

가정용 연료전지 열병합 발전 시스템 개발

Development of Residential Fuel Cell Cogeneration System

황정태, 안선태, 전희권, 이갑식, 배준강
GS퓨얼셀주식회사

1. 서 론

가정용 고분자 전해질 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) 열병합 발전 시스템은, 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환함으로써 시스템 전체 효율이 80% 이상의 고효율이고 환경친화적이라는 점과, 연료전지 시스템의 운전 시 발생하는 폐열을 회수하여 가정의 급탕 및 난방용 온수로 활용함으로써 효율을 배가시킬 수 있다는 점 및 가정에서 손쉽게 이용할 수 있는 도시가스를 연료로 사용한다는 점을 특징으로 한다. 본 기술의 실현은 석유에너지로 집중된 한국의 에너지원 구조에서 수소를 활용할 수 있는 포문을 열게 될 것이다. 또한 날로 늘어만 가는 가정의 전력요금에 대한 부담을 경감할 수 있으며, 장차 다가올 선진국들의 환경 장벽과 신재생에너지 시장을 잠식당하지 않고 우리가 선점하는 역할을 담당하게 될 것이다.

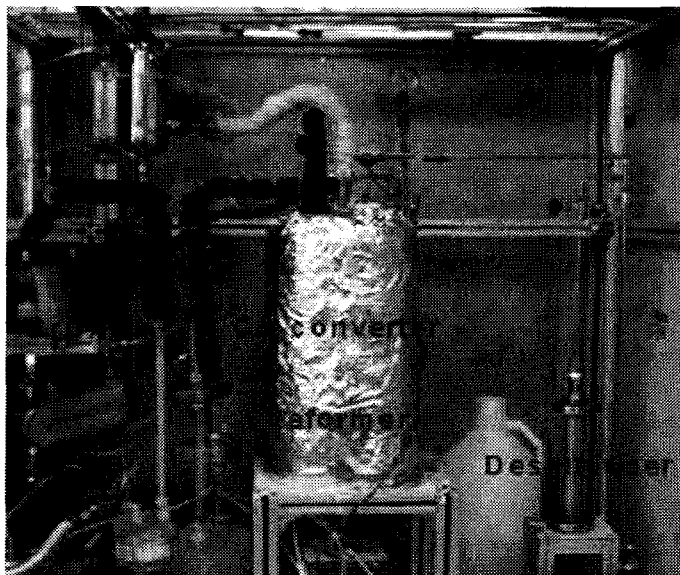
가정용 연료전지 시스템은 일반 가정에서 소비자가 보일러나 전자제품과 같이 손쉽게 사용할 수 있어야 하므로 운전 및 보수가 쉽고 안전하며, 소형이어서 가정 내에 설치가 가능하여야 할 뿐만 아니라, 배기 가스 및 소음이 적고 환경에 해롭지 않아야 함을 필요조건으로 한다. 가정용 연료전지 시스템의 가장 큰 장점은 송배전 선로가 필요치 않으며, 낮은 운영비와 높은 에너지효율로 현재 전기료를 약 20% 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 더욱이 환경 친화적인 에너지원이고, 발전과정에서 발생하는 잉여분의 열은 저장 후 온수나 주택난방에 이용할 수 있으므로 시스템 전체적으로는 기존의 발전방식에 비해 획기적으로 높은 에너지 효율(발전 효율 약 40%, 열효율 약 40~50%)을 가지게 된다. 본 연구에서는 현재까지 당사에서 개발된 1~3kW급 가정용 연료전지 열병합 발전 시스템 개발현황을 요약하여 소개하고자 한다.

