

# 발전용 燃料電池 기술개발 및 보급 현황

한전 전력연구원 수석연구원  
임희천

## 1. 개요

화석연료 고갈 및 환경문제 그리고 에너지 안보에 대한 관심으로 인하여, 최근 화석연료를 대체하는 새로운 에너지 체계에 대한 관심이 높아지고 있고 화석연료 경제에서 수소 경제로의 전환이라는 새로운 개념에서 연료전지 발전기술이 저공해 고효율의 새로운 발전기술로서 각광을 받고 있다. 연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 직접 발전방식이다. 에너지 변환효율이 높아 CO<sub>2</sub> 배출량을 획기적으로 줄일 수 있으며, 연소과정이 없어 오염 물질 발생이나 소음, 진동 등 공해요인도 없다. 특히 연료전지는 발전시 나오는 고온 증기를 발전에 이용할 수 있는 장점도 있다. 이러한 연료전지 발전 방식은 도심에 위치하는 분산 발전설비에서 대규모 중앙집중 화력발전소까지 다양한 형태로 활용될 수 있다.

## 2. 전 세계 발전용 연료전지 개발현황

### 가. 전력사업용 연료전지

발전용 연료전지 발전 방식은 크게 2가지로 구분된다. 그 첫 번째가 화력발전 대체용 연료전지 발전 방식으로 용융탄산염(MCFC) 및 고체산화물(SOFC) 연료전지가 활용이 가능하다. 천연가스를 연료로 하는 경우, 복합 발전방식으로 활용이 가능하고 석탄 가스를 이용하는 경우에는 풍부한 자원인 석탄을 깨끗하고 효율적으로 사용한다는 점에서 그 활용 가능성이 아주 크게 된다. 화력발전 대체

용 연료전지 발전소는 그 규모가 수천 kW에서 수십만 kW 규모로 보급될 수 있을 것으로 예측된다. 두 번째로 분산형 발전형태로서 열과 전기를 필요로 하는 수요자 요구에 직접 연결되며, 송배전설비 사용을 줄여 전력사용 비용을 저감할 수 있다. 이와 같은 형태로는 일정 지역 즉 아파트 단지나 고층 빌딩 등 열 및 전기를 필요로 하는 일정 수요지 근처에 수백 kW에서 수천 kW 정도가 되는 연료전지를 설치할 수 있다.

발전용 연료전지로서 가장 먼저 상용화에 가까운 실용화 되는 것은 인산 형 연료전지(PAFC)이다. 미국 ONSI(IFC사와 일본 도시바 합작)사의 250kW시스템은 전 세계 약 300 여기가 보급 운용되고 있다. 이용 형태는 빌딩 및 건물에 열 및 전기를 공급하는 열 병합 분산전원으로 보급이 기대되고 있으며 이 외 소화가스(Digestive Gas), 폐가스 등 다양한 연료를 사용하는 시스템으로 개발 되고 있다.

용융탄산염 연료전지(MCFC)는 연료로 천연가스 또는 석탄가스를 사용할 수 있으며 효율이 높고, 배열이 고온이기 때문에 이를 이용하여 가스터빈과 연결할 경우, 고효율 발전이 가능하기 때문에 미래 화력발전 대체용 전원으로 기대된다. 미국 FCE(Fuel Cell Energy)의 경우 내부 개질형(Internal Reforming) 250kW급 시스템을 상용화하고 있는데 현재 약 60여기 정도가 보급되어 운영

되고 있다. 유럽의 경우에는 이탈리아에서 스페인과 함께 미국 기술을 기반으로 100kW규모의 실증시험을 실시하고 있으며, 500kW급 시스템 건설이 진행되고 있다. 특히 독일 MTU (MTU CFC Solution)에서는 미국 FEC 스택을 이용하여 독자적인 설계 모듈(HOT Module)인 280kW 규모의 열병합발전 시스템을 제작, 유럽 20여 곳에서 실증시험을 진행하고 있다.

고체산화물 연료전지는 연료전지 중 가장 효율이 높고, 시스템의 소형 간소화 때문에 장래 분산형 및 가정용 전원으로 보급이 크게 기대되고 있다. 고체 산화물 연료전지의 경우 원통형과 평판형으로 구분되는데, 미국 SWPC (Siemens-W.H)사에서 개발한 원통형 220kW급이 미국 캘리포니아대학의 National Fuel Cell Research Center에서 75kW급 MGT를 설치하여 운전시험을 진행하였다. 유럽의 경우 발전용으로 2008년까지 Rolls-Royce FCSsystem 사에서 MW급 Hybrid 시스템 개발을 진행 중이다. 개발단계에 있는 평판형의 경우, 독일이 합병 전 Siemens에서 20~100kW급 시스템을 개발, 실증시험을 진행하여 오고 있으며, 일본은 NEDO 주관으로 2007년까지 200kW급 SOFC-GT 연계시스템 개발을 추진하고 있다.

