

# 수소 · 연료전지의 국 · 내외 기술개발 현황과 국내 적용방안



하 경 용  
에너지관리공단 신재생에너지센터 연구개발지원실  
부장/기술사

현재 인류가 직면한 가장 큰 문제 중의 하나는 화석 에너지 자원의 한계성에 기인한 에너지 수급 불안정성과 그 에너지 사용에 의한 환경오염 문제이다.

이러한 에너지문제의 심각성을 반영하듯, 얼마전 Dubai유가가 57.97\$/bbl을 기록하는 등 60달러 선을 위협하면서 에너지 종합대책을 마련해야하는 에너지 위기의 상황으로 치달고 있다. 이와 더불어 포스트 교토 체제로 유엔 기후변화협약 11차 당사국 총회가 오는 11월 28일부터 12월 9일까지 캐나다 몬트리올에서 개최될 예정이다. 따라서 온실가스 감축 의무가 선진국뿐 아니라 신흥경제국으로까지 확대되는 것이 확실시 되고 있다. 이러한 고착화되어가는 고유가 상황 및 교토의정서 발효 등 급변하는 에너지 환경에 대하여 국가차원의 대응책을 논의하고 그 해결책을 모색하고자, 지난 3월 대통령 주재로 제2차 국가에너지 자문 회의가 개최되었고 친환경적 수소경제

(Hydrogen Economy) 마스터플랜 수립계획에 관한 보고가 있었다. 이는 현재의 에너지 위기를 극복하고 기후변화협약에 능동적으로 대응하기 위한 방안으로 신 · 재생에너지의 역할을 강조한 것이며 그 중 수소 · 연료전지 분야가 무엇보다 중요하다는 것을 의미한다.

따라서 신 · 재생에너지의 중심으로 부각되고 있는 수소 · 연료전지분야의 국내외 동향과 개발 · 보급 정책방향에 대하여 논의하고 나아가 그 발전 가능성에 대하여 고찰해보고자 한다.

## ■ 에너지경제의 새로운 패러다임

우리나라는 에너지의 97%이상을 해외에서 수입하여 사용하고 있으며, 세계 에너지 소비 10위, 석유소비 7위의 가장 열악한 에너지 자원 빈국중의 하나이다. 우리나라의 석유 소비량이 많은 이유는 산업구조에서 그 원인을 찾을 수 있다. 우리나라의 산업구조를 살펴보면, 1차금속, 석유, 화학 등 에너지 다소비 산업의 비중이 2003년 기준 26%인 반면, 일본은 17%, 미국은 3.5%에 불과하다. 즉 에너지 소비구조의 근본적인 개선이 시급한 상황이다.

에너지경제연구원에 따르면, 에너지를 적게 소비하는 IT업종(반도체, 정보통신 등) 주도의 수출주도형 경제성장을 이루었던 2004년에 비하여, 2005년도의 석유소비비는 2% 내외로 증가할 것으로 전망하고 있다. 그러나, 에너지원별 수요점유율을 살펴보면, 석유의 소비비중은 2000년 52.0% 이래로 2004년 45.9%, 2005년에는 45.0% 수준을 기록할 것으로 예상되어 지난 1994년 이후 지속적인 하락추세를 이어갈 전망이다. 이러한 석유 소비비중의 하락은 거의 모

든 최종 수요부분에서 도시가스, 전력, 열에너지, 기타 에너지원으로 연료대체가 발생하는데 기인한 것이며, 향후, 신·재생에너지원의 소비비중은 점점 더 증가될 것으로 판단된다. 물론, 석유소비의 비중이 소폭 감소하였다는 것이 석유시대의 종말을 의미하는 것은 아니다. 현재 화석에너지의 가채매장량을 보면 석유는 40년, 천연가스 60년, 석탄은 200년을 예상하고 있다. 그러나 이러한 예상치는 러시아 유전, 리비아 엘리펀트유전, 베트남 광구, 인도네시아 광구, 호주 와이오그 유연탄 사업 등 현재 개발중인 곳과 아직 발견되지 않은 유전 등 화석연료자원이 많기 때문에 2050년이 되어도 큰 변화가 없을 것이다.

