



# 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출<sup>1)</sup>

최 동 원 산업연구원 부연구위원 (dwchoi@kiet.re.kr)

## 1. 서론

수소에너지는 친환경성, 저장·운반 가능성, 생산 및 소비의 유연성을 갖춘 미래에너지로서 주목을 받아왔지만 실질적인 보급에는 어려움을 겪어 왔다. 하지만 최근 글로벌 에너지믹스의 변화 및 기술혁신으로 인해 수소에너지에 대한 관심이 집중되고 있다. 신재생에너지의 생산 확대 및 세일혁명, 원전 축소 등 글로벌 에너지믹스의 변화로 수소에너지에 대한 주요국의 투자가 활성화되고 있으며, 수소의 생산, 운송, 저장·충전 및 이용을 위한 기술혁신으로 수소에너지의 경제적 타당성도 급격히 개선되고 있다.

이와 같은 변화 속에 주요국들은 독자적 수소사회 패러다임을 구축하고 산업경쟁력을 강화하고 있다. 미국은 세일혁명으로 가격경쟁력을 확보한 천연가스의 개질을 통해 수소 생산을 확대하고 있으며, 유럽은 풍부한 신재생에너지로부터 생산된 잉여전력을 활용한 수소 생산과 기존의 가스 그리드를 이용한 수소 운송 인프라를 구축 중에 있다. 한편 일본은 미국

및 유럽과는 달리 석유화학 및 제철소 등에서 발생하는 부생수소의 활용 및 해외로부터의 수소 수입에 대비한 대규모 수소네트워크를 구축 중이다. 특히 일본은 2000년대 초반부터 민관협력을 통한 다양한 실증산업을 진행해 오고 있으며, 2013년에는 에너지기본계획 법안에 '수소사회 실현'을 명문화하는 등 수소산업 육성을 위한 국가차원의 적극적 정책 의지를 표명하고 있다.

이와 같이 주요 선진국들은 수소사회로 진입하기 위해 계획 단계부터 실행 단계까지 적극적으로 민간 참여를 유도해 독자적인 패러다임을 구축 중에 있으나 우리나라는 아직까지 이에 대한 대응이 미흡한 상황이다. 본 연구에서는 주요국의 수소산업 비교를 통해 우리나라의 향후 수소산업의 성장가능성을 전망하고 우리나라의 특성에 맞는 독자적인 수소산업 발전방향을 제시하고자 한다.

## 2. 수소에너지의 개요 및 전망

1) 본고는 서동혁·최동원, 「신에너지 시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제」, 산업연구원(2016)의 내용을 부분적으로 수정·보완한 것임.

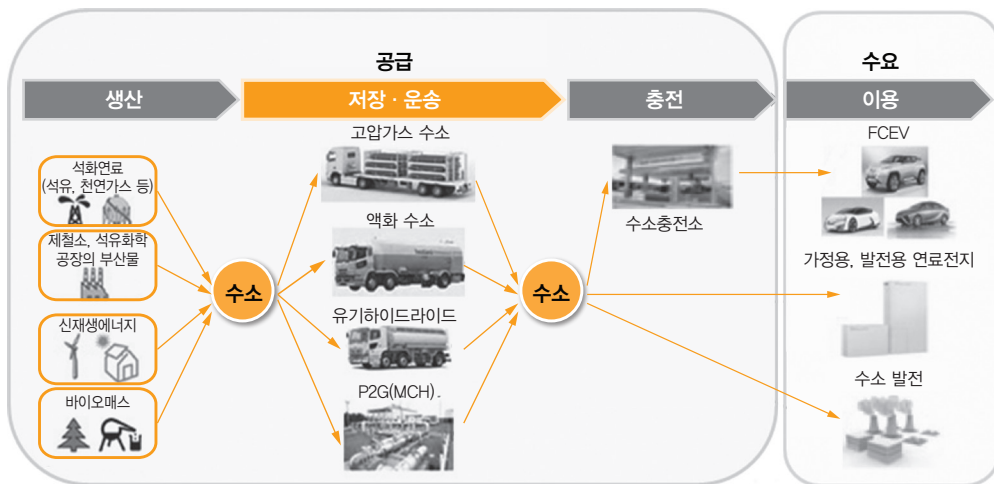


## 가. 수소에너지의 가치사슬 구조

수소에너지의 가치사슬 구조는 수소의 생산, 저장·운반과 관련된 공급부문과 수소의 이용 용도에 따른 수

요부문으로 구성된다. 공급부문은 다양한 장치산업 및 인프라로 구성되어 있으며, 가정·상업용, 산업용, 수송용, 발전용 부문 등의 수요부문은 수소의 이용을 위한 연료전지 관련 산업이 중심이다.

[그림 1] 수소에너지의 가치사슬 구조



자료: NEDO, 「NEDO 수소에너지 백서」, 2015.2를 토대로 재작성

수소는 화석연료 및 바이오매스로부터의 메탄가스 등을 개질하여 얻거나 정유 및 제철 공장 등의 부생수소 활용, 신재생에너지를 활용한 물의 전기분해 등 다양한 방식을 통해 생산가능하다.

다양한 방식으로 생산된 수소에너지는 기체, 액체 및 고체의 다양한 형태로 대규모 저장 및 운반이 가능하며 연료전지를 이용하여 가정·산업, 수송, 발전용 기기 등 모든 소비부문의 에너지원으로 이용된다. 수소에너지를 이용하기 위한 연료전지는 수소와 공기 중의 산소와의 전기화학반응을 통해 전기에너지를 직접 생산하기 때문에 발전효율이 높다. 수소에너지는 수소를 원료로 사용하기 때문에 사용과정에서 물만

이 배출되며 화석연료 사용 시 발생하는 일산화탄소(CO) 등 환경에 유해한 물질은 발생하지 않는다. 만약 풍력 및 태양광 등 신재생에너지에서 생산된 전력을 이용하여 물의 전기분해를 통해 수소를 생산할 경우, 에너지의 생산에서 소비까지의 전 과정에서 배출가스 제로시대가 가능하다.

