행되고 있다.

수소경제를 주도하는 글로벌 기업들이 조성한 수소위원회(Hydrogen Council)에 따르면 글로벌 수소시장은 2030년까지 약 1억 톤, 2050년까지 5.5억 톤으로 연평균 9%씩 증가할 것으로 보인다. 이는 에너지로 환산한다면, 전 세계 에너지 사용량의 3%, 18%에 해당한다. 또한, 블룸버그 전망에 따르면 수소경제 실현을 위한 강력한 정책을 실시할 경우 2050년 수소 수요는 최종 에너지 수요의 24%에 해당하는 696MMT까지 증가할 것으로 예측된다. 운송용, 발전용, 산업용 등의 순서로 수요를 차지할 것으로 전망되는데 이를 통해 이산화탄소를 매년 약 60억 톤 감축하고, 수소 및 관련 장비에서 연간 2조 5,000억 달러(2,871조 원)의 시장과 3,000만 개의 누적 일자리를 창출할 수 있을 것으로 예측된다.



》 글로벌 수소 생산시장 추이

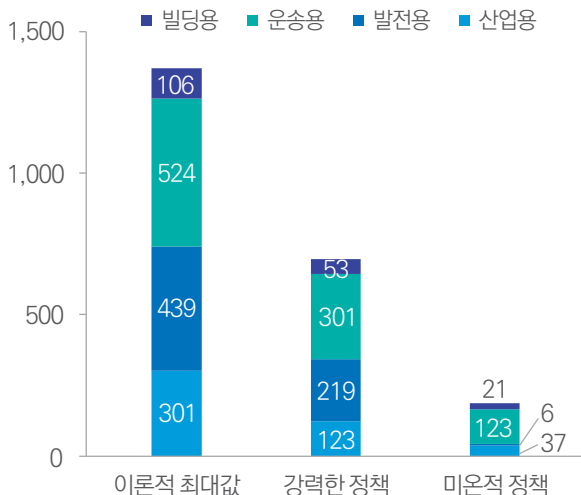
(단위: 백만 달러, %)

지역	2020	2025F	CAGR
아시아·태평양	58,042	93,468	10.0
유럽	27,898	43,543	9.3
북미	31,999	49,260	9.0
중동	4,648	6,246	6.1
남미	5,273	6,676	4.8
아프리카	1,758	2,191	4.5
글로벌	129,618	201,385	9.2

Source: 한국기계연구원

》 2050년 글로벌 수소 수요 전망

(MMT)



Source: Bloomberg

주요 국가별 수소경제 대응 동향

친환경에너지원으로서 수소가 글로벌 탄소중립 목표 달성에 기여할 뿐 아니라 새로운 시장을 창출하고 에너지 안보에도 기여한다는 점에서 주요국 정부는 수소산업 육성 계획을 지속적으로 발표하고 있다. 수소경제가 자리잡기 위해서는 수소의 생산, 유통, 활용 등 산업 생태계 전반에 걸친 균형 있는 성장 전략이 필요하다. 이에 따라 각 국가별 중점 전략에 다소 차이는 있지만 전반적으로 주요국들은 수소경제 전반을 아우르는 밸류체인 관점에서 정책목표를 수립하고 실행 과제들을 적극 추진하고 있다.

» 주요국의 수소 정책 동향

국가		 미국	 독일	 중국	 일본	 호주
탄소중립 목표연도		2050년	2050년	2060년	2050년	2050년
생산	수소 공급	<ul style="list-style-type: none"> 2030년까지 수소 수요 1,700만 톤으로 확대 자급률 100%를 위해 수전해설비 등 수소 생산기술 혁신에 투자 	<ul style="list-style-type: none"> 지속가능한 생산방식과 최종소비자까지의 공급체인 구축 2030년까지 녹색 수소 생산설비 5GW 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 수소 생산 확대를 위해 수소에너지를 주요 에너지원에 편입 2040년까지 분산형 녹색 수소 생산체계 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 장기적인 수소 생산국 지위 선점을 위해 적극적인 R&D 및 프로젝트 보조금 지원 등으로 민간 협력 활발 	<ul style="list-style-type: none"> 2025년 수소 수출 및 2030년 내 아태지역의 3대 수소 수출국 도약 목표로 수소 생산 설비 보조금 및 저리 융자 확대 CCUS²⁾ 기술 개발에 A\$³⁾ 5억 투자
	수소 생산가격	2030년까지 \$1.28~2.16/kg	2030년까지 \$1.57/kg	-	2040년까지 \$2/kg	2030년까지 A\$ ³⁾ 2.14~2.74/kg
저장 운송	저장기술 및 파이프라인	<ul style="list-style-type: none"> 고밀도 저장 시스템 개발 및 탄력적 수요 대응을 위한 수소 저장 전략 구축 1,600마일 이상 파이프라인 건설 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 천연가스 인프라로 EU 국가와 유통 네트워크 구축, 액화기반 수소 저장 기술 개발 촉진 	<ul style="list-style-type: none"> 해외기업과의 신기술 개발 협력 지원, 수소 제조부터 운반까지 안전성 확보를 위한 기술 투자 	<ul style="list-style-type: none"> 액화수소, 액상 유기 화합물 (LOHC¹⁾), 암모니아, 메탄화 기술 개발 및 임해 지역에서의 수소 네트워크 형성 	<ul style="list-style-type: none"> 일본 등과 해외 액화수소 공급망 구축 사업
활용	수소차	2030년까지 수소차 120만 대	2030년까지 수소차 180만 대	2030년까지 수소차 100만 대 이상	2030년까지 수소차 80만 대	2030년까지 친환경차 비중을 26%까지 확대
	수소 충전소	2030년까지 수소 충전소 5,800개소	2030년까지 수소 충전소 1,000개소	2030년까지 수소 충전소 1,000개소 이상	2030년까지 수소 충전소 900개소	-
	연료전지	<ul style="list-style-type: none"> FCHEA 등 민간 단체 조성을 통해 정책 제언 및 투자 촉진 	<ul style="list-style-type: none"> 민간주도형 수소 연료전지 시스템 공급을 위한 기술 개발 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 해외 기업 지분 인수를 통해 기술 협력 연료전지 핵심 기술의 사업화 및 보조금 지급 	<ul style="list-style-type: none"> 가정용 연료전지 (에네펜) 보조금 지급 등 	<ul style="list-style-type: none"> 가정용 연료전지 개발 지원 및 국제 기술 협력 강화

Source: 언론보도 종합, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note 1: Liquid Organic Hydrogen Carrier

Note 2: Carbon Capture Utilization and Storage

Note 3: 호주달러

미국 : 2030년까지 수소 자급률 100% 달성 목표

미국은 일찍부터 수소경제의 가능성에 주목했다. 1992년 제정된 미국의 '에너지 정책법 (Energy Policy Act)'은 수소에 대한 정책을 최초로 명시한 국가 입법이었다. 이후 수소차와 연료전지에 대한 기술과 시장성에 대한 비관적 견해로 관련 예산이 대폭 삭감되기도 하였으나, 재생에너지 보급 확대와 관련 기술발전 및 단가하락으로 효율성이 개선되면서 수소경제에 대한 시장의 관심이 살아나고 있다.

기업들로 구성된 전국 단위 민간단체인 연료전지 및 수소에너지협회(Fuel Cell and Hydrogen Energy Association, FCHEA)는 2010년에 조성되어 2020년 '미국 수소경제로의 로드맵'을 통해 연간 7,500억 달러 수익과 340만 개 일자리 창출을 목표로 2050년까지의 수소경제 구축을 위한 정책을 제안했다. BMW, 토요타, 보쉬, 퓨어셀 등이 참여하고 있으며 2021년 7월 기준 현대차, 두산중공업도 회원이다. 또한, 미국 정부는 민간 협력단체인 H2USA를 2013년 조직하여 수소경제로의 이행을 위해 'H2@Scale' 프로젝트를 2019년에 발표했다. 동 프로젝트는 2050년 탄소중립 목표를 이행하고 경제를 활성화하는 전략으로 수소산업을 집중적으로 육성하는 것이 핵심이다.

미국의 수소 정책은 주마다 상이하지만, 그중에서도 캘리포니아가 가장 적극적이다. 캘리포니아는 민간 협력단체 CaFCP(California Fuel Cell Partnership)을 결성하고, 2004년부터 수소 고속도로(Hydrogen Highway) 사업을 통해 충전소 보급을 확산 해왔으며, 그 결과 2019년 기준 북미 지역 수소 충전소의 65%가 캘리포니아에 소재해 있다. 또한, 캘리포니아 포함 11개 주에서는 환경오염, 배출량, 주행거리 등을 고려하여 자동차 제조사에 벌금을 부과하는 ZEV(Zero Emission Vehicle) 크레딧 제도를 통해 수소차 확산을 촉진하고 있다.

EU : 독일을 중심으로 2050년까지 대규모 생산체제 도입

EU 차원에서 수소경제에 대한 공동 노력은 2004년 '수소경제 구축을 위한 중장기 로드맵'을 발표한 것이 시초라고 할 수 있다. 이후에는 2008년에 유럽 유일 공공 및 민간 협력기구인 FCH-JU(Fuel Cells and Hydrogens-Joint Undertaking)를 설립하여 초기 수소시장 조성을 지원해왔다. 또한, H2ME(Hydrogen Mobility Europe) 사업을 통해 수소차 확산을 견인했으며 이에 2019년 기준 유럽에서 운영 중인 수소 충전소는 177개소로 늘어났다.

최근 EU 집행위원회는 2020년 7월 'EU 수소전략'을 발표했다. 이는 팬데믹으로 침체된 경제를 살리기 위한 그린 딜의 연장선에서 새로운 일자리 창출, 세계 수소 산업에서의 주도권 확보를 목적으로 하고 있다. 2050년까지 에너지 소비 중 청정 수소의 비중을 23%까지 확대하고 연간 매출 6,300억 유로의 수소경제를 달성하겠다는 것이 주 목표이다. 특히, 유럽의 수소경제를 견인하고 있는 독일은 2020년 6월 2050년 온실가스 배출 제로를 목표로 '국가 수소전략'을 발표했다. 기존 에너지를 수소로 대체하기 위해 90억 유로를 투자하여 수소 인프라를 구축할 예정이다.

중국 : 해외 기업 간 파트너십 체결과 수소도시 건설

미세먼지 등의 국가적 문제로 탈화석 연료를 외치고 있는 중국은 에너지 자립도를 높이고 저탄소 에너지 활용을 확산시키기 위해 최근 들어 적극적인 수소산업 육성 정책을 펼치기 시작했다. 중국 정부가 추진하고 있는 수소경제 정책의 핵심은 수소차 및 수소 충전소의 보급, 부품

“

일찍이 수소에 주목한 미국은 다양한 민간 및 민간 협력 단체에서 수소경제 프로젝트를 활발하게 진행해 옴

”

“
 중국은 해외기업 간
 파트너십 체결과
 수소도시 건설, 일본은
 국제 수소 공급망
 구축 등으로 수소경제
 추진 중 ”

국산화, 수소 생산 기반 구축, 정부 지원금 확충 등으로 구성된다. 중국 내 수소 수요는 2050년 까지 5,000만 톤을 목표로 하고 있으며, 최종 에너지에서 차지하는 비중을 10% 수준으로 높일 계획이다. 수소차 보급목표는 2020년 5,000대, 2025년 5만 대, 2030년까지 1,000만 대로 수소 충전소는 2020년 100개소, 2030년 1,000개소로 설정하고 보조금을 확대하고 있다.

또한, 중국은 기술 약점을 극복하기 위해서 외국 기업과의 파트너십도 적극적으로 맺고 있다. 2019년 중국 디젤엔진기업 웨이차이는 연료전지 기술을 가진 영국의 세레스(Ceres Power)와 캐나다의 발라드(Ballard Power) 지분을 인수하여 글로벌 수소 기업으로 성장했다. 한편, 중국은 수소경제 활성화를 위하여 유럽과 같이 수소 시범 도시를 조성하였다. 주요 시범도시는 루가오, 타이저우, 원푸로 꼽히는데, 이는 제조부터 활용까지 전체 수소 가치사슬을 한 도시에 배치하여 수소를 핵심 산업으로 발전시킨 도시이다. 특히, 수준 높은 수소 시스템이 안착된 루가오는 다른 지역에도 적용가능한 수소 도시 모델로 중국의 수소경제 발전을 주도하고 있다.

일본 : 민관협력을 통한 프로젝트 진행과 국제 수소 공급망 구축

후쿠시마 사고 이후 일본은 자립형 에너지 공급을 위하여 수소경제를 집중육성 해왔다. 에너지 안보에 구조적 취약성을 가지고 있는 일본은 1차 에너지 공급 구조를 다각화하여 강력한 저탄소화를 실현하는 수단으로 수소 에너지를 지목하고 있다. 일본 정부는 2014년 제4차 에너지기본 계획에서 수소 사회를 추진할 것이라고 선언하고, 2017년에는 세계 최초로 수소 사회 실현 목표를 향한 전략 로드맵인 '수소 기본 전략'을 발표했다. 이에 따르면 수소 사회 실현을 위한 발전 단계를 3단계로 구분하고 단계별 목표와 중점 과제를 별도로 설정하고 있는데, 2030년까지 30만 톤의 수소를 확보하겠다는 목표를 제시했다. 해당 수치 자체는 타국의 목표 대비 높지 않지만, 다양한 해외 생산 프로젝트를 주도하며 기술을 선도적으로 축적해 단순히 수입국이 아닌 장기적으로 수소 공급자 지위를 선점할 전략이다. 일본 정부의 수소 정책에서 눈에 띄는 것은 정부 기관과 민간 기업의 활발한 협력으로 수소 사업이 진행되고 있다는 점으로 2050년까지 민관협동을 통해 활발한 R&D 및 해외 프로젝트를 계획하고 있다.

한편, 로드맵에 따르면 공급 측면에서는 호주 갈탄 등 저렴한 해외 미이용 에너지를 활용하여 조달 및 공급 비용을 절감한 국제 수소 공급망을 구축하는 것을 계획하고 있다. 활용 측면에서는 발전단가를 17엔/kWh까지 낮춰 2030년에는 수소 발전을 상용화하고 발전 용량을 15~30GW까지 늘리는 것을 목표로 하고 있다. 공급망 구축을 위한 수요 확보 차원에서는 수소 모빌리티를 확산시키고자 수소차 80만 대, 수소 버스 1,200만 대, 수소 충전소 900개소 확대를 계획하고 있다. 그 외에는 2030년 530만 대 도입을 목표로 가정용 연료전지인 에네팜 (Enefarm) 등 가정용 수소 공급체인 개발에도 주력하고 있다.

호주 : 3대 수소 수출국 달성과 수소허브 조성

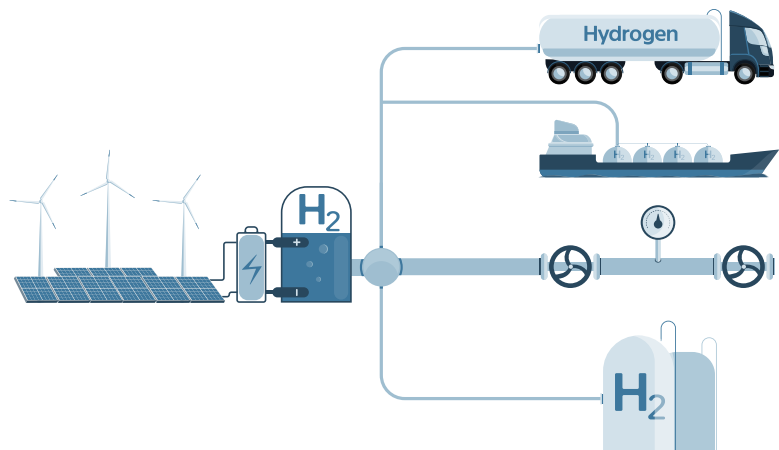
호주는 2018년에 '국가 수소로드맵'을 발표하며 지속가능한 수소산업으로 가는 방향을 제시했다. 해당 로드맵은 호주 수소산업의 전 밸류체인에 걸친 기술개발, 시장 현황 및 전망, 그리고 투자 관련 정보를 담고 있다. 이후 2019년에는 '국가 수소전략'을 발표하면서 2025년 전후를 기반 구축과 실증 시기, 대규모 시장 활성화 시기로 구분하여 각 시기에 맞는 수소경제 구축 전략을 제시했다. 호주는 한국, 일본, 싱가포르 등 국가간 양자협력을 중점적으로 추진하고 있는데, 아시아·태평양 지역에 대한 3대 수소 수출국 달성과 같은 목표도 수립했다.

“

호주는
대규모 수소
유통 중심지인
수소허브의
역할을 선점하여
경쟁력 강화 모색 ”

호주의 수소 전략 핵심은 ‘수소허브(Hydrogen Hub)’ 조성이라고 말할 수 있는데, 대규모 수소 유통 중심지로서의 수소허브를 구축하여 공간적 집약을 통해 효과적인 인프라 개발, 규모의 경제 확보, 기술혁신 촉진, 부문간 융합을 통한 시너지 창출 등의 효과를 도모하는 것이다.

호주가 수소경제를 구현하고자 하는 이유는 먼저, 풍부한 천연자원과 전문인력 등을 보유하고 있어 생산여건이 양호하고 수출상품으로서 수소의 잠재력을 높여 평가하기 때문이다. 호주 정부는 기술개발 등으로 수소산업 가치사슬 전반에 걸쳐 경제성 개선이 더욱 가속화될 것으로 보고, 수소 생산비용은 2030년까지 1kg 당 2.14~2.74 호주달러를 목표로 하고 있다. 호주는 다른 국가들 대비 수소경제 관련 목표가 구체화되어 있지 않지만 2021년 5월 발표한 연방 예산안에서 보다 구체적인 실행방안을 제시했으며 수소의 국내 소비와 해외 수출을 동시에 추진 중이다. 이러한 관점에서 수소 생산 잠재력과 생산비용에 대한 투자가 활발하다는 점이 눈에 띈다.