그러나 대부분의 에너지원을 해외자원에 의존하고 있는 우리나라로서는 근본적인 대책이 절실한 상황이다. 2000년대를 전후하여 빠른 경제성장을 거듭하고 있는 브라질, 러시아, 인도, 중국 등 신흥경제 4국들의 에너지 소비량이 전 세계 에너지의 1/4 가까이 소비하고 있는 상황이며 계속 증가 추세에 있다. 따라서 이들 브릭스(BRICS) 국가의 영향과 더불어 에너지 시장의 불안정성은 점점 더 증가하고 있는 현 상황에서 석유가격은 고공 행진을 계속할 것임은 너무나 당연한 것이다. 이러한 국내외적 에너지 위기의 상황에서, 안정적인 경제성장과 에너지 안보를 구축하고 기후변화협약 등 국제적인 환경규제의 압력에 대응할 수 있는 에너지 정책을 추진하기 위해서는 화석에너지의 에너지원에서 벗어나 새로운 에너지원의 개발, 보급이 절실히 요구된다. 바야흐로 에너지경제의 패러다임이 80년대의 화석에너지로부터 에너지 MIX의 시대를 지나 수소경제(Hydrogen Economy) 체제로 전환되고 있음을 의미하는 것이다. 따라서 '12년 신·재생에너지 강국으로 도약하기 위해서는 국가역량을 집결하고 세계적 개발경쟁에 대응하는 중장기적인 계획을 세워 주도면밀하게 대처해 나가야 할 것이다.

#### ■ 해외의 수소·연료전지 개발 현황

주요국의 동향을 살펴보면, 우선 미국은 '03년 대통령 연두교서에서 『수소·연료전지 강국건설』을 선언하여 청정하고 안전한 에너지 확보를 통해 석유 수입 의존도를 감소시키고 나아가 에너지안보확립 및 기후변화협약에의 적극적 대응을 주창하였다. 투자

계획은 향후 "Hydrogen Fuel Initiative" 즉, 수소 제조·인프라 구축을 위하여 12억달러('03~'07), FreedomCAR(연료전지차, '02~'06년)에 5억달러 등 총 17억달러를 지원할 계획이다. 또한 신·재생에너지 시범단지인 파워파크(Power Park)를 호놀룰루(하와이), 사우스필드(미시간), 피닉스(아리조나)에 설치하여 수소, 태양광, 풍력, 지열 등 신·재생에너지 개발, 수소스테이션과 연계한 Hydrogen Highway계획, 수소관련 법규 및 표준화 작업, 경제성 분석 등을 추진함으로써 세계의 주도권을 선점하고자 적극적으로 움직이고 있다.

한편 일본은 태양광 분야의 주도권을 유지하고, '05년을 연료전지 상용화의 원년으로 삼아 '10년에는 본격적으로 확산시키겠다는 계획을 추진하고 있다. 그 실행계획을 보면, '10년까지 1,000MW급 원전 약 5기에 해당하는 4,820MW의 태양광 설비를 보급하여 세계 설비 시장의 50%이상 점유를 목표로 하고 있으며, '10년까지 연료전지 자동차 5만대, 70만 가구(220만kW)의 가정용 연료전지를 보급할 계획을 세우고 있다. 또한 '05년 현재 47대의 연료전지 자동차 및 10개소에 수소스테이션을 시범 운영중이며, 아이치현 바람회에 수소 실증 프로그램을 계획하여 수소·연료전지 관련 기술 통합, 대국민 홍보에 적극 활용하고 있다.

캐나다 정부는 5년간('03~'08) 500억원을 투입할 계획이며, 수소하이웨이, 수소마을 건설 등 정부와 기업이 함께 『H2EA 프로그램』을 통해 수소경제의 조기진입을 추진하고 있으며 보유한 기술력을 바탕으로 정부 주도하에 Ballard(연료전지), Dynetek(수소저장용기), Fuel Cell Tech(시험장비) 등 분야별 세계 최고의 기업을 지원, 육성하고 있다. 또한, 휘슬러와 밴쿠버, 빅토리아를 연결하는 수소스테이션 7기를 설치 계획함으로써 수소 인프라 구축을 진행하고 있으며, 미국 캘리포니아 Hydrogen Highway와 연계 방안 또한 모색하고 있다.

