

수소 산업 발전을 위한 국내외 정책 및 기술 동향 분석

김채현¹ · 김건우² · 김한상^{2†}

¹수소융합얼라이언스 산업본부, ²가천대학교 기계공학전공

Analysis of Domestic and Foreign Policy and Technology Trends for Hydrogen Industry Development

CHAEHYUN KIM¹, GUNWOO KIM², HANSANG KIM^{2†}

¹Business Coordination Department, H2KOREA, 4F, 34 Banpo-daero, Seocho-gu, Seoul 06716, Korea

²Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342 Seongnam-daero, Sujeong-gu, Seongnam 13120, Korea

†Corresponding author :
hskim70@gachon.ac.kr

Received 22 March, 2023

Revised 24 April, 2023

Accepted 25 April, 2023

Abstract >> Currently, major foreign countries such as Europe, the United States, Japan, and China have established policy and technology goals by 2050 to achieve the hydrogen economy. In line with this, Korea is also preparing to leap forward as a leading country in the world's best hydrogen economy by establishing a technology development target by 2050. In this paper, by examining and analyzing domestic and foreign policy and technology trends to date, implications for domestic hydrogen policy and technology trends are discussed, and major issues and future contents are summarized.

Key words : Hydrogen policy(수소 정책), Hydrogen trend(수소 기술), Decarbonization(탈탄소화), Hydrogen economy(수소 경제), Carbon neutral(탄소중립)

1. 서론

대표적인 화석연료인 석유, 석탄 및 천연가스를 주 에너지원으로써 사용함에 따라 현재 급격한 문명의 발달과 경제적 성장을 이루어 냈지만, 지역적 편재성과 매장량의 한계로 인한 화석연료 고갈에 대한 우려와 이에 따른 정치, 경제적인 불안감이 커지고 있다. 또한, 국지적 폭염, 폭설, 집중호우 등 기상 이변 현상과 평균 기온 상승 등 이산화탄소 배출에 의한 지구온난화 문제가 발생하고 있다. 이에 따라, 국내외적으로 풍력, 수력, 태양력, 바이오매스 등 신재생

에너지(renewable energy) 혹은 대체에너지(alternative energy)에 대한 관심이 증가하면서 청정에너지를 활용하는 방안에 관한 연구가 증가하였다. 이 중 신재생에너지의 저장 및 활용 확대를 위한 측면에서 중요한 역할을 하는 수소는 자동차, 선박, 철강, 가정 등 이미 오랜 시간 동안 산업용 시장과 관련 산업에 연관되어 왔으며 세계의 주요 국제기구, 국가 및 업체들의 계획 발표에 따라 수요가 증대되고 있다. 수소 산업에서 활발한 움직임을 보이는 선도국은 미국, European Union (EU), 일본 등으로, 이들 국가에서는 정부가 주도하는 R&D 및 실증 프로젝트에 민간

기업이 참여하며 추진되고 있다¹⁾. 유럽의 경우 2020년 8월 EU 집행위원회가 2050년까지 기후 중립을 목표로 하는 탈탄소화 에너지 시스템 전환 목적의 유럽 수소 전략을 발표하였고 유럽 청정수소연맹을 결성하여 인프라, 자동차, 항공 등 수소경제 선점을 위한 산업계획을 마련하였다. 일본의 경우 2017년 4월 수소 시대를 선언한 후, 수소 기본 전략 및 향후 30년을 위한 정책 대응, 50년간의 시나리오가 포함된 에너지 기본계획을 발표하며 2050년 탄소중립 실현을 위한 그린 성장전략을 발표하였다. 미국의 경우, 연방정부에서 Department of Energy (DOE)의 주도하에 정책을 시행하며 기술 개발, 시장 침투, 시장 확대 및 인프라 정비 등 단계별 목표를 수립하였고 미국 DOE의 수소프로그램을 통해 청정 수소에너지 기술의 실용화 및 관련 기술 융합화를 목표로 추진하고 있다. 앞선 국가들뿐만 아니라 우리나라 역시 수소경제 활성화를 위한 로드맵 발표, 2020년 1월 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률(이하 수소법) 제정, 수소경제위원회의 수소경제 정책 제시 및 수소경제 전담 기관 지정, 대한민국 경제의 신 도약 및 사회 경제적 패러다임 대전환을 위한 한국판 뉴딜 종합계획 발표 등 세계 최고 수준의 수소경제 선도 국가로의 도약을 준비하고 있다²⁾. 본 논문에서는 앞선 내용과 같이 현재까지의 국내외 수소에너지 분야의 기술 및 정책 동향을 살펴보고 주요 이슈 및 차후 논의 내용에 대해 정리해 보고자 한다.

2. 국내외 수소 정책 동향

2.1 해외 수소 정책 동향

2.1.1 유럽연합

EU 집행위원회는 유럽 수소 전략 3단계를 발표함으로써, 전기 분해를 통해 과생산된 재생에너지의 단가 저감 및 온실가스를 배출하지 않는 청정수소의 상용화를 위한 계획을 수립하였다. 주요 추진 전략계획으로는 GW 단위의 그린수소 생산을 위한 대규모 풍력 및 태양광 발전소 설립, 수소 밸리 개발을 통한

산업, 교통, 가정용 건물의 수소 활용, 범유럽 수소 그리드 및 수소충전소 설치 계획 등을 수립하였다³⁾.

