

해외 수소에너지 정책 및 연구개발 프로그램 분석

강석훈[†], 김종욱*, 홍종철*
*한국에너지기술연구원 정책연구부

Analysis of the hydrogen energy policy and R&D program of foreign countries

Kang Seok Hun[†], Kim Jongwook*, Hong Jongchul*
*Korea Insititute of Energy Research, Energy Policy Research Department
71-2, Jang-dong, Yousung-gu, Daejeon, 305-343, Korea

ABSTRACT

Hydrogen is getting more attention owing to the seriousness of air pollution and dependance on oil import, UNCCC(United Nations Convention on Climate Change) for reducing the emission of CO₂. This fact is not confined in a certain country but global recognition and several countries initiated R&D competition for commercializing the hydrogen fuel cell vehicle. Within 20~30 years cost effective hydrogen production can be possible using fossil fuels because so much research is carried out up to now. But it is so far to produce the most of the hydrogen using renewable resources considering the present status of R&D and cost effectiveness. Several automobile companies planed for mass production of hydrogen vehicle by 2010 but changed or canceled the plan owing to the difficulty of R&D and the low status of infrastructure penetration. This paper surveyed the hydrogen energy policy, R&D program and commercialization strategy of advanced country, international agency, automobile and energy company to analyze the global status of R&D and policy. And the survey of R&D program is focused on the part of hydrogen production, storage, delivery and fuel cell.

1. 서 론

수소에너지는 갈수록 심각성이 커지고 있는 대기 오염과 원유 수입 의존성 그리고 이산화탄

소 배출 억제를 위한 기후변화협약과 이로 인한 무공해 자동차 및 신재생에너지 개발의 필요성 증가 등으로 중요성이 더해가고 있다. 이러한 인식은 일부 국가 및 지역에 국한된 것이 아닌 전 세계적인 것이며 이미 미국, 일본, 중국, 독일, 아이슬란드 등은 수소자동차 상용화를 위한 21세기 연구개발 경쟁을 시작하였다.

[†] Corresponding author : shkang@kier.re.kr

과거에서부터 수소는 정유산업의 중요 원료로 사용되어 왔고 생산량은 미국의 경우 년 간 9백만 톤, 전 세계적으로는 50만톤에 이른다¹⁾. 대부분의 수소는 천연가스를 이용한 스팀 개질을 통해 생산되며 이 외 바이오메스로부터의 추출과 물 전기분해 등을 통해서도 가능하다. 전기분해에 의한 생산량은 총 총 생산량의 4% 수준에 머무르며 현재의 에너지 생산 구조로 볼 때 전력 생산을 위해 화석연료 사용을 증가시켜 오히려 이산화탄소 배출을 증가시킨다. 화석연료를 사용한 수소 제조는 이산화탄소 제거 공정 등을 고려할지라도 전기분해 방법에 비해 비용이 매우 저렴하기 때문에 가까운 미래까지는 주요 방법이 될 것으로 보인다.

수소는 자동차, 분산 발전, 에너지 저장, 이동형 및 소형 전자기기 전원 등으로의 적용이 가능하지만 이 중 자동차 분야로의 적용이 가장 큰 주목을 받고 있다. 그 이유는 자동차 분야는 사용 연료로 석유 의존도가 매우 높아 원유 수입 의존성 심화와 가격 상승 그리고 지정학적 불안성 등의 고조로 대체 원료 개발이 시급하기 때문이다.

본 연구는 해외 수소에너지 정책 및 연구개발 현황 분석을 위해 주요 선진국, 국제협력기구, 민간 회사의 수소에너지 정책과 연구개발 프로그램 그리고 상용화 전략 등을 조사 분석하였다. 연구

개발 프로그램은 수소제조, 저장, 수송, 이용 그리고 연료전지 분야에 주 초점을 두어 조사 분석하였다.

II. 해외 수소에너지 정책 및 프로그램

1. 미국

미국은 석유파동이 발생한 1973년부터 정부 차원의 수소에너지에 대한 관심을 갖기 시작하여, 같은 해 국제수소에너지지구(International Association for Hydrogen Energy)를 설립하였고 마이애미에서 첫 번째 컨퍼런스를 개최하였다. ERDA(Energy Research and Development Administration)를 통해 수소에너지 연구를 지원하였으나 1970년대의 지원 금액은 년 간 24백만\$ 이하에 머물렀다. 1980년대에 이르러 연구개발 프로그램이 감소하기 시작하여 1990년대 기후변화 및 원유 수입 증가 문제가 대두되기 전까지 감소세를 회복하지 못하였다¹⁾. 그러나 현재는 수소에너지 연구개발을 에너지 정책의 최우선으로 간주하고 있으며, 부시 행정부는 2001년 5월 취임 초반부터 ‘국가에너지정책(National Energy Policy)’을 발표하는 등 에너지와 환경문제를 집중적으로 다루기 시작하였다. 2002년 수소와 관련된 연구개