아이슬랜드는 '99년 ECTOS(Ecological City Transport System) 프로젝트를 시작한 이래, 수소·연료전지를 현재 버스에서 승용차, 선박으로까지 확대시켜 '40년까지는 수소경제로의 전환을 완료하여 '북부의 쿠웨이트'가 되겠다는 야심찬 계획을 세우고 있다.

한편 EU는 '10년까지 신·재생에너지 이용을 총 에너지소비의 12%, 총 발전량의 22%까지 제고한다는 목표를 설정하고 활발히 추진하고 있다.

이밖에 독일은 뮌헨 공항 수소 프로젝트를 추진하여 수소버스와 승용차를 이용한 공항 고객 수송을 진행하는 등 수소 관련 기술 통합 시스템의 평가 및 사업성 모색, 대국민 홍보 및 수소 기술 체험 유도도 꾀하고 있다. 노르웨이는 연안과 섬의 우수한 풍력 에너지를 활용하여 풍력-수소에너지 시스템을 추진함으로써 기술 평가 및 상업화에 노력하고 있다. 이렇듯, 선진국들은 신·재생에너지기술의 개발·보급에 총력을 기울이고 있으며, 다가올 수소경제(Hydrogen Economy)에 조기대응하여 새로운 에너지기술을 통한 에너지 강국의 입지를 확보하기 위해 중장기적인 정책을 마련하고 다각적인 투자 및 육성 정책을 펴고 있다.

세계 각국의 신·재생에너지원별 투자전략을 보면, 3대중점분야(수소·연료전지, 태양광, 풍력)에 미국(68.9%), 일본(89.3%), 독일(80.8%) 등 세계 선진국들이 집중투자하고 있음을 알 수 있다. 이는 한정된 투자액으로 기술개발 및 보급의 효율성을 향상시키기 위한 것으로, 기술개발의 파급효과가 크고 실용화 및 보급 가능성이 높은 3대중점분야를 육성하여 다가올 수소경제(Hydrogen Economy) 시대에 대비하기 위한 것이다. 따라서 우리나라도 선택과 집중을 통하여 기술개발의 효율성을 제고해야 할 것이며, 신·재생에너지 기술 수준 및 이용 비율을 향상시키기 위한 중장기적인 대책 마련이 시급하다 하겠다.

〈신·재생에너지부문 세계 각국의 정부투자액 비교, '03년 기준〉

(금액 단위 : million US\$)

신재생에너지원	미국	일본	독일	이태리	한국
수소·연료전지	139.0 (36.4%)	264.0 (66.2%)	73.5 (50.0%)	34.0 (35.6%)	7.7 (28.1%)
태양광	82.3 (21.6%)	83.8 (21.0%)	31.8 (21.6%)	58.0 (60.8%)	4.2 (15.3%)
풍력	41.6 (10.9%)	8.2 (2.1%)	13.6 (9.2%)	0.9 (0.9%)	3.1 (11.3%)
바이오	85.3 (22.3%)	16.6 (4.2%)	16.9 (11.5%)	2.6 (2.7%)	2.4 (8.8%)

신재생에너지원	미국	일본	독일	이태리	한국
기타	33.5 (8.8%)	26.0 (6.5%)	11.3 (7.7%)	-	10.0 (36.5%)
계	381.7 (100%)	398.6 (100%)	147.1 (100%)	95.5 (100%)	27.4 (100%)

■ 국내 수소·연료전지 개발 현황

우리나라는 제 1, 2차 오일쇼크 이후 에너지소비구조의 개선 및 에너지원 다양화의 필요성을 인식하여 1987년에 대체에너지개발촉진법을 제정한 이래 2003년 제 2차 신재생에너지 기술개발·보급 기본계획을 수립하여 11개 에너지원별 기술개발을 추진한 결과 '88년부터 '04년까지 정부에서 총 489과제에 대하여 2,233억원을 투자하였다. 그 중 수소·연료전지분야의 정부 지원금은 713억으로 11개 에너지원의 총 정부 지원금 중 32%에 해당한다. 이는 기술·성장 잠재력이 큰 수소·연료전지, 태양광, 풍력 등 3대 분야에 대하여 기술개발 역량을 집중시키겠다는 정부 계획을 반영하는 것이며 따라서 향후 3대 중점분야에 대한 정부 지원금은 더 증가할 것으로 예측된다.

