



수소에너지시대를 위한 연료전지 기반 마이크로그리드 기술

홍원표 <한밭대학교 설비공학과 교수>

1 서론

현대문명은 화석연료기반의 에너지를 바탕으로 이룩되었다. 이제 이 에너지로 이룩된 자본주의 미래세대가 쓸 에너지와 자원을 남김없이 고갈시키는 주 원인이 되었다. 이제 무분별한 경제성장은 곧 기후변화를 거론하지 않더라도 미래세대의 생존을 위협하는 심각한 단계에 와있다. 화석연료를 사용하여 이룩한 현대문명은 3가지의 위협에 직면에 있다. 첫째는 석유중심의 화석에너지는 세계 경제의 파국을 초래할 수 있다. 지금의 자본주의 산업화와 풍요는 석유정점 후에 에너지 고갈로 이어져 종말을 고할 수 있다. 둘째는 중국과 인도의 경제발전으로 촉발된 석유의 확보전쟁은 도처에서 발생되고 이는 우리의 일상생활에서도 심각한 영향을 초래하게 된다. 셋째는 기후변화의 주범으로의 석유는 지구 생태계에 심각한 영향을 주고 있으며 계속적으로 증가 추세에 있어 이의 해결할 대안도 담보할 수 없는 실정에 있다. 현재 우리는 석유정점이 알려주고 있는바 불가피하게 닥칠 파국을 피하기 위해서라도 지속가능한 사회로의 개편을 서두르지 않을 수 없다. 수소에너지가 유일한 대안이 될 것이라는 것이 연구와 관련기술이 개발이 이루어지고 있으나 석기시대에서 석탄시대로 다시 석유시대로 넘어

어오는 과정에서 겪는 것과 같이 논란이 지속되고 있다. 그러나 자본주의 산업사회에서 생태사회로의 전환은 우리가 선택해야 할 거의 유일한 길이며, 그러한 전환을 현실 가능성에 맞추어 단계별로 추진해 나가야 한다는 지극히 당연한 현실주의 사고를 가지고 실천해 나가야 하는 시점이라는 명제에 도달되어 있는 것은 사실이다[1].

현재 미국, 일본 등 세계 주요국은 수소경제를 미래의 에너지 고갈과 기후변화에 대응하기 위한 유력한 방안 중의 하나로 수소경제 기초 인프라 구축을 위한 연구기반 조성 및 활성화에 예산지원과 기술개발 투자를 지속적으로 실시하고 있다. 대부분 선진국들은 지속가능한 에너지 체계로서의 수소경제의 중요성을 분명히 인식하고 있으며 미국과 일본은 1980년대부터 수소를 중심으로 한 지속가능한 에너지시스템 구축을 위해 국가 차원에서 프로그램 및 기술개발, 상용화에 주력해 오고 있다. EU역시 막대한 예산을 연료전지의 기술개발과 보급에 투입하고 있으며 캐나다는 수소 경제도래에 대비하여 수소 연료전지 R&D 산업화에 주력하고 있다[2].

우리나라도 수소연료전지사업단에서 2004년부터 광범위한 연구를 수행하였으나 아직은 기술의 중요성 인식과 성숙도에서 미흡한 수준에 있다. 정부도

2011년 5월 24일 스마트그리드 사업을 제도적으로 지원할 수 있는 특별법인 ‘지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률’을 제정하였다. 동시에 국가 스마트그리드 구축 로드맵을 확정하였다[3]. 또한 저탄소 녹색성장법에서도 수소와 연료전지의 개발과 보급이 중요한 분야로 선정하여 추진하고 있다.

수소사회에 중요한 역할이 기대되는 연료전지 시장은 크게 주택 및 건물용 등의 정지형(stationary) 시장과 자동차용 시장으로 나누어 볼 수 있는데, 이 중 정지형 시장은 대규모의 발전 설비보다는 전력과 열을 동시에 공급하는 수급 지역별 소형 복합발전, 코제너레이션 발전시스템이 각광받을 것으로 전망되고 있다. 이 연료전지와 수소에너지는 저탄소 녹색성장의 새로운 패러다임을 제공하는 기술로 등장할 것으로 예측된다[4-8]. 이에 본고는 화석연료가 현재 자본주의에 던지는 경고를 상기하고자 지속가능한 에너지의 모색이 수소를 중심으로 한 이슈화되고 있으며, 에너지의 유일한대안일 수도 있는 수소에너지에 대한 중요성을 강조하는 데 있다. 이는 수소가 발전, 열(CHP) 및 연료 등 에너지원으로 다양하게 활용할 수 있을 뿐만 아니라[9] 연료전지의 도심지분산전원 및 빌딩의 그린에너지원, 마이크로그리드, 해상과 해안 풍력단지를 통한 수소제조를 통한 연료전지 발전시스템(섬, 빌리지 커뮤니티)등의 개발 및 실용화는 이제 연료전지 기반 마이크로그리드가 스마트그리드의 중요한 구성인자로 자리매김할 것이 틀림없다. 따라서 수소경제의 중요한 역할이 기대되는 연료전지 기반 마이크로그리드 전망과 관련 기술의 현황에 대하여 정보를 제공하고자 한다.

2. 수소에너지는 유력한 대체에너지원인가?

수소에너지는 궁극적으로 인류가 당면해 있는 에너지와 환경문제를 해결할 수 있는 꿈의 에너지원으로 평가되고 있다. 즉 수소는 전기와 같이 다른 에너지원

