

100kW급 MCFC용 계통연계형 전력변환기 설계 The Design of Grid Connecting Power Converter for 100kW MCFC Systems

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

1. 서 론

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

100kW급 용융탄산염형 연료전지 발전 시스템의 출력 전력을 안정되게 변화하여 공급하고, 계통과 연계하여 병렬 운전이 가능한 전력변환장치의 개발이 최종 목표가 되며, 주된 내용은 100kW급 전력변환장치의 구조 설계와 사용될 소자의 사양을 확정하고 각 단위기기를 제작하여 각 기기별 특성 및 기본적인 제어 동작을 확인한 내용으로서, 그 주요 연구 내용을 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 연료전지 스택의 운전 방식을 고려한 시뮬레이션을 통해 컨버터, 인버터, 출력필터, 연계 변압기등으로 구성된 전력변환장치의 전체 구조를 설계하였고,
- ▶ 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,
- ▶ 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,
- ▶ 설계가 완성된 각 단위기기들을 제작하고 시험을 통해 그 특성을 확인하고,
- ▶ DC/DC 컨버터의 병렬 운전등 컨버터 및 인버터에 대한 제어 프로그램을 작성, 제어보드를 통한 제어 동작을 소용량 저항 부하에서 확인하였다.

2. 100kW급 연료전지용 전력변환기 구조 설계 및 단위기기 제작

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

컨버터/인버터 패널은 입력 커패시터 충전을 위한 초기 충전회로부, 노이즈 제거용 입력 필터, 저전압을 고전압으로 변환하는 컨버터스택, 컨버터스택 출력용 출력 필터, 직류전원을 상용주파수 전원으로 변환하는 인버터부와 인버터 출력 필터로 구성된다. 그리고 전력변환

및 전체 시퀀스 동작을 제어할 제어보드가 설치된다.

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

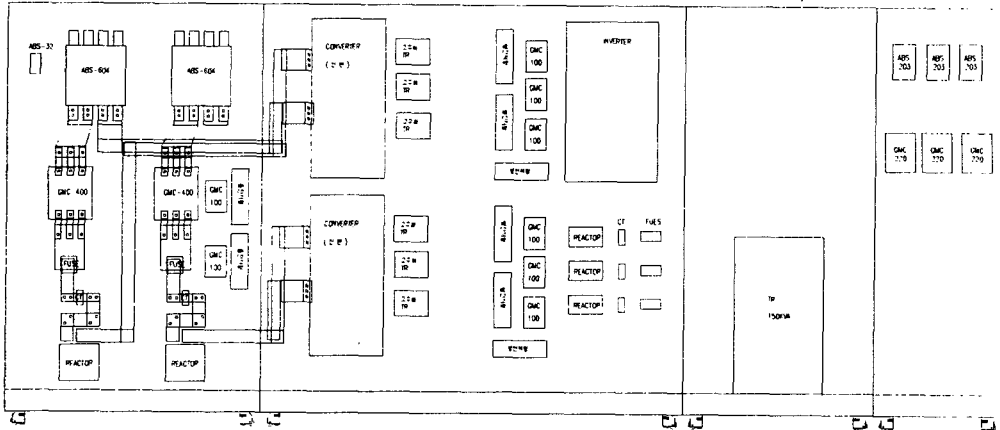


그림 2.1 100kW급 전력변환기 제어패널 구조

컨버터는 연료전지의 대전류 출력특성에 따라 제한적 정격의 소자를 병렬로 구성하여 대용량 시스템을 구성하였고, 그 구조는 3대의 병렬 H-bridge 로 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. 시험방법 및 결과

DC/DC 컨버터의 병렬운전 시험에서는 소용량의 부하시험을 통해 Master-slave 방식으로 current sharing을 실시했을 경우의 실험을 실시하여 결과를 검토하였다.

급변 시험에서는 연료전지를 가변변압기와 다이오드 정류기를 통해 모의된 직류 입력을 사용하였고, 권선저항인 순수 저항부하로 시험하였다.

그림 3.1은 컨버터의 병렬운전 실험장치가 운전 될 제어 시퀀스를 나타낸 것으로 순수한 프로그램의 동작상태를 표현한 것으로, 스위치 표시는 프로그램의 모드가 변경된다는 의미이다.

실험이 진행된 제어 시퀀스를 살펴보면, 먼저 입력커패시터를 충전하는 커패시터 충전모드로 MC와 충전저항을 이용하여 커패시터를 충전하게 되고, ③의 제어스위치만 켜지게 된다. 초기 충전이 끝나게 되면 소프트스타트를 하게 되고 이 시간 동안 Vref가 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 그림 에서 ①과 ⑥의 제어스위치가 켜지게 된다. Master 컨버터가 정상적으로 출력전압제어를 하고 있을 중 slave 컨버터의 시작 지령이 내려지면 slave 컨버터의 소프트스타트가 시작 되는데 그림에서 ①과 ⑤의 제어스위치가 동작하는 구간이다. 그리고 소프트스타스가 끝나면 master와 slave컨버터는 PI제어를 하여 master 컨버터는 전압제어를 slave 컨버터는 전류제어를 하게 된다. 이 경우 ①과 ④의 제어스위치가

켜진다.