국내 수소경제 전망 및 정책 동향

“
한국은 글로벌 수소
시장 5위로 빠르게
성장 중...
수소경제 로드맵에 따라
민간투자도 활성화
”

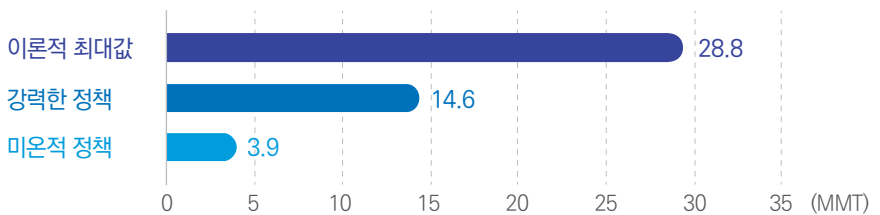
국내 수소경제 시장 전망

한국은 2019년 수소경제 로드맵을 수립하고 후속 대책 6건 수립, 핵심기술 개발 등에 약 3,700억 원을 집중적으로 지원해 왔는데, 그 결과 글로벌 수소 시장을 빠르게 선점하고 있다. 먼저, 수소차는 2020년 기준 연간 전 세계 수소차 판매량이 6,500여 대로 2019년 대비 약 35.3%의 성장률을 보이면서 전 세계 수소차 시장점유율이 70%에 육박하는 것으로 나타났다. 향후에도 유럽 등을 중심으로 수출국이 확대되면서 해외 시장 개척 성과가 더욱 가속화될 것으로 보인다. 수소 트럭은 현대자동차가 세계 최초로 양산체계를 갖추고 2025년까지 10톤 급 수소 트럭 1,600대를 스위스에 수출하는 계약을 체결하기도 했다. 수소경제 확산의 핵심 인프라인 수소 충전소는 2021년 7월 기준 총 100개소가 설치되어 있지만, 2022년 목표치인 310개소를 달성하려면 충전소 설치 속도가 아직은 미흡한 상황이다. 한편, 연료전지의 경우 발전량이 2019년 기준 408MW로 우리나라가 글로벌 보급량의 40%를 보유하며 1위를 차지했다.

한편, 민간 투자도 활성화되고 있다. 정부의 수소 정책에 호응하여 기업들이 약 47조 원 수준의 투자를 계획하고 있다. SK, 현대차, 포스코, 롯데케미칼, 한화, 효성 등 6개 기업이 그린 및 청색 수소 등 생산 분야에 약 15조 원, 액화플랜트 등 저장 및 유통에 8조 원, 발전수소차 등 활용분야에 24조 원을 투자할 예정이다. GS칼텍스, 현대오일뱅크, 에스오일 등 정유 기업들도 미래 신산업 차원에서 수소경제 비전을 발표했다는 점이 돋보인다.

우드맥켄지에 따르면 글로벌 수소 시장 5위 규모인 한국의 2020년 수소 수요는 444만 톤에 달한 것으로 보이며 이 가운데 86%가 정유 부문에서 발생한 것으로 파악된다. 또한 블룸버그에 따르면 글로벌 에너지 수요 중 한국의 수요가 2.1%를 차지한다는 가정 하에 국내에서 수소에 대한 강력한 정책이 지속될 경우 2050년 14.6MMT 수요가 발생할 것으로 예측된다.

》 2050년 한국의 수소 수요 전망



Source: Bloomberg

》 주요 기업별 투자 계획(안)

기업	투자분야	투자금액
SK	대규모 액화플랜트 구축, 연료전지 발전 확대 등	18.5조 원
현대차	수소차 설비투자 및 R&D, 연관 인프라 투자	11.1조 원
포스코	부생 수소 생산 및 해외 녹색 수소 도입, 수소환원철 개발 등	10.0조 원
롯데케미칼	청정 수소 생산 및 탄소 자원화 기술 개발, 수소 연료전지 발전 등	4.4조 원
한화	녹색 수소 R&D 실증 및 생산, 수소 저장설비 등	1.3조 원
효성	액화플랜트 구축, 액화충전소 보급	1.2조 원

Source: 언론보도 종합, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note: 투자금액은 2021년 7월 28일 기준

국내 정책적 대응 동향

한국의 수소경제는 2005년에 수립한 수소경제 이행을 위한 마스터플랜에서 시작한다. 마스터플랜에서는 2040년까지 최종 에너지 중 수소 비중을 15%를 목표로 수소경제 구축을 위한 단계별 개발 및 보급, 연료전지 산업화, 인프라 구축 방안을 제시했다. 이후 2017년에는 H2KOREA를 창립했는데 이는 유럽의 FCH-JU, 미국의 H2USA와 같이 수소 보급 활성화를 위한 민간협의체로 총 70개 기관 회원이 가입되어 있다. 2019년에 이르러서는 수소경제 활성화를 위한 수소 생산·저장·운송·활용 전 분야의 목표 및 전략을 담고 있는 ‘수소경제 활성화 로드맵’이 발표했다. 로드맵에서는 2022년까지 수소경제 준비기, 2030년까지 수소경제 확산기, 2040년까지는 수소경제 선도기로 구분하고 세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약이라는 구호 아래 ①수소차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성, ②화석 연료 자원 빈국에서 녹색 수소 산유국으로의 진입을 주요 비전으로 제시했다.

“

2019년 ‘수소경제 활성화 로드맵’과 후속조치를 통해 밸류체인별 목표와 활성화 방안 제시

”

밸류체인별로 추진목표를 살펴보면 먼저 생산에서는 부생 수소, 추출 수소, 수전해, 해외생산을 모두 합쳐 2040년까지 연간 526만 톤 이상까지 늘리고 kg 당 3,000원까지 가격 경쟁력을 확보하고자 한다. 2019년 수소가격은 1kg 기준으로 미국 13~15달러로, 일본 1,000~1,100엔, 독일 10유로, 한국은 8,000~10,000원 대로 나타난다. 수소 가격은 수요 증가에 따른 생산 시설의 대형화뿐 아니라 액화수송 및 파이프라인 활용, 해외로부터의 대규모 수입 등과 같은 도입 방식의 변화를 통해 절감될 수 있다. 정부는 수소 충전인프라가 구축될 때까지 수송용 수소에 대한 부과세를 유지할 것이며, 생산량 증대와 운송비 절감을 위한 기술개발을 지속할 계획이다.

» 국내 수소경제 활성화 로드맵 추진목표



Source: 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

“
 활용 부문에서는
 수소차, 연료전지를
 양대 축으로
 수소경제를 선도 ”

2030년 본격 도입할 해외 수소 활용에 있어서는 대규모 해외 프로젝트를 발굴하고 추진하는 것이 주요 전략이다. 이를 위해 해외 수소 생산 및 도입에 대한 타당성 연구, 비즈니스 모델 개발 등 국제 공동사업 기획 및 투자를 위한 국내 플랫폼을 신설하고자 한다. 또한, 국제 수소 시장을 주도하고 향후 기업들의 적극적인 투자를 유도하기 위하여 초기 타당성 조사부터 관련 국내기업들이 참여하는 공동추진체계를 구축할 계획이다. 이를 통해 수소 생산국과 상호 호혜적인 협력관계를 구축하여 글로벌 수소경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

저장 및 운송 부문에서는 고압기체 외에 고효율 액체, 액상, 고체 등으로 저장방식을 다양화하여 저장 효율성을 제고하고, 수소 파이프라인이나 수소 운반선 등 대규모 유통을 통해 운송비를 절감하고자 한다. 주요 거점별로 수소 저장설비를 구축하여 수소 수급을 안정화하고, 일정한 가격으로 수소 유통 기반을 마련하는 것이 목적이다.

활용 부문에서는 수소차 보급 측면에서 내수와 수출을 포함하여 2040년까지 620만 대 이상을 목표로 한다. 이를 위해 수소차는 차종별로 보조금을 차등 지급하는 한편 향후에는 수소차 가격하락에 맞춰 구매보조금을 단계적으로 축소하고, 내연기관차 수준의 경쟁력 확보 시 보조금을 완전히 폐지할 계획이다. 또한, 수소 상용차의 연료비를 보조하는 가운데 수소 택시는 서울에서의 시범사업 실시 후 전국으로 확대하고, 2022년까지 시내버스 2,000대를 수소 버스로 대체할 예정이다.

» **밸류체인별 국내 수소경제 활성화 추진방안**

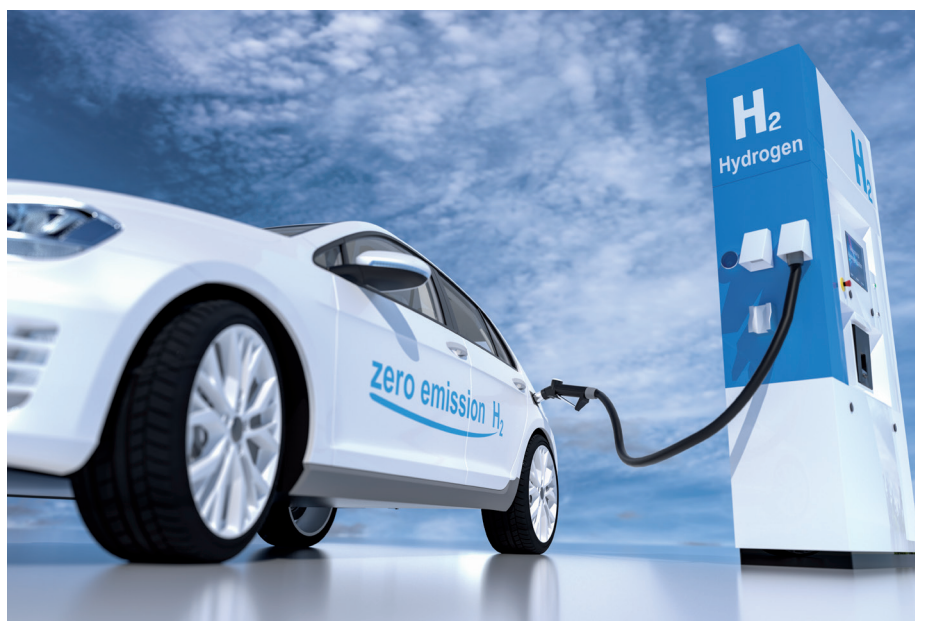
구분	주요 정책내용
생산	<ul style="list-style-type: none"> · 녹색 수소 경제성 확보를 위한 대규모 수전해 R&D 및 실증 프로젝트 지원 · 청색 수소 생산을 위한 CCUS(Carbon Capture Utilization & Storage) 설비투자 · 호주, UAE 등 잠재적 수소 생산국과 해외도입 협력 추진 · 청정 수소 인증제 및 조기 상용화 지원
저장·운송	<ul style="list-style-type: none"> · 고압기체 외에 저압·고효율 액화·액상 등으로 저장방식 다양화 · 액화수소 관련 안전규정 제정 · 대규모 부생 수소 출하 시점에 액화수소 밸류체인 전반을 일괄 지원 · 액화·액상수소 기술개발을 통해 저장효율 제고 · 부생 수소를 수송용으로 전환 시 탄소배출권 등 인센티브 부여 · 수소 파이프라인 전국망 구축으로 운송비 절감 · 수소 운반선 등 대규모 운송 추진
활용	<ul style="list-style-type: none"> · 청정 수소발전 의무화제도 입법 추진 · 수소차 가격경쟁력 확보 및 핵심부품 100% 국산화 달성 · 수소 택시, 수소 버스, 수소 선박, 수소 드론 등 대형 모빌리티 활용 확대를 위한 보조금 지급 · 수소 충전소 규제 완화와 운영 보조금으로 전국 충전소 구축 확대 · 발전용 연료전지 보급확대 및 수출산업화 · 수소 혼소 발전 확대
인프라	<ul style="list-style-type: none"> · 한국판 수소위원회(Hydrogen Council) 결성 지원 · 수소산업 진흥 전담기관 H2Korea 설치 · 수소산업 특성화 대학원 신설 등으로 수소산업 인재 양성 · 수소경제 신기술 세제혜택 확대 · 수소 수급관리 및 거래시스템 구축을 시장가격 안정화

Source: 산업통상자원부, 삼성KPMG 경제연구원 재구성

한편, 2040년까지 수소 충전소는 누적 1,200개소 이상, 수소 충전가격은 3,000원/kg을 목표로 초기에는 보조금을 지원하지만 점차 민간이 주도하는 시장자율형 충전소를 확대해 나갈 계획이다. 또한, 추출 수소의 대규모 생산을 통하여 생산비용을 줄이고, 액화수소 기술개발을 통한 저장 효율 제고, 수소 파이프라인을 활용한 대규모 운송 등으로 운송비 절감을 가속화할 것이다. 더불어 수소 선박·열차·드론 등 기타 수소 모빌리티 또한 2030년 이전에는 상용화 혹은 수출 프로젝트를 추진하고자 한다.

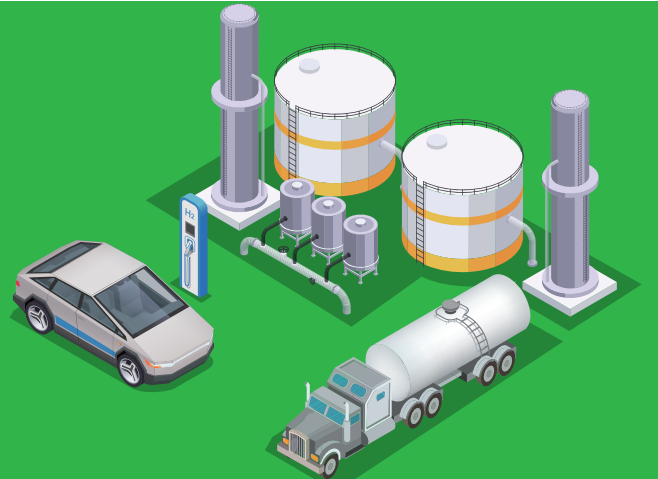
에너지 측면에서 살펴보면 친환경 분산전원을 위한 연료전지는 2040년까지 발전용은 15GW 이상, 가정 및 건물용은 2.1GW 보급할 계획이다. 연료전지는 보급이 확산될수록 규모의 경제가 달성되기 때문에 목표에 따라 2022년 1GW 보급 시 단가 절감이 가능하며, 2040년에는 현재 대비 설치비 35%, 발전단가 50% 수준으로 비용절감이 가능할 것으로 예상된다. 또한, 연료전지 전용 LNG요금제를 신설하고, 연료전지 REC(Renewable Energy Certificate)를 부여하며 보급 확산을 촉진하고 경제성을 확보할 수 있다. 재생에너지 단점을 보완할 수 있는 수소가스터빈은 2030년까지 기술개발을 완료하고 2035년 상용화를 추진하기로 했다. 먼저 대형인 수소 혼소와 소형인 수소 전소를 구분하여 기술개발을 추진하고, 실증 인프라도 동시에 구축할 예정이다.

그 외 정부는 수소안전에 대한 국민 인식을 제고하고 수소 전주기의 안전관리 체계를 확립하기 위한 범부처 기술 로드맵 수립부터, 글로벌 수소 표준 선점, 대기업-중소기업 동반 수출시장 진출, 핵심인력 양성, 촘촘한 밸류체인을 구축 등을 통해 수소 산업 생태계를 조성하고 있다. 특히, 2021년 2월에는 세계 최초로 수소법이 시행되어 민간 투자 활성화 및 수소 인프라 구축 지원방안 등이 법제화되었다. 한편, 글로벌 기업들이 조성한 수소위원회를 벤치마킹한 '수소 경제연합회' 결성을 지원하여 민·관 협력을 통한 시장 대응 및 '수소 혁신 데스크'로 기업별 전담팀을 신설하여 수소 프로젝트 전반을 지원하고 있다.



Thought Leadership II

수소경제 밸류체인으로 본 비즈니스 기회

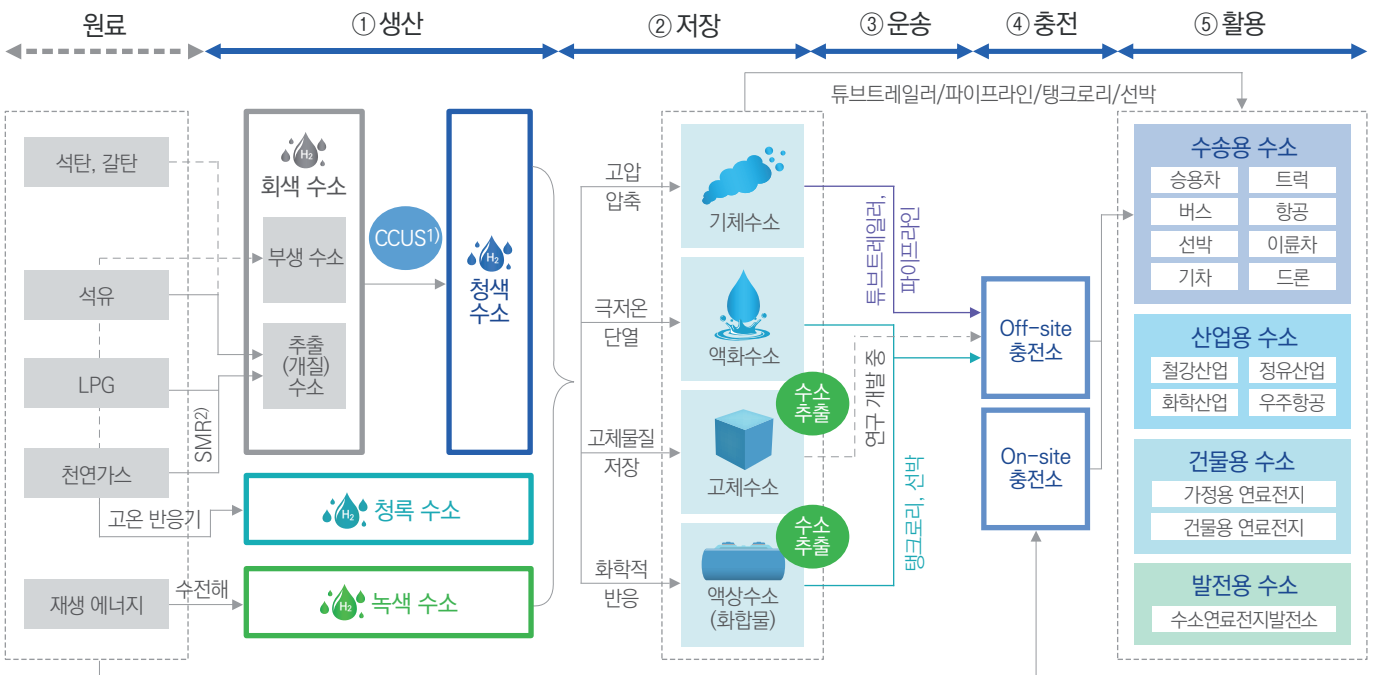


수소경제 밸류체인 구성

수소경제 밸류체인은 생산, 저장, 운송, 충전, 활용으로 구성

수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률(수소법) 제 2조에 의하면 ‘수소산업’이란 수소의 생산·저장·운송·충전·판매 및 연료전지와 이에 사용되는 제품·부품·소재 및 장비의 제조 등 수소와 관련한 산업을 말한다. 이를 토대로 수소경제 밸류체인을 구성하면 크게 수소에 대한 생산·저장·운송·충전·활용으로 구성된다. 각각의 원료로부터 수소가 생산되면 기체, 액체, 고체, 액상 화합물 형식으로 저장되고 이를 트레일러나 파이프라인, 탱크로리(액체 저장 탱크)를 통해 충전소 또는 최종 활용처로 운송한다. 수소는 수송용, 산업용, 건물용, 발전용 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

수소경제 밸류체인



Source: 삼성KPMG 경제연구원

Note 1: CCUS는 이산화탄소 포집 저장 장치(Carbon Capture Utilization & Storage)

Note 2: SMR은 수증기 메탄 개질(Steam Methane Reforming)

① 수소 생산: 회색 수소, 청색 수소, 청록 수소, 녹색 수소

수소는 생산 방식과 원료에 따라 회색 수소(Grey Hydrogen), 청색 수소(Blue Hydrogen), 청록 수소(Turquoise Hydrogen), 녹색 수소(Green Hydrogen)로 나누어진다. 이 중 수소가 생산될 때 이산화탄소가 발생하는 것이 회색 수소다. 청색 수소, 청록 수소, 녹색 수소는 생산 과정에서 발생한 이산화탄소를 포집하여 대기 중에 배출하지 않거나, 생산 과정에서 이산화탄소를 발생시키지 않기 때문에 청정 수소로 볼 수 있다.