〈분야별 R&D 투자실적('88~'04)〉

(단위 : 백만원)

구분	수소	연료전지	태양광	풍력	태양열	바이오
과제수	27	55	89	35	67	95
정부지원	12,493	58,788	36,980	25,927	15,680	24,775
민간부담	7,006	53,613	20,201	13,209	5,114	12,839
계	19,499	112,401	57,181	39,136	20,794	37,614
구분	폐기물	지열	소수력	석탄이용	해양	계
과제수	55	15	6	41	4	489
정부지원	20,488	4,866	1,788	19,941	1,660	223,386
민간부담	18,922	2,103	572	12,611	574	146,764
계	39,410	6,969	2,360	32,552	2,234	370,150

수소·연료전지분야의 주요 기술개발 성과를 살펴보면, 가정용(3kW급) 연료전지 시스템이 개발되었고, 휴대용(50W급), 수송용(80kW급) PEMFC 발전 모듈 개발이 진행중에 있으며, 발전용(250kW급) MCFC 시스템 실증연구 과제가 또한 진행중에 있을 뿐 아니라, 수소 압축, 저장, 발생장치 개발중에 있고, 기술개발 및 실증과제로 수소스테이션 3기를 2006년부터 설치 계획으로 현재 부지선정, 고압가스안정성과 관련한 법규 및 안전사항, 대국민 홍보

효과등 추진 세부사항을 검토하고 있다. 이와 더불어 2005년 신규과제로는 버스용(200kW급) 고분자 연료전지 시스템 개발, 미래형 로봇 구동용 연료전지 전원시스템 실증연구 과제를 지원할 계획이다. 이러한 3대중점 분야에 대한 정부의 지원정책과 기술개발 성과에도 불구하고 선진국과 비교하여 신·재생에너지에 대한 우리나라 지원 금액은 미국의 4%, 일본의 8% 수준에 불과하다. 따라서 신재생에너지에 대한 투자를 확대시키고, 선택과 집중을 통해 기술개발의 효율성을 제고하고 신재생에너지 기술 수준 및 이용 비율을 향상시키기 위한 대책이 시급하다 하겠다.

〈국가별 신재생에너지 정부투자액(1990~2002년, 백만US\$)〉

신재생에너지원	미국	일본	독일	이태리	한국
정부투자액	3,080	1,442	1,076	442	121

### ■ 수소·연료전지 개발·보급 추진전략

기술개발 및 보급을 촉진하기 위해서는 기술개발의 파급효과가 크고 실용화 및 보급 가능성이 높은 3대 중점분야(수소·연료전지, 태양광, 풍력)에 집중 지원이 필요하다. 이러한 취지로 2004년 기준 3대 분야중 수소·연료전지분야의 정부지원금은 54%에 이른다.

〈2004년도 국내 정부투자액 비교〉

구분	수소·연료전지	태양광	풍력
정부지원금(백만원)	20,377(53.9)	9,140(24.2)	8,312(22.0)

수소·연료전지 분야에서도 기술(용도)별 투자우선순위를 결정할 필요가 있으며 순위선정에 있어서는 개발 보급의 시급성, 시장규모 및 파급효과 등이 고려되어야 하며 연료전지의 기술개발이 사회전반에 미치는 영향에 따라 투자의 우선순위를 설정해야 하는 정부 입장과 이윤추구 및 고부가가치 창출에 목표를 두고 있는 기업의 입장 역시 감안되어야 한다.

