

1kW급 가정용 연료전지 시스템 실증 연구

최동민, 신범수, 박연구, 함미숙, 심재휘  
(주)효성 중공업연구소

Development of 1kW Class PEFC System for Residential Applications

Dong-Min Choi, Bum-Su Shin, Yon-Goo Park, Mi-Sook Ham, Jae-Hwi Shim  
HYOSUNG Corporation Power & Industrial R&D Center

**Abstract** - HYOSUNG manufactured and tested 1kw class PEFC systems to generate electrical and thermal energy for each residential usage. In particular, HYOSUNG developed power conditioning system that performs about 91% electrical conversion ratio specified in 1kW class PEFC systems. Prior to system integration, we tested each performances of components to derive control issues from it. In addition, we have been developing the adequate simulator to describe and predict system performance. In this paper, we verified HYOSUNG's 1kW class PEFC systems are valid for residential energy sureces by testing the characteristics of systems and performances of main component.

와 대기 중의 공기를 이용하여 직류 전원을 발생시키는 스택, 스택에서 생성된 직류 전원을 상용 전원인 교류 전원으로 변화시키는 전력변환기(PCS), 연료전지시스템으로부터 발생되는 폐열을 활용하기 위한 열회수 장치 및 유체 기계등으로 구성되어 있으며, 온수 저장 모듈은 연료전지시스템으로부터 발생되는 온수를 저장하기 위한 온수 탱크와 수처리 장치, 보조 보일러로 구성되어 있다.[2]

1. 서 론

에너지 소비 증가에 따른 화석연료의 소비량 증가 및 이에 따른 유해 가스 배출로 지구 온난화 등의 환경 문제가 대두됨에 따라 다양한 신재생 에너지 기술에 대한 관심과 연구가 집중되고 있다. 이러한 사회적 추세에 따라 정부에서는 온실가스를 획기적으로 감축하는 혁신적 에너지 기술에 기반한 그린에너지 산업을 성장동력화 하기 위한 핵심 전략과 신재생 에너지 보급을 확대하기 위한 구체적 실천 목표 및 계획을 발표하여, 그린 에너지 분야에 대한 선택과 집중으로 선진국과의 기술 격차를 조기에 해소하고, R&D부터 수출 산업화까지 전주기적 지원체제 구축을 통해 글로벌 그린 에너지 강국을 실현 한다는 계획을 세우고 있다.[1]

효성은 연료전지, 풍력, 태양광 등의 신재생 에너지 기술에 대한 연구 및 투자를 활발히 진행하고 있다. 특히 연료전지 분야에서는 소용량의 가정용 열병합 시스템에서부터 대용량의 발전용 연료전지시스템 개발에 대한 활발한 연구가 진행 중에 있으며, 현재 도시가스를 원료로 하여 전기 에너지와 열 에너지를 가정에 공급하는 고분자 전해질(PEFC)형 1kW급 가정용 연료전지시스템을 개발하여 2008년 현재 “가정용 연료전지 모니터링 사업”을 참여, 가정용 연료전지 시스템의 운전 특성, 신뢰성 및 내구성 검증에 위한 실증 운전을 준비하고 있다. 또한 스택의 연료를 공급하는 연료처리장치인 개질기를 개발하였으며, 연료전지시스템의 스택에서 생성된 직류 전원을 상용 전원인 220Vac, 60Hz의 교류 전원으로 변환시켜주는 전력변환기를 자체적으로 개발하였다.

2. 연료전지시스템 개발

효성의 1kW급 가정용 연료전지시스템은 그림 1과 같이 발전 모듈과 온수 저장 모듈로 이루어져 있다. 발전 모듈은 도시 가스를 수소로 변환하여 연료전지시스템의 연료를 공급하는 연료 공급 장치인 개질기, 개질된 수소