으로부터 얻어지는 2차 에너지원이지만 지구상에 존재하는 풍부한 물로부터 제조할 수 있어 자원의 제약이 없고 연소생성물이 물 밖에 없는 청정연료이다. 그림 1은 수소에너지를 에너지안보, 환경보호 및 에너지 고효율화로 이룩할 수 있다는 3E를 표현하였다. 따라서 인류가 안고 있는 화석연료의 한계인 부존자원의 고갈과 지구온난화 및 환경오염 문제를 극복할 수 있는 유일한 대안이라 할 수 있다. 그러나 수소는 자연에 독립적으로 존재하지 않고 다른 원소와 화합물 형태로 존재하기 때문에 수소를 생산하기 위해서는 추가로 에너지를 투입해야 한다. 따라서 제조방법에 따라서는 생산된 수소에너지 보다 투입된 에너지가 더 많아서 에너지의 경제성이 떨어지는 문제가 나타나기도 한다. 수소를 생산하는 방법은 그림 2와 같이 크게 2부분으로 구분할 수 있다. 즉 화석 연료로부터 생산하는 방법과 대체에너지로부터 생산하는 방법이 있다. 중장기적으로 태양광, 풍력, 광축매, 바이오 등과 같이 재생 가능한 무공해 대체에너지 원을 사용하여 물로부터 수소를 추출하는 방법을 사용하는 것이 이상적이지만 현재까지는 경제성이 대체로 낮기 때문에 활용에 제한이 있다. 현재는 석유, 천연가스, 석탄 등과 같은 화석연료와 바이오매스에 의한 재생 에너지원으로부터 수소를 생산하는 것이 더 경제적이다. 연료전지는 이를 연료로 사용하면 에너지 효율이 기존 동력장치보다 높기 때문에 수소를 생산하는 과정에서 야기되는 에너지 효율 저하를 극복할 수 있다. 연료전지 발전기술은 수소에너지로 대표되는 미래 에너지 경제구도 즉 “수소경제구도”에 있어서 풍력, 태양에너지와 같은 자연에너지의 수급상의 불균형을 가장 경제적으로 조절 보완할 수 있는 전력사업용 에너지 기술이며 또한 자동차 동력원 및 휴대전원용 등 그 응용범위가 매우 넓어 향후 에너지 시장을 주도할 대표적인 기술로서 경제적 개발가치가 매우 높다. 이러한 이유로 연료전지는 인류에너지 문제의 유일한 대안으로 인식되고 있는 수소에너지를 가장 효율적으로

활용할 수 있는 핵심기술이다[10].

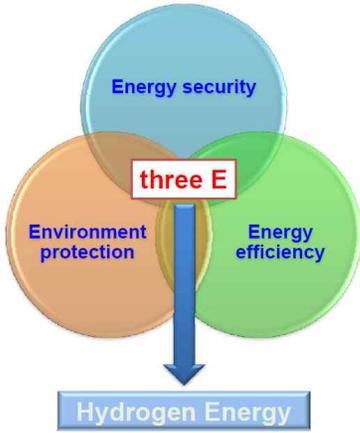


그림 1. 수소에너지의 속성(3E)

즉 석탄을 에너지원으로 한 동력원으로서 증기기관이 개발되어 산업혁명을 이루었으며 석유시대에는 내연기관이 개발되어 20세기의 산업발전을 주도하였듯이 연료전지는 수소에너지를 전기 에너지와 열에너지

로 변환시키는 친환경적이고 에너지효율이 높은 열병합발전시스템으로서 새로운 동력원으로 평가되고 있다. 따라서 연료전지 기술은 미국의 비전 21 및 세계 유수기관이 선정한 21세기 10대기술 중 하나로서 그 중요성이 인정되고 있다. 수소에너지의 등장은 수소 이용기술인 연료전지발전기술의 실용화가 매우 중요하지만 신재생에너지의 등장으로 새로운 분산에너지를 기반으로 하는 마이크로그리드시대의 도래로 인하여 활용의 폭이 확대되고 시장진입이 빠르게 진전될 것이다. 녹색도시구현에 핵심기술로 등장할 것으로 판단된다.

연료전지는 수명 등 기술의 신뢰성과 제조단가의 저감측면에서 연구개발이 더 필요하지만 응용분야에 따라서는 실증과 보급이 더 확대되고 있다. 연료전지 기술의 상용화 전단계인 실증과 상업적 보급을 위해서는 수소의 제조, 저장 등의 수소 인프라가 선행되어야 한다. 연료전지차량의 보급을 위해서는 더욱 그러하다. 이러한 측면에서 수소경제의 구현은 연료전지

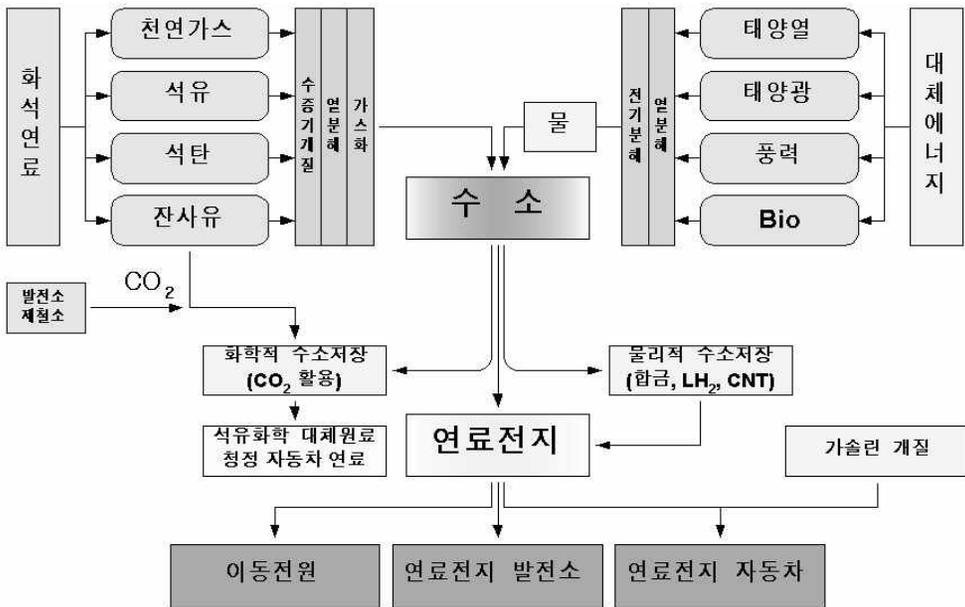


그림 2. 수소제조기술 및 연료전지기술 계통도

발전기술, 수소의 제조, 저장, 운반기술의 산업화가 동시에 이루어져야 한다.

수소제조 및 발전장치를 위해서는 연료전지와 수전해장치가 일체형으로 구성되어 하나의 셀에서 전기분해와 발전을 수행할 수 있는 일체형 재생연료전지(URFC : Unitized Regenerative Fuel Cell)와 연료전지와 수전해장치가 구분되어 별도의 장치로 구성된 일반적인 재생연료전지 시스템을 고려할 수 있다. 수소를 이용한 에너지 저장 및 발전은 작게는 재생형연료전지 시스템으로 국한시켜 고려할 수 있으나 크게는 신재생에너지와 기존의 발전 설비와 연계된 복합발전시스템으로서 수소에너지공원과 새로운 비즈니스 모델인 이용한 마이크로그리드발전 시스템까지 확대시킬 수 있는 개념으로 앞으로 전개될 수소 에너지 사회에 핵심이 될 수 있는 기술이다.