“

수소는
생산 방식과 원료에 따라
회색, 청색, 청록, 녹색
수소로 구분됨 ”

구체적으로 살펴보면, 회색 수소는 석유화학이나 제철 공정의 부산물로 산출되는 부생 수소와 화석 연료를 활용하여 촉매 반응(수증기 메탄 개질 방식, 석탄과 물로 열분해 방식 등)으로 생성된 추출 수소를 모두 포함한다. 청색 수소는 회색 수소를 생산 시 배출되는 이산화탄소를 포집한 수소를 말한다. 청록 수소는 천연가스를 고온 반응기에 주입해 수소와 고체 탄소로 분해해 생산되는 수소를 의미한다. 녹색 수소는 신재생에너지를 에너지원으로 물을 전기 분해함으로써 생산되는 수소를 일컫는다.

국내 수소 생산량을 살펴보면, 2020년 기준 197만 8,600톤으로 회색 수소(부생 수소, 추출 수소)가 100%를 차지하고 있으며 이 중 대부분이 부생 수소다. 그러나 정부는 탄소중립을 이루기 위하여 부생 수소가 아닌 청정 수소에 주목하고 있다. 이를 위해 연간 수소 공급량을 2022년 47만 톤, 2030년 194만 톤, 2040년 526만 톤으로 확대하는 과정에서 궁극적으로 녹색 수소 비중을 올리겠다는 계획도 발표했다. 구체적으로, 2030년까지 추출 수소 비중을 50%로 증가시킴으로써 부생 수소 비중을 낮추고, 2040년까지 추출 수소 비중을 30%로 낮추면서 녹색 수소 비중을 올리겠다는 계획이다.

» 수소 유형별 특징

	회색 수소 Grey Hydrogen	청색 수소 Blue Hydrogen	청록 수소 Turquoise Hydrogen	녹색 수소 Green Hydrogen
정의	석유화학, 제철 공정 부산물 또는 화석 연료를 활용해 촉매 반응으로 생성한 수소	회색 수소 생산 시 배출되는 이산화탄소를 포집한 수소	천연가스를 고온 반응기에 주입하여 수소와 고체 탄소로 분해, 생산한 수소	신재생에너지를 에너지원으로 물에 전기를 가하여 생산한 수소
이산화탄소 발생 수준	이산화탄소(CO ₂) 다량 발생	이산화탄소(CO ₂) 소량 발생	이산화탄소(CO ₂) 미발생	이산화탄소(CO ₂) 미발생
특징	<ul style="list-style-type: none"> 고순도 수소를 획득 시 정제 필요 부생 수소 생산량 확대 한계, 추출 수소는 대량 생산 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 포집된 이산화탄소를 활용하기 위한 방안 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 생산 과정에서 이산화탄소가 발생하지 않음 녹색 수소 대비 적은 전력량으로 생산 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 생산 단가가 높음 재생에너지가 필요하므로 지역적 제한 존재

“ 수소 저장 방식은 수소의 물리적 상태와 화학적 변환 방식에 따라 달라짐 ”

“ 기체 상태의 수소는 튜브트레일러 또는 파이프라인을 통해, 액체 상태의 수소는 탱크로리를 통해 이동 ”

② 수소 저장: 물리적, 화학적 저장 방식 존재

수소 저장 방식은 수소의 물리적 상태(고체, 액체, 기체)와 화학적 변환 방식에 따라 달라진다. 수소가 특정 물리적 상태를 유지하려면 필수적으로 수반되어야 하는 온도와 압력 조건이 있다. 우선, 수소는 상온, 상압에서 기체 상태로 존재한다. 기체 상태의 수소를 저장 용기에 담기 위해서 압력을 가해 부피를 줄여야 한다. 따라서 기체 수소를 저장하는 용기는 고압 상태를 유지해야 한다. 기체 상태의 수소가 극저온 상태(영하 253℃)를 유지하면 액화된다. 액체로 변환 수소는 기체 상태의 수소보다 부피가 월등하게 줄어들게 되며 액화수소는 동일한 압력에서 기체 상태의 수소 대비 상당히 높은 부피 당 에너지 밀도¹⁾를 가지게 된다. 액화된 수소는 대기압 수준에서 저장할 수 있기 때문에 저장 용기의 안전성 부분에서 기체 수소를 저장하는 것보다 안전하다. 다만 수소를 액체 상태로 유지하기 위하여 극저온 단열 상태가 지속되어야 한다. 만약 수소를 고체 형태로 저장하고자 한다면, 수소 저장 합금, 금속 수소 화물, 다공체 흡착 물질 등을 이용해야 한다. 그러나 고체 형태로 수소를 저장하는 것은 기체 또는 액체 형태의 수소를 저장하는 방식 대비 기술 개발이 더 필요한 영역이다.

화학적 방식은 수소에 다른 물질을 첨가하여 액상 유기 화합물(Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC) 또는 암모니아로 변환하는 것이다. 대표적인 LOHC의 예로는 수소에 톨루엔을 첨가하여 메틸시클로헥산(Methylcyclohexane, MCH)으로 변환, 저장하는 방식이 있다. 암모니아는 수소와 질소의 결합으로 이루어지기 때문에 수소와 질소를 화학적으로 반응 시키면 암모니아로 변환된다. LOHC와 암모니아는 액체 상태의 수소(액화수소)에 비하여 높은 온도에서 액체 상태로 유지된다. 특히 액상 암모니아는 액화수소보다 수소 저장 밀도가 높아 동일한 부피에서 1.5배가량 더 많은 양의 수소를 저장할 수 있다. 단, LOHC와 암모니아 모두 수소 화합물의 형태이므로 수소를 추출하기 위해 화학적으로 재변환하는 과정이 필요하다.

③ 수소 운송: 튜브트레일러, 파이프라인, 탱크로리, 선박

운송 방법은 수소의 물리적 상태와 밀접하게 연관된다. 기체 상태의 수소는 튜브트레일러 또는 파이프라인을 통해 운송한다. 수소 튜브트레일러는 장거리 수송에 적합하고, 파이프라인은 단거리 또는 특정 지역 내 수송에 적합하다. 파이프라인의 경우, 지하에 수소 운송 배관이 설치되어야 하기 때문에 초기 구축 비용이 높다는 특징이 있다. 액체 상태의 수소(액화수소나 액상 암모니아·LOHC)는 모두 탱크로리를 통해 이동한다. 2019년 기준 국내 연간 수소 유통량(생산 회사 자체 소비 수소 제외)은 약 21만 톤으로 수소 생산량의 11.2%를 차지한다. 이 중 파이프라인에 의한 유통 비중이 92.7%를 차지하였으며 7.2%는 튜브트레일러를 통해 유통되고 있다.

국내 수소 공급량 목표치를 달성하기 위해서 국내에서 생산되는 수소 공급량만으로는 부족하다. 따라서 해외에서 생산되는 수소를 국내로 운송해오는 방안도 필요하다. 특히 재생에너지 가격이 낮은 곳에서 생산된 녹색 수소를 국내로 들여오기 위해서 대용량 장거리 수소 운송 방안이 마련되어야 한다. 국내와 재생에너지 공급 상황이 유사한 일본은 호주에서 생산된 그린 암모니아(녹색 수소를 활용한 암모니아)를 LPG 선박을 통해 운송해오고 있다.

1) 단위 부피 또는 단위 무게 당 가지고 있는 에너지의 양

수소 저장 방식 및 운송 방안



Source: 삼정KPMG 경제연구원

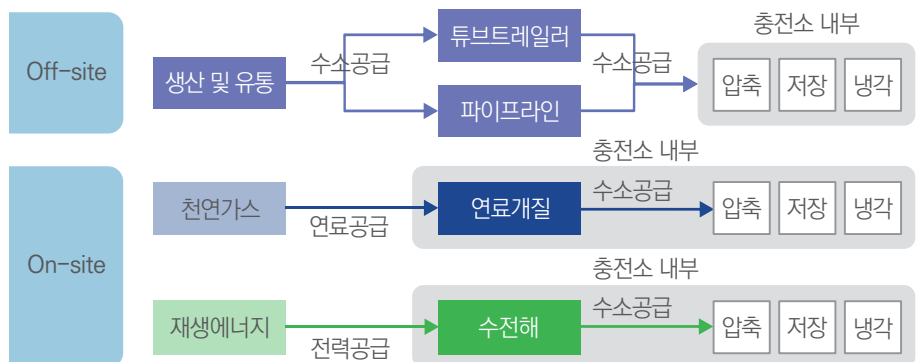
Note 1: 고체 용기가 별도 필요하며 상용화까지 상당 기간 소요될 것으로 판단, 본 보고서 내 운송 방안 내 불포함

④ 수소 충전: Off-site(중앙 공급 방식)과 On-site(현장 공급 방식)

“ Off-site형 충전소는 외부에서 수소를 공급받고, On-site형 충전소는 자체적으로 수소 생산 ”

운송되는 수소는 최종 활용처로 바로 수송되기도 하지만 일부는 수소 충전소로 간다. 수소 충전소를 통해 수소 연료전지 자동차 등이 충전을 하기 때문이다. 수소 충전소는 2가지 형태로 구분한다. Off-site형 충전소는 중앙 공급 방식으로 충전소 외부에서 수소를 공급받는다. 파이프라인을 통해 수소 생산지에서 충전소까지 수소를 공급하는 방식과 튜브트레일러를 통해 수소를 공급받는 방식이 있다. 파이프라인 공급 방식 수소 충전소의 경우, 생산지와 충전소를 잇는 운송용 파이프를 설치해야 하므로 초기 투자 비용이 많이 발생하나 안정적으로 다량의 수소를 운송할 수 있는 장점이 있다. 튜브트레일러 공급 방식 수소 충전소는 운송 비용이 발생하나 운송 인프라 구축을 위한 설비 투자 비용은 발생하지 않는다는 장점이 있다. On-site형 충전소는 현장 공급 방식으로 충전소 자체적으로 수소를 생산한다. 이때 천연가스를 개질하여 수소를 생산하는 방식이 있고 수전해를 통해 수소를 생산하는 방식을 사용할 수 있다. 천연가스 개질 방식은 기 구축된 천연가스 공급 라인을 활용해 수소를 생산할 수 있다는 장점이 있지만 수소 생산 설비 구축에 비용이 발생한다는 점과 화석 연료를 사용함으로써 탄소가 발생한다는 단점이 있다. 수전해 방식은 수소 생산 설비 구축에 비용이 발생하지만 심야의 잉여 전력을 활용해 수소를 생산할 수 있으며 친환경 재생에너지를 활용 시 환경 오염 없이 수소를 생산할 수 있다는 장점이 있다.

수소충전 유형



Source: 삼정KPMG 경제연구원

“수송용 수소는 승용차뿐 아니라 버스, 트럭, 기차 등 다양한 분야에 활용”

⑤ 수소 활용: 수송용·산업용·건물용·발전용 등 다양한 분야에서 이용

수소 활용은 크게 수송용 수소, 산업용 수소, 건물용 수소, 발전용 수소로 나눈다. 수송용 수소는 수소를 사용하여 발생시킨 전기 에너지를 동력원으로 하는 이동 수단에 쓰이는데 비단 수소 연료전지차뿐 아니라 버스나 트럭과 같은 상용차, 기차, 선박, 비행기, 드론 등과 같은 다양한 분야에 활용된다. 이산화탄소 저감을 위한 수소 연료전지 선박, 수소 연료전지 트램 및 철도, 수소 연료전지 드론, 수소 연료전지 중장비(지게차, 건설기계) 등이 한국뿐 아니라 주요 국가에서 개발되고 있다. 수소 연료전지 철도의 경우, 독일에서는 디젤동차를 수소철도(최고속도 80km/h)로 개조하여 2018년부터 시험운행 중이며, 독일 지멘스는 수소전동차 개발 계획을 발표한 바 있다. 일본에서는 JR East, 히타치, 토요타가 공동으로 400kW급 수소전동차(최고속도 100km/h)를 개발 중으로 2021년 중으로 시험운행에 나설 계획이다. 국내에서는, 2021년 7월 현재, 수소차 연료전지 시스템(400kW)을 트램에 장착하여 최고속도는 시속 70km, 1회 충전으로 200km까지 운행 가능한 성능을 가진 수소 연료전지 트램을 개발, 실증 중이다.

“산업용 수소는 철강, 화학, 정유, 우주 산업 등에서 산업용 원료나 연료로 사용되는 수소”

산업용 수소는 철강, 화학, 정유, 우주 산업 등에서 산업용 원료나 연료 등으로 사용되는 수소를 의미한다. 철강 산업에서는 탄소중립을 위해 철강 제련 과정에서 필요한 환원제를 수소로 대체하는 수소환원제철 기술을 개발 중이다. 기존에는 철강 1톤을 생산하기 위해 석탄 0.75톤을 사용했으며, 이 과정에서 약 2톤의 이산화탄소가 배출되었다. 그러나 석탄 대신 수소를 사용하게 되면 이산화탄소를 배출하지 않게 된다. 한편, 석유화학 산업에서는 원유를 정제할 때 나오는 부생 수소를 제조 공정 내 원료로 사용하거나 정유 업계와 같은 타 산업에 유통, 판매 중이다. 그리고 정유 산업에서는 수소를 첨가하여 에너지 효율이 높은 석유 제품을 생산하는 데 수소를 사용한다. 또한 인공위성이나 행성 탐사선과 같은 대형 우주 발사체의 경우 액체 수소를 추진 연료로 활용 중이다.

» 산업 내 수소 활용 예시

수송용 수소	산업용 수소	건물용 수소	발전용 수소
“수소를 통해 만든 전기를 동력원으로 하는 이동 수단에 사용”	“철강, 화학, 정유 등 산업용 원료나 연료 등으로 사용되는 수소”	“가정 또는 공공기관이나 상업용 건물 내 연료전지에 사용되는 수소”	“발전사 또는 발전사업을 통해 열과 전기를 생산하기 위한 원료로 사용”
			

“

건물용 수소는 가정 또는 공공 기관이나 상업용 건물의 연료전지에 사용되는 수소를 의미 ”

건물용 수소는 가정 또는 공공 기관이나 상업용 건물의 연료전지에 사용되는 수소를 의미한다. '신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법'을 토대로 한 신재생에너지 공급 의무화 제도를 통해 국내 상업용 건물에 대한 수소 공급 수요가 증가하고 있다. 이는 태양광, 지열, 풍력 등을 대체할 에너지 공급원으로 연료전지 설치가 급증하고 있기 때문이다. 2014년부터 2019년까지 공공기관이나 상업용 건물의 연료전지 설치 용량은 6.02MW, 2020년까지 설치 용량은 10.89MW로 설치 용량 증가율이 높아지고 있는 추세다. 한편, 가정용 연료전지는 통상 주택에 설치되는 연료전지로 건물용 연료전지와 같은 정책적 규제가 없고 가스 요금이 일반 전기 요금보다 경제성이 떨어지기 때문에 활발히 공급되고 있지 않다.

“

발전용 수소는 발전사 또는 발전 사업을 통해 열과 전기를 대용량으로 생산하기 위한 원료로 사용 ”

발전용 수소는 발전사 또는 발전 사업을 통해 열과 전기를 대용량으로 생산하기 위한 원료로서 사용되는 수소다. 발전용 수소에 대한 니즈는 지속적으로 증가하고 있는데, 이는 친환경 에너지원을 사용해야 한다는 정책 측면의 규제 및 발전 효율을 개선하고자 하는 의지에 기인한 결과다. 우선, 국내 에너지 전환 정책과 RPS 제도(신재생에너지 의무비율)로 인해 발전용 연료전지 설치가 증가해왔다. 또한, 석탄화력 발전소의 발전 효율이 33%인데 반해 수소 연료전지 발전소의 발전 효율은 50% 수준으로 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 대규모 발전사를 중심으로 발전용 수소에 대한 활용이 증가하게 된 것이다. 이는 수소경제 활성화 로드맵에 설정된 발전용 연료전지 목표치를 초과 달성한 것을 보면 알 수 있다. 2019년 1월 발표된 수소 경제 활성화 로드맵에 따르면 발전용 연료전지 공급량 목표는 2022년 기준 1.5GW(내수 1GW), 2040년 기준 15GW(내수 8GW)이나 2021년 말 기준 발전 허가를 받은 사업자들의 연료전지 발전 허가 설비 용량이 2022년 연료전지 발전 설비 목표인 1.5GW를 넘어섰다.

