

고체산화물 연료전지를 위한 1kW급 시뮬레이터의 구현

문종현, 김금수, 김동희
(주)누리기술, 영남대학교

Implementation of a 1kW Simulator for SOFC Stack

Jong Hyun MOON, Geum Soo Kim, Dong Hee Kim
NURI Technology Co., Ltd, Yeungnam University

ABSTRACT

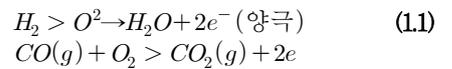
고체산화물 연료전지(SOFC)는 다른 연료전지에 비해 발전효율이 높고, 전력뿐 아니라 물과 열이 부산물로 생성되어 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 다양한 연료를 사용할 수 있어 항 후 대용량 발전용 연료전지에 적합한 특징을 가진다. 하지만 아직 Stack의 가격이 매우 비싸고, 실제의 Stack이 있다하더라도 연구 중의 손상 위험을 감수해야 한다. 따라서 SOFC Stack을 대신 할 수 있는 가상의 SOFC 시스템 구현을 통해, 저렴한 비용으로 실제의 SOFC 시스템과 유사한 환경을 구축하여 비교할 수 있다. SOFC Stack의 최대출력 DC 1kW급을 목표 대상으로 하여, 48V, 25A의 DC 출력이 가능한 Programmable DC Power Supply 설계 및 시리얼 통신을 이용한 인터페이스 보드를 제작하였고, SOFC Stack Modeling 및 GUI 구성을 하였다. 구현된 SOFC 시뮬레이터를 통해 상용의 인버터를 이용해 계통출력 전력과 실제 Stack 실험결과 비교로, 제작한 시스템이 항 후 SOFC 시스템을 위한 시험 및 연구에 응용 가능함을 입증하였다.

1. 서론

근래들어 기존의 화석 에너지 이용으로 인한 환경문제가 대두됨에 따라, 신재생 에너지를 적극적으로 활용하기 위한 노력이 이뤄지고 있다. 특히, 연료전지는 21세기 분산형 발전기술에 지대한 역할을 하게 될 것으로 기대되고 있다. 그 중, 고체산화물 연료전지(SOFC)는 산화물 이온전도 세라믹 재료를 전해질로써 사용하는 완전한 고체상태(solid state) 장치로써, 인산 연료전지(PAFC)와 용융탄산염 연료전지(MCFC)에 존재하는 전해질 관리문제가 없고, 고온에서 운전되므로(750~1000℃)폐열을 이용하여 증기 복합발전이나 가스터빈 복합발전이 가능하며, 발전용량이 동일한 경우 MCFC에 비해 소형이면서도 수명이 훨씬 긴 장점이 있다.

SOFC의 전해질을 통해 전하를 운반하는 운반체는 이온이며, 양극에서 이동한 전자와 산소가 혼합되어 음극에서 형성된다. 양극에서는 산소 이온이 수소와 반응하여 다음과 같이 물과 전자를 생성하게 된다.

- 연료극 반응(Anode reaction):



- 공기극 반응(Cathode reaction): $\frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow O^2-$ (음극) (1.2)

- 전체 반응(Overall reaction):
 $O_2 + H_2 + CO > H_2O + CO_2$ (1.3)

이처럼 전력 생성과 더불어 고온의 물을 활용할 수 있으므로, 가정용 전력공급 및 난방을 위한 시스템으로 주목 받고 있으나, SOFC 스택의 비용이 아직 비싸고 손상의 위험 등이 있으므로 SOFC Stack을 가상으로 구성하여 이용할 수 있는 시스템이 필요하다. 그림 1에 SOFC Stack 시뮬레이터의 구성을 나타내었다.



그림 1 SOFC Stack 시뮬레이터 도식
Figure 1 Diagram of SOFC Stack Simulator

2. 시스템 설계

2.1 SOFC Stack의 모델링

SOFC의 OCV는 Nernst 식을 이용해 구할 수 있는데, 외부 회로에 전류가 흐르게 되면 비가역적 손실 (irreversible overpotential)에 의해 전압이 떨어지게 된다. 따라서 실제 전압은 다음과 같게 된다.

$$V = V_{OCV} - \eta_{act} - \eta_{ohm} - \eta_{conc} \quad (2.1)$$

여기서 η_{act} 는 activation overpotential을 의미하며 보통 전기 화학반응의 kinetics 때문에 발생하며 Butler Volmer 식으로 구할 수 있다. η_{ohm} 는 ohmic overpotential 을 의미하며 Ohm

의 법칙으로 구할 수 있다. 마지막으로 η_{conc} 는 concentration overpotential을 의미하며 연료채널에서 연료의 농도와 반응하는 곳 (일반적으로 triple phase boundary)에서 연료의 농도차이에 의해 발생한다. 연산에 Matlab을 이용하였다

2.2 DC Power Supply

SOFC Stack Simulation을 위한 실제의 전력공급은 Programmable DC Power Supply를 통해 이루어진다. Matlab으로 생성된 SOFC Stack의 특성 중, 전력 생성 부분만 관여하며 ADC/DAC를 통해 연산 결과로 실제 전력을 출력한다. 모델링된 Stack은 Data 통신시에 스위칭 주파수, 출력 리플등의 외부 노이즈에 굉장히 민감하게 반응하므로, DC Power부는 손실보다는 안정성 추구를 위주로 하며 전압 48V, 전류 25A $\pm 0.1\%$ (F.S)를 공급하기 위해 Linear Type으로 하고, Analog Control부는 DSP로 처리하였다. 또한, 외부 노이즈에 의한 시스템 불안정성 배제를 위해 ADC Front End Circuit을 Balanced Differential Drive 하여 안정된 회로를 구성하였다. 그림 2에 DC Power Supply의 구성을 나타내었다.