최근 환경오염, 화석연료의 고갈 및 에너지 수급불안 등이 심각해지며 이에 대한 해결책으로 다양한 장점을 가지고 있는 수소에너지에 관심이 고조되고 있다. 아직까지 수소의 대부분은 화석연료로부터 생산되지만 신재생에너지 기반 수소생산 기술의 향상과 수소 이용을 위한 연료전지의 고효율화로 기존의 탄소 기반 경제체



## 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출

[그림 2] 수소의 제조 방법



자료: NEDO, 「NEDO水素エネルギー白書」, 2015.2

〈표 1〉 수소에너지의 장점

| 구분      | 장점                                                                                                                                         |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 생산      | • 수소는 다양한 에너지원 및 방식으로 생산 가능                                                                                                                |
| 소비      | • 연료전지를 통해 가정용, 산업용, 수송용 등 모든 소비 부문에서 수소 이용이 가능<br>• 사용과정에서 전력과 열 모두 이용가능                                                                  |
| 저장 및 운반 | • 수소는 액화 압축시켜 고압탱크에 저장 가능<br>• 탱크 및 파이프라인을 통해 운송                                                                                           |
| 효율성     | • 발전소로부터의 전기에너지 이용 효율은 35%인데 반해 수소에너지를 이용하는 연료전지의 종합에너지효율은 80%에 달함. (전기와 열 이용 시)                                                           |
| 친환경성    | • 화석연료와 달리 사용과정에서 유해한 부산물을 전혀 배출하지 않음.<br>• 수소의 생산과정에서 CCS(이산화탄소 포집·저장기술)을 사용하거나 신재생에너지로부터 얻은 전력을 이용할 경우, CO <sub>2</sub> 배출량 삭감 및 제로시대 가능 |

자료: 산업연구원, 「신에너지시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제」, 2016.8

제에서 지속 가능한 수소경제사회로의 진입에 대한 기대감이 확대되고 있다.

### 나. 수소에너지의 전망

지금까지 수소에너지는 생산, 저장·운송 및 사용상



의 높은 비용에 따른 경제성 결여로 보급 및 확대에 어려움을 겪어 왔다. 수소의 전통적 생산방식인 천연가스의 개질은 주원료인 천연가스의 가격경쟁력 부족이 걸림돌로 작용하였으며, 물을 전기분해하여 생산하는 수전해 방식은 추가적인 전력을 사용해야 한다는 점에서 경제성이 부족하였다. 하지만 셰일가스 혁명으로 천연

가스 가격이 하락하고 신재생에너지 확대에 따른 잉여전력을 수전해 생산방식에 활용하기 시작하면서 수소생산의 경제성이 크게 개선되고 있다. 우선, 2000년대 중반 약 8달러/백만Btu이었던 천연가스의 가격은 셰일혁명의 영향으로 2015년에는 2.62달러/백만Btu까지 하락하였다.

[그림 3] 미국 천연가스 가격 추이



주: 미국 천연가스 가격으로는 북미 지역의 대표적인 천연가스 가격 지표인 헨리 허브 가격(Henry Hub Price) 이용.  
자료: 미에너지정보청(EIA)의 각 연도 자료.

이와 함께 신재생에너지의 잉여전력을 활용한 수소 생산은 유럽을 중심으로 확대되고 있다. IEA의 세계 에너지전망(2015)에 따르면 화석연료를 사용하는 에너지 생산은 2014년 65%에서 2040년에는 36%로 감소하고 신재생에너지가 55%로 확대될 것으로 예상된다. 2040년 신재생에너지 발전설비 규모는 2012년 대

비 3배 정도 증가한 14,156GW로 확대되고 이를 위해 약 7조 4,000억 달러가 투자될 것으로 추정된다. 유럽은 신재생에너지 비중을 2016년 16%에서 2030년 27%로, 일본은 4.5%에서 20%, 미국은 14%에서 2035년 27%까지 확대할 계획이다.<sup>2)</sup> 현재 유럽은 신재생에너지의 잉여전력을 이용해 수소를 생산하고 활용하는

2) 포스코경영연구원, “2017년 국내외 에너지시장 전망,” 2017. 2



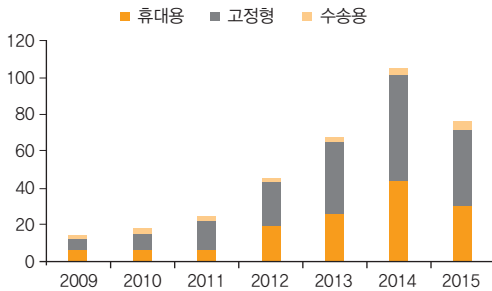
## 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출

P2G(Power to Gas) 프로젝트를 적극적으로 추진 중에 있다. 독일의 2013년 신재생에너지 발전량 비율은 전체 발전전력량 중 25.4%까지 확대되었으며 풍력은 약 13.3%의 비중을 차지하고 있다. 독일의 경우, 2009년 73.6GWh, 2010년 126.8GWh, 2011년 420.6GWh, 2012년에는 384GWh의 버려지는 신재생에너지 잉여 전력이 있는 것으로 조사되었으며, 이를 수소생산에 활용하기 위한 P2G 프로젝트가 활발히 진행 중이다.<sup>3)</sup>

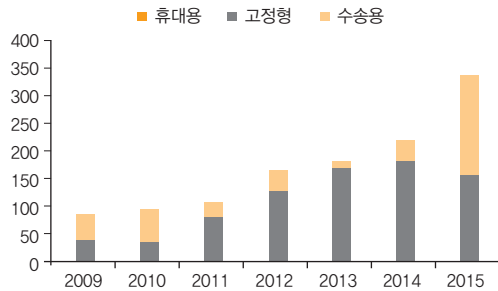
한편, 수소에너지 수요는 현재의 발전용 수요 중심에서 가정용 및 상업용, 수송용 등 다양한 분야로 확대될 것으로 전망되고 있다. 수소에너지를 사용하는 세계 연료전지 시장은 2008년부터 발전용 및 가정용 연료전지의 상용화를 시작으로 수송용 등의 분야로 확대되고 있는 추세이다. 2014년까지는 발전용 및 가정용 등의 고정형 연료전지가 시장성장을 주도해 왔으나, 2015년에는 수송용 연료전지가 차지하는 비율이 급격히 확대되고 있다.

[그림 4] 세계 연료전지 출하량 추이

(Unit(시스템 기준))



(MW(용량 기준))



자료: 4th Energy Wave, Fuel Cells Annual Report 2015, 2016

발전용의 경우, 우리나라를 중심으로 수요가 확대되고 있으며 가정용은 일본, 수송용은 주요국 간의 본격적인 수소연료전지차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle) 경쟁에 따른 수요확대가 예상된다. 가장 큰 시장을 형성할 것으로 예상되는 FCEV 수요에 대한 주요 시장조사업체들의 전망을 살펴보면, 2020년에는 5만대 이상이 보급될 것으로 보이며 2020년부터 2025년 사이에 판매속도가 급격히 확대되는 추세를 보일 것으로 분석된다.