2. 본 론

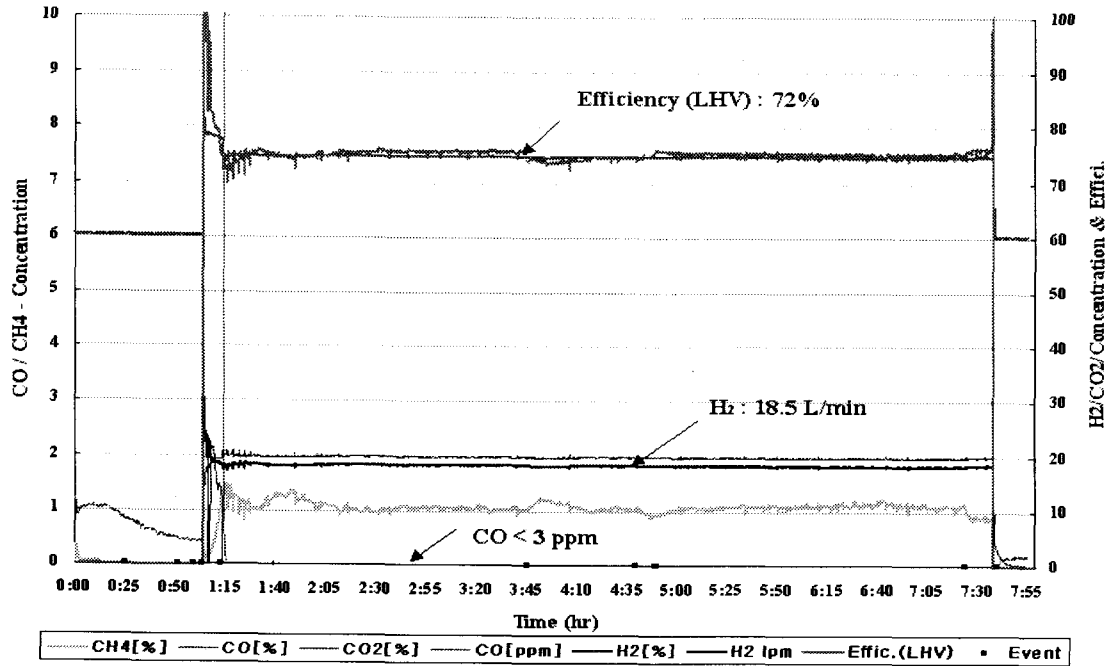
가. 연료변환장치 (Fuel processor) 개발

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 탈황반응, 개질반응, 수성가스전이반응, 선택적 산화반응으로 촉매 단위 공정이 포함된 4가지 단계를 거친다. GS퓨얼셀에서 제작한 연료변환장치 역시 상온에서 이루어지는 탈황흡착기(Desulfurizer)와 흡열반응인 개질반응기(Reformer), 발열반응인 수성가스전이반응기(CO converter)와 선택적 산화반응기(PROX)로 구성되어 있다. GS퓨얼셀에서 제작, 평가한 연료변환장치와 그 평가장치가 그림 1에 나타나 있다. 연료변환장치의 성능은 그림 2에 나와 있는데, 그 열효율은 LHV를 기준으로 약 72%이며(세계 최고 제품의 연료변환장치 열효율은 약 77%임), 상온에서부터 안정화에 이르는 시간은 약 1시간이다. 약 60℃에서 운전되는 고분자 전해질 연료전지는 극미량의 CO에 의해서도 성능 감소가 발생하므로, 연료변환장치에서 나오는 CO의 함량을 5ppm 이하로 줄여 연료전지 스택에 주입하고 있다.



[그림 1 : 연료변환장치 (Fuel processor)]

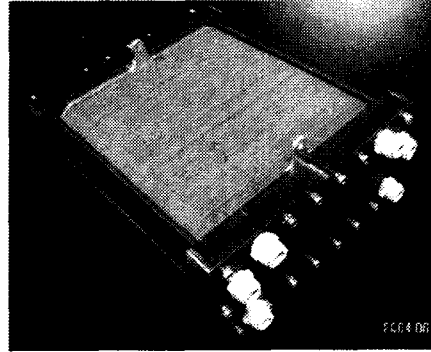
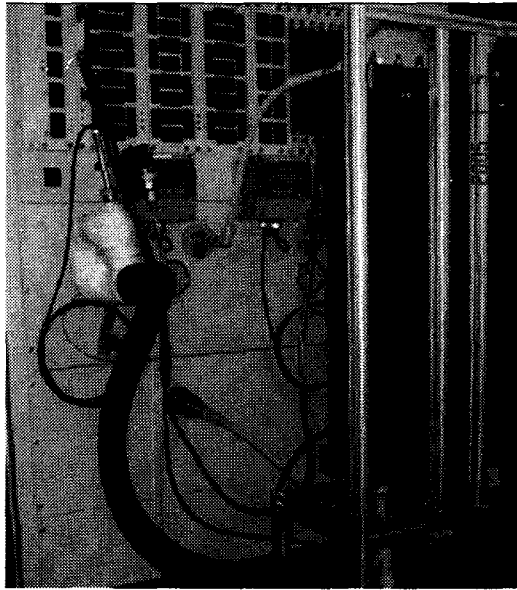


