

해외 주요국의 수소경제에로의 이행 전략

부 경 진

에너지경제연구원 연구위원



〈 목 차 〉

I. 들어가기 전에

II. 개 관

III. 주요국의 수소경제로의 이행전략

IV. 종합요약 및 시사점

참고문헌

I. 들어가기 전에

수소경제는 이제 선택사항이 아니라 피할 수 없는 미래로 우리에게 다가오고 있다. 최근 대부분의 선진산업국 리더들은 하나같이 지속가능한 에너지체계로서 지향하는 유일한 대안은 수소경제라는 발언을 서슴치 않고 있고, 에너지 및 환경 관련 국제회의에서 수소경제는 빠지지 않는 하나의 화두가 되고 있다.

이렇듯이 수소경제의 도래가 점차 현실적인 문제로 다가옴에 따라 우리나라도 수소경제의 국가비전을 수립하고 장기 기술 및 정책 로드맵의 작성을 통해 효율적인 대응책을 강구해야 할 시점에 이르렀다. 이러한 시대적 요청에 부응하여 우리나라도 효율적인 수소경제 체제로의 이행을 위한 국가비전과 마스터플랜을 수립하여야 할 것인바, 본고는 이에 앞서 해외 선진국의

수소경제에로의 이행을 위한 전략개발에 대해 알아보고자 한다.

II. 개 관

수소는 고갈되지 않으며 깨끗하다는 (inexhaustible and clean) 장점 때문에 에너지정책입안자와 환경단체 및 산업부문에서의 에너지전문가들은 이를 미래의 연료로 인식하고 개발 및 보급에 지대한 관심을 가지고 노력하고 있다. 최근의 기술진보와 다양화되고 지속가능한 기술에 대한 수요증대에 힘입어 세계 주요 선진국 정부는 수소와 연료전지에 대한 R&D를 강화하고 있다(IEA 2004, Solomon 2004). 새로운 프로그램의 추진에 따라 글로벌 정부 R&D 투자가 연간 10억달러를 상회하고 있으며, 특히, 연료전지에 대

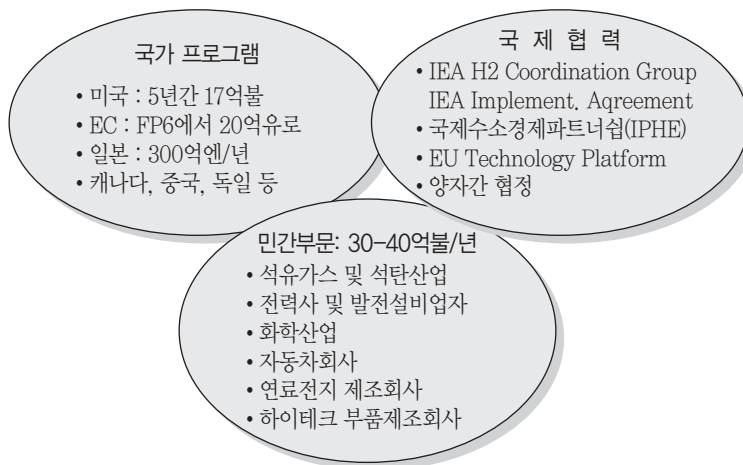
한 투자액이 늘고 있고 이와 병행하여 수소의 제조와 저장, 운반 및 이용 관련 기술투자도 증대일로에 있다. 정부부문의 R&DD 및 보급 투자가 기술개발 및 상업화에 촉매역할을 하지만 이에 못지않게 민간부문의 투자도 중요하게 등장하고 있다. 최근 민간부문의 기술개발 및 산업화 투자가 크게 증가하고 있는 추세이고, 이는 연료전지 시장개발의 촉진제 역할을 하고 있으며, 특히, 메이저 석유가스회사, 자동차회사, 전력사, 발전설비제조사와 함께 군소 중소기업체들이 수소 및 연료전지 시장에서 활발하게 활동하고 있다.

이러한 글로벌 사업활동은 앞으로 더욱 심화될 것으로 내다보이며, 이는 세계 주요국들의 연차투자계획에서 잘 나타나고 있다. 미국의 경우, 향후 5년간의 17억 달러 투자계획(2012년까지 55억 달러 투자)과 함께 EU의 제6차 Framework Program에서 밝힌 20억 유로 투자계획, 일본의 연간 300~400억엔을 위시하여 캐나다와 독일 및 이탈리아에서도 대규모 투자계획을 수

립하고 있다. 정부의 R&D 노력과 장기투자계획은 다음 3가지 국제협력 프로그램에 의해 지지되고 있다.

- IEA의 수소협력그룹(Hydrogen Co-ordination Group: HCG): 2003년 4월 IEA 회원국은 IEA 사무총장의 국가 R&D 프로그램과 정책·전략간의 협조를 촉진하기 위한 정부간 협력체제 결성에 대한 제안에 따라 설립.
- 국제수소경제파트너십(the International Partnership for Hydrogen Economy: IPHE): 2003년 11월 미국의 주도로 16개국이 모여 수소 및 연료전지에 대한 공공 및 민간 협력을 지원하기 위한 글로벌 고위층 정치협력의 장이 마련됨.
- 유럽수소·연료전지기술플랫폼(European Technology Platform for Hydrogen and Fuel Cells): 2004년 1월에 유럽공동체(EC)에 의해 EC의 Framework Program 내의 공공/민간 R&D 프로그램의 종합추진을 위해 설립.

〈그림 III-1〉 수소·연료전지를 둘러싼 국가 R&D 노력과 국제협력



이슈 진단

III. 주요국의 수소경제로의 이행전략

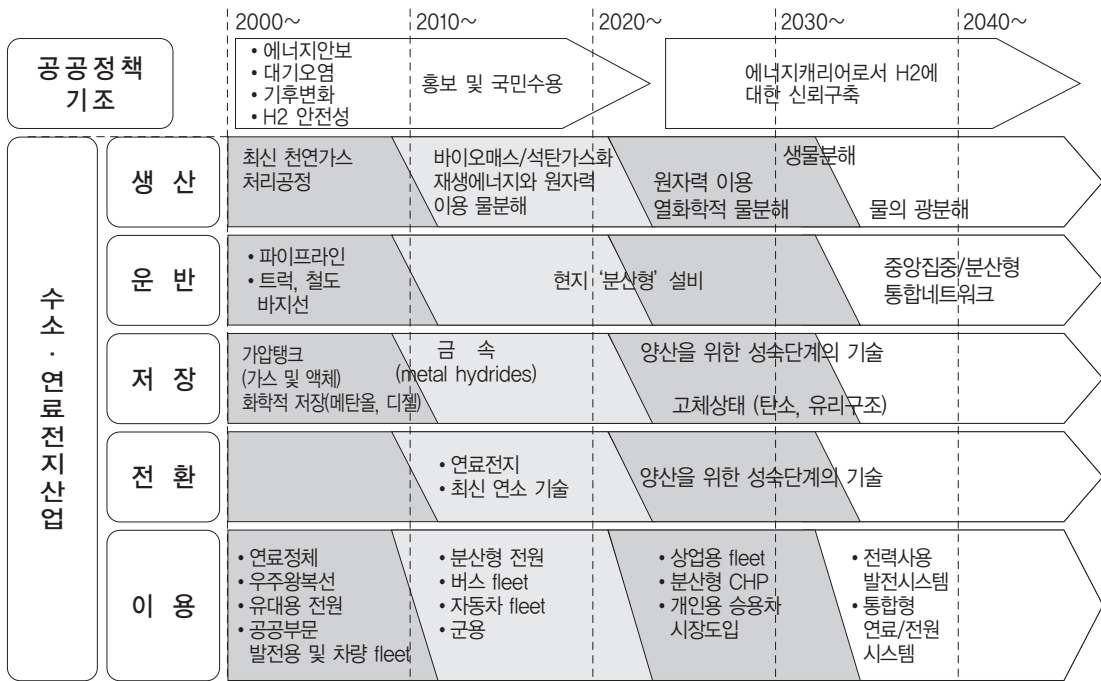
1. 미 국

미국의 연료전지 개발활동은 1960년대 Gemini 우주선에 연료전지를 탑재하는 NASA 프로젝트로부터 시작되었다. 그 후 미국은 여러 종류의 연료전지 개발을 주도하였고 세계 최초로 인산형 연료전지(PAFC)를 시장에 내놓았으며, 나아가 용융탄산염형 연료전지(MCFC)와 직접메탄올 연료전지(DMFC), 고분자전해질형 연료전지(PEMFC)와 고체산화물형 연료전지(SOFC)의 개발에 주력하였다.