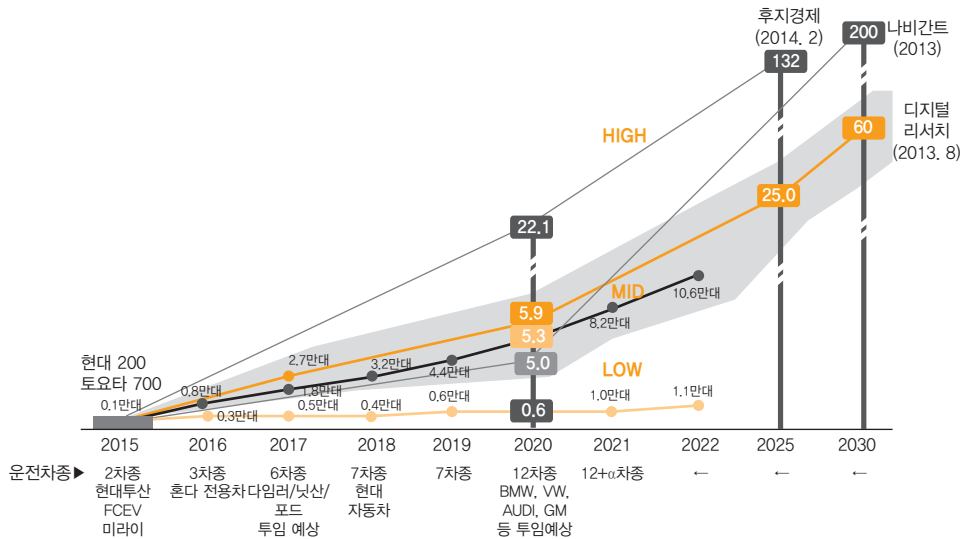
FCEV의 경우, 주요국의 수송부문의 환경규제가 강화되고 있으며 수소충전소 등의 인프라 보급 및 정책적 지원이 활발해지고 있는 상황으로, 일본은 2030년까지 자동차 판매량 중 FCEV의 비중을 30%, 독일은 25%, 미국은 2050년까지 27%로 확대할 계획이다.

향후 에너지로서의 수소 수요는 FCEV 이외에도 지게차(forklift), 무정전전원공급장치(UPS)를 포함한 백업전원용 장치 등 순수한 수소를 사용하는 연료전지의

3) 野村総合研究所(2016).



[그림 5] 주요 기관별 FCEV 수요 전망



자료: 제5차 Nuclear Hydrogen Workshop, "수소연료전지자동차 개발, 보급현황 및 전망," 2016.5

상용화 보급이 주요 요인으로 작용할 것으로 보인다.<sup>4)</sup> 백업전원용 수소연료전지 시장은 아직 초기 형성 단계이지만 세계시장 규모는 통신기지국 및 무정전전원공급장치(UPS) 시장만 고려해도 2025년에 10조원 이상의 규모가 될 것으로 추정되고 있다.

### 3. 주요국의 수소산업 발전전략

#### 가. 미국

미국은 신재생에너지와 천연가스를 이용한 수소 공급 가치사슬을 구축 중에 있다. 우선 미국은 1990년대

부터 신재생에너지를 이용해 수소를 생산·공급하기 위한 연구개발을 추진해 왔으며 지속적으로 신재생에너지 확대 정책을 추진 중이다. 미국은 에너지부(DOE) 주관으로 풍력단지에서 생산된 전력을 활용하여 수소를 생산하고 천연가스 망을 통해 공급하는 Wind2H2 프로젝트를 진행하고 있다. Wind2H2 프로젝트에는 미국의 국립재생에너지연구소(NREL)를 중심으로 엑셀 에너지(Xcel Energy) 등의 민간기업이 참여하고 있다. NREL은 풍력뿐만 아니라 태양광에너지로 물을 전기 분해하여 수소를 생산하는 STH(Solar To Hydrogen) 연구개발도 지속적으로 추진 중에 있다. 미국 정부는 2015년에 발표한 청정전력계획(Clean Power Plan)에서 2030년까지의 풍력 및 태양광을 중심으로 신재생

4) 산업통상자원부(2014), 「신·재생에너지 백서」

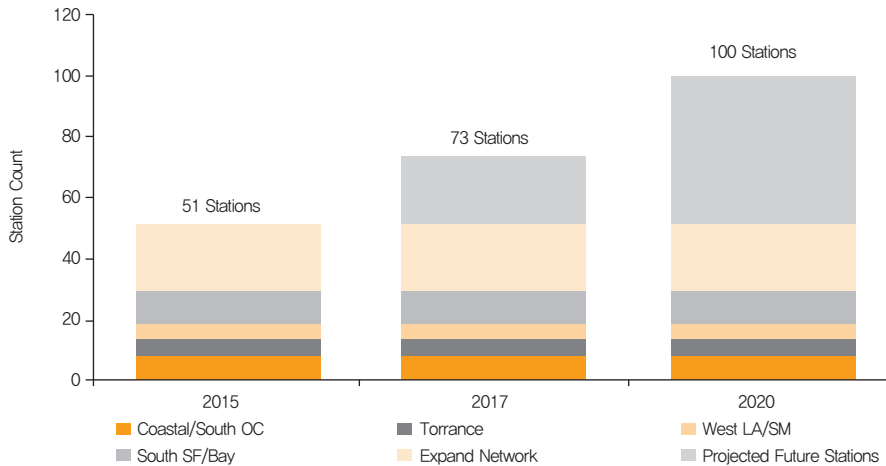


에너지 비중을 22%에서 28%로 상향 조정하였다. 이와 더불어 최근 셰일혁명으로 가격경쟁력이 향상된 천연 가스를 개질하여 수소를 생산·공급하기 위한 인프라를 확대하고 있다.

수소충전소의 경우, 캘리포니아 주를 중심으로 오프 사이트(Off-site)방식과 온사이트(On-site)방식, 그리고 수소와 천연가스를 혼합한 HCNG 활용 방식의 실

증 및 보급사업이 진행 중이다. 캘리포니아주의 경우, 1999년에 설립된 민·관 파트너십 조직인 CaFCP와 자금을 지원하는 CEC, 그리고 ARB 등이 연계하여 수소 충전인프라 보급 및 지역사회 수용 등을 추진하고 있다.<sup>5)</sup> 캘리포니아 주는 2012년 CaFCP가 발표한 로드맵에서 2020년까지 100개소의 공영 충전소를 구축할 계획을 제시하였다.

