1kW급 연료전지 평가시스템 개발에 관한 연구

황현석*, 이상훈**, 이주영***© 정회원

A study on development of 1kW SOFC test system

Hyun Suk Hwang*, Sanghoon Lee**, and Juyoung Lee***© *Regular Members*

요 약

본 연구에서는 연료전지 중 발전효율이 50% 이상으로 가장 높고 가정용(1~10kW급) 시스템으로 필요성이 높아지고 있는 고체산화물 연료전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)에 대한 평가시스템을 설계하여 최적의 평가성능을 구현코자 하였다. 최적의 연료전지 평가시스템을 구현하기 위하여 전처리 및 반응조건 제어를 위한 온도제어모듈, 반응물에 대한 유량제어모듈, 전자부하기 등을 구현하였다. 온도제어모듈은 K형 서머커플을 사용하여 운전온도인 750℃에서 1℃이내의 정밀도 구현이 가능토록 설계하였고, 가스의 양이 일정하게 유지하기 위한 가습기 구조를 설계하였으며, 송풍기 및 히터의 정밀제어가 가능하도록 위상제어보드를 설계하여 적용함으로서 목표성능을 구현하였으며, 전자부하기는 방전방식으로 정전압, 정전류, 정저항 모드와 아날로그 입력과 출력모듈에 별도의 DC-DC 컨버터를 사용하여 오류를 최소화하였다. 구현한 평가시스템의 성능을 측정한 결과 스택전압은 80V에서 0.15%, 스택전류는 100A에서 0.1%의 정밀제어가 가능함을 확인하였다.

Key Words : Solid Oxide Fuel Cell(SOFC); Test system; Electric loader; Control module

ABSTRACT

In this study, a 1kW Solid Oxide Fuel Cell(SOFC) test system was developed. A SOFC is the most promising power system to provide the higher efficient(over 50%) for house application area(1~10kW). To develop the optimized test system, the temperature control module that controls the preprocess and reaction condition, the flow control module that controls of the mass of reactants, and the electric loader that tests the discharge performance condition, etc. The temperature control module was designed to provide the high control resolution(under 1℃ at 750℃ of operating temperature) using K-type thermal couple. The flow control module was designed control blower and heater precisely using the phase control method. And the electric loader is designed that provide CV, CC, CR discharge mode and minimized the operating error adopting the independent DC-DC converter on analog input and output module. The performance of the developed SOFC test system showed that the accuracy of stack voltage was 0.15% at 80V and stack current was 0.1% at 100A.

I. 서 론

수소에너지를 이용한 연료전지 기술은 전기생산 효율이 높고 전체에너지 (전기와 열) 효율을 고려하면 85%까지도 생산이 가능한 형태로서 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(법률 8852호)에 따라 신에너지로 분류된 기술로서 그 중요성이 점차 강조되고 있다[1]. 연료전지는 사용하는 연료, 산화제, 전해질, 작동온도, 전극의 종류 등에 따라 분류될 수 있으며, 전해질의 종류에 따라서는 알칼리 연료전지(Alkaline Fuel Cell, AFC), 고체고분자 전해질 연료전지(Proton-Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC), 인산형 연료전지(Phosphoric Fuel Cell, PAFC), 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC), 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC), 직접메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) 등으로 구분된다[1-3].

이 가운데 제3세대 연료전지라 불리는 SOFC는 고온에서 전기화학반응에 의해 전기를 생산하는 장치로서 현존하는 연료전지 발전 기술 중 발전효율이 가장 높고 경제성이 우수하다는 장점을 가지고 있다[3]. 셀을 구성하는 기본요소인 전해질 및 전극이 모두 세라믹으로 구성되어 있으며 작동온도

※ 본 논문은 2016년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음
*서일대학교 전기과, **㈜푸른기술에너지
***서경대학교 전자공학과, ⓒ교신저자: 이주영(jylee@skuniv.ac.kr)
접수일자 : 2016년 7월 25일, 수정완료일자 : 2016년 8월 19일, 최종게재확정일자 : 2016년 8월 30일

(600~1000℃)가 높아 발전효율이 높고 배기가스의 배열을 이용할 수 있는 장점이 있다. 특히 고온작동으로 인해 수소뿐만 아니라 일산화탄소, 메탄, 가솔린, 디젤 등 다양한 연료의 사용이 가능하며 비귀금속계의 전극을 이용하므로 SOFC를 이용한 발전시스템이 기존의 발전소와 지역난방시스템을 대체할 수 있을것으로 전망되고 있다[3-4].