[그림 2 : 연료변환장치 (Fuel processor) 성능]

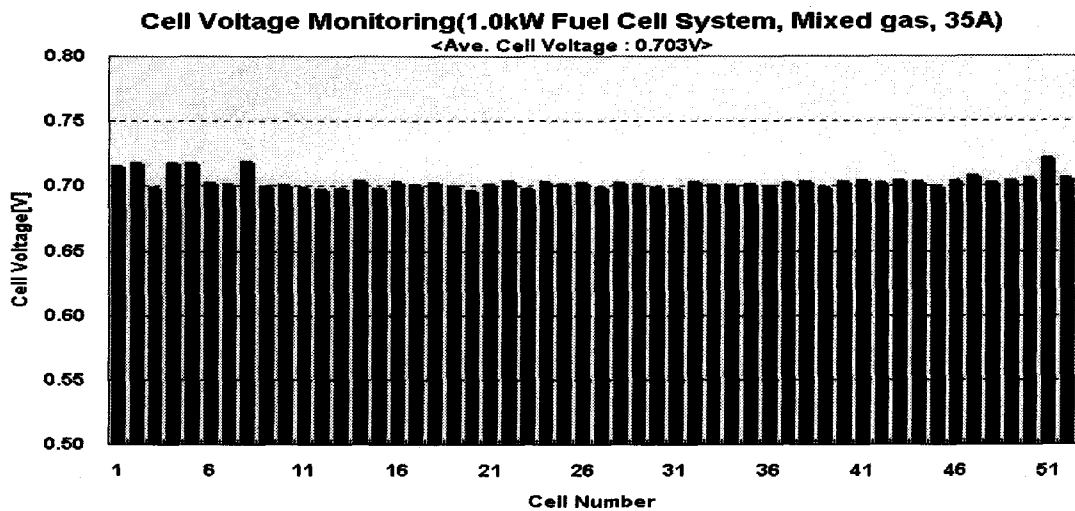
나. 연료전지 스택 개발

Bipolar plate의 경우 반응 가스의 균일한 공급과 분포로 스택의 성능을 좌우할 수 있는 중요한 요소이다. 이에 대한 유로 설계는 CFD(Computational Fluid Dynamics) simulation에 의해 연구 중이며, 이 연구를 적극 활용하여 설계에 적용함으로써 문제점을 찾아내고 개선하는데 주안점을 두어 설계하였다. Sub-stack의 평가는 MEA에 대한 검증은 물론, Flow field에 대한 적합성 확인, 예상 성능과의 확인을 통해 설계된 stack과의 비교를 통해 최종 설계를 확정하게 된다. 즉 일반적으로 일컫는 stack 설계는 drawing을 통한 도면 구현뿐만이 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 운전시 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 되어져야 한다.

그림 3과 4는 1kW급으로 제작된 스택의 사진 및 성능평가 결과이다. 52셀 각각의 성능이 평균 0.7V로 매우 균일하며, 이때 연료 및 공기의 이용율은 각각 80%와 50%이다.



[그림 3 : 연료전지 스택]

