

1kW급 PEFC 가정용 연료전지 시스템 실증 연구

*이 호준¹⁾, 이 정민²⁾, 황 남선³⁾, 최 동민⁴⁾, 이 종욱⁵⁾, 오 시덕⁶⁾

Development of 1kW Class PEFC System for Residential Power Generation

*Ho-Jun Lee, Jung-Min Lee, Nam-Sun Hwang, Dong-Min Choi, Jong-Wook Lee, Si-Doek Oh

Key words : Proton Exchange Fuel Cell(고분자 전해질 연료전지), Stack(연료전지 스택), Power Conditioning System(전력변환기), Fuel Processor(개질기), Controller(제어기), System Operation(시스템 운전)

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 over 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 sources by testing the characteristics of systems and performances of main components.

1. 서론

최근 들어 한국을 포함하여 전 세계적으로 고유가 시대가 계속되면서 다양한 신재생에너지 기술에 대한 관심과 연구가 집중되고 있다. 효성에서도 연료전지, 풍력 및 태양광 등의 신재생에너지 기술에 대한 연구 및 투자가 활발히 진행되고 있다. 고분자 전해질(PEFC)형 1kW급 가정용 연료전지는 전기발생량 및 열배출량이 일반 가정에서 사용하는 전기 및 열수요량과 거의 유사하기 때문에 가정용 에너지원으로써 활발한 연구가 진행 중에 있다. 효성은 1kW급 PEFC 가정용 연료전지 열병합시스템을 자체 개발하여 2008년 현재 한국 정부에서 진행 중인 정부모니터링사업을 통해 가정용 연료전지시스템의 운전특성, 신뢰성 및 내구성 검증을 위한 실증운전을 준비하고 있다.

본 논문에서는 효성의 1kW급 PEFC 가정용 연료전지 열병합시스템의 개발내용 및 운전특성을 포함하여, 자체 개발한 개질기, 전력변환기 및 BOP류의 성능 및 운전특성에 대해서 설명하고자 한다.

효성에서는 도시가스를 원료로 하여 수증기

개질방식의 개질기를 탑재한 시스템을 개발하여 시험 중이며, 약 78~80%(LHV 기준) 성능수준의 시스템 개발을 목표로 하고 있다. 또한, 스택에서 생성된 직류전원을 상용전원인 220V, 60Hz의 교류전원으로 변환시켜주는 전력변환장치를 개발하여, 약 91% 내외의 효율을 확보하였다. 기타 열 저장 모듈과 관련된 대부분의 BOP는 국산화 적용을 통해 시스템을 구성하여 운전 중에 있다.

- 1) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : gomax@hyosung.com
Tel : (031)596-1776 Fax : (031)596-1699
- 2) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : neomin@hyosung.com
Tel : (031)596-1743 Fax : (031)596-1699
- 3) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : aoromast@hyosung.com
Tel : (031)596-1766 Fax : (031)596-1699
- 4) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : powerofmin@hyosung.com
Tel : (031)596-1773 Fax : (031)596-1699
- 5) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : jwlee4177@hyosung.com
Tel : (031)596-1770 Fax : (031)596-1699
- 6) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : ohsidk@hyosung.com
Tel : (031)596-1702 Fax : (031)596-1697

2. 시스템 구성

2.1 스택

가정용 열병합형 연료전지 시스템에는 기존의 가스 인프라를 통해 공급되고 있는 도시가스를 개질하여 다량의 수소로 구성된 혼합가스로 변환하고, 이 혼합가스를 발전 연료로 공급하는 방식을 채택하고 있다. 또한, 반응 시 발생하는 열을 활용하기 위해 열회수를 위한 배관이 포함되어 있다.

수소를 주성분으로 하는 개질된 연료 가스 내에는 미량의 일산화탄소가 포함되어 있으며,¹⁾ 고분자 전해질형 연료전지의 경우 개질가스 중의 일산화탄소가 연료전지 anode의 백금 촉매의 활성표면에 흡착되어 반응에 필요한 수소의 산화반응을 저해한다.²⁾ 이에 효성에서는 일산화탄소 농도에 대한 연료전지의 거동 특성을 파악하고, 일산화탄소에 의한 촉매 피독 시의 성능 회복 방안을 마련하여 시스템 개발 시 적용하였다.³⁾

2.2 개질기

개질기 시스템의 모든 성능은 반응기의 온도에 좌우가 된다. 반응 온도가 허용 범위에서 조금 높거나 낮거나 한다면 그에 따른 영향은 개질가스의 조성에 큰 영향을 주게 된다. 또한, 가정용 연료전지 시스템은 일산화탄소에 의한 피독은 시스템 성능에 치명적이므로 단독 성능 시험을 통해 사전에 이를 방지할 필요가 있다.