이러한 연료전지의 수요증가에 따라 연료전지에 대한 기술개발 및 사업화는 이루어지고 있으나 평가 및 운전시스템은 대부분 상용 전자부하기, 주파수 특성분석기, 멀티미터 등 전자계측기를 고객의 용도 및 가격 요청에 맞추어 납품하는 형태로 제품개발이 추진되고 있으며 연료전지에 최적화된 평가시스템에 대한 연구는 미흡한 편이다[3-7].

본 연구에서는 1kW급 소형 가정용 SOFC에 대한 평가시스템을 설계하여 최적의 평가성능을 구현코자 하였다. 이를 위하여 전처리 및 반응조건 제어를 위한 온도제어모듈, 반응물에 대한 유량제어모듈, 전자부하기 등을 구현하였다.

Ⅱ. 실험 및 고찰

연료전지에 대한 평가 및 운전 프로세스를 살펴보면 그림 1에 도시한 바와 같이 반응물에 대한 유량 및 조성을 제어하여 반응물 전처리 단계를 거친 후 고온 반응기를 통하여 생성물이 발생하는 단계를 거치며 각 단계를 최적으로 제어하기 위한 제어기술이 요구된다.

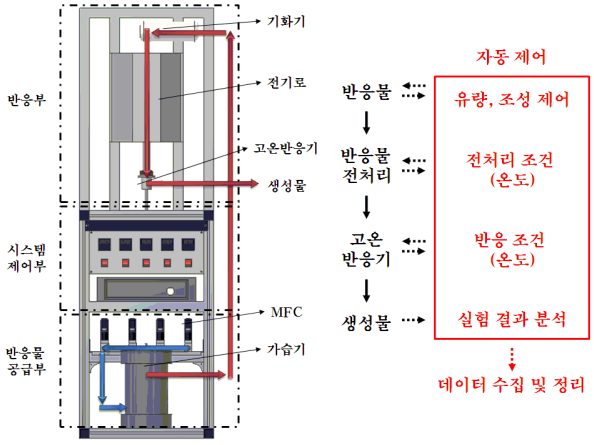


그림 1. 연료전지 평가시스템 개요

이를 위하여 전처리 및 반응조건 제어를 위한 온도제어모듈, 반응물에 대한 유량제어모듈, 전자부하기 등에 대한 연구가 필요하며 본 논문에서는 각 부분에 대한 연구를 수행하고 평가하였다.

1. 히터 온도제어 및 송풍기 유량제어 모듈

Thyristor Power Regulator(TPR)은 히터의 온도제어 시스템에 가장 합리적인 소자로 알려져 있으며 본 연구에서는 자체 개발한 TPR을 적용하여 위상제어보드를 설계하고 이를 통하여 히터의 온도와 송풍기의 유량을 제어코자 하였다.

온도제어모듈은 K형 서머커플을 사용하여 운전온도인 750℃에서 1℃이내의 정밀도 구현이 가능토록 설계하기 위하여 온도 전용 ADC를 사용하여 정밀한 온도측정이 가능토록 설계하였으며, 외부에 Cold Junction Compensation(CJC) 소자를 연결할 수 있는 기능을 구현하였다. 또한 별도의 DC-DC 컨버터를 사용하여 타 전원 부분의 노이즈 유입을 최대한 차단토록 설계하였으며, 제작한 온도제어모듈을 그림 2에 도시하였다.

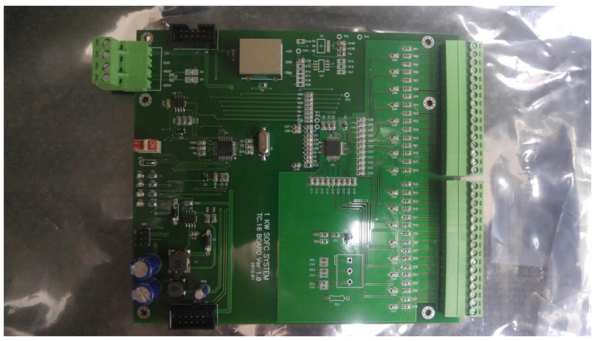


그림 2. 제작한 온도제어모듈

본 논문에서는 자체 제작한 TPR을 이용한 송풍기 유량제어에 관점을 두고 실시하였으며, 실험에 사용한 구성요소는 Blower(220Vac, 500W 200L/min), TPR(자체 제작 220Vac, 1.5kW), DAQ(NI- USB 6211), 유량계(아즈빌, CMS series max 500L), Power Supply(24Vdc), 압력계(Fluke 718 300G), 전류계(Fluke 325), 니들밸브(압력 조절용)이며, 그림 3에 도시하였다.

