

100kW급 MCFC용 계통연계형 전력변환기 개발

정홍주, 정준모, 서인영, 임희천, 김도형*
(주)효성 중공업연구소, 한국전력연구원*

The Development of Power Conditioning System for 100kW MCFC Systems

HongJu Jung, JoonMo Chung, Inyoung Suh, HeeCheon Lim*, DoHyung Kim*
Hyosung Corp., KEPRI*

Abstract - This paper presents the development and performance of a power conditioning system (PCS) for application to a 100kW Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC) generation system. The MCFC generation system is a part of a four year government funded research project that began in 2001. This paper presents the results of operation connected to an actual fuel cell stack at a field demonstration site, and this paper shows various tests and performance verification of the 100kW PCS using a simulated DC source.

1. 서 론

화석에너지의 가체량 제한과 공해 문제 그리고 NIMBY 현상 등으로 대체에너지로의 관심이 점점 고조되고 있다. 특히 대체에너지 중에서 수소에너지를 이용하는 연료전지 발전시스템은 고효율과 다연료를 이용할 수 있다는 장점 때문에 신 발전 방식들 중에서 적용 가능성이 높은 것으로 인식되고 있다. 이러한 인식 하에 정부에서 용융탄산염형 연료전지 발전시스템 개발이 진행되고 있으며 이와 관련하여, 당사에서는 연료전지로부터 생성된 전력을 전력계통에 안정되게 변환, 주입하기 위한 계통연계형 PCS를 개발하였다.

완성된 전력변환기는 100kW급 연료전지 출력을 모의할 DC 전원 시스템과 독립 운전용 부하 설비와 함께 계통 연계 시스템을 구축하여 성능 확인 시험을 진행하였다. 성능 확인 시험 내용으로는 구축된 시험 회로에서 DC/DC 컨버터, DC/AC 인버터에 대한 기본 제어 시험과 각 구성부의 입/출력 특성 시험 그리고 소용량부터 정격 부하 용량까지의 운전 시험이 수행되었다.

현재 100kW급 MCFC 연료전지 시스템과 조합하여 시험운전이 진행되고 있으며 그 운전 결과에 대해서 언급하였다.

2. 100kW급 PCS 제작 및 시험 회로 구성

2.1 100kW급 PCS 구성

그림 1은 개발된 PCS의 단선도를 나타낸 것이다. 개발된 100kW PCS는 그림과 같이 총 네 개의 패널로 구성되며 그 각각은 그림에서와 같이 연료전지 시스템과 PCS를 연결하는 입력패널, 저전압의 연료전지 출력을 승압하며 직류전원을 교류전원으로 변환하는 제어패널, 그리고 연료전지 시스템과 계통의 절연을 위한 변압기 패널, PCS와 계통을 연결하는 출력패널로 구분된다.