〈연료전지 부문별 기술개발 투자금액('04년)〉

(단위 백만원)

구분	정부		민간	계		비고
	정부	%		계	%	
수송용	8,102	40	6,349	14,451	38	수소스테이션포함
가정용/산업용	4,709	23	5,012	9,721	26	

구분	정부		민간	계		비고
	정부	%		계	%	
발전용	3,853	19	3,853	7,706	20	
휴대용	2,316	11	2,490	4,806	13	
기타	1,397	7	-	1,397	3	소재, 성능평가
계	20,377	100	17,704	38,081	100	

'02년 수립한 제2차 국가에너지 기본계획에서 우리나라는 총 1차에너지 중 신·재생에너지 공급비율을 '06년에 3%, '11년에는 5%로 정하고 있다. 특히 수소·연료전지분야에서는 '11년까지 세계 3위의 기술력 확보를 목표로 하고 있다. 그러나 현재 수소·연료전지 등 주요분야의 핵심기술은 선진국의 30~50% 수준에 불과하다. 1차 목표인 '11년까지 70~80% 기술수준을 달성하기 위해서는 보다 근본적이고 중장기적인 지원정책과 전략이 요구된다. 올해 신재생에너지분야의 투자금액은 '04년(588억)보다 35% 증액된 794억원이며 특히, 수소·연료전지분야는 '04년(201억)보다 52억 증가된 253억원을 투자할 계획이다. 이는 11개 에너지원의 총 투자금액 대비 35%에 해당하는 금액으로서 핵심에너지분야에 대한 집중 투자 계획이 실행되고 있다는 것을 의미한다.

올해 우리나라는 수소·연료전지분야의 초기시장 창출을 위한 방안으로 시범보급 및 인프라 구축 사업을 추진중에 있다. 구체적인 실행계획을 보면 1~3kW급 가정용 연료전지(PEMFC)를 설치 운전하고, 수송부문에는 연료전지 자동차 운행과 연계된 수소스테이션 건설을 위한 실증연구추진이다. 이러한 실행계획 및 개발·보급 목표는 다가올 수소경제사회에 대응하여 종합적인 전략을 수립함으로써 수소경제 이행을 위한 기반을 구축하고 나아가 새롭게 형성될 세계 에너지경제 체제의 신흥 강국으로 자리잡는 포석이 될 것이다.

### ■ 수소·연료전지 이용 확대 가능성

현재 우리가 직면한 에너지부문 뿐 아니라 산업경제의 최대 난제(難題)는 지구온난화에 따른 기후변화협약의 대응과 향후 안정적인 에너지원을 확보하는 것이며, 보다 근본적인 해결 방안으로 화석연료를 대신할 대체에너지원을 모색해 보아야 할 때이다. 현 시점에서 거론되고 있는 대체에너지원을 살펴보면

오일샌드, 가스 하이드레이트 그리고 수소·연료전지 등으로 대별되는 신·재생에너지 분야를 고려해 볼 수 있다. 오일샌드는 탄화수소를 함유하고 있는 점성도가 큰 모래로 매장량은 석유매장량의 약 1/3수준으로 대부분 캐나다와 베네수엘라에 매장되어 있다. 그러나 채굴이 어렵고 가공절차가 복잡하여 기술적, 경제적, 환경적 문제가 있을 뿐 아니라 우리나라의 경우 전량 해외 수입에 의존해야 하는 어려움이 있다. 한편, 가스 하이드레이트는 천연가스가 저온·저압하에서 물분자와 결합되어 형성된 고체물질(얼음)로, 심해저 지층에 수백m 두께로 존재하며 우리나라의 동해 심해저에 약 6억톤이상 매장되어 있는 것으로 추정된다. 그러나 현재까지 회수방법이 곤란하며 엄청난 개발비용 뿐 아니라 일종의 화석연료이므로 사용시 환경문제 발생 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

따라서, 환경오염을 최소화시키고 한정된 화석연료를 보완, 대체할 새로운 에너지원의 개발이 불가피한 상황이며, 수소에너지가 그 유력한 대안으로 부상하고 있는 것이다.

