

100kW급 MCFC용 계통연계형 Power Conditioning System 개발

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

The Development of Power Conditioning System for 100kW MCFC Systems

HongJu Jung, HyoungNam Kwon, JoonMo Chung, Inyoung Suh, HeeCheon Lim*, KyoSang Ahn*
Hyosung Corp., KEPRI*

Abstract - This paper presents the development and testing 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 various tests and performance verification of the 100kW PCS using a DC power system that simulates the DC output of the MCFC fuel cell. Performance of the DC/DC, DC/AC converters were verified, and basic control functions such as grid connection, protection and characteristics of each components were tested. The tests were performed under light load and rated load conditions to verify the operation efficiency, power quality effects, and stability of the PCS.

류전원을 효율상승 등의 목적으로 승압하기 위한 DC/DC 컨버터가 있으며 승압된 직류 전원을 상용전원인 계통에 연결하기 위하여 DC/AC 인버터가 있다. 또한 깨끗한 출력 전원을 위하여 최종출력에 필터가 있는 구조이다.

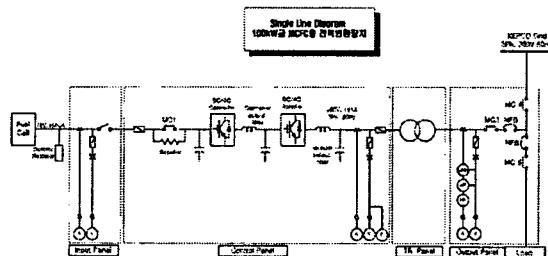


그림 1 100kW전력변환기 구성도

1. 서 론

화석에너지의 가체량 제한과 지구 온난화 및 공해 문제 그리고 NIMBY 현상 등으로 무한에너지이며 청정에너지인 대체에너지로의 관심이 점점 고조되고 있다. 특히 대체에너지 중에서 수소에너지를 이용하는 연료전지 발전시스템은 고효율과 다양성을 이용할 수 있다는 장점 때문에 신발전 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.

개발된 PCS의 핵심요소는 단위기기 설계 및 연료전지로부터 출력되는 50kW 저전압 직류전원 두 대를 조합하여 100kW 출력을 이루는 DC/DC 컨버터의 병렬운전 기법과 계통연계 기술들이다.

완성된 전력변환기는 100kW급 연료전지 출력을 모의 할 DC 전원 시스템과 독립 운전용 부하 설비와 함께 계통연계 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.

2. 100kW급 PCS 제작 및 시험 회로 구성

2.1 100kW급 PCS 구성

그림 1은 개발된 PCS의 구성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 연료전지로부터 출력되는 저전압 대전류 직

2.2 100kW급 PCS 패널 제작

PCS는 입력패널, 컨버터 & 인버터 패널, 변압기패널, 그리고 출력패널로 구성되어 있으며 패널은 아래 그림 2에 나타내었다. 입력패널은 NFB(No Fuse Braker)와 초기 구동시 입력 커캐시터에 초기 충전전류를 제한하기 위한 충전용 저항, MC(Magnetic Contactor) 그리고 퓨즈 등으로 구성 되어 있다. 컨버터 & 인버터 패널은 연료전지 출력을 승압하기 위한 DC/DC 컨버터와 승압된 직류전원을 상용전원 주파수로 변환하기 위한 DC/AC 인버터로 구성되어 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 발생되는 스위칭 노이즈를 제거하기 위한 필터로 구성되어 있다. 이 외에도 각 부분의 전압과 전류를 검출하기 위한 센서와 전력변환기의 제어를 담당하는 제어기 그리고 각종 릴레이가 포함되어있다. 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 전압과 전류 상태를 표시하기 위한 데이터 수집용 CT(current transformer), PT(Potential transformer) 그리고 부족전압, 과전압, 과전류를 검출하여 보호동작을 하기 위한 부족전압제전기(Under Voltage Relay), 과전압제전기(Over Voltage Relay), 과전류제전기(Over Current Relay)로 구성되어 있다.

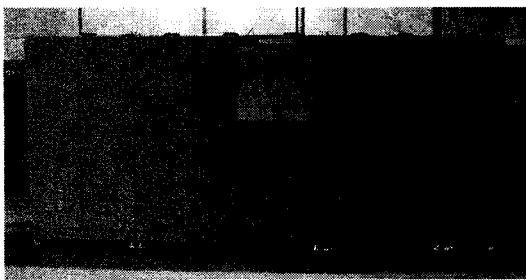


그림 2 100kW급 PCS 패널 배치도

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.

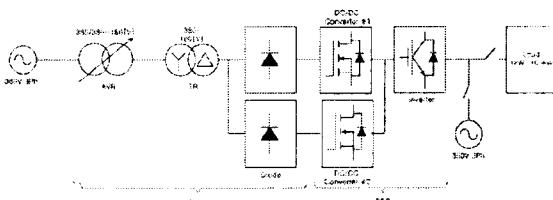


그림 3 100kW PCS시험 회로도

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.

