

특집 : 발전용 연료전지 시스템

발전용 연료전지 사업의 국가 신성장동력 산업육성을 위한 사업추진 및 국산화 기술개발 전략

황진석*, 이장우**, 정기석***, 황정태****

(포스코파워 연료전지부문 기술연구소 *책임연구원, **선임연구원, ***팀장, ****소장)

21세기의 초입에 접어든 현재, 글로벌 에너지 환경은 빠르게 변화하고 있다. 에너지수요는 연평균 1.6%씩 꾸준히 상승하여 화석연료의 고갈을 초래하였고, 고유가시대가 시작되었다. 또한, 화석연료의 연소를 통해 에너지를 생산하는 기존 발전설비는 막대한 양의 온실가스를 발생, 지구온난화를 야기시켜 전세계적으로 온실가스 감축부담이 본격화되고 있다. 더욱이 고유가, 원자재난으로 인해 세계에너지시장의 불안정이 심화되고 있어 국산에너지의 중요성이 그 어느 때보다 절실한 실정이다.

주요 선진국들은 새로운 에너지원의 필요성에 대해 절감하고, 신재생에너지의 개발과 보급확대에 앞다투어 나서고 있다. *미국은 '17년까지 휘발유소비의 15%를 신재생에너지로 대체하고, 일본은 수소연료전지 및 태양광의 투자를 강화하며, 캐나다는 정부주도로 수소연료전지 거대기업을 육성하고, EU에서는 '20년까지 신재생에너지 비중을 20%까지 확대할 계획이다. (출처: 에너지경제연구원 신재생에너지 보급 및 산업화육성 전략, '08년9월29일)

1. 서론

연료전지는 고효율, 친환경 발전설비로서 기존 발전설비를 효과적으로 대체할 수 있는 대안일 뿐더러 향후 도래할 수소

에너지사회의 핵심 발전설비의 역할을 할 것으로 기대되고 있다.

발전원리는 수소와 공기중의 산소를 전기화학 반응시켜 전기 및 열 에너지를 생산한다.(그림 1 참조) 석탄 등 화학에너지를 열에너지→운동에너지→전기에너지로 순차적으로 변환시켜 전기로 만드는 기존 화력발전과 달리, 연료의 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환하기 때문에 에너지 손실이 적다. 따라서 발전효율이 47% 수준으로 효율이 높을뿐더러, 이산화탄소 배출량 역시 화력발전 대비 1/3 가량 저감된다. 또한, 연료를 연소하는 것이 아닌 전기화학반응을 통해 에너지를 생성하기 때문에 배기가스, 먼지 등 유해물질 및 소음이 거의 발생하지 않는다.

연료전지의 궁극적 목표는 수소의 직접 사용이지만, 현재 기술단계에서는 수소를 바로 연료화 하지 못하고, 천연가스, 바이오가스에 포함돼 있는 수소를 추출하여 사용한다. 하지

