

## 가정용 연료전지 개발현황 Development of Residential Fuel Cell

황정태, 이갑식, 이현준, 안선태, 권부길  
(주)세티

### 1. 서론

가정용 연료전지 시스템은 고분자 전해질형 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)이며, 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환함으로써 시스템 전체 효율이 80% 이상의 고효율이고 환경친화적이라는 점과, 연료전지 시스템의 운전시 발생하는 폐열을 회수하여 가정의 급탕 및 난방용 온수로 활용함으로써 효율을 배가시킬 수 있다는 점 및 가정에서 손쉽게 구할 수 있는 도시가스를 연료로 사용한다는 점을 특징으로 한다. 본 기술의 실현은 석유에너지로 집중된 한국의 에너지원 구조에서 수소를 활용할 수 있는 포문을 열게 될 것이며, 현재 공기업 분할 및 민영화와 관련하여 예상되는 전력 가격과 공급의 안정성 문제에 대해 하나의 안전장치로서의 기능을 감당할 것이다. 또한 날로 늘어만 가는 가정의 전력요금에 대한 부담을 경감할 수 있으며, 장차 반드시 다가올 선진국들의 환경 장벽과 대체에너지 시장을 잠식당하지 않고 우리가 선점하는 기능을 감당하게 될 것이다.

가정용 연료전지 시스템은 일반 가정에서 소비자가 보일러나 전자제품과 같이 손쉽게 사용할 수 있어야 하므로 운전 혹은 보수가 쉽고 안전하며, compact해서 가정 내에 설치가 가능하여야 할 뿐만 아니라, 배기 개스나 소음이 적고 가정 환경에 해롭지 않아야 함을 필요조건으로 한다. 가정용 연료전지 시스템의 가장 큰 장점은 송배전 선로가 필요치 않으며, 낮은 운영비와 높은 에너지효율로 현재 전기료를 약 20% 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 더욱이 환경 친화적인 에너지원이고, 발전과정에서 발생하는 잉여분의 열은 저장 후 온수나 주택난방에 이용할 수 있으므로 시스템 전체적으로는 기존의 발전방식에 비해 획기적으로 높은 에너지 효율(발전효율 약 40%, 열효율 약 40%)을 가지게 된다. 본 연구에서는 현재까지 당사에서 개발된 1~3kW급 가정용 연료전지 개발현황을 요약하여 소개하고자 한다.

### 2. Stack 설계, 제작 및 평가

Bipolar plate의 경우 반응 가스의 균일한 공급과 분포로 스택의 성능을 좌지우지 할 수 있는 또한 중요한 요소이다. 이에 대한 설계는 CFD(Computational Fluid Dynamics) simulation에 의해 연구 중이며, 이 연구를 적극 활용하여 설계에 적용함으로써 잠재적 문제점을 찾아내고 개선하는데 주안점을 두어 설계하였다. Sub-stack의 평가는 MEA에 대한 검증은 물론, Flow field에 대한 적합성 확

인, 예상 성능과의 확인을 통해 설계된 stack과의 비교를 통해 최종 설계를 확정하게 된다. 즉 일반적으로 일컫는 stack 설계는 drawing을 통한 도면 구현뿐만 아니라 Sub-stack test를 통해 출력되는 성능 data를 의미하며, 이에 대한 검증은 CFD 해석 및 Unit cell, Sub-stack test를 통해 이루어진다.

Sub-stack test에서는 가정용 연료전지 시스템에 맞추어 모의 개질 가스 등을 투입하여 최종 성능을 검증하여야 하고, 또한 장기 운전 실험을 통해 장기 운전 시 열화되는 Mechanism을 발견하고 이에 대한 보완 및 대책을 찾아 개선시키는 역할도 담당하게 된다. 즉, Full scale stack을 제작하고, 운전했을 때의 예상되는 문제점을 발견, 도출하여 실제 Full scale stack에서는 이러한 부분이 발견되지 않도록 설계를 보완하는 부분이 되어야 한다.