Table 1 DOE 수소프로그램 중점 수행 분야(연구비 총액:227백만\$)

분야	연구내용	예산
제조 및 수송	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천연가스 이용 분산 제조비용 저감기술 개발 ○ 원자력, 신재생 자원 이용 수소제조 ○ 수소 압축 및 액화 기술 ○ 수소 수송 인프라 비용 저감 기술 	22.1%
저장	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고온, 극저온 저장 장치 재료 개발 ○ 탄소 나노튜브, 금속 하이드리드 연구개발 심화 	13.2%
전환	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연료전지 폴리머 멤브레인 제조비용 절감 및 내구성 향상 ○ 중형 수송기기용 보조 전원 기기 개발 ○ 미래형 고온 멤브레인 선정 	25.2%
기초	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수소 저장 신물질 및 복합 하이드리드 재료 연구 ○ 나노, 바이오 촉매 연구 	12.8%
이용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수소 인프라 및 연료전지 자동차 실증 및 안전성 	15.3%

발 담당 부서를 만들었고 Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program을 시작하였다. 부시대통령은 2002년 연료전지 자동차 기술 개발 계획인 Freedom CAR Initiative를 통해 수소 연료전지 자동차 생산에 필요한 선진기술 연구를 자동차회사와 협력하여 추진하겠다고 발표하였고, 2003년 17억\$ 규모의 FreedomCAR and Fuel Initiative 프로그램을 제안하여 시작하였다. 미국은 2003년 6월 EU와 함께 수소를 새로운 에너지원으로 개발하기 위한 협정을 체결하였으며, 에이브러햄 장관은 브뤼셀에서 열린 EU 에너지 정책 자문단 회의 기조연설을 통해 수소를 “완벽한 청정 에너지원”으로 개발하는 것이 궁극적인 목표라고 공언하였다.

DOE는 2003년 수소제조, 저장, 이용기술 연구 개발과 관련하여, 천연가스 기반 제조 비용을 2010년까지 1.5\$/kg, 바이오매스 기반 제조 비용을 2015년까지 가솔린과 동등 수준으로 그리고 생산지에서 최종 소비지까지의 수송비용을 1.00\$/kg로 저감하겠다는 목표를 설정하였다. 또한 2004년 수소에너지 개발 장기 계획(Hydrogen posture plan²⁾)을 통하여 수소에너지 체제로의 전환을 위한 향후 2015년까지의 주요 연구개발 계획 및 예산 편성안 등을 설정하였다[Table 1].

국가연구 평의회(NRC, National Research Council)는 2004년 보고서를 통해 독립적인 엔지니어링 및 분석 그룹 구성, 기초연구 분야 예산 증액, 안전성 연구 확대, 효율적 수소 프로그램 계획 수립을 위한 DOE 내부 부서 통합 및 지속적인 민간 연구 추진 등을 DOE에 권고하였다. 또한 DOE의 수소 경제 목표 중 2020년까지 수소 자동차 대량 생산 등의 일부는 비현실적이라고 지적하였고 결과적으로 이 기간 동안의 미국 수소경제의 비전은 원유 수입과 이산화탄소 배출 관련 측면에서 부정적이라는 의견을 제시하였다.

2004년 6월 미국 에너지부 장관 Spencer Abraham은 수소경제 체제 구축을 위한 연구비로 350백만\$를 책정하였다고 발표하였다. 이는 부시대통령이 수소 및 연료전지 연구비로 12억\$를 책

정하겠다고 공약한 금액의 1/3에 해당하는 금액으로 다음의 프로젝트를 수행한다.

- National Hydrogen Storage Project: 5년간 150백만\$를 투자하여 저장기기 개발 연구 수행
- Vehicle and Infrastructure ‘Learning’ Demonstrations: 190백만\$ 예산으로 FCV 연구
- Hydrogen Education: 중고등 교사 대상 교육 및 교육용 자료 제작 연구 수행

2004년 DOE는 부시 대통령이 제안한 Hydrogen Fuel Initiative 추진을 위해 75백만\$ 규모의 40여개 프로젝트를 선정하였고 주요 연구 분야는 연료전지 및 태양광 기반 기술로 다음과 같다³⁾.