개질기 단독 성능 시험 시 개질 가스 및 배출 가스의 유량을 확인하기 위해 습식 유량계(Shinagawa社, W-NK-5A)를 사용하였다. 또한 개질 가스의 조성을 파악하기 위해서 비 분산 적외선 분광기(NDIR) 및 보다 측정시간은 길지만, 보다 정밀한 측정이 가능한 가스 크로마토그래피(Gas Chromatography)를 동시에 사용하였다.

Fig. 1은 개질 가스 및 배출 가스 성분 측정 장치의 구성도이다.

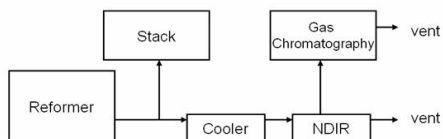


Fig. 1 Schematic test equipment of fuel processor reactants.

2.3 전력변환기

전력변환기(PCS : Power Conditioning System)는 대전류, 저전압 특성을 갖는 연료전지의 직류 전원을 상용전원인 교류 전원으로 변

환하여 기존 계통에 전력을 공급하는 기능을 하며 과전압, 과전류, 저전압, 주파수저하, 주파수상승, 단독 운전 방지의 보호기능을 가지고 있다. 계통이 정상이고 입력 직류 전압이 운전 가능한 전압일 경우 계통에 연계되어 운전되며 이때 발생전력은 상위제어기(연료전지 시스템 제어기)에서의 지령치에 의해 결정된다.

전력변환기의 내부 구성도를 Fig. 2에 나타내었다. 전력변환기는 크게 연료전지의 낮은 직류 전압을 인버터에 요구하는 전압으로 승압하기 위한 DC/DC 컨버터부, 승압된 직류전압을 교류전원 변환하기 위한 DC/AC 인버터부, 컨버터와 인버터를 제어하는 제어부, 제어부에 전원을 공급하는 제어전원부로 구성되어 있다. Table 1은 당사에서 적용 중인 1kW급 전력변환기의 사양을 나타내고 있다.

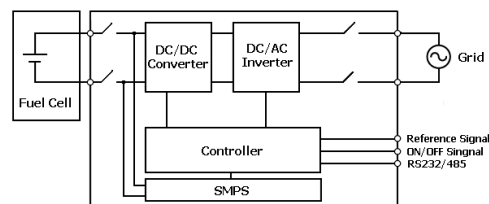


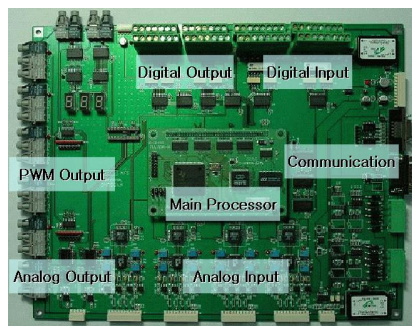
Fig. 2 Construction of PCS.

Table 1 Specification of PCS.

항 목	내 용
입력전압범위	30~70V
정격입력용량	1,100W
정격입력전류	23A
출력전압	1 φ 220Vac ± 10%
정격출력용량	1kW

2.4 PID 제어기

시스템 제어기는 각종 온도제어, 유량제어, 출력제어, 시스템 보호 등을 수행하며 안정적인 시스템 운영을 책임진다. 효성의 연료전지용 제어기는 Picture. 1과 같이 Main Processor부(TMS320F2812)와 주변회로부로 구성되어 있다.



Picture. 1 Constitution of DSP controller board.

3. 시스템 운전 및 평가

3.1 스택

개질가스 성분 중 일산화탄소(CO)가 스택 성능에 미치는 성능 변화를 시험한 결과는 Fig. 3과 같다. CO가 20ppm 일 때와 30ppm일 때 600s를 경과 후 급격히 스택 성능이 낮아졌음을 확인 할 수 있다. 이를 방지하기 위해 시스템 운전 시 anode 단에 1.5%가량의 공기를 불어 넣도록 설계하였다.

