



# 미래 에너지, 수소경제 시대는 오는가?<sup>1)</sup>

이종민 포스코경영연구원 수석연구원 (fermi@posri.re.kr)

## 1. 서론

새로운 미래 에너지원으로서 수소의 부상과 이를 위한 다양한 인프라 투자 움직임이 우리나라에서도 이루어지고 있다. 수소에너지에 대한 세계적 관심은 석유, 석탄으로 대표되는 화석에너지 자원의 한계성에 대한 우려에서 출발했으며 당면 현안인 지구온난화 문제와 맞물려 에너지 사용에 대한 근본적인 재검토와 함께 화석에너지에서 수소를 포함한 신재생에너지로의 에너지 패러다임 전환이 가속화되고 있다. 이에 따라 먼 미래에나 가능할 것 같았던 수소경제사회의 실현이 과연 가시화될 수 있을까 하는 기대와 궁금증이 커지고 있다.

수소경제(Hydrogen Economy)란 용어는 저명한 경제학자이며 미래학자인 제러미 리프킨(Jeremy Ripkin)이 화석에너지 고갈과 환경 문제의 대두로 동명의 저서에서 처음 사용하여 확산되었다. 제러미 리프킨은 그의 저서인 'Hydrogen Economy'에서 수소에너지를 인간 문명을 재구성할 새로운 에너지 체계로 정의하였다. 그는 인터넷과 유사한 수소 에너지망을 통해 누구나 소비자인 동시에 공급자가 될 수 있는 민주적 에너지 권력 시대가 도래할 것으로 예견하였다.

궁극적으로 수소경제란 에너지 수요와 공급 가치사슬 전체 영역에서 기존 화석 연료 대신 수소를 에너지 유통 수단(Energy Carrier)으로 사용하는 경제시스템을 의미

〈표 1〉 주요 화석에너지원의 가체 연수

구분		석유	천연가스	석탄
가체 연수 가체	2003년 기준	42.3년	68.5년	192년
	2009년 기준	45.7년	62.8년	119년
	2017년 기준	50.2년	52.6년	134년

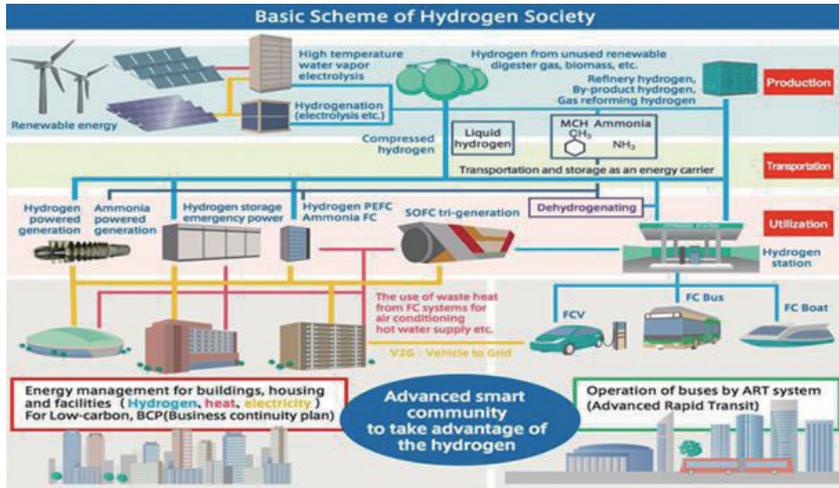
자료: BP Stastical Review of World Energy 2004, 2010, 2018

1) 본고는 이종민, “미래 에너지, 수소경제 시대는 오는가?” 『POSRI 이슈리포트』, 포스코경영연구원(2018)의 내용을 부분적으로 수정·보완한 것임



## 미래 에너지, 수소경제 시대는 오는가?

[그림 1] 일본의 수소경제사회의 기본 개념도



자료: 일본 경제산업성, 'Cross-Ministerial Strategic Innovation Program'

한다고 할 수 있다.

수소경제의 실현 가능성과 도래 시기에 대해서는 수소 생산단가 및 기술적인 문제 등으로 회의적인 시각도 분명 존재한다. 하지만, 2015년 국제에너지기구(IEA)는 'Technology Roadmap-Hydrogen and Fuel Cells' 보고서를 통해 화석에너지를 대체할 미래 에너지원으로 수소를 지목하였다. 수소는 천연가스 등 화석에너지의 개질, 화학 플랜트 및 제철공정 등에서 발생하는 부생가스 및 물의 전기분해와 같은 다양한 소스(Source)에서 생산될 수 있기에 타 에너지원 대비 지역적 편재성이 없고 생성원에 따라서 무한 재생이 가능하다. 이러한 장점에 에너지의 전환 및 지역적 분산이 가능하다. 또한, 수소는 신재생에너지를 활용하여 생산할 경우 자체적으로 오염 물질을 배출하지 않는 청정 에너지원으로 온실가스 배출 문제의 근본적인 해결책이 될 수 있다(단, 천연가스 등 화석에너지의 개질의 경우에는 온실가스 배출이 발생한다). 국제에너지기구는 수소가 탄소 배출량 감소에 기여

함으로써 환경친화적 에너지 소비 사회를 실현할 수 있는 미래 에너지원임을 강조하였다.

본고에서는 최근 수소경제 주도권 확보를 위한 각국 정부의 수소경제 인프라 구축을 위한 정책, 동향 등을 살펴 보겠다. 그리고 수소경제 실현을 위한 관련 기술을 점검 해보고 수소경제를 둘러싼 주요 이슈를 검토해 봄으로써 수소경제 시대의 도래 가능성 등을 점검하고자 한다.