- H₂ Gen Innovations: 2년간 5.4백만\$의 연구비로 소형 고순도 수소제조 기술 개발 연구
- Ohio State University Research Foundation: 수소제조 효율 향상 촉매 개발
- Virent Energy Systems: 3년간 연구비 1.9백만\$ 규모 바이오매스 수소 변환 연구
- Media & Process Technology Inc.: 3년간 연구비 2.6백만\$의 물-가스 변환 멤브레인 개발
- REB Research & Consulting: 3년간 연구비 2.4백만\$로 멤브레인 개발 프로젝트 총괄
- Air Products & Chemicals: 4년간 4.7백만\$의 연구비로 액상 수소 수송 기술 개발

신에너지 및 자동차 기술 부문의 우위를 차지하기 위해 여러 지방 정부는 자체적인 수소 에너지 프로그램을 개발하였다. 이들 중 캘리포니아, 미시건, 오하이오 및 하와이주가 앞서가고 있다. 민간 협동벤처인 California Fuel Cell Partnership은 수년 내 300대의 연료전지 자동차와 버스를 로스앤젤레스, 샌프란시스코, 세트라멘토 지역에서 운행할 계획을 수립하였다. 미시건주는 2002년 NextEnergy 프로그램을 통하여 NextEnergy Zone 이라는 특별 구역을 지정하여 수소 연구개발 기업에 대한 세금 특혜를 주는 계획을 수립하였으며 3~5년간 5천만\$ 규모로 수행될 것으로

Table 2 일본 경제성의 연료전지 상용화 전략

단계	시기	주요 내용
도입	2010년	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연료전지 자동차 50,000대 보급 ■ 2.2GW급 정치형 연료전지 전력 생산 시스템 개발
기술확산	2020년	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연료전지 자동차 5,000,000대 보급 ■ 수소스테이션 4,000기 건설 ■ 10GW급 연료전지 발전 시스템 개발

예상된다. 이 외 오하이오주는 3년간 100만\$를 투자하는 수소 연료전지 관련 프로그램 수행 계획을 발표하였다. 오하이오주와 미시건주가 화석연료에 기반을 둔 연구에 치중하는 반면 하와이주는 태양광, 풍력, 지열 등을 사용한 수소연료 프로그램을 발표하였다¹⁾.

2. 일본

일본은 수소 경제 구축을 위해 연구개발 뿐만 아니라 수소 생산 계획에 있어서도 세계에서 가장 중요한 활동을 수행하는 나라 중의 하나이다. 일본 정부(통상산업성, 산업과학기술청)는 1993년 기존의 Sunshine 프로그램, Moonlight 프로그램, 환경기술 연구개발 프로그램을 통합하여 새로운 에너지/환경기술 연구개발 계획인 New Sunshine Program을 시작하였다. 이 가운데 1992년 수립된 수소에너지기술 연구개발 계획(Japanese Hydrogen Program)인 WE-NET(World Energy Network)을 중심으로 수소와 관련된 모든 국책연구사업(민간연구 포함)을 수행 중이다.

일본은 연료전지 기술을 경제 재부흥의 돌파구로 기대하고 있을 정도로 많은 정책지원 및 투자를 쏟고 있다. 연료전지 자동차 및 인프라 분야 연구개발 진척도가 가장 크며 도요타, 혼다 등은 여러 종류의 연료전지 자동차를 개발하여 운행 중이다. 일본 경제성은 [Table 2]⁴⁾와 같은 연료전지 상용화 전략을 수립하였다.

일본의 주요 연구개발 프로그램은 다음과 같다.

- WE-NET(World Energy Network): 예산 200억엔 규모의 프로젝트로 첫 번째 단계에서

(1993~98년)는 수소 기술의 가능성 연구를 두 번째 단계(1999~2002년)에는 실증 연구를 중점적으로 수행하였고 인프라 확산 연구를 수행할 차기 프로젝트(Development of Fundamental Technologies in the Safe Utilization of Hydrogen)를 선정하였다. 신재생에너지를 사용한 잠재적인 수소 생산량이 연간 210GNm³에 이르나 2030년경 신재생에너지에 의해 생산되는 수소량은 총 소비량의 15% 수준에 머물 것으로 예상하였고, 일본 수소 총 소비량은 2030년경 49.6GNm³에 이르나 총 에너지 소비량의 4% 정도 수준에 머물 것으로 예상하였다¹⁾.

