

100kW급 연료전지용 전력변환기 설계

정홍주, 정준모, 권형남, 송중환, 임희천*, 안교상*
(주)효성 중공업연구소, 한전 전력연구원*

The Design of Grid Connecting Power Converter for 100kW Fuel Cell Systems

HongJu Jung, JoonMo Chung, HyoungNam Kwon, JongHwan Song, HeeCheon Lim*, KyoSang Ahn*
HYOSUNG Corp., KEPRI*

Abstract - 신 발전 방식들 중 하나인 용융탄산염형 연료전지 발전시스템 개발과 관련하여, 연료전지로부터 생성된 전력을 전력계통에 안정되게 변환,주입하기 위한 계통연계형 전력변환기를 설계하고 단위기기별 성능 시험을 수행한 결과이다. 100kW급 전력변환기의 구조 설계에 있어서는, 100kW급 용융탄산염형 연료전지 시스템의 정격 사양 및 스택의 운전 형태에 따라 새로운 시뮬레이션 결과의 검토를 통해 DC/DC 컨버터부, 정류부, 인버터부의 회로 구성을 확정하고, 각 부에 사용될 소자들을 연료전지 출력 및 운전 사양에 맞게 설계하였다.

2. 본 론

2.1 100kW급 연료전지용 전력변환기 구조 설계

연료전지의 출력 사양 및 운전 형태를 고려하여 먼저 전력변환기의 전체 구조를 그림 2.1와 같이 구성하였다. 연료전지로부터의 직류전원을 공급받는 인입반, 저전압의 직류전원을 승압, 상용주파수로 변환하는 직/교류 컨버터 및 인버터반 그리고 변환된 상용주파수의 전원을 계통과 연결하기 위한 변압기반으로 나뉜다.

1. 서 론

본 논문은 대체에너지기술개발사업의 하나로 연구 개발중인 용융탄산염형 연료전지 시스템 개발과 관련하여 한전 전력연구원이 주관기관으로 수행중인 국책과제에 당사가 참여하여 개발중인 연료전지용 계통연계형 전력변환기에 관한 연구 내용이다.

컨버터/인버터 패널은 입력 커패시터 충전을 위한 초기 충전회로부, 노이즈 제거용 입력필터, 저전압을 고전압으로 변환하는 컨버터스택, 컨버터스택 출력용 출력필터, 직류전원을 상용주파수 전원으로 변환하는 인버터부와 인버터 출력 필터로 구성된다. 그리고 전력변환 및 전체 시퀀스 동작을 제어할 제어보드가 설치된다.

100kW급 용융탄산염형 연료전지 발전 시스템의 출력 전력을 안정되게 변화하여 공급하고, 계통과 연계하여 병렬 운전이 가능한 전력변환장치의 개발이 최종 목표가 되며, 주된 내용은 100kW급 전력변환장치의 구조설계와 사용될 소자의 사양을 확정하고 각 단위기기를 제작하여 각 기기별 특성 및 기본적인 제어 동작을 확인하는 것이다.

변압기반은 인버터에서의 출력 전원을 상용전원과 같은 크기의 전원으로 승압하는 기능을 지닌 변압기와 계통접속 스위치 그리고 패널 표시기기 등으로 구성된다.

연료전지용 전력변환기 설계 및 제작, 그리고 단위기기별 성능확인 시험을 통한 주요 연구 내용으로는,

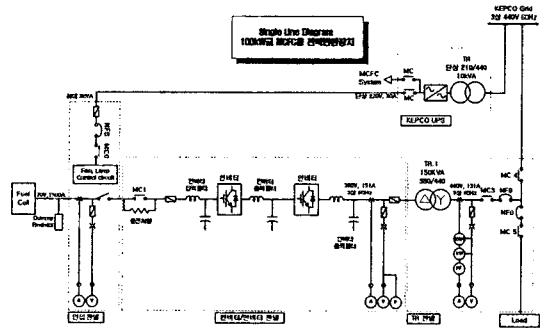


그림 2.1 전력변환기 단선도

▶ 연료전지 스택의 운전 방식을 고려한 시뮬레이션을 통해 컨버터, 인버터, 출력필터, 연계 변압기등으로 구성된 전력변환장치의 전체 구조를 설계하였고,

2.2 전력변환기 단위기기 설계 및 제작

▶ 연료전지의 저전압 출력을 승압시키고 2개의 스택을 병렬 운전 하기 위한 DC/DC 컨버터 개발을 위해, 컨버터 구조를 확정하고 소용량의 Prototype을 제작, 시험을 통해 입출력 전압,전류 특성과 제어 방식을 확인하였으며,

전력변환기의 주요 구성품이 되는 단위기기별 설계 내용 및 제작 사양은 다음과 같다.