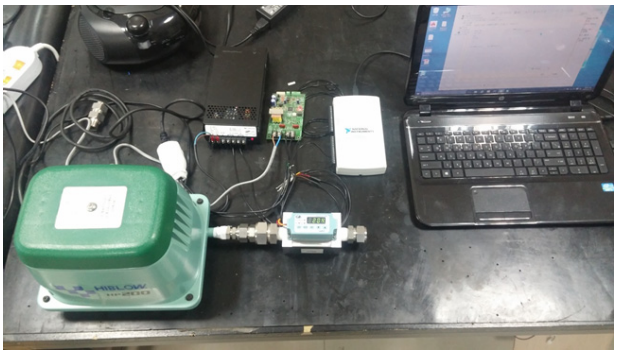


그림 3. TPR을 이용한 송풍기 실험

아즈빌 유량계를 통하여 자체 제작한 TPR을 적용(전압은 3.45V로 고정)하여 표 1의 결과를 얻었으며, 위상제어보드를 이용하여 그림 4와 같이 송풍기 성능을 측정함으로서 선형적으로 제어할 수 있음을 확인하였다.

표 1. 자체 제작한 TPR을 적용한 측정 결과

유량 [L/min]	압력 [bar]	전류 [V]	전력 [W]
40	0.269	0.58	127.6
80	0.228	0.74	162.8

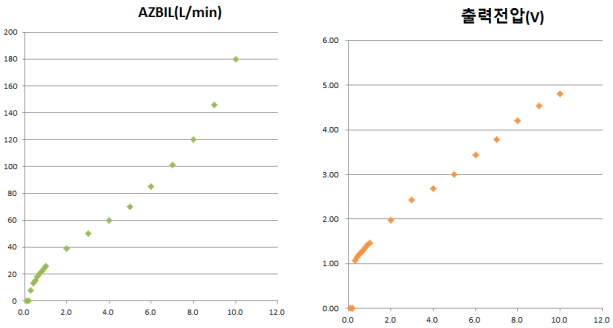


그림 4. 위상제어보드를 이용한 송풍기 성능 측정 그램프

2. 1kW 전자부하기 개발

연료전지 평가시스템의 전자부하기의 원리는 그림 5와 같다. 본 연구에서는 기존 100W 전자부하기를 활용하여 MOSFET의 개수를 확장하는 개념으로 설계하였으며, 이 경우 전류의 양을 적게하여 발생하는 열의 양이 감소하는 효과를 얻을 수 있었다. 또한 병렬연결에 따른 MOSFET에 흐르는 전류의 양에 대한 편차는 발생하였으나 각각의 전류를 션트저항을 통해 개별 제어함으로서 시스템이 개선되는 효과가 발생하였다.

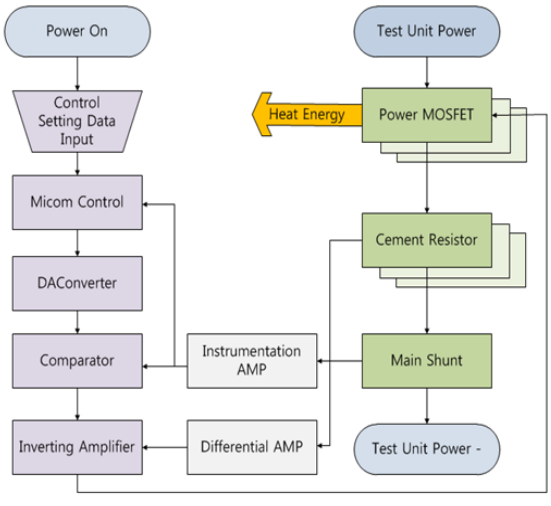


그림 5. 전자부하기 개념도

제작한 DC 부하기를 측정한 결과 표 2와 같이 스택전압은 80V에서 0.15%, 스택전류는 100A에서 0.1%의 정밀제어가 가능함을 확인하였다.