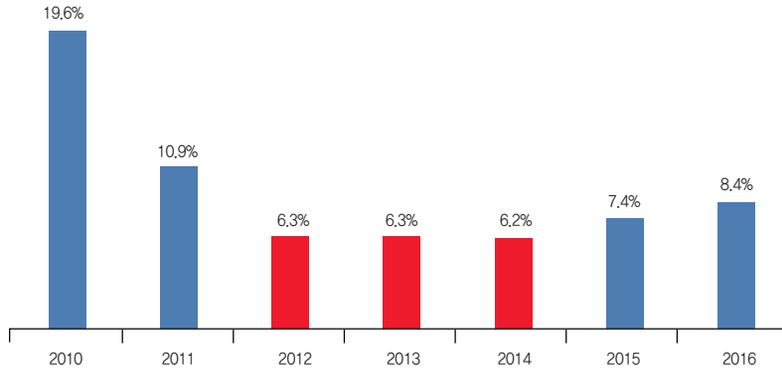
## 2. 주요 국가별 정책 동향

### 가. 일본

일본은 2011년 동일본 대지진 이후 자국 내 심각한 에너지 수급 문제를 겪게 되었다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 일본의 에너지 자급률은 동일본 지진 이후 10% 미만으로 추락한 상태로 <표 2>에서 보는 바와 같이 한국의



[그림 2] 일본의 에너지 자급률 변화



자료: 일본 경제산업성, 에너지백서, 2017

〈표 2〉 주요 국가별 에너지 자급률(2015년 기준)

순위	국가	자급률
1	노르웨이	702.6%
2	호주	304.3%
3	캐나다	174.4%
7	미국	92.2%
13	영국	65.8%
15	프랑스	55.9%
22	독일	38.8%
27	스페인	28.3%
32	한국	18.9%
34	일본	7.4%
35	룩셈부르크	4.0%

자료: IEA website 및 일본 경제산업성, 자원에너지청, 에너지백서, 2017

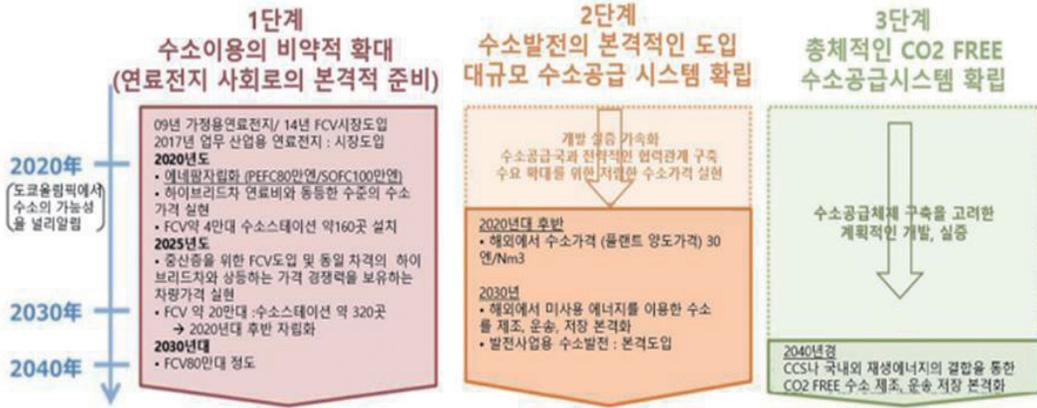
에너지 자급률 18.9%(2015년 기준)의 절반 수준에 머물고 있다.

일본 정부는 자국 정서상 원전 신규 건설이 어려운 상태에서 높은 에너지 해외 의존도를 타파하는 동시에 지구온난화 문제를 타개하고 자국 산업의 활성화를 위해

2014년 수소사회 실현 선언을 하였고, 2017년말에 수소 에너지 집중 개발 계획을 수립하여 '수소 2030 로드맵'을 발표하였다. 이러한 배경에는 수소와 산소를 반응시켜 연료에서 직접 전기에너지와 열에너지를 발생시키는 연료전지 분야 특히 출원 세계 1위인 일본의 산업경쟁력이 큰



[그림 3] 일본의 수소 2030 로드맵



자료: 일본 경제산업성, 이동훈, "수소충전소 기술개발 및 보급현황," 2018.4 자료 재인용

간이 되었다고 볼 수 있다.

[그림 3]에서 보는 바와 같이, 일본의 수소경제 실현을 위한 정책인 '수소 2030 로드맵'에서는 1단계 수소 이용의 비약적 확대를 목표로 하고 있다. 이를 위해 2020년까지 우선적으로 수요확대를 위해 수소전기차<sup>2)</sup> 보급을 확대하고 이를 지탱하기 위한 공급기반을 구축하는 것에 초점을 두고 있다.

수소전기차 보급은 2020년까지 약 4만대, 2030년까지 약 80만 대 보급을 목표로 하고 있다. 수소전기차의 원활한 운영을 위해 충전소는 2020년까지 2015년말 대비 약 2배 증가한 160개소를 확충하고, 2025년에는 2020년 대비 4배 수준인 640개소까지 증가시킬 계획이다. 일본은 수소충전소 보급을 위해 일본 내의 에너지 회사, 자동차 회사, 플랜트 엔지니어링 회사, 수소 충전소 운영회사 등

이 HySUT를 발족시켜 공동으로 활동하고 있다.

일본 정부는 2020년대 후반에는 해외에서 수소 공급 가격을 30엔/N 수준으로 낮추어 국내에 공급할 계획이며, 장기적으로 2030년 해외 수입을 통한 수소 제조, 운송, 저장을 포함한 수소공급망을 본격적으로 도입할 예정이다. 로드맵 3단계는 궁극적인 CO<sub>2</sub> free 수소공급 시스템을 확립하는 것으로 2040년경에는 CCS(Carbon Capture & Storage) 기술 및 국내외 재생에너지 기술 결합을 통해 이산화탄소 배출이 없는 수소의 제조, 운송 및 저장을 본격화한다는 방침이다.