2.1.2 독일

독일의 수소 전략은 2019년 12월 EU에서 발표한 유럽 그린딜(European Green Deal)에 합의하며 탈탄소화 전략을 수립함으로써 수소산업 육성을 선택하였고, 이를 통해 코로나에 따른 경제 위기를 극복함으로써 잠재 성장력을 증대시키려는 계획을 수립하였다. 총 38가지의 적용 분야를 선정하여 분야별로 조치를 제시하였으며, 분야별로 가격 요소 개혁 가능성 점검 및 전해조 투자 지원 촉진 계획, 에너지 지침(renewable energy directive 2)에 따른 지원 계획, 연료전지 시스템 공급 산업 지원 계획, 탄소 차액 계약제도(carbon contract for difference)를 통한 화학 및 철강 산업 지원 계획, 기본 체계 수립을 통한 수소 기술 실제 활용 체계 형성 및 수소 관련 직업교육 프로그램 지원 계획 등을 수립하였다⁴⁾.

2.1.3 일본

일본은 수소 기본 전략을 토대로 하여 이용(수송, 발전, 연료전지)과 공급(화석 연료 및 carbon capture and storage, 그린수소) 분야에서의 전략 로드맵 목표를 수립하였다. 각 분야별로 철저한 규제 개혁과 기술개발을 통한 2025년까지의 가격 저감 및 전국 단위의 충전 네트워크 확대, 연료전지 버스용 수소충전소 구축 확대를 통한 버스 차량 대수 증대, 기술개발을 통한 수소 발전 효율성 증대, 수소 기술 집중 적용을 통한 수전해 장치의 효율성 및 내구성 향상 목표를 수립하였다. 또한, 그린성장 전략을 발표함으로써 향후 성장 분야의 목표 수치 및 대응책을 마련하였고 에너지, 운송, 제조, 가정, 사무실 등 총 14개의 분야별로 가격 표준화 및 민간 자금 유도 등 정책을 시행함으로써 수요 창출 및 가격 저감을 도모할 계획을 수립하였다⁵⁾.

2.1.4 중국

중국의 경우, 현재의 석탄 의존 상황에서 벗어나

탈탄소화를 실현하기 위해 2020년부터 본격적으로 수소 관련 산업 정책을 개발하고 투자를 추진하며 2030년까지의 상용화 목표를 수립하였다. 2030년까지의 각 추진 전략을 통한 100만 대 이상의 수소전기차 상용화 및 기업당 연료전지 시스템 10만 개 이상 생산 목표를 수립하였다. 이외 중국은 각 지방 정부에서도 수소에너지 산업 육성을 위해 수소전기차 발전 계획과 산업 클러스터 조성 계획(상하이), 수소전기차 산업 중점 육성 분야 확정 계획(베이징), 수소 연료 전지 개발 산업 단지 구축 및 100개 이상 수소전기차 관련 기업 유치(후베이), 수소전기차 배터리 및 완성차 생산 시스템 구축 계획(저장성) 등을 발표하였다⁶⁾.

2.1.5 미국

미국은 캘리포니아 주의 대표적인 연료전지 협력 사업인 California Fuel Cell Partnership (CaFCP)과 DOE와 기업이 협력하여 만들어진 민관 협의체 H2USA가 수소 산업의 확대를 주도하고 있다. CaFCP의 경우, 주 차원의 fuel cell electric vehicle (FCEV) 상용화 촉진 및 수소충전소 보급 목표를 위해 수소충전소 건설비용 지원, 연료전지 안전 규정 및 표준 개발, 자금 조달 기준 확립 등의 내용으로 사업을 수행하고 있다. H2USA의 경우, 미국 전역의 FCEV 상용화 및 수소충전소 보급 목표를 위해 기술개발 프로젝트 지원 방식을 통한 수소에너지 상용화 기술개발 및 수소충전소 인프라 확대, 시장 지원, 자금 조달 등의 사업을 추진하고 있다. 또한 총 5가지의 분야에서 연구개발 성과를 정리하고 수소 프로그램 계획을 발표함으로써 청정 수소에너지 기술의 광범위한 실용화를 목표로 삼고 있다⁷⁾. 해외 각국에 대한 탈탄소화 정책은 Table 1에서 확인할 수 있다.

2.2 국내 수소 정책 동향

국내의 수소 산업을 살펴보면, 수소전기차, 수소충전소 및 발전용 연료전지 분야에서의 보급 실적은 세계 1위를 선점하고 있다. 그러나 생산, 저장, 운송

등 타 분야에서는 선진국과의 기술 격차가 3년에서 7년까지 벌어져 있는 실정이다. 이를 극복하기 위해 수소 전주기(생산, 유통, 활용)에서의 핵심 기반 기술을 확보할 필요가 있으며 민간 투자 촉진을 위한 규제 완화와 열위 분야에서의 전략 품목 중심 틈새시장 공략을 추진할 필요가 있다고 판단된다. 앞서 언급된 기술 격차를 줄이기 위해 우리나라는 국내 수소 산업 비전으로 ‘글로벌 선도국가 도약⁸⁾’을 선정하였으며, 이를 위한 목표는 Table 2에서 확인할 수 있다.