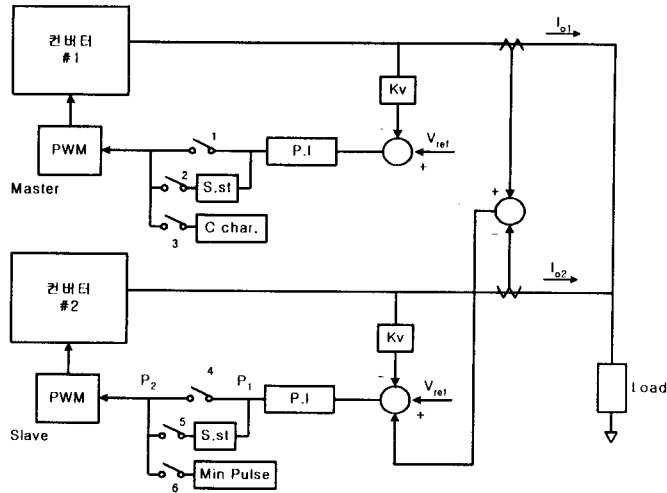


그림 3.1 컨버터 병렬운전을 위한 제어 시퀀스

위에서 설명한 실험회로와 제어시퀀스로 실시한 실험결과를 살펴보면, 그림 3.2은 master 컨버터는 정상적인 전압제어로 동작하고 slaver 컨버터는 최소 펄스폭으로 스위칭을 하고 있는 시점을 나타낸 실험결과이다. 그리고 그림 3.3은 slave 컨버터가 동작하여 소프트스타트와 정상 상태인 전류제어를 실행 하고 있는 시점을 나타낸 것이다. 이 시점에서 master 컨버터의 전압제어와 slave컨버터의 전류 제어를 통한 출력 특성을 확인하였다

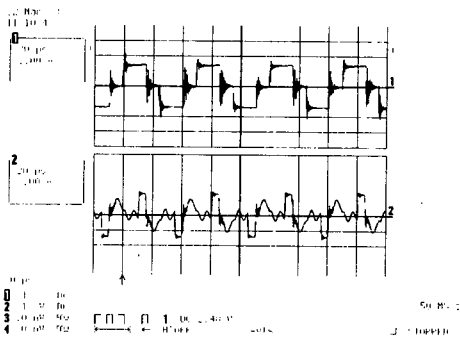


그림 3.2 Master 컨버터의 정상동작 및 slave컨버터 최소 펄스 스위칭시 고주파 변압기의 양단 전압

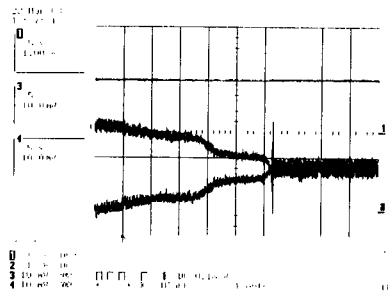


그림 3.3 Master, slave 컨버터 병렬운전시 컨버터의 출력전압 전류

다음은 각 전력소자 스택들의 정격 부하 시험을 통한 특성 시험을 실시하여, MOSFET스택으로 정격전류를 흘렸을 때 정격 부하시의 안정성을 확인하였고, 전압 정격을 확인 하기위한 실험으로 입력을 80Vdc로 하고 부하를 변경하면서 MOSFET 소자 양단 전압을 측정하여 소자의 사양 특성에 대해 안정된 크기를 확인하였다. 인버터 스택의 실험에서는 리액터(0.3mH) 부하를 사용하였으며, 인버

터스택의 IGBT 스위칭 신호를 측정하여 그 특성을 검토한 후, 정격출력전류(152A)와 PWM 파형을 측정하였다.

4. 결론

본 논문에서는 100kW급 용융탄산염형 연료전지용 전력변환기의 주요 구성품들에 대해, 단일기기별 설계 및 제작 과정에 대한 내용과 그 실험 결과를 나타내었고, 특히, 대용량의 연료전지 출력 전력을 변환하기 위한 2대의 DC/DC컨버터 병렬운전에 대한 기존 제어 알고리즘을 검토한 결과를 나타내었으며, 그 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 용융탄산염형 연료전지 출력 특성 및 용량을 고려한 전력변환장치 설계
 - 저전압, 대전류 특성에 적합한 구조 설계 및 시뮬레이션 확인
 - 설계된 구성기기 제작 및 기기별 특성 시험
- 제어 알고리즘 검토
 - DC/DC 컨버터의 병렬운전 제어성 확인
 - DC/DC 컨버터의 시뮬레이션 수행
- 컨버터와 인버터의 제어 프로그램 작성 및 제어기 제작
- 구성기기의 제작 및 시험

용융탄산염형 연료전지 발전 시스템에 대한 검토 및 단일기기의 설계 및 제작 과정에서의 설계 데이터, 시뮬레이션 자료, 제어 알고리즘 그리고 단일기기의 실험 결과 등은 지속적인 검토가 이루어질 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., 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(1단계 25kW)” 1차년도 (주)효성 중공업연구소 보고서(2002)