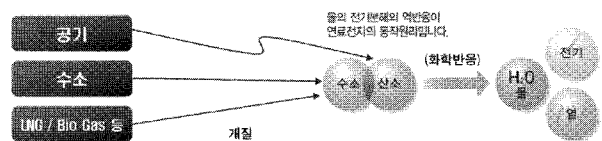


그림 1 연료전지 발전원리

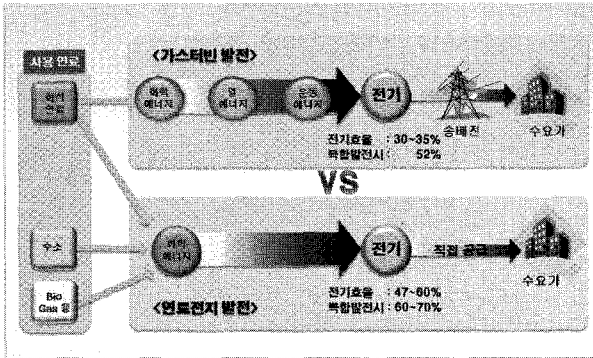


그림 2 연료전지 분산발전의 전력 직접공급

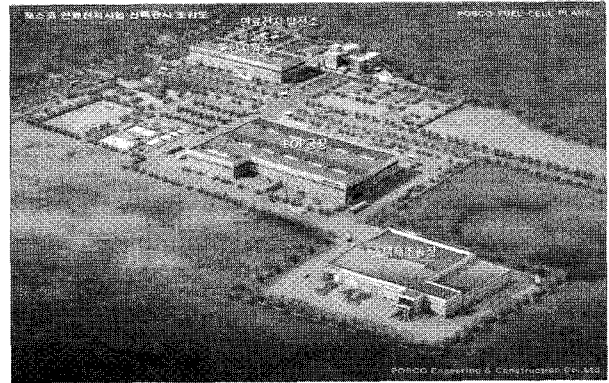


그림 3 포스코 연료전지 공장 조감도

만, 천연가스를 사용한다 하더라도 발전효율이 높기 때문에 기존 화력발전 대비, 적은 연료를 사용하여 보다 많은 에너지를 생산할 수 있고 친환경적이란 장점이 있다. 하수처리장, 쓰레기매립지, 맥주공장 등에서 나오는 바이오가스를 연료로 사용할 시에는 경제성과 탄소저감효과는 배가된다.

연료전지는 에너지가 필요한 곳이라면 어디나 설치하여 손쉽게 전기와 열을 공급받을 수 있는 분산형전원의 대표주자이기도 하다. 소음과 환경유해물질의 배출 때문에 도심지에서 동떨어진 지역에 대규모 발전소를 건설하여 전기를 공급했던 기존 중앙발전방식과 달리, 연료전지 발전시스템은 에너지가 필요한 곳에 바로 설치하여 에너지를 공급할 수 있기 때문에 별도의 송배전망이 필요하지 않다.(그림 2 참조)

이용률(전기를 생산하는 시간)이 높고, 설치면적이 작아 태양광, 풍력 등 주요 재생에너지 대비, 안정적인 전력공급 및 효율적인 설치가 가능하다. 또한, 수백kW부터 수십MW까지 용량구성이 자유롭고, 지하, 복층 등 설치가 용이하여 대규모 발전소, 공장은 물론 아파트단지, 병원, 호텔 등 도심지 및 하수처리장, 쓰레기 매립장, 데이터센터 등 다양한 장소에 설치할 수 있다.

2. 포스코파워 발전용 연료전지시스템

연료전지 발전시스템은 전세계적으로 기술개발 초기단계로서 선진국과의 기술격차가 작아 집중적인 투자가 이뤄진다면 단기간에 글로벌 선두기업으로서 부상할 수 있는 잠재력이 높은 산업이다.

본 장에서는 연료전지 발전시스템을 국가신성장동력 산업으로서 육성하기 위한 포스코파워의 사업추진전략 및 기술개발전략을 소개하고자 한다.

2.1 사업추진전략

포스코는 2000년대 초반부터 국책과제를 통해 연료전지 기

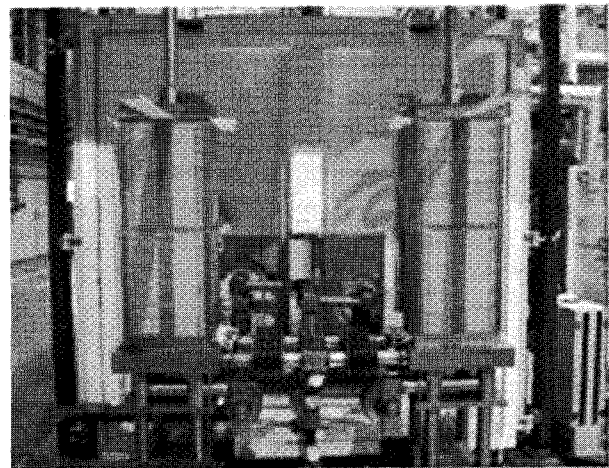


그림 4 포스코 25kW급 SOFC 스택

술개발에 착수했으며, 2005년과 2006년 RIST(포항산업과학연구원)와 서울탄천 물재생센터에 각각 250kW급 용융탄산염 연료전지(MCFC)를 설치, 시운전을 성공리에 마친후 2007년 2월 본격적인 사업추진에 나섰다. 2세대인 용융탄산염 연료전지의 경우, 미 선진사와의 기술제휴를 통해 단계적 국산화를 추진 중이며, 차세대 기술인 SOFC(고체산화물 연료전지)는 자체적인 독자기술 확보에 주력하고 있다.