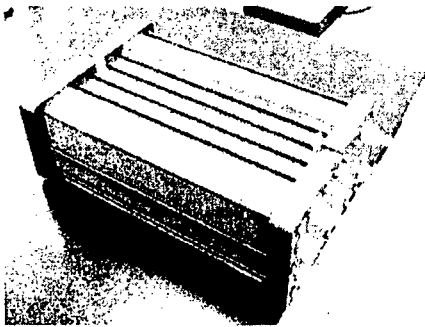


Fig 1. 1.5kW stack

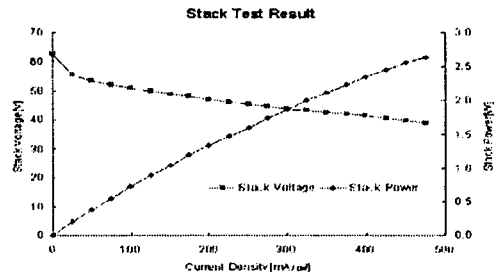


Fig 2. Stack IV characteristic

그림 1과 2는 1.5kW급으로 제작된 스택의 사진 및 성능평가 결과이다. 성능을 평가한 결과이다. 스택성능은 0.7V에서 셀당 평균전압이 0.7V에서 260mA/cm<sup>2</sup>이며, 연료 및 공기의 이용율은 각각 75%와 33%이다.

### 3. 연료변환 시스템(Fuel processor) 설계, 제작 및 평가

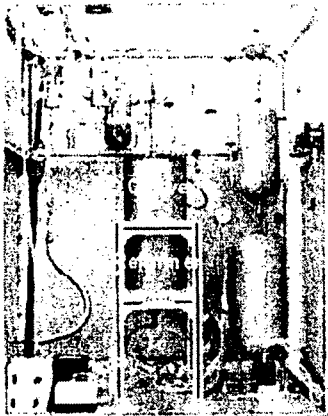


Fig 3. 1.5kW Fuel processor

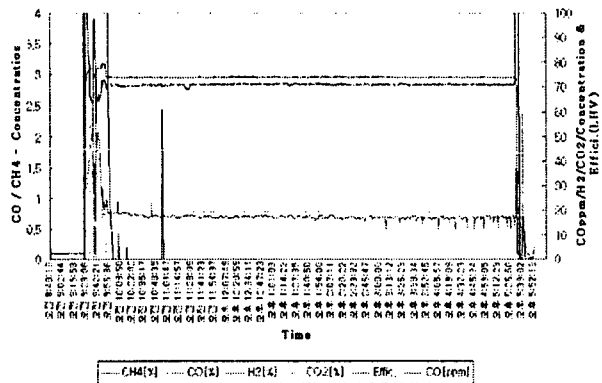


Fig 4. Fuel processor performance

연료변환장치는 LNG, LPG, 가솔린, 메탄올 등과 같이 이미 널리 사용되는 연료를 개질하여 수소로 전환해서 연료전지에 수소를 공급하는 장치이다.

가정용 연료전지를 위한 연료변환 공정시스템의 일반적인 구성은 통상적으로 탈황, 개질, 수성가스전이, 선택적 산화반응으로 촉매 단위 공정이 포함된 4가지 단계를 거친다. 세티에서 제작한 연료변환 장치 역시 상온에서 이루어지는 탈황 흡착장치와 흡열반응인 개질 반응기, 발열 반응인 수성가스전이반응기와 선택적 산화반응기로 구성되어있다. 세티에서 제작 평가한 연료변환장치가 그림 3과 4에 나타나 있다.