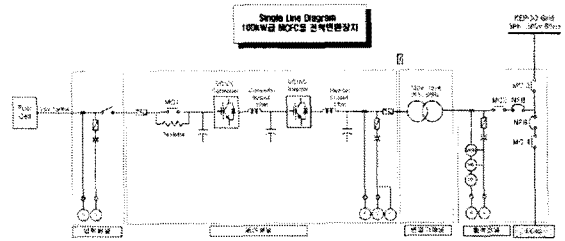


그림 1. 100kW 전력변환기 구성도

2.2 100kW급 PCS 패널 제작

그림 2는 개발된 100kW PCS를 나타낸 것으로 입력패널은 NFB(No Fuse Braker)와 초기 구동시 입력 커패시터에 초기 충진전류를 제한하기 위한 충전용 저항, MC(Magnetic Contactor) 그리고 퓨즈 등으로 구성되어 있다. 제어패널은 연료전지의 저전압 직류 출력을 승압하기 위한 DC/DC 컨버터와 승압된 직류전원을 상용전원 주파수로 변환하기 위한 DC/AC 인버터로 구성되어 있으며 PCS 시스템의 보호 및 제어를 담당하는 제어기가 포함되어 있다. DC/DC 컨버터는 직류전원을 교류전원으로 변환하는 FET 스택과 승압을 위한 고주파 변압기 그리고 고전압의 교류전원을 직류전원으로 변환하기 위한 다이오드스택과 필터로 이루어져 있으며 DC/AC 인버터는 인버터 스택과 인버터 스택에서 발생하는 스위칭 노이즈를 제거하기 위한 필터로 구성되어 있다. 이외에도 각 부분의 전압과 전류를 검출하기 위한 센서와 각종 릴레이 등이 포함되어 있다. 변압기 패널은 150kVA의 용량을 가지는 계통연계형 변압기로 구성되어 있으며 이 변압기는 필요에 따라 제거 될 수도 있다. 출력패널은 변압기 패널로부터 출력되는 전원을 계통이나 부하로 연결하기 위한 절환 스위치인 NFB와 패널 전면에 운전 상태를 표시하기 위한 CT 및 PT외에 각종 보호 계전기들로 구성되어 있다.

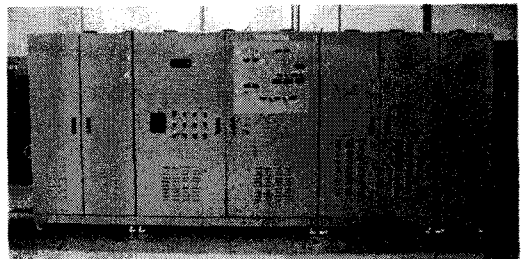


그림 2 100kW급 PCS 패널 배치도

2.3 100kW급 PCS 시험 회로 구성

100kW급 PCS의 성능을 확인하기 위하여 그림 3과 같이 시험회로를 구성하였다. 연료전지 출력은 50kW의 분리된 전원을 공급하기 때문에 이러한 연료전지를 모의하기 위해서 그림과 같이 다이오드 스택 2개를 사용하여 각각 50kW를 공급할 수 있게 구성하였다. 또한 연료전지의 저전압 특성과 부하에 따른 전압 변동을 모의하기 위하여 전압조정기와 변압기를 사용하였다. 그리고 100kW까지 가변 할 수 있는 부하장치가 그림과 같이 연결되어 있다.

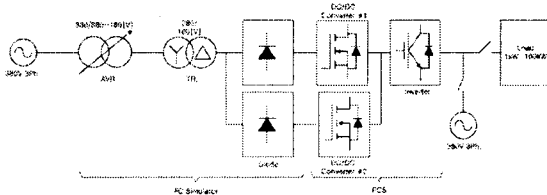


그림 3 100kW PCS 시험 회로도

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 DC/DC 컨버터 시험 결과 및 고찰

DC/DC 컨버터는 50kW의 분리된 연료전지 전원을 100kW로 만들기 위하여 두 대의 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다. 그 중 하나는 출력 전압을 제어(DC/DC Converter #1)하고 다른 하나는 전류를 제어(DC/DC Converter #2)한다. 그림 4는 전압과 전류제어를 각각 수행하는 DC/DC 컨버터의 제어 블록도를 나타낸 것이다. 이상의 제어기로 DC/DC 컨버터의 성능을 확인하기 위하여 다음과 같이 부하 운전을 행하였다. 그림 5는 부하를 정격까지 단계적으로 변화시키면서 출력전압과 전류의 분배성을 확인한 결과이다. 그림에서와 같이 부하 변동과 무관하게 컨버터의 출력 전압이 740V로 일정하게 유지됨을 확인할 수 있으며 또한 컨버터의 출력전류의 분배가 정상적으로 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 그림에서 전압의 눈금당 단위는 100V이며 전류는 눈금당 20A이다.