[그림 6] 캘리포니아 주의 충전소 보급 전망(2014년 시점)



자료: 野村総合研究所, 「水素社会の実現に向けた取組に関する調査」, 2016.3

캘리포니아 주의 수소충전소 보급은 CEC가 CaFCP의 검토 내용을 바탕으로 계획 수립 및 자금을 지원하고 First Element와 Air product 등의 개별 기업이 설치 및 운영을 담당하는 체계로 구성되어 있다. CEC가 충전소 등의 수소에너지 인프라에 투자하는 예산은 매년 8,150만 달러이며, 2014년에는 FCEV 예비 인프라 구축에 연간 2,000만 달러의 투자를 의결하였다. CEC의

수소 인프라 관련 예산은 ‘신재생에너지 및 자동차 기술 프로그램(ARFVTP: Alternative and Renewable Fuel and Vehicle Technology Program)’이라는 프로젝트를 통해 집행되고 있다.<sup>6)</sup>

DOE는 2013년 5월 수소인프라 보급 촉진을 위한 ‘H2USA’ 파트너십을 발족시켰으며 다양한 각계 관계자들이 참여해 미국 전역을 대상으로 수소 인프라 구축을

6) 환경BUSINESS(2015.8)



〈표 2〉 캘리포니아 주의 FCEV 및 수소충전소 보급 체계

| 기능              | 주체                                 |
|-----------------|------------------------------------|
| Design/Operate  | First Element, Air Product 등 민간 기업 |
| Plan            | CEC(California Energy Commission)  |
| Finance Support | - CaFCP의 검토 내용을 바탕으로 계획 책정         |

자료: 野村総合研究所, 「水素社会の実現に向けた取組に関する調査」, 2016.3

추진할 계획이다.

## 나. 독일

독일은 풍부한 신재생에너지에서 생산된 잉여전력을 수소로 전환하여 기존의 가스 그리드를 통해 공급하는 P2G프로젝트를 추진 중이다. 독일의 경우, 북부의 풍력발전에서 생산된 전력을 공업지대인 남부지역으로의 전송이 필요한데 새로운 전력망을 구축하는 것보다 수

율적이기 때문이다. 예를 들어 2020년에 신재생에너지 발전비용 39%를 목표로 하는 경우, 전력 전송을 위한 인프라 확대 비용으로 9.5억 유로가 필요한 것으로 추산되지만, 기존 가스그리드를 사용하는 P2G방식을 추진할 경우 이와 같은 문제점을 해결할 수 있다. 독일의 기존 가스그리드의 파이프라인 총길이는 약 37,500km이며 파이프라인 수송사업자 수는 12개로 사업자수가 많기 때문에 가스그리드 속에 수소 혼입 지역을 세부적으로 제어하는 것도 가능하다.<sup>7)</sup> 독일의 경우, 천연가스 그리드에 주입하는 수소의 비율을 2%에서 5%로 상향

〈표 3〉 독일의 Power to Gas 관련 프로젝트의 유형

| 유형            | 내용                                                                                      | 사례                                            |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 가스그리드 수소 공급   | 풍력발전 등 잉여전력으로 수소를 제조<br>기존 가스그리드에 공급, 혼합가스로 이용                                          | Greenpeace Energy의 Wind-gas 프로젝트 등            |
| 가스그리드 메탄가스 공급 | 풍력발전 등 잉여전력으로 수소를 제조<br>병설 바이오매스 플랜트 등으로부터의 CO <sub>2</sub> 를<br>첨가, 메탄화하여 기존 가스그리드에 공급 | Audi의 e-gas 프로젝트 등                            |
| 모빌리티 연료화      | 풍력발전을 이용하여 제조한 수소의 일부를<br>수소충전소에 공급                                                     | Clean Energy Partnership 등                    |
| 수소저장          | 태양광 및 풍력발전에 의한 안정적 전력공급체계 구축<br>잉여전력으로 수소를 생산하고 전력 부족시 연료전지 및<br>화력발전에 이용               | Total, NENETRAG 등의<br>베를린 브람덴브루크<br>국제공항 프로젝트 |

자료: 大和総研, “水素社会の兆し 第1~7回,” 2014의 내용을 토대로 작성

7) 한경BUSINESS(2015.8)



하여 대용량 운송 계획을 추진 중이다.<sup>8)</sup>

독일에서 진행되고 있는 P2G 프로젝트는 크게 4가지의 형태로 구분되며 유럽 내에서 가장 많은 비중을 차지하고 있다. DNV KEMA의 보고서에 따르면, 독일 20건, 덴마크, 스페인 각 3건, 이탈리아, 노르웨이, 네덜란드, 프랑스 각 1건의 P2G 실증 프로젝트가 추진 중이다. 독일에서는 가스그리드 수소 공급, 가스그리

드 메탄가스 공급, 모빌리티 연료화 및 수소저장 P2G 프로젝트에 완성차 업체 및 에너지 기업 등이 참여하고 있다.

한편, 독일의 FCEV 및 충전소의 보급은 2015년까지의 클린에너지 파트너십(CEP, Clean Energy Partnership)과 2016년 이후의 H2 Mobility 프로젝트로 구분된다.

〈표 4〉 독일의 FCEV 및 수소충전소 프로젝트

| 지원 정책                          | 주요 내용                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 클린에너지 파트너십<br>(CEP, 2004~2016) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• FCEV 및 수소충전소 실증 프로젝트로 총 14억 유로 투자</li> <li>• 수소 충전소 확충, 연료전지자동차 시범주행 등 3단계로 진행</li> </ul>                                                                          |
| H2 Mobility<br>(2017~)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Air Liquid, Daimler, Linde, OMV, Shell, Total 6개사 참가한 공동 출자회사</li> <li>• 수소인프라 사업계획 책정과 보급 지역 분석</li> <li>• 2020년까지 약 20만대의 FCEV 보급과 400개소의 수소충전소 설치 목표</li> </ul> |

자료: 산업연구원, 「신에너지시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제」, 2016.8

2016년까지의 FCEV 시장 형성을 위한 수소충전소의 정비는 CEP 프로젝트 안에서 실시되었으며, 예산은 국가수소기구인 NOW(National Hydrogen Organization)의 NIP(National Innovation Program)를 통해 지원되었다. 독일의 경우, 2015년까지 총 45개의 수소충전소가 설치돼 다양한 실증사업이 진행되어 왔다. 노후화되거나 재정비 중인 13개소를 제외한 32

개소가 운영 중에 있으며, 이 중에 일반인들이 이용할 수 있는 곳은 7개소 정도이다.