목표 추진 전략으로는 선진국 수준의 핵심 기반 기술 확보, 수소 산업 생태계 조성, 민간 투자 촉진을 위한 규제 완화, 해외 진출 유망 분야 수출 산업화와 같이 총 4가지의 전략이 수립되었다.

먼저, 선진국 수준의 핵심 기반 기술을 확보하기 위해서 성장성 및 파급 효과가 큰 7대 전략 분야의 핵심 기반 기술개발을 집중적으로 지원하고 2030년까지 선진국 수준으로 향상할 계획을 수립하였다⁹⁾.

수소산업 생태계 조성 목표 달성하기 위해 매출액 등 신규 지정 요건을 개선함으로써 ‘30년까지 수소 전문기업 600개를 육성할 계획이며, 수소 펀드를 통한 핵심 기술 개발 투자 및 대출한도 상향 등 추가 지원을 병행할 계획이다. 또한 수소융합대학원, 수소혁신연구센터, 수소학과 등을 신설하여 전문 인력을 양성하고, 우수 인력의 유입을 확대하며 지역별 특화 수소 클러스터 및 전문 생산기술연구소 설립 등 인프라 구축을 통한 시너지 효과를 창출할 계획이다.

민간 투자 촉진 목표를 달성하기 위해서 수소 산업 관련 규제를 수시로 발굴하며 사전 리스크를 사전에 확인할 수 있는 수소산업 전주기 규제 정보 일원화 제공 지도 서비스를 구축함으로써 투자 걸림돌을 제거할 계획이다. 또한, 규제자유특구 및 규제 샌드박스를 통해 신속한 안전성 검증과 기준을 마련함으로써 신기술 및 혁신 제품 조기 상용화를 실행할 계획을 수립하였다.

마지막 추진 전략인 해외 진출 유망 분야 수출 산업화 목표를 달성하기 위해서 크게 4가지로 나눠 목표를 수립하였다. 수소 모빌리티의 경우 다양한 상용차 모델 생산 확대 및 지자체 보급 사업을 통한 가격

경쟁력 확보(수소 상용차), 유휴 선로를 활용한 실증 운영(수소 트랩), 다양한 제품의 조기 상용화를 통한 글로벌 수소 선박 시장 선점(수소 선박), 상용차 연료 전지 기술의 기동무기 체계 적용을 통한 수출 지원(K-방산) 등의 목표를 수립하였다. 발전용 연료전지의 경우, 고효율 및 발전, 난방이 가능한 제품 위주로 시장을 확대하며 해외 네트워크를 활용함으로써 해외 사업 정보 제공 강화 및 국산 자재와 부품의 해외 진출을 추진할 계획이다. 수전해의 경우 그린수소 실증 등을 통해 국내 생산·운영 기술을 확보하고 국내 소부장 기업을 발굴, 연계하여 공급망을 내재화함으로써 국내 생산 역량 확충 계획과 이를 통한 해외 틈새시장 공략 목표를 수립하였다. 액화수소 운송선의

경우, '29년까지 수소 3천 톤 급 액화수소 운송선을 시범건조 및 운용함으로써 수출을 추진하며 핵심 기자재를 국산화하여 안정적인 공급 기반을 마련할 계획이다. 수소충전소의 경우, 국내 경험을 바탕으로

Table 2. Aspiration to leap as a global leading country in hydrogen industry⁶⁾

Category	Detailed goal
Technology	Increase the level of 7 key strategic technologies compared to advanced countries
Product	Increase the share of world market-leading products (2 EA → 10 EA)
Specialized company	Increase the number of hydrogen-specialized companies (52 companies → 600 companies)

Table 1. Decarbonization policies of foreign countries⁷⁾

Major country	Stage / Field	Achievement strategy
Europe	1st stage (~'24)	Large-scale power plant establishment, facility construction, green hydrogen production
	2nd stage (~'30)	Carbon Capture technology and utilization of hydrogen buildings
	3rd stage ('30~)	Utilization of green hydrogen and decarbonization
Germany	Hydrogen production	Continued promotion of carbon pricing policies
	Transportation	Development of electric-based hydrogen production
	Industry	Long-term decarbonization based on hydrogen
	Infrastructure and research education	Establishment of hydrogen refueling stations and development of a hydrogen industry roadmap
Japan	Transportation	Reduction of fuel cell and hydrogen storage system costs
	Power generation and fuel cells	Increase in hydrogen power generation efficiency and realization of grid parity by 2025
	CCS technology and green hydrogen	Increased efficiency, cost reduction, and energy consumption reduction
China	1st stage (~'20)	System optimization and cost reduction, development of materials and key components
	2nd stage (~'25)	Expansion of lifespan and output, improvement of reliability, and expansion of composite refueling stations
	3rd stage (~'30)	100% utilization of hydrogen, establishment of product performance, and construction of a distributed hydrogen production system
USA	Hydrogen production	Development of low-cost and high-efficiency technology (equipment, storage, and production)
	Hydrogen transportation	Establishment of measures to secure product and technology reliability and reduce investment risk
	Hydrogen storage	Development of low-cost and high-density systems
	Hydrogen fuel cell vehicles	Development of control and hybrid system technologies
	Education and workforce development	Development and support of education programs