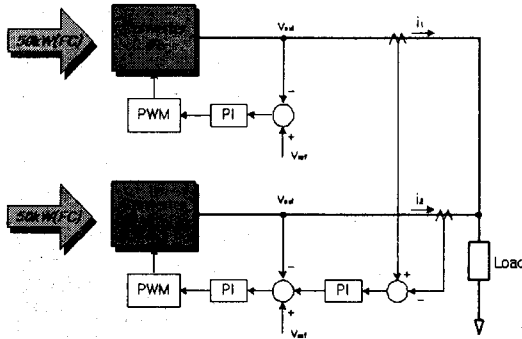


그림 4 DC/DC 컨버터 제어블록도

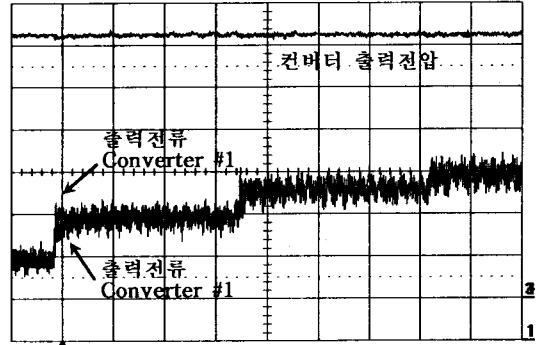


그림 5 부하변동시 컨버터의 출력전압 및 전류

3.2 DC/AC 인버터 시험 결과 및 고찰

100kW용 PCS의 인버터는 두 가지의 동작 방식을 갖는다. 하나는 독립된 산간지역에서 운전하기 위한 독립 운전방식으로 한전 계통과 무관하게 동작하는 것이고 나머지 하나는 한전 계통과 연계되어 운전되는 계통연계운전방식이다.

그림 6은 독립운전방식으로 운전할 경우의 제어 블록도를 나타낸 것으로 60Hz인 전원을 부하로 공급하기 위하여 발전회로를 포함하고 있다. 또한 제어성분들은 모두 직류성분으로 변환되어 제어가 이루어진다.

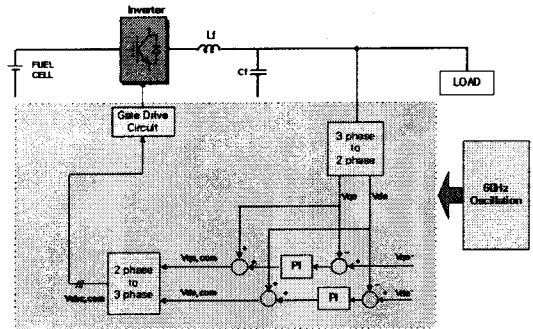


그림 6 독립운전시 제어 블록도

그림 7은 독립운전방식으로 정격 운전할 경우의 출력 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 여기서 부하는 순수 저항 부하를 사용하였다. 그림에서 선간전압과 상전류를 나타내기 때문에 30도의 위상차가 발생한다.

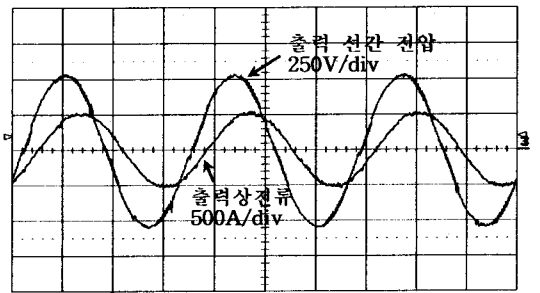


그림 7 독립운전시 출력 전압 및 전류 파형

그림 8은 계통연계운전 방식에서의 제어 블록도를 나타낸 것으로 이 경우 계통의 전압과 동기를 시키기 위하여 PLL(Phase Locked loop)회로를 포함하며 전력제어를 수행한다. 또한 모든 제어 요소들은 직류성분으로 변환되어 제어가 이루어진다.

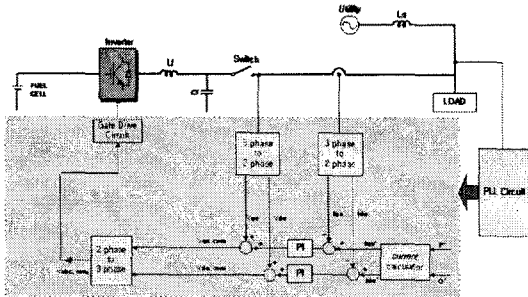


그림 8 연계운전시 제어 블록도

그림 9는 정격 출력시 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 정격 출력에서의 출력전류는 정현파에 가까운 파형임을 확인할 수 있다.