▶ 연료전지 출력 사양과 전력변환기의 확정된 구조에 따라, 고주파 변압기, 다이오우드 정류기, 출력 리액터, 인버터 및 출력 필터등의 주요 구성기기들에 대한 사양 확정 및 상세 설계가 진행되었으며,

1) 제어보드는 DSP(TMS320C3x, 40MHz), EPLD(EPL81188AQC208-3)로 구성하였으며, 수행할 프로그램의 주요 기능은 다음과 같다.

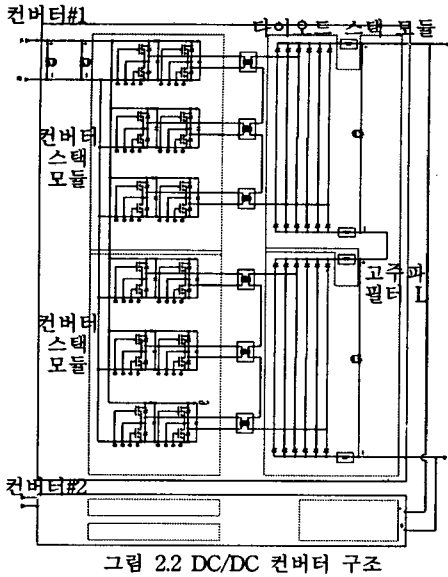
▶ 설계가 완성된 각 단위기기들을 제작하고 시험을 통해 그 특성을 확인하고,

- 환경 초기화
- DC/DC 컨버터의 PWM 및 출력전압 제어
- DC/AC 인버터의 SVPWM 제어
- 독립운전/계통연계운전에 관한 전압,전류제어
- 전체 운전 시퀀스 제어

▶ DC/DC 컨버터의 병렬 운전등 컨버터 및 인버터에 대한 제어 프로그램을 작성, 제어보드를 통한 제어 동작을 소용량 저항 부하에서 확인하였다.

특성시험이 확인된 각 단위기기의 배치 및 총조립을 위한 검토는 현재 진행중에 있다.

2) 컨버터는 연료전지의 대전류 출력특성에 따라 제한적 정격의 소자를 병렬로 구성하여 대용량 시스템을 구성하였고, 그 구조는 그림 2.2와 같다. 3대의 병렬 H-bridge로 이루어진 컨버터 스택 모듈이 두 대로 병렬 운전되는 형태이다. 각 컨버터 스택 #1, #2 모듈의 출력은 고주파 변압기를 거쳐 직렬로 연결되어 다이오드 스택의 입력으로 연결된다.



3) 그 외에 컨버터 스택을 구성하는 고주파 변압기와 고주파 필터 리액터등을 설계,제작 하였는데, 고주파 필터 리액터는 다이오드 스택의 출력 전압/전류의 정격에서 약 8%의 리플전류를 허용하도록 설계되었으며, 100kW급 컨버터에 총 8대가 사용되었다.

4) 인버터 스택은 크게 입력커패시터, IGBT 소자 그리고 방열팬으로 구성된다. 입력커패시터의 초기 충전은 DC/DC 컨버터에서 하게 되는데 별도의 하드웨어가 없이 초기충전 프로그램으로 이루어지는데, 입력이 700Vdc 이고 출력 필터를 통하여 전압은 380V(시간전압)으로 전류는 152A를 출력하는 구조로 구성된다.

5) 필터부에선 인버터의 구형과 출력을 계통으로 공급하기 위한 정현파로 변환하게 되고, 필터를 구성하는 리액터(L)와 커패시터(C)를 다음을 고려하여 설계하였다.

- 고조파 감쇠율에 의한 LC의 결정(fc)
- 리액터(L)에서의 기본파 전압 강하를 5~10%로 선정
- 계통연계 운전에서 전류제어시 제어성 검토
- 이상의 결과로 각 부분 전압,전류 파형 검토(THD등)

100kW MCFC 전력변환장치의 인버터 스위칭 주파수는 5kHz이며, 스위칭 부근에서 기본파의 약 30%~50%의 크기로 고조파가 발생하는데 필터에서 이 고조파 전압을 10%이하로 감소시키는데 초점을 두었다.

2.3 피시폼에 대한 특성 시험 결과

DC/DC 컨버터의 병렬운전 시험에서는 소용량의 부하 시험을 통해 Master-slave 방식으로 current sharing을 실시했을 경우의 실험 결과를 검토하였다.