2008년 9월, BOP(Balance of Plants, 연료공급기 및 전력변환기)공장을 준공함으로써 30%의 국산화를 실현하였고, 또한 핵심설비인 스택(전기를 생산하는 핵심설비)의 경우, 2009년 10월 기술이전 계약 체결후 현재 스택제조공장이 착공되어 2010년말 스택제조공장이 준공될 예정이다.(그림 3 참조)

또한 2012년 180kW급 SOFC 시스템 개발을 목표로 2007년 5월 개발착수한 이래 5kW급 스택 개발에 성공하였으며 현재 50kW급 시스템 설계를 진행 중이다. 포스코는 본 프로젝트의 성공시, 100% 국산화 된 세계최고 수준의 연료

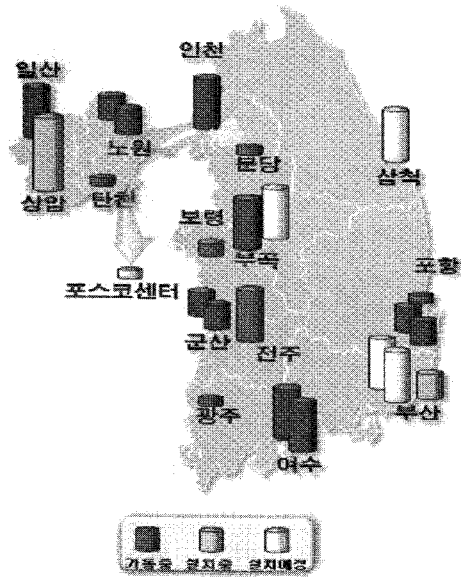


그림 5 국내 설치, (예정)중인 포스코 연료전지

전지 발전시스템의 원천 및 상용화 기술을 보유할 것으로 기대하고 있다. (그림 4 참조)

자체기술력 확보 및 대량생산체제구축을 위하여 지금까지 포스코가 투자한 금액은 약 2,000억원으로 향후 2012년까지 1,700억원을 추가 투자하여 연료전지산업을 미래 국가 수출산업이자 성장동력으로 육성할 계획이다.

국내 연료전지 발전시스템 시장은 실증을 완료한 MCFC 위주로 빠르게 형성되고 있다. (그림 5 참조)

2007년까지 1MW, 2008년 7.5MW를 비롯, 2009년 16.8MW로 매년 배 이상의 가파른 성장세를 기록하며, 시장을 확대하고 있다. 포스코파워는 비약적으로 증가하고 있는 국내 보급률에 발맞춰 최상의 제품신뢰성을 보장하기 위해 2009년 4월, 연료전지 전문 서비스센터 구축을 완료하여 다년간의 설치, 운영 노하우를 보유한 서비스인력이 제품가동을 보장, 1년365일 원격모니터링, 24시간 이내 현장방문 조치 등 고객맞춤형 서비스를 제공하고 있다.

현재 연료전지 제품군은 용량별로 350kW, 1.4MW, 2.8MW 제품이 상용화되어 설치되고 있으며(그림 6 참조), 국내 시장에 적합한 도시형 연료전지 시장을 확대하기 위한 프로젝트로 서울시 노원구에 2.4MW급 연료전지발전시스템이 2009년 5월 준공되어 가동중에 있으며, (그림 7 참조) 서울시와 도시형 연료전지 보급을 위한 MOU를 체결하여 친환경 고효율 발전설비인 연료전지를 서울시 등 대도시에 적합한 도시형 신재생에너지원으로 공급하기 위한 기본적인 사업환경을 조성하였으며, 또한 도심형 중형 건물용 연료전지인 100kW급 연료전지도 개발에 착수하여 내년말이면 서울시내