2009년에는 2017년 이후의 수소 충전소 사업계획 책정과 보급 지역 분석, 운영 등을 수행하는 프로젝트 기업인 H2 Mobility가 결성되었으며 에너지 업체 6개사(Air Liquid, Daimler, Linde, OMV, Shell, Total)의 공동 출자회사 형태로 설립되어 운영될 예정이다. 향후 독

8) 한국자동차산업연구소(2014)



〈표 5〉 독일의 FCEV 및 수소충전소 보급 체계

| 기능              | 주체                                              |
|-----------------|-------------------------------------------------|
| Design/Operate  | H2 Mobility                                     |
| Plan            |                                                 |
| Finance Support | NOW, Federal Ministry of Transport, H2 Mobility |

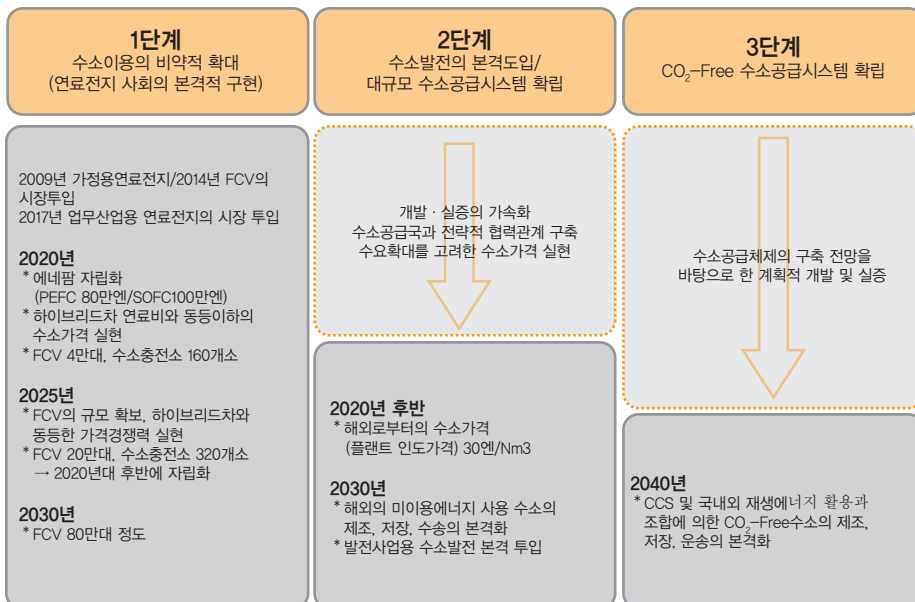
자료: 野村総合研究所, 「水素社会の実現に向けた取組に関する調査」, 2016.3

일의 수소충전소 보급은, H2 Mobility가 수소충전소의 계획, 설치 및 운영을 담당하고 NOW 와 H2 Mobility의 참가기업들이 자금을 지원하는 체계로 이루어지며, H2 Mobility는 2020년까지 약 20만대의 FCEV 보급과 400 개소의 수소충전소 설치 목표를 제시하고 있다.

#### 다. 일본

2014년 일본 정부는 수소사회 실현을 위한 3단계 로드맵을 발표하였으며, 2016년 3월에는 보다 실현 가능한 세부 내용을 추가하였다. 일본은 2020년 수소이용의 비약적인 확대를 바탕으로 2030년까지 해외로부터의 수소공급을 포함한 대규모 수소 공급시스템의 확립을 계획 중이다. 일본은 미국이나 유럽과는 달리 해외로부터의 수소 수입 방안을 모색하고 있으며 이를 위

[그림 7] 일본의 수소사회 실현을 위한 3단계 로드맵



자료: 野村総合研究所, 「水素社会の実現に向けた取組に関する調査」, 2016.3



## 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출

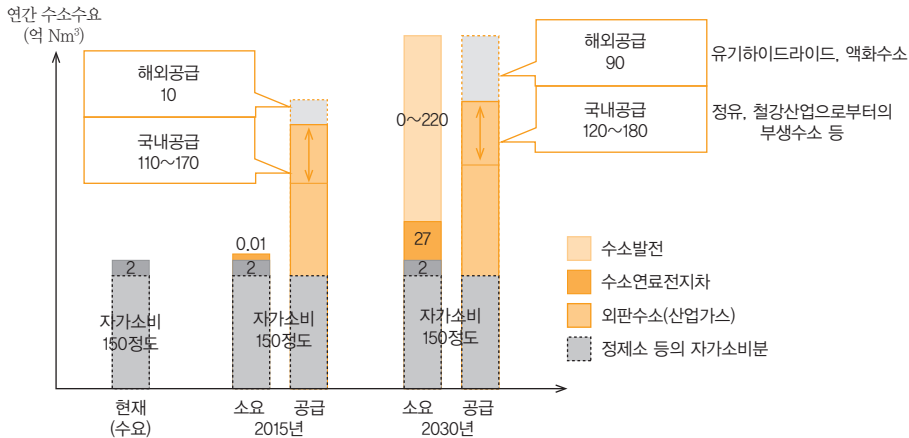
해 대용량 저장 및 저비용 수소 수송을 위한 기술 개발을 지원하고 있다. 부생수소, 천연가스 개질 및 신재생 에너지를 활용한 수소생산과 해외로부터의 수소수입의 공급 시스템을 구축하고 2040년에는 본격적 CO<sub>2</sub>-Free 수소사회의 실현을 구상하고 있다.

경제산업성(2014)에 따르면 현재 일본 내에서는 약 150억Nm<sup>3</sup>의 수소가 공급되고 있으며 2030년에는

FCEV 및 수소발전 등의 수소 수요 확대에 의해 해외로부터 약 90억Nm<sup>3</sup>의 수소 수입이 필요할 것으로 추정하고 있다. 이를 위해, 저렴하게 수소를 생산할 수 있는 호주나 러시아 등의 국가에 수소 제조 플랜트를 구축하고 액화 및 유기하이드라이드(MCH) 방식 등을 이용하여 수소를 대량 수입하는 방식을 추진하고 있다.

일본 정부는 2013년 발표된 에너지기본계획 법안에

[그림 8] 일본의 수소 수급 전망 예시



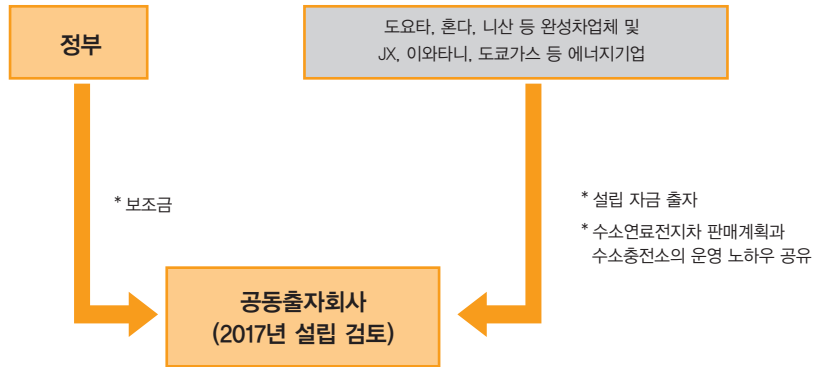
자료: 経済産業省, 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」, 2014

‘수소사회 실현’을 명문화하며 국가차원의 적극적 정책 의지를 표명하였다. 2016년 말까지는 4대 도시권을 중심으로 100개소 정도의 수소충전소를 확보하고 2020년까지 160곳, 2025년까지 320곳으로 확충하며 2020년대 후반에는 수소충전소 사업의 자립화를 목표로 제시하였다. 일본 정부는 2016년 수소충전소 보조금 지원을 위해 약 3,600억원의 예산을 편성했으며 1개소 당 약 25억원을 지원할 계획이다. 일본의 경우, 정부기관인 경제산업성(METI)과 신에너지개발기구(NEDO)가 각각 규제완화와 기술검증·지원을 담당하고 2009

년에 설립된 민간단체인 수소공급이용기술연구조합(HySUT)이 실증사업 및 일반 모델로의 확산을 추진하는 구조로 되어있다. 일본은 지금까지 완성차업체와 에너지기업 등이 개별적으로 수소충전소를 설치·운영해 왔으나, 올해 안에 공동출자회사(SPC)를 설립하여 사업을 추진하는 방안을 계획 중이다. 공동출자회사가 수소충전소를 설치하면 JX, 이와타니, 도쿄가스 등의 에너지기업이 운영을 담당하고 정부는 출자는 하지 않지만 보조금을 지원할 예정이다.