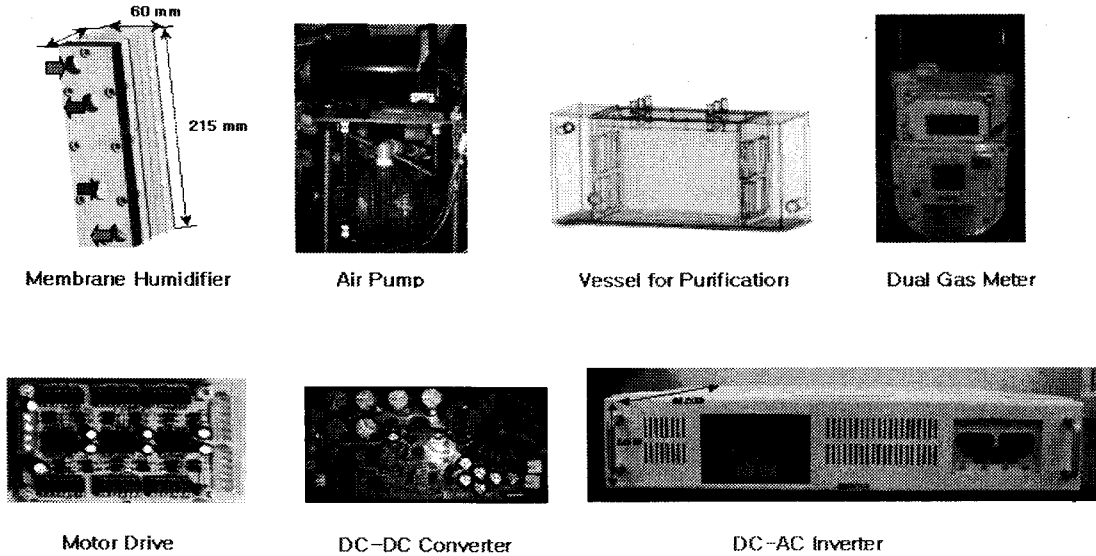


[그림 4 : 연료전지 스택의 셀별 성능]

다. 주변기기 (BOP ; Balance Of Plant) 개발

가정용 연료전지 열병합 발전 시스템은 연료변환장치와 연료전지 스택을 포함하여 많은 부품들이 한데 집적되어 있는 복잡한 기기이다. 주변기기 (BOP; Balance Of Plant)라 함은, 스택에서 발생하는 직류전기(DC)를 교류전기(AC)로 변환시키는 전력변환장치(Inverter), 각종 유체(기체, 액체)를 각 부품에 주입하는 펌

프(Pump) 또는 컴프레셔(Compressor), 온도/습도/유량값을 감지하는 각종 센서(Sensor)류 등을 말하며, GS퓨얼셀에서는 자체개발 또는 공동개발을 통해 최적의 부품을 선정하여 시스템에 적용시키고 있다.



[그림 5 : 주변기기(BOP) 개발]

라. 연료전지 열병합 발전 시스템 개발

가정용 연료전지 열병합 발전 시스템의 개략적 구성은 도시가스 등의 연료를 수소로 변환하는 연료변환장치와, 이렇게 발생된 수소와 외부로부터 주입된 공기 중의 산소에서 전력을 발생하는 연료전지 스택, 펌프/인버터/팬 등의 BOP와, 전체 시스템을 운영하는 제어기로 구성되었다. 여기에 전력을 저장하는 배터리, 연료전지 출력 이상의 전력 필요시 자동으로 배터리에서 필요량을 공급하는 연료전지-배터리 하이브리드 장치를 추가할 수 있으며, 열병합 발전의 경우 열회수 장치 및 회수열을 저장하는 물저장유닛이 부착되게 된다.

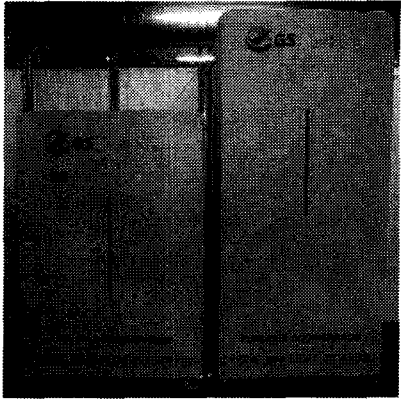
1) 3kW급 가정용 연료전지 열병합 발전 시스템 개발

(Fuel Cell-Battery Hybrid System)

2002년부터 시작된 산업자원부 지원 국책과제의 성과물로서, 표 1과 같은 3kW급 가정용 연료전지 열병합 발전 시스템을 개발하였다. 이는 1.5kW 연료전지와 1.5kW 이차전지가 하이브리드되어 3kW급의 발전 출력을 내는 시스템으로, 전력망이 깔려있지 않은 벽지의 자가발전용에 적합한 시스템이다. 이러한 배터리 하이브리드 방식은 미국의 플러그파워사 제품인 5kW급 GenSys와 같은 방식이다. 이

제품의 전기유닛의 부피는 약 330리터이며, 60℃의 온수 150리터를 저장할 수 있는 물저장유닛이 있다. 전기효율은 30%(LHV) 정도이며, 열효율은 45%(LHV) 정도였다. 이 시스템에 사용된 연료변환장치 및 연료전지 스택은 GS퓨얼셀에서 자체 제작된 제품으로, 시스템 뿐 아니라 핵심 부품의 국산화 수준이 매우 높다고 할 수 있다.