한 한국형 수소충전소 표준 모델을 개발하고 수소자동차 수출과 연계하여 주요국 시장(미국, 독일, 중국 등)에 진출할 계획을 수립하였다¹⁰⁾. 이에 대한 내용은 Table 3에서 확인할 수 있다.

2.3 시사점

현재 글로벌 수소경제가 도입기를 지나 성장 초기 단계에 진입하였고 이에 따라 수소경제 이행을 위한 대규모 청정수소 생산이 본격화되고 있다. 또한 자국내에서 생산 및 소비가 되는 시스템에서 국가 간의 거래가 점차 증가하고 있다. 그러나 러시아-우크라이나 전쟁 이후 에너지 공급에 위기가 발생하였고 이로 인해 발전율이 감소할 것이라는 예측이 지배적이었으나 오히려 천연가스와 같은 전통 에너지에서 신에너지인 수소 활용이 가속화될 것으로 전망되고 있다. 이에 따라, 국내의 경우 온실가스 감축 및 대용량 저장 등 수소의 장점을 활용한 대형 모빌리티, 대형 발전, 산업계로 확대할 필요가 있으며 국내의 다양한 청정수소 생산 능력과 해외 청정수소 공급망 확보, 이외 민간의 투자 계획이 실현될 수 있도록 경제성과 기술 성숙도를 고려하며 단계적으로 제도와 인프라를 구축할 필요가 있다고 판단된다. 하지만 앞서 언급된 국내 정책들을 토대로 살펴볼 때 글로벌 선진 국가로서의 도약 목표 달성과 이후 선진국과의 기술 격차가 좁아질 것이라는 추세에 이견은 없을 것으로 예측된다.

3. 국내외 수소 기술 동향

앞서 언급된 내용과 같이 세계 각국의 수소산업에 대한 정책에 힘입어 수소 시장도 같이 지속 성장하고 있다. 탄소중립이 달성될 경우, 수소에너지 수요는 2030년에 약 1억 4,000톤, 2050년에 약 6억 6,000톤으로 최종 에너지 수요의 약 22%를 차지할 전망이다. 이와 같은 수요에 맞춰 국내 수소 시장과 기술의 확대 및 방향에 대한 시사점을 도출해 보고자 해당 파트에서는 주요국별 수소 생산, 수소 저장 및 이송, 수소 활용 부문의 규모 및 특징을 분석하였다.

3.1 수소 생산

전 세계의 연간 수소 생산량은 약 6,500만 톤이며 수소 생산 시장의 성장률은 연평균 5.2%를 지속할 것으로 예측된다. 이러한 성장은 수소에너지, 암모니아 및 메탄올 공정, 오일샌드인 정유 및 석탄 가스화 공정의 수요 증가에 의한 것으로 판단된다¹¹⁾. 각국은 점차 증가되는 수요에 맞춰 부생수소, 개질수소, 수전해수소 방식을 채택하여 수소를 생산하고 있으며 이는 Table 4에서 확인할 수 있다¹²⁻¹⁴⁾. 국내의 경우 알칼라인 수전해 및 proton exchange membrane electrolysis (PEM) 수전해를 민관 협업 R&D로 대용량화하며 소부장 국산화 및 고효율화 목표를 수립하였으며 이를 위한 국내 항목별 수립 계획은 Table 5에서 확인할 수 있다¹⁵⁾.

Table 3. Decarbonization policies in Korea (Securing key base technologies)⁹⁾

Major country	Stage / Field	Achievement strategy
Hydrogen production	Electrolysis	Increase in unit stack capacity (10MW) and reduction in power consumption (10%)
Hydrogen storage and transportation	Liquid hydrogen transport ships	Annual import of 100,000 tons scale from overseas
	Transport trailers	Increase in tube pressure (700 bar) and liquid tank transportation volume (3 tons)
	Hydrogen refueling stations	Increase in domestic production rate (100%) and maximum refueling flow rate (180 g/s)
Hydrogen utilization	Fuel cell mobility	Increase in commercial vehicle efficiency (65%) and ship efficiency (60%)
	Fuel cell power generation	Cost reduction (160 KRW/kWh)
	Hydrogen turbine	Increase in hydrogen mixing ratio (50%)

3.2 수소 저장 및 운송

수소 저장 및 이송 방식은 고압 기체, 액화, 고체로 크게 3가지로 나뉜다. 고압 기체 방식의 경우 가장 상용화된 방식이며, 액화 저장 및 이송 방식은 미국과 유럽이 선도하고 있다. 고체 저장 및 이송 방식의 경우 세계적으로 연구개발 단계에 머물러 있으나, 활발한 연구개발이 이루어지고 있다. 이 중 액화 방식은 향후 수소 대량 저장 및 공급에 필요한 핵심기술로 미국, 독일, 프랑스, 일본이 액화수소 플랜트 기술을 확보하고 있다. 이는 현재 상용화된 고압 기체 방식에 대비하여 부피를 1/800로 감소시킬 수 있으며 대기압 저장 방식이 가능함에 따라 폭발 위험성이 낮다는 장점이 존재한다.