연료전지 출력은 가변변압기와 다이오드 정류기를 통해 모의된 직류 전원을 사용하였고, 권선저항인 순수 저항부하로 시험하였다.

그림 2.3은 컨버터의 병렬운전 실험을 위한 제어 시퀀스를 나타낸 것으로, 스위치 표시는 프로그램의 모드 변경을 의미한다.

실험이 진행된 제어 시퀀스를 살펴보면, 먼저 입력커

패시터를 충전하는 커패시터 충전모드로 MC와 충전저항을 이용하여 커패시터를 충전하게 되고, ③의 제어스위치만 켜지게 된다. 초기 충전이 끝나게 되면 소프트스타트를 하게 되고 이 시간 동안 V_{ref} 가 0에서 Vdc까지 일정 시간 지연을 두고 상승하게 되며, 이 경우 ②와 ⑥의 제어스위치가 켜진다. 소프트스타트가 끝나면 master 컨버터는 정상상태 동작을 하게 되고 slave 컨버터는 최소 펄스폭으로 스위칭을 실시하며, 이 모드에서는 그림에서 ①과 ⑥의 제어스위치가 켜지게 된다. Master 컨버터가 정상적으로 출력 전압 제어를 하고 있을 때 slave 컨버터의 시작 지령이 내려지면 slave 컨버터의 소프트스타트가 시작 되는데 그림에서 ①과 ⑤의 제어스위치가 동작하는 구간이다. 그리고 소프트스타트가 끝나면 master와 slave컨버터는 PI제어를 하여 master 컨버터는 전압제어를 slave 컨버터는 전류제어를 하게 된다. 이 경우 ①과 ④의 제어스위치가 켜진다.

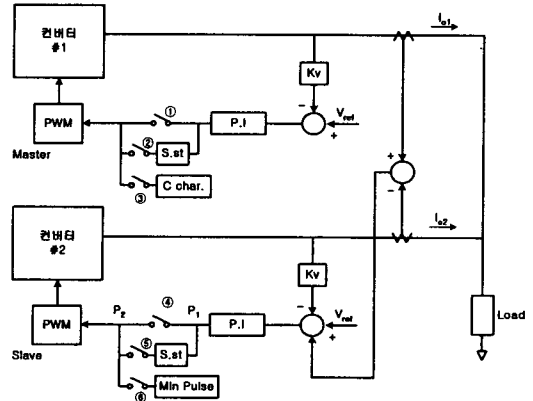


그림 2.3 병렬운전을 위한 제어 시퀀스

위에서 설명한 실험회로와 제어시퀀스로 실시한 실험결과를 살펴보면, 그림 2.4는 master 컨버터는 정상적인 전압제어로 동작하고 slaver 컨버터는 최소 펄스폭으로 스위칭을 하고 있는 시점을 나타낸 실험결과이다. 그리고 그림 2.5는 slave 컨버터가 동작하여 소프트스타트와 정상 상태인 전류제어를 실행 하고 있는 시점을 나타낸 것이다. 이 시점에서 master 컨버터의 전압제어와 slave컨버터의 전류제어를 통한 출력 특성을 확인하였다.

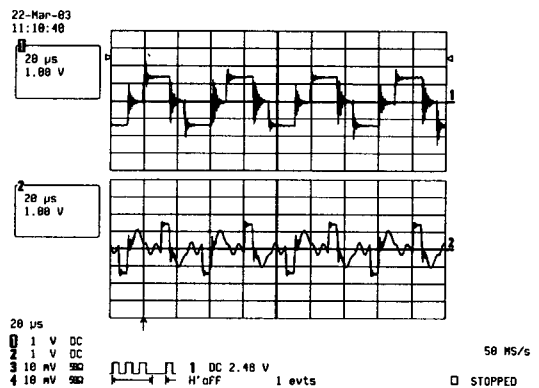


그림 2.4 Master 컨버터의 정상동작 및 slave컨버터 최소 펄스 스위칭시 고주파 변압기의 양단 전압

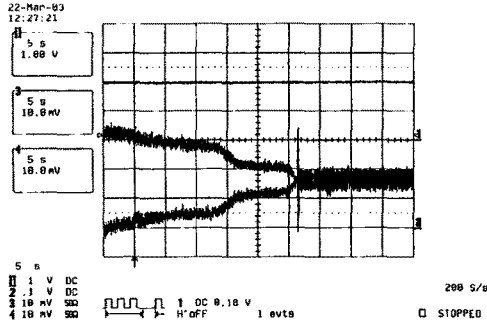


그림 2.5 Master, slave 컨버터의 병렬운전시 컨버터의 출력전압 및 전류

다음은 각 스택들의 정격 부하 시험 결과로, 그림 2.6 는 MOSFET스택 정격전류 통전시의 전류파형을 나타낸 것으로 정격 부하시의 안정성을 확인하였고, 그림 2.7은 전압 정격 확인 실험으로 입력 80Vdc에서 부하를 변경 하면서 MOSFET 소자 양단 전압을 측정한 것으로 소자의 사양 특성에 대해 안정된 크기로 확인되었다.