[그림 9] 일본의 수소충전소 보급 체계



자료: 산업연구원, 『신에너지시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제』, 2016.8

## 4. 국내 수소산업의 현황 분석 및 발전전략

### 가. 국내 수소산업의 현황분석

국내 수소산업은 공급 및 수요 가치사슬 내의 단기적 수익성이 기대되는 분야에서 부분적으로 글로벌 경쟁력을 구축하고 있다. 공급부문의 경우 수소경제시대 초기에 충분한 부생수소 생산 설비를 보유하고 있으며, 수요부문은 발전용 연료전지 산업을 중심으로 연료전지 산업의 전반적인 부문에 있어 일정 수준의 경쟁력을 확보하고 있다. 하지만 단기적 수익성이 불확실하고 장기적 및 계획적 투자가 필요한 수소 공급 인프라 및 수요기기 등의 경쟁력은 전반적으로 취약한 것으로 나타났다.

우선, 국내의 수소 생산량은 연간 125만 톤 정도이다. 이 중 21만 톤<sup>9)</sup> 정도가 시장 공급이 가능한 양으로 추산된다.<sup>10)</sup> 부생수소의 공급량은 21만 톤 중 약 76%인 16만 톤 정도로 수소자동차 1대의 연간 주행거리를 15,000km로 가정할 경우, 연간 약 8만 5,000대의 FCEV를 운행할 수 있는 규모이다.<sup>11)</sup> 정부가 설정한 2020년 FCEV 보급 목표가 9,000대, 2025년 10만대인 것을 고려할 때 수소산업 형성기에 필요한 수소생산 역량을 보유하고 있는 것으로 분석된다.

하지만 향후 다양한 부문의 수소 수요확대에 대비한 국내 신재생에너지 활용 및 해외 수입과 관련된 생산, 저장·운송 기술 및 인프라 구축은 아직 미흡한 수준이다. 특히 신재생에너지를 활용하여 수소를 생산하는 대

9) 수소 공급처를 살펴보면, 원유정제 및 석유화학공업에서 필요한 수소를 나프타개질로 생산해 잉여분을 시장에 내놓는 비중(54%)이 가장 많고, 가정소다업체에서 나오는 부생수소가 22%, 수소 유통업체에서 자체적으로 천연가스를 개질해 정제한 후 판매하는 양이 17%를 차지.

10) 한국석유관리원, “미래를 위한 지속가능에너지, 수소,” 『K-Petro』 제116호, 2015.12

11) 현대자동차 ix35(FCEV)의 주행거리(수소 1kg으로 80km 주행)를 기준으로 산정.



용량 수전해 방식의 경우, 주요국들이 1990년대부터 관련 기술을 개발해온데 반해 국내에서는 2003년 수소 에너지사업단이 처음 프로젝트를 시작하였다.

또한 수소 가격 중 운송비용은 수소 가격 차이의 주 원인으로 작용하지만, 수소의 경제성 확보를 위한 국내의 저장·운송기술 경쟁력은 미흡한 것으로 나타났다. 일본은 정부의 제도 및 기술적 지원을 바탕으로 민간기업인 이와타니, 치요다화공, 히타치 및 가와사키중공업 등을 중심으로 지자체와의 연계사업을 통해 수소의 생산 및 저장·운송을 위한 액화수소 및 유기하이드라이드(MCH) 방식을 활용한 실증사업을 추진하고 있으며

상용화 단계에 있는 것으로 조사되었다.

수요부문인 연료전지산업을 살펴보면, 국내 발전용 연료전지는 2012년 신재생에너지 보급 활성화 정책의 일환인 RPS(Renewable Portfolio Standard)제도 시행 이후 대기업 참여가 활성화되며 글로벌 시장의 50% 이상을 차지하는 수준으로 확대되었다. 국내 발전용 연료전지 생산기업은 글로벌 제휴 및 인수를 통해 경쟁력을 강화하고 있으며, 1MW당 설치 단가도 2011년 64억원에서 2015년 46억원으로 감소하는 등 경제성도 크게 개선되고 있다.

하지만 국내 가정용 연료전지 산업의 경우, 기술경쟁

〈표 6〉 국내 발전용 연료전지 설치 현황

| 구분     | 2012년 | 2013년 | 2014년 | 2015년 | 계   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 개소     | 3     | 14    | 5     | 4     | 26  |
| 용량(MW) | 11    | 104   | 35    | 14    | 163 |

자료: 한국에너지공단, 「주간 에너지 이슈 브리핑」, 2016.3

력을 확보하고 있음에도 불구하고 민관협력의 실증사업을 통한 실질적인 제품 상용화 및 시장 형성에는 취약한 면을 보이고 있다. 일본의 가정용 연료전지 사업인 에네팜(Ene-Farm)의 경우, 실질적인 제품 상용화 및 시장 확대에 이어지는 독자적인 민관 파트너십을 구축하고 있다. 총 3,540대의 대규모 민관 협력 실증사업을 통해 10만대 이상이 보급되었으며, 일본 정부는 실증사업을 통해 축적된 데이터를 기반으로 규제개선 및 보급 확대를 위한 정책을 마련하고 있다.

FCEV는 우리나라가 가장 먼저 양산라인을 구축했지만 수소공급 및 수소충전소 인프라 조성 미흡으로 시장 확대가 저조한 상황이다. 현대자동차는 2013년 3월 세계 최초로 FCEV 투싼 ix의 양산라인을 구축하였지만, FCEV를 둘러싼 다각적인 정책지원, 수소충전소 확충,

제도개선 등의 정비가 늦어지며 수요 창출이 지연되고 있다. 2010년 환경부는 2015년 43개소, 2020년 168개소의 수소충전소 구축을 목표로 한 ‘그린카 발전 로드맵’을 발표했지만 현재 운영 중인 곳은 10개소에 불과하다. 국내에 수소충전소 수는 일본의 77개소 대비 약 1/8 수준이며, FCEV를 충전할 수 있는 700bar의 압력을 갖춘 충전소는 7개 뿐이다. 현재 운영 중인 수소충전소는 부생수소 7개소, 수전해 1개소, 천연가스개질 1개소, 매립가스 개질 1개소로 국내의 환경을 고려할 때 부생수소를 사용하는 충전소의 확대와 함께 기존 인프라 전국 194개소의 CNG 충전소를 활용한 융복합 충전소의 확충을 위해 기술개발 및 규제개선이 시급하다고 할 수 있다.