미국의 경우, 1950년대부터 기술 개발을 시작하여

1960년대 우주 개발 프로그램과 맞물려 급격하게 성장하였다. 현재는 수소 저장 용량 300,000 m³ 이상 및 저장 기간 1,000일 이상의 상용화 시설을 갖추고 있다. 유럽의 경우, 액화수소 생산, 액화수소 항공기, 액화수소 규정 프로그램을 통해 액화수소 연구 개발을 지원하고 있으며 일본의 경우 World Energy Network를 중심으로 해외로부터 공급받은 수소를 액화하고 운반선을 통해 수요지에 수송하며 활용하는 시스템을 추진하고 있다¹⁶⁾.

국내의 경우, 수소 저장 부문, 수소 이송 부문, 차세대 해외 수소 저장 기술 부문, 수소 보급 기술 부문으로 크게 나누어 부문별로 고도화할 계획을 수립하였고 지속적으로 추진 중이다. 이에 대한 세부 내용은 Table 6에 정리하였다¹⁵⁾.

Table 4. Production and transportation methods of hydrogen by production method¹²⁻¹⁴⁾

Major Country	Hydrogen production method	Annual production amount	Transportation method
USA	Reforming	12 million tons	Pipeline, Tube trailer
Europe	Electrolysis	9 million tons	Pipeline
Japan	By-product hydrogen, Reforming	3 million tons	Liquefaction, High-pressure gas
China	By-product hydrogen	20 million tons	High-pressure gas

Table 5. Domestic goals for hydrogen production technology development¹⁵⁾

Category	Technological development goal	Deadline
Stack	Increase efficiency of private-led stack (45 kW/hg)	By 2050
	High-density and high-performance stack design (for density improvement of hydrogen production)	
	Original development of alkaline electrolysis (for mass production technology development)	
Fluctuations in renewable energy demand	Low-cost and high-efficiency alkaline electrolysis (0.8A/cm ²)	By 2030
PEM	Cost reduction, structural optimization, and performance improvement (0.8mg/cm ²)	By 2030
Next-generation electrolysis production technology	Research on securing AEM technology	By 2026
	Research on durability enhancement and production cost reduction	
	Research on MEA, separator, and stack manufacturing processes	
	Research on electrolysis system operation technology	
SOEC	Research on large-area manufacturing process technology and stack performance enhancement	By 2026
Green hydrogen production	Research on efficiency improvement in medium-temperature state	By 2026
	Development of PCEC electrolyte materials	
	Development of heat resistance suppression technology	By 2030

3.3 수소 활용

수소 활용 부문은 크게 모빌리티(수소전기차 및 수소충전소)와 연료전지로 구분된다. 수소전기차의 경우, 1990년대 초 기술 개발이 시작되었고 1994년에 독일 님러사가 세계 최초의 수소전기차인 NECAR1를 개발하였다. 이후 2013년 국내 현대자동차에서 투싼ix, 2014년 일본 도요타에서 미라이를 출시하면서 시장이 형성되기 시작하였다. 이후 주요국들은 수소전기차 시장에 대한 계획을 수립하였고, 미국의 경우 2030년까지 100만 대 이상을 보급할 계획을 수립하였다. 독일과 영국의 경우 각각 2030년까지 180만 대 및 160만 대를 보급할 계획을 세우고 있으나, 코로나19로 인해 현재 자국 내 수소전기차 출

차에서 투싼ix, 2014년 일본 도요타에서 미라이를 출시하면서 시장이 형성되기 시작하였다. 이후 주요국들은 수소전기차 시장에 대한 계획을 수립하였고, 미국의 경우 2030년까지 100만 대 이상을 보급할 계획을 수립하였다. 독일과 영국의 경우 각각 2030년까지 180만 대 및 160만 대를 보급할 계획을 세우고 있으나, 코로나19로 인해 현재 자국 내 수소전기차 출

Table 6. Goals for the development of domestic hydrogen storage and transportation technology¹⁵⁾