가. 연방 프로그램

세계 최대 에너지 소비국인 미국은 1990년에 Matsunaga Hydrogen R&D Act가 제정되었고, 이에 기반하여 1992년부터 미에너지부(DOE)의 “Hydrogen Program”이 추진되어 오면서, 수소의 제조와 저장, 안전성, 인프라, 응용을 포함한 전반적인 기술 개발에 연평균 1,800만불을 투자하여 왔다. 한편, 2002년 2월 미국의 수소경제로의 이행을 위한 국가비전(National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy to 2030 and Beyond)을 작성하여 발표하였다.¹⁾ 동 국가비전은 미국의 장기 에너지문제의 해결책으로서 수소의

〈그림 III-2〉 미국의 수소경제 이행을 위한 로드맵



자료 : USDOE, 2004, Hydrogen Posture Plan, An Integrated Research, Development, and Demonstration Plan.

1) USDOE, 2002, A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy - To 2030 and Beyond, February 2002.

중요성을 평가하고 2015년을 목표로 실용화 기술개발을 완료하고 2030-2040년 사이에 수소경제를 실현하는 것을 목표로 산업체와 연방 및 주정부 에너지 정책부서, 학계, 환경단체, 국립연구소의 전문가 53인이 모여 분야별로 심층토론을 거친 뒤 보고서로 작성되었다.

2002년 12월 상기 보고서의 비전에 바탕을 두고 국가수소에너지로드맵(National Hydrogen Energy Road Map)을 작성하였다.²⁾ 동 보고서의 골자는 1) 국가 수소경제비전의 달성을 위한 도전과 전략을 수립하고, 2) 상업화를 위한 기술표준과 장비 및 설비기준의 개발을 병행하고, 3) 부문별 전략으로는 다음과 같은 세 부 행동계획을 수립하였다.

- 수소생산(production): 화석연료(특히, 석탄)을 원료로 한 수소생산에 주력
- 수소운반(delivery): 파이프라인, 트럭, 철도, 분산형 발전설비, 수소스테이션 등의 통합 네트워크를 구성
- 수소저장(storage): 수송용 연료전지 부문에 필수적 요소
- 전환부문(conversion): 직접연소, 연료전지의 양산으로 단가 저렴화
- 응용분야(applications): 연료제조, 우주선용, 휴대용, 발전용 및 가정·상업용

2003년 1월 부시 대통령은 연두교서에서 대통령연

료계획(President's Fuel Initiative)을 공표하여, 기존의 FreedomCAR (Cooperative Automotive Research) 프로그램과 연계하여 통합추진(FreedomCar and Fuel Initiative)하고, 장기 수소에너지기술과 인프라개발 프로그램에 최초 5년간 \$17억 투입할 것을 약속하였다.³⁾ 또한 FutureGen 프로젝트를 새로이 추진하여 제로공해, 석탄기반 수소생산(전기와 수소를 동시에 생산하면서 CO2 포집 및 처리 기술의 개발을 병행)에 2018년까지 \$950백만 투입할 계획을 발표하였다. 동 계획의 목표는 수소생산 비용저감과 고효율, 저비용의 수소저장, 체계화되고 비용효과적인 최적의 운반시스템의 개발과 고성능 저비용의 연료전지 상용화이다. 이와 함께 수소·연료전지 관련 애로기술(critical path technology)의 목표를 다음과 같이 제시하였다.⁴⁾

- 수소생산에 대해서는 2010년까지 제조단가를 천연가스를 원료로 하는 경우 \$1.50/kg까지,⁵⁾ 바이오매스 원료 수소생산인 경우 \$2.60/kg (75톤/일 규모)로 하여 2015년까지 휘발유와 경쟁이 가능하도록 하고, 재생에너지 기반 수소생산의 경우 \$2.00~2.50/kg까지 제조단가를 인하
- 수소저장에 대해서는 2005년까지 \$6/kWh, 2010년까지 \$4/kWh로 저장단가를 인하. 자동차 탑재용 수소저장 장치의 총중량대비 저장비율을 9%까지 높이고 주행거리도 300마일(480km)로 연장.

2) USDOE, 2002, *National Hydrogen Energy Roadmap. Production · Delivery · Storage · Conversion · Application · Public Education and Outreach*, November 2002.

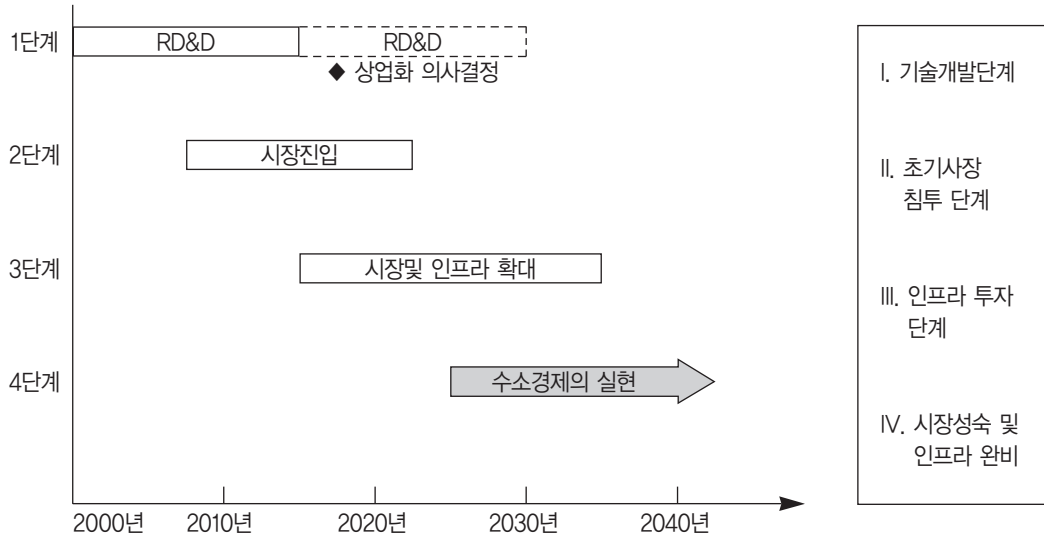
3) 최근 발표된 자료에 의하면 미에너지부(DOE)는 2012년까지 수소·연료전지 R&D 및 상용화에 총 55억달러를 투자하기로 결정한 바 있음(www.energy.gov).

4) 수소경제의 실현을 위한 애로기술(Critical Path Technologies)에는 1) 수소제조와 운반에 필요한 비용저감, 2) 소형화되고 가볍고, 저렴한 비용의 안전하고 효율적인 저장시스템, 3) 연료전지 부품 및 소재의 비용저감, 4) 비용효과적인 탄소포집과 처리과정, 5) 수소이용의 안전성을 보장하는 디자인과 소재개발이 포함됨.

5) 미국 에너지부는 최근 고유가의 장기화 추세를 반영하여 수송용 휘발유와 경쟁가능한 목표를 \$1.5/kg에서 \$2.0~3.0/kg으로 상향 조정하였음(DOE Website 발표자료 인용).

이슈 진단

〈그림 III-3〉 수소경제 히어링에서의 정부와 민간의 역할



자료 : US DOE, 2004, *Hydrogen Posture Plan, An Integrated Research, Development, and Demonstration Plan*, February 2004.

-연료전지에 대해서는 수송용 연료전지의 경우, 발전 효율 60%를 기준으로 하여 2010년까지 \$45/kW, 2015년까지 \$30/kW까지 제조단가를 인하하고 내용년수도 5,000시간으로 연장. 분산형 발전용의 경우 2010년까지 효율 40%, 운전시간 4만 시간의 기술목표를 실현하고 발전단가도 \$400~700/kW로 낮춰 화력발전과 경쟁가능토록 함.