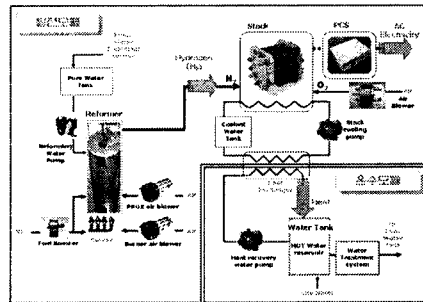


그림 1. 1kW급 가정용 연료전지시스템의 구성

2.1 M-BOP(Mechanical Balance of Plant) 개발

2.1.1 개질기

개질기 시스템의 모든 성능은 반응기의 온도에 의해 좌우된다. 반응 온도가 허용 범위보다 높거나 낮은 경우 그에 따른 영향은 개질 가스에 조성에 큰 영향을 주게 된다. 고분자 전해질(PEFC)형 연료전지시스템은 일산화탄소에 의해 피독 될 경우 시스템 성능에 치명적이므로 단독 성능 시험을 통해 사전에 방지할 필요가 있다. 당사에서 개발한 개질기의 단독 성능 시험시 개질 가스 및 배출 가스의 유량을 확인하기 위해 습식 유량계(Shinagawa社, W-NK-5A)를 사용하였으며, 개질 가스의 조성을 파악하기 위해 비 분산 적외선 분광시(NDIR)과 개질가스의 정밀한 측정이 가능한 가스 크로마토그래피(Gas Chromatography)를 동시에 사용하여 그 성능을 검증하였다. 그림 2는 개질 가스 및 배출 가스의 유량 및 개질가스의 성분을 측정하기 위한 장치의 구성도이다.

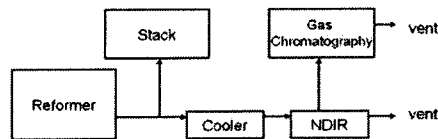


그림 2. 개질기 성능 분석 장치의 구성도

## 2.2 E-BOP(Electrical Balance of Plant) 개발

### 2.2.1 전력변환기

전력변환기(PCS : Power Conditioning System)는 대전류, 저전압 특성을 갖는 연료전지의 직류 전원을 상용 전원인 교류 전원으로 변환하여 기존 계통에 전력을 공급하는 기능을 한다. 당사에서 개발한 전력변환기는 그림 3과 같이 직연형 Push-pull DC/DC 컨버터와 정류부, 단상 DC/AC 인버터로 구성되며, 연료전지의 초기 상태(Beginning of Life)에서 제시된 기준전류값에 의한 정전류 제어와 Mass Transport 전압 제한값 이하로 벗어나지 않도록 하는 정전압 제어를 병행하는 전력제어 방식을 적용하기 위하여 DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터의 제어를 독립적으로 분리하였다.

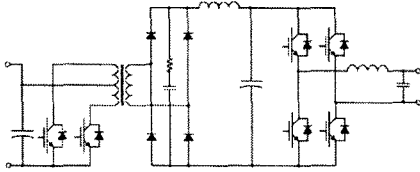


그림 3. 전력변환기의 전력회로도

당사에서 개발한 연료전지시스템용 1kW급 전력변환기의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 전력변환기의 사양

항목	사양
입력전압범위	30~70Vdc
정격입력용량	1.1kW
정격입력전류	23A
출력전압	1 $\phi$ 220Vac $\pm$ 10%
정격출력용량	1kW

### 2.2.2 시스템 제어기

연료전지시스템용 제어기는 시스템에 설치된 센서 및 BOP를 통하여 취득한 동적 데이터와 상태값을 취득하여 연료전지 시스템이 안정적이고 효율적으로 운전될 수 있도록 그림 4와 같은 역할을 수행한다.

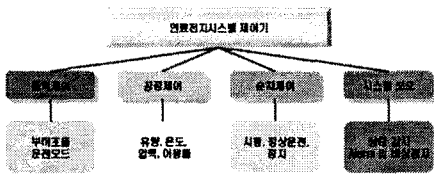


그림 4. 연료전지시스템용 제어기의 역할

당사에서 개발한 시스템 제어기는 그림 5와 같이 Main Processor(TMS320F2812)부와 주변 회로부로 구성되어 있다.