3. 연료전지 기반 마이크로그리드 기술

3.1 스마트그리드와 그린시티와의 관련성

3.1.1 스마트그리드와 마이크로그리드

수용가와 다수의 분산전원을 하나의 계통으로 Network화하는 수요지 에너지 공급체계 즉 『마이크로그리드(Microgrid)』 기술이 부각되고 있다. 마이크로그리드는 신·재생에너지와 소규모 분산전원을 이용하여 현재의 집중적인 전력공급 시스템의 대안으로 부각되고 있는 지역적 에너지 공급을 위한 새로운 개념의 전력 네트워크이다. 이와 같이 마이크로그리드는 다수의 소규모분산전원과 저장장치 및 부하의 집합체로서 기존의 전력망과 연계 혹은 분리 운전될 수 있는 소규모 전력망”으로 정의할 수 있으며, 분산전원기술 배전 전력망 기술, 통신 기술, 제어기술이 통합된 미래의 혁신적인 전력공급기술로 받아들여지고 있으며 마이크로그리드가 주목 받는 이유는 이 기술이 가진 환경적, 경제적, 사회적 가치에 기인한다.

이러한 마이크로그리드가 주목을 받는 가장 큰 이유는 풍력, 태양광, 연료전지 등의 환경 친화적인 에너지를 효율적으로 이용할 수 있다는 장점이 있으며, 또한 이산화탄소 저감 등의 환경문제와 새로운 지열, 태양열, 바이오매스발전 등 복합적인 에너지원의 관점에서 광범위하게 이해되어야 한다. 이 기술은 분산전원, 배전계통 해석 및 운영, 신재생에너지 기술, 통신 및 제어기술이 통합된 미래혁신적인 전력공급 기술로 녹색성장의 대표기술이다. 이러한 마이크로그리드 기술에 대하여 전 세계적으로 요소 기기, 시스템 운영기술, 에너지관리기술 등의 제반기술에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 특히 유럽연합, 미국, 일본 등은 마이크로그리드의 상용화하기 위하여 다양한 실증 프로젝트를 진행하고 있다. 스마트그리드는 현대화된 전력망에 IT기술의 융복합을 통하여 구현된 차세대전력망 및 이의 관리체계를 의미하며 스마트그리드 수용기는 단순 전력소비형태에서 신재생에너지 발전과 수요관리 및 참여 형태로 전환될 것이다. 이와 같이 수용가가 통합 관리되고 전력망 운영자와 연결되어 원활히 운전되기 위해서는 마이크로그리드기반의 운전(운영)방식이 요구된다. 마이크로그리드는 스마트그리드에서 하나의 셀 또는 노드 역할을 하게 되며 계층적인 마이크로그리드는 스마트그리드를 구현하게 된다. 최근 녹색기술의 핵심으로 스마트그리드는 에너지와 IT의 융합 사례로서 고품질, 고신뢰 및 고효율의 전력공급이 가능한 배전계통으로 분산전원을 통합 운영하고, 신재생에너지의 확대 또한 전력망을 디지털화 하여 양방향 통신 기술을 통해 전력망 운영자, 발전업체, 전력소비자, 에너지관리서비스업체, 장비제 공업체 모두에 새로운 가치를 제공하고 나가 국가 경제성장 및 기후 변화 대응에도 큰 기여를 할 것으로 기대되고 있다. 우리나라 그린에너지 전략로드맵 중에서 스마트그리드 구성요소로 이는 신재생에너지 통합, 전기자동차와 전력저장 및 마이크로그리드 분야가 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다.

3.2. FC기반 마이크로그리드

3.2.1 연료전지 CCHP시스템 기술

연료전지란 연료가 갖는 화학에너지, 즉 등온의 것으로 정적으로, 연속적으로 전기에너지를 직접변환하는 장치로 정의할 수 있다. 즉 전해질에서 수소와 산소가 반응하고 그 부산물로 물과 열을 발생한다. 연료전지가 발전장치로 적합한 이유는 발전효율이 높고, CO₂, NO_x 등의 공해물질 배출이 적고 용량에 관계없이 높은 효율을 유지할 수 있으며 유용한 열을 생산할 수 있고 가스터빈과 연계하여 85~90%의 발전효율을 극대화 가능하며 다양한 연료를 사용할 수 있기 때문이다. 특히 전력시장의 자유화에 따라 고효율 분산 발전방식이 요구, 전력소비형태의 다양성 및 고효율을 저공해 연료전지 발전방식이 전기와 열을 동시에 생산하는 CHP 시스템으로 FC의 장점을 크게 활용할 수 있기 때문에 가정용(residential power generation, RPG), 상업용 빌딩 및 산업용 등으로 종류 별로 차이는 있지만 실용화단계까지의 기술이 확보되어 있어 광범위하게 보급될 전망이다. 따라서 연료전지를 사용하는 소규모 CHP시스템 연구는 미국, 일본, 유럽 등에서 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이러한 가능성에도 불구하고 아직 높은 가격과 장기사용시 내구성 문제 때문에 상용화에 문제점을 가지고 있다. 광범위한 상용화를 위해서는 US\$1,000/kW 및 40,000시간 운전이 가능해야하기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 발전용 연료전지는 그 용량에 따라 1) 소형(10kW이하) 가정용 2) 중형(10~ 300kW) 산업 및 상업용 3) 대형 (수 MW 정도) 발전용으로 구분할 수 있다. 연료전지시스템은 수소개질기, 연료전지스택, 운전에 필요한 보조계통, 인버터 등 여러 구성요소를 가지고 있다. 가스화 같은 연료원으로부터 수소를 생산하는 공정을 개질(reforming)이라 한다. 사용하는 전해질 종류를 제외하면 대부분의 연료전지 설계는 유사하다. 현재

연구개발되고 있는 연료전지에는 알칼리 연료전지(AFC), 폴리머전해질막연료전지(PEMFC), 인산 연료전지(PAFC), 용융탄산연료전지(MCFC), 고체산화물 연료전지(SOFC), 직접메탄올 연료전지(DMFC) 등이 있다[2-3, 11]. 그림 3은 연료전지 원리 및 스택구조를 나타낸 것이다.