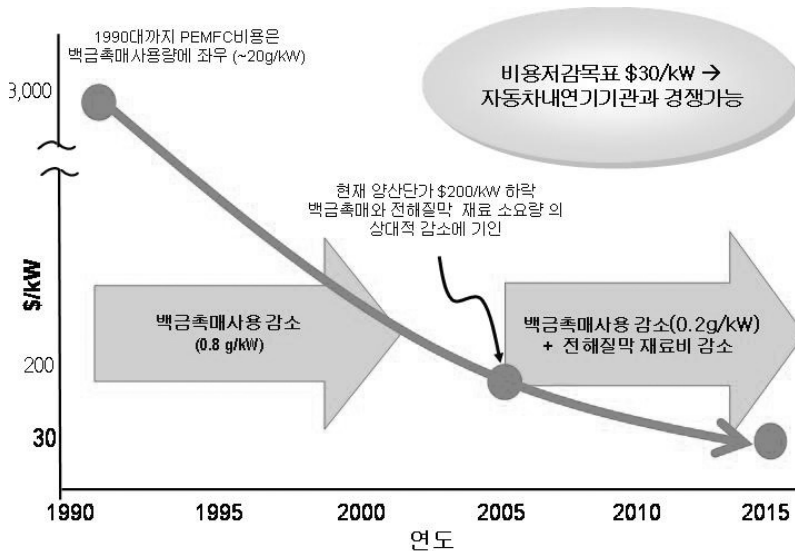
부시대통령의 Hydrogen Initiative의 구체적인 추진계획으로 미에너지부(DOE)는 Hydrogen Posture Plan을 수립하여, 기존 수소, 연료전지 관련 연구개발을 재구성 및 재구조화하고 DOE 관련실/국, 부처간의 연대강화, 정부와 민간의 역할을 명시함과 동시에, 수소경제의 실현에 이르는 과정을 4단계로 구분하여 단계별 과제와 행동계획을 명시하였다. 단계별 목표 및 전

략은 다음과 같다.

- 제1단계(2000~15): 기술개발: 본격적 인프라 투자에 앞서 애로기술의 해결과 안전성 확보와 교육 홍보, 기술 및 제품 표준화
- 제2단계(2010~25): 초기시장침투: 휴대용, 가정 상업용, 수송용 시스템의 상업화와 정부주도의 인프라투자 개시
- 제3단계(2015~35): 시장확대 및 인프라정비: 발전용, 수송용 연료전지 상업화, 인프라의 상업적 운영
- 제4단계(2025~): 수소경제의 실현: 연료전지 시장성숙과 수소공급 인프라 완비로 수소경제의 정착

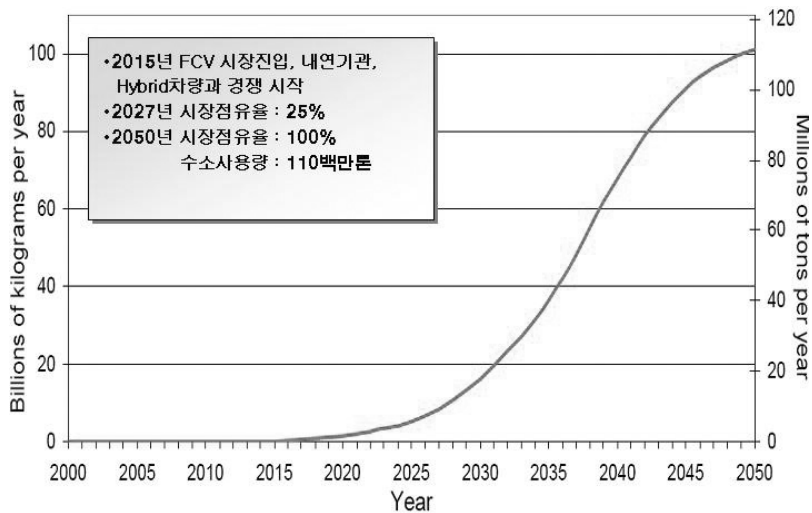
이러한 Hydrogen Posture Plan이 순조롭게 추진

〈그림 III-4〉 고분자 전해질 연료전지(PEMFC, 50kW) 비용저감 추세



자료: US DOE, 2004.

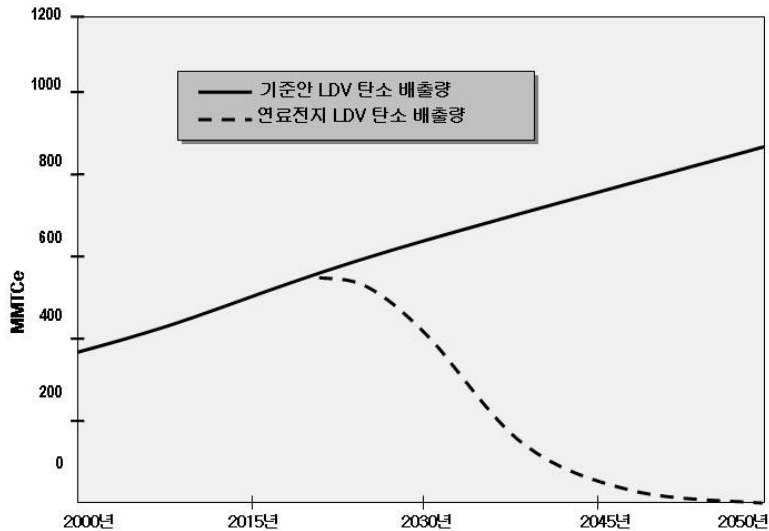
〈그림 III-5〉 미국의 연료전지 자동차의 보급에 따른 수소수용 전망



자료: National Academy of Science. 2005. *The Hydrogen Economy. Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs.*

이슈 진단

〈그림 III-6〉 미국의 수소경제 실현시 환경편익



자료: US DOE, 2004, *Hydrogen Posture Plan. An Integrated Research, Development, and Demonstration Plan*, February 2004.

된다면 그림 5에서와 같이 2015년부터 본격적으로 연료전지 차량(FCVs)이 상용화되기 시작하여 2050년에는 모든 차량이 연료전지 차량으로 대체될 것으로 내다 보고 있다. 또한 수소경제가 실현되는 경우 수송부문에서의 온실가스 배출량이 제로 되는 이로 인한 환경적 편익도 상당할 것으로 기대된다(그림 6 참조).

나. 미국주도의 국제공동협력 프로그램

1) 국제수소경제파트너십(The International Partnership for Hydrogen Economy: IPHE)

IPHE는 미국 주도로 결성되었으며, 현재 EU를 포함하여 16개국이 참가하고 있다.⁶⁾ 동 프로그램에서는 대체로 다음과 같은 공동협력사항들이 논의되고 있다.

- 애로기술(critical path technologies) 해결을 위한 국제두뇌 공동협력
- 공용의 국제 규격 및 표준 (international codes and standards) 개발
- 수소 및 연료전지 기술개발과 보급을 위한 정책 및 기술 가이드라인의 마련
- 대규모, 장기 공공-민간 협력체제 구축
- 기술, 금융, 정책 도전과 기회의 활용

미국은 IPHE를 토론회의 장으로 삼아 제한된 R&D 자금의 효율적 활용하고, 이해당사자간의 정보교류를 통해 비용효과적인 수소경제로의 이행전략을 강구하도록 제안하였다. 이러한 미국의 제안에 따라 2003년 11월 19~21일 참여국의 에너지관련 장관이 미국 워싱턴

6) 회원국은 미국, EC, 일본, 호주, 한국, 중국, 캐나다, 브라질, 프랑스, 독일, 아이슬란드, 인도, 이태리, 뉴질랜드, 노르웨이, 러시아, 영국의 17개국으로 구성.

에 모여 출범식(Ministerial Meeting) 거행하였다. 이후 지금까지 3차에 걸친 Steering Committee Meeting 개최와 함께 7차례에 걸친 분야별 학술대회가 열린 바 있다.

2) EU-US Cooperation on Fuel Cells and Hydrogen

동 협정은 포괄적인 과학기술 협력 협정으로서 구체적인 목표설정과 상세한 추진전략을 담고 있다. 목표는 대서양 양안의 거대 지역경제 간의 배타적 상호협력 체계를 구축하여 수소·연료전지에 관련한 기술개발의 가속화와 시장선점을 지향하는 것이다. 미국은 교토의정서 탈퇴 이후 기후변화 협약과 관련한 제 2의 대화채널을 마련하는 데 목적을 두고 있다. 동 협정에서 양국이 추구하는 협력방향은 다음과 같다.

- 국제규격과 기준(테스트 및 인증) 개발
- 연료전지 핵심 요소 및 시스템 기술, 수소생산, 저장 등에 관한 애로기술(critical path technologies)의 선점
- 수소 및 연료전지 기술에 대한 정보 및 자료 교환
- 수소 및 연료전지 기술의 개발 및 보급전략의 벤치마킹

2. EU

유럽은 스스로 수소와 연료전지 기술을 개발하고 공급하는 데에 주도적인 역할을 담당할 수 있는 기술기반과 자원베이스, 잠재력을 충분히 소지하고 있는 것으로 평가된다. 유럽의 문화적 사회적, 경제적 다양성은 수소경제 구현에서 강점으로 작용하며, 이러한 다양성이 전략적으로 활용된다면 수소경제의 조기실현이 가능한 것으로 평가된다. 그러나 현재 유럽 정책과 연구개발 활동은 개별 국가 내에서 또한 국가 간에 분산되어 있

는 실정이다. 상기 유럽국가 및 지역별로 분산된 정책과 연구개발 활동을 하나의 구심점을 가지고 효율적으로 추진하기 위해 수소경제로의 이행을 위한 5대행동계획(action plan)을 다음과 같이 수립하였다.