Category	Technical development goal		
Hydrogen storage	High-pressure gas storage method		
	Cryogenic liquid hydrogen storage method (-253℃)		
	Ammonia storage method (hydrogen and nitrogen combination)		
	Liquid hydrogen storage method (organic compound conversion)		
Hydrogen transportation	Structural and insulation technology development (maritime transportation method)		
	Composite container development for gaseous hydrogen tube trailers (land transportation method)		
	Hydrogen transportation from production facilities (pipeline transportation method)		
Next-generation foreign hydrogen technology	Overseas hydrogen storage	Introduction of ammonia	Securing ammonia synthesis core technology
			2-ton/day pilot demonstration
			Commercialization of 40-ton/day ammonia decomposition plant
	Overseas hydrogen storage	Hydrogen liquefaction	Cryogenic hydrogen liquefaction technology (for intercontinental hydrogen transportation)
			Development of a 5-ton/day plant
			Early securing of key equipment and materials
	Overseas hydrogen storage	Storage innovation	LOHC material excavation
			Low-cost and domestication processes
			Development of high-performance and durable catalysts
			Development of metal solid hydrogen storage systems.
	Overseas hydrogen transportation	Development of external heat-blocking materials, packaging technology, and equipment	
		Development and verification of cargo hold (40,000m ³ capacity))	
		Design of Korean-style liquefied hydrogen barge	
Development of acquisition and unloading system			
Hydrogen supply technology	Land-based hydrogen transportation	Development of 70MPa and 1,100kg-capacity tube trailers	
		Development and commercialization of 3-ton tank trailers	
	Hydrogen pipeline transportation	Verification of safety using existing natural gas pipelines	
		Demonstration of hydrogen mixing and operation technology	
		Reduced installation cost and construction of nationwide hydrogen pipeline network	
	Hydrogen refueling	Acquisition of low-temperature high-speed and direct hydrogen refueling technology (10.8kg/min)	
		Construction and commercialization of liquefied hydrogen high-pressure pump-based hydrogen refueling station	

시가 늦어지게 되어 달성은 어려울 것으로 예측된다. 중국의 경우, 2030년까지 100만 대를 보급할 계획을 세웠다. 현재 상하이, 장쑤성, 광둥성 등 광범위한 지역에 200대 이상의 수소전기차가 운행되는 것을 확인할 수 있고, 이에 따라 더 많은 수소전기차가 보급될 것으로 예측된다. 국내의 경우, 수소 모빌리티 부문에서 수소전기차(수소승용차, 수소상용차)와 차세대 모빌리티(수소 철도, 수소 선박, 드론·advanced air mobility)를 분야별로 분류하여 목표를 수립하였다. 이에 대한 세부 내용은 Table 7에 정리하였다¹⁵⁾.

수소충전소 부문의 경우 2030년까지 미국, 독일 1,000대 및 중국 900대를 보급할 계획을 수립하였다. 이를 위해 미국의 경우, 에너지위원회에서 수소충전소의 가동률에 따라 운영 지원금 상한액을 결정하며 보조금을 지원하고 있고 중국의 경우, 수소충전소의 설치비 60%까지 지원하고 있으며 일본의 경우, 설치비 50% 및 운영비 50%까지 지원하고 있다. 국내의 경우, 현재까지의 국내 설치 및 운영 경험을 바탕으

로 글로벌 경쟁력을 갖춘 한국형 수소충전소 표준 모델을 개발할 목표를 수립하였다. 이는 International Organization for Standardization (ISO), Society Automotive Engineers (SAE) 등 국제 표준과 비교하여 일정 수준의 충전 압력, 온도, 시간을 충족하는 모델이다. 또한, 수소전기차 수출과 연계된 주요국 시장 진출 목표를 수립하였으며 이를 통해 해외 진출 추진 시 관심 기업 매칭, 현지 규제 및 인허가 정보를 입수할 계획이다. 그리고 2023년까지 연간 4만 톤 규모의 수소를 액화할 수 있는 수소 플랜트를 개발하는 목표에 맞춰 액화수소충전소 구축을 위한 보조금을 확대할 계획과 기존의 기체충전소를 액화충전소로 전환하기 위한 기술 개발, 법적 기준, 시설 개조 등 지원 방안 마련, 다양한 유형 및 목적을 고려한 새로운 액화 충전 모델 개발 및 보급 목표를 수립하였다.

연료전지 부문의 경우, 연료전지 시스템은 소재부터 최종 시스템까지 다단계 value chain으로 구성된 산업이다. 핵심 소재 시장의 대부분은 미국, 일본 등

Table 7. Development goals for domestic hydrogen utilization (hydrogen electric vehicles)¹⁵⁾

Category	Technical development goal	
Hydrogen electric vehicles	Hydrogen passenger vehicle	Improving fuel cell stack efficiency
		Reducing power consumption of air supply devices
		Enhancing fuel cell durability and lifespan
		Developing technology for liquefied hydrogen storage in vehicles
	Hydrogen commercial vehicles	Supporting the development of dedicated platforms (increase hydrogen carrying capacity)
		Developing 200kW-class fuel cell systems
Next-generation mobility	Hydrogen railways	Developing hybrid power systems
		Incrementally commercializing hydrogen trams
		Developing performance verification technology for railway vehicles
		Developing technology to capture global decarbonization demand
		Developing control and monitoring sensors for gas, liquid, and multi-container systems
	Hydrogen ships	Developing 200kW-class fuel cell systems and securing track records
		Achieving stack durability of 30,000 hours and system lifespan of 20 years
		Large-scale commercialization of 10MW-class fuel cells
		Developing hybrid engines for large-capacity ammonia supply systems
	Drones·AAM	Improving performance and reducing weight of fuel cell systems for drones
		Verifying flight safety and ensuring reliability of fuel cell systems
		Developing high-power, high-energy-density hydrogen-based propulsion systems