- JHFC(Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project): 에너지성과 자동차사 그리고 에너지 회사 협동으로 2002년 시작되어 9개의 수소 충전 스테이션을 설치

- 수소 안전 기반기술 개발 프로젝트: 경제산업성에서 2003~2007까지 수소 안전성 연구 수행

- New H₂ Project: WE-NET의 후속 프로그램으로 NEDO 주관으로 2003~2007년까지 수소안전 이용 등 기반 기술을 개발 연구과제로 총 요구 예산은 250백만\$

- Millennium PEFC Project: 2003년도에 총 예산 3천억원이며 고분자연료전지 조기 상용화 연구

3. EU

EU는 협동연구 및 공동 출자 등을 통한 노력을 진행 중이며 그 목표는 교토 의정서에 따른 온실가스 배출 저감 및 에너지 공급 안정성과 기업체의 경쟁력을 향상시키는 것이다⁴⁾. EU는 수소 연료 자동차의 비율을 2030년 까지 15%, 2040년

까지는 이의 두 배인 30%에 이르도록 하기위한 계획을 수립하였으나 경제상황 악화로 달성이 어렵게 되었다. 수소 에너지 연구 개발과 관련 1988~1999년간 약 336개의 프로젝트를 수행하였고 연구비는 해당 약 5~6천만 유로에 이른다³¹⁾. 그럼에도 불구하고 EU 차원의 수소 연구는 미국과 일본에 비해 규모 및 수준이 매우 낮다.

EC(European Commission)는 수소 연료전지를 서유럽의 주요 신재생 에너지로 만들기 위해 HLG(High-Level Group)를 설립하였다. HLG는 EC 보고서를 통해 2020년까지는 전체 차량의 2~5%만이 수소연료를 사용하고 2030~2040년 이후에 시장 점유율이 증가할 것으로 발표하였다. 또한 신재생에너지와 원자력을 사용하여 대부분의 수소를 생산할 수 있는 시기는 2020~2050년부터 가능할 것으로 내다봤다. 그러나 EC는 먼 미래에도 이산화탄소 제거 공정을 거친 화석연료를 사용한 수소제조가 신재생에너지 및 원자력을 이용한 수소제조와 함께 주요한 방법이 될 것으로 내다봤다³²⁾.

EU는 수소에너지 연구개발과 관련하여 다음과 같은 주요 프로젝트를 수행 중이다⁶⁾.

- Quick Start hydrogen initiative: EC는 수소 연료전지 관련 100백만유로 규모의 16개 연구개발 계약을 체결하였다. 연구비 총액 중 62백만유로는 수소 기술 개발에 사용될 예정이고 나머지 30백만유로는 연료전지 연구 개발에 사용될 예정이다⁷⁾.

- EU-미국간 수소 경제 개발 협력 체결: 2003년 6월 워싱턴에서 개최된 정상회의에서 수소에너지 개발을 가속화하기 위한 공동협력 연구 수행 안에 동의하였다⁸⁾.

- EIHP I, II(European Integrated Hydrogen Project): 수소자동차와 관련한 표준화와 안전성, 인프라 연구 프로젝트로, 수소자동차 안전성 향상 및 대량 보급을 위한 연구 수행⁹⁾

- RES2H2: 신재생 에너지를 사용한 수소 생산 및 수소 저장 실증 프로젝트^{10), 11)}

- FUCHSIS, HYMOSES, HYSTORY: 수소

저장 재료 개발을 위한 협동 프로젝트로 FUCHSIS는 탄소나노튜브 및 금속 수소화물을 이용한 수송기 탑재용 저장기기, HYMOSES와 HYSTORY는 저장물질 및 정치형 전력 생산 연구 수행^{10~12)}

- HYPNET: Norsk Hydro/LBST에 의해 운영되며 에너지 및 자동차 업체들과 파트너십 형성

- FUCHSIA: 2001.2.1~2004.1.21 동안 독일 OFESEUROPE에 의해 진행되는 프로젝트로 수소 저장 능력이 7WT%를 초과하는 새로운 물질 개발 연구¹³⁾

- Hydrogen Competence Center Berlin: 2002년부터 Total Deutschland GmbH(독일)에 의해 진행되는 프로젝트로 TOTAL사는 BVG 버스의 수소 충전 스테이션을 2002년에 완공하였다¹³⁾.

- Zero Regio-Lombardia & Rhine-Main towards Zero Emission¹³⁾: 2004년 준비 중인 과제로 InfraSerV GmbH & Co Höchst KG(독일)에 의해 자동차용 인프라 시스템 개발

- Hysolar¹⁴⁾: 독일과 사우디아라비아간의 태양광을 이용한 수소제조 공동 연구 프로젝트로 사우디아라비아의 Riyadh에 태양광을 이용한 수소제조 플랜트를 설치하였다.