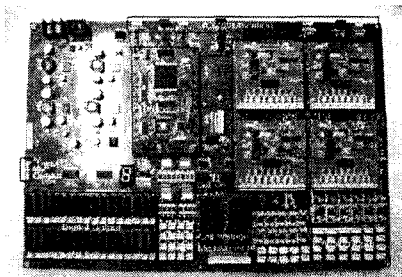


그림 5. 연료전지시스템용 제어기

## 3. 시스템 운전 및 평가

### 3.1 개질기 성능 평가

당사에서 개발한 1kW급 가정용 연료전지시스템에 탑재된 개질기의 단독 성능 시험 결과 1시간 이내의 안정 개질기 이후 각 부분의 온도, 압력, 조성 등을 측정하고, 각 반응기의 온도와 개질 가스의 성분 비, 효율은 일정하게 나타남을 확인할 수 있다.

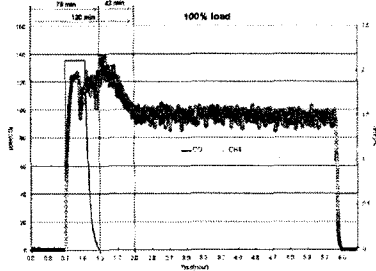
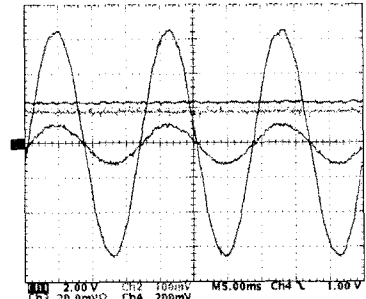


그림 6. CO 농도 변화

그림 6에서 CO의 농도가 떨어진다고 해서 CH4의 전환이 일정하게 유지되지는 않는다. 초기 저부하시, 스택의 개질가스 이용률이 낮은 경우에는 문제가 되지 않으나, 곧바로 정격 부하로 운전하는 경우 고 부하, 높은 이용률로 인해 스택의 손상을 유발할 수 있으므로 연료전지시스템의 운전 시 일정 시간동안 부하를 천천히 상승시키도록 제어 로직을 설계하였다. 또한 개질기의 성능을 좌우하는 반응기 및 버너의 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 Feedforward 제어를 이용하여 부하 변동 시에도 개질기의 온도가 안정적으로 유지될 수 있도록 하였다.

### 3.2 전력변환기 성능 평가

그림 7은 당사에서 개발한 1kW급 전력변환기의 정격 운전 시 입력전압 및 전류, 출력 계통 전압 및 전류의 파형이다. 실험 구성에 있어서 연료전지 대신 모의용 직류 전원장치를 사용하였다.



ch1. 입력 전류 [20A/div], ch2. 입력 전압 [50V/div]  
ch3. 출력 전류 [10A/div], ch4. 출력 전압 [100V/div]

그림 7. 정격출력시 시험 결과

그림 7에서 정격 출력 시 입력측 전압과 전류에 저주파 리플이 없는 것을 확인할 수 있으며, 이는 연료전지의 출력이 일정하게 유지하도록 하는 DC/DC 컨버터의 제어 특성을 보여준다. 출력단 계통전압 및 전류의 파형에서 전류의 THD(Total Harmonic Distortion)를 측정하면 그림 8의 결과는 3.49%로 기준치(5%)보다 낮으며, DC/AC 인버터의 전력 품질 제어가 원활하게 수행됨을 보여준다.

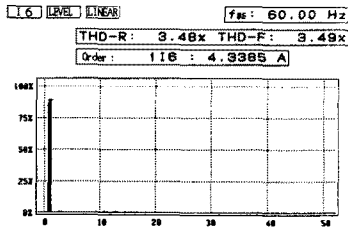


그림 8. 정격출력시 전류 THD

그림 9는 출력용량에 따른 전력변환기의 전체 효율특성을 나타낸다. 효성의 전력변환기는 정격 운전시 91.16%의 효율을 보였다.

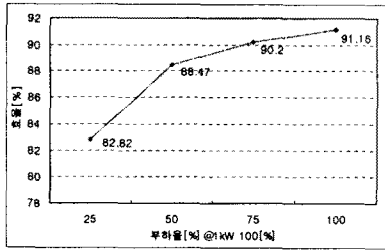


그림 9. 효율 측정 결과

### 3.3 연료전지시스템 성능 평가

효성의 1kW급 가정용 연료전지 시스템은 그림 10과 같이 발전모듈과 온수 저장 모듈로 구성되어 있다.