표 2. DC 부하기 측정결과

전압 [V]	입력값	80.000	60.000	40.000	20.000
	측정값	79.88	59.91	39.93	19.96
전류 [A]	입력값	100.00	80.00	60.00	40.00
	측정값	100.10	80.07	60.04	40.02

Ⅲ. 결론

본 연구에서는 연료전지 중 발전효율이 가장 높고 가정용(1~10kW급) 시스템으로 필요성이 높아지고 있는 1kW급 SOFC에 대한 평가시스템을 설계하여 최적의 평가성능을 구현코자 하였다. 최적의 연료전지 평가시스템을 구현하기 위하여 전처리 및 반응조건 제어를 위한 온도제어모듈, 반응물에 대한 유량제어모듈, 전자부하기를 구현하였다. 온도제어모듈은 K형 서머커플을 사용하여 운전온도인 750℃에서 1℃ 이내의 정밀도 구현이 가능토록 설계하였고, 자체 제작한 TPR을 적용하여 송풍기 및 히터의 정밀제어가 가능하도록 위상제어보드를 설계하여 적용함으로서 선형적으로 제어가능함을 확인하였으며, 전자부하기는 방전방식으로 정전압, 정전류, 정저항 모드와 아날로그 입력과 출력모듈에 별도의 DC-DC 컨버터를 사용하여 오류를 최소화하였다. 구현한 평가시스템의 성능을 측정한 결과 스택전압은 80V에서 0.15%, 스택전류는 100A에서 0.1%의 정밀제어가 가능함을 확인하였다. 본 연구를 통하여 개발된 모듈화 기술은 향후 중·대용량 연료전지 평가시스템을 개발하는데에도 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 박노언, 김형욱, “수소·연료전지 연구개발 투자현황 분석”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제 21권 2호, pp. 143-148, 2010.
[2] 소대섭, 강상규, 최원춘, “차세대 연료전지 기술에 관한 연구개발 동향 및 정보분석”, 공업화학전망, 제 9권 5호, pp. 51-59, 2006.
[3] 문봉화, 이경민, 임경태, 이충환, 이헌용, 윤중락,“유기용매 혼합비에 따른 고체산화물 연료전지 전해질 지지체용 세라믹 그린 시트 성형 및 소결 특성”, 전기전자재료학회 논문집, 제 25권 6호, pp. 426-430, 2012.
[4] 김완제, 이승복, 송락현, 박석주, 임탁형, 이종원,“원통형 고체산화물 연료전지 스택 제작 및 성능평가”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제 24권 6호, pp. 467-471, 2013.
[5] 이율호, 양찬욱, 양충모, 박상현, 박성진,“10kW급 건물용 고체산화물연료전지(SOFC) 시스템 모델을 이용한 운전조건 최적화 연구”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제 27권 1호, pp. 49-62, 2016.
[6] 임석연, 성용욱, 한재영, 유상석,“연료 다변화에 따른 용융 탄산염 연료전지 시스템 운전 특성”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제 26권 2호, pp. 156-163, 2015.
[7] 박찬엄, 정진수, 한운기, 임현성, 송영상, 김춘삼, 임덕규,“가정용

연료전지 시스템의 단독운전 시 부하설비의 전압 및 전력품질 평가", 전기학회논문지, 제 62권 12호, pp. 1792-1797, 2013.

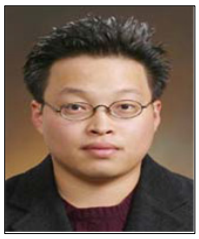
저자

황 현 석(Hyunsuk Hwang) **정회원**

- 1995년 : 성균관대학교 전기공학과 학사졸업
- 1997년 : 성균관대학교 전기공학과 석사졸업
- 2007년 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사졸업
- 1997년 ~ 2004년 : 한국산업기술평가원 선임연구원
- 2009년 ~ 현재 : 서일대학 전기과 교수

<관심분야> : USN, 통신부품, 센서 및 액추에이터

이 상 훈(Sanghoon Lee) **정회원**



- 2014년 2월 : 호서대학교 정보통신학과 학사졸업
- 2010년 12월 ~ 현재 : (주)푸른기술에너지 대표이사

<관심분야> : 연료전지

이 주 영(Juyoung Lee) **정회원**

- 1993년 2월 : 한양대학교 전자공학과 석사졸업
- 1998년 2월 : 한양대학교 전자공학과 박사졸업
- 2002년 3월 ~ 현재 : 서경대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : IoT응용기술, 에너지IT융합기술