- ECTOS: Ecological City Transport System¹³⁾: 2001.3.1~2005.2.28 동안 Icelandic New Energy(아이슬란드)가 연료전지 버스 실증 연구 수행

- EURO-HYPORT: 2002.1.1~2003.6.30 동안 Icelandic New Energy(아이슬란드)에 의해 아이슬란드의 수소 수출 가능성 연구¹³⁾

- The Euro-Quebec: 액체 수소를 캐나다에서 유럽으로의 수송 연구¹⁴⁾

- DISPOWER: 에너지 공급 체계 분산 및 시장 중심 공급체제로의 전환 연구

4. 독일

독일은 수소 연료전지 기술 개발에 있어 세계 선두에 있으며 이미 중앙정부 및 지방정부 차원

에서 많은 연구개발 프로젝트를 수행 중이다. DaimlerChrysler사의 정치형 MCFC 기술 개발, NEBUS, Citaro 연료전지 버스 개발과 교통건설부(BMVBW, Federal Ministry of Traffic, Building and Housing)의 수소 스테이션 및 수소 자동차 실증을 위한 Clean Energy Partnership in Berlin 이 그 예이다. Transport Energy Strategy(TES) 역시 중요한 프로젝트로 수송 분야에 새로운 에너지 매개체를 선보이기 위한 전략 개발을 목표로 하고 있다. 경제노동부(BMWA, Federal Ministry of Economics and Labour)는 “Energy Research and Energy Technologies”를 통하여 수소 연료전지 연구를 지원하여 1988년부터 심층적인 수소 기술관련 R&DD를 시작하였고 HYSOLAR, Solar Hydrogen-Bavaria Project BAYSOLAR 등의 수행을 통해 수소 제조, 저장 연구 및 태양광 수소에너지 경제에 대한 실증을 수행하였다. 독일은 1995년 이후 해마다 8~10백만€를 BMWA (Federal Ministry of Economics and Labour)를 통해 지원하여 연료전지 연구를 중점적으로 수행하고 있으며 이 외 다음과 같은 주요 프로젝트를 수행 중이다⁴⁾.

- TES(Transport Energy Strategy): 2005~2007년까지 30개소의 수소 스테이션을, 2010년까지 300개소의 수전해 수소 스테이션을, 2010~2015년까지 파이프라인에 공급 인프라 구축 연구.

- Programme on Investment into the Future: 연료전지 버스 인프라 실증.

- The Clean Energy Partnership: 10개의 자동차회사(BMW, DaimlerChrysler, Ford, MAN, Opel, Berlin Transit Agency, Linde, ARAL)에 의해 수소 연료 적용 가능성 실증 수행.

- 지방정부 프로젝트: Bavaria시의 액상수소 이용 내연기관 버스 프로그램(1996년~1998년), 뮌헨공항 수소버스-수소 스테이션 연계 프로그램(1999~현재), 함부르크 압축수소 VAN(내연기관, 연료전지) 프로그램(1999년~2002년), Euro - Quebec Hydrogen 프로그램(1989년~2000년) 등.

5. 캐나다

캐나다 정부는 수소 연료전지 분야에 1980년대 이후 200백만\$의 자금을 지원하였다. 산업부(Industry Canada)는 수소기술의 조기 채택, 개발, 상용화를 목표로 Technologies Partnership 프로그램을 수립하였으며 지원 금액은 2003년 기준 215백만C\$ 이다. 캐나다 연방정부는 수소 경제 관련 85백만C\$를 책정하였고, 이와 별도로 실증 프로젝트 실행을 위해 60백만C\$를 책정하였다¹⁾. 연구개발 프로그램은 연방 정부인 NRC(Natural Resources Canada)에서 담당하고 실무 사항은 CANMET 에너지기술 센터(CETC: Canada Energy Technology Center)에서 수행한다.

캐나다는 초기 연구개발을 통하여 1993년 세계 최초로 연료전지 버스를 시험 운행하였고, 1996년에는 40명이 탑승할 수 있는 205kW급 연료전지 버스를 개발하였으며, 연료전지 버스에 대한 성공적인 연구를 통하여 1997년 자동차 실증 사업을 시작하였다⁴⁾. 캐나다가 수소 연료전지 분야에 대한 연구를 시작한 이래 몇몇 기업들은 세계 선두 업체로 성장하였으며 그 예는 다음과 같다¹⁵⁾.