#### 나. 가정용 연료전지

가정용 연료전지발전 시스템은 발전효율이 높고, 저온에서 동작하면서 전체 시스템이 고체로 되어 있는 고체 고분자형 연료전지 및 고체 전해질 연료전지가 그 대상이

된다. 통상 kW 규모에서 수 kW급 용량의 발전설비가 개발되고 있다. 가정용 연료전지로 가장 많은 관심을 가지고 있는 분야가 고체고분자 전해질 연료전지(PEMFC)이다. 저 코스트화가 가능하고, 배열회수에 따라 60℃ 정도의 온수가 얻어지기 때문에 일반적으로 가정용 소형 열병합 발전시스템으로 실현이 기대되고 있다. 주택용 연료전지 시스템은 미국 Plug Power, 일본의 Toshiba, Sanyo, 오사카가스 등이 참여하고 있으며, 1~3kW 정도의 전기 출력과 같은 규모의 열 출력을 목표로 하고 있다. 시스템 발전효율 목표는 35% 정도 배열회수 이용 시 70% 정도를 기대하고 있다.

특히 가정용 연료전지 분야에 가장 많은 관심을 가지고 있는 국가는 일본이다. 일본에서는 1kW급 가정용 연료전지 시스템을 지난 2000년까지 개발하여 보급 실용화를 꾀하고 있다. 2002년부터 시작한 가정용 연료전지 보급 사업에서 일본은 2004년까지 총 77곳에 설치 실증시험을 완료하고 2005년부터 본격적인 보급을 꾀하여 총 930대의 대규모 실증사업을 개시하고 있다. 가정용 연료전지로 SOFC의 경우 유럽에서는 스위스 Hexis AG (Sulzer-Hexis 후신)에서는 가정용 1kW 전기와 2kW 열 공급 능력을 갖는 소형 열병합 발전시스템을 개발, 운전 시험 할 예정이다. 미국에서는 FCT beta라는 5kW급 Tubular 형태의 단전지를 이용한 발전 시스템을 개발, 운전 시험을 진행하고 있다.

### 3. 국내 발전용 연료전지 이용 및 기술개발 현황

국내 발전용 연료전지개발은 1985년 한전 전력연구원에서 소규모 인산형 연료전지 발전시스템을 구성하여 국내에서는 최초로 연료전지에 의한 발전운전에 성공함으로써 본격적인 발전 연료전지 연구개발이 시작되었다. 현재 발전용 연료전지의 개발은 주로 용융탄산염 연료전지 발전방식의 개발이 진행되고 있다. 1993년부터 선도기술개발사업의 하나로 시작하여 현재 250kW급 발전시스템 개발 연구가 진행되고 있다. 이전 수행된 100kW급 MCFC 발전시스템개발 연구에서는 6,000cm<sup>2</sup>급 단위전지 90장으로 구성된 50kW급 MCFC 스택 2기로 구성된 100kW MCFC 스택과 평가를 위한 시스템을 완성, 시험운전을 실시하였다.

현재 진행 중인 250kW 열병합발전 시스템 개발과정에서 5kW급에서 75kW급의 새로운 형태의 스택을 개발, 운전 시험을 진행하고 있는데 5kW급 규모의 MCFC 스택은 2008년 8월 말 현재, 총 3,200시간의 운전을 통해 총 13 MWh의 운전기록을 달성하였다. 이를 기반으로 세계최대의 단위전지인 10,000cm<sup>2</sup>급을 이용한 125kW급 스택 개발이 이루어지고 있으며, 이를 이용한 100kW급 스택 운전이 2008년 12월부터 보령화력 구내 MCFC 시험장에서 운전을 시작할 예정이다. 또한 2009년까지 연100 MW를 생산할 수 있는 양산설비의 구축과 함께 250kW급 Package 형태의 발전시스템을 개발, 실증시험을 진행할 예정이다.

이외에도 두산 중공업에서는 2010년까지 8,000cm<sup>2</sup>급 내부개질 단전지를 이용한 300kW급 내부개질 MCFC 발전 시스템 개발을 진행하고 있으며, 현재 25kW 급 스택을 제작 운전시험을 준비하고 있다.