<표 1 : 3kW급 가정용 연료전지 열병합 발전 시스템>

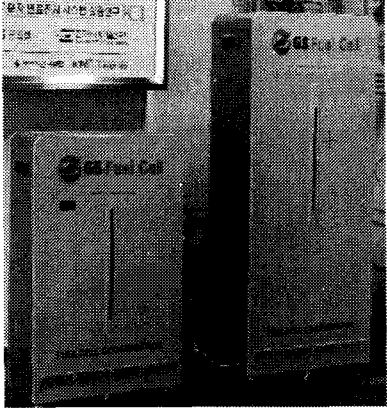
Items	Specifications	Picture
Electric Power	3kW (1.5kW Battery)	
Output Voltage	220V, 60Hz	
Electrical Efficiency	~30% (LHV)	
Thermal Efficiency	~45% (LHV)	
Volume (Power Unit)	330 liter	
Environment Temp	5~40℃	
Cold start time	~80min.	

2) 1kW급 가정용 연료전지 열병합 발전 시스템 개발

이 제품은 표 2에서 보듯이 1kW의 전기출력(32% 효율)과 1.2kW의 폐열회수(45% 효율)를 통해 종합 효율 76% 이상의 높은 효율을 달성하였다. 일본에서 가장 앞서 있는 에바라발라드나 마츠시타전기 제품의 전기효율이 34~35%임을 감안하면, 효율면에서 세계적인 수준에 근접해져 있다고 할 수 있다. 또한 부품 배치의 최적화를 통해 초소형으로 제작된 이 제품의 전기유닛 부피는 약 240리터로서, 일본 에바라발라드 제품의 크기와 비슷하며, 마츠시타 제품보다는 더 소형이다. 여기서 생산하는 1kW급의 전력이라 함은, 에어컨 가동 등의 피크 부하를 제외하고 일반 가정에서 사용되는 대부분의 전기를 감당해 낼 수 있는 용량이다.

이 제품은 국내 최초로 일반인이 거주하고 있는 실주택(한국에너지기술연구원 내 제로에너지타운, Zero Energy Town)에서 운전평가를 받고 있다. 이 시스템에서 발생하는 전기는 제로에너지타운 기숙사의 전원으로 이용되고 있으며, 시스템에서 생성되는 온수 역시 기숙사에 거주하는 직원의 온수로 사용하고 있다. 향후 이 제품에 대한 내구성 평가를 지속적으로 진행시키고, 일본 제품과 비교해도 전혀 손색이 없는 장기 수명을 가지는 시스템을 만들기 위해 새로운 설계를 진행하고 있다.

<표 2 : 1kW급 가정용 연료전지 열병합 발전 시스템>

Items	Specifications	Picture
Electric Power	1kW	
Output Voltage	220V, 60Hz	
Electrical Efficiency	~32% (LHV)	
Thermal Efficiency	~45% (LHV)	
Volume (Power Unit)	240 liter	
Environment Temp	5~40℃	
Cold start time	~60min.	

3. 결 론

연료전지 스택과 연료변환장치를 제작하여 이를 전력변환기 및 제어기와 함께 집적하여 1~3kW급 가정용 연료전지 열병합 발전 시스템을 제작하였다. 이 과정에서 배터리 하이브리드 시스템까지 구현하였으며, 선진사 수준에 근접한 높은 효율 및 성능을 달성하였다.

4. 감사의 글

본 연구의 일부는 산업자원부 산하 에너지관리공단이 지원하는 "가정용 연료전지 발전 시스템 실증 연구" 과제의 연구비로 이루어 졌음에, 이에 감사드립니다.