- Ballard Power System사의 Mercedes Benz Citaro Bus사로의 중형 연료전지 엔진 공급

- Dynetek Industries사의 Citaro사로의 이동형 수소 저장 시스템 공급

- Fuel Cell Technologies사의 일본, 스웨덴, 미국으로의 195kW SOFC 시스템 수출

- Hydrogenics Coporation사의 400개 이상의 연료전지 테스트 스테이션 건설

- Stuart Energy사의 미국, 캐나다 수소 충전소 건설 및 홍콩 수소 전력 시스템 건설

캐나다는 수소에너지 연구개발과 관련하여 다음과 같은 주요 프로젝트를 수행 중이다.

- Early Adopters Program: 5년간 50백만\$의 예산으로 실험실 규모의 기술을 파일럿 규모로 확장시키기 위한 지원업무 수행

- 밴쿠버 연료전지 자동차 프로젝트: 4년간 진

행되며 연료전지 자동차 실증

- Hybrid Fuel Cell Transit Bus: Hydrogenics사의 연료전지, Maxwell Technologies사의 ultracapacitor 등을 2005년 Winnipeg에서 시연 예정

- Hydrogen Highway: 벤쿠버, 빅토리아, 위슬러간 연료전지 자동차 충전소 실증을 목적으로 Methanex, BC Hydro, National Research Council에 의해 시작되었고 2010년 벤쿠버 올림픽 기간 동안 3개 시에 수소를 공급 예정

- Hydrogen Village: 청정, 고효율 전력 생산이 가능한 수소 제조 시스템을 지능학적인 측면을 고려하여 설계하기 위한 실증 연구

- 국제연계 프로그램: IEA, IPIIE, 북미에너지그룹(The North American Energy Working Group, NAEWG), 아시아-태평양경제협력(Asia-Pacific Economic Cooperation) 등에 주도적으로 참여

6. 아이슬란드

1999년 2월 아이슬랜드는 2030년 까지 수소에너지 체계로 전환하겠다는 목표를 발표하여 세계로부터 주목을 받았다. 아이슬랜드는 전력 단가가 2cents/kWh로 매우 낮음에도 불구하고 수송 부문에 적용하기 위해 이미 년 간 2000톤의 수소를 전기분해 방법을 사용하여 생산하고 있다. 1999년 이후 DaimlerChrysler, Royal Dutch Shell, Norsk Hydro 등과 합작으로 수소 PEM 연료전지 버스, 메탄올 연료전지 자동차, 수소 연료전지 자동차 관련 프로그램을 수행중이다. 2002년 첫 번째 단계로 8백만\$를 들여 3대의 연료전지 버스를 Reykjavik시에서 시험 운행 하였다. 다음 단계로 500백만\$를 투자하여 수도에 운행 중인 80여대의 모든 버스를 점차적으로 교체할 예정이다. 2003년 전기분해 방식으로 수소를 생산하는 스테이션을 Reykjavik시에 건설하였고, 향후 20여개를 더 건설할 것으로 예상된다. 3번째 단계의 프로그램에서는 개질기를 차 내부에 장착한 메탄올 연료전지 자동차를 운행하기 시작하여 궁극적으로 수소

로 교체할 예정이다. 마지막 단계에는 2030년까지 모든 자동차 및 어선을 수소 연료전지를 사용하도록 교체할 예정이다¹⁾.

7. 국제 협력 기구

IEA(International Energy Agency)는 수소경제의 잠재적인 이점을 1977년 발표한 수소협약(Hydrogen Agreement) 이후 인식하기 시작하였다. 최근에는 비용 효과적인 수소제조, 수송, 분배, 저장, 이용 등과 관련한 프로젝트를 참여 국가들의 지원을 통해 수행하고 있다. 현재 진행 중인 주요 연구로는 광전기성 셀, 풍력 및 바이오메스를 이용한 전기분해와 금속 하이드리드, 탄소 나노구조체, 통합 모델 기구를 이용한 저장 기술 분야이다.

IPIIE(International Partnership for the Hydrogen Economy)는 2003년 미국 DOE의 주재하에 개최된 워싱턴 DC에서의 회의에서 설립되었다. 참여 국가는 호주, 브라질, 캐나다, 중국, EC, 프랑스, 독일, 아이슬랜드, 인도, 이태리, 일본, 한국, 노르웨이, 러시아, 영국, 미국이다. IPIIE는 IEA와 연계하여 연구개발 및 기술 전개 활동을 수행하고 있으며 가입 국가들의 에너지 정책에 영향력을 행사하고 있다¹⁾.