선진업체가 독점하고 있으며 발전 연료전지 시장의 경우 미국의 발전 인센티브 프로그램과 한국의 신재생에너지 공급 의무화 제도에 의해 주도되고 있다. 발전용 연료전지 시장에서 현재 미국은 글로벌 최고 수준의 연료전지 기술을 보유하고 있으며 고체산화물 연료전지(solid oxide fuel cell, SOFC) 기술을 기반으로 상용화를 이뤄나가고 있다. 가정용 연료전지의 경우, 일본의 파나소닉 및 도시바가 주택용 연료전지 누적 24만 대 보급, 100 kW 급 polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) 수소용 연료전지 100대 보급, 독일 시장 진출 및 2,000대 판매 등 선두 주자로서의 기술을 보유하고 있다. 국내의 경우, 수소 전소 기술을 개발하여 수소 전소 터빈을 상용화하고 시스템 내구성을 높여 2050년까지 세계 최고 수준의 연료전지 발전 및 열·전기 목표 생산 효율을 달성할 계획을 수립하였다. 이를 위해 연료전지의 핵심 소재(전해질, 분리판 등), 부품(셀, 스택 등) 및 시스템 국산화 및 공정 기술을 확보할 계획을 세웠다. 또한, 2030년까지의 발전 효율 60% 및 시스템 응답 부하 용량비 30%, 수명 5만 시간의 고응답성 PEMFC 및 phosphorus acis fuel cell (PAFC) 시스템 기술 개발 목표, 2030년까지의 종합 효율 86%, 발전 효율 60% 및 수명 5만 시간의 스택, mechanical balance of plant (BOP) 및 고품질 스택 생산 기술 개발 목표, 고온 무가습 membrane electrode assembly (MEA)의 내구성 향상 및 고출력 촉매 개발을 통한 차세대 연료전지용 전해질막 및 MEA 개발 목표, 2030년까지의 국제 표준 9건 및 KS 인증 19건 이상 개발을 통한 경쟁력 강화 및 표준 개발 목표를 수립하였다^{16,17)}.

3.4 시사점

EU와 미국이 주도로 하여 탄소 1톤당 75불의 탄소국경세를 부과할 계획을 발표하고 애플, 구글 등의 글로벌 기업이 탄소배출 기업의 퇴출 계획을 발표하는 등 세계적으로 탄소중립을 위한 경제적 및 사회적 정책이 강화되고 있으며, 우리나라도 마찬가지로 무탄소 재생에너지로의 전환을 위하여 노력하고 있

다. 그러나 현재 우리나라의 경우, 앞서 언급된 무탄소 재생에너지로의 전환이 필수적이나 생산 여력이 부족하기에 해외 재생에너지 수입이 필요하다. 이를 위해 국내 수입 시의 전력망 및 배터리 한계를 보완하는 수소 운송 형태의 수입 기술 개발이 필요하다고 판단된다. 수소 산업은 2050년까지 연간 약 2,700조 원 규모로 성장할 것으로 예측되며, 국내의 미래 투자 기회로서 작용될 것으로 예측된다. 앞서 언급된 국내 목표와 같이 발전(연료전지 및 터빈), 수송(수소 전차, 열차 및 선박), 산업공정(연료 및 원료) 등과 같은 전방 산업과 관련 산업 및 협력 부품 업체의 동반 성장과 고용 창출 등과 같은 후방 산업을 발전시키는 기술들을 지속적으로 개발한다면 글로벌 수소 산업 및 시장을 선도할 수 있을 것이다.

4. 결론

유럽, 미국, 일본, 중국 등 주요국들이 수소경제 달성을 위한 정책 및 기술 목표를 2050년까지 잡고 있으며, 우리나라 또한 짧게는 2030년, 길게는 2050년까지의 기술 개발을 통해 글로벌 수소 산업 및 시장을 선도할 것이라고 발표하였다. 이를 통해, 본 논문에서는 이와 같은 국내외 정책 및 기술 동향을 살펴보고 분석함으로써 전통 에너지에서 신에너지인 수소 활용으로의 가속화에 따른 청정수소 생산, 저장 및 운송, 활용 부문의 정책 및 기술 개발 실현과 전방 및 후방 산업의 발전 필요성이 있다고 판단하였다.

1) 국내의 다양한 청정수소 생산 능력과 수소의 장점을 활용한 중대형 모빌리티, 발전, 산업계 확대 능력을 토대로 경제성과 기술 성숙도를 고려한 제도와 인프라를 구축한다면 선진국과의 기술 격차가 좁아질 것으로 예상된다.