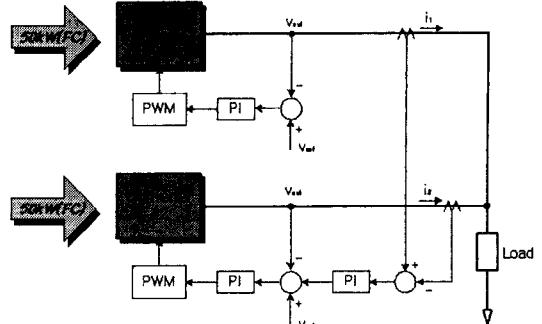


그림 4 DC/DC 컨버터 제어블록도

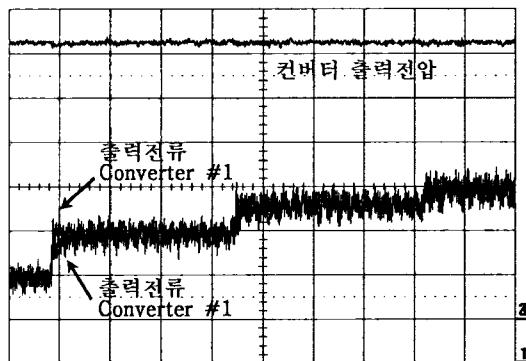


그림 5 부하변동시 컨버터의 출력전압 및 전류

그림 6은 부하가 변동되었을 경우 각 컨버터의 입력전류를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 부하가 변동되는 순간 DC DC Converter #1의 전류가 순간 상승하고 곧 이어 DC DC Converter #2의 전류가 추종하여 일정하게 전류가 분배되고 있음을 확인 할 수 있다.

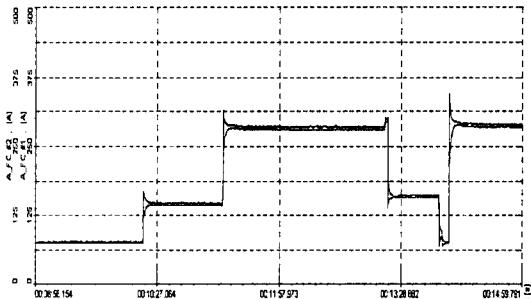


그림 6 부하변동시 컨버터의 입력 전류

3.2 DC AC 인버터 시험 결과 및 고찰

100kW용 PCS의 인버터는 두 가지의 동작 방식을 갖는다. 하나는 독립된 산간지역에서 운전하기 위한 독립운전방식으로 한전 계통과 무관하게 동작하는 것이고 나머지 하나는 한전 계통과 연계되어 운전되는 계통연계운전방식이다. 그림 7은 독립운전방식으로 운전할 경우의 제어 블록도를 나타낸 것으로 60Hz인 전원을 부하로 공급하기 위하여 발진회로를 포함하고 있다. 또한 제어성분들은 모두 직류성분으로 변환되어 제어가 이루어진다.

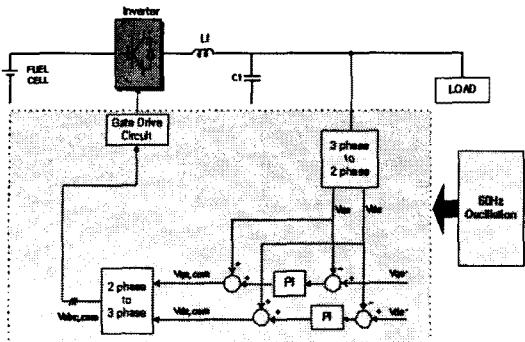


그림 7 독립운전시 제어 블록도

그림 8은 독립운전방식으로 정격 운전할 경우의 출력 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 여기서 부하는 순수 저항 부하를 사용하였다. 그림에서 선간전압과 상전류를 나타내기 때문에 30도의 위상차가 발생한다.

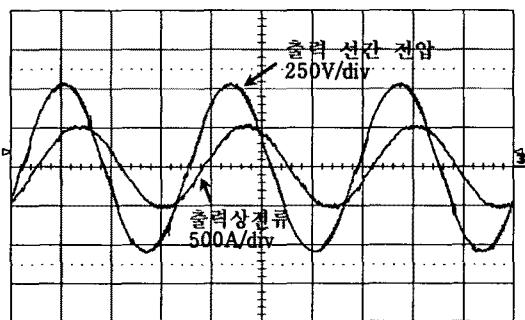


그림 8 독립운전시 출력 전압 및 전류 파형

그림 9는 독립운전시의 전압 THD를 측정한 결과로 전부하에 걸쳐 2%이하로 유지됨을 확인 할 수 있다.

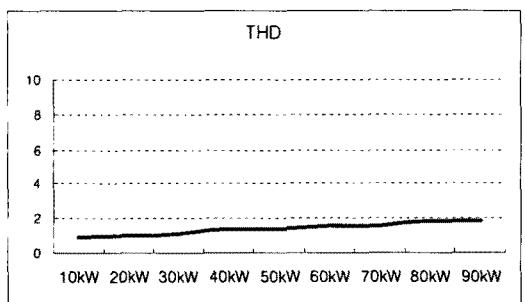


그림 9 독립운전시 전압 THD

그림 10은 계통연계운전 방식에서의 제어 블록도를 나타낸 것으로 이 경우 계통의 전압과 동기를 시키기 위하여 PLL(Phase Locked loop)회로를 포함하여 전력제어를 수행한다. 또한 모든 제어 요소들은 직류성분으로 변환되어 제어가 이루어진다.