8. 자동차 및 에너지 회사

미국, 유럽, 일본의 대부분의 대형 자동차 제조 회사들은 수소자동차 개발과 관련한 진취적인 프로그램을 지니고 있다. BMW의 기술력이 가장 앞서며 이미 1960년대에 수소자동차를 제작하였고, 현재 액화수소를 사용하여 240마일 주행급의 자동차를 개발하였고 2010년까지 상용화를 목표로 하고 있다. 혼다와 도요타는 2002년 캘리포니아에서 수소 연료전지를 사용하는 주행거리 235마일급의 자동차 개발을 발표하였고 2004년 캘리포니아에서 80대의 수소자동차 판매 계획을 수립하였다. Anuvu사는 2003년 후반기에 수소 연료전지 및 하이브리드 엔진을 장착한 픽업트럭을 개발하여 \$100,000 이하의 가격으로 판매하기 시작

하였다. 다임러크라이슬러사는 2004년 미국에서 20~37 종류, 유럽 및 동아시아에서 60~70 종류의 연료전지 자동차를 생산하였다. GM은 200마일 주행 능력의 AUTOnomy라 불리는 연료전지 자동차의 대량 생산 계획을 수립하였고 초기 목표로 2010년까지 전 세계 100만대 판매를 설정하였다. GM은 Dow Chemical사와 공동으로 연료전지 기술 실증 및 비용 저감을 위한 연구개발을 진행 중이다. Ford는 BP사와 Ballard사와의 협력으로 2004년 30대의 연료전지 자동차 테스트를 계획하였다¹⁾.

다국적 정유 회사인 BP와 Royal Dutch Shell사는 수소에너지에 집중하기 위한 명확한 경영 의지를 1998년과 1999년 발표하였다. Shell사는 2006년까지 10억\$의 자금을 수소에너지 연구개발 및 상용화 활동에 투자하기로 발표하였고 BP사는 연료전지 자동차량에 대한 실증을 위한 수소 충전소 2기를 미시건과 LA에 건립하였다. 에너지 회사들의 수소 실용화 노력과 관련한 또 다른 지표로 수소연료 스테이션 및 수소 고속도로 건설을 들 수 있으며 북미, 일본, 북유럽에 80개 정도의 수소 연료 스테이션을 건설하였다¹⁾.

III. 분석 결과 및 결론

미국은 수소에너지 연구개발을 에너지 정책의 최우선으로 간주하고 있다. DOE는 2003년 수소 경제 비전에 관한 발표를 통해 2015년까지 수소 연료전지 자동차를 상용화하고, 수소에너지 시장 및 인프라를 구현하여, 2040년 경 완전한 수소 경제 도달 계획을 수립하였다. 또한 수소 제조 관련 규모의 대형화 및 비용 저감, 수소 저장과 관련하여 300마일 이상 주행이 가능한 저장 시스템 개발 등을 위한 연구개발 프로그램을 중점적으로 추진하고 있다. 이 외 2010년까지 천연가스 기반 수소 제조비용을 1.5\$/kg, 바이오메스 기반 제조비용을 2015년까지 가솔린과 동등 수준으로 저감하고 2\$/kWh급 이동형 수소 저장 시스템 개발을 위한 연구개발 목표를 2003년 발표하였다. 그러나 NRC는 DOE의 수소 경제 관련 목표 중 2020년까

지 수소 자동차를 대량 생산하겠다는 등의 일부는 비현실적이며 결과적으로 이 기간 동안의 미국 수소경제의 비전은 원유 수입 및 이산화탄소 배출 관련 측면에서 부정적이라는 의견을 제시하였다. 일본은 수소 연료전지 기술을 일본경제 재부흥의 돌파구로 기대하고 있을 정도로 많은 정책 지원과 투자를 쏟고 있다. 일본은 2020년까지 21백만kW급 정치형 연료전지 발전 시스템 및 5백만 대의 연료전지 자동차 그리고 1000만kW급 정치형 연료전지 보급 계획을 수립하였다. EU는 협동 및 공동 출자 등을 통한 연구개발 프로그램을 진행 중이며 장기적으로 20~30년 내에 신재생에너지와 수소 연료전지를 사용한 에너지 공급 체계로의 전환 계획을 수립하였다⁴⁾. EU는 수소 연료 자동차의 비율을 2030년까지 15% 그리고 2040년까지는 이의 두 배인 30%에 이르도록 하기 위한 계획을 수립하였으나 경제 상황 악화로 계획 달성이 어렵게 되었다. 독일은 1988년부터 심층적인 R&DD를 시작하여 수소 제조, 저장 및 태양광 수소에너지경제 실증 연구 등을 수행하였고, 1995년 이후 해마다 BMW를 통해 8~10백만유로의 연구비를 연료전지 연구개발을 위해 중점적으로 지원하였으나 수소에너지 경제 상용화 가능성은 확보하지 못하였다. 1999년 아이슬랜드는 2030년 까지 수소에너지 체계로의 전환 목표를 발표하여 세계로부터 주목을 받았으나 발표 내용은 많은 모호한 사항들을 담고 있다.