- 정치적 구조(A Political Framework)**: 미래 수송과 에너지전략 및 정책이라는 확장된 차원에서 새로운 기술의 시장진입을 수월하게 하는 정치환경의 조성
- 전략적 연구 아젠다 (A Strategic Research Agenda)**: 유럽차원에서 협력체계로서 지역사회와 국가프로그램을 지도
- 보급전략 (A Deployment Strategy)**: 개발기술이 원형단계에서 시범단계를 거쳐 상업화단계에 이르도록 함. 이를 위해 특혜적인 지원의 집중조명(lighthouse) 프로젝트
- 유럽 수소 및 연료전지 로드맵 (A European Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells)**: 수소경제로의 이행을 위한 가이드, 옵션평가, 목표설정, 연구개발, 시범사업 및 투자, 상업화 의사결정 시점 등.
- 유럽 수소 및 연료전지 기술 파트너십 (A European Hydrogen and Fuel Cell Technology Partnership)**: 자문 위원회(Advisory Council)의 주도하에 이해당사자간의 컨센서스에 기초, 상기 활동의 방향설정 및 추진 수단으로서 자문을 제공하고 기획과 진도점검을 수행.

가. 연료전지와 수소의 개발전략 준비 - High-Level Group(HLG)의 설치

EU는 현재 수소와 연료전지에 관한 전략을 준비하

이슈 진단

고 있는데, 이는 2001년 11월의 “자동차용 석유대체연료의 보급에 관한 행동계획”에서 예정되어 있는 사항이다. 동 행동계획은 2020년 시점에서 수소연료이용 전략을 결정하기 위해 EU 차원에서의 전문가와 민간업자를 결집하여 “High-Level Group”를 설치하여 전략결정을 담당토록 하였다. 동 High-Level Group은 2002년 가을에 설치되어 10월에 제1차 회합을 가졌고, 그룹의 작업목적이나 작업스케줄 등을 결정하고 있다. 동 그룹에 부여된 종합적인 사명은 20년 내지 30년 후의 수소경제에 대한 전망과 유럽의 선구적인 역할을 제시하고 있다.

나. High-Level Group의 구체적 사명

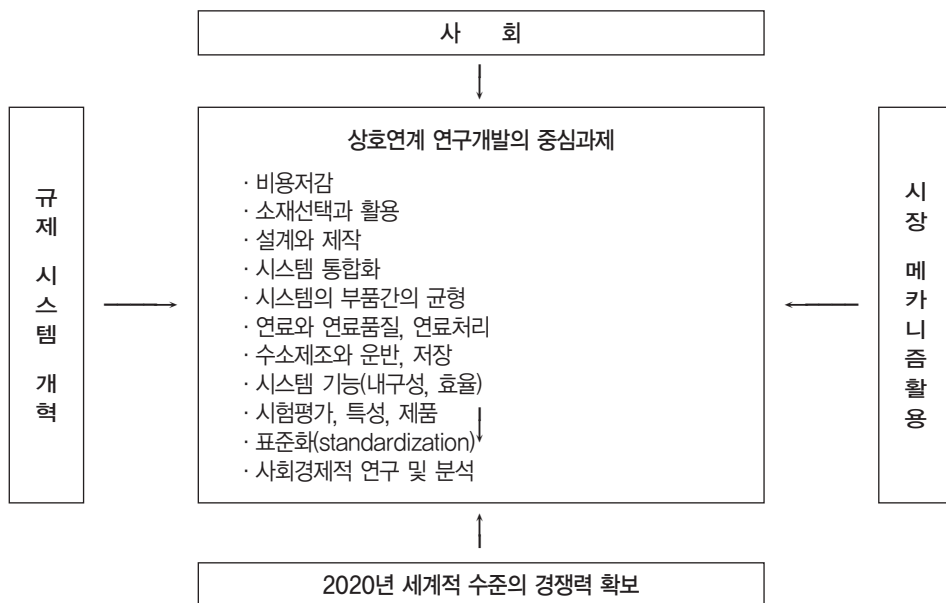
High-Level Group의 당면과제는 2003년 4월에

작성된 “전망에 관한 보고서”에 기초하여 향후 20년 내지 30년 후의 수소경제 도래에 필요한 과제를 검토하는 것이다. 이를 위한 작업테마는 장기전망과 연구전략, 개발전략의 3개 분야로 구분하여 설정하였다.

1) 장기전망: 시나리오의 설정

“수소에 의한 지속가능한 에너지 경제”의 관건이 되는 요소로서 수송부문과 분산전원, 휴대용전원의 각 분야에서의 수소의 역할, 그리고 수소경제의 도래시기, 수소경제 이행 전략에 관한 사회전체의 조망, 수소 생산과 공급과 관련된 다양한 연료원, 경제적 환경적 효율에 관한 장기전망을 담고 있다. 이와 함께 경제와 고용, 산업구조의 변화에서의 패러다임 전환(paradigm shift), 즉, 사회경제적 임팩트와 이에 기초한 가치관의 전환에 관한 전망과 함께 수소와 연료전지의 새로운 이

〈그림 III-7〉 EU의 전략적 연구개발 과제의 핵심요소 및 동인



자료 : EC, 2003, *Hydrogen Energy and Fuel Cells, A vision of our future.*

용방법에 관한 전망도 포함시키고 있다.

2) R&D전략의 개발

연구개발의 추진에는 1) R&D 미래전략에 관한 권고, 2) 교육과 훈련, 노우·하우 등의 제공에 따르는 인적자원 수요에의 대응, 3) 유럽연구센터(소프트에 의한 제후관계)를 위한 권고, 4) R&D분야의 국제협력, 5) EU의 R&D활동은 시스템적 계획으로 결정되기 때문에 High-Level Group의 작업이 관계하는 연구전략에 관해서는 제후관계나 국제협력을 위한 권고가 중요하다.

3) 개발전략의 작성

개발전략의 작성에는 1) 수소와 연료전지에 관한 상용화를 위한 기술적 및 안전을 포함한 기술외적 장벽의 분석, 2) EU의 강점과 약점에 관한 분석과 강점의 장려와 약점의 극복을 위한 제안, 3) “세계선진기술의 획득에 관한 EU 프로그램의 개발”에 관한 권고, 4) 수소와 연료전지의 유효이용과 보급촉진을 위한 권고 등이 포함된다.

EU는 전략적 결정의 “전망에 관한 보고서”에 계속하여 High-Level Group의 제2단계의 활동으로서 전략실시수단을 정하는 “EU 수소 행동계획”이나 “로드맵”의 작성을 예정하고 있다. 이 작업을 맡을 그룹은 기존 조직을 활용하거나, 경우에 따라서는 별도의 신규 그룹이 설치될 가능성도 있다.

다. 연구개발노력

1) 제5차 Framework Program에서의 수소역할

EU는 종합적인 연구개발 프로그램인 Framework Program에서 연료전지와 수소의 연구개발 프로젝트를 추진하고 있다. 1998년에 개시되어 2002년에 종료

된 제5차 Framework Program은 “에너지와 환경, 지속가능한 발전”이라는 테마프로그램으로서 에너지분야의 중요과제로 수소·연료전지 관련 연구개발 활동을 수행한다. 2001년의 동 분야에서의 활동에 대한 조성액은 수소관련 250만유로외에 연료전지 관련 3,000만유로로 책정된 바 있다. Framework Program에서의 연구개발 프로젝트는 프로그램 비용 30%(실증사업)에서부터 50%(연구개발사업)이 투입되었다. 제5차 Framework Program에서 연료전지 및 수소관련 프로젝트 가운데 최근 대표적인 것은 다음과 같다.

— EIHHP 1&2 (European Integrated Hydrogen Project: 유럽통합수소프로젝트):

수소와 연료전지에 관한 유럽차원의 법규제나 표준에 관한 조사와 더불어 EU 차원의 표준화를 위한 조사. 더 나아가서 제1기에서 수소를 연료로 하는 자동차의 인가에 관한 초안이 완성됨. 제2기 (2001-2004)에는 EU와 미국의 협력에 대한 합의를 기초로 글로벌 표준화를 도모함. 법규에는 수소·연료전지 자동차의 부품뿐만 아니라 안전기준이나 수소연료보급용 인프라 등도 대상에 포함.