정부는 2016년 정부와 지자체, 수소차 부품업체, 수



〈표 7〉 한·일 가정용 연료전지 산업 비교

| 구분    | 일본                                                        | 한국                         |
|-------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| 실증사업  | • 총 3,540대                                                | -                          |
| 주요용량  | • 0.7kW(경제성 중시)                                           | -                          |
| 보급대수  | • 10만대 돌파(2014년)                                          | • 1,939대(2014년)            |
| 정부 지원 | • 보조금<br>- 2009년 140만엔에서 현재 약 45만엔으로 축소<br>• LNG요금 역진제 적용 | • 보조금<br>- 설비비용의 최대 80% 지원 |
| 보급전략  | • 공동브랜드 구축 및 마케팅<br>(제조업체, 가스회사 및 LPG업체)                  | -                          |
| 보급가격  | • 약 200만엔                                                 | 약 3,800만원 ·                |

자료: 산업연구원, 「신에너지시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제」, 2016.8

소제조유통업체, 수소충전소설치 업체 등 42개의 회원사가 참여하는 민관협의체인 ‘수소융합얼라이언스’를 발족하고 FCEV와 충전인프라의 보급 확산을 위해 특수목적법인(SPC)의 설립 등을 추진하고 있다. 하지만 미국의 H2USA, 일본의 HySUT, 독일의 H2 Mobility 등 주요국 들은 2000년대 초반에 이미 민관 협의체가 구성되어 수소충전소의 보급·확대가 이루어지고 있다. 일본의 경우, 수소를 공급하는 이와타니산업은 수소 충전소에서 판매되는 수소가격을 하이브리드차 수준의 연비인 1kg당 1100엔으로 유지하고 있으며, 독자적인 액화수소방식의 수소충전소를 개발하여 대폭적인 충전소 설치비용 절감을 추진하고 있다. JX는 1kg당 1,000엔에 판매하는 등 가솔린 가격은 지역마다 다르지만 수소가격은 일본 전국이 동일하며, 토요타, 혼다, 닛산 등 완성차업체는 충전소 1곳당 연간 운영비의 30%에 해당하는 1,100만엔을 지원하고 있다.

수소 인프라의 구축에는 막대한 자금이 필요하며 민간기업의 투자가 필수적이라는 점을 고려할 때, 참여기업의 투자로 조성된 자금이 인프라에 투입되고 정부의 보조금과 더불어 시너지 효과를 창출할 수 있는 선순

환 구조를 구축하는 것이 필요하다. 수소 산업은 장기적 시점의 투자가 필요하며 가치사슬 내 타산업과의 연계성으로 인해 수익성이 불투명한 특징을 가지고 있다. 수소 산업의 육성을 위해서는 공급인프라와 함께 수요기기가 동시에 보급되어야 하며 이를 위해서는 시스템적 접근을 통한 정부와 민간의 부문 간 투자비용 부담 및 위험 분산이 요구된다.

한편, 수소산업의 발전을 위해서는 전반적인 제도 선진화 및 국산화율 향상을 통한 경제성 개선이 필요한 것으로 나타났다. 국내 수소산업의 경우, 주요국과 비교할 때 규제개선을 통한 산업육성 속도가 더디며 이로 인한 제품 국산화율도 저조한 상황이다. 국내의 경우, 관련 기준 개정을 통해 수소충전소용 저장용기(900bar)의 복합재료 사용 등 제도선진화를 추진 중에 있지만 주요국은 1,000bar용 복합용기의 수소충전소 이용이 이미 실용화 단계에 있다. 규제 정비로 가장 큰 경제성 개선 효과가 예상되는 수소충전소도 향후 해결되어야 할 부분이 다수 존재한다. 정부는 2016년 수소 융복합충전소 및 패키지형 수소충전소 시설기준 등에 관한 특례기준을 제정하고 수소인프라 확대를 위한 토대를 마련하였



〈표 8〉 국내 수소산업의 경쟁력

| 구분   |           |                 | 우위성 |
|------|-----------|-----------------|-----|
| 공급산업 | 수소제조      | • 부생수소 생산량      | ◎   |
|      |           | • 대용량 수전해       | ▲   |
|      | 수소저장 및 운송 | • 저압배관          | ○   |
|      |           | • 고압 및 중압배관     | ▲   |
|      |           | • 고압 배관 및 복합용기  | ▲   |
|      |           | • 액화설비 및 운반     | ▲   |
|      | 수소충전      | • 설치비용          | ▲   |
|      |           | • 충전소 설치수       | ▲   |
| 수요산업 | 가정용       | • 보급대수          | ▲   |
|      |           | • 기업경쟁력 및 관련 기술 | ○   |
|      | 발전용       | • 보급대수 및 용량     | ◎   |
|      |           | • 기업경쟁력 및 관련 기술 | ◎   |
|      | 수송용       | • 보급대수          | ▲   |
|      |           | • 기업경쟁력 및 관련 기술 | ◎   |
|      | 수소발전      | • 기업경쟁력 및 관련 기술 | ▲   |

주: 주요국 대비 국내 산업 및 기술의 경쟁력을 2차 자료 및 전문가 조사를 통해 ◎ 우위, ○ 보통, ▲ 미흡으로 평가  
 자료: 산업연구원, 「신에너지시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제」, 2016

다. 하지만 온사이트 충전소와 이동식 충전소 등의 설치를 위해서는 수소의 생산, 저장·운송 및 충전과 관련된 새로운 인증 및 기준 등 제도보완이 시급하다.

#### 나. 국내 수소산업의 발전전략

수소는 복잡성을 가지고 있는 새로운 형태의 에너지로 시장의 다양한 측면이 얹혀 있기 때문에 급격한 시장 확대는 기대하기 어려운 특성을 가지고 있다. 또한 공급 및 수요 가치사슬 구축에 막대한 규모의 비용이 소요됨으로 정부의 지원과 더불어 민간기업의 적극적인 투자참여가 필수적인 산업이다. 따라서 수소산업의 육성을 위해서는 다음과 같은 관점에서의 발전전략 수립

이 필요하다.