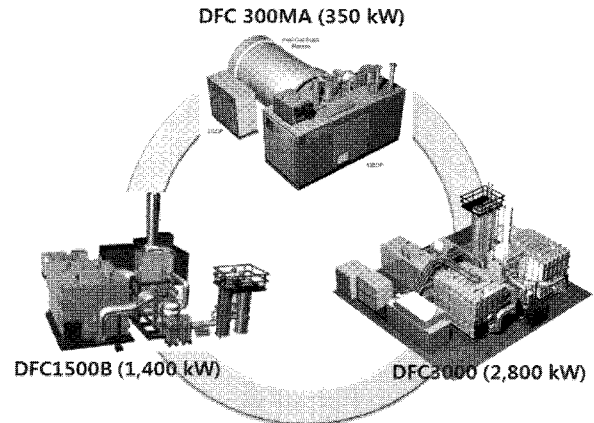


그림 6 포스코 발전용 연료전지 제품군

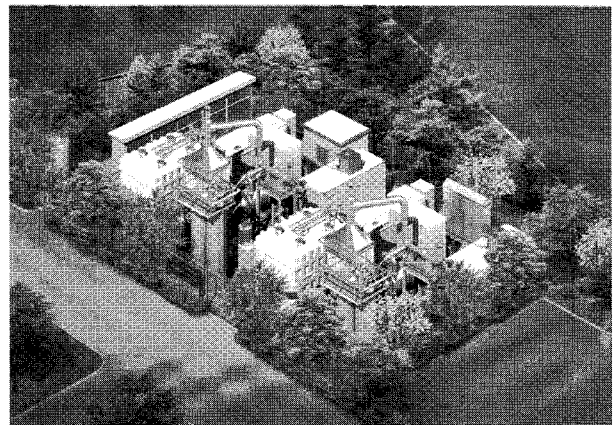


그림 7 노원 SH공사내 2.4MW 연료전지발전소 (09.5 준공)

병원, 대형건물 및 공공주택 등에 설치, 공급될 것으로 전망된다.

포스코는 국내보급을 통한 사업경험, 국내 대규모 생산체제 및 서비스체계 구축 등 국내 사업역량을 바탕으로 해외시장 진출을 위한 사업전략도 전개중이다. 우선 진출대상 시장은 정부 정책지원이 활발한 시장이거나 또는 연료비가 낮고, 전력요금이 높은 시장을 대상으로 하여, 일본, 동남아 및 중동 등을 우선진출 대상시장으로 추진하고 있다. 특히 일본 오사카내 S전지에 11.2MW 규모의 MCFC 시스템을 수출할 계획이 구체적으로 협의중에 있으며, 동경시 등 세계 최대규모의 대도시에도 국내에서 생산된 연료전지를 공급, 수출을 위한 협의도 추진중에 있다. 또한 인도네시아, 말레이시아 등 동남아 지역 뿐만 아니라 아부다비 마스다르시 및 이란 등 중동지역 국가와도 초기 프로젝트 발굴을 위한 협의도 진행중으로 향후 세계 분산형 연료전지 시장을 선점하기 위한 사업 전략을 추진중에 있다.

2.2 기술개발전략

2.2.1 제품개발전략

포스코는 현재 국내 환경에 맞는 한국형 BOP 개발을 완료한 경험과 스택의 국산화 기술을 활용하여 다양한 실용화 제품(건물용, 백업용, 선박용 등)을 개발하는데 박차를 가하고 있다. 앞서 소개한 도시형 연료전지 중 건물용 연료전지가 포스코센터에 설치(그림 8 참조)되어 자체 소비전력을 담당하고, 실증운전을 통해 성능을 검증할 예정이다.

부하추종 백업용 연료전지는 최근 정전으로 인한 대규모 경제적 손실이 발생하고 있는 국내 산업체에 대해, 손실을 최소화하기 위하여 대구광역시경제권 개발프로젝트로 개발중에 있다. 국내 가구당 평균 정전시간은 20여분에 이르며, 정전전수는 1,500여건 정도로 최근 2년간 10건 이상의 대규모 정전사고가 발생했으며, 산업체, 상업시설, 주거지역등 피해분야가 광범위하고 특히 석유화학업체 피해가 가장 커 국가 기간산업에 미치는 영향이 매우 큰 실정이다. 이를 방지하기 위한 기술로는 현재 비상발전기, 배터리와 UPS로 구성된 기술이 있다. UPS와 배터리는 순간정전을 보상하며, 최대 30분간 백업기능을 수행하고, 비상발전기의 경우 기동시 수초 간 정전되며, 30분이상의 전원공급을 담당한다. 하지만 정전사고시 비상발전기 기동상 오작동이 잦으며, 실시간 모니터링이 불가하여 신뢰성이 부족한 실정이다. 이러한 문제해결을 위해 전력공급선 이중화와 신개념 UPS(플라이휠 등)을 도입하고 있으나, 고가의 비용부담이 발생하고 있으며, 또한 일반적으로 백업에 요구되는 전원의 30~40% 가량만 충당하고, 전력선 복선화와 이중화는 막대한 공사비용과 기간이 소요된다.

