2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

100kW급 MCFC 시스템용 전력변환장치 개발

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

The Development of Power Conditioner for 100kW MCFC Systems

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

Abstract - 신발전 방식들 중 하나인 용융탄산염형 연료전지 발전시스템 개발과 관련하여, 연료전지로부터 생성된 전력을 전력계통에 안정되게 변환, 주입하기 위한 계통연계형 전력변환기를 개발 하였다. 본 논문에서는 개발된 전력변환기의 구성과 시험 결과에 대해서 기술하고자 한다.

1. 서 론

본 논문은 정부 지원으로 진행되고 있는 100kW급 용융탄산염형 연료전지 시스템 개발 과제와 관련하여, 연료전지 시스템에 사용될 전력 변환 장치 부분의 개발 및 시험에 대한 내용이다. 2001년부터 2004년까지의 총 4차년도 과제 진행을 통해, 연료전지의 상용 기술개발 단계인 100kW급 용융탄산염형 연료전지(이하 MCFC : Molten Carbonate Fuel Cell) 발전 시스템을 위한 전력변환 기술 개발을 목표로 진행하고 있으며, 그 3차년도인 당해연도에는 2차년도에 제작, 시험된 100kW급 전력변환기의 구성품, 즉 DC/DC 컨버터, DC/AC 인버터, 고주파 변압기, 정류기, 고주파 리액터, 출력용 필터, 계통연계용 변압기 등의 단위기기들을 총조립하여 전체 회로를 구성하고 전력변환기 PANEL을 제작, 조립하여 100kW급 전력변환기 시스템을 완성하는 것이 주 개발 내용이 된다.

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 내용에서는, 구축된 시험 회로에서 DC/DC 컨버터, DC/AC 인버터에 대한 기본 제어 시험과 FET Stack의 입력/출력, 고주파 변압기의 입력/출력, Diode Stack의 입력/출력 등에 각 부 특성 시험, 그리고 제어를 위한 전압/전류 센싱 및 제어보드의 제어 동작 확인 시험 등을 수행하였다. 각 부 특성 시험 및 기본 제어 시험 후에는 부하 시험을 수행하여 소용량 부하에서부터 정격 부하 용량까지의 운전을 확인하였으며, 이 과정에서 도출된 하드웨어, 소프트웨어 상의 문제들을 수정, 보완하였다.

2. 100kW급 전력변환기 제작 및 시험 회로 구성

2.1 100kW급 전력변환기 제작

전력변환장치는 입력패널, 제어패널, 변압기패널 그리고 출력패널로 구성되어 있다. 입력패널은 NFB(No Fuse Braker)와 초기 구동시 입력 커패시터에 입력전류를 제한하기 위한 충전용 저항, MC(Magnetic Contactor) 그리고 퓨즈로 구성이 되어 있다. 제어패널은 저전압의 연료전지 출력을 승압하기 위한 DC/DC 컨버터와 승압된 직류전원을 상용전원 주파수로 변환하기 위한 DC/AC 인버터로 구성되어 있다. 제어패널의 DC/DC 컨버터는 직류전원을 교류전원으로 변환하는 FET 스택과 승압을 위한 고주파 변압기 그리고 고전압의 교류전원을 직류전원으로 변환하기위한 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 제어패널에 포함되어 있다. 변압기 패널은 150kVA의 용량을 가지는 변압기로 구성이 되는 패널이다. 계통연계 변압기는 필요 유·무에 따라 제거 될 수도 있다. 출력패널은 변압기 패널로부터 출력되는 전원을 계통이나 부하로 연결하기 위한 절환 스위치인 NFB와 패널 전면에 전압과 전류 상태를 표시하기 위한 data 수집용 CT (current transformer), PT (potential transformer) 그리고 부족전압, 과전압, 과전류를 검출하여 보호동작을 하기 위한 부족전압계전기 (Under Voltage Relay), 과전압계전기 (overvoltage relay), 과전류계전기 (over current relay)로 구성되어 있다.

2.2 100kW급 전력변환기 시험 회로 구성

100kW급 전력변환기의 성능을 확인하기 위하여 그림 1과 같이 시험회로를 구성하였다. 연료전지는 50kW의 분리된 전원을 100kW급 전력변환기로 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.

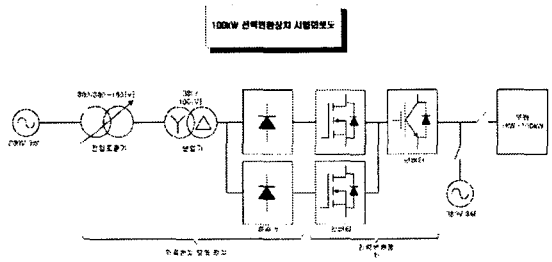

그림1. 100kW급 전력변환장치 시험 회로도

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 DC/DC 컨버터 시험 결과 및 고찰

그림2(a)는 전력변환기의 입력과 고주파 변압기의 1차측 전압을 나타낸 것이다. 전력변환기의 입력은 직류전압으로 64V이지만 변압기의 1차측 전압은 반도체 스위치인 MOSFET의 동작으로 교류로 변환된다. 그림에서 한 눈금의 크기는 각각 50V/div이다. 그림2(b)는 고주파 변압기의 1차측 전압과 전류를 나타낸 것으로 전압 눈금