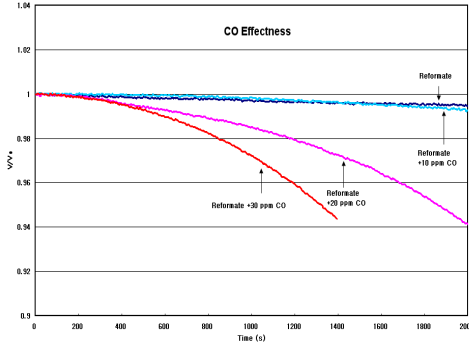


Fig. 3 PEFC stack performance degradation caused by CO concentration

3.2 개질기

효성의 1kW급 가정용 연료전지에 탑재된 개질기의 단독 성능 시험 결과, 1시간 이내의 안정화 시간 이후 각 부분의 온도, 압력, 조성 등을 측정 한 결과, 각 반응기의 온도와 개질 가스 안의 성분 비, 효율 또한 일정하게 나타났다.

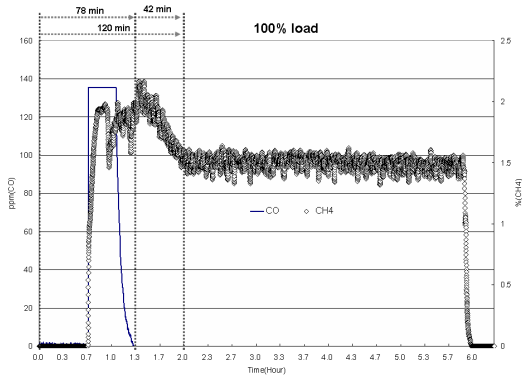


Fig. 4 CO concentration variation at the entrance of reformer stability.

Fig. 4에서 CO의 농도가 떨어진다고 해서 CH₄의 전환이 일정하게 유지 되지 않는다. 초기 저부하 시, 스택의 개질가스 이용율이 낮은 경우에는 문제가 되지 않으나 곧바로 정격 부하로 운전하는 경우 고 부하, 고 이용률 때문에 스택 손상을 유발할 수 있으므로 시스템 운전 시 일정 시간 동안 부하를 천천히 상승시키도록 제어 로직

(logic)을 설계하였다.

3.3 전력변환기

Fig. 5는 1kW급 전력변환기의 정격운전 시에 입력전압 및 전류, 출력 계통전압 및 전류의 파형이다. 정격출력 시에 입력 측 전압과 전류에 120Hz 저주파 리플이 없는 것을 볼 수 있는데, 이는 연료전지의 출력이 일정하게 유지하도록 하는 DC/DC 컨버터의 제어특성을 보여준다. 출력단 계통전압 및 전류의 파형에서 전류의 THD(Total Harmonic Distortion)를 측정 한 Fig. 6의 결과는 3.49%로 기준치(5%)보다 낮으며, DC/AC 인버터의 전력품질제어가 원활하게 수행됨을 보여준다.

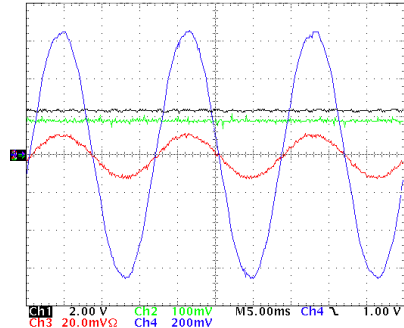


Fig. 5 PCS test results at rated power
Ch1:A.In [20A/div], Ch2:V.In [50V/div]
Ch3:Grid A.[10A/div], Ch4:Grid V.[100V/div]

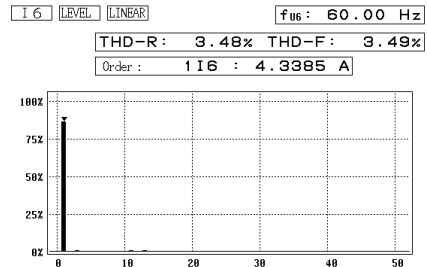


Fig. 6 THD of grid power at rated power.

Fig. 7은 출력용량에 따른 전력변환기의 전체 효율특성을 나타낸다. 효성의 전력변환장치는 정격 운전 시에 91.16%의 효율로써 손실을 최소화한 전력변환기의 설계 결과를 확인할 수 있다.

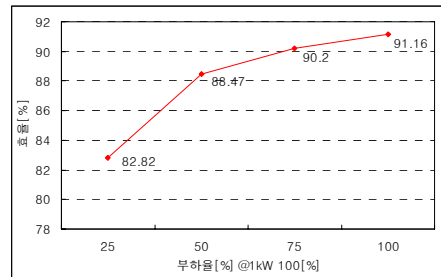


Fig. 7 Test measurement of PCS efficiency.