## 나. 중국

중국 정부도 2017년 수소전기차 로드맵을 확정하고

2) '수소차(hydrogen internal combustion engine vehicle)'와 '수소전기차(fuel cell electric vehicle · FCEV)'는 수소에너지를 자동차에 적용하는 방법에 따라 구분할 수 있다. '수소차'는 실린더 내에서 수소를 직접 연소시켜 에너지를 얻는 내연기관차로 대표 차량은 BMW '하이드로젠 7'이나 상업, 양산화되지는 않았다. 현재 양산 판매되어 시판되는 '수소전기차'로 연료전지에서 산소와 수소의 화학 반응을 이끌어 내 전기에너지로 변환하여 이를 전기에너지로 모터를 돌려 구동력을 확보한다. 과거 수소전기차를 연료전지차라고 지칭하기도 하였으나, 본고에서는 발표된 문헌명을 제외하고 수소전기차로 용어를 통일하여 기술하였다.



2030년 수소전기차 100만대 시대를 공식화하였다. 현재 중국은 수소전기차 핵심기술 및 부품에 대한 수입의 의존도가 매우 크고 수소전기차도 시범은행 단계에 머물러 있다.

중국 정부는 <표 3>에서 보는 바와 같이 2020년 수소전기차 5천대와 충전소 100기 이상, 2025년 수소전기차 5만대, 충전소 300기 이상, 2030년까지 수소전기차 100만대, 충전소 1000기 이상 보급할 계획이다. 중국 정부는

<표 3> 중국 정부의 수소전기차 발전목표

구분		2020년	2025년	2030년
주요 목표	수소전기차 보급(누적)	5천 대 (상용차 60%, 승용차 40%)	5만 대 (상용차 1만 대, 승용차 4만 대)	100만대
	충전소	100기 이상	300기 이상	1,000기 이상
	비고	-	-	수소 제조 시 친환경 에너지 비율 50% 이상

자료: KOTRA, “중국 수소차 시장, 현재 시속은?,” 2018.11, 중국자동차공정학회(中国汽车工程学会)

<표 4> 중국 주요 수소전기차 생산기업

기업명	현황
FEICHI (佛山飛馳)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 7m, 8.5m, 11m, 12m 등 다양한 크기 수소전기 버스 양산에 성공</li> <li>- 운행수량: 약 50대</li> <li>- 현재 포산시(佛山市) 및 윈푸시(云浮市) 등에서 버스노선 시범운영 중</li> <li>- 향후 3년 내 연간 생산량 5000대 목표</li> </ul>
FOTON AUV (福田歐輝)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중국 내 최초로 상업운영 실현, 159대 운행 중</li> <li>- 드라이필름 기술 도입으로 영하 20도에서 운행 가능</li> <li>- 10분 충전으로 500km 운행 가능</li> <li>- 칭화대학교, 연료전지업체 이화통(亿華通)과 공동연구개발팀 구성해 연구 개발</li> <li>- G20, APEC 등 다양한 국제 행사에서 홍보된 바 있으며, 2018년 평창동계올림픽에 전기버스를 시범운행한 바 있음</li> </ul>
SHUDU BUS (蜀都客車)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1회 충전 시 500km 운행 가능</li> <li>- 현재 쓰촨 청두시(四川成都市)에서 약 10대 시범 운행 중, 50대 추가 시범운영 계획</li> </ul>
MAXUS (上汽大通)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 운행수량: 약 50대(FCV80)</li> <li>- 130만 위안(약 2억1000만 원)</li> <li>- 영하 10도에서 시동 가능, 해발 4500m 운행 가능</li> <li>- 중국 최초 70MPa 수소 저장 시스템 사용</li> <li>- 동력 배터리 및 고압 전기계통의 방호등급이 국제 민간 최고 등급인 IP67로 전기차 환경 적응성 문제 해결</li> </ul>

자료: KOTRA, “중국 수소차 시장, 현재 시속은?,” 2018.11



이를 위해 전기차와 플러그인 하이브리드 자동차의 보조금은 점차 축소하면서 수소전기차에 대한 보조금을 현 수준에서 유지할 계획이다. 2018년 9월 현재, 승용차는 20만 위안, 버스, 화물차는 각 30만, 40만 위안의 보조금이 지원되고 있다. 중국 정부는 충전소 보급 확대를 위해 구축비용의 60%를 지원하며, 전담 관리부서까지 운영해 인프라 확충을 독려하고 있다.

중국은 수소전기차의 3대 핵심 부품인 연료전지 스택, 운전장치(수소공급, 공기공급, 열관리) 및 수소저장장치 등의 개발에도 적극적으로 지원할 계획이다. <표 4>는 중국의 주요 수소전기차 생산기업의 현재 수준을 정리하였다.

#### 다. 유럽

유럽은 독일 중심으로 수소경제와 관련된 다양한 프

로젝트가 진행 중이다. 독일은 2002년 CEP(The Clean Energy Partnership)을 설립하여 연료로서 수소에너지에 대한 적합성 검증을 시작하였고, 2004년 베를린에 첫 수소 충전소를 가동하여 2019년 3월 기준 총 50개의 수소 충전 네트워크를 구축 중이다.

2006년에는 NIP(National Innovation Programme)을 설립하여 수소연료전지 기술개발을 촉진하였고, 2008년부터는 CEP이 수소를 연료 및 에너지 저장 매체로 사용하기 위한 집중 홍보 활동을 시작하였다. 2008년에는 NOW(National Organization Hydrogen and Fuel Cell)를 설립하였고 연방교통부가 NIP 2단계 사업에 2019년까지 2억 1천만 유로를 투자할 계획이다. 독일은 신재생에너지를 활용하여 수소를 생산하여 기존의 가스 Grid를 통해 공급하는 수소 공급가치사슬에 대한 프로젝트를 다수 추진 중인데 주요 프로젝트는 <표 5>에 기술하였다.