발전용으로 기대를 받고 있는 고체 산화물 연료전지의 경우 큰 가능성을 가지고 있지만 아직까지는 규모의 크기 때문에 대형 분산발전 시스템으로 개발이 진행되고 있지 못하고 있다. 그러나 현재 POSCO Power에서 2012년까지 분산전원을 목표로 150kW급 발전 시스템 개발을 진행하고 있고, 한전 전력연구원에서도 5kW급 가정용 연료전지 시스템 개발을 활발하게 진행하고 있다.

한편 발전용 연료전지 사업화를 위하여 POSCO에서는 미국 FCE사에서 제작한 250kW급 MCFC 열병합 발전 시스템을 3기를 도입, 실증운전 시험을 진행하였다. 제 1호기는 포항산업과학원에 설치되어 2007년 12월 현재 약 13,000시간 운전으로 약 2.5GWh의 전기를 생산 공급하고 있고, 제2호기는 서울 탄천 하수처리장에 설치, 하수처리 후 배가스를 이용한 발전시스템으로 활용되고 있으며, 제 3호기 역시 조선대학교에서 설치 운용되고 있다.

POSCO Power에서는 발전사업용 연료전지를 국내에 보급하고 있는데 그 첫 번째가 남동발전에서 운전 중인 250kW급 발전시스템으로 2006년 11월 설치 국내에서



그림1. 250kW급 FCE MCFC (남동 분당복합화력발전)

최초로 계통에 병입 상업운전을 진행하고 있다. 2006년에서 2007년 10월까지 평균 이용율 87.4% 그리고 발전 차액 보전에 의한 총 발전량 1,915MWh로 5억 4,200만 원의 전기 판매대금을 기록하고 있다. 남동발전에서는 그 규모를 2.5MW까지 증설하는 계획을 가지고 있다.

한편 중부발전 및 동서발전에서도 2009년 각각 300kW, 그리고 2.4MW 규모의 MCFC 발전설비를 도입, 중부발전 보령화력 구내 및 일산 복합 발전소 내에 설치 운전을 준비하고 있다. 이 외 IPP로 있는 Posco Power 및 H.S Holdings Power에서 2.4MW급 MCFC 설비를 포함 및 전북 완주에 건설하여 올해 내 준공 예정이고, GS EPS, 울촌 메이저 Power, 등에서 설비를 도입, 상업운전을 진행할 예정이다. 표1은 2008년 말까지 공급 될 연료전지 발전 시스템의 현황이다.

향후 정부의 정책 방향으로 신 재생에너지 보급 기반 구축을 위하여 2012년 신 재생에너지 의무 할당제 (RPS : Renewable Energy Portfolio)의 도입, 공공기관 의무화 확대 추진 그리고 신 성장동력으로의 육성 기반을 구축하기 위한 노력을 기울일 예정이다.

상업용 MCFC 발전시스템 개발 및 보급에 있어서 포스코 파워 (POSCO에서 이전)에서는 MCFC 발전시스템의 국내 보급 및 아시아 시장 진출을 위하여 현재 상용화 운전 중인 미국 FCE MCFC 스택을 도입하고 주변기기(BOP)를 국내에서 생산 공급하는 방안을 추진하고 있다. 이를 위하여 POSCO Power에서는 경북 포항에 연료전지 주변기기를 생산하는 설비 공장을 2007년 착공하여 총 50MW 규모의 주변기기 생산 및 조립 공장을 2008년 9월 준공하였고, 이어 2010년까지 이를 100MW규모로 확장할 예정이다.

〈표1〉 2008년 말까지 공급될 연료전지 발전 시스템의 현황

구 분	소 속	용 량	운전시작	도입 형태
1	RIST	250kW	2005.4.28	실증운전
2	서울 탄천하수처리장	250kW	2006.4.1	실증운전
3	조선대	250kW	2005.11.4	실증운전
4	남동 분당화력 r	250kW	2006.11.4	상업운전
5	POSCO Power	2.4MW(1.2MWx2Units)	2008.8	
6	HS Holdings	2.4MW (1Units)	2008.10	
7	Natura Power	2.4MW(1.2MWx2Units)	2008.9	
8	중부발전	300 kW	2008.9	
9	Mayor 울촌	4.8MW(2.4Mwx2Units)	2009.7	
10	GS EPS	2.4MW (1Units)	2009.7	
11	동서 발전	2.4MW (1Units)	2009.8	

가정용 연료전지용 고체 고분자 전해질 연료전지개발의 경우 가정용 1~3kW급 설비가 벤처기업인 GS Fuel Cell 및 FCP 등에서 개발되어 보급을 도모하고 있다. 외국산 가정용 연료전지 실증에 있어서는 한국 가스공사에서 일본 IHI 사 및 미국 Plug Power 사의 가정용/상업용 연료전지를 도입 운전시험을 실시하고 있다. 고체산화물연료전지의 경우, 한전 전력연구원 (KEPRI)에서 평판형의 연료극지지형 단전지와 스택 개발에 중점을 두고 이를 이용한 kW급 열 병합 가정용 SOFC 발전시스템을 개발하였다. 이를 바탕으로 2010년까지 5kW급 SOFC 열병합 발전시스템 개발을 통하여 시스템의 내구성과 효율 향상, 비용절감을 위한 연구를 진행 중이다.