의 크기는 위와 동일하며 전류의 크기는 눈금당 250A/div이다. 그림2(c)는 고주파 변압기의 1차측 전압과 2차측에 직렬로 구성된 3개의 고주파 변압기의 출력 전압을 나타낸 것이다. 2차측 전압에 해당되는 아래 그림의 한 눈금당 크기는 500V/div이다. 그림2(d)는 고주파 변압기의 2차측 전압과 전류를 나타낸 것이다. 전압은 위와 동일하게 직렬로 구성된 3개의 변압기 출력으로 각 눈금당 500V/div이며 전류는 눈금당 100A/div를 나타낸다. 그림2(e)는 고주파 변압기의 2차측 전압과 고주파 변압기 2차측에 연결되어 있는 다이오드 스택의 출력 전압 파형을 표현한 것으로 그림에서와 같이 교류 전압인 고주파 변압기의 2차측 전압이 다이오드를 통과 하면서 직류로 다시 변환됨을 확인 할 수 있다. 각 눈금당 크기는 500V/div이다. 그림2(f)는 위의 과정을 통하여 출력되는 컨버터의 최종출력과 컨버터의 입력을 나타낸 그림으로 눈금의 크기는 동일하게 100V/div로 입력이 64V에서 출력이 640V로 컨버터를 통하여 10배로 승압되는 현상을 확인 할 수 있다.

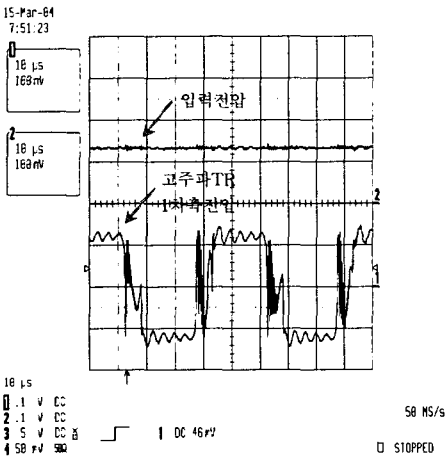

그림2(a) 컨버터 및 고주파변압기 입력전압

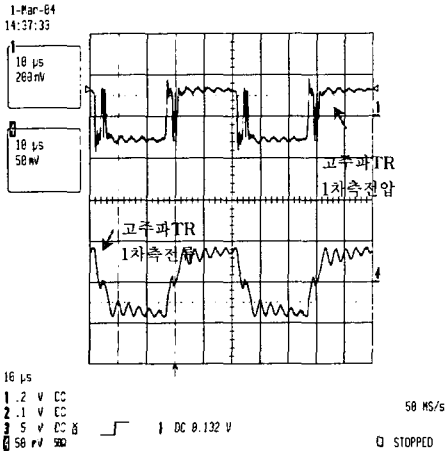

그림2(b) 고주파변압기 입력 전압 및 전류

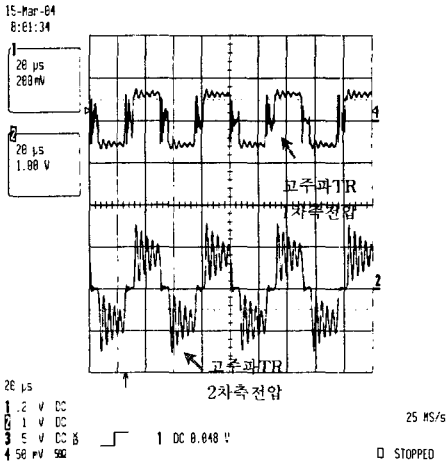

그림2(c) 고주파변압기 입력 및 출력 전압

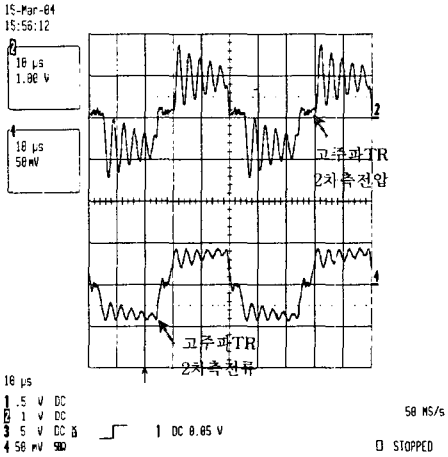

그림2(d) 고주파변압기 출력 전압 및 전류

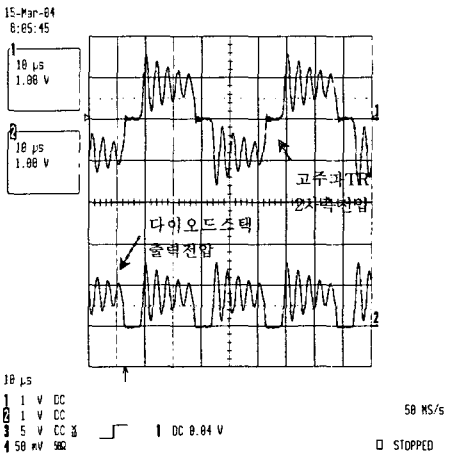

그림2(e) 고주파변압기 및 다이오드스택 출력

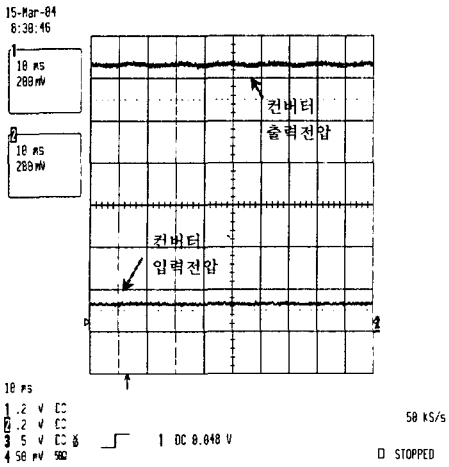

그림2(f) 컨버터 입력 및 출력 전압

그림3은 전력변환기 출력을 1kW에서 50kW까지 단계적으로 상승시켰을 경우 DC/DC 컨버터의 전압은 일정하게 제어됨을 확인한 시험 결과이다. 위의 파형은 640V인 컨버터의 출