<표 5> 독일의 주요 수소에너지 관련 프로젝트

유형	주요 내용	사례
가스 Grid 수소 공급	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 풍력발전 등 잉여전력으로 수소 제조 기존 가스 Grid에 공급, 혼합 가스로 이용</li> </ul>	Greenpeace Energy의 Wind-gas 프로젝트 등
가스 Grid 메탄가스 공급	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 풍력발전 등 잉여전력으로 수소 제조</li> <li>• 바이오메스 플랜트 등으로부터 CO<sub>2</sub> 첨가, 메탄화하여 기존 가스 Grid에 공급</li> </ul>	Audi의 e-gas project 등
모빌리티 연료화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 풍력발전을 이용하여 제조한 수소 일부를 수소충전소에 공급</li> </ul>	Clean Energy Partnership 등
수소 저장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양광 및 풍력발전에 의한 안정적 전력공급 체계 구축</li> <li>• 잉여 전력으로 수소 생산하고 전력부족 시 연료전지 및 화력발전 이용</li> </ul>	Total, NENETRAG 등의 브란텐부르크 공항 프로젝트

자료: NOW Website, www.now-gmbh.de



### 라. 미국

미국은 캘리포니아주를 중심으로 친환경차 보급에 주력하고 있다. 캘리포니아주에서는 오는 2021년부터 자동차 전체 판매 대수의 8%를 배출가스가 전혀 없는 전기차나 수소전기차로 채워야 한다. 자동차 회사가 이를 어기면 벌금을 내거나 혹은 초과 달성한 타 자동차 업체에서 배출가스 사용권을 구입하는 방식을 진행할 계획이다.

캘리포니아주는 2050년까지 약 27%의 친환경차 보급을 목표로 하고 있다. 이를 위해 2023년까지 수소충전소 123개소를 구축해 최대 6만 대의 수소전기차를 보급할 계획이다. 2018년 2월 기준으로 캘리포니아주의 수소전기차 등록 차량은 3,700대이며, 미국 내 총 82개 충전소가 건설중인데 이 중 62개가 캘리포니아주에 건설되고 있다.

### 마. 한국

한국의 수소경제 관련 연구는 1988년부터 시작되었다. 수소, 연료전지 기술개발을 착수하여 기초기술을 일

부 확보한 것이다. 이후 연료전지에 대한 본격적인 연구는 2003~2004년부터 시작되었다. 과기부가 수소프론티어사업단(KIER, '03년), 산자부가 수소·연료전지사업단(KIST, '04년초)을 발족하며 각각 수소제조 및 저장 원천기술의 개발, 수소 및 연료전지 상용기술을 개발하여 수소경제 시대를 준비하였다.

수소경제 실현을 위한 국가 차원의 정책은 산업자원부가 2005년 9월 제시한 '친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜'에서부터 시작되었다. 마스터플랜에 의하면, 2020년까지 국내 연료전지 산업의 GDP 비중을 3%로 향상시키고, 총 자동차 중 수소용 연료전지 비중을 8%, 발전용 전력수요 중 연료전지 비중을 7%로 증대할 계획을 제시했으나, 차기 정부에서는 이러한 정책이 중점적으로 실현되지는 않았다. 상대적으로 연료전지 등 유관산업 기술이 산업화 초기 단계라는 점에서 한국이 세계 산업을 선도한다는 목적 속에서 기술개발 및 시장 확대가 기대되었다. 그러나 2017년까지 국내 수소전기차 누적 보급 대수는 177대, 수소충전소는 12개소 구축에 그쳐 결과적으로 정책 입안 시 계획 대비 낮은 성과를 내었다.

〈표 6〉 미국 캘리포니아주 수소전기차 프로그램

AC Transit	Sunline Transit	Orange County Transit
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 13대의 수소전기차 버스 운행</li> <li>- 500만명의 승객 운송</li> <li>- '18년 10대 버스 추가도입 예정</li> <li>- 버스가격: 140만 달러</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2000년부터 운영 시작</li> <li>- '18년 4월 현재, 5대 버스 운행</li> <li>- '18년 버스 12대 추가 운행</li> <li>- 수소스테이션 upgrade중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2016년부터 운영 시작</li> <li>- 10대의 버스 추가 운행 예정</li> </ul>

자료: H2KOREA(수소융합얼라이언스추진단), "수소충전소 기술개발 및 보급현황," 2018.4



〈표 7〉 수소경제 활성화 로드맵 주요 목표

구분		2018년	2022년	2040년
주요 목표	수소전기차 (수출) (내수)	1.8천대 (0.9천대) (0.9천대)	8.1만대 (1.4만대) (6.7만대)	620만대 (330만대) (290만대)
	발전용 연료전지 (내수)	307MW (전체)	1.5GW (1GW)	15GW (8GW)
	가정·건물용 연료전지	7MW	50MW	2.1GW
	수소 공급	13만톤/년	47만톤/년	526만톤/년
	수소 가격	-	6,000원/kg	3,000원/kg

자료: 산업통상자원부, “수소경제 활성화 로드맵,” 2019.1

2018년 6월 정부는 전기·수소전기차 보급확산을 위한 정책 방향을 제시하였고, 2019년 1월에는 산업통상자원부가 세계 최고 수준의 수소경제 선도 국가로 도약하기 위한 ‘수소경제 활성화 로드맵’을 발표하였다. 수소경제 활성화 로드맵의 골자는 한국이 강점을 가지고 있는 ‘수소전기차’와 ‘연료전지’를 양대 축으로 하여 수소경제를 선도할 수 있는 산업생태계를 구축하는 것이다.

수소 수요 견인을 위하여 수소전기차 생산량을 2018년 연 2천대 규모에서 2040년 620만대(내수 290만대, 수출 330만대)로 확대하고, 수소충전소를 2018년 14개에서 2022년 310개, 2040년 1,200개소까지 확대하며, 수소 택시, 버스를 2040년까지 각각 8만대, 4만대 보급할 계획이다. 수소의 경제적, 안정적인 생산·공급 시스템 조성을 위해 수소 공급량을 2018년 연 13만톤 수준에서 2040년 526만톤 이상으로 확대하고, 수소가격을 2040년 3,000원/kg으로 하락을 유도할 계획이다. 정부는 이를 위해 2019년 중에 (가칭) ‘수소경제법’을 제정하여 수소경제 이행 기본계획 수립, 전문기업 지원, 규제 개선 등 수소 경제 활성화의 법적 기반을 완비할 계획이다.