가정용 연료전지발전의 경우 보급사업이 매우 중요하다.

이를 위해 정부는 2006년도부터 가정용 연료전지 발전설비에 대한 실증 모니터링 사업을 진행하고 있는데 이 사업에서는 3년간 가정용 연료전지 총 210기를 보급함으로써, 연료전지 산업의 초기 시장 형성과 관련 부품산업 육성을 위해 정부보조금 202억원을 지원할 예정이다. 이 사업이 완료되는 경우 2009년 1000대, 2010년 1500대 그리고 2011년 2500대의 보급이 이루어 질 것으로 예측하고 있으며 현재 가격에 비하여 50% 정도 저감될 수 있도록 기술개발 및 보급노력을 기울일 예정이다.

가정용 연료전지 모니터링사업에는 한국가스공사가 주관하며 전국에 있는 각 도시가스 회사들이 참여하여 운영할 예정이다.

표2는 모니터링 연구사업의 개요를 보여주고 있다.

〈표2〉 모니터링사업 내용 및 국산화비율

구 분	2006년	2007년	2008년	계
연료전지 대수	40	70	100	210
시스템 가격	1.3억	1억	0.8억	
정부보조	55억원	70억	80억원	250억원
국산화비율	55%	70%	80%	



〈그림2〉 가정용 연료전지 1 kW급 PEMFC(FCP) 및 SOFC(전력연구원)

2006년 보급현황을 살펴보면 한국가스공사에서 14기, 대  
한도시가스 3기, 대구도시가스 3기, 부산도시가스 3기,  
삼천리도시가스, 충남도시가스 3기, 해양 도시가스 3기,  
경남에너지 2기, 경동도시가스 2기, ESWCO 2기, 중부  
도시가스 2기가 설치되어 운전되고 있다. 설치된 40여기  
의 연료전지를 대상으로 동일 성능평가 장치를 이용한 객  
관적인 실시간 데이터를 모니터링 할 수 있도록 준비하고  
있다.

2006년도에 시작된 1차년도 보급사업 결과, 설치된 가  
정용 연료전지의 발전효율은 약 32%로 목표치 30% 보다  
상회하게 나타났고, 발전시간도 평균 5,000 시간 이상의  
계획된 목표치를 상회하는 운전결과를 보여주었다.  
표 3은 1차년도 개발 목표 및 그 결과를 보여주고 있다.

2007년에는 지자체 및 도시가스사와 가스공사에서 총

70여기가 운전될 예정으로 이중 지자체 중 서울시가 30  
여기를 빗물펌프장, 동사무소, 소방서 등에 설치될 계획  
이고 이외 대구, 경기, 전북, 대전 및 경남에도 3~5대정  
도의 규모로 설치될 예정이다.

#### 4. 맺음말

발전용 연료전지는 향후 화력발전을 대체할 수 있고 궁극  
적으로 석탄을 연료화하여 사용할 수 있는 무공해 고효율  
의 신 발전 방식이다. 아직 실용화를 위하여 성능향상 및  
가격저감의 노력이 필요 하지만 향후 무한한 가능성과 함  
께 산업화에 있어서는 커다란 기여를 할 것으로 예측된  
다. 이러한 이유로 정부는 발전용 연료전지를 차세대 성  
장동력으로 선정하여 이를 적극적으로 지원할 예정이며,  
산 · 학 · 연에서도 발전용 연료전지분야가 세계를 리드하  
는 발전기술분야가 될 수 있도록 많은 지원과 노력이 경  
주 되어야 할 것으로 판단된다.

〈표3〉 1차년도 개발 목표 및 결과

연 료	천연가스
연료 유량	4.4L~4.8L/min
출 력	1kW(계통연계형)
효 율	· Electrical : 30~35% · Thermal : 40~45%
Size	· 400Liter 이하(열병합 700Liter 이하)
Start up time	1hr 이내
Cogeneration	· 온수온도 : 55~68℃ · 온수 유량 : 0~1.8 LPM
구 성	· 스택 : 국내 · 개질기, 인버터 : 국외 · 시스템 : 국내

(한국가스안전공사)