그림 3. 연료전지 원리 및 스택구조

중대형 발전에서는 저온 연료전지에 비해 고온 연료전지가 적용하기에 유리하며 이는 고온 작동으로 인하여 다양한 연료를 사용할 수 있으며, 내부개질에 의하여 효과적으로 연료전지에서 발생하는 열을 제거할 수 있으며 마이크로 가스터빈과 연계하여 고효율 발전시스템 구성 및 운전이 실시되고 있다. 또한 MCFC는 MW급 발전시스템 실험이 이루어졌다. 미국 FCE 및 독일 MTU의 MCFC 시스템 실증실험 결과에 의하면 전력효율이 45%, 전체 열효율이 75% 이상 이었다. 현재 100kW급에서 MW급까지의 발전용 시장은 초기의 시장흐름이 데모형으로 보급이 이루어질 수 있으나 대부분 2010년 이후에 적극적인 시장이 가시화되고 있다. 가정용의 연료전지는 0.5~10kW급의 범위에서 가정이나 빌딩용 소규모열병합 발전이 이루어질 수 있는 영역으로 시장조건이 양호한 편이며, 현재 상용화기술이 확보되었으며 대응 기술인 소형 CHP의 기술개발도 실용화되고 있다. 현재 국내에서는 한전 주관 250kW MCFC 발전시스템에 대한 국내 자체기술개발이 진행되고 있으

며 또한 포항제철 주관으로 PEC사에서 동급 MCFC 발전모델을 도입하여 실증사업이 실시되고 있다. SOFC에 대해서는 한전주관의 5kW 열병합 모듈 개발과제가 추진되고 있다. 고온 중대규모 발전용 연료전지의 국내개발과제는 내구성이 40,000시간, 시스템 전력효율 40% 이상, 전체효율 70% 이상 및 경제성 \$1500/kW 등이며, 이를 위하여 MCFC에서는 제작단가 절감, 분리판 부식 및 전해질 손실에 의한 성능감소 문제해결, SOFC에서는 제조단가 저감, 운전온도 저감에 따른 수명증가 및 열사이클 특성향상 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 1) 유럽연합 : 유럽연합이 지원하는 버추얼 연료전지 프로젝트는 개별난방, 냉방, 전원공급용으로 다사구 주택, 소기업, 공공시설 등에 약 40기의 유닛이 설치되어 운용 중에 있다. 중앙에서 통제하고 계통과 연계되어 전력의 피크 수요를 충당하는데 목적을 두고 있으며 가정과 소규모 사무실용 CCHP 신뢰성과 경제성 평가를 실증할 것이다. 일본은 도시가스에 비해 상대적으로 전기료가 비싸 일찍부터 가스엔진등소규모발전시스템에 대한 수요가 있어 왔다. 일본 정부에서는 건물용 연료전지시스템을 자동차용 연료전지와 더불어 신성장동력의 핵심기술로 선정하여 기술개발과 보급에 많은 지원을 하고 있다. 신에너지재단(NEF)은 일본 통산성의 허부조직이며 일본연료전지산업에 대한 조사와 실증프로젝트를 수립하는 역할을 수행해 왔으며 2000년도부터 연료전지 상품화 유인책 표준성능테스트 방법 획득 안전코드 및 표준 항목개발 규제완화를 위한 필요조건 등의 목적으로 도쿄와 오사카에 밀레니움플라자를 개관하여 다양한 시스템을 운전 평가하였다. 또한 이 프로젝트를 확대하여 2002년에 12곳 2003년에는 가정용 1kW, 상업용 5kW 용량의 31기의 건물용고분자연료전지 실증시스템을 설치 평가하였다. 일본은 건물용 연료전지 상용화를 위한 표 1의 로드맵을 통해 정부의 적극적 보급지원과 함께 실용화기술 개발 및 차세대기술개발을 위한투자가진행 중이

다. 대규모 실증과 더불어 열화원인분석 등 기초기술에 대한 지속적인 연구개발을 함께 진행하고 연료전지스택 등 요소부품의 양산기술개발을 진행 중에 있다. 또한 시스템 가격인하를 위하여 2005년부터 3년간 펌프 밸브 센서류 등의 보조기기 국산화·공용화 개발을 진행하여 공용화 부품단가를 70% 낮추는 등 높은 성과를 이루었으며, 이를 토대로 2008년 2월부터는 저전압대응 인버터 저가 열교환기 장수명수처리장치 개발과제를 추진하고 있다. 2005년부터 2008년까지 진행된 대규모 모니터링사업을 통해서는 누적 3천기 이상의 연료전지시스템이 일본전역에 설치·운전되었으며 2009년부터 대규모 보급 사업을 통하여 연료전지시스템의 가격저감 및 상용화전략을 추진할 계획이다. 최근 파나소닉에서는 2015년 건물용 연료전지매출 1천억 엔을 목표로 연산 1만대 이상의 공장을 건설할 계획을 발표하였다.

표 1. 일본의 건물용 연료전지

	2007	2008	2010	2015	2020~ 2030
발전효율	36%	37%	37%	37%	40%
내구성	2만시간	4만시간	4만시간	4만~9만 시간	9만시간
작동온도	70℃	70℃	70℃	70~90℃	90℃
시스템 가격	약470만엔 /kW	250만엔/ kW 회사별 1천대/년	70~120만엔/ kW 회사별 1만대/년	50~70만엔/ kW 회사별 10만대/년	40만엔 /kW

일본 및 EU 등 수소·연료전지 선진국은 수소경제의 대두에 대비하여 자동차 및 가정용 연료전지 개발, 수소에너지 인프라 구축 등에 주력하고 있는바, 자세한 내용은 표 2와 같다. 동경가스에 의하면 가정용열

기술래설

병합용 연료전지 발전기를 도입하여 전기와 난방효과의 절감효과는 일반전력 및 보일러 사용대비 12~13% 정도, CO₂배출량 대비 40%, 에너지 절감효과는 26%이다.