### 3. 수소경제 관련 유관기술 및 이슈

수소경제 실현을 위해서는 공급 측면에서 안정적이고 경쟁력 있는 가격을 확보한다는 전제 하에 수소의 생산, 저장, 운송 및 충전시설 확충이 이루어져야 하고 수요 측면에서는 수소를 연료로 활용하는 수소전기차 및 연료전지 등의 수요가 확대되어야 한다.

2장에서 살펴본 주요 국가별 정책 기조는 우선 수요 측면에서 정책적으로 수소전기차 등의 보급을 확대하고 이를 뒷받침 할 수 있도록 수요 유발을 위한 인프라를 확대하는 것이 핵심이다. 이번 장에서는 수소의 생산, 저장, 운송 및 충전 등 공급 측면에서의 기술 현황 및 주요 이슈를 살펴보고자 한다.

#### 가. 수소의 생산

국제에너지기구(IEA)에 의하면, 현재 세계 수소생산 방식은 크게 네 가지 방법에 의해 이루어지고 있다. 전체 생산의 48%가 천연가스 개질이고, 화학플랜트 및 철강회사



의 제철공정에서 발생하는 부생수소가 30%, 전기분해에 의한 비중이 18%, 석탄을 활용한 수소 생산 비중이 4%를 차지하고 있다.

〈표 8〉은 다양한 수소 생산 기술의 특징을 비교하여 정리하였다. 먼저 현재 세계 수소생산의 50%를 차지하는 천연가스 개질 등을 활용한 방법이다. 이 방법은 대량생산이 가능하나 이산화탄소 발생량이 천연가스, 석탄, 석유 등 탄화수소계 화석연료를 활용, 촉매 반응으로 수소를 생산하기 때문에 궁극적으로 친환경적인 방법이라고 할 수 없다. 장기적으로 재생에너지를 수전해 방식으로 수소를 생산하는 방법을 생각하지만 낮은 효율 문제 및 신재생에너지원의 확보가 여전히 난제로 남는다.

다음으로 신재생에너지 또는 원자력을 활용하여 전기분해를 통해 수소를 확보하는 방안이다. 풍력, 태양광 등 신재생에너지에서 발전한 전기로 물을 전기분해 하는 경우 수소의 생산비용은 천연가스 개질법에 의한 수소 생산

원가 대비 2배 이상 높다는 점도 주목해야 한다.

일본의 경우, 장기적으로 호주 등 해외에서 신재생에너지를 활용하여 수소를 확보하는 장기 공급정책을 표방하고 있으나 실제 경쟁력 있는 가격으로 자국 내 공급이 가능할 것인지 장담할 수 없다. 생산원가 관점에서 화석연료 대비 현저히 높은 현재의 수소 생산단가를 어떻게 획기적으로 낮출 수 있는가가 향후 기술개발의 핵심이다.

마지막으로 현재 수소 생산은 상당 부분 화석에너지에 의존하여 생산되고 있다. 친환경적인 관점으로 순수 수소 경제에서 수소생산은 신재생에너지에서 생산된 잉여전기를 사용하여 전기분해하여 수소로 전환하는 것이라고 볼 수 있다. 이는 현재 수준보다 생산단가를 획기적으로 줄이지 않으면 에너지원으로써 경쟁력을 확보하기 어렵다는 것을 의미한다.

궁극적으로 수소전기차 보급확대를 통한 수소경제 실현의 출발은 기술적인 난관에 대한 논의보다 과연 경제

〈표 8〉 수소 생산기술 비교

생산방법	에너지원	장점	단점
수증기 개질, 가스화	화석연료 (천연가스, 석탄) * 천연가스 개질 예 천연가스인 메탄을 고온·고압에서 스팀으로 분해 ( $CH_4 + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$ )	대량생산 가능 저렴한 생산단가 안정적 기술	이산화탄소 발생 다 에너지 안보 취약
전기분해	신재생 에너지 (태양광, 풍력, 조력 등)	친환경성 다양한 에너지원 활용	높은 생산 단가 지역적 제한 낮은 에너지 효율
	원자력	대량 생산 가능 이산화탄소 미발생	원자력 발전에 대한 거부감
부생수소 (화학/제철 부산물)	주로 화석 연료	폐가스 활용	정제 필요 생산량 확대 한계

자료: 포스코경영연구원



〈표 9〉 수소 방식에 따른 비용

(단위: 달러/kg)

생산 방식		'15년	'20년
천연가스, LPG, 납사 등	수증기 부분 산화개질 플라즈마 개질 멤브레인 개질	1.6~2.3	1.7
석탄, 바이오매스 등	가스화 열분해	2.1	2.0
물-전기	염소-알칼리 알카라인 고분자전해질막 고온 수증기	4.2	2.3
부생가스	압력순환 흡착	1.2	1.2

자료: H2KOREA(수소융합얼라이언스추진단), “수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방안,” 2018

적 있는 가격으로 수소를 공급할 수 있는가에 대한 문제로 귀결된다. 수소융합얼라이언스추진단(H2KOREA)이 발표한 ‘수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방안’ 보고서에 의하면, 2017년 현재 수송용 수소연료의 시장 가격은 존재하지 않는다고 적시되어 있다. 공급자는 5만원/kg 이상을, 소비자는 2천원/kg 이하(전기차 수준)을 각각 요구하고 있기 때문이다.