연료전지의 높은 설비가동율, 실시간 모니터링, 상시 유지관리 특성으로 안정적인 전력공급이 가능하여 연료전지 스택과 EBOP에 부하추종 기술을 보완할 경우 정전시 보안부하를 담당하는 백업용으로 활용 가능하여 평상 운전시 연료전지 전기를 한전 상용전원과 같이 상시부하에 공급하고, 비상 운전시 보안부하에 공급하는 개념으로 하나의 시스템으로 전

기생산과 정전대응이 가능토록 촉매연소기 설계부터 시스템을 재구성하기 위하여 기계연, 성균관대, 경북대 등과 함께 기술개발을 추진중에 있다.

선박용 연료전지의 경우, 해상환경 규제 강화 및 해상 오염물질 배출규제 강화에 따라 친환경 선박의 개발필요성과 운항 경제성 향상을 위한 고효율 선박에 대한 개발이 대두되고 있다. 이러한 친환경 및 효율향상을 위하여 유선형 설계 등 선체저항특성 개선, Dual엔진, HRSG(HEat Recovery Stream Generator) 등과 같은 고효율엔진 개발과 CCS(Carbon Capture and Storage) 등의 기술개발을 추가로 진행하고 있으나, 이미 선체 마찰감소, 엔진 배열회수 등 기술성숙으로 인해 추가 효율향상에 한계가 도래했을 뿐 아니라, CCS의 경우 현 수준의 50% 처리시 kW당 약 \$500 이상의 추가비용이 발생하고, 발전소비량도 10~40%정도가 증가하여 오히려 경제성 및 효율향상에 문제점으로 지적되고 있다. 또한 NOx 저감을 위해 Water emulsion 등 선처리 시스템과 SCR(Selective Catalytic Reduction) 등 후처리 시스템 및 EGR(Exhaust Gas Recirculation), HAM(Humid Air Motor) 등과 같은 엔진개선 기술개발을 고려하고 있으나, 이러한 시스템을 추가로 적용할 경우 엔진설치공간이 약 2배정도 증가하고, 설치비용도 kW당 \$50~100 가량 증가할 뿐 아니라, 연료소비도 10%이상 증가하는 문제점이 대두되고 있는 실정이다.

최근, EU, 미국 일본 등은 정부주도하에 연료전지 발전시스템을 선박에 적용하기 위해 연구개발 및 실증사업을 대규모로 진행하고 있다. EU 개발 프로젝트는 내륙용의 경우 PEMFC(독일, Zemship), 대양 운항의 경우 MCFC(노르웨이, FellowShip) 및 SOFC(핀란드, Methapu)를 적용한 프로젝트가 실증 단계까지 진행 중에 있고, 가까운 일본의 경우, 미래선박으로 Super Eco Ship 개발프로그램(그림 9 참조)을 도입하여 친환경 연료전지 선박 개발을 통해 차세대 선박엔진기술 선점에 주력하고 있다.