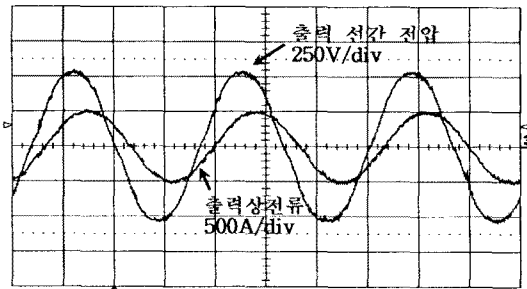


그림 9 계통연계운전시 전압 및 전류파형(100kW출력)

그림 10은 계통연계운전시 전류의 THD를 나타내는 것으로 50kW이상에서는 5%이하로 THD가 감소함을 볼 수 있다.

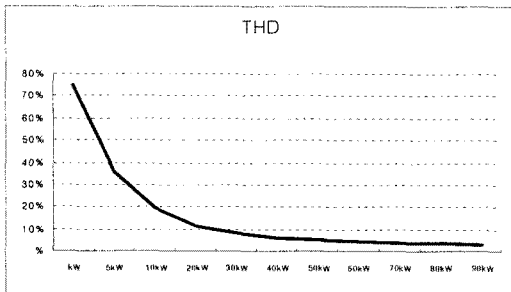


그림 10 계통연계운전시 전류 THD

4. 연료전지와의 조합운전 결과

그림 11은 연료전지 시스템과 개발된 PCS와의 조합운전 결과로 50kW에서의 계통 전압과 PCS 출력 전류를 나타낸 것이다.

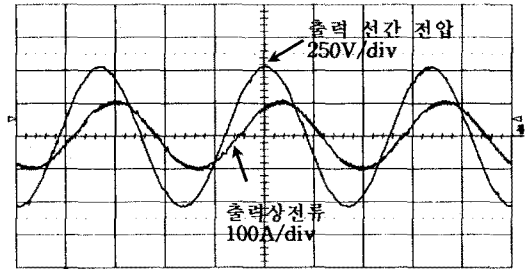


그림 11 연료전지와 조합운전시 출력전압 및 전류파형 (50kW출력, 연계운전)

운전 결과 연료전지 모의시험 장치(DC 전원장치)로 시운전한 결과와 유사한 품질을 얻었다. 현재는 연료전지 시스템의 점검 및 보완 중에 있어 정격운전 결과는 얻지 못하였다. 하지만 시스템이 정상적으로 되면 정격까지 운전할 계획에 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 100kW급 용융탄산염형 연료전지용 전력변환기의 개발 내용과 각 구성품의 운전결과를 설명하였다. 개발된 전력변환장치는 향후 MCFC 발전 시스템과 조합시험이 계속 진행되어 100kW까지 운전될 것이며 시험 데이터의 분석 및 운전시의 보호동작을 위한 검토가 계속적으로 이루어 질 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임희천 "100kW급 용융탄산염형 연료전지 발전시스템 개발" 전기저널 pp.17-27, 7월, 2000.
- [2] 한수빈, "연료전지시스템과 부하관리 응용" 한국전력전자학회, pp.21-25, 6월, 1997.
- [3] Igarashi S., Kuroki K., Hata Y., "Interconnection Inverter Consisting of Large Capacity DC/DC Converter and HF PWM Inverter for Fuel Cell Power Plant," Industrial Electronics, Control, Instrumentation, and Automation, 1992. Power Electronics and Motion Control, Proceedings of the 1992 International Conference, vol.1, pp.196-201, 1992
- [4] Akira Sasaki, Shuichi Matsumoto, Toshihide Tanaka, "Dynamic Characteristics of a Molten Carbonate Fuel Cell Stack" Proc. of the conference on Decision and control, pp.1044-1049, December, 1988
- [5] 송중환 외, "100kW급 연료전지용 전력변환 기술 개발" 1차년도 (주)효성 중공업연구소 보고서(2002)
- [6] 송중환 외, "100kW급 연료전지용 전력변환 기술 개발" 2차년도 (주)효성 중공업연구소 보고서(2003)