상기 보고서에서는 정부가 적정 수준의 수소연료 가격 가이드라인을 제안하고 이를 달성, 유지하기 위한 수급관리를 수행할 것을 제안하고, 수송용 수소연료의 공급가격의 적정선을 7천원/kg 수준으로 제시하였다. 본 보고서에서는 수소의 생산방식에 따른 비용을 제시하였는데 〈표 9〉와 같다. 상대적으로 수소 생산비용은 제철소 및 정유공장에서 발생하는 부생가스가 가장 저렴하지만 공급량이 한정되어 있기 때문에 현실적으로는 천연가스, LPG 등의 개질과 부생가스에서 추출하는 생산방식이 현재로서는 가장 경제적인 대안이라고 볼 수 있다. 천연가

스 개질 비용은 생산용량이 증가할수록 설비비용 및 운영비가 절감되면서 생산비용이 크게 하락하는데, 현 기술 수준에서 하루 150kg을 생산할 시 kg당 6,351원인데 반해 일일 1,000kg을 생산한다면 생산비용이 kg당 3,500원 수준으로 공급 가격을 낮출 수 있다.

생산기술과 수소 생산방식에 따른 비용을 고려해볼 때 앞으로 화석에너지를 활용한 수소 생산 중심에서 신재생 에너지를 활용한 수소생산 중심으로 그 비중이 증가가 예상되며, 이를 위한 기술개발이 보다 활발히 진행될 것으로 예상된다.

## 나. 수소의 저장

수소는 가장 가벼운 기체이며 끓는 점이  $-252.9^{\circ}\text{C}$ 에 기에 특정 용기에 저장하기도 어렵고 저장을 하여도 쉽게 새어 나가기 쉽다. 따라서 수소의 저장을 위해서 고압으로 수소를 압축하거나 LPG(액화석유가스)나 LNG(액화천



〈표 10〉 수소 저장기술 비교

저장 기술	장점	단점
압축	기존에 가장 상용화된 기술 이용 편리 작은 부피, 소량 이용에 적합	압축과정 에너지 소모 다 저장용기의 엄격한 특성 요구 (저장요구 무게 증가, 감압시 위험)
액화	대량 저장 (기체 체적 대비 1/800) 압축 방식 대비 12배 효율	-253도 이하 유지 액화과정 시 에너지 소모 다 밸브 및 이음매 가스유출 가능성 높
메탄화(P2G)	대량 주입 운송 가능 기존 가스 Grid 활용 가능	메탄화에 필요한 에너지 손실
유기하이드라이드(MCH)	압축방식 대비 8배 운송효율 상온상압에서 운송 가능 (톨루엔을 수소와 반응시켜 메틸시클로hexan형태로 저장)	소형 탈수소장치 상용화 필요 (*사용장소에서 수소를 추출해야 함)
합금화합물	대량 저장 가능 위험 감소	고가의 화합물 가격 아직 연구단계

자료: 포스코경영연구원

연가스)처럼 액화시켜서 사용하려면 비용부담이 따르며 이에 따른 폭발 위험성도 크다.

수소는 상온에서 기체 상태로 에너지 밀도가 낮아 생산·저장·운송 단계에서 약 10~20% 정도 누출되기도 한다. 수소의 액화 기술은 방위산업, 우주항공산업 등에서 활용되기는 하나, 선진국 보유기술의 국내 이전이 원활하지는 않고 국내 연구 및 기술 수준은 초기 단계이다. 수소의 저장기술은 생산기술과 같이 다양하며 〈표 10〉에 도식화하였다. 일반적으로 저장효율 향상을 위해 수소를 액화시키거나, MCH 저장방식이 많이 활용되고 있다.

#### 다. 수소의 운송

수소의 운송은 크게 수소 탱크, 수소 튜브 트레일러 및 파이프라인 등 세 가지로 구분할 수 있다. 수소의 특성상 장거리 운송은 고비용 구조를 갖는다. 먼저 수소 탱크는

내고압, 경량화, 저비용 등의 요구특성 때문에 철강 등 금속소재부터 탄소섬유까지 다양한 소재가 향후 주력 소재로 채택되기 위하여 개발 경쟁을 벌이고 있다.

〔그림 4〕는 수소 튜브 트레일러와 울산의 수소파이프라인을 보여주고 있다. 튜브 트레일러는 수소 생산지로부터 수요처(충전소)까지 배송을 위해 액화수소용 튜브를 사용하여 운반하는 형태다. 파이프라인은 생산지로부터 실제 사용지까지 파이프라인을 건설하여 연결하는 것으로 수소 탱크 및 튜브 트레일러 대비 고비용이 요구된다. 기술적으로는 압력 탱크에 기체 수소를 넣을 수 있는 압축기술의 한계치(700~800Bar)에서 도달한 문제, 수소의 액화 기술 및 액화 수소의 해상운송 등에 대한 기술적 검증이 아직 완벽하게 이루어지지 않았다는 문제 등이 운송과 관련된 가장 큰 이슈이다.

또한, 파이프라인의 경우 수소가 파이프라인 내부에 침투하여 파이프라인 소재로 사용되는 강재의 연성이 저하



[그림 4] 수소 튜브 트레일러(좌) 및 수소 파이프라인(울산, 우)



되어 강재가 파괴되는 수소 취성 등의 문제도 해결해야 할 난제 중 하나다.

### 라. 수소 충전소

미국주 및 일본 중심으로 주요 수소충전소 전문업체(독일의 H2Mobility, 일본의 JHyM 등)들이 존재하며, 수소

충전소 건설 가격은 실증 규모, 종류(트레일러, 수전해, 개질 등)에 따라 가격 차이가 심하고 주문생산 방식에 의해 제작된다. 국내의 경우 수소충전소에 대한 용량 기준이 없어 주문, 입찰 형태로 건설이 이루어지는데 튜브 트레일러 방식의 충전소의 경우 1기당 30억원 수준으로 알려져 있다. <표 11>는 수소충전소의 종류 및 충전 방식을 나타내었다.