— CUTE: DaimlerChrysler 제조의 연료전지버스 Citaro (연료전지는 Ballard사 제조)를 27대, 유럽 8개국 9대도시에서 2년간 실증시험 운행. 연장 25만시간에 육박하는 운행실적을 통해 연료전지 버스의 양산화 기반을 구축. 또한 수소생산과 수소 스테이션 등 연료인프라에 필요한 설계와 제조, 운전의 노우·하우 획득이 목적.

— HYPNET: 유럽의 수소·연료전지 관련 연구개발 기관의 네트워크 구성을 목표로 두고 인프라기술에 관한 로드맵을 작성하고, 유럽의 연구개발전략을 준비하는 프로젝트. 2002년에 개시되어 2004

이슈진단

년 말까지 실시.

-소형 가스터빈에 의한 SOFC 연료전지 MW급 실증시험: 제1기에는 SOFC의 스펙에 맞는 소형 가스터빈을 사용하여 에너지효율 50% 정도의 운전 을 실시. 제2기에는 가압식 가스터빈을 사용하여 에너지효율을 60%까지 제고시키는 시험운전. 이러한 실증시험은 EU와 미국의 연료전지개발에 관한 양자간 협정에 기초한 공동출자 프로젝트에 의해 2000년부터 2003년말까지 실시됨.

2) 제6차 Framework Program에서의 수소의 위치
2002년 11월에 개시된 현행 제6차 FP에는 수소 · 연료전지 관련 연구개발 활동은 우선추진 테마인 “지속가능한 발전, 기후변화와 에코시스템” 하에서 진행되고 있다. 2006년까지의 계획기간 중, 우선테마에는 전 부 21억 2,000만유로의 예산이 투입될 예정이다. 우선 테마는 “지속가능한 에너지 시스템,” “지속가능한 육상 교통,” “기후변화와 에코시스템”의 3개 분야로 나뉘어, 수소 · 연료전지는 이 가운데 “지속가능한 에너지 시스템” 내에서 실시되고 있다. 동 하위 테마인 “지속가능한 에너지 시스템”에는 8억 1,000만유로의 예산이 배정되었다. 하위 테마인 “지속가능한 에너지 시스템”은 단기 및 중기 임팩트를 갖는 연구개발과, 중장기적 임팩트를 주는 연구개발의 2분야로 구분되어 수소 · 연료전지는 이 가운데 후자로 분류된다

중장기적 임팩트를 갖는 연구개발의 테마는 5개로 서 “연료전지,” “에너지 캐리어,” “재생가능에너지,” “탄소포집,” “사회경제통”로 구성된다. 이들 5개 테마에 4억 500만유로가 배정되었고, 이중 “사회경제 통”로는 조사연구활동이 있고 실질적인 연구테마는 4개 이다. 이들 4개 가운데 연료전지는 에너지 캐리어인 수소의 테마가 반을 점하고 있다. 테마간의 예산배분

은 응모 프로젝트의 질에 따라 결정되며, 수소 · 연료전지에 할당된 예산은 과거에는 구분되지 않고 있으나, 제5차 Framework Program에서 배정된 1억 3,500만유로에 비해 크게 증가하였다. 또한 제6차 Framework Program부터 연구개발예산은 집약적으로 운용되는 것으로 결정되어, 수소 · 연료전지에 관해서도 대형 프로젝트의 공모가 실시되고 있고, 이들 대형 프로젝트 하에서 복수의 하위 프로젝트가 실시될 것으로 보여진다.

2003년부터 2004년에 걸쳐 프로젝트 공모자료의 과업지시서에 의하면 연료전지와 수소에 관한 우선연구항목은 다음과 같다. 우선 연료전지를 살펴보면 다음과 같다.

-수kW부터 수MW 범위의 고온연료전지 (분산형 발전, 열병합발전, 이동전원). 시스템 코스트는 설치용이 1,000유로/kW (자동차의 보조전원용의 경우는 150유로/kW 이하)를 목표로 함. 내용년수는 4만시간 이상을 목표. 연료전지 시스템의 실증 시험시간은 이에 준함.

-설치용/수송용 고체산화물 SOFC의 개발: 설치용 시스템 코스트 100유로/kW, 내용년수 3만시간 이상, 수송용 시스템 코스트 50유로/kW 이하, 내용년수 5,000시간 이상.

-고체고분자형 연료전지(PEMFC)와 직접메탄올형 연료전지(DMFC)에 관한 새로운 기술개발 (재료, 프로세스, 부품, 시스템 등에서의 코스트 인하의 관련이 되는 기본적인 신기술 개발)

이상 3개 항목 가운데 처음 2개가 통합 프로젝트로 불리우는 대형 프로젝트로서 세부 테마 프로젝트를 복수, 동시에 진행시키고 있다. 3개 항목의 테마는 “탁월한 연구개발기관 네트워크 프로젝트”로 불리우는 프로

젝트로서 “유럽의 우월한 연구개발기관이 공동으로 작성하여 제출한 프로젝트 제안”으로 선정되었다. 기타, 소형 휴대용 연료전지의 개발, 연료전지의 분석용 차세대 컴퓨터 모델의 개발 등 테마가 소규모 프로젝트로서 모집되고 있다.

- 다음으로 수소 공급 인프라를 살펴보면 다음과 같다.
- 화석연료와 신재생에너지 등에서 수소를 생산하거나 수소고순도화를 위한 코스트 효과가 있는 기술의 선정, 개발, 유효성 평가.
- 안전성 및 비용효과적인 수소저장매체와 설치용/수송용과 관련된 인프라의 평가와 개발
- 차세대의 지속가능한 에너지 시스템에서의 에너지 캐리어로서의 수소의 준비.
- EU에서의 수소기술과 그 이용에 관한 안정성 평가와 시험수단의 조정, 품질표준보증에 관한 확고하고 신뢰할 수 있는 규정 및 법규의 개발
- 유럽에서의 분산형 에너지원의 대규모 설치를 위해 수요자 니즈에 대한 새로운 충족방안 마련
- 분산형 전원이 포함된 송배전 네트워크 설계를 위한 새로운 개념의 도입
- 신·재생에너지를 위한 선진형 에너지저장 시스템 개발

이상의 7개 테마는 “통합프로젝트,” 혹은 “우수한 연구기관 네트워크 프로젝트” 중의 한 쪽에 포함된 프로젝트로서 실시되고 있다.

마. 유럽의 수소 및 연료전지 로드맵

유럽의 수소·연료전지 로드맵은 다른 나라와 마찬가지로 연료전지와 수소 인프라구축에 대해 유럽의 핵심 카테고리라 단계를 구분하여 제시하고 있다. 이러한 핵심 의제를 기초로 향후 관련 전문가와 정책입안자,

시민사회의 참여를 통해 구체적이고 현실적인 액션플랜을 갖춘 로드맵을 작성할 계획이다. 로드맵에는 3단계로 구분하여 각 단계마다 들어갈 내용을 다음과 같이 명시하고 있다.

(단기 및 중기 : 2010년까지)

- 발전원으로서 신·재생에너지원 이용 증대와 어떻게 발전된 전력을 전기분해에 의한 수소제조에 사용하거나 직접 계통선에 연결.
- 화석연료 기반 수소제조기술의 효율향상 및 화석연료 기반 액체연료의 품질 개선
- 천연가스와 바이오매스로부터 생산된 합성액체연료의 사용증대. 이는 다시 전통내연기관이나 연료전지에 사용가능.
- 고부가 틈새시장(niche market)에서 수소와 연료전지의 초기 수요 확보, 시장개발, 대중인식제고, 시범사업 추진을 통한 경험축적, 기존 천연가스 공급망의 활용
- 설치형 및 수송용 수소연료 내연기관의 개발. 수소인프라의 조기개발을 지원
- 이 기간에 隘路技術(critical path technologies), 즉, 수소생산과 저장, 안전, 연료전지 단가 인하와 내용연수 연장에 대한 원천 및 기초연구가 필요

(중기 : 2020년까지)

- 바이오매스로부터 액체연료의 사용 계속 증대
- 화석연료 기반 액체 및 가스연료의 계속 사용(연료전지), 화석연료(석탄포함)에 기반한 수소제조 및 개질. 수소경제로의 이행을 위한 CO2 처리, 포집기술의 개발. 이렇게 생산된 수소의 직접연소(내연기관, 수소터빈)와 연료전지 운전을 통해 온실가스 및 대기오염 배출의 획기적 저감.
- 신·재생에너지(바이오매스 포함)에 의한 수소생