표 2. 주요국의 수소·연료전지 개발동향

	내 용
미국	향후 5년간 Hydrogen Fuel Initiative와 FreedomCAR프로젝트에 총 17억 달러 투자
일본	2020년까지 연료전지자동차 500만대, 가정용 연료전지 570만대(1,000만kW) 등 보급 추진
EU	범유럽 차원에서 2002~2006년간 연료전지와 수소에너지에 21억 달러를 투입하였으며 프랑스, 독일 등 개별국가 차원의 지원도 병행
캐나다	연료전지 상업화 로드맵(2003년)에 따른 정부 차원의 육성 Ballard社등 세계적 기업보유 및 연료전지 클러스터 육성

3.2.2 우리나라 (설치) 현황

우리나라는 2006년부터 3년간 900억 원의 예산을 투자하여 “연료전지자동차”와 “가정용연료전지시스템” 모니터링 사업을 진행 중에 있으며, 2008년 「녹색성장 실현을 위한 그린에너지 산업 발전전략」에서는 2020년까지 가정용 수소연료전지 10만대 보급을 목표로 하고 있다. 주로 수송용 및 건물·상업용에 적용되고 있는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)는 수송용은 현대·기아자동차, 건물용은 GS퓨얼셀, 퓨얼셀파워, 효성이 연료전지시스템 서플라이 체인을 구축하고 있다. 건물용 연료전지는 지난 2006년부터 진행되고 있는 모니터링 사업을 통해 핵심부품인 스택, 연료처리장치(개질기), 전력변환기 순으로 단계별 국산화를 실현하고 있다. LNG를 개질할 때 부취제로 들어간 황 성분을 제거해주는

탈황반응, 700℃ 이상의 고온에서 수증기와 메탄을 반응시켜 수소로 전환하는 수증기 개질반응 등 총 4가지의 반응기로 이뤄져있는 연료처리장치는 한국가스공사, GS퓨얼셀, 퓨얼셀파워 등이 지난 10여 년 동안 국산화 개발을 수행해왔다. 국내, 주택·상업용 연료전지 보급 ‘전력 시장 중 주택용(1kW급) 연료전지 대상 호수는 1,100만호, 상업용(5~10kW급) 연료전지 대상 호수는 540만호로 전체 전력 시장 중 92.8%의 높은 비율을 차지하고 있다. 천연가스용 연료처리장치 개발과제를 통해 1kW급 원통형 연료처리장치를 개발한 가스공사는 모니터링 사업 내 연료전지시스템에 적용해 현재 실증운전 중이다. GS퓨얼셀은 1.5/3kW급 가정용 연료전지시스템 실증연구과제로 자체개발한 연료처리장치를 탑재해 실증평가를 완료했다. 셀 스택의 경우 지난 2004년 퓨얼셀파워가 MEA 국산화에 성공해 이후 자사의 스택에 적용하고 있다. 또한 지난해부터 현대자동차와 함께 국책 기술개발 과제로 기존 불소계보다 부식저항성이 우수한 탄화수소계 MEA를 개발 중이다. 한국에너지기술연구원에서 개발한 1kW급 건물용 연료전지시스템의 연료처리장치 및 스택의 경우 모든 구성품 설계 및 제작 기술을 국내에서 확보해 100%의 국산화율을 이뤘다. 그러나 공기 블로워, 냉각펌프, 기습기 등의 BOP(Balance of Plant : 주변장치)는 아직 50% 수준으로 이에 대한 기술개발이 좀 더 요구된다[2-3].

- 용융탄산염형 : 대형 분산전원용 발전소, 대형 건물 및 아파트의 분산전원용으로 이용
 - 2009년까지 250kW급을 모듈화하여 MW급 시스템을 개발할 수 있는 여건조성을 하여 실제 MW급 시스템제작 및 운영은 발전회사에서 추진하도록 함.
- 고체산화물형 : 효율이 가장 우수한 연료전지로, 최근에 소·중·대형으로 모든 분야에 이용 가능한 것으로 알려져 있으나 다른 연료전지에

비해 기술이 뒤처짐.

- 1kW급을 개발(전력연구원)중이며, 2006년부터 5kW급을 기술개발하여 가정용으로 실용화 모색 및 용량확대를 통하여 대형발전용으로 연구추진
- 고분자 전해질형 : 가정용, 이동용, 자동차용 등으로 이용하며, 최근에 가장 진보된 기술로 가정용으로 기술을 개발하여 보급
 - 1~3kW급 모니터링사업 및 보급을 통하여 상용화를 위한 저가격화 실현 및 부품의 국산화율을 증대시켜 관련 산업 육성
 - 80kW 및 200kW급 승용차, 버스의 모니터링사업 및 보급을 통하여 상용화를 위한 저가격화 실현 및 부품의 국산화율을 높여 관련 산업 육성
- 서울의 신재생에너지 20%보급을 통한 에너지 청정도 향상 및 에너지 자급기반 조성 일환으로 서울형 청정에너지 수소 집중 보급할 예정으로 '30년 700MW를 목표로 하고 있다. 또한 1kW 가정용 보급 사업으로 '08년 30기, '09년 40기 설치하고 '30년까지 10만호(100MW)를 목표로 하고 있다.
 - 공동주택 단지용 1,000~2,000세대 이상 공동주택, 연면적 5만m² 대형빌딩, 자원회수시설, 대규모 개발사업 등 적용하고 2030년까지 600MW (노원2.4MW 등 5.2MW, 마곡 10MW 등) 설치 계획
 - 특히 서울시가 포스코파워와 공동으로 서울 노원구에 2.4MW급 수소연료전지발전소를 준공하였다. 150억원의 예산이 들어간 수소연료전지발전소는 3,200가구의 전력과 1,000가구의 난방에너지를 생산할 수 있는 연료전지시스템이다. 서울시는 이번 사업에 이어 택지개발지구, 뉴타운지구 등에 수소연료전지 도입을 확대할 예정