<표 11> 수소 충전소의 종류 및 충전 방식

수소생산방식			충전방식	비고
고정형 충전소	직접생산 (On-site)	수증기 개질	CGH2	천연가스/메탄/메탄올/LPG
		물 전기분해	CGH2	풍력/태양력/일반전력
	외부수급 (Off-site)	액체수소수급	IH2	액체수소 직접 충전
			ICGH2	압축기체수소로 변환 후 충전
		기체수소수급	CGH2	실린더로 수급
			CGH2	트레일러로 수급
이동형 충전소	직접생산	수증기 개질	CGH2	천연가스 등
		외부수급	액체수소수급	IH2
	기체수소수급		ICGH2	압축기체수소로 변환 후 충전
		CGH2	실린더로 수급	

자료: 이동훈, "수소충전소 기술개발 및 보급현황," 2018.4/ 포스코경영연구원 재구성



마. 수소전기차

한국을 비롯한 일본, 중국 등 대부분의 국가에서 수소 경제 사회의 초석으로 수소전기차에 대한 보급을 강화하고 있다. 수소전기차는 연료전지를 전기를 생산하기 위한

동력원으로 사용을 한다. 수소전기차의 구동원리를 단계 별로 설명하면, 1단계로 수소탱크에 저장된 수소가 수소 연료전지 스택으로 공급되면, 2단계로 유입된 산소가 수소 연료전지의 스택으로 공급되고, 3단계로 수소연료전지 안에서 산소와 수소가 화학반응을 통해 전기를 생산하고,

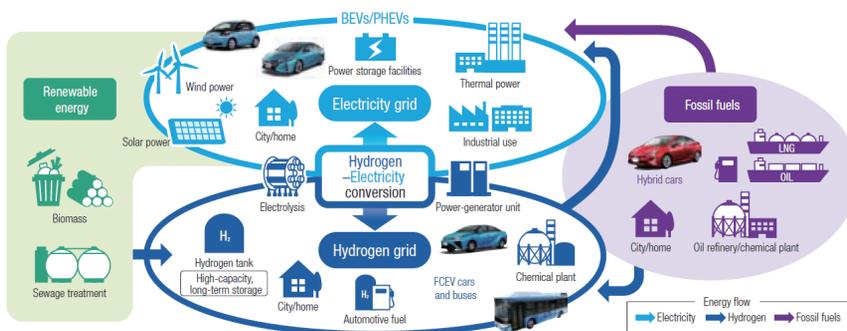
〈표 12〉 주요 수소전기차 비교

구분	현대자동차 Nexon	Toyota Mirai	Honda Clarity
외관			
Type	중형 SUV	중형 세단	중형 세단
주행거리	609km (한국)	502km(북미 인증)	589km(북미 인증)
출시	2018년 4월	2014년 4월	2016년 3월
가격	8,500만원	6,500만원	7,700만원
수소탱크	6.33kg	5.00kg	5.46kg

자료: 각 자동차사 website

[그림 5] 자동차 경쟁변화와 에너지 다변화

Using electricity and hydrogen for a society built on diversified energy



자료: Toyota 자동차사 website



## 미래 에너지, 수소경제 시대는 오는가?

4단계로 생산된 전기가 모터와 배터리로 공급되며 화학반응으로 생성된 물이 외부로 배출되는 것이다.

친환경차로 대표되는 하이브리드자동차, 전기자동차 대비 수소전기차는 기술적으로는 궁극의 차라고 할 수 있다. 국내에서는 현대자동차가 2014년부터 양산형 투싼모델을 출시하였던 2018년부터는 2세대 모델인 '넥소(Nexo)'를 일반 판매하기 시작하였다. <표 12>은 현재 시판 중인 자동차사의 대표적인 수소전기차의 기본 성능을 비교하였다.

수소경제 실현을 위해서는 수소전기차의 빠른 확산이 필요하지만 정부가 제시하고 있는 것처럼 쉽게 낙관할 수 있는 상황은 아니다. 친환경차 시장은 1997년 도요타의 Prius 출시 이후 시작에 선보인 하이브리드 자동차가 높은 시장점유율을 보이고 있지만 [그림 5]에서 보는 바와 같이 장기적으로는 100% 전기로 가동되는 전기차와 수소전기차가 경쟁구도를 형성할 것으로 전망된다.

하지만, 전기차 대비 수소전기차가 얼마나 시장 확대가 가능할지 예측하기 매우 어렵다. 정부 지원이 변수이기는 하지만 시장의 선택은 차량의 가격, 유지비, 안정성 및 편의성 등을 고려한 운전자의 판단에 의존되기 때문이다.

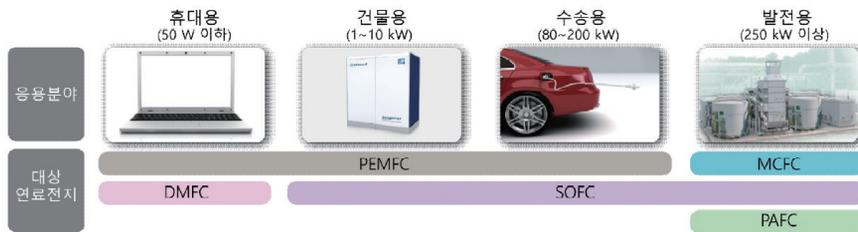
수소경제 도래에 대한 확신이 없어지거나 인프라 건설 등이 계획만큼 진행되지 않는다면 정부 지원도 급격히 퇴조할 가능성도 있다.

### 바. 발전 및 가정·건물용 연료전지

수소를 전기로 전환시키는 연료전지는 수소전기차의 핵심부품이다. 연료전지는 운송용 교통수단에 사용되기도 하지만 가정용, 발전용 연료전지의 수요 확대도 수소경제 실현을 위해 매우 중요한 부분이다. [그림 6]은 용도별로 사용되는 연료전지의 종류를 구분하여 도식화하였다.