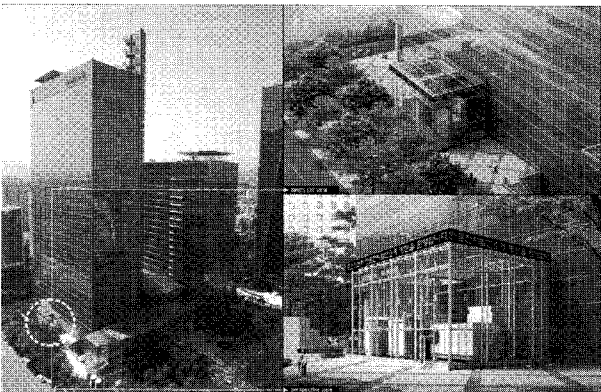


그림 8 서울 포스코센터 도심형 연료전지 조감도

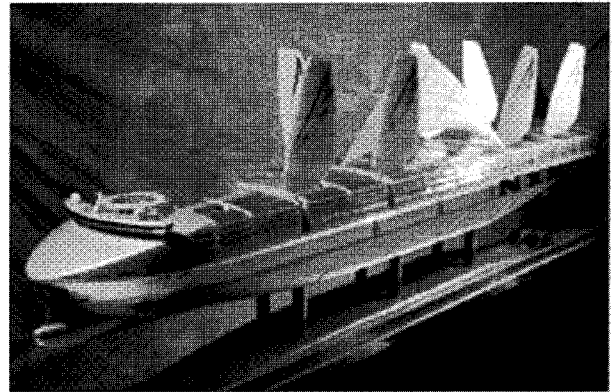


그림 9 일본의 Super Eco Ship

세계 최고수준의 선박설계 및 건조기술을 보유하고 있는 국내 조선산업은 우리나라 5대 수출업종으로 고용 및 부가가치 창출이 매우 높은 산업이나 핵심기자재 대부분은 해외기술에 의존하고 있는 실정이다. 이에 포스코파워는 대용량, 고효율 선박해양기술에 의존 시스템 개발을 위해 우선 현재 기술로 적용 가능하고, 파급효과가 큰 보조전원시스템부터 시작하여 디젤 등에 기술, 추진동력원까지 범위를 확대할 계획으로 선박해양기술에 의존 개발뿐 아니라 선박설계 및 적용, 표준 및 인증을 동시에 수행함으로써 즉시 시장적용 및 기술선점목표로 하고, 이를 위해 조선사 및 선급과 연계하여 공동개발을 수행할 예정이다.

이러한 고부가가치의 연료전지 선박 개발은 세계 1위의 국내 조선 산업의 입지를 강화하여 수출 경쟁력의 우위를 유지하게 할 뿐만 아니라 선박 엔진 분야에서도 우위를 가질 수 있어 현재 해외에 지급되고 있는 로열티의 상당부분을 절감할 수 있을 것으로 전망된다.

2.2.2 성능개선 및 국산화 기술개발

포스코는 2000년대 초반부터 국책과제 참여를 통해 국산화 기술개발을 추진해왔으며, 이중 포항산업과학연구원과 서울탄천 물재생센터에 설치 운영한 실증운전 경험을 바탕으로 설치시공에 대한 기술을 확보하였으며, 돌발상황에 실시간으로 대응하는 정비역량도 자체 확보하였다. 또한 현 상용화되고 있는 MCFC제품의 경우 고성능 기술개발을 위해 단위스택당 용량(350kW→375kW)을 확대하고, 효율(47%→58%)을 개선하며, 수명(5년→7년)을 증가하는 등 성능확대 기술개발이 진행 중이다. 또한 BOP·스택의 국내생산을 통해 적기 공급능력을 확보하고, NRC(Non Repeated Cell)에 대한 국산화를 추진하여 약 30%의 원가를 추가로 절감하는 기술개발을 진행 중이며, 다양한 제품군(100~350kW, 1.4~2.8MW) 및 응용제품(건물용, 선박용, 백업용 등)을 개발함으로써 국가 신산업 창출·육성 및 해외수출을 추진하고, 공장준공(BOP, 스택) 및 국내 중소기업 발굴을 통해 관련 전후방산업과의 동반성장을 추구하고 있다.

이와 같은 제품의 성능을 극대화하는 다양한 제품의 상용화 기술 및 국산화개발을 전담하는 연료전지 전문 기술연구소가 2009년 6월 건립되어 다양한 기술개발을 추진 중이다. 연구개발을 통해, 발전용 연료전지 분야에서 세계적인 경쟁력을 확보하게 될 것으로 기대하고 있으며, 이러한 기술개발이 성공할 경우 대부분 해외기술에 의존하고 있는 국내 신재생에너지산업에 획기적인 전기가 될 것으로 예상된다.

이로써, 포스코파워는 2007년 2월 사업을 본격화한 지, 불과 2년 여 만에 R&D, 생산, 판매, 서비스, 설치시공을 아우르는 연료전지 토털 솔루션의 기반을 마련하게 되었다.

3. 국가 신성장동력 육성전략 및 방안

3.1 정부의 신성장동력 육성전략

정부는 2009년 1월 6일 재정사업을 근간으로 한 녹색뉴딜 사업을 발표한 데 이어 13일(화) 이명박 대통령이 주재한 제 29회 국가과학기술위원회와 제3회 미래기획위원회 합동 회의에서 우리 경제의 새로운 성장 비전으로? 신성장동력 비전과 발전전략?을 발표하고, 3대 분야 17개 신성장동력을 확정하였다.

이날 선정된 17개 성장동력은 현재와 미래의 시장잠재력, 다른 산업과의 융합가능성 및 전후방연관효과와 녹색성장 연관성 기준아래 미래기획위원회 등 폭넓은 민간전문가의 자문을 통해 선정되었다.