3.2.3 CHP시스템으로서의 연료전지

연료전지시스템은 어느 종류나 폐열을 발생한다. 주요배열은 개질기와 전지본체에서 얻는다. 이 발열 반응에서 나오는 열은 주로 주거용, 상업용, 공공시설용 난방 및 급탕과 흡수식 냉동기를 활용하여 난방에 활용할 수 있다. 업무용 CHP시스템용으로 수용가에 연료전지를 설치하여 발생하는 전기와 열을 함께 유효하게 이용하도록 하는 것으로 레스토랑, 병원, 호텔, 사무실용 등 다양한 업종에 이용을 기대할 수 있다. 엔진, 터빈의 기존 CHP시스템용 열원기기와 비교하면 발전효율이 높고 또한 SO₂, NO_x 배출이나 소음 등 환경 규제가 엄격한 대도시에서도 쉽게 적용할 수 있는 유리한 점이 있으며 종래에는 경제성이 성립하기 어려웠던 열전비가 작은 유지를 포함하여 보급이 전망되고 있다. 또한 컴퓨터 등 고품질 전원이 요구되는 지능형 빌딩에 있어서도 축전지와 조합한 무정전 전원 시스템으로서의 응용도 매력을 끌고 있다. 동시에 산업용 CHP시스템용으로 연료전지를 공장 등에 설치하여 활용이 유망한 곳은 시설농업 원예 식품가공제조업(배열온도가 100~190°C에서도 유효), 전기도금업(직류 부하가 많은 곳), 전해공업, 철강업, 석유정제업, 석유화학공업 등(부생 수소를 이용함으로써 개질기 필요 없음) 등이다. CCHP시스템으로 활용하기 위하여 FC는 전해질의 온도가 중요하다. 전해질에 따른 분류를 통하여 알 수 있듯이 FC는 작동온도가 시스템의 설계, 적용분야 및 가스터빈과의 하이브리드시스템의 BCHP 운전 등에도 크게 영향을 미치며 작동온도에 따라 크게 2가지로 나눌 수 있다. PEMFC와 PAFC 등은 비교적 낮은 온도인 100~200°C에서 운전되어 저온FC로 불리워지며 반면 MCFC와 SOFC는 작동온도가 600~1,000°C 내외로 운전되므로 고온FC라 나눌 수 있다. 특별히 저온FC는 수소만이 전기로 변환되기 때문에 매우 복잡한 연료처리 기술을 요하며 이 FC는 CO에 의한 백

기술해설

금 피독에 매우 민감한 특성을 가지고 있다. 고온FC는 수소와 CO가 전기로 직접 변환되기 때문에 간단한 탄화수소(hydrocarbon) 분자를 이용하여 연료를 공급할 수 있다. 고온FC는 대용량 고정 전력시장에 목표로 하고 있다. 냉방루프는 일중효용 냉동기를 사용하며 급탕과 난방을 위하여 열교환기를 사용한다. 고온 PEMFC 역시 개발 초기단계이지만 저온 PEMFC보다 전체코스트의 저감과 CHP의 열효율면에서 매우 우수하다고 평가되고 있다. 여기서는 FC

가 SMR(Steam methane reformer)에서 발생되는 수소에 의하여 발전을 가정하고 그 용량 범위는 사업용 빌딩용으로 50~250kW를 사용할 수 있다. CCHP 모델은 앞으로 빌딩적용에 유력한 종류는 SOFC이며, 이 SOFC 모델 상태입출력 값이며, 높은 600°C가 넘는 높은 배열온도를 가지고 있어 냉방루프는 일중 또는 2중 효용 냉동기를 사용하며, 급탕과 난방을 위하여 열교환기를 사용한다. 그림 4는 열병합시스템의 종합 효율을 나타낸 것이다[12]. 또한 표 3은 열병합시스템으로서의 연료전지 특성을 요약한 것이다.

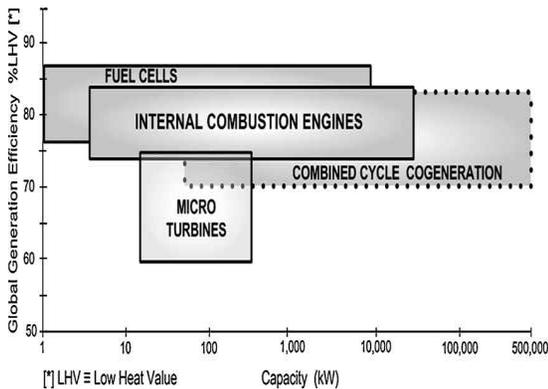


그림 4. 열병합시스템의 종합효율

표 3. 열병합시스템으로서의 연료전지 특성 요약

FUELCELLTYPE	PEMFC	PEMFC	PAFC	SOFC	MCFC
Nominal Electricity Capacity (kW)	10	200	200	100	250
Electric Heat Rate (MJ/kWh), HHV	12	10.3	10	8	8.4
Electrical Efficiency (%), HHV	30	35	36	45	43
Fuel Input (MW/hr)	105	2.11	2.005	845	2.11
Operating Temperature (°C)	70	70	200	950	650

COGENERATION CHARACTERISTICS	PEMFC	PEMFC	PAFC	SOFC	MCFC
Heat Output (MW/hr)	42	760	780	200	465
Heat Output (kW equivalent)	13	211	217	56	128
Total Overall Efficiency (%), HHV	68	72	75	70	65
Power Heat Rate (MJ/kWh)	0.77	0.95	0.92	1.79	1.95
Net Heat Rate (MJ/kWh)	6.7	5.5	5.1	5.5	6.0
Effective Electrical Efficiency (%), HHV	53.6	65.0	70.3	65.6	59.5

3.3 FC 종류별 특성 및 열병합발전 활용

표 4는 FC 종류별 특성을 나타낸 것이다. 이 특성을 근거로 FC기반 마이크로그리드도입 및 그 역할을 도출하였다. 표 4에서 보는 바와 같이 도심지 마이크로그리드로 MCFC 중심으로 도입되고 있으나 단시간 내에 SOFC와 수백 kW급 PEMFC 등도 빌딩 및 단지 마이크로그리드 또는 도심지마이크로그리드로 도입될 것으로 판단된다.

DC-bus 기반 WT(PV)-수소하이브리드 에너지 시스템 구성을 유연하게 나타낼 수 있다. 현재 미국, 유럽을 중심으로 다양한 조합을 구성하여 개발 연구 중에 있으며 2020년 경에는 기술적으로 안정하고 경제성을 갖춘 시스템이 개발될 것으로 판단된다. 특히 수전해장치를 가지는 복합 에너지시스템은 지역적 특성에 따라서 선택하여 도입하여야 한다. 해안가 도농(어)지구 등에서는 풍력시스템을 주 에너지원으로 농촌지구 등 일사량이 풍부한 지역에서는 PV를 주 에너지원으로 선택할 수 있다. 수전해장치를 사용하여 PV 또는 풍력발전으로부터 잉여전력을 사용하기 때문에 수소를 생산하여 수소탱크에 저장하면 에너지 저장장치의 역할을 할 수 있어 제2의 에너지 저장장치로 활용할 수 있다.