이슈 진단

〈표 III-1〉 EU의 수소·연료전지 로드맵

	~2010	~2020	~2030	~2040	~2050
	공공 인센티브와 민간의 노력		공공 편익과 민간의 수익		
수소 생산 및 공급	천연가스의 연료개질과 물분해 수소생산, H2의 지역클러스터, H2스테이션 건설 및 스테이션의 H2 생산 연료개질, 물분해)	H2 공급망의 지역 클러스터화, 탄소처리를 통한 화석연료기반 H2 생산 지역공급망 상호연계: 재생에너지기반 수소생산 개시	H2파이프라인 인프라 확충	H2생산의 탈탄소화 확대 재생에너지, 화석연료의 탄소처리 새로운 핵반응로의 H2 생산	재생에너지 기반 직접 H2 생산 탈탄소 H2 경제 확립
FC/H2 시스템 개발/ 보급	가정상업용 저온FC 시스템(<50kW), 발전용(>500kW) 고온 MCFC/SOFC: H2 ICE개발; FC버스 fleets, 발전용 PEMFC(<300kW), FCV fleets (직접 H2, 개질기 탑재) 생산	최초의 H2 vehicle fleets(제1세대 H2저장기술) Hybrid 상압 SOFC 상업화 (<10MW) FCV 경쟁력 확보 저비용 고온FC; 소형 설치형FC상업화	제2세대 차량탑재 저장기술(장거리) 분산형 전원FC 보급확대 FCV의 주종연료로서 H2지위 확보	수송부문 및 분산형 전원, 소형발전 부문에서 FC 기술의 독점적 지위 확보	항공부문의 H2 수요 창출
FCV	신규등록차량의 5%		25%	35%	?

자료: EC, 2004, Hydrogen Energy and Fuel Cells, A Vision of Our Future

산 및 소비 시스템 개발 추진. 기타 태양열 및 차세대 원자력과 같은 탈탄소 에너지원에 대한 지속적인 연구개발

(중기 및 장기 : 2020년 이후)

— 지속적으로 증대되는 전력수요의 일부를 수소로 대체. 에너지 캐리어로서의 전력과 수소의 이용 증대를 통해 화석연료를 대체하고 신재생에너지원 및 차세대원자로의 도입. 수소공급 네트워크의 확대. 기타 환경친화형 연료도입.

3. 일 본

일본은 세계적으로 미국에 뒤이어 수소와 연료전지 분야에서 파이오니어 (pioneer) 역할을 담당하면서 두

각을 나타내고 있다. 1980년대부터 수소생산과 저장 및 수소의 이용기술로서 연료전지 개발 및 상용화를 위한 정부차원의 지원하여 왔고, 1993년부터는 수소이용 청정에너지시스템 기술 프로젝트, 이른바 WE-NET을 NEDO 주도로 개시하였다. WE-NET의 기본개념은 수소전환에 기반한 국제 청정에너지 네트워크를 구축하는 것이다. 초기에는 수소인프라의 구축에 필요한 핵심기술(전기분해, 액화, 저장 등)에 대한 R&D를 집중하는 것이었으나 후기에는 수소의 이용(직접연소와 연료전지 이용)에 초점을 맞추어 왔다. 지난 10년간 18억 엔을 투입하여 상당한 성과가 있었고, 2003년부터는 새로운 프로젝트인 “New Hydrogen Project”로 대체되어 하여 수소 연료전지의 상업화에 초점을 맞추고 있

다. New Hydrogen Project (NHP)는 WE-NET에서 시작된 프로젝트를 연장하고 자원에너지청의 기준 및 신규사업들을 통합시키고 있다. 특히, 연료전지 기술개발에 추가하여 수소의 안전한 이용에 대한 기술을 확립하고 연료전지의 상업화를 위한 규격과 표준, 규제를 마련하는 등 정책조치를 강구하고 있다.

연료전지 분야에서는 산업계, 학계, 정부의 전문가들이 모여 1999년 12월 연료전지실용화전략연구회가 설립되었다. 동 연구회는 자원에너지청장관의 연구자문기관으로 설립되어 연구활동을 계속하고 있다. 2020년까지의 연료전지 보급 시나리오를 작성하여 보고서로 발표하였는데(2001년 8월), 본 보고서에는 연료전지기술의 실용화 추진에 대한 전략으로서 2020년까지의 3단계 상업화 계획과 함께, 연료전지개발과 수소생산, 수소운반과 저장기술을 현재 추진 중인 시범프로그램과 자동차판매, 수소스테이션의 건설과 규격과 기준의 확립, 연료전지와 연료전지 자동차에 대한 소비자 시장을 확대하는 정책이 담겨져 있다. 이와 함께 일본 산업계가 주축이 되어 일본연료전지실용화추진협의

회가 2001년 3월에 설립되었다. 동 조직은 산업계의 자발적 조직으로서 연료전지의 상업화와 이용확산을 위한 현안검토와 대안을 제시하고 있다. 연료전지실용화전략연구회와 협력체제를 구축하여 PEMFC와 수소 에너지이용기술에 대한 프로그램을 설계하고 정부에 제안한 바 있다.(2001년 8월)

가. 연료전지 상업화와 보급확대 시나리오

일본 경제통상산업성(METI)에 의하면 연료전지 상업화 시나리오를 다음과 같이 설정하였다.

- 2002~2005년(기본연구 및 기술개발, 실증단계): 기술개발과 수송용 및 설치용 연료전지 시범사업, 소프트인프라와 규격 및 기준 개발, 연료품질규격의 마련
- 2005~2010년(시장도입단계): 연료전지 자동차의 시장도입 확대와 병행하여 수소연료 공급시스템의 점진적 정비.
- 2011이후 (시장확대단계): 연료공급시스템의 정비, 민간부문의 참여촉진과 기술 및 제품 채택의

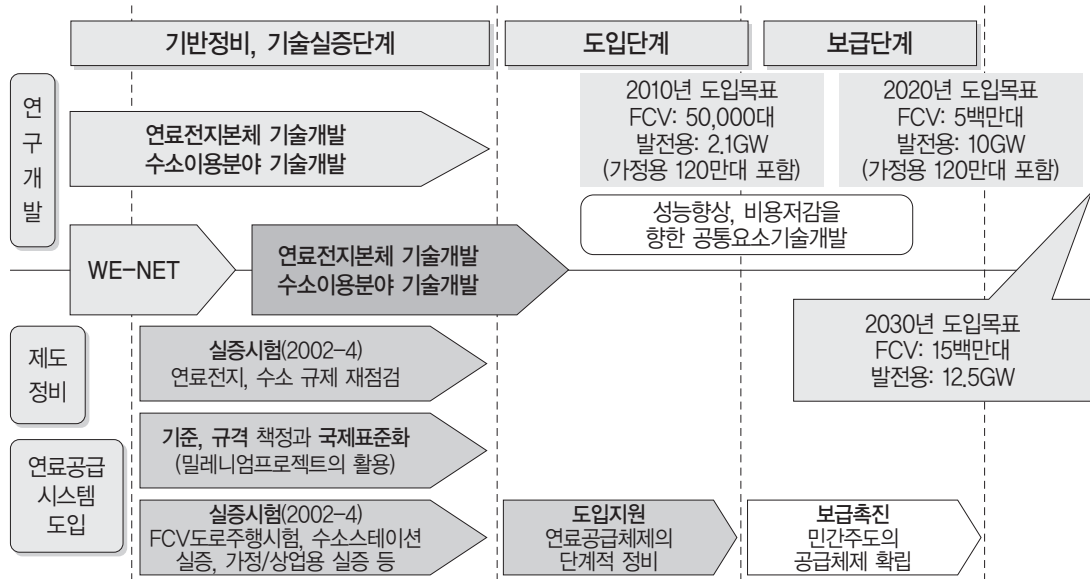
〈표 III-2〉 연료전지 성능 목표

	연료전지 자동차	설치용 연료전지
스택	발전효율 60% 이상(LHV) 및 55% 이상(HHV)	발전효율 55% 이상
시스템	Tank to wheel(TTW) 효율: 수소탱크형: 60%(LHV), 51%(HHV) 휘발유탱크형: 48%(LHV), 45%(HHV)	발전효율 40% 이상(HHV) 총 효율 80% 이상(HHV) 내용년수 4만시간 이상
비용	5,000엔/kW	가정용 300,000엔/시스템 업무용 150,000엔/시스템
수소저장	자동차 탑재 5kg; 수소저장 (주행거리: 500km 이상)	

자료: 일본경제통상산업성(METI), 2004.

이슈 진단

〈그림 III-8〉 수송용 및 발전용 연료전지 도입 시나리오



자료: 일본경제통상산업성(METI), 2004.