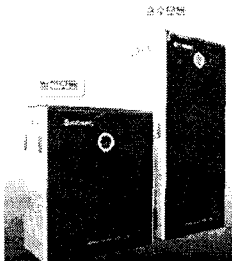


그림 10. 1kW급 가정용 연료전지시스템

연료 이용률은 부하 변동에 따라 49 ~ 76%이며, 미 반응한 수소 등의 배출 가스는 개질기의 버너로 순환시켜 개질기의 열원으로 활용하였다. 공기 이용률은 50 ~ 55% 범위이며, 스택 배출 공기와의 막 교환을 통해 가습하였다. 그림 11은 연료전지시스템이 정격으로 운전될 때의 출력 및 전기/열 효율을 나타낸다.

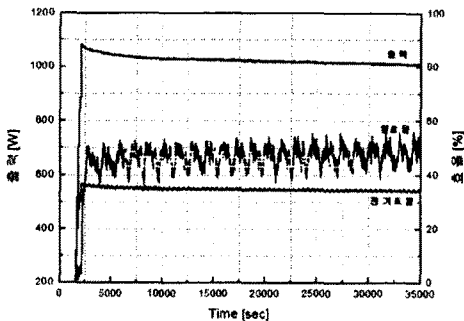


그림 11. 정격운전 시 시스템 출력 및 효율

그림 12는 연료전지시스템이 패턴 운전시 출력 및 전기, 열효율을 나타낸다. 연료전지시스템의 패턴 운전은 모니터링 사업에서 시행하는 패턴 운전 절차에 따라 1000W - 750W - 1000W - 750W - 500W - 1000W로 부하 변동을 실시하였다.

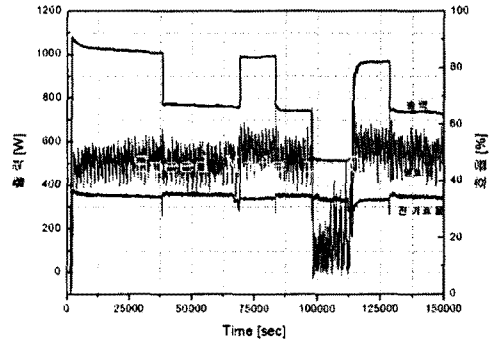


그림 12. 패턴 운전시 시스템 출력 및 효율

그림 11과 12에서 보는 것과 같이 효성의 1kW급 가정용 연료전지시스템은 전기 효율 35% 내외, 열 효율 40% 이상으로 종합 효율은 85%이상으로 현재 정부 주관의 모니터링 사업에서 요구하는 종합 효율을 만족함을 확인할 수 있다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 효성의 1kW급 가정용 열병합시스템용 연료전지시스템의 개발 현황 및 성능을 소개하였다. 현재 효성에서는 정부에서 시행하는 가정용 연료전지 모니터링 사업에 참여하고 있으며, 연료전지시스템의 상용화를 위하여 시스템 Cost Down을 목표로 펌프 및 블로워 등과 같은 유체기계의 국산화를 위한 연구 개발을 진행하고 있다. 또한 크기가 다른 APT에 거주하는 국내 1가구의 계절별/시간대별 전력 및 열수요 패턴을 바탕으로 가정용 연료전지시스템 도입에 따른 최적 운전 모드를 계산하여 경제성 분석[3]을 수행하고 있으며, 최적 운전 모드 결과를 통해 연료전지시스템의 운전 모드 및 성능 최적화를 수행할 예정이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] K. Nishizaki, M. Kawamura, N. Osaka, K. Ito, N. Fujiwara, Y. Nishizaka, H. Kitazawa, "Development of a Residential PEFC Co-Generation System", 2005 Fuel Cell Seminar, Vol. 1, pp. 299-302, 2005, Nov
- [2] James Larminie, Andrew Dicks, "Fuel Cell Systems Explained", Wiley,
- [3] 오시덕, 김기영, 서석호, 2007, "한국과 일본에서의 가정용 PEMFC 시스템 경제성 분석", 한국 신재생학회 춘계학술대회 논문집,