위에서 살펴본 바와 같이, 산업용 수소에 원료로서 수소가 직접 활용되는 경우를 제외하면 대부분의 수소는 연료전지를 통해 활용된다. 연료전지는 작동 온도에 따라 저온형, 고온형으로 나뉜다. 일반적으로 연료전지 작동 온도가 높아질수록 효율성이 좋아지나 내구성에 대한 문제점도 발생하기 때문에 각 연료전지의 특성에 맞게 활용해야 한다.

» 수소연료전지의 종류

구분	저온형 연료전지			고온형 연료전지	
	인산형 (PAFC)	고분자전해질형 (PEMFC)	알칼리형 (AFC)	용융탄산염형 (MCFC)	고체산화물형 (SOFC)
전해질	인산염	이온교환막	수산화칼륨	용융탄산염	세라믹
운전 온도	150~250℃	50~100℃	0~230℃	550~700℃	550~1,000℃
전기 화학적 반응 효율	45~55%	40~60%	60~70%	45~55%	40~60%
주 용도	중형건물 분산전원 (200kW)	수소전기차, 가정용·건물용, 소규모 분산발전용(1~10kW)	우주발사체 전원	중대형 건물 복합 발전, 열병합발전 (100kW~MW)	소·중·대용량 복합 발전, 열병합발전 (1kW~MW)
특징	수소의 불순물인 일산화탄소(CO)에 대한 내구성이 높음, 열병합 대응 가능	저온작동, 고출력밀도	이산화탄소에 민감, 순수한 수소와 산소 사용 필요	내부개질 가능 ¹⁾ , 열병합 대응 가능	내부개질 가능 ¹⁾ , 복합발전 대응 가능

Source: 한국과학기술연구원, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

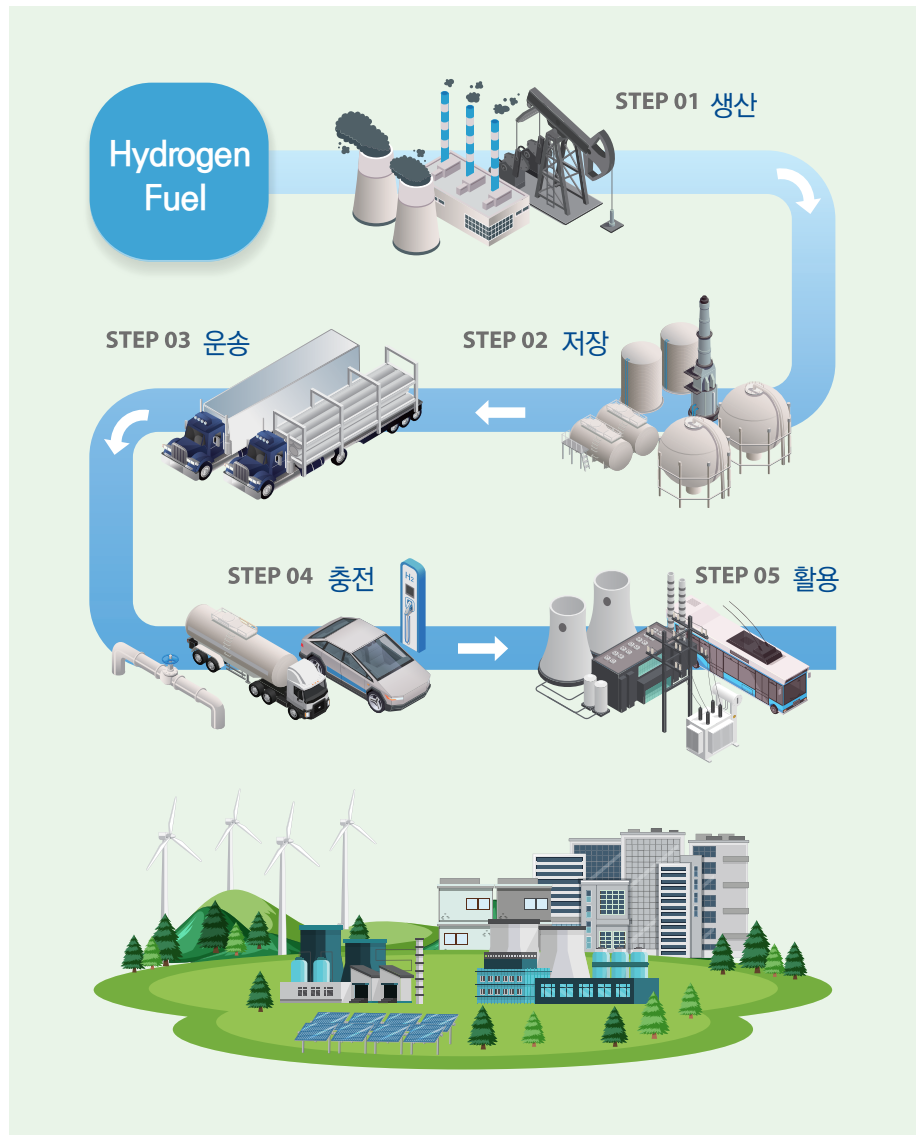
Note 1: MCFC, SOFC는 연료를 천연가스로 사용 시 내부개질 방식을 통해 수소로 전환 가능

에너지원의 변화는 산업적 전환을 견인

과거부터 지금까지 인류가 사용하는 에너지원이 바뀔 때마다 산업적 전환이 이루어졌다. 인류가 불을 사용하면서 농업이 시작되었고, 석탄을 최초의 동력원으로 사용하면서 산업 혁명이 일어나게 되었다. 이후 석유가 주요 에너지원이 되면서 대량 생산 체제를 갖출 수 있었고, 지속적으로 전기를 생산해낼 수 있는 체계를 갖추면서 현재 인류가 누리고 있는, 정보통신 중심의 현대 문명이 발전할 수 있었다. 이제 인류는 지속 가능성에 주목하고 있으며, 그 결과 친환경에너지원인 수소에 주목하고 있다.

“ 인류가 사용하는 에너지원이 바뀔 때마다 성장하거나 쇠퇴하는 산업이 존재 ”

이 과정에서 기업이 기억해야할 점은 에너지원이 바뀌는 시기마다 성장하거나 쇠퇴하는 산업이 존재했다는 것이다. 즉, 탄소 기반의 사회에서 수소 기반의 사회로 바뀌는 대전환의 시기에도 새로운 비즈니스 기회가 존재할 것이라고 예상할 수 있다는 것이다. 따라서 다음 장에서는 앞서 살펴본 수소경제 밸류체인을 토대로, 떠오르는 비즈니스 기회를 포착하기 위하여 기업이 던져야 할 화두가 무엇이며 그 화두에 대해 선제적으로 대응하고 있는 국가나 기업은 어떤 준비를 하고 있는지 알아보려고 한다.



생산: 청색 수소와 녹색 수소

“

추출 수소 시장은
연평균 5.9%로 성장,
2024년에 149조 원
규모로 확대될
것으로 전망 ”

청색 및 녹색 수소 시장을 선점하고자 어떻게 준비하고 있는가?

① 추출 수소 생산량 확대에 대응하기 위한 개질 수소 생산 시스템 개발

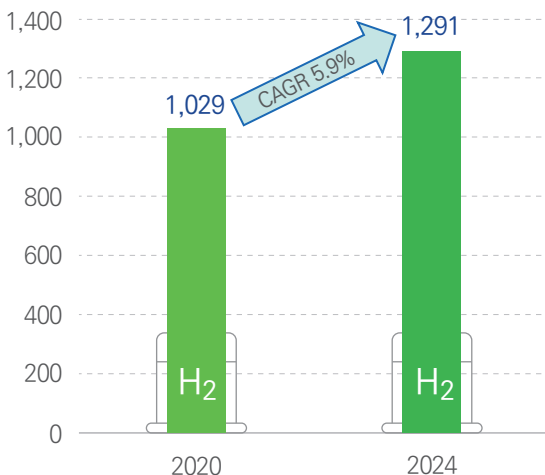
추출 수소는 천연가스, 석탄, 석유 등 탄화수소계 화석 연료를 활용하여 촉매 반응으로 생성된 수소다. 수증기 메탄 개질(Steam Methane Reforming), 부분 산화(Partial Oxidation), 건식 개질(Dry Reforming), 열분해(Thermal Decomposition) 등 반응이 있으며 이 중 수증기 메탄 개질 반응이 가장 널리 활용되고 있다.

전 세계 천연가스 개질 기반 추출 수소 시장은 2020년 1,029억 달러(118조 원)에서 2024년 1,291억 달러(149조 원) 규모로 연평균 5.9% 성장할 것으로 전망된다. 국내 시장 역시 추출 수소 시장이 확대될 것으로 예상된다. 한국은 2019년 수소경제 활성화 로드맵을 통해 2030년에 수소 공급량 목표치를 194만 톤으로 설정했다. 이 중 추출 수소의 비중은 50%이며 나머지는 부생 수소, 수전해 수소, 해외 생산 수소다. 2040년 수소 공급량 목표치는 526만 톤으로 늘어난다. 이 때, 추출 수소의 비중은 30%로 줄어들지만 전체 공급량이 늘어나므로 추출 수소는 꾸준히 필요할 전망이다. 즉, 향후 수소 공급량 목표치를 달성하기 위해서 경제성 측면에서 효율적인 추출 수소 공급이 필요하다는 것이다.

이러한 필요에 대응하기 위하여 한국은 2019년 10월 발표된 수소 기술개발 로드맵을 발표하였다. 또한 2025년까지 천연가스 개질을 통한 추출 수소 기술 개발에 기반하여 저가 수소의 대량 생산 기술을 확보하고자 한다. 이를 위해 거점형 수소 생산 기지 및 중·소형 개질 수소 생산 시스템을 개발할 예정이다. 해외 기업은 이미 천연가스 개질 공정 및 플랜트에 대한 기술과 경험을 보유하고 있다. 프랑스 에어리퀴드(Air Liquide)는 2019년 기준 전 세계적으로 145기의 수증기 개질 수소 플랜트를 운영하고 있다. 일본 오사카가스, 독일 린데(Linde) 역시 개질기를 개발하여 도시가스와 LPG로부터 수소를 생산하는 제품을 시장에 출시하고 있다.

》 전 세계 천연가스 개질 기반 추출 수소 시장

(억 달러)



Source: 한국과학기술연구원, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

》 국내 추출 수소 공급량 확대 계획

연도	2018	2022	2030	2040	
연간 수소 총 공급량(톤)	13만	47만	194만	526만 이상	
전체 수소	공급 방식	부생 수소 추출 수소 ¹⁾	부생 수소 추출 수소 ¹⁾ 수전해	부생 수소 추출 수소 ¹⁾ 수전해 해외생산	부생 수소 추출 수소 ¹⁾ 수전해 해외생산
	공급가 목표 (원/kg)	-	6,000 ²⁾	4,000	3,000
추출 수소 비중 목표	구체적 수치 부재	구체적 수치 부재	50%	30%	
추출 수소 공급량 (톤)	구체적 수치 부재	구체적 수치 부재	97만	157.8만	

Source: 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note 1: 천연가스 개질 기반 추출 수소

Note 2: 시장화 초기 가격

② 청색 수소 시장과 동반 성장하는 이산화탄소 포집·저장·활용 시장

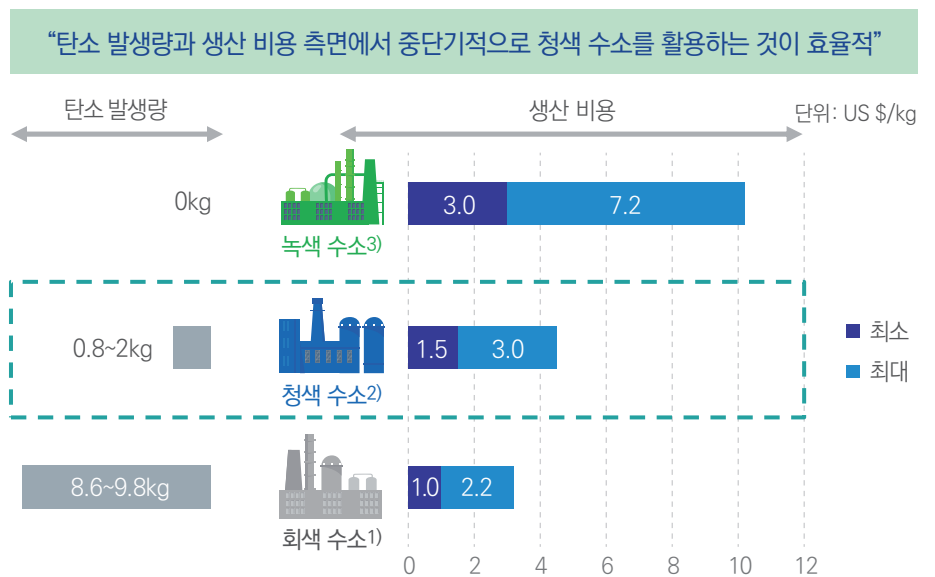
추출 수소 1kg을 수증기 메탄 개질 방식으로 생산 시, 이산화탄소는 약 8.6~9.8kg이 발생한다. 이산화탄소가 발생한다는 것은 탄소중립을 위한 수소경제로의 이행이라는 근본적인 목표에 부합하지 않는 것이다. 그러나 경제성 측면에서 추출 수소를 이용하는 것이 합리적인 것도 사실이다. 이런 상황에서 탄소중립에 부합하면서 경제성 있는 수소를 사용하기 위해서 이산화탄소 포집·저장·활용 기술을 적용한 청색 수소가 주목받고 있다. 청색 수소는 이산화탄소를 포집한 수소로서, 이 시장이 성장함에 따라 포집한 이산화탄소를 활용하는 방안에 대한 기술 및 관련 시장도 함께 성장할 것으로 분석된다.

“친환경적이면서 경제성 있는 수소로 청색 수소 시장과 탄소자원화 기술 개발 분야가 주목 받고 있음”

청색 수소의 경제성은 이산화탄소 포집·저장·활용 기술인 CCUS(Carbon Capture Storage and Utilization) 기술의 단가와 연관되어 있다. 수소위원회는 이산화탄소 포집 기술이 고도화되면서 포집 단가도 낮아져 이산화탄소 포집·저장 기술(CCS, Carbon Capture and Storage)을 활용한 청색 수소의 가격 경쟁력이 우수해질 것으로 전망하고 있다. 이산화탄소 배출 비용이 톤 당 \$35~50 수준으로 될 경우 청색 수소 생산비용이 회색 수소보다 낮아질 것으로 분석하면서 2025~2030년 중에 청색 수소가 회색 수소보다 경제성이 우수해질 것이라고 관측하고 있다. 국내에서도 청색 수소에 주목하고 있으며 현대오일뱅크는 연 10만 톤 규모의 청색 수소 생태계를 구축하는 등 청색 수소 시장에 선제적으로 대응하고 있다.

한편, 포집한 이산화탄소를 활용하는 탄소자원화 기술인 CCU(Carbon Capture Utilization) 기술에 대한 개발도 진행 중이다. 탄소자원화는 혁신적인 이산화탄소 감축 수단인 이산화탄소를 단순히 포집하여 저장(CCS)하는 것과는 다르게 이산화탄소를 경제적 가치를 가진 자원으로 재활용한다는 점에서 차별화 된다. 특히 이산화탄소 배출량이 많은 정유업계, 석유화학업계, 철강업계, 시멘트업계 등 산업 부문에서는 탄소자원화 기술에 주목하고 있다.

》 수소유형별 탄소중립 및 생산비용 측면 평가



Source: 삼정KPMG 경제연구원

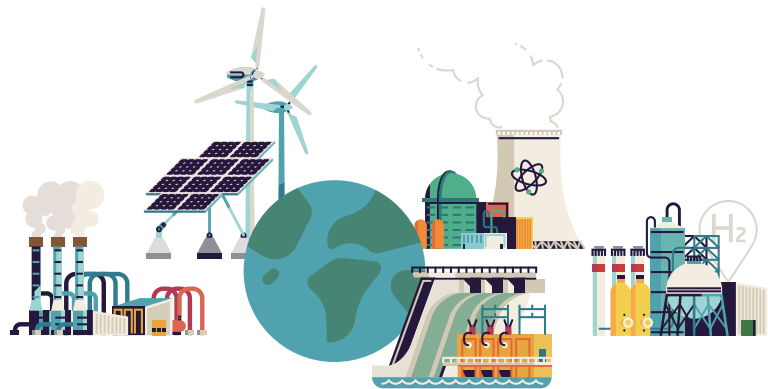
Note 1: 회색 수소는 SMR 방식으로 생산 가정

Note 2: CCUS 활용 시 80~90% 탄소 포집. 즉, 회색 수소 대비 10~20% 탄소 발생

Note 2: 녹색 수소는 재생에너지 활용하여 생산 가정

주요 국가들은 CCUS 기술 개발 및 상용화에 노력을 기울이고 있다. 미국은 정부 차원에서 R&D 자금 지원, 세제 관련 인센티브 제도 시행 등을 통해 적극적으로 기술을 개발하는 과정에 있다. 유럽 역시 독일을 중심으로 CCUS 기술 개발을 본격적으로 수행하고 있다. 중국은 신규 석탄 발전소의 경우 CCUS 기술 적용을 의무화하는 방안을 추진함과 동시에 산업별 특성을 고려하여 CCUS 기술 적용이 가능한 영역을 선별, 감축 잠재량 분석을 우선적으로 수행하고 있다. 한국 역시 2016년에 탄소자원화 발전 전략을 수립하여 R&D에 지속적으로 투자해오고 있다

이러한 국가별 정책에 힘입어 CCUS 시장은 점진적으로 성장할 것으로 전망된다. IEA(국제 에너지기구)에 따르면 2020년 기준 전 세계적으로 21개 대규모 상업용 탄소 포집·저장·활용 설비가 운영 중이며 연간 포집된 이산화탄소 양이 최대 4,000만 톤 수준이다. 또한 2070년 이산화탄소 활용 규모는 약 50억 톤으로 확대될 것으로 전망된다. 한편, Global CO2 Initiative, ICEF의 2016년 보고에 따르면 2030년 이산화탄소 포집·활용 관련 제품 시장 규모는 약 8,400억 달러로 커질 것으로 예상되며 자원화되는 이산화탄소의 양은 2030년 기준 약 70억 톤으로 증가할 것으로 나타났다. 이를 토대로 볼 때, 기관마다 미래 시장 전망에 사용하는 가정이 다르기 때문에 수치는 변동적이나, 앞으로 CCUS 시장이 성장한다는 점에는 모두 긍정적인 것으로 보인다.