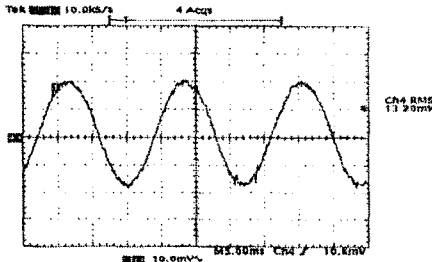


그림 2.6 컨버터의 정격 전류 시험

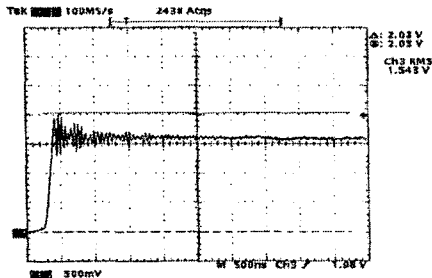


그림 2.7 컨버터 전압 시험시 소자 양단 전압

인버터 실험에서는 인버터스택의 IGBT 스위칭 신호를 측정하여 그 특성을 검토한 후, 리액터(0.3mH) 부하를 사용하였고, 그림 2.8에서와 같이 정격출력전류(152A)와 PWM 파형을 측정, 정상적인 출력을 확인하였다.

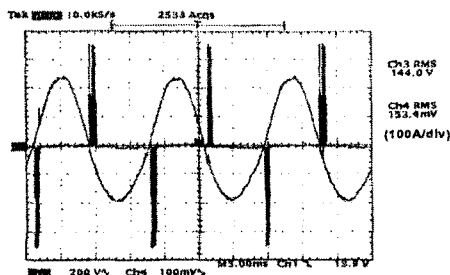


그림 2.11 인버터 정격 출력전류와 PWM 파형

그림 2.9는 과부하 운전 결과를 나타낸 것으로 30초 동안 110%의 과부하율을 적용하였을 경우의 전류파형을 나타낸 것으로 측정된 전류는 168A였으며, 과부하 운전 시에도 안정된 동작을 확인하였다.

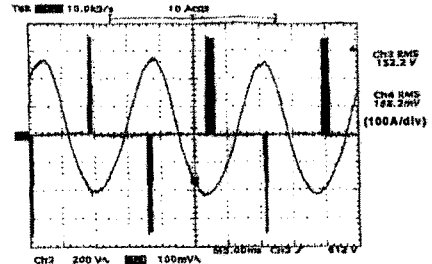


그림 2.9 과부하 운전 결과(110%/30sec)

3. 결 론

본 논문에서는 100kW급 용융탄산염형 연료전지용 전력변환기의 주요 구성품들에 대해, 단일기기별 설계 및 제작 과정에 대한 내용과 그 실험 결과를 나타내었다. 수행된 연구개발 실적에 대한 주요 사항을 크게 요약하면 다음과 같다.

- 연료전지 출력특성 및 용량을 고려한 전력변환기 설계
 - 저전압, 대전류 특성에 적합한 기기사양 및 특성 검토
 - 구성기기의 설계를 위한 시뮬레이션 진행
 - 설계된 구성기기 제작
 - 구성기기의 단일운전 시험
- 제어 알고리즘 검토
 - DC/DC 컨버터의 병렬운전 제어기 검토
 - DC/DC 컨버터의 시뮬레이션 수행
- 프로그램 작성 및 제어기 제작
 - 컨버터와 인버터의 제어에 관한 프로그램 작성
 - 컨버터의 병렬운전 시험을 위한 프로그램 작성
 - 제어기 제작
- 구성기기의 제작 및 시험
 - 검토,설계된 구성기기의 제작, 성능검증시험을 수행하였으며, 그 특성과 결과를 서술하였다.

용융탄산염형 연료전지 발전 시스템에 대한 검토 및 단일기기 설계 및 제작 과정에서의 설계 데이터, 제어 알고리즘, 실험 결과 등은 지속적인 검토가 이루어 질 것이며, 향후 100kW급 전력변환장치의 총조립후 연료전지 시스템과 연계하여 성능확인 시험이 수행될 예정이다.

[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(1단계 25kW)" 1차년도 (주)효성 증공업연구소 보고서(2002)