확산을 통한 산업의 자생력 확보

본 연료전지 보급확대 시나리오에 의하면 2030년까지 산업화 전략의 목표를 다음과 같이 세우고 있다.

- 2010년의 도입단계 종료시까지 5만대의 연료전지 자동차 보급; 2.2GW의 설치형 연료전지 열병합 시스템 보급
- 2020년의 시장확산단계 종료시까지 5백만대의 연료전지 자동차 보급; 4천기의 수소스테이션 설치; 10GW의 설치형 연료전지 열병합 발전 시스템 보급.
- 2030년의 시장성숙단계 종료시까지 1,500만대의 연료전지 자동차 보급; 12.5GW 용량의 설치형 연료전지 열병합 발전 시스템 보급.

4. 캐나다

1980년대 초부터 수소와 연료전지기술개발에 주력하여 상당한 기술수준을 달성하였고, 이미 상업화와 산업화에 성공하였다. 캐나다 국내세계최고의 기업(Ballard사의 PEMFC, Sturart Energy)을 중심으로 한 연료전지 산업육성에 박차를 가하고 있으며, 캐나다 전역에 20여개의 연료전지 기업들이 포진해 있으며, 밴쿠버와 캘거리, 토론토 등에 연료전지 클러스터가 형성되어 있다. 이 중에서 밴쿠버는 연료전지 제조업체와 연료공급업체, 인프라업체 등이 밀집한 캐나다 최대의 연료전지 클러스터이다. 또한 캐나다의 연료전지 산업 규모를 보면 2002년 9,690만달러의 매출을 기록하였고, 2003년에는 134백만 달러로 1억달러를 돌파하였고, R&D 지출도 2002년 276백만달러에서 2003년

Ballard Power Systems

1979년에 설립된 캐나다 벤처기업임. 원래 배터리 제조업체였으나 배터리 사업을 매각하고 연료전지 개발에 사업을 특화시킴. 1997년 DaimlerChrysler, Ford 등과 자본제휴를 하였으며, 자동차업계 뿐만 아니라 전 세계 수많은 연료전지업체들에게 연료전지 스택을 공급하고 있음. Ballard의 경쟁력은 2002년 여름까지 캘리포니아 연료전지 파트너십 (CaFCP)에서 시험운행된 19개 연료전지 자동차 중 13대가 Ballard 제품을 탑재하고 있다는 데에서 상징적으로 알 수 있음.

〈표 III-3〉 캐나다의 연료전지 상업화 로드맵

	제1단계(0~5년)	제2단계(5~10년)	제3단계(10~20년)
	RD&D 및 초기보급	보급기반의 확대	시장확대
과 제	- 설비비용의 저감, 수소공급인프라 개발 - 상업화지원 프로그램 개발(시장창출, 정부구매 등) - 모든 분야에서 수요확대 (발전용, 수송용, 휴대용) - 수소안전을 위한 국제규격과 표준의 개발 및 추진 - 전문가 육성, 교육 및 홍보, 재정 및 규제안의 마련 등	1단계의 성과에 기초, 기본전략에 대한 검토 및 재평가 - 필요시 자금의 재배치와 전략 수정 - 시범사업 및 신기술 쇼케이스의 지속 - 신규 재정 및 규제정책의 추진 (신기술제품의 우선구매 등) - 도시내의 교통을 위한 수소인프라(스테이션)의 확충	- 양산을 통한 연료전지 가격의 저렴화 - 전국적 수소공급망 구축 계속 - 재정 및 규제정책의 개선

자료: Government of Canada, Fuel Cells Canada, PricewaterhouseCoopers, 2003. Canadian Fuel Cell. Commercialization Roadmap, March 2003.

290백만달러로 순 증가를 기록하고, 이에 따라 산업종사자수도 2003년 2,671명으로 2001년에 비해 40%로 증가하였다.

캐나다는 연료전지상업화로드맵(Fuel Cell Commercialization Roadmap) 작성하여 정부지원하의 연료전지의 본격적 상업화를 목표로 산업계가 주도하고 있다. 3단계의 계획으로 비교적 단순명료한 기술

목표와 상업화 로드맵을 작성하여 구체적 세부과제를 제시하고, 연료전지의 생산과 보급, 수출확대, 그리고 수소공급 인프라의 전국망구축 등, 다른 국가에 비해 전방위적인 전략을 전개 중이다.

캐나다 3대 국가프로그램 활동분야는 R&D와 수소인프라개발, 초기시장개발에 중점을 두고 있다.

— 수소 및 연료전지 R&D 프로그램 (The Hydrogen

이슈진단

& FC R&D Programs): 민간부문과 공공부문의 공동참여를 통한 R&D 촉진 및 기술혁신 도모

– **캐나다수송연료전지연맹(Canadian Transportation Fuel Cell Alliance):** 기후변화에 대한 캐나다정부의 행동계획 2000(Action Plan 2000 on Climate Change)의 일환으로 수소·연료전지 R&D, 제조, 시범 및 상업화(수소인프라구축)에서 시장리더 역할.

– **Early Adopters Program:** Industry Canada의 주도로 산업부문 이해당사자와의 파트너십을 통해 수소 및 연료전지 기술의 초기시장개발

최근 동향을 보면, 캐나다는 고용창출과 지식기반의 제조경쟁력 강화를 목표로 연료전지 기술개발과 산업화에 지원을 강화하고 있다. 2001년 이전까지 캐나다 정부의 연료전지 R&D예산 총액은 6,400만 달러에 그쳤으나 2001년 한해만 4,000만 달러를 투자하여 미국의 1/3에 이른다.⁷⁾ (2003년 현재 R&D 총액은 290백만달러 기록). 자금지원뿐만 아니라 세제지원과 표준화, 인력양성 등 상업화와 관련하여 정부지원정책을 적극적으로 추진하고 있다.

5. 아이슬란드

아이슬란드는 자국의 풍부한 신재생에너지원을 이용한 수소경제로의 이행을 통한 수소사회(Hydrogen Society)를 지향하고 있다. 자국에 풍부히 부존되어 있는 지열과 수력 등 재생에너지원을 이용, 수소를 생산하여 국내에너지수요를 충당하고 남은 수소를 유럽에 수출함으로써 '북국의 쿠웨이트(Kuwait of the

North)' 표방하고 있다. 현재 평균 전기요금은 2센트/kWh에 불과하고 이러한 값싼 전력을 활용하여 연간 2,000톤의 수전해 수소를 생산하고 있으며, 머지않아 수송부문의 에너지수요 전부를 재생에너지기반 수소로 충당할 계획이다. 2004년 현재 자국 에너지수요의 50% 이상을 또한 전력수요의 100%를 수력과 지열로 충당하고 있다.⁸⁾ 석유는 총 에너지소비의 38% 정도로, 이 중 67%가 수송부문(자동차와 선박)이 차지하고 있으며, 2000년 석유수입에 1억 9천만달러를 지출하였는데, 이는 전체 무역적자의 1/4에 해당된다.

아이슬란드는 세계 최초로 수소경제 국가비전 수립 소개(1999)한 바 있고, 2040년까지 수소사회로의 전환하기 위해 5단계 로드맵을 제시하였다.

- 1단계: 수소 레이카비크에 수소연료 버스를 시범 운영
- 2단계: 레이카비크의 버스를 수소연료 버스로 교체
- 3단계: 수소연료전지 자동차의 민간도입을 확대
- 4단계: 선박의 동력을 연료전지로 대체

이를 위해 전담기관인 1999년 '아이슬란드 신에너지사(Icelandic New Energy: INE)'를 설립하였다. VistOrka⁹⁾ (수소생산)가 아이슬란드 지주회사로 61%의지분을 소유하고 있고, 그 외 DaimlerChrysler (연료전지 차량), Shell, Norsk Hydro (수소인프라 구축)가 각각 16.33%의 지분을 가지고 참여하면서 역할분담하고 있다.

6. 중 국

중국은 신흥 경제대국 건설을 위한 견인할 에너지원

7) 2001년 민간 R&D 투자까지 합하면 캐나다 전체의 연료전지 R&D 투자비는 1억 2천만달러로 미국의 1/2에 육박

8) 에너지소비에서 지열과 수력이 차지하는 비중이 각각 39%, 19%로서 2/3 가까이를 자연재생에너지로 공급하고 있으며, 이러한 지열과 수력발전으로 전력의 99.9%를 생산하고 있음.

9) VistOrka는 EcoEnergy, 즉, 생태에너지라는 뜻을 내포하고 있으며, 여기에는 아이슬란드 정부기관과 기업, 대학 등이 참여하고 있음.