특히, 이번 신성장동력 추진을 통해 차세대 무선통신*, 연료전지 발전시스템, WISE Ship** 등 핵심원천기술과 세계적인 경쟁력을 보유하고 있는 대표적인 제품들을 향후 10년을 이어가는 World Best 품목으로 만든다는 계획이다.

* 차세대 무선통신 : 고속, 고품질의 휴대용 멀티미디어 융합단말을 이용해 이동중인 고객에게 멀티미디어 정보기반의 다양한 응용서비스를 제공하는 차세대 통신 시스템

** 차세대 선박시스템(WISE Ship, World-leading, Intelligent & luxury, Safe, Environment-friendly Ship) : 미래형 친환경 선박과 심해/극지적용 해양플랜트 등 차세대 선박시스템
(출처: 지식경제부 신성장동력 비전과 전략, '09년1월13일)

연료전지 발전시스템의 세계시장 1위를 목표로, 정부는 국내 초기시장을 창출하기 위하여 발전차액 및 전용LNG요금제 등 지원제도를 통해 초기시장을 육성토록 하고, 기업은 기술개발 및 설비투자를 통해 글로벌 경쟁력을 확보한다는 정부 및 기업체의 역할분담 및 추진전략을 발표하였다.(그림 10 참조)

3.2 에너지중주국으로 도약하기 위한 추진방안

산업혁명 이후 지난 2세기간 인류문명의 번영을 구가해온 화력발전은 그 한계와 문제점으로 인해 이제 새로운 에너지 원으로의 교체가 필요한 상황이며, 새로운 패러다임을 이끌어갈 '에너지혁신의 New Generation'으로 연료전지 발전시스템이 각광받고 있다.

혁신은 점진과 급진의 이질적 변화의 속도가 점철되어 이뤄진다. 일례로 석탄은 로마시대부터 활용법이 알려졌지만, 사용은 극히 점진적으로 늘어나다가 18세기 증기기관이 발명된 후 폭발적인 수요의 증가로 산업혁명이란 급진적 혁신의 원동력이 되었다.

지난 150여 년 동안 점진적으로 기술진화해 온 연료전지, 이제 새로운 에너지시대가 요구하는 고효율, 친환경, 분산형 전원의 3대 필수요소를 모두 충족하는 차세대 발전설비로서



그림 10 신성장동력·비전 및 발전전략 보고대회(2009.1.13)

참고 문헌

수소경제사회란 새로운 세상으로의 이행을 재촉하고 있다. 연료전지 발전시스템이 주축이 된 에너지혁신은 전세계적으로 이미 급물살을 탔으며, 우리의 당면과제는 기술과 시장을 선점하고, 연료전지 산업화를 주도함으로써 새로운 에너지패러다임을 재편하고, 에너지중주국으로서 도약을 달성하는 것이다.

우리나라에서는 2006년 연료전지 발전차액보전제도가 시행되며 처음으로 시장여건이 형성된 이래, 최근 1~2년간 국가 신성장동력 및 핵심 그린에너지로 선정되고 민간기업에 의해 국산화와 차세대기술개발 관련 대규모 투자가 집행되는 등 연료전지 발전시스템은 비약적인 성장세를 보여왔다.

연료전지 산업화를 가속화하여 글로벌 시장을 석권하기 위해서는 기업들의 국산화, 기술개발 노력 외에도 정부 차원에서의 시장확대를 위한 법, 제도 개선 및 중장기적 관점에서의 거시적인 기술연구가 함께 수행되어야 할 것이다. 국가주도로 추진되어야 할 주요 정책과제로서는 연료전지용 LNG 요금제 신설, 발전차액지원제도의 규모확대, 수소의 공급, 운송, 저장 기술개발, RPS제도 하 연료전지 보급 촉진 등이 있다.

4. 결론

연료전지 발전시스템은 산업화 달성시, 금속, 전기, 전자, 기계 및 제어 산업과 부수적인 장치를 공급하는 새로운 시장을 창출할 수 있는 막대한 경제적 부가가치 파급효과를 지니고 있다.

지식경제부 신성장동력 비전과 전략에 따르면, 현재 연료전지 시장은 전세계적으로 연평균 80% 이상의 높은 성장세를 보일 것으로 예상하고 있으며, 2018년까지 시장규모를 전세계적으로 599억불까지 확대될 것으로 전망하고 있다. 또한, 정부는 2009년 9월, 향후 대한민국의 5년, 10년을 이끌 22개 신성장동력 중 하나로서 연료전지 발전시스템을 선정하였으며, 2018년까지 전세계시장의 40%를 점유하고, 국가 9대

수출산업으로 육성하여 2013년 9천명, 2018년에는 6만8천명 수준의 고용창출효과를 예상하고 있다.