표 4. FC 종류별 특성

FC종류	열병합 활용	특징
MCFC	도심지마이크로그리드, 집단에너지사업(현재 운전중) 대용량 분산전원으로 적합	<ul style="list-style-type: none"> · 상업화에 가장 근접(기술, 경제성) · 다양한 연료를 사용하고 양질의 폐열 활용 열병합시스템 우수(600℃) · 기동시간 길고, 부하 추종능력이 낮음, CO₂사용 · 다양한 연료 사용
SOFC	도시형 마이크로그리드, 집단에너지사업(활용 가능단계) 대규모 분산전원 빌딩마이크로그리드(소규모)	<ul style="list-style-type: none"> · 성능이 우수(고온운전) · 고온고압가스를 가스터빈과 연계하여 활용·가정용 코제너레이션으로 사용(RPG)인 기동 시간이 요구되어 대규모 분산전원으로 유리 · 다양한 연료 사용가능
PEMFC	소규모공동주택, 건물 및 주택용 수소에너지시대의 운송용 차에 도입	<ul style="list-style-type: none"> · 상업용(가정용) 대다수 차지 · 기동시간이 짧음 · 소규모 열병합 시스템을 적합
SOFC+ MGT 복합시스템	단지 및 도시형 마이크로그리드 구성	<ul style="list-style-type: none"> · 전력효율이 60~70%로 높아 전력수요 큰 수용가에 도입하면 유리 · 단지마이크로그리드에서 EHP의 전력공급용으로 활용. · 냉난방을 EHP로 사용하는 공동주택의 전기에너지 공급용으로 적합

MCFC 고온 열병합시스템 도입이 보편화되고 SOFC의 실용화기술개발이 완료되는 시점에서는 도시마이크로그리드 및 공동주택단지와 자체 공동주택에 적극 도입이 예상된다. 지역의 특성을 고려한 PV 및 풍력발전시스템의 도입을 통하여 수분해장치 통한 수소에너지 제조 및 저장을 통하여 2차 에너지 저장장치로서의 역할을 함으로써 마이크로그리드 운영에 매우 유용한 시스템으로 역할을 수행할 수 있다. 도입의 전제조건을 요약하면 아래와 같다.

표 5. FC기반 마이크로그리드 기본 에너지 모델 및 도입 시나리오

명칭	중기(2013년~)	장기(2021년~)
단지(사업지구)형 마이크로그리드:	· MCFC(PEMFC)+ Battery(SCB) 용량 수 MVA급	· SOFC+ Battery(SCB) +수분해장치
도시형 마이크로그리드	· MCFC+Battery(SCB) 용량 L 수십 MVA급	· SOFC + Battery(SCB) +수분해장치 · 통합(SOFC + MTG) 열병합발전시스템

3.4 FC기반 마이크로그리드 도입 시나리오

표 5는 FC기반 마이크로그리드 기본에너지모델 및 도입시나리오를 나타낸 것이다. 크게 단지(또는 사업지구)형과 도시형 마이크로그리드로 나눌 수 있으며 단지형 마이크로그리드는 노원지구에 설치한 것과 같이 수 MVA급의 소규모로 공동주택 및 상업용빌딩으로 도입될 것으로 보인다. 또한 도시형 마이크로그리드는 집단에너지사업과 같이 일정지역의 열과 전기를 담당하는 규모로 앞으로 녹색도시의 구축일환으로 도시 계획시에 면밀한 검토가 필요하다. 공히 FC기반 마이크로그리드는 Battery(SCB)가 FC의 동특성을 보완하고 전압과 전력안정화를 위하여 활용이 요구된다. 우선 중기적으로 기술개발 수준이 제일 빠른

3.4.1 전제조건

- 1) 기술적으로 상용화단계에 있는 MCFC는 초기 단계의 도시형 마이크로그리드 구성에 핵심 열병합시스템으로 도입된다(노원지구 2.4MW).
 - 기동시간 및 응답시간이 길어 시스템 안정운전을 위하여 배터리시스템과 슈퍼캐패시터 도입검토가 필요하다.
- 2) PEMFC는 소규모 공동주택 및 주택의 보일러 시스템을 대체할 열병합시스템으로 기술적 운전 측면에서 상용화 단계에 있으며 일본 등에서 주택 및 소형 건물용으로 설치 및 모니터링 사업을 하고 있다. 또한 연료전지를 활용한 수소차 등 교통시스템에 적용연구가 실용화단계에

있으며 수소에너지시대의 운송용으로 중요한 역할이 기대된다.

- 3) SOFC는 작동온도가 높고 비교적 다양한 연료를 활용할 수 있는 등 분산전원 및 빌딩 등 상용화연구가 진행되고 있으며 실용화단계에서 도심지 마이크로그리드의 중요한 분산전원으로 MCFC와 같이 도입될 것으로 예상된다.
- 4) 도심지의 중요한 전기에너지 공급용 마이크로그리드로 SOFC+MTG 복합하이브리드시스템이 도입하여 운전하면 전력에너지 피크문제 해결에 매우 효과적인 시스템으로 검토할 필요가 있다.
- 5) 도심형 또는 도농(어촌 등)지구 마이크로그리드를 조기에 구축하기 위한 FC기반 열병합(MTG 등) 발전시스템과 신재생 에너지(PV, 풍력, 바이오매스) 등의 잉여에너지를 활용한 수소제조 및 저장을 포함한 복합 에너지시스템에 대한 운영기술의 확보가 요구된다.

3.4.2 FC기반 마이크로그리드 에너지 모델

지속가능한 에너지시스템을 구축하기 위하여 수소 기반 마이크로그리드는 신재생에너지를 활용한 수소 제조방법을 위하여 에너지원의 지역적 특성을 고려하여 나누어 활용방안을 모색할 수 있다. 그림 9는 도심지중심의 FC기반 마이크로그리드의 구성도를 제시한 것으로 지역적특성, 공간, 신재생에너지원의 획득 용이성 등을 고려하여 PV는 일사량이 풍부한 도농 또는 도시형으로 검토할 수 있으며 풍력은 도서, 해안 및 해상풍력에서 전기에너지를 이용하여 수전해장치에서 수소를 제조하여 중앙집중제어방식을 통하여 수소를 수송하여 도심지의 연료전지 및 자동차 연료로 공급할 수 있는 시스템이다.