정부의 수소경제 활성화 로드맵에 의하면 2008년 기준 발전용 연료전지는 0.3GW, 가정·건물용 연료전지는 7MW가 보급된 상태이다. 정부는 발전용 연료전지를 2022년까지 1.5GW(내수 1GW), 2040년까지 15GW(내수 8GW) 보급을 계획하고 있다. 정부는 2022년까지 내수시장에 발전용 연료전지를 1GW 보급하여 규모의 경제를 달성하는 한편, 2024년까지 중소형 LNG 발전과 대응한 수준으로 발전단가를 하락시킬 계획이다. 중장기적으로는 현재 대비 설치비 65%, 발전단가는 50% 수준으로

[그림 6] 용도별 연료전지 구분



- DMFC : Direct Methanol Fuel Cell, 직접메탄올 연료전지
- PEMFC : Proton Exchange Membrane(Polymer Electrolyte Membrane) Fuel Cell, 이온교환막 또는 고분자 전해질 연료전지
- SOFC : Solid Oxide Fuel Cell, 고체 산화물 연료전지
- PAFC : Phosphoric Acid Fuel Cell, 인산형 연료전지
- MCFC : Molten Carbonate Fuel Cell, 용융 탄산염 연료전지

자료: S-Fuelcell, "건물용 연료전지 기술 및 시장현황," 2018.4



하락시킬 전망이다. 2030년 이후에는 대규모 발전이 용이하도록 수소가스터빈 기술개발 및 실증을 추진할 계획이다. 가정·건물용 연료전지 보급도 추진 중인데, 2018년 5MW 수준에서 2022년 50MW, 2040년 2.1GW까지 확대하여 2040년 기준 94만 가구에 보급할 계획이다.

#### 4. 맺음말

수소경제 실현 여부는 수요보다는 공급 측면에서 좌우될 것으로 판단된다. 수요 측면에서 수소전기차의 가격은 대량생산 방식에 의해 연료전지 스택 가격이 낮아지면 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단되나, 공급 측면에서 수소 가격이 화석에너지 대비 얼마나 경쟁력을 확보 여부가 성공의 제 1척도라고 할 수 있다. 수소를 저렴하게 생산 공급하는 것도 중요하지만 친환경적인 접근으로 이산화탄소 발생량을 줄이고 공급을 안정적으로 확대하는 데까지 현실적으로 수많은 기술적 난관이 있기 때문이다.

현재 가장 적극적인 정책을 구사하고 있는 일본 정부는 2020년대 후반에는 해외에서 수소 공급가격을 30엔/N 수준으로 낮추어 국내에 공급할 목표를 제시하였다. 또한 30년에는 본격적인 수소공급망을 구축할 계획이다. 축적된 기술 수준으로 볼 때 일본의 수소경제 실현 여부는 수소 공급가격이 경쟁력을 확보하는 10~15년 이후 판단할 수 있을 것이지만, 기술적 난관으로 인해 계획 대비 공급량이 목표 대비 낮아지거나 공급가격이 상승한다면 그 실현 시점이 지연될 가능성도 배제할 수 없다.

한국의 경우 수소 저장, 운송 및 충전에 대한 국내 기술력이 상대적으로 매우 취약한 수준이라 정부의 '수소경제 활성화 로드맵'이 성공적으로 실현되기 위해서 이 부분에 대한 R&D 및 투자가 활발해질 것으로 기대된다. 산업별로는 우선 수소전기차 시장의 약진을 주시할 필요성이

있다. 각국 정부는 수소경제 실현을 위해 강력한 수소전기차 보급 정책을 구사하고 있다. 따라서 하이브리드 자동차에서 전기자동차, 다시 수소전기차로 이어지는 차세대 자동차 경쟁을 주시할 필요가 있다. 또한 수소 공급측면에서 수소 생산, 운송, 저장 및 연료전지 분야에서 기존 소재 대비 고압, 저원가 및 고내구성 소재에 대한 시장 요구가 확대될 것으로 보인다.

향후 수소 충전, 발전 등 분야에서 기존에 존재하지 않았던 새로운 비즈니스 기회가 창출, 성장할 가능성이 매우 크며, 이를 위해 산학연 협력 및 연구개발이 활발하게 이루어져야 할 것이다. 이와 함께 국내 수소경제 관련 산업이 자생적인 경쟁력을 갖추기 위해 일정 기간 규제 개선을 비롯한 규격과 인증제도 등 국가 차원의 제도적 뒷받침이 있어야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

##### <국내 문헌>

- 이상규, 탁승문, “수소경제, 어떻게 볼 것인가?,” 포스코경영연구원, 2005.9
- 이동훈, “수소충전소 기술개발 및 보급현황,” 2018.4
- 산업자원부, “수소경제 활성화 로드맵,” 2019.1
- 수소융합얼라이언스추진단, “수소충전소 기술개발 및 보급현황,” 2018.4
- 수소융합얼라이언스추진단, “수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방안,” 2018
- 수소경제 활성화를 위한 전략토론회 자료, 2019.2
- 현대차 수소모터그룹, “현대차 수소전기차개발현황,” 2018.4
- 혁신성장 관계장관회의, “전기·수소전기차 보급 확산을 위한 정책방향,” 2018.6



## 미래 에너지, 수소경제 시대는 오는가?

KOTRA, “중국 수소차시장, 현재 시속은?,” 2018.11  
S-Fuelcell, “건물용 연료전지 기술 및 시장현황,”  
2018.4

### 〈해외 문헌〉

일본 경제산업성, 자원에너지청, 에너지백서, 2017  
IEA, “Technology Roadmap Hydrogen and Fuel  
cells,” 2015  
\_\_\_\_, “World Energy Outlook,” 각년호

### 〈웹사이트〉

산업통상자원부, [www.motie.go.kr](http://www.motie.go.kr)  
세계에너지기구, [www.iea.org](http://www.iea.org)  
수소융합얼라이언스 추진단, [www.h2korea.or.kr](http://www.h2korea.or.kr)  
월간수소경제, [www.h2news.kr](http://www.h2news.kr)  
일본 경제산업성, [www.meti.go.jp](http://www.meti.go.jp)  
현대자동차 website  
NOW, [www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de)  
Honda website  
Toyota website