이를 통해 그동안 기존 주력산업을 대체할 뚜렷한 새로운 성장동력의 창출이 이루어지지 않아 15년간 세계 13위권에서 정체되고 있는 우리나라 경제가 다시 한번 도약하는 계기가 마련될 것으로 기대되며, 기업의 국산화 노력 및 시장 Needs 증대를 비추어 볼 때, 향후 연료전지 발전시스템은 중앙발전 시장, 뉴타운 등의 분산형 및 도심형 전원시장, 무정전 및 선박용 발전시스템과 같은 특화된 시장 등에서 핵심 발전설비로 부상하리라 전망된다.

- [1] 에너지경제연구원 신재생에너지 보급 및 산업화육성 전략 ('08년9월29일, 부경진박사)
- [2] 류성남 외, 모듈형 Compact 연료전지 주변장치 (Balance of Plant, BOP) 설계기술 개발에 관한 연구, 산업자원부 최종보고서, 2007.
- [3] 김중철 외, 수소·연료전지 표준화 사업, 한국정밀화학 산업진흥회 보고서, 2007.
- [4] 수소와 연료전지의 동향과 전망, 한국과학기술정보연구원 보고서, 2006.
- [5] 연료전지 개발동향, 한국과학기술정보연구원, 2005.
- [6] 홍성안, 수소경제·연료전지 현황 및 전망, 한국과학기술연구원, 2008.
- [7] 대경 광역경제권 선도산업 R&D 사업계획서, 2009.11.
- [8] 지식경제부 신성장동력 비전과 전략, '09년1월13일.
- [9] 그린에너지 전략로드맵, 2009.5.
- [10] 신성장동력 연료전지 발표자료, 지경부.
- [11] 신재생에너지 RD&D 전략 2030, 2007.11, 산업자원부, 에너지관리공단, 신재생에너지센터.
- [12] 분산형 연료전지 발전시스템, KISTI, 2004.
- [13] NEDO, www://www.nedo.go.jp
- [14] 최종 에너지 수요 전망: 2008, 에너지경제연구원.
- [15] 에너지관리공단 신재생에너지센터, 2006년도 신재생에너지기술개발사업 자료집.
- [16] 산업자원부 신재생에너지센터, 2005년 신재생에너지 백서
- [17] Fuel Cell Energy, Inc., Fuel Cell, 2005.
- [18] Marine Fuel Cells. PDF
- [19] Safety and classification procedures of fuel cell ships. PDF
- [20] SHIPS SERVICE FUEL CELL POWER PLANT DEVELOPMENT. PDF
- [21] Fuel Cells and Marine Applications. PDF

- [22] Fuel Cell Propulsion of Submarines. PDF
- [23] Proton for world's first fuel cell passenger ship. PDF
- [24] First fuel cell passenger ship launches in Germany.
- [25] The role of fuel cells in ship operation. PDF

〈 필 자 소 개 〉



황진석(黃振碩)

1974년 3월 23일생. 1997년 고려대 이과대학 화학과 졸업. 2000년~2003년 삼성SDI ME 근무. 2003년~2007년 LG화학 전자사업부 근무. 2007년~현재 포스코파워 기술연구소 책임연구원.



이장우(李璋雨)

1976년 9월 5일생. 2003년 연세대 공과대학 기계공학과 졸업. 2005년 동 대학원 기계공학과 석사. 2007년~현재 포스코파워 기술연구소 선임연구원.



정기석(鄭基石)

1972년 12월 20일생. 1995년 포항공대 화학공학과 졸업. 2003년 동 대학원 화학공학과 졸업(공학박). 2003~2005년 삼성전자 근무. 2005년~2007년 포스코 근무. 2007년~현재 포스코파워 기술연구소 팀장.



황정태(黃禎泰)

1966년 10월 14일생. 1989년 서울대 공과대학 화학공학과 졸업. 1994년 포항공대 대학원 화학공학과 졸업(공학박). 1994년~2000년 삼성중공업 근무. 2001년~2009년 GS퓨얼셀 부사장. 2009년~현재 포스코파워 기술연구소 소장.