2) 국내 무탄소 재생에너지로의 전환을 위해 해외 재생에너지는 필수적이나 발전, 수송, 산업 공정 등과 같은 전방 산업과 관련 산업 및 협력 부품 업체의 동반 성장 등과 같은 후방 산업을 지속적으로 발전 시킨다면 미래에는 우리나라가 수소산업 및 시장을 선도할 것이다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 신재생에너지 핵심 기술개발 사업의 지원(No. 2022303004020A)과 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원의 소재부품 기술개발사업의 지원(No. 20022511)을 받아 작성되었습니다.

References

1. H. C. Im, "Hydrogen industry trends and industrial development prospects", *Monthly Electrical Journal*, 2019. Retrieved from <http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=2674>.
2. C. Kang and J. Kim, "Hydrogen economy in major countries: policies of promotion and lessons learnt from them", *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, Vol. 57, No. 6, 2020, pp. 629-639, doi: <https://doi.org/10.32390/ksmer.2020.57.6.629>.
3. Y. O. Jang, T. H. Oh, and Y. J. Lim, "Main contents and implications of the EU 'green deal planning industry'", Korea Institute for International Economic Policy, 2023. Retrieved from https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10102030000&bid=0004&tag=&b_list=10&act=view&list_no=10571&keyField=&keyWord=&orderBy=.
4. A. Acharya, "Scaling-up green hydrogen development with effective policy interventions", *Journal of Sustainable Development*, Vol. 15, No. 5, 2022, pp. 135-149, doi: <https://doi.org/10.5539/jsd.v15n5p135>.
5. E. J. Kim and S. H. Kim, "Analysis and implications of Japan's renewable energy expansion strategy", KOTRA, 2022. Retrieved from http://president.globalwindow.org/kz.relateData.InDepthDataDetail.do?data_seq=680.
6. S. R. Lee, J. Y. Ahn, Y. J. Heo, Y. B. Yang, S. K. Lee, and X. Ou, "China's hydrogen energy industry support policy and Korea-China cooperation plan", Korea Institute for International Economic Policy, 2022. Retrieved from https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10101080000&bid=0001&list_no=10564&act=view.
7. KOTRA, "Hydrogen economy trends in major countries and strategies for korean companies", KOTRA, 2022. Retrieved from https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/indReport/actionIndReportDetail.do?pageNo=1&pagePerCnt=16&MENU_ID=280&CONTENTS_NO=1&pRptNo=13295&pHotClipTyName=DEEP.
8. K. S. Lee, "Strategy to foster the world's No. 1 hydrogen industry", Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022. Retrieved from https://www.motie.go.kr/motie/nc/motienewse/Motienews/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=155118215&bbs_cd_n=2¤tPage=1&search_key_n=&cate_n=&dept_v=&search_val_v=.
9. Y. R. Kim, "The first hydrogen economy committee of the new government was held, presenting policy directions for full-fledged growth of the hydrogen industry", Ministry of Environment, 2022. Retrieved from <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1559610&menuId=10525>.
10. J. K. Kim, S. H. Kim, and J. N. Park, "Market-driven hydrogen economy strategic study for early settlement", Korea Energy Economics Institute, 2020. Retrieved from https://www.keei.re.kr/main.nsf/index.html?open&p=%2Fweb_keei%2Fd_results.nsf%2Fmain_all%2F9B67EAC03F4285B54925866900524B55&s=%3FOpenDocument%26menucode%3DS0%26category%3D%25EA%25B8%25B0%25EB%25B3%25B8%25EC%2597%25B0%25EA%25B5%25AC.
11. H. B. Lee, "The role of overseas resource development for the promotion of the hydrogen economy", Foundation for Overseas Resources Development, 2021. Retrieved from <https://www.fored.or.kr/home/sub04.php?mid=12&r=view&p=1&uid=397>.
12. S. B. Bae, "U. S. hydrogen economy and Korea's entry plan", KOTRA, 2021. Retrieved from <http://openknowledge.kotra.or.kr/handle/2014.oak/28211>.
13. H. Hwang, Y. Lee, N. Kwon, S. Kim, Y. Yoo, and H. Lee, "Economic feasibility analysis of an overseas green hydrogen supply chain", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 33, No. 6, 2022, pp. 616-622, doi: <https://doi.org/10.7316/KH NES.2022.33.6.616>.
14. Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning (KISTEP), "Hydrogen production", KISTEP, 2021. Retrieved from https://www.kistep.re.kr/board.es?mid=a10306040000&bid=0031&list_no=34997&act=view.
15. Ministry of Science and ICT, "Hydrogen technology future strategy", KDI Economic Information and Education Center, 2022. Retrieved from <https://eiec.kdi.re.kr/policy/materialView.do?num=231979&topic=>.
16. I. S. Shin, "Analysis of support policies and demonstration projects of leading hydrogen countries", *Deloitte Insights*, Vol. 2022, No. 24, 2022, pp. 114-135. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/kr/ko/pages/insights/articles/deloitte-korea-review/24-202211.html>.
17. KISTEP, "Hydrogen electric vehicle", KISTEP, 2018. Retrieved from https://www.kistep.re.kr/board.es?mid=a10306050000&bid=0031&b_list=10&act=view&list_no=34960&nPage=15&keyField=&orderBy=.