전 세계 녹색 수소 시장은 연평균 20.3%로 성장하여 2024년 20조 원 규모로 확대될 것



③ 녹색 수소 활용에 필수적인 수전해 설비 시스템의 국산화

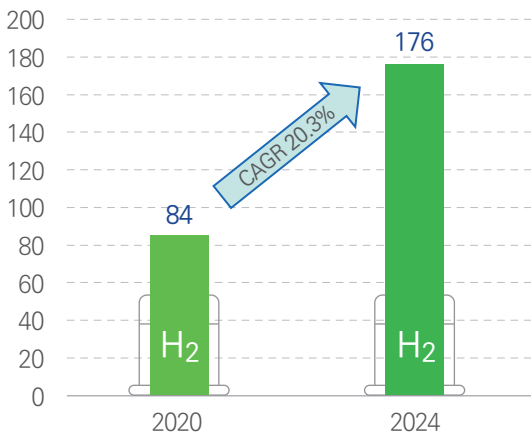
전 세계 녹색 수소 시장은 2020년 84억 달러(9조 7,000억 원) 규모에서 연평균 20.3%로 성장하여 2024년 176억 달러(20조 3,200억 원) 규모로 확대될 것으로 전망된다. 녹색 수소 시장이 확대됨에 따라 필요한 수전해 설비 시스템도 급증하고 있다. 전 세계 수전해 설비 용량은 연평균 63%씩 성장하여 2020년 2GW에서 2030년 270GW에 달할 것으로 예상된다. 국제 에너지기구(IEA)에 따르면 2018년 이전에 전 세계 신규 수전해 설비 설치 현황이 연평균 10MW 규모였으나 2019년에는 25.4MW로 상승, 2020년부터 급격히 증가하여 2023년에는 신규 설치가 계획된 수전해 설비의 규모가 1,433MW에 이른다.

수전해 설비 시스템은 수전해 셀을 여러 장 쌓아 올린 부품인 스택을 비롯, 물 공급기, 냉각장치, 수소 처리 장치 등으로 구성되어 있다. 수전해 셀은 수전해 설비에서 전기 화학적인 반응이 나타나는 곳으로 핵심 부품이다. 그 동안 국내 수전해 설비 분야는 초기 단계의 기술력을 보유하고 있었지만, 2018년 이후 정부 및 기업의 투자에 힘입어 발전해왔다. 일례로, 강원도 동해에서 수행되고 있는 태양광 연계를 통한 2MW급 P2G(Power to Gas, 재생에너지 유휴 전력을 활용하여 물을 전기분해 후 수소를 제조·저장·전환하는 기술) 프로젝트에서 국산 수전해 설비를 설치하여 평가 중이다. 해당 프로젝트는 크게 2단계로 나뉘는데, 1단계 사업은 재생에너지를 활용한 수소 생산과 저장 기술 개발, 2단계 사업은 실증 플랜트 구축과 운영을 목표로 한다. 국산 수전해 설비 실증은 1단계 프로젝트부터 연계된다. 태양광에 알칼라인 수전해 설비와 고분자 전해질 수전해 설비를 붙여서 녹색 수소를 생산하는 과정을 실증한다. 또한 2027년에 새만금 지역에 100MW급 수전해 설비를 설치할 예정으로 아직 국산 설비 사용 여부는 미정이나 이를 국산 설비를 사용하는 것을 목표로 국내 기술력 향상을 도모하고 있다.



》 전 세계 녹색 수소 시장 규모 전망

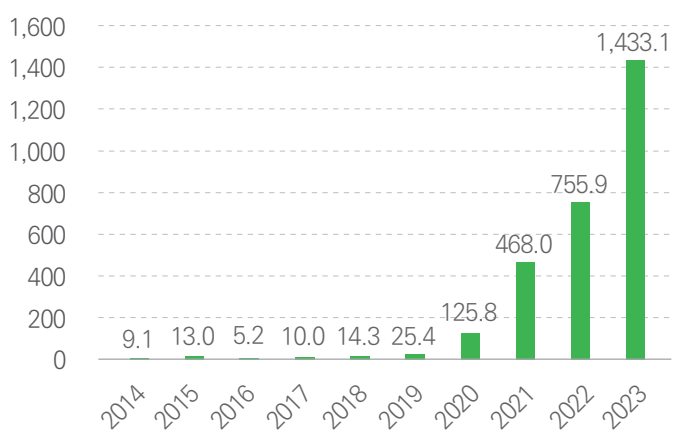
(억 달러)



Source: 한국과학기술연구원, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

》 전 세계 신규 수전해 설비 설치 규모¹⁾

(MW)



Source: IEA, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note 1: 각 시점별 설치 현황 및 계획을 모두 고려하여 합산

저장: 수소 액화와 암모니아

“ 액체 수소는 기체 수소 대비 부피가 1/800 수준으로 대용량 수소 저장을 위해 액화 필요 ”

“ GS칼텍스, SK E&S, 두산중공업, 효성중공업 등은 액화수소 플랜트 건설에 투자 ”

대용량 수소 저장 필요에 어떻게 대응하고 있는가?

수소 활용이 보편화될수록 대용량 수소 저장에 대한 필요도 증가한다. 수소는 상온에서 기체로 존재하지만 극저온 상태(-253℃)로 냉각하여 저장 시 액체로 변한다. 액체 수소는 기체 수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있기 때문에 동일 압력에서 기체 수소 대비 800배의 체적 에너지 밀도를 가진다. 또한 액체 수소는 고압 용기를 이용하지 않으므로 저장 용기의 안전성 측면에서 장점을 가진다. 수송 효율 및 설치 부지 관점에서도 기체 수소 대비 액체 수소가 유리하다. 기체 수소의 경우 액체 수소보다 10배 넓은 부지가 필요하다. 즉, 동일 압력에서 대용량 수소 저장 가능성, 도심지 내 부지 가격 및 저장 안전성을 고려하면 액체 수소 인프라를 구축하는 것을 적극적으로 고민해야 할 것이다.

액체 수소 인프라 구축 시 상온에서 기체로 존재하는 수소를 어떻게 액체 형태로 변환시킬 것인지에 대한 방안이 필요하다. 기체 수소를 액체 형태로 변환시키는 방법은 크게 2가지로 구분된다. 첫째, 기체 수소를 액화시키는 방안, 둘째, 수소를 액상 유기 화합물 또는 암모니아와 같은 액상 형태의 화합물로 변환시키는 방안이다. 각각의 방안에 대해 주요 국가와 기업들은 어떻게 대응하고 있는지 알아보자.

① 수소 액화 플랜트 건설 및 핵심 설비에 대한 국산화

기체 수소를 액화시켜 대용량 수소를 저장하기 위한 기술을 선점하기 위하여, 에너지 및 중공업 산업을 중심으로 기업들의 투자가 이어지고 있다. 2021년 6월 GS칼텍스는 한국가스공사와 2024년 완공을 목표로 연간 생산량 1만 톤 규모의 액화수소 플랜트를 건설하기로 협약했다. 액화수소 1만 톤은 수소 연료전지 자동차 약 8만 대가 1년 동안 사용 가능한 양이다.

SK그룹은 2025년까지 세계 최대 규모 액화수소 플랜트와 청정 수소(청색 및 녹색수소) 생산 기지를 건설하여 총 연간 28만 톤의 친환경 수소를 생산하기로 했다. 그 중 1단계로 SK E&S는 액화수소 3만 톤 생산 체제 달성을 위해 약 5,000억 원을 투자해 SK인천석유화학단지 내 액화수소 생산 기지를 건설하며 2023년까지 완공할 계획이다. 여기서 생산되는 액화수소는 서울, 인천 등 수도권 지역에 공급할 예정이다.

두산중공업은 2020년 11월 창원 수소 액화 사업 EPC 계약 및 투자 확약을 체결했으며 하루 5톤의 액화수소를 생산할 수 있는 공장을 2022년까지 준공할 예정이다. 2023년부터 상업 운전을 시작하여 전국의 수소 충전소 등에 공급한다는 계획이다. 이를 위해 프랑스 에어리퀴드(Air Liquide)와 초저온 액화 플랜트 설계, 엔지니어링, 운영에 대해 지원을 받는 계약도 체결했다.

효성중공업은 독일 린데(Linde)와 액화수소 사업 추진을 위해 합작 법인을 설립하고 2023년 초까지 효성 그룹이 보유하고 있는 울산 용연 공장 부지에 연간 생산량 1만 3,000 톤 규모의 액화수소 공장을 건설하기로 했다. 액화수소 공장 완공 시점에 맞춰 전국 120여 곳에 수소 충전이 가능한 충전 인프라를 구축하고 생산된 제품을 공급할 계획이다.



국내 액화수소 시장이 성장함에 따라 정부는 액화수소 플랜트 및 핵심 설비에 대한 기술 개발에도 주목하고 있다. 2023년까지 290억 원을 투입해 ‘상용급 액체수소 플랜트 핵심 기술 개발 사업’을 진행 중이다. 주관처인 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에 따르면 이번 사업은 수소 액화 플랜트 공정기술과 핵심 설비, 액체 수소 저장 탱크 건설 기술을 개발하여 대용량 저장, 공급이 가능하고 안전성과 경제성이 있는 액체, 액상수소 핵심 기술을 개발한다. 이번 기술 개발로, 현재 대부분 버려지고 있는 LNG의 증발열을 이용해 기존 액화수소 플랜트의 액체 질소에 의한 예냉 과정을 대체함으로써 경제성을 확보하는 것을 목표로 한다. 또한 극저온(-253℃) 팽창기, 열교환기, 밸브, 저장탱크 등 핵심 설비를 국산화하여 50% 이상의 실증 플랜트 국산화율을 달성할 예정이다.

» 주요 기업들의 액화수소 플랜트 투자 현황¹⁾

기업	상업운전 예상시기	생산량 (단위: 톤)	특징
GS칼텍스	2025년	1만	· 한국가스공사와 협업 · 한국가스공사 LNG 인수기지 내 건설
SK E&S	2024년	3만	· SK인천석유화학단지 내 건설 · 미국 Plug Power와 협업 예정
SK가스	2026년	1만 2,000	· 울산 LNG 터미널 내 운영 예정 · LNG 직도입 및 냉열 활용 계획
두산중공업	2023년	1,825 ²⁾	· 창원 수소 액화 사업의 일환 · 프랑스 에어리퀴드로부터 설계 및 엔지니어링, 운영에 대해 지원받을 예정
효성	2023년	1만 3,000	· 울산 용연 공장 부지 내 건설 · 독일 린데와 합작 법인 설립
한국지역난방공사	2025년	1만	· 한국가스기술공사, SPG와 협업 · LNG 미활용 냉열이용 등 연계 예정

Source: 언론보도 종합, 삼정KPMG 경제연구원 재구성
 Note 1: 2021년 7월 28일 기준, 주요 기업들의 투자 현황을 요약
 Note 2: 언론에 보도된 하루 생산량 5톤을 토대로 1년(365일)에 해당하는 값 산출

② 친환경 수소 저장 매체(Carrier)로서 블루, 그린 암모니아 활용

수소를 암모니아로 변환시키기 위해서는 수소와 질소를 반응시켜야 한다. 암모니아는 상온, 상압과 유사한 온도 및 압력 조건 하에서 액상 암모니아를 운송하고 저장한 뒤, 암모니아를 분해해서 수소를 생산할 수 있다. 수소와 질소를 통해 암모니아를 생산하는 공정으로 이미 상업화된 하버-보슈(Haber-Bosch) 공정이 존재한다. 또한 암모니아를 분해하여 수소를 생산하는 공정도 상업화되어 암모니아로부터 생산된 수소를 이용해 연료 전지 발전 사업이 이루어지고 있다.

IEA는 2019년 ‘수소의 미래’ 보고서를 통해 액상 암모니아는 파이프라인과 배로 운송할 경우 LOHC보다 더 경제적이고, 액상 화합물에서 수소로 재전환 시 비용도 효율적임을 확인했다. IEA는 향후 확대되는 암모니아 역할을 고려할 때 전체 암모니아 시장은 2050년 연 400조 원 이상의 시장으로 성장할 것으로 전망하고 있다.

“수소 캐리어로 활용되는 암모니아의 글로벌 시장 규모는 2050년 400조 원 이상 수준으로 전망됨”

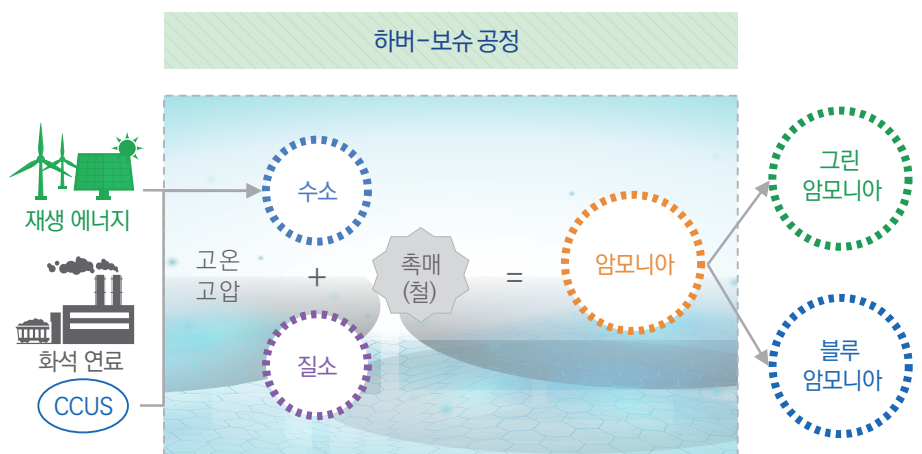
“

수소 저장 수단으로
암모니아 활용 시
그린 암모니아 및
블루 암모니아 시장이
주목받고 있음 ”

수소 저장 수단(수소 캐리어)로서 암모니아를 활용할 때 각 국가가 주목하고 있는 것은 재생 에너지 기반의 그린 암모니아다. 그린 암모니아는 재생에너지에 기반하여 생산된 암모니아를 일컫는다. 그린 암모니아를 생산하기 위한 방식은 기존 기술인 수전해와 하버-보슈(Haber-Bosch) 공정의 조합이다. 노르웨이의 야라 인터내셔널(YARA International)은 프랑스 기업 엔지(ENGIE)와 함께 재생에너지원이 풍부한 호주의 필라바 지역에서 그린 암모니아 생산 공정을 연구개발 중이다. 2022년까지 그린 암모니아를 하루 평균 100kg 생산하는 것을 목표로 하고, 2030년까지 공정 스케일업을 통해 하루 평균 생산량을 500kg까지 증가시킬 예정이다. 미국은 미네소타 대학, 스타파이어 에너지(Starfire Energy) 등이 미국 에너지부의 지원으로 그린 암모니아 생산 공정을 연구 개발 중이다. 스타파이어 에너지는 2019년 10kg/일 생산량 규모의 프로토타입을 제작 후 평가 중이고, 2023년까지 2t/일 수준으로 스케일업 예정이다. 일본은 신에너지, 산업기술종합개발기구(NEDO)와 에스피 에너지 캐리어 프로젝트(SP Energy Carrier Projects)의 지원으로 재생에너지를 이용하여 수전해 수소를 생산하고 이를 연계한 그린 암모니아 합성 기술을 연구 개발 중이며 2020년 12월 기준 10kg/일 규모의 공정을 파일럿 운전 중이다. 국내에서는 에스오일이 대주주인 사우디 아람코(Saudi Aramco)와 협력을 통해 그린 암모니아를 활용한 사업을 검토하고 있다. 또한 현대오일뱅크도 그린 암모니아 시장을 공략하기 위해 에어프로덕츠(Air Products)와 협업 중이다.

블루 암모니아는 석유 등 탄화수소를 수소로 전환한 후 암모니아를 제조하면서 부산물로 생산되는 이산화탄소를 포집한 것이다. 블루 암모니아를 생산하기 위한 해외 기업들은 생산 공정과 설비를 개발하고 있으며, 일부는 가시적인 성과를 도출하기도 했다. 사우디 아라비아 석유화학 기업인 사빅(SABIC)과 사우디 아람코는 블루 암모니아 생산 과정과 설비를 개발하고 있다. 특히 사우디 아람코는 2020년 9월 블루 암모니아 40톤을 일본으로 선적하기도 했다. 일본은 수입한 블루 암모니아를 탄소 배출 없이 전기 발전소에서 연소하여 전기와 열을 생산하는 데 사용했다. 국내에서는 현대오일뱅크가 사우디 아람코로부터 블루 암모니아를 수입하여 2024년까지 구비할 예정인 LNG 보일러의 연료로 활용하는 등 발전소에 투입할 예정이다.

》 수소 캐리어로서 암모니아 생성 과정



운송: 차세대 튜브트레일러와 액화수소 캐리어

“
타입4 수소 튜브트레일러는 최대 수송용량이 기존보다 약 2~3배 높아 대용량 수소 운송에 적합 ”

수요 증가에 대비하기 위해 어떻게 준비하고 있는가?

① 국내 운송 - 타입4(Type4) 수소 튜브트레일러 개발

수소 튜브트레일러는 수소를 생산지에서 압축 저장한 후 수소 충전소로 운송하여 수소를 공급하는 설비이다. 수소 튜브트레일러는 원통형 저장용기를 싣고 다니는데, 원통형 저장용기에 수소가 저장되어 있다. 현재 국내에서 주로 사용되는 수소 튜브트레일러는 금속제로 만든 저장용기인 타입1(Type1)을 주로 사용한다. 타입1 외에도 타입2, 타입3, 타입4가 존재한다. 타입2는 금속제 탱크에 유리섬유 복합재료를 이용하여 보강한 형태로 타입 1보다 가볍다. 타입3은 알루미늄과 탄소섬유 복합재로 사용한 형태이고 타입4는 플라스틱과 같은 비금속과 탄소섬유 복합소재를 이용한다. 타입3, 타입4는 탄소섬유 복합소재를 이용하므로 타입1, 타입2보다 더 높은 압력을 견딜 수 있고 무게도 가벼워 효율적이다. 또한 반복 사용 수명이 길고 부식에 강한 특성을 지니고 있다.