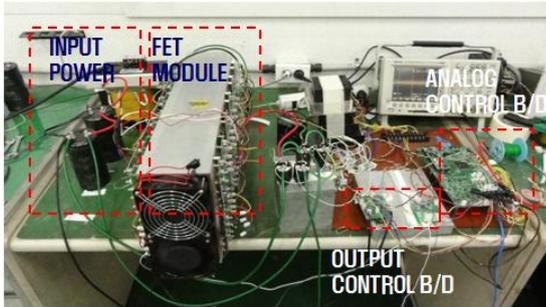


그림 2 DC Power Supply 내부
Figure 2. Inside of DC Power Supply

2.3 인터페이스 보드

Power Supply의 Analog Control Board는 Interface Board와 연결되어, PC의 연산 Data를 SOFC Stack Simulator의 실제 전력을 출력한다 DC Power와의 Data 송수신은 간섭 현상의 최소화를 위해 시리얼 통신방식을 이용하였다. Analog Output은 실제의 출력부이고, Analog Input은 표 1에 인터페이스 보드의 I/O 설계 내용을 나타내었다.

표 1 인터페이스 보드 I/O
Table 1 Interface Board I/O

종류	내용	수	형태
Analog Output	유량계(7)	38	0 5V, 12bit
	온도계(21)		
	압력계(8)		
	전력(2): 전압(1), 전류(1)		
Analog Input	밸브(7)	16	0 5V, 12bit
	SCR(4)		
	여유분(5)		
Digital Input	Pump(2), Blower(1), Selective 밸브(4), 여유분(5)	12	그라운드 접점
시리얼 통신	Baudrate:19200bps, Databits:8, Parity:none, Stop Bit:1, Terminator:CR	1	RS232C
Power Supply	Stack Power	1	RS232C

3. 실험 및 결론

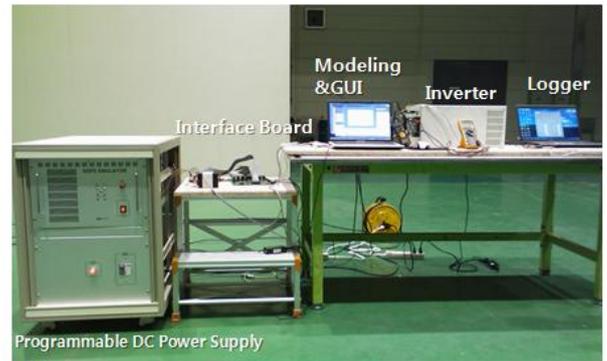


그림 3 실험 구성
Figure 3 Test environment

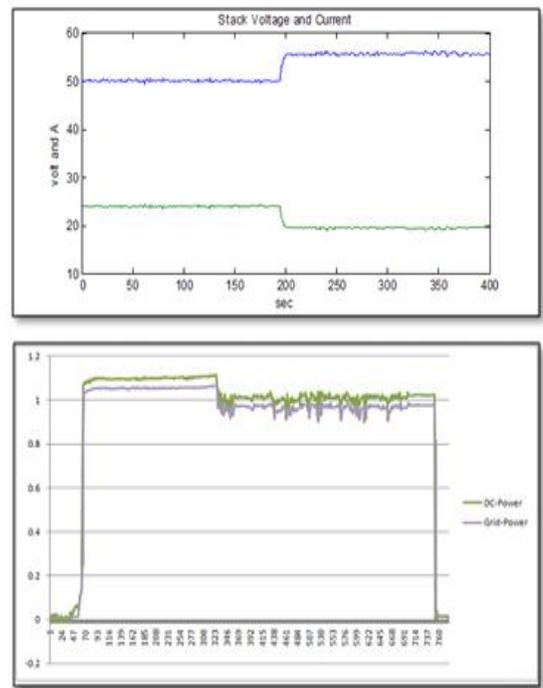


그림 4 출력 전압, 전류 및 전력
Figure 4 Output Voltage, Current, Power

그림 3에 설계된 고체산화물 연료전지용 시뮬레이터의 실험을 위한 구성을 나타내었다. Modeling&GUI PC를 통해 지령 및 조건을 주고 Interface Board를 통해 DC Power에서 실제의 전력을 내며 Inverter에서 변환을 거쳐 계통으로 연계된다. 그림 4는 최대 출력시의 데이터 로거를 통한 Modeling Data의 실제 DC 전압, 전류와 DC 전력 및 계통 전력을 나타낸 것이다. 1kW급 고체 산화물 연료전지의 조건에 따른 최대 출력을 잘 나타내고 있음을 확인 할 수 있다.

이 논문은 대경광역경제권 선도산업 기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] “1kW급 중온형 고체산화물 연료전지(SOFC) 모듈 및 시스템”, 개발 최종보고서, 산업자원부, pp 119~183, 2006. 7월