으로 수소에 주목하여, 수소경제시대의 도래에 대비한 국가비전과 행동계획의 수립하였다. 수소를 석유의존도 경감 및 온실가스 배출저감 대책의 일환으로 삼고, 2004년 IPHE에 가입하였다. 또한 자동차용(75kW, 150kW) PEMFC 시장을 겨냥한 장기 R&D 투자를 계획하고 있어서, 중국은 최근 세계 최대 연료전지 시장 잠재력을 가진 국가로 부상하고 있다. 이렇게 중국이 수소부문의 공해대책으로 연료전지 차량의 개발 보급에 관심을 표명함에 따라 해외유수업체의 활발한 진출이 이루어 지고 있다.¹⁰⁾

특히, 중국정부는 2008년 베이징 하계올림픽 개최에 대비, 수소하이웨이 건설 등 실증연구에 박차를 가하고 있으며, 대도시 자전차와 스쿠터용 PEMC(2kW)으로 연간 20,000대 생산을 계획하고 있고, 이와 더불어 연료전지 차량을 위한 4대권역 및 산·학·연이 상호연계된 수소공원(Hydrogen Park) 조성하고 있다. 또한 수소·연료전지 4대권역으로 베이징(연료전지버스 시범사업)과 상하이(연료전지 차량 및 연료전지 산업 육성), 광둥성(가정/상업/발전용 연료전지 및 산업 육성), 대련(연료전지 R&D 및 산업기반 조성)을 지정하였다. 수소공원의 유치지역으로는 베이징과 대련, 상하이가 선택되었다.

IV. 종합요약 및 시사점

수소·연료전지는 향후 21세기의 주요 에너지산업으로 부상할 전망이다. 비용효과적인 수소경제의 실현을 위해 선진 각국은 국가비전의 설정과 로드맵의 작성으로 내실을 기하는 동시에, 외적으로는 세계 수소시장

을 선점하려는 연구개발 및 상업화 추진을 비롯한 치열한 경쟁을 전개 이다. 따라서 우리로서는 연구개발에 대한 노력을 집중할 것인지, 아니면 개발된 기술을 도입하여 상업화에 노력할 것인지에 대한 국가적인 의사결정을 내려야할 필요가 있다.

연료전지 및 수소연료는 현재 초기시장에도 돌입하지 못한 단계이기 때문에 연구개발 및 상업화에 국가적인 지원이 필수적이며 상업화를 위해서도 국가적인 지원이 필수적인 것으로 나타나고 있다. 국가적인 지원은 연료전지 및 수소연료의 생산단가를 낮추는데 기여할 것이며 이는 곧 시장개발에 큰 역할을 할 것이다. 따라서 우리나라 역시 수소연료 개발에 대한 국가적인 지원을 가속화시킬 필요가 제기되고 있다.

연료전지 및 수소연료 개발에는 국가적인 지원 이외에 민간부문의 역할이 중요하게 부각되고 있다. 캐나다의 경우에는 국가적인 지원과 함께 연구개발 및 상업화에는 오히려 민간부문이 주도적인 역할을 수행하고 있는 것으로 나타나고 있다. 우리나라의 에너지정책이 시장중심으로 전환되고 있다는 점을 고려할 때 연료전지 및 수소연료 시장개척에는 민간부문의 역할이 강조될 필요가 있으며 실행 로드맵에도 민간부문의 역할이 명백하게 포함될 필요가 있다.

수소·연료전지 개발단계에서는 국제적인 협력 및 기술의 표준화가 우선적인 과제로 부각되고 있다. 현재 국가별 기술개발 단계가 상이하기 때문에 국가 간 협력이 없으면 중복투자 및 자원의 낭비가 초래될 수 있다. 또한 기술의 표준화가 이루어지지 않으면 연구개발의 효율성이 낮아질 위험이 있다. 우리나라의 기술개발 단계가 초기단계임을 고려하면 연구개발 단계부터 국제

10) 삼성(대련: 연료전지 R&D); DaimlerChrysler (베이징: 연료전지 시범버스); BP(수소스테이션), GM (상하이 연료전지 자동차), Volkswagen (동지대: 연료전지 자동차)

이슈진단

적인 협력과 기술 표준화를 적극적으로 주장하고 추진할 필요성이 있으며 이는 향후 우리나라의 연구개발 효과를 극대화시킬 수 있는 장점이 있다.

연료전지 및 수소연료의 개발과 상업화를 추진하기 위해서는 지속적인 기술개발뿐만 아니라 정책연구도 병행해서 추진될 필요가 있다. 민간부문의 기술개발을 정책적으로 지원하고 기술의 상업화를 촉진시킴으로써 국제시장에서 선두권을 유지하기 위해서는 정부의 정책적인 지원이 필수적이다. 따라서 민간부문의 수요와 요구 사항을 정책에 반영하기 위해서는 정책연구를 지속적으로 추진할 필요가 있다.

〈참고문헌〉

과학기술정책연구원(2005), 수소경제시대를 대비한 원자력수소 연구개발 타당성 분석 및 추진방안 연구. (중간보고서)

김재운(2003), 수소에너지 혁명을 주도하는 연료전지, 삼성경제연구소, CEO Information, 2003. 12. 31 (제432호)

김재운(2004), 에너지혁명: 연료전지 사업의 현황과 발전전망, 삼성경제연구소, Issue Paper, 2004. 1. 12.

김정인(2004), 수소에너지 선진국가의 정책비교와 한국의 향후방향

수소연료전지사업단(2004), 수소경제 지향 국가 Vision 및 보급목표 달성을 위한 실행방안, 기획보고서.

양문희 외(2005), “GHG를 고려한 수소연료전지 자동차의 경제성 분석,” 신·재생에너지학회.

에너지기술연구원(2005), 알기 쉬운 수소에너지, 수소사업단, 한국수소및신에너지학회.

新エネルギー産業・技術総合開発機構(NEDO), 2003, “歐洲の 水素エネルギー開発にする 動向調査,” NEDO 海外レポート, 2003. 3.

日本資源에너지廳, 2005, 에너지白書 2005, 日本資源エネルギー廳.

日本エネルギー經濟研究所(IEEJ), 2003, “定置用燃料電池の普及展望と課題,” IEEJ: 2003年 2月掲載.

リードエグジビションジャパン株式會社, 2005, 第1回國際燃料電池展 (1st International Fuel Cell Expo (FC EXPO 2005), 2005. 1. 19 - 21, 東京ビッグサイト會議棟.

EC, 2004, *European Hydrogen and Fuel Cell projects*, Sixth Framework Programme, EUR 21241, ISBN 92-894-8003-3

EC, 2004, *Hydrogen Energy and Fuel Cells, A Vision of Our Future*, High Level Group for Hydrogen and Fuel Cells.

EC, 2004, *Potential for Hydrogen as a Fuel for Transport in the Long Term (2020-2030)*, Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), March 2004.

EC, 2005, *Strength, Weaknesses, Opportunities and Threats in Energy Research*, Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems, EUR 21612.

Fuel Cells Canada, 2003, *Canadian Fuel Cell Commercialization Road map*.

IEA (International Energy Agency), 2004, *Hydrogen & Fuel Cells, Review of National R&D Programs*.

IEA (International Energy Agency), 2004, *In*

- Pursuit of the Future. 25 years of IEA Research towards the realization of Hydrogen Energy Systems.* Hydrogen Implementing Agreement.
- National Research Council and National Academy of Science, 2005. *The Hydrogen Economy. Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs.* Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use.
- Rosenberg, S. 2002. *US DOE Hydrogen Development Program : A perspective.*
- Solomon, Barry D. and Abhijit Banerjee. 2004. "A Global Survey of Hydrogen Energy Research, Development and Policy." *Energy Policy.* 2004.
- US DOE, 2002. *A National Vision of America's Transition to Hydrogen Economy - 2030 and Beyond,* National Hydrogen Meeting, 2001, 11, 15-16
- US DOE, 2002. *National Hydrogen Roadmap,* National Hydrogen Energy Roadmap Workshop, 2002,11.
- US DOE, 2003. Office of Fossil Energy - *Hydrogen Program Plan. Hydrogen from Natural Gas and Coal: The Road to a Sustainable Energy Future.*
- US DOE, 2004. *Hydrogen Posture Plan.* An Integrated Research, Development, and Demonstration Plan.
- US DOE. 2004. *FutureGen. Integrated Hydrogen, Electric Power Production and Carbon Sequestration Research Initiative. Energy Independence through Carbon Sequestration and Hydrogen from Coal.* March 2004.