국내에서 주로 사용되는 타입1을 활용한 수소 튜브트레일러는 최대 수송용량이 340kg으로 종량 대비 수소 저장량이 작아 운송 비용이 과다하다는 단점이 지적되어 왔다. 그러나 수소 충전소와 수소 생산기지 구축이 본격화되면서 대용량 수소 운송에 대한 필요성이 대두되고 있으므로 기존 수소 튜브트레일러가 아닌 새로운 수소 튜브트레일러에 대한 개발 및 상용화가 필요한 시점이다. 이에 주목하여 정부는 관련 규제를 완화함과 동시에 고용량 수소 튜브트레일러에 대한 실증특례를 부여하여 국내 기준을 개선하고자 준비하고 있다.

우선, 수소 튜브트레일러의 압력 및 용적 기준 제한을 완화시켰다. 2020년 4월 '친환경차(수소·전기차) 분야 선제적 규제 혁파 로드맵'을 발표하고 수소 수송을 위한 튜브트레일러의 압력과 용적 기준을 기존 450바(bar), 450리터(L)에서 2024년까지 700바, 1,400리터

» 수소 튜브트레일러 유형 비교

대용량 운송을 위해 타입4 시장 대응 중

수소 튜브트레일러란?		타입1(Type1) 수소 튜브트레일러	타입4(Type4) 수소 튜브트레일러
기체 수소 저장 용기	재질	· 타입1 저장용기 사용 · 용기 전체가 금속재질 라이너(내측)로 구성	· 타입4 저장용기 사용 · 플라스틱과 같은 비금속 라이너(내측)에 탄소섬유 복합재료로 용기 전체를 보강한 형태
	입력	· 주로 200bar 사용하나, · 150~300bar까지 저장 가능	· 제조사별 상이하나, · 350~700bar까지 저장 가능
수송 용량		· 최대 수송용량: 340kg · 수소 튜브트레일러 종량 대비 수소 저장량이 작음	· 최대 수송용량: 634kg~1,000kg(개발 중) · 기존 대비 운송비 절감

수준으로 확대해 나간다는 것을 로드맵에 담았다. 또한 민간 기업(엔케이)에 실증특례를 부여함으로써 1,700리터 수소저장용기(타입4)를 탑재한 수소 튜브트레일러(350바)를 이용해 수소 충전, 운송, 하역 시 안전성을 검증하고 있다. 기존 수소 튜브트레일러와 비교 시, 수소 용기, 1회 당 수소 수송량, 수소 1kg 당 운송비 측면에서 경쟁력을 갖추게 될 것으로 보인다. 수소 용기가 타입1에서 타입4로 변경되면서 압력은 200바 수준에서 350바 수준까지 견딜 수 있게 된다. 1회 당 수소 수송량은 기존 340kg에서 634kg으로 증가하게 되므로 수소 충전소 1일 처리용량 목표인 500kg을 한번에 운송하는 것이 가능해진다. 수소 1kg 당 운송비는 kg당 647원에서 절반 수준인 347원까지 절감될 것으로 기대하고 있다.

엔케이 외 다른 기업들도 타입4 수소 튜브트레일러를 개발, 시장에 출시하고 있다. 일진하이솔루스는 2021년 7월 타입4 수소 튜브트레일러(450바, 425리터)를 시장에 출시하였다. 트레일러의 중량과 차량 전장을 줄여 도심에도 대용량 수소를 운송할 수 있도록 하였다. 또한 한화솔루션도 수소제조기업인 에스디지(SDG)와 함께 타입4 수소 튜브트레일러(450바, 550리터)를 운행 실증하고 있다. 마지막으로 롯데케미칼은 한국가스안전공사 등과 함께 토우 프리프레그¹⁾가 적용된 압력용기를 활용하여 1회 운송량 1톤 이상, 차량 중량 20톤 이하의 수소 튜브트레일러를 개발 중이다.

② 해외 운송 - 액화수소 전용 운반 선박 개발

정부는 수소경제 활성화 로드맵에서 2030년부터 해외 생산 수소를 본격적으로 도입할 계획임을 밝혔다. 정부는 국내 연간 수송용 수소 수요량이 2020년 4,000톤에서 2030년 37만 톤, 2040년 약 100만 톤까지 확대될 것으로 예상하고 있다. 그러나 국내 부생 수소 공급 잠재력, 추출 수소의 이산화탄소 배출 이슈, 국내 재생에너지 발전 여건 및 기술적 한계 등을 고려 시, 2030년 이후 국내 청색 및 녹색 수소 수요의 10~50%를 해외로부터 조달해야 할 것으로 예측된다.

해외에서 생산된 녹색 수소를 운송할 수 있는 방안은 해상 운송이다. 한국과 같이 신재생에너지 균등화발전원가가 높은 일본은 해상 운송을 통한 녹색 수소 도입에 앞장서고 있다. 일본은 2015년부터 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)의 지원 아래 호주, 브루나이로부터 녹색 수소를 수입하는 공급 사슬 구축 실증 사업을 진행 중이다. 호주의 미이웅 갈탄에서 수소를 추출, 액화시켜 액화수소 전용 선박을 이용하여 고베시로 운송하는 사업을 시행하기도 했다. 또한 2019년 12월 세계 최초로 8,000톤 급 액화수소 운반선인 '수소 프런티어'가 출항하는 등 수소를 해상으로 운송하는 방안에 대해 다양한 시도를 하고 있다. 국내에서도 현대글로벌비스(선박관리 자회사인 지마린 서비스)가 한국조선해양, 현대미포조선과 협력하여 대형 액화수소 운반선을 개발 중이다. 또한 한국조선해양이 한국선급과 협업하여 수소 선박(수소 운송선)에 대한 세계 첫 국제 표준 개발을 위해 협력 중이다.



“

해외 생산 수소 도입
방안으로 액화수소
전용 운반 선박 필요...

일본은 이미 개발하여
해외 생산 수소 도입 시
활용 중 ”

1) 탄소섬유 등의 보강섬유에 일정한 비율의 수지가 미리 함침되어 있는 탄소섬유복합소재용 중간재

충전: 수소 복합 충전소와 이동식 충전소

“
수도권 내 부지 확보
어려움, 주민 민원 등
한계를 극복하고자
기존 주유소 또는
LPG 충전소 활용 ”

목표 대비 낮은 수준의 충전소, 어떻게 대응하고 있는가?

① 기존 주유소·LPG 충전소의 수소 복합 충전소화

환경부에 따르면, 2021년 7월 30일 기준 국내에 총 100기의 수소 충전소가 구축되어 있다. 그런데 2019년 발표한 수소경제 활성화 로드맵에 따르면, 2020년에 수소 충전소를 130개소, 2022년에 310개소, 2040년에 1,200개소로 늘려가겠다고 밝힌 바 있다. 현황과 목표를 비교해 보면 목표치 대비 현황이 현저히 낮은 수준임을 알 수 있다.

이를 극복하기 위하여 정부는 2021년 2월에 ‘환경친화적 자동차 보급 시행계획’을 발표, 연내 수도권에 50기 이상의 수소 충전소를 구축하겠다는 계획을 밝힌 데 이어, 지난 5월 2022년까지 수소 충전소 310기를 구축하여 수소 연료전지차 운전자들이 불편함 없이 운행하도록 지원하겠다고 발표했다. 목표치인 310기의 수소 충전소를 확보하기 위하여, 한국가스공사를 비롯한 회원사가 수소 에너지 네트워크(Hynet, 한국가스공사, 현대자동차, 공급업체, 충전설비업체 등이 참여)를 설립했으며 2022년까지 자체적으로 100기를 구축할 예정이다. 또한 산업자원부 및 환경부 등 각 부처와 지자체는 수소 충전소 구축 사업에 참여할 기업을 모집하고 지원하여 210기의 수소 충전소를 구축할 계획이다.

그런데 수도권의 경우 부지 확보 어려움과 주민 민원 등 이유로 접근성이 좋은 도심에 수소 충전소가 부족한 상황이다. 수소 충전소를 단독으로 구축 시, 약 1,322㎡ 이상의 부지가 필요하다. 부지 면적뿐 아니라 법적으로 수소 충전소가 들어서는 데 제약 사항도 존재한다. ‘국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 시행령 71조 용도지역 안에서의 건축제한’에 따라 제1종전용주거지역, 제2종전용주거지역, 자연환경 보전지역 등에는 수소 충전소가 들어설 수 없다. 또한 수소 충전소가 일반 가솔린 주유소와 달리 안전하지 않다는 주민들의 생각 때문에 주민 수용성도 낮은 편이다.

따라서 정부 및 기업은 서울과 인접 지역을 중심으로 기존 주유소 또는 LPG 충전소를 활용하는 방안을 고려하고 있다. 기존 시설을 활용하게 될 경우 여유 면적은 약 661㎡로 단독 부지 대비 절반 가량 낮출 수 있기 때문이다. 정부 및 국토교통부는 건축법 시행령 및 시행규칙 개정을 통해 기존 주유소, LPG 충전소 등에서 복합 수소 충전소를 지을 때 필요한 건축 면적에 대한 요건을 완화하겠다고 밝혔다. SK가스, E1은 각 사가 보유하고 있는 부지 중 적정한 곳을 발굴해서 LPG 복합 수소 충전소가 조기 구축될 수 있도록 지원하고 있다. SK가스는 2030년 전국 수소 충전소 100여 개 구축을 목표로 하고 있다. E1은 2020년 부산과 수도권에 수소 충전소 2개소를 구축, 운영 중이며 2021년 3월에 환경부와 수도권 LPG 복합충전소 조기 구축 협약을 맺은 뒤 전국 LPG 충전소 공사를 통해 복합 수소 충전소로 변환하는 작업을 진행 중이다.



② 이동식 수소 충전소 도입

산업통상자원부 특례(‘융/복합, 패키지형 및 이동식 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례 기준’)에 의하면, 이동식 수소 충전소는 ‘수소를 연료로 사용하는 자동차에 수소를 충전하기 위해 필요한 설비가 차량에 장착돼 있어 이동이 가능한 것으로서 처리 능력이 30m³ 이상인 것’으로 정의되어 있다. 이동식 수소 충전소는 수소경제 초기 직면할 수 있는 고정식 수소 충전소 설치의 어려움을 해소하고, 비상 상황 대응용으로 활용될 수 있다는 측면에서 주목받고 있다.

이동식 수소 충전소는 이미 일본에서 상용화되어 있다. 일본에서는 전체 약 100여 개 소의 수소 충전소 중 40여 기를 이동식 수소 충전소로 운영 중이다. 일본의 이동식 수소 충전소는 트럭의 적재함에 수소 충전 설비를 장착해 사용하고 있으며 압축기와 압축가스설비 등 저장 설비를 제외한 충전소의 기본적인 설비를 모두 갖추고 있다. 대부분 2개 이상의 충전소에서 특정 일자를 정하여 운영 중이며 일부는 이동 없이 고정식 수소 충전소의 형태로 사용 중이다.

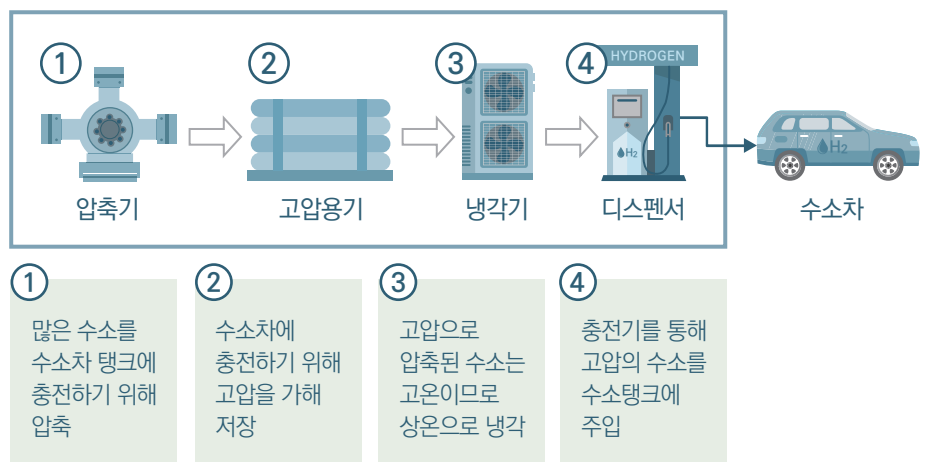
국내에서도 정부와 기업이 협력하여 관련 연구를 진행 중이다. 정부는 2020년 10월 발표한 ‘미래자동차 확산 및 시장선점 전략’에서 2021년 8월부터 대규모 공원, 소도시 등에 이동식 수소 충전소 시범 보급을 추진한다는 계획을 밝혔다. 현대자동차가 이동식 수소 충전소 2기를 제작하여 서울시에서 시범 운영할 예정이다. 또한 산업통상자원부의 지원으로 국산 부품을 활용한 이동식 충전소 기술 개발 사업이 진행 중이다. 한국가스안전공사는 2019년 5월부터 2022년 4월까지 3년에 걸쳐 이동식 수소 충전소 설계·제작·실증 연구를 수행 중에 있다. 특히 이동식 수소 충전소의 한정된 적재공간에 필요한 소형 수소 압축기 국산화도 진행 중이다. 해당 소형 수소 압축기를 장착한 이동식 수소 충전소를 완성하여 실증 운영에 들어갈 예정이다.

“ 고정식 수소 충전소 설치 어려움 해소 및 비상 상황 대응 방안으로서 이동식 수소 충전소 도입 ”



» 이동식 수소 충전소 개념도

“대형 트럭 컨테이너 1대 안에 수소 충전에 필요한 설비가 모두 장착”



활용: 수송·산업·건물·발전 분야 세분시장

“
비즈니스 측면 요소
및 정책 측면 요소를
모두 고려하여
주요 비즈니스
기회를 선별 ”

다양한 수소 활용 분야 중 성장하는 시장은 어디인가?

수소 활용 분야는 수송용, 산업용, 건물용, 발전용 등 분야가 다양하다. 이 중 수소 활용 분야로 대표적인 것을 들자면 ‘수소 연료전지차’로 대표되는 수송 분야와 연료전지와 직접적인 관련이 있는 발전 분야를 들 수 있다. 이는 수소경제 활성화 로드맵에서 수소경제 활성화 국가비전이 ‘수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성’인 것을 보면 더욱 뚜렷이 알 수 있다. 수소경제 관련 시장은 아직 초기 단계로 경쟁이 치열한 분야이기도 하나 국내 수소차 및 연료전지 산업은 세계적으로도 경쟁력을 인정받고 있다. 수소차의 경우 승용차 시장에서 현대자동차가 일본 기업인 토요타, 혼다와 더불어 양산 선두업체로 인정받고 있으며 연료전지의 경우 발전용 분야에서 국내 기업이 선도해 나가고 있다.

본 보고서에서는 기업이 비즈니스를 영위할 때 고려할 요소와 정부의 정책적 목표를 모두 아우르는 관점에서 주요 비즈니스 기회를 선별하였다. 우선, 비즈니스 측면에서 1) 시장을 선점할 기회가 존재하는지, 2) 시장이 점차 성장할 가능성이 존재하는지를 고려하였다. 즉, 현재 선도하고 있는 분야보다는 향후 시장을 선점해야 할 필요성이 있는 분야이면서 성장 잠재력이 충분한 시장을 구분하고자 했다. 또한 정책 측면에서 탄소중립을 달성함에 있어 충분한 영향력이 있는 시장인지도 유의한 요소로 보았다. 단, 정량적인 수치가 아닌 정성적 평가에 의거하였기 때문에 ‘주요’ 비즈니스 기회라고 명명하였다. 이러한 관점에서 수송 분야에서는 승용차 시장 및 수소 연료 추진선 시장을, 산업 분야에서는 철강 산업의 수소환원제철 시장을, 건물용 및 발전용 분야에서는 고체산화물형 연료전지(SOFC) 시장을 도출하였다.



수소 활용 분야의 주요 비즈니스 기회 선별 관점



“

일반 전기차 대비
수소차가 충전시간이
짧고 1회 충전으로
주행 가능한 거리가
길어 상용차 시장의
성장이 빠를 것 ”

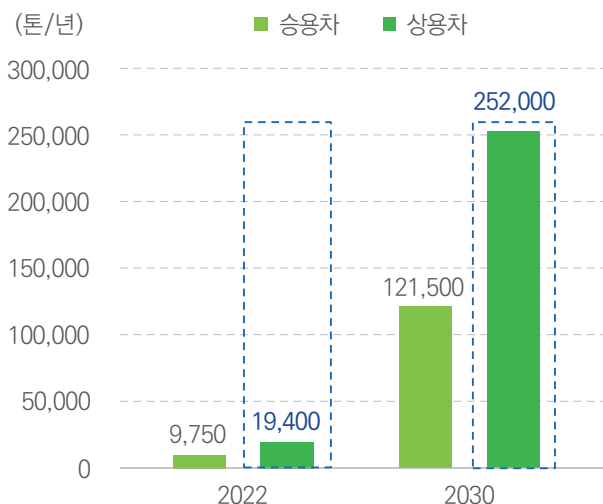
① 수소를 활용한 상용차 시장

전 세계 수소 연료전지차 시장은 2018년 6억 5,000만 달러 규모에서 급성장하여 2026년 420억 달러 규모로 성장할 것으로 전망된다. 정부의 수소경제 활성화 로드맵에 따르면 국내 수소차 규모 역시 2018년에 약 900대에서 2022년에 6만 7,000대로 증가, 2040년에는 그 규모가 290만 대로 급증할 것으로 예상된다.

수소 연료전지차는 크게 승용차와 상용차로 구분된다. 상용차는 화물이나 여객의 수송을 위한 이동 수단으로서 택시, 버스, 트럭이 포함된다. 제1차 수소경제 위원회 분석 결과에 따르면 2022년 수소 연료전지 상용차에는 연간 약 19,400 톤의 수소가 필요한 데 반해 2030년에는 연간 약 252,000 톤의 수소가 필요할 것으로 도출된다. 이는 승용차 수소 사용량 증가분보다 약 2배 더 많다. 그 이유는 일반 전기차 대비 수소차가 충전시간이 짧고 및 1회 충전으로 주행 가능한 거리가 길기 때문에 버스 및 중대형 트럭 등 상용차 중심으로 시장이 더 빨리 발전할 것으로 예측한 것에 기인한다.