3.4 PID 제어기

PID 제어기는 비례(P), 적분(I), 미분(D) 제어로 구성되는 제어기로 정상상태응답과 과도상태응답을 모두 개선하는 효과를 가지고 있다.

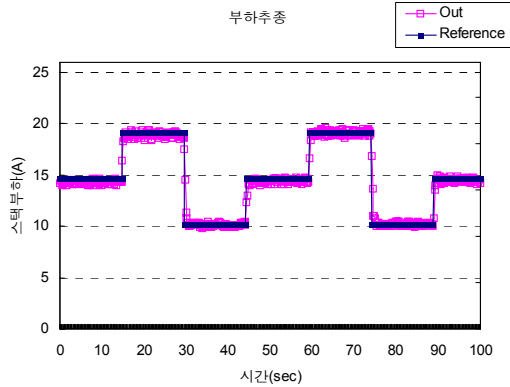


Fig. 8 Load variation vs. Stack power.

Fig. 8는 PID 제어기를 적용한 부하 추종 제어를 적용하여, 부하 변동 시에도 공기공급단의 유량제어를 통해 부하 변동을 1초 내로 추종하는 것을 보여준다. 효성의 가정용 연료전지 시스템은 PID 제어를 통해 요구 부하 변동에 대해 안정적으로 전력을 공급할 수 있도록 설계되었다.

3.5 시스템 운전 성능

가정용 연료전지 시스템은 일반적으로 개질기, 스택, 유체 기계 등으로 구성된 발전모듈과 온수탱크(200L)와 수처리 장치, 보조 보일러로 구성된 온수저장모듈로 이루어져 있다. (Fig. 9)



Fig. 9 Hyosung's prototype 1kW class PEFC RPG system.

연료 이용률은 부하 변동에 따라 49%~76%이며, 미 반응한 수소 등 스택 anode 배출 가스는 개질기의 버너로 다시 넣어 개질기의 열원으로 사용하였다. 공기 이용률은 50~55%범위이며 스택 배출 공기와의 막교환을 통해 가습하였다.

PCS 출력 기준으로 500W, 750W, 1000W 시험을 수행하였으며 시험 결과는 Fig. 10과 같다.

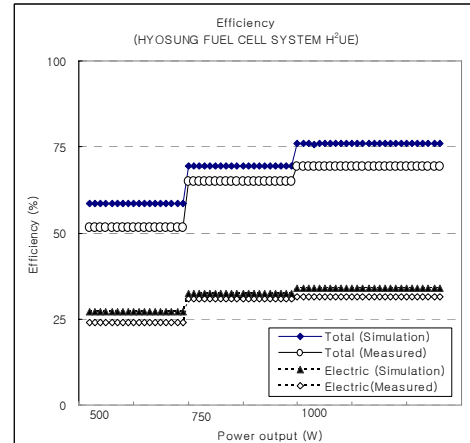


Fig. 10 System efficiency and simulation results.

1차 prototype은 2년에 걸쳐 다양한 운전 조건 시험에 적용되어 성능이 감소되었으며, 현재는 스택과 개질기 등의 성능을 회복시키는 중이다. 시뮬레이션 결과와는 500W~1000W 구간에서 7~9.5% 가량의 오차를 보이고 있다. 현재 시스템 성능 회복 시험과 함께 시뮬레이션 모델링 개선 작업이 진행 중에 있다.

4. 결론

스택의 성능 실험을 통해 개질기와 연계 시 1~2% 가량의 air bleeding이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 개질기의 운전 시험을 통해 시스템 설계/운전에 관한 자료 및 일부 주요 제어 요소를 파악할 수 있었다. 더욱 개선된 전력변환 성능을 실험을 통해 확인할 수 있었으며, 연료전지 시스템에 탑재된 제어기의 PID 제어 설계를 통하여 부하 변동에 따른 시스템 운전의 안정성을 확보하였다.

현재 효성에서는 1차 prototype 시스템의 시험을 통해 획득한 운전 로직 및 알람 노하우를 적용한 개선된 1kW급 가정용 연료전지 시스템을 새로이 개발·제작 완료하였으며 현재 시험 중에 있다.

References

- [1] A.Pozio, L.Giorgi, E.Passalacqua, Electrochim.Acta 46 (2000) 555
- [2] J.S.Gottesfeld, J.pafford, J.Electrochem.Soc. 135 (10) (1998) 2651-2652
- [3] 이호준 외, 2007, 153-156, 한국 수소 및 신에너지 학회 추계학술대회