**4. RPG 시스템 개발**

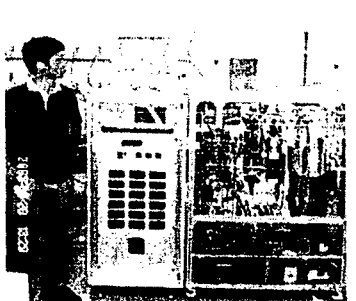
RPG 시스템의 개략적 구성은 도시가스 등의 연료를 수소로 변환하는 개질기와 수소와 공기중의 산소에서 전력을 발생하는 연료전지, 펌프 및 팬, 히터 등의 BOP(Balance Of Plants), 연료전지의 DC전력을 AC전력으로 변환하는 전력변환장치, 전체 시스템을 운용하는 제어기로 구성되었다. 여기에 전력을 저장하는 배터리, 연료전지 출력이상의 전력 필요시 자동으로 축전지에서 필요량을 공급하는 연료전지-배터리 하이브리드 장치할 수 있으며, 열병합 발전의 경우 열회수 장치 및 회수열을 저장할 수 있는 물저장탱크가 부착되게 된다.

**(1) 국내최초 1kW Prototype RPG System 개발**

2003년 8월 민간기업으로서는 국내최초로 1kW급 가정용 고분자 연료전지 시스템을 개발하였다. 1kW급 Prototype RPG 시스템은 소용량이며 개발 접근이 용이한 시스템 개발 경험을 통하여 관련 기술을 축적하는데 목적이 있다. 1kW급 Prototype RPG 시스템의 전체 구성은 3kW급의 구성과 같다고 할 수 있으나 가장 큰 차이점은 배터리 연계 기능이 없으며, 전체 전력 출력 설계치가 1kW로서 초기 개발시스템의 성능 구현 및 운전에 대한 접근방법의 해석에 중점을 두었다.

표 1. Prototype 연료전지 RPG 시스템

Items		Spec.	Picture
Output	Power	1.0kW (No Battery)	
	Voltage	220V, 60Hz	
Efficiency	Electrical	>20%	
Physical requirements	Dimension	90(W)* 60(D)*130(H) cm	
	Amb. Temp	5 ~ 40℃	
Cold start	Electrical	< 60min	



**(2) 3kW Fuel Cell-Battery Hybrid System 개발**

3kW RPG는 Prototype system에서 한단계 업그레이드한 배터리와 하이브리드 형태의 개발품으로, Prototype에 비해 높은 효율을 가지며, 크기를 대폭 줄인 시스템이다. 또한, 전작의 경험을 바탕으로 보다 세밀하고, 효율적인 프로그램 구성으로, 이를 통해 Semi-Auto 운전을 가능하게 하였다.

표 2. 3kW Fuel Cell-Battery Hybrid System

Items		Specifications	Picture
Output	Power	3.0kW(1.5kW Battery)	
	Voltage	220V, 60Hz	
Efficiency	Electrical	>25%	
Physical requirements	Dimension	80(W) * 60(D) * 120(H) cm	
	Amb. Temp.	5 ~ 40℃	
Cold start	Electrical	< 60min	

(3) 1kW Fuel Cell Cogeneration system 개발

1kW의 전기출력과 1.2kW의 폐열회수를 통해 종합효율 72% 이상의 높은 효율을 달성하였으며, 크기 또한 크게 줄여 효율 및 크기에서 세계 최고 수준에 근접한 제품을 제작 하였으며 그 성능이 아래 표에 제시되어 있다.

표 3. 1kW Fuel Cell Cogeneration system

Items		Specifications	Picture
Output	Electrical Power	1.0kW	
	Thermal Power	1.2kW	
	Voltage	220V, 60Hz	
Efficiency	Electrical	>32%	
	Thermal	>40%	
Physical requirements	Dimension	65(W) * 35(D) * 100(H) cm	
	Amb. Temp.	5 ~ 40℃	
Cold start	Electrical	< 60min	

5. 결론

스택과 연료변환장치를 제작하여 이를 인버터 및 컨트롤러와 함께 집적하여 1~3kW급 연료전지 시스템을 제작하였다. 이 과정에서 하이브리드 시스템 및 열병합 시스템까지 구현하였으며 높은 효율 및 성능을 달성하였다.

6. 감사

본 연구의 일부는 산자부 산하 대체에너지관리공단이 지원하는 “3kW급 가정용 고분자 전해질 연료전지 열병합 시스템 개발” 과제의 연구비로 이루어 졌음에, 이에 감사드립니다.