첫째, 기존 에너지원의 대체라는 관점보다는 전체 에너지시스템 속에서 수소에너지의 특성을 효율적으로 활용할 수 있는 계획 수립 및 방안 마련이 중요하다. 수소는 다양한 에너지원으로부터 생산되며 저장 및 운송이 가능한 복잡성을 가진 새로운 형태의 에너지이다. 수소에너지의 특성을 고려할 때, 국내의 에너지시스템 간의 관계 및 지역별 특성, 기술발전 동향, 시장 규모 등을 고려한 정량적 수요예측과 공급방안 마련이 필요하다. 우리나라는 일본과 유사한 수소에너지 생산 환경을 가지고 있으며 향후 수소 수요가 확대될 경우 해외로부터의 수입 등을 고려해야할 가능성이 존재한다. 이에 따라 국가 전체의 에너지믹스를 고려한 수소



공급방안에 대한 보다 구체적인 대응방안 마련이 요구된다.

둘째, 정부의 명확한 정책적 의지표명을 통한 시장의 불투명성 해소가 요구된다. 수소산업의 초기 활성화 및 향후 자립화를 위해서는 민간 투자가 필수적이며 이를 위해서는 수소산업 육성에 대한 정부의 정책적 의지를 시장에 명확히 전달하는 것이 중요하다. 특히 수익성이 불확실한 산업 초기단계에서 민관이 공유할 수 있는 보다 구체적인 목표 및 로드맵, 추진전략의 제시는 민간 투자 유도에 매우 효과적이라고 할 수 있다. 일본의 경우, 2013년 발표된 에너지기본계획 법안에 '수소사회 실현'을 명문화하며 국가차원의 적극적 정책 의지를 표명하고 있다. 초기 형성단계에 있는 수소산업의 육성을 위해서는 미래시장에 대한 불안감을 해소시켜 민간기업의 신뢰를 확보하고 투자를 이끌어 낼 수 있는 정책 마련이 필요하다.

셋째, 민간 참여의 장 확대를 통한 비용 및 위험 분산이 요구된다. 수소산업 발전 속도의 가속화 및 시장자립화를 위해서는 민간 참여의 확대를 통해 이해관계자들에게 투자비용 및 위험을 분담시키는 산업육성 시스템이 필요하다. 주요국의 수소산업 발전 과정의 특징을 살펴보면, 공공주도의 R&D 및 실증·상용화 단계뿐만 아니라 정책 수립 및 로드맵 설정, 구체적 전략 마련 등의 전반적인 과정에 민간 기업이 참여하고 있다. 정부가 한정된 예산으로 효율적 산업 활성화를 추진하기 위해서는 전체 과정 속에 민간이 참여할 수 있는 장을 확대하여 시장 불확실성을 감소시키고 투자를 유도할 수 있는 시스템 구축이 필요하다.

넷째, R&D에서부터 실증사업 및 상용화로 이어지는 정부, 지자체 및 기업 간의 유기적인 협력관계를 구축해야 한다. 국내 가정용 연료전지 산업의 경우, 일본의 에네팜 사업과 같이 실증 사업이 시장의 수요를 반영하

거나 새로운 수요를 창출할 수 있는 정부와 민간기업간의 유기적인 협력체계 구축이 요구된다. 정부는 시장의 수요를 정확히 파악하여 R&D 및 실증사업이 상용화로 이어질 수 있는 체계를 마련해야 하며 실증사업 등을 통해 축적된 데이터를 바탕으로 한 규제 개선 및 정책 마련이 필요하다.

다섯째, 제도 선진화를 통한 경제성 개선이 시급하다. 초기 시장 형성단계에 있는 수소산업이 자생적 발전단계에 진입하고 경쟁력을 갖추기 위해서는 경제성 확보가 중요하다. 산업 초기단계에서는 규제개선을 비롯한 규격과 인증마련 등의 제도선진화가 경제성 개선의 효율적 수단으로 작용한다. 수소충전소 구축 사례 등에서 알 수 있듯이 제도 선진화는 직접적인 비용저감 효과를 유발한다. 제도 선진화로 유발된 비용 절감 효과는 제품 양산에 따른 규모의 경제효과로 이어져 직간접적으로 관련 산업의 기술 개발 촉진 및 원가절감을 유도할 수 있다.

마지막으로 수소산업 육성을 위한 컨트롤 타워 역할의 강화가 요구된다. 미국과 유럽은 특정 협의체가 FCEV 및 수소충전소의 보급 및 구축계획을 조율하고 투자자의 역할을 수행하고 있다. 미국의 경우 민간 파트너십 조직인 CaFCP가, 독일은 에너지업체 6개사의 공동 출자회사인 H2 Mobility가 수소인프라 사업 계획 책정과 보급 지역 등을 분석하는 역할을 수행하고 있다. 정부는 협의체와의 논의를 바탕으로 보조금 등의 지원 정책과 제도선진화를 통해 산업기반을 구축하고 협의체에 참여하는 민간기업이 투자, 설치 및 운영을 담당하는 구조이다. 수소산업과 관련된 민간업체 및 관련업체가 주도적으로 산업육성에 참여하고 투자에 참여할 수 있는 중추기관의 역할 강화가 필요하다고 하겠다.



## 참고문헌

### 〈국내 문헌〉

- 산업연구원, 「신에너지시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제」, 2016.8
- 산업통상자원부, 「신·재생에너지 백서」, 2014.2
- 제5차 Nuclear Hydrogen Workshop), “수소연료전지자동차 개발, 보급현황 및 전망,” 2016.5
- 포스코경영연구원, “2017년 국내외 에너지시장 전망,” 2017.2
- 한경BUSINESS, “21세기 골드러시,” 2015.8
- 한국석유관리원, “미래를 위한 지속가능에너지, 수소,” 「K-Petro」 제116호, 2015.12
- 한국에너지공단, 「주간 에너지 이슈 브리핑」, 2016.3
- 한국자동차산업연구소, “수소에너지 인프라 관련 기술 혁신 방향,” 2014.1

### 〈외국 문헌〉

- 4th Energy Wave, Fuel Cells Annual Report 2015, 2016
- Frost&Sullivan, Strategic Analysis of the Fuel Cell Vehicles(FCV) Market in North America and Europe, 2014
- IEA, World Energy Outlook 2015, 2015.11.
- Navignat Resarch, Fuel Cells Annual Report 2014, 2015.1
- NEDO, 「NEDO水素エネルギー白書」, 2015.2
- 大和総研, “水素社会の兆し 第1~7回,” 2014.
- 富士経済, 「2015年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」, 2015.7
- 経済産業省, 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」, 2014

野村総合研究所, 「水素社会の実現に向けた取組に関する調査」, 2016.3

水素燃料電池戦略協議会, 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」, 2016

### 〈웹사이트〉

미에너지정보청(EIA), [www.eia.gov](http://www.eia.gov)