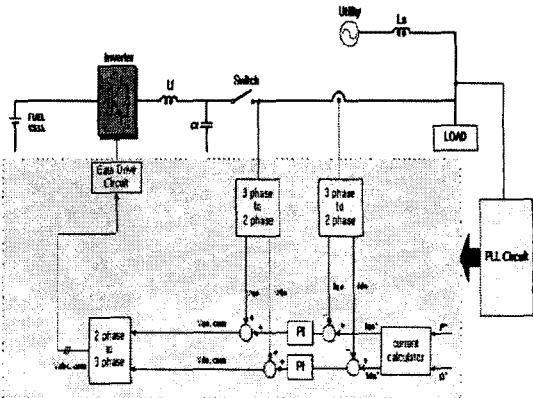


그림 10 연계운전시 제어 블록도

그림 11은 계통연계운전으로 20kW의 출력을 내보냈을 경우의 선간전압과 상전류 파형을 나타낸 것이다. 그림에서 상위에 있는 것이 전압파형으로 눈금당 500V를 나타내며 아래쪽에 있는 것이 전류파형으로 눈금당 50A를 나타낸다. 그림에서와 같이 작은 부하의 경우 전류 THD가 나쁘기 때문에 노이즈가 많이 존재함을 확인 할 수 있다. 그리고 그림 12는 정격 출력시 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 정격 출력에서의 출력전류는 정현파에 가까운 파형임을 확인 할 수 있다.

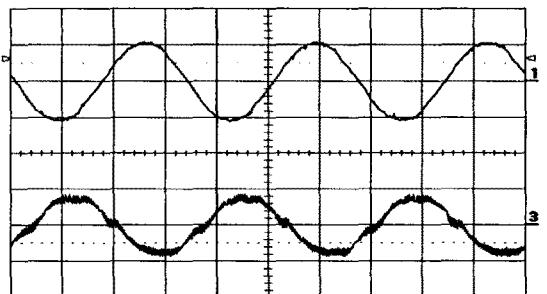


그림 11 계통연계운전시 전압 및 전류파형(20kW출력)

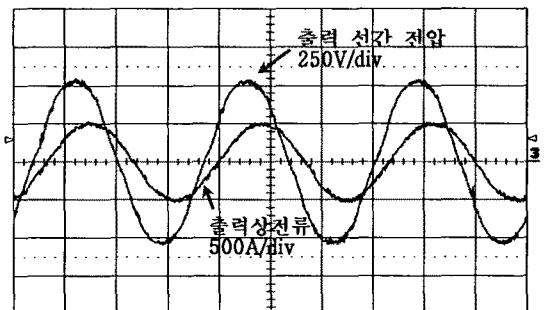


그림 12 계통연계운전시 전압 및 전류파형(100kW출력)

그림 13은 계통연계운전시 전류의 THD를 나타내는 것으로 50kW이상에서는 5%이하로 THD가 감소함을 볼 수 있다.

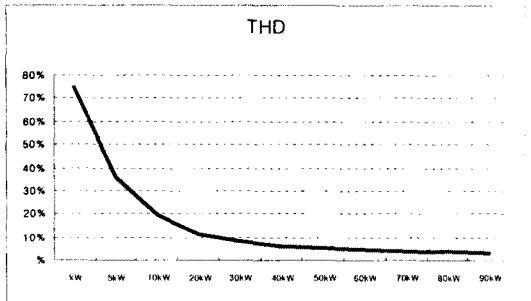


그림 13 계통연계운전시 전류 THD

4. 결 론

본 논문에서는 100kW급 용융탄산염형 연료전지용 전력변환기의 개발 내용과 각 구성품의 운전결과를 설명하였다. 개발된 전력변환장치는 향후 100kW급 MCFC 발전 시스템에 실제 설치되어, 연료전지와 연계 운전될 것이며 성능확인 및 운전결과 검토는 지속적으로 이루어질 것이다. 특히 연료전지와 PCS간의 보호동작 그리고 계통연계 운전시의 보호동작을 위한 검토가 집중적으로 이루어질 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임희천 “100kW급 용융탄산염형 연료전지 밀전시스템 개발” 전기저널 pp.17-27, 7월, 2000.
- [2] 한수빈, “연료전지시스템과 부하관리 응용” 한국전력전자학회, pp.21-25, 6월, 1997.
- [3] Igarashi S, Kuroki K, Hatta 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] 송종환 외. “100kW급 연료전지용 전력변환 기술 개발” 1차년도 (주)효성 중공업연구소 보고서(2002)
- [6] 송종환 외. “100kW급 연료전지용 전력변환 기술 개발” 2차년도 (주)효성 중공업연구소 보고서(2003)
- [6] 송종환 외. “100kW급 연료전지용 전력변환 기술 개발” 3차년도 (주)효성 중공업연구소 보고서(2004)