그러나, 수소경제의 꿈을 실현하기 위해서는 해결해야 할 난제들이 많이 있다. 수소·연료전지 분야는 이제 초기 시작단계일 뿐 아니라, 경제성이 아직 확보되지 않은 상태이다. 현재 분산형 수소 제조가격은 kg당 5달러로 목표(1.5\$/kg)보다 3배이상 비싼 수준이다. 또한 연료전지 기술의 실증과 보급사업을 위해서는 수소 제조, 저장 및 수소운반기술 등 수소인프라 구축이 선행되어야 한다. 연구인력 또한 턱없이 부족한 실정이다. 국내 신재생에너지 전문가는 약 2000여명으로 11개 분야별 평균 180명의 연구인력을 확보하고 있는 것으로 파악된다. 이렇듯 열악한 환경에 처해있는 수소·연료전지분야의 기술개발과 보급 활성화를 차질 없이 추진하기 위하여 정부는 올해 하반기 수소경제 마스터플랜을 최종 확정·발표할 예정이다. 또한 정부는 수소·연료전지 등 신·재생에너지분야의 개발·보급 활성화를 위하여 체계적인 추진전략을 수립하고 있다. 즉, 기술개발의 효율성을 향상시키는 방안으로 기술기반 조성사업을 추진하고 있으며, 그 세부계획을 보면 신·재생에너지 기술의 수출산업화를 목표로 국제협력사업을 추진하고 있으며 신·재생에너지 기술분야의 기초/기반기술을 확립하고 전문연구인력을 육성하기 위한 핵심기술센터

지정, 특성화 대학원 확대 등 R&D 역량 제고를 위하여 기반구축을 확대해 나가고 있다.

한편 신·재생에너지 보급 활성화 방안으로도 다각적인 노력을 기울이고 있다. 공공기관의 신·재생에너지 이용 의무화를 골자로 하는 공공의무화 사업, 경제성이 낮고 시장이 형성되지 않아 아직 상용화 진입이 어려운 기술을 지원하기 위한 시범보급사업, 융·합지원사업 뿐 아니라, 신·재생에너지 이용시 발전전력의 기준가격을 원별로 정하고 전력거래가격과의 차액을 지원하는 차액보전사업 등 다양한 지원과 정책을 운영하고 있다. 이러한 정부주도형 신·재생에너지 산업 육성전략과 더불어 선도기업의 적극적인 사업참여가 이루어진다면 수소·연료전지 대량생산 체제로의 전환도 가능할 것이며 가까운 미래에 시장형성과 더불어 수소경제 인프라 구축 등 현재 가장 문제시 되고 있는 경제성 확보도 가능하리라 판단된다. 기술분야의 경제성 확보와 더불어 신·재생에너지 분야에 대한 국민의 관심과 참여의식 또한 중요하다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) : 국제연합(UN)에서 1992년 기후변화에 대한 과학적이고 구체적인 연구를 위해 세계를 이끌어가고 있는 약 200개 과학자그룹으로 구성된 정부간 조직조사보고서에 따르면 지난 100년동안 지구해수면의 높이는 10~25cm정도 높아졌다. 이렇듯 화석연료 사용에 따른 지구온난화문제는 심각하며 바로 우리들 자신의 문제임을 잊어서는 안된다. 즉 신·재생에너지에 대한 보다 체계적인 시민의식 고취 및 확산을 이끌어 내기 위하여 사회단체 등 민간단체의 적극적 활동 또한 요구된다.

이렇듯 수소·연료전지를 비롯한 신·재생에너지분야의 기술개발·보급 확대를 위하여 정부 뿐 아니라 학계, 연구계, 산업계가 중지를 모아 기술 선진화를 이룩한다면 NT, BT, IT분야처럼 엄청난 경제적 파급효과가 창출 될 것이며, 가까운 미래에 도래할 수소경제 사회에서는 新에너지 강국으로 부상할 수 있는 기회의 장이 될 수 있을 것이다.

#### 1) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)

국제연합(UN)에서 1992년 기후변화에 대한 과학적이고 구체적인 연구를 위해 세계를 이끌어가고 있는 약 200개 과학자그룹으로 구성된 정부간 조직