물론 도시가스 등의 연료로 개질기를 통하여 수소를 제조 연료전지로 발전하는 시스템을 상정할 수 있

다. 최종 수요자의 부하 조건에 따라서 CHP의 활용을 적극 검토해야하며 이를 위하여 열과 전기를 안정적으로 공급하는 모델을 구성해야 한다. 도시가스를 이용하는 수소를 제조하는 경우에는 단 중기적으로 활용될 것으로 판단되며 2020년 경부터는 녹색도시 및 제로에너지 빌딩구축을 위하여 수소제조방식을 신재생에너지와 열(증기)을 활용한 방식으로 전환하여야 한다.

3.4.3 SOFC+MTG 도시형 마이크로그리드

그림 10은 SOFC+MTG 도시형 마이크로그리드 구성도를 나타낸 것이다. 가압형 고체산화물 연료전지-가스터빈 하이브리드 시스템의 구성도이다. 하이브리드 시스템 크게 고체산화물 연료전지와 압축기, 마이크로터빈, 재생 열교환기 등으로 구성된다. 공급된 연료(메탄)는 외부 개질기(Pre-reformer)와 내부 개질기(Indirect Internal Reformer)를 거쳐 고체산화물 연료전지에서의 전기화학반응이 가능한 수소(H₂)와 일산화탄소(CO)로 개질되어 고체산화물 연료전지의 연료극(Anode)으로 공급된다. 대기로부터 공급된 공기는 압축기로부터 가압되어 재생기(Recuperator)에서 터빈출구가스에 포함된 고열의 도움으로 가열된 상태에서 고체산화물 연료전지의 공기극(Cathode)으로 공급된다. 연료전지 내부에서는 전기화학반응을 통하여 전력이 생산되고, 이 과정 중에 발생된 열을 이용하여 내부 개질기에서의 개질반응을 활성화시키게 된다. 연료전지에서 반응하고 남은 연료는 연소기를 거쳐 터빈에서의 팽창과정을 통하여 동력을 생산한다. 터빈출구에서의 고온 가스는 재생기에서 압축기를 통하여 공급된 공기를 예열시키는데 활용된다. 현재 기술개발단계이나 전기효율만 70%에 달하기 때문에 도심지의 EHP(전기열펌프)전기에너지를 많이 요구하는 사업용 빌딩 등에 도입되면 매우 큰 효과를 발휘할 것으로 판단된다[13-14].

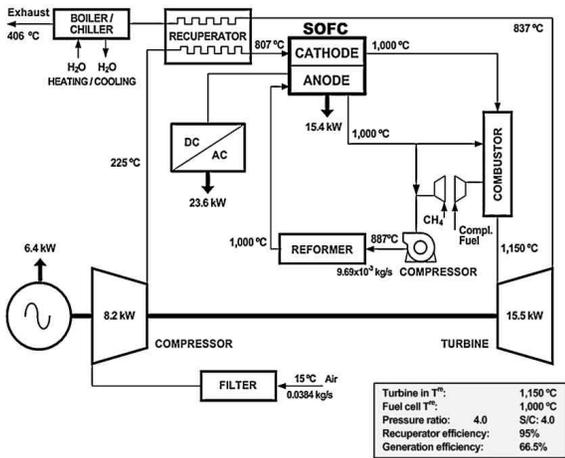


그림 5. SOFC와 MTG FC기반 마이크로그리드 구성도

[9] 홍원표, “빌딩그린화를 위한 새로운 에너지시스템 구축기술” KJIE magazine, Vol.25, No. 2, pp.33-47, 2011.
 [10] 홍성안, “수소 연료전지기술 개발현황 및 전망”, 공업화학전망, 제7권, 제5호, pp. 14-23, 2004.
 [11] 황정택, “건물용연료전지 열병합시스템”, NEWS & INFORMATION FOR CHEMICAL ENGINEERS, Vol. 27, No. 1, 2009.
 [12] J. I. San Martin, “Hybrid fuel cells technologies for electrical microgrids”, Electric Power Systems Research, 80, pp-993-1005, 2010.
 [13] A. Keyhani, Integration of Green and Renewable Energy in Electric Power Systems, Wiley, 2010.
 [14] E.I. Zoulias, “Hydrogen-based Autonomous Power Systems”, Springer, 2008.

참 고 문 헌

[1] 박승욱, 석유 정정과 한국경제의 생태적 전환”, 시민과 세계, 제12호, pp.285-303, 2007.12.
 [2] 홍원표, “홍원표, ” 도시그린화를 위한 스마트그리드 구축기술”, KJIE magazine, Vol.25, No. 5, pp.50-60, 2011.
 [3] 유동원, 지능형전력망의 에너지절약 및 온실가스 감축효과, KEE 에너지포커스, 제7권, 1호, pp.64-83, 2010.
 [4] 홍원표, “건물의 연료전지 열병합시스템기술(1), KJIE magazine, 제25권, 제1호, pp. 62-72, 2011.
 [5] 홍원표, “건물의 연료전지 열병합시스템기술(2), KJIE magazine, 제25권, 제3호, pp. 43-50, 2011.
 [6] E.I. Zoulias, “Hydrogen-based Autonomous Power Systems”, Springer, 2008.
 [7] M.H. Nehrir, “Modeling and Control of Fuel Cells”, Wiley, 2009.
 [8] O.C. Onar, M. Uzunoglu, M.S. Alam, “Modeling, control and simulation of an autonomous wind turbine/photovoltaic/fuel cell/ultra-capacitor hybrid power system,” Journal of Power Sources 185, pp. 1273 - .1283, 2008.

◇ 저 자 소 개 ◇



홍원표(洪元杓)

1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업.
 1989년 서울대학교 대학교 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전전력 연구원 선임연구원. 2007~2008년 UBC 방문교수. 현재 한밭대학교 설비공학과 교수. 본 학회 이사 및 편수위원. 주요 연구분야는 필드버스 제어네트워크 적용. smart green building, 하이브리드에너지시스템 구축·제어 및 BEMS 관련기술임.

Tel : (042)821-1179

E-mail : wphong@hanbat.ac.kr