글로벌 완성차 주요 업체인 볼보, 다임러, 르노 그룹, 토요타도 상용차를 중심으로 수소 연료전지차 시장에 진입하고 있다. 우선, 볼보 그룹과 다임러 트럭은 수소 연료전지 트럭 개발을 위해 합작회사 셀센트릭(Cellcentric)을 설립했다. 셀센트릭은 2025년부터 수소 연료전지 시스템 양산을 시작하는 것이 목표다. 볼보와 다임러 트럭은 2027년 이후 수소 트럭 판매량이 급증할 것으로 예상하고 있다. 또한 르노 그룹은 미국 수소 연료전지업체인 플러그파워(PlugPower)와 합작 법인을 설립했다. 이를 통해 유럽에서 수소 연료전지를 기반으로 하는 중 소형 상용차 시장 점유율을 30%까지 확보하겠다고 밝혔다. 토요타는 유럽 및 북미 수소 상용차 시장을 공략하기 위해 미국 상용차 업체인 켄워스(Kenworth)와 협력하여 대륙 횡단용 대형트럭을 개발 중이다. 현대자동차 역시 수소 상용차 시장 선점에 공을 들이고 있다. 2020년 7월 세계 최초로 상업용 수소 트럭 10대를 스위스로 수출, 2020년 10월 고객사에 인도했다. 또한 올해 7월에는 미국 ‘캘리포니아 항만 친환경 트럭 도입 프로젝트’의 최종 공급업체 중 한 곳으로 선정되어 2023년 2분기부터 총 30대의 수소 전기 트럭을 공급할 예정이다.

》 국내 승용차 및 상용차 수소 사용량 예상치



Source: 제1차 수소경제위원회, 관계부처 합동, 삼성KPMG 경제연구원 재구성

》 국내 수소 상용차 확산 목표

(단위: 대)

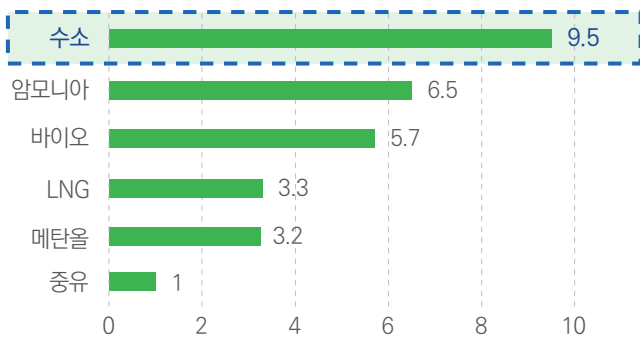
	2018	2022	2040
수소 택시	-	-	80,000
수소 버스	2	2,000	40,000
수소 트럭	-	-	30,000

Source: 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 삼성KPMG 경제연구원 재구성

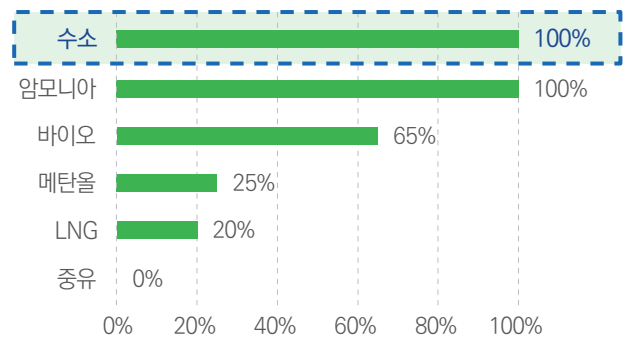
② IMO 규정 충족을 위한 수소 연료 추진선 시장

국제해사기구(IMO)는 온실가스 규제를 지속적으로 강화하고 있다. 신조선의 경우 1단계('15년부터 적용, '08년 대비 온실가스 10% 감축)를 시행했고, 2단계('20년부터 적용, '08년 대비 온실가스 20% 감축)를 적용하는 중이다. 향후 3단계('25년부터 적용, '08년 대비 온실가스 30% 감축), 4단계('30년부터 적용 예상, '08년 대비 온실가스 40% 감축)도 적용 예정이다. 궁극적으로는 국제해운부문 이산화탄소 총 배출량을 2050년까지 2008년 대비 50% 감축하는 것을 목표로 한다. 따라서 해운·조선산업은 친환경 연료를 활용하는 선박으로의 전환이 불가피한 상황이다. 기존 연료(중유, Heavy Fuel Oil 등)의 대안으로 사용하는 친환경 연료에는 LNG, 바이오, 수소, 메탄올, 암모니아 등이 있다. 상대적 경제성 및 온실가스 감축 잠재량을 보았을 때, 이 중 수소가 차세대 친환경 연료로 비교우위를 가진다.

» 친환경 연료별 상대적 경제성¹⁾



» 친환경 연료별 온실가스 감축 잠재량



Source: 2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략, 관계부처 합동, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note 1: 중유 기준 출력당 연료비 상대 비교

“
친환경 선박 연료로
수소가 부상...
수소 연료 추진선
시장 선점을 위해
주요 국가가 경쟁 중

”

이에 따라 수소 연료 추진선 시장을 선점하기 위한 주요 국가 및 기업들의 움직임이 분주하다. 영국, 노르웨이, 독일 등 주요국들은 수소 연료전지 선박 연구를 경쟁적으로 추진하고 있으며 연안 선박 실증선 프로젝트 및 스케일업 연구를 진행 중이다. 영국은 2013년 세계 최초로 수소 동력 여객선인 하이드로 제네시스호를 운항하였다. 노르웨이와 독일은 중소형 수소 연료 전지 선박 실증 사업의 일환으로 2009년 공동 산업 프로젝트인 펠로우십(FellowSHIP)에서 330kW급 선박용 연료전지 시스템을 개발하였고 7,000시간 이상 성능 검증을 완료하였다. 노르웨이는 2015년부터 본격적인 연구 개발을 시작하여 수소 연료전지를 사용한 무공해 컨테이너선 개발을 위한 씨셔틀(Sea Shuttle) 프로젝트, 대형 선박의 수소 추진 시스템 개발을 위한 프로젝트를 진행 중이다. 또한 영국, 프랑스, 네덜란드, 노르웨이 등 다수 유럽 국가들은 공동으로 하이십(HySHIP) 프로젝트를 수행 중이다. 해당 프로젝트는 재생 가능한 에너지를 사용하여 생산된 액화수소를 연료로 하는 선박을 설계하고 건조하는 것이 목표다.

국내에서도 수소 연료 추진선 시장 선점을 위한 관련 기술개발이 진행 중이다. 우선, '2030 한국형 친환경선박 추진 전략'에 따르면 2022년부터 2025년까지 수소 연료전지 연안 선박 개발을 진행할 계획이며 동시에 액화수소 저장 시스템 개발을 통해 액체 수소 연료 저장 탱크 및 연료 공급 시스템 개발도 수행할 예정이다. 또한, 삼성중공업은 미국 블룸에너지(Bloom Energy)와 선박용 연료전지를 개발하고 있으며 대우조선해양은 고체산화물 연료전지 적용 초대형 원유 운반선을 개발하면서 수소 선박 시장에 대응하고 있다. 현대자동차도 현대글로벌 서비스, 한국선급과 함께 수소 연료전지 선박 시장에 진출했으며 2022년 하반기까지 차량 연료전지를 활용하여 선박용 패키지를 개발, 상용화할 계획이다.

③ 수소환원제철 시장

2018년 기준 철강 산업의 온실가스 배출은 제조업 내에서 약 36%를 차지하고 있을 만큼 온실가스 배출량이 높은 산업이다. 이는 제조업 내에서 두번째로 온실가스 배출 비중이 높은 화학 산업(21.6%)보다도 10% 이상 높은 수준이다. 전 세계적으로 탄소 중립 기조가 강화되고 있는 상황에서 철강 산업이 배출하는 온실가스를 줄이고자 하는 노력도 활발하다.

“

글로벌 철강사,
석탄 대신 수소를
환원제로 사용하는
수소환원제철에 주목

”

그렇다면 철강 산업에서 발생하는 온실가스 배출량을 어떻게 줄일 수 있을까? 이에 대한 방안으로 수소환원제철이 주목받고 있다. 수소환원제철이란 철강 제련 과정에 필요한 환원제로 석탄 대신 수소를 사용하는 것을 의미한다. 철광석에서 산소를 분리시키는 과정을 구체적으로 보자. 기존에는 용광로에 철광석과 석탄을 넣어 고온에서 녹이면 이 때 발생하는 일산화탄소가 철광석과 산소를 분리시켜 철과 이산화탄소를 만든다. 그러나 수소환원제철에서는 석탄 대신 수소를 투입함으로써 철과 물을 만들게 된다.

전 세계적으로 철강 기업들은 수소환원제철 공정 개발 및 상용화에 노력을 기울이고 있다. 2020년 8월 스웨덴 철강사 SSAB는 하이브리트(HYBRIT) 프로젝트의 일환으로 수소환원제철 시범 공장을 가동하기 시작했다. 일본은 철강 연맹이 주도하여 2008년부터 2028년까지 수소를 함유한 환원 가스를 투입하여 수소환원제철 공정을 파일럿 수준까지 개발하는 프로젝트를 단계 별로 나누어 추진하고 있다. 국내에서는 포스코가 수소환원제철을 개발하고 있다. 포스코가 보유하고 있는 파이넥스(가루 형태의 철광석과 석탄을 고로 대신 유동환원로와 용융로라는 설비에 넣고 쇳물을 생산하는 방식) 기술을 업그레이드하면 수소환원제철이 완성된다. 파이넥스는 일산화탄소(75%)와 수소(25%)를 혼합하여 환원제로 사용하고 있는데, 수소의 비율을 100%로 올려야 하기 때문이다. 포스코는 2030년 수소환원제철 데모플랜트를 가동하고 2040년까지 개발 완료하는 것을 목표로 하고 있다.

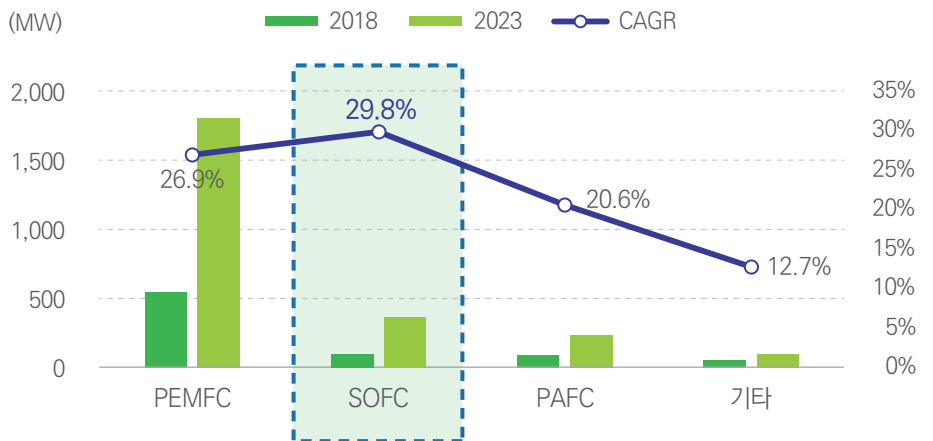
독일, 일본 등에서는 수소환원제철 기술의 주도권을 확보하기 위해 정부가 지원하고 있다. 독일 정부는 철강 사업에 2024년까지 최소 50억 유로(6조 7,743억원)을 투입하기로 했다. 독일 내 탄소 배출 제로 철강 생산을 위해 투입되는 비용은 총 350억 유로로, 그 중 100억~120억 유로는 향후 30년간 독일 정부가 지원한다. 일본은 2000년대 중반부터 수소환원제철을 연구해오고 있으며 2030년 상용화, 2050년 완전보급을 목표로 정부가 매년 예산을 투입해오고 있다. 국내에서는 민관 협력에 기반하여 탄소중립 산업전환 추진위원회가 출범했으며 이를 통해 수소환원제철을 포함한 탄소저감 방안을 논의하고 있다.



④ 고체산화물형 연료전지(SOFC) 시장

전 세계 연료전지 시장은 2017년 1.8조 원 대비 28배 성장하여 2030년에는 50조 원 규모로 성장하고, 설치용량은 2018년 789MW에서 연평균 25.9%로 증가하여 2023년에는 2,494MW에 이를 것으로 전망된다. 연료전지 유형별로 구분하여 살펴보면, 고분자전해질형(PEMFC), 고체산화물형(SOFC), 인산형(PAFC), 용융탄산염형(MCFC), 알칼리형(AFC)로 나뉜다. 각 유형 모두 2018년 대비 2023년에는 시장 규모가 확대될 것으로 나타나는데, 이 중 SOFC는 2018년 98MW 수준에서 연평균 29.8%로 성장하여 2023년에는 361MW에 도달할 것으로 예상된다. 현재 수소차 등 모빌리티 분야에서 주로 활용되고 있는 PEMFC나 발전용으로 주로 활용되고 있는 PAFC의 경우 동기간 연평균성장률이 각각 26.9%, 20.6%로 나타난다.

》 글로벌 연료전지 시장의 제품별 시장 규모 및 전망



Source: 연구개발진흥재단, 삼성KPMG경제연구원 재구성

“ 연료전지 유형 중 발전효율이 높고 대용량 발전이 가능한 SOFC 시장 성장률이 가장 높게 전망됨 ”

앞서 살펴본 바와 같이, 연료전지 시장에서 SOFC 시장의 성장률이 가장 높게 도출되고 있다. 이는 SOFC가 현재 발전용 연료전지로 활발하게 사용되는 PAFC보다 발전효율이 더 높고 대용량 발전이 가능하기 때문이다. 따라서 연료전지 기업들은 SOFC 시장을 선도하기 위해 다각적인 노력을 기울이고 있다. 미국 블룸에너지는 SOFC 분야의 선도적 기업으로 발전효율이 60% 수준이다. 블룸에너지는 연료전지 생산 비용을 꾸준히 감축하여 2025년에는 kW당 1,223달러 수준으로 낮추겠다는 계획을 가지고 있다. 일본 도쿄가스는 2020년부터 2023년까지 발전효율 65%의 5kW SOFC 상용화를 위한 실증 운전을 수행하고 있다. 후지전기는 고효율 SOFC를 이용한 열병합 시스템을 개발 중이며, 발전효율 55%의 50kW급 시스템에 대한 실증을 완료했다.

국내에서도 SOFC의 상용화가 빠른 속도로 진행되고 있다. 두산퓨얼셀은 영국 세레스파워(Ceres Power)와 협력하여 SOFC 셀스택의 양산 기술을 개발, 2024년 제품 양산을 목표로 협업 중이다. 두산퓨얼셀은 발전용 SOFC 개발에 2023년 말까지 724억원을 투자할 계획이며, 2021년 SOFC 생산 공장 건설에 착공하여 2023년까지 기술 개발과 공장 설비를 마칠 예정이다. SK건설은 블룸에너지와 합작법인을 설립, 2021년까지 생산 공장을 완공하는 것이 목표로, 우선적으로 50MW 설비를 갖추고 2027년까지 400MW까지 확대할 계획이다.

수소 생태계 활성화를 위해 선행되어야 할 비즈니스 기회들

본 보고서에서는 5단계의 수소경제 밸류체인에서 총 13가지의 다양한 시장이 성장하고 있음을 보였다. 이 기회들은 수소 생태계가 활성화되기 위해서 선행되어야 할 과제이면서 향후 수소 산업에서 선도자와 추격자를 가를 주요한 승부처들이다. 예를 들어 국산화된 수전해 설비 시스템을 보유하지 않은 국가는 해당 설비를 수입해야만 할 것이며 향후 수소 에너지가 차지하게 될 위상을 고려해볼 때 상당한 경제적 비용을 지불해야 할 것으로 보인다. 기업의 입장에서라도 마찬가지다. 조선·해운업계의 친환경 연료 활용의 니즈가 두드러지고 있는 상황에서 수소 연료 선박을 가장 빨리 상용화하게 되는 기업은 초기 시장에서 높은 시장 점유율을 기대할 수 있을 것이다. 앞서 살펴본 바와 같이, 각 국가 및 기업들은 수소경제 내 다양한 비즈니스 기회를 찾아 선제적으로 대응하고 있다. 따라서 수소경제를 조기에 구축할 수 있게 하기 위해서는 13개의 비즈니스 기회들에 대해 각 시장을 이끌어 나갈 수 있는 역량을 강화하기 위한 노력이 적극적으로 이루어져야 한다.

▶▶ 밸류체인별 비즈니스 기회 및 국내외 시장 대응 동향

#	밸류체인	비즈니스 기회	국내 및 해외 시장 대응 동향
1	생산	개질 수소 생산 시스템	· (국내) 중·소형 개질 수소 생산 시스템 개발 예정 · (해외) 프랑스, 독일, 일본은 개질기 출시 활발
2	생산	이산화탄소 포집·저장·활용 기술	· (국내) CCU 발전전력 수립 후 기술 개발 중 · (해외) 미국, 독일, 중국 CCU 기술 개발 진행 중
3	생산	수전해 설비 시스템 국산화	· (국내) 2022년 강원도 동해에 구축 예정인 수전해 실증단지 내 국산 설비 설치 예정
4	저장	수소액화 플랜트 및 핵심 설비 국산화	· (국내) SK, 효성그룹 등 액화수소 플랜트 건설 중, 정부 주도 액화수소 공정, 설비 기술 개발 중
5	저장	블루, 그린 암모니아	· (국내) 해외 생산 암모니아 수입 후 활용 예정 · (해외) 그린 암모니아 생산 공정 개발 중
6	운송	타입4(Type4) 수소 튜브트레일러 시장	· (국내) 고용량 수소 튜브트레일러 관련 규제 기준 완화 및 실증특례 부여를 통한 타입4 수소 튜브트레일러 실증, 일부 기업 제품 출시
7	운송	액화수소 전용 운반 선박	· (국내) 대형 액화수소 운반선 개발 중 · (해외) 일본 세계최초 액화수소 운반선 출항 완료
8	충전	주유소·LPG 충전소의 수소 복합 충전소 化	· (국내) 정부는 법령 및 규칙 개정을 통한 요건 완화, 기업은 기존 충전소 변환 및 신규 구축 중
9	충전	이동식 수소 충전소	· (국내) 민관 협력 기반 실증 연구 및 설비 국산화 · (해외) 일본은 이동식 수소 충전소 상용화 완료
10	활용	수소 상용차 시장	· (국내) 현대자동차 세계 최초 수소 트럭 수출 · (해외) 글로벌 업체 수소상용차 시장 진입 중
11	활용	수소 연료 추진선	· (국내) 수소연료전지 연안선박 개발 및 선박용 연료전지 개발 중 · (해외) 수소연료전지 선박 실증 및 액화수소 연료 선박 개발 중
12	활용	수소환원제철 공정	· (국내) 수소환원제철 공정 연구 개발 중 · (해외) 스웨덴은 시범 공장 가동, 일본은 개발 중
13	활용	고체산화물형 연료전지(SOFC)	· (국내) 상용화를 위한 기술 개발 및 공장 건설 중 · (해외) 미국 SOFC 상용화 완료 후 단가 감축 중

수소경제 시대를 선도하기 위한 기업의 전략방향

“ 시장 진출 위험을 최소화하고 신속하게 시장에 안착하기 위해 외부 역량을 적극 활용할 필요 ”

바야흐로 탄소중립 기조가 전 세계적으로 강화되고 있다. 따라서 수소경제로의 전환은 각종 산업과 기업에서 피할 수 없는 과제가 될 것이다. 피할 수 없는 시대의 흐름 속에서 기업들의 경쟁력을 강화하는 기회로 수소경제를 활용하기 위해 어떻게 해야 할까? 우선, 수소 산업이라는 새로운 시장에 진출할 때 위험을 최소화 시키면서 효율적으로 진입할 수 있는 방안을 찾아야 한다. 또한, 수소경제 특성을 고려하여 국가 정책과 기업 전략을 보다 촘촘히 연계함으로써 시장 내 경쟁우위를 확보해야 한다. 마지막으로, 수소경제 밸류체인 전 주기를 아우르는 수직 통합을 추구함으로써 비즈니스 모델을 보다 안정적으로 정착시켜야 한다.