자동차회사 중 BMW의 기술력이 가장 앞서 1960년대에 이미 수소자동차를 제작하였고, 현재 액화수소를 사용한 240마일 주행 능력의 수소자동차를 개발하였으며 2010년까지 상용화를 목표로 하고 있다. 이외 혼다, 도요타, 다임러크라이슬러 등도 연료전지 자동차를 개발하였고 GM은 2010년까지 전 세계 100만대 판매 목표를 수립하였다. 에너지 기업으로는 BP와 Shell사가 세계적인 수소에너지 프로젝트에 광범위하게 참여하고 있다. 에너지기업들은 북미, 일본, 북유럽 등에 80여개의 수소 스테이션을 건설하였다.

현재까지 수소에너지 개발을 위해 전 세계적으

로 많은 연구개발이 이루어져 앞으로 20-30년 내에는 천연가스나 석탄 등의 화석연료 자원을 이용한 저렴한 수소 생산 계획이 수립될 것으로 보인다. 화석연료를 사용한 수소 제조는 이산화탄소 제거 공정 등을 고려할지라도 전기분해 방법에 비해 비용이 매우 저렴하기 때문에 가까운 미래까지는 천연가스, 메탄올, 원유 등을 사용한 화석연료 기반 제조공정이 주를 이룰 것으로 판단된다. 또한 수소제조와 관련하여 신재생에너지 자원의 중요성이 더욱 커질 것으로 예상되지만 먼 미래까지 화석연료의 중요성에는 미치지 못할 것으로 보인다. 그러나 탄소 제거공정을 통한 화석연료 기반 수소생산이 가까운 장래의 주요 방안이 될지라도 이는 장기적인 주요 방안이 될 수는 없을 것이다. 일부 자동차사는 2010년부터 수소연료 전지 자동차를 대량 생산하겠다는 야심찬 계획을 수립하였으나 목표 달성의 어려움으로 당초 계획을 수정 또는 연기하였다. 수소자동차의 사용화를 위해서는 연료전지 및 저장 시스템 등의 기술 부분의 성능 향상 이외에도 사용 연료인 수소의 대량 생산 및 제조 비용 인화와 충전소 등의 인프라 확충이 이루어져야만 하므로 향후 20~30년 이후 가능할 것으로 보인다.

현재까지 수소경제 구축과 관련한 명확한 계획은 존재하지 않으며 수소경제의 지속 가능성에 대한 심각한 질문들이 계속하여 제기되고 있다. 따라서 진정한 의미의 수소 에너지 혁명이 일어나고 유지되기 위해 세계가 가야할 길은 아직 멀다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 지원으로 수행하는 21세기 프론티어연구개발사업(수소에너지사업단)의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1) Barry D. Solomon: "A global survey of

hydrogen energy research, development and policy", Energy policy, September 2004.

2) Hydrogen posture plan, US DOE, February 2004, www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/hydrogen_posture_plan.pdf

3) Fuel Cells Bulletin, www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells, December 12.

4) Hydrogen & fuel cells - review of national R&D programs, IEA, Hydrogen-co-ordination group, Sept. 2004.

5) Wurster R, Pschorr-Schoberer E.: "European hydrogen projects since 1988. Survey of L-B-Systemtechnik for the engineering advancement association of Japan", Blandow, January 2000.

6) T.R.C. Fernandes, Fengzhen Chen: "'HySociety' in support of European hydrogen projects and EC policy", International journal of hydrogen energy, 2004

7) europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt_http1_en.html, May 2004.

8) http://europa.eu.int/comm/external_relations/us_sum06_04/fact/hydrogen.pdf

9) <http://www.cihp.org>

10) European fuel cell and hydrogen projects 1999-2002, European Commission, Luxembourg: Office for official publications of the European Communities, 2003

11) <http://dbs.cordis.lu/fep/cgi/srclidadb?Action=D&Session>

12) <http://www.aramis-research.ch/e/15356.html>

13) <http://www.hynet.info>

14) Victor A. Goltsov, T. Nejat Veziroglu: "From hydrogen economy to hydrogen civilization", International journal of hydrogen energy.26, 2001, 909-915.

15) Nick Beck: "Canada's Hydrogen and Fuel Cell Program", CAMNET Energy Technology Center Natural Resources Canada, 2004.