1. 시장 진출 시 외부 역량을 적극적으로 활용하는 전략적 제휴 고려

수소경제 및 수소 관련 사업은 높은 시장 성장성을 가진 매력적인 시장임이 틀림없지만, 상대적으로 높은 기술적 진입장벽이 존재하고 이를 극복하기 위한 기술 개발이 필수적으로 수반되어야 한다. 이러한 시장에 진출하기 위해서 기업은 개방형 혁신 전략을 구사할 필요가 있다. 즉, 기업이 온전히 자신의 힘으로 시장에 진출하는 것보다는 외부 역량을 적극적으로 활용하는 방식을 택하는 편이 효율적이다. 실제로, 태동기에 있는 수소 관련 신규 시장에 진출하는 기업들은 기술적 진입장벽을 극복하기 위해 지분참여, 합작투자, 인수합병 전략을 적극적으로 활용하고 있다.

SK(주)는 SK E&S와 함께 약 1조 6,000억 원을 공동 투자하여 미국 수소 연료전지 기업인 플러그파워(Plug Power)의 지분 9.9%를 확보하였다. 해당 지분참여 방식을 토대로 SK그룹은 아시아 수소 시장에서 선도자로서 포지셔닝 하는 것을 목표로 하고 있다.

국내외의 합작투자 주요 사례를 살펴보자. 해외에서는 프랑스 르노그룹과 미국 수소 연료전지 기업인 플러그파워는 유럽 내 수소차 시장 공략을 위해 2021년 1월 합작법인인 'HYVIA'를 설립했다. 양사는 지분 50%씩 투자한 합작사를 프랑스에 설립하고 중소형 상용차 시장 30% 이상 점유를 목표로 연료전지 시스템과 수소차 생산라인을 구축한다는 계획이다. 한편 국내 기업의 경우에도 외국 기업들과 함께 합작사를 설립함으로써 수소 시장에 진출하는 사례를 다수 찾을 수 있다. 효성중공업은 액화수소 시장에 진출 시 상온에서 기체로 존재하는 수소를 영하 253℃까지 낮추어야 하는 기술적 난제를 해결하기 위하여 린데(Linde)와 합작투자 계약을 체결했다. 린데는 산업용 가스 전문기업으로 세계 최대 액화수소 생산공장과 운송 시스템을 보유하고 있고, 효성중공업은 합작법인을 통해 기술적 지원을 받게 된다.

» 수소산업 내 국내외 주요 전략적 제휴 및 M&A 사례

전략적 제휴 및 M&A	지분참여	합작투자				인수·합병
제휴 당사자	· SK(주), SK E&S가 미국 플러그파워 지분 확보	· 르노그룹, 플러그파워 간 합작사 설립	· 효성중공업, 독일 린데 간 합작사 설립	· 두산중공업, 에어리퀴드 간 합작사 설립	· SK건설, 블룸에너지 간 합작사 설립	· 한화종합화학, 미국 PSM ¹⁾ 및 네덜란드 ATH ²⁾ 를 인수
진출 시장	· 수소 연료전지 시장	· 유럽 중소형 수소 상용차 시장	· 국내 액화수소 플랜트 시장	· 국내 액화수소 플랜트 시장	· 국내 SOFC 연료전지 시장	· 수소 혼소 발전 시장

Source: 언론보도 종합, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note 1: Power System Manufacturing

Note 2: Ansaldo Thomassen

두산중공업 역시 프랑스의 에어리퀴드(Air Liquide)와 협력하여 액화수소 플랜트 건설을 추진 중이다. 에어리퀴드가 보유하고 있는 초저온 액화 플랜트 설계, 엔지니어링, 운영에 대해 지원을 받는 계약을 체결했다. SK건설은 블룸에너지(Bloom Energy)와 합작투자를 통해 고체산화물형 연료전지(SOFC) 시장에 진출한다. 연료전지 시장에서 SOFC는 3세대 연료전지로 구분되며, 발전용 SOFC는 가정 및 건물용과 달리 설비 용량이 크기 때문에 단기간에 기술 개발이 어렵다. 따라서 SK건설은 합작법인을 통해 블룸에너지가 보유하고 있는 SOFC 기술을 활용할 예정이다

합작투자에서 더 나아가 기업 인수합병이 이루어지기도 한다. 한화종합화학은 2021년 7월 가스터빈 성능개선 및 수소혼소 개조 기술을 보유한 미국 PSM(Power System Mfg)과 네덜란드 ATH(Ansaldo Thomassen B.V·인수 후 Thomassen Energy로 변경)를 인수하였다. 수소 혼소 발전은 가스터빈에 수소와 천연가스를 같이 연소해 발전하는 방식으로 수소 혼소 비중이 높을수록 이산화탄소 배출이 줄어들게 된다. 한화종합화학은 원천 기술을 보유하고 있는 업체를 인수함으로써 관련 기술을 확보하게 되었다.

2. 시장을 선점하기 위하여 기업 R&D 및 정부 정책을 긴밀하게 연계

수소를 주요 에너지원으로 사용하기 위해서는 각 밸류체인 단계에서 수소 활용에 적합한 기술적 역량이 필수적으로 뒷받침되어야 한다. 이를 위해 많은 기업들은 경쟁 및 협업 관계를 구축하며 수소경제에서 주도권을 갖고자 노력하고 있다. 그러나 수소경제는 아직 성숙하지 않은 초기 단계의 시장이므로 뚜렷한 선도 기업이 부재한 상황이다. 수소차의 경우 현대자동차, 토요타 등이 경쟁 중이나 벤츠, 아우디, BMW, GM, 닛산 등도 시장에 진출하고 있으므로 주도권 싸움의 경쟁은 더욱 치열해질 전망이다. 발전용 연료전지 분야에서는 한국을 포함, 독일, 일본, 미국이 경쟁 중이다.

수소경제에서 선도적 지위를 확보하기 위해서는 정부의 정책적 지원이 필수적이다. 특히 원천 기술의 확보는 국가적 경쟁력과도 직결되므로 정부의 정책적 지원이 수반되어야 한다. 따라서 정부는 정책의 일관성을 가지고 R&D를 지원해야 하며 민간 기업은 이를 토대로 기술적 역량 개발을 도모해야 한다.

기업의 실질적 경쟁력과 직결되는 산업 분야를 적극적으로 지원

우리 정부는 수소법 최초 제정, 수소경제 활성화 로드맵 발표, 수소경제위원회 출범을 통한 각종 수소 관련 정책 발표, 수소 산업 전담 기관 지정 등 선제적으로 수소경제 시대에 대비하고 있다. 그러나 기업의 글로벌 경쟁력과 직결되며 시장을 선점할 수 있는 기술을 적극적으로 지원할 필요도 있는 것으로 보인다.

수소환원제철 공정을 예로 들면, 미국, EU, 일본 등 주요 국가와 기업은 수소환원제철 공정 기술을 개발하여 미래 시장에서 경쟁 우위를 선점하기 위해 경쟁 중이다. 이를 위해 독일은 철강 사업에 2024년까지 최소 50억 유로를 투입하고 일본은 2030년 상용화 및 2050년 완전 보급을 목표로 정부가 매년 예산을 투입해오고 있다. 그러나 국내는 일본과 철강 산업의 여건이 유사함에도 불구하고, 수소환원제철 공정에 대한 구체적인 예산 지원 정책 등이 반영되어 있지 않은 상태다. 수소경제에 대한 정부의 일관적인 방향성을 토대로, 기업의 경쟁력과 직결되는 세분 시장을 선별, 현실에 기반한 정책적 지원에 적극적으로 투자해야 할 시기다.

“

원천 기술 확보는
국가적 경쟁력과도
직결되므로 정부의
정책적 지원이 필수적

”

수소산업 기반 기술의 견고한 성장을 위한 중소기업·스타트업 육성

수소산업의 특성상, 수많은 소재, 부품, 장비가 필요하다. 이는 곧 각 영역에 관련된 중소기업 및 중견기업들이 존재한다는 뜻이다. 중소기업 및 중견기업의 자금력은 대기업보다 부족하기 때문에 이들 기업의 수소산업 진입 초기 비용 및 지속적인 R&D 비용에 대한 부담은 클 수 밖에 없다. 이러한 특성은 중견기업보다 중소기업에서 더 두드러지게 나타나고, 시장에 처음으로 진입하게 되는 스타트업에서는 그 한계가 더욱 명확하게 드러난다.

“ 기업이 가지고 있는 기술 역량을 평가, 이를 미래의 재무적 가치로 인정하는 실제적인 육성 방안 필요 ”

정부는 수소산업의 기반이 되는 소재, 부품, 장비 분야의 견고한 성장을 위해 2040년까지 1,000개 이상의 수소 전문 기업을 육성하겠다고 계획했다. 다만 수소법의 수소 전문 기업 선정 및 지원을 위한 조건을 살펴보면, 총 매출액 기준으로 20억 원 이상인 기업을 대상으로 하여 중소기업이나 스타트업은 관련 기준을 충족하지 못할 수도 있다. 그러나 기술력이 중요한 수소산업에서는 대기업 못지않게 중소기업이나 스타트업의 R&D 역량이 중요하다. 실제로 유럽이나 미국의 경우, 수소산업에서 스타트업이 신기술을 개발함으로써 수소산업의 기반 기술을 보다 탄탄히 하고 있다. 유럽의 에르고슈프(Ergosup), 리버심플(Riversimple), H2GO Power 등은 기존 수소 관련 기술의 단점을 보완한 신기술을 개발함으로써 투자금을 유치하고 있다. 미국의 대표 수소 스타트업인 메인스프링에너지(Mainspring Energy) 역시 주차 공간 크기의 중형 발전 설비에서 바이오 가스 또는 수소로 전기를 발생시키는 기술을 개발함으로써 세계적인 에너지 기업인 넥스트에라에너지(Next Era Energy)와 계약을 체결하는 등 성과를 거두고 있다.

국내 역시 수소산업의 기반 기술을 보다 탄탄히 성장시키기 위해서는 기술력이 탄탄한 중소기업 및 스타트업을 적극적으로 육성해야 한다. 따라서 일정한 규모 이상의 기업에만 집중되는 육성 방안보다는, 현재 가시적인 재무적인 효과를 보이지 않더라도 해당 기업이 가지고 있는 기술 역량을 평가하고 이를 미래의 재무적 가치로 인정할 수 있는 실제적인 육성 방안을 마련할 필요가 있다.



3. 비즈니스 모델로 정착시키기 위하여 밸류체인 전 주기를 아우르는 수직적 통합(Vertical Integration) 추구

국내 주요 기업들이 지속적으로 수소 산업에 진출하고 있다. 주요 기업의 면면을 보면 현대 자동차 그룹, 한화 그룹, 두산 그룹, SK 그룹, 효성 그룹, 포스코 그룹, 롯데 그룹 등으로 국내 굴지의 그룹사 중 다수가 참여하고 있다고 볼 수 있다. 이러한 사실을 통해 기업들은 수소경제를 성장성이 큰 미래 먹거리로 판단하고 있다는 것을 알 수 있다. 수소경제가 성장성이 큰 산업이나 초기 단계의 시장인만큼 실제로 기업의 재무적 효과를 가져다주는 비즈니스 모델을 찾는 것은 쉽지 않다. 그러나 기업 입장에서는 안정적인 비즈니스 모델로서 수소 관련 사업을 정착시키는 것이 무엇보다 중요할 것이다.

“

밸류체인 전 주기의 수직적 통합에 기반한 비즈니스 모델 구상

”

그렇다면 어떻게 안정적인 비즈니스 모델을 개발할 수 있을까? 이를 위하여 기업은 기업이 속한 수소경제 내 단편적인 밸류체인만이 아니라 밸류체인 전 주기를 아우르는 수직적 통합을 추구해야 한다. 수직적 통합이란, 밸류체인에서 전·후방 단계를 통합, 흡수하는 전략을 의미한다. 수소경제를 예로 들면, 수소 생산, 저장, 운송, 충전, 활용으로 이어지는 밸류체인에서 수소 생산과 활용 단계를 통합하는 모습의 비즈니스 모델을 개발하는 것이다.

일부 기업들은 수직적 통합을 통한 비즈니스 모델을 구상하고 실행에 옮기고 있다. SK가스와 롯데케미칼은 수직적 통합에 초점을 두고 업무협약을 맺었다. 롯데케미칼은 석유화학 공정을 통해 부생 수소를 생산하고 SK가스는 생산된 부생 수소를 수소 충전소에 공급하거나 수소 연료전지 발전소에 원료로 활용함으로써 수소 생산-충전-활용 단계를 통합하고자 한다. 또한, 한화그룹은 그룹 내부에서 수소경제 전 주기를 아우르는 수직적 통합을 추진하고 있다. 한화솔루션 내 큐셀 부문이 신재생에너지를 담당하고, 케미칼 부문이 수소 생산을 담당, 첨단소재 부문이 수소 저장을 담당하며 한화파워시스템이 충전 사업을, 한화에너지와 한화종합화학이 수소연료전지 사업을 담당하면서 수소경제 전 주기를 아우르는 비즈니스 모델을 수립하고 있다. 마지막으로, 현대자동차 그룹과 포스코 그룹은 수소를 활용하여 만든 부품을 생산하는 단계와 해당 부품을 활용하여 자동차 완성품을 제조하는 단계를 통합하여 하나의 비즈니스 모델로 만들고 있다. 현대자동차가 완성차에 사용할 자동차 강판을 포스코가 생산하는데, 해당 강판을 만드는 공정에서 탄소 대신 수소를 활용한 철강재를 사용하여 강판을 생산하고 이를 현대자동차가 사들여 완성차로 만드는 것이다.

밸류체인을 아우르는 수직적 통합을 추구함으로써 기업은 비단 재무적 효과가 보다 가시화되는 효과를 얻을 수 있을 뿐 아니라, 탄소가 아닌 수소의 생산과 활용을 통해 최근 화두가 되고 있는 ESG 경영에도 긍정적인 효과를 얻을 수 있게 되므로 기업은 적극적으로 수직적 통합에 기반한 비즈니스 모델을 구상할 필요가 있다.

지금은 전 세계적으로 탄소경제에서 수소경제로 산업적 전환이 이루어지는 시기다. 더욱이 수소경제는 가보지 않은 시장이고, 전에 존재하지 않았던 산업이다. 기회이자 위기가 될 수 있다. 한 번도 가보지 않은 길이지만, 국내 기업들이 수소경제 전반에 대한 이해를 토대로 새로운 시장을 포착하고 선점할 수 있는 기회가 되기를 기대한다.



Business Contacts

수소 및 에너지산업 전문팀

Audit

변영훈
부대표
T. (02)2112-0506
E. ybyun@kr.kpmg.com

강정구
전무
T. (02)2112-7629
E. jeonggukang@kr.kpmg.com

이정수
전무
T. (02)2112-0572
E. jungsoolee@kr.kpmg.com

김연정
상무
T. (02)2112-0297
E. yeonjungkim@kr.kpmg.com

정재욱
상무
T. (02)2112-7909
E. jjoung@kr.kpmg.com

황재남
부대표
T. (02)2112-7609
E. jaenamhwang@kr.kpmg.com

최세홍
전무
T. (02)2112-7628
E. sehongchoi@kr.kpmg.com

김현중
전무
T. (02)2112-7632
E. hyunjoongkim@kr.kpmg.com

이채능
상무
T. (02)2112-7884
E. chaeneunglee@kr.kpmg.com

위승훈
부대표
T. (02)2112-0620
E. swi@kr.kpmg.com

이경석
전무
T. (02)2112-0564
E. kyungsuklee@kr.kpmg.com

전원표
상무
T. (02)2112-7634
E. wjeon@kr.kpmg.com

김대진
상무
T. (02)2112-7812
E. daejinkim@kr.kpmg.com

Deal Advisory

김광석
부대표
T. (02)2112-0723
E. kwangseokkim@kr.kpmg.com

김효진
전무
T. (02)2112-0393
E. hkim68@kr.kpmg.com

이동근
전무
T. (02)2112-7764
E. dlee@kr.kpmg.com

Consulting Service

한동현
상무
T. (02)2112-7664
E. donghyunhan@kr.kpmg.com

정동현
이사
T. (02)2112-0416
E. djeong3@kr.kpmg.com

kpmg.com/kr

The information contained herein is of a general nature and is not intended to address the circumstances of any particular individual or entity. Although we endeavor to provide accurate and timely information, there can be no guarantee that such information is accurate as of the date it is received or that it will continue to be accurate in the future. No one should act on such information without appropriate professional advice after a thorough examination of the particular situation.

© 2021 KPMG Samjong Accounting Corp., a Korea Limited Liability Company and a member firm of the KPMG global organization of independent member firms affiliated with KPMG International Limited, a private English company limited by guarantee. All rights reserved.

The KPMG name and logo are trademarks used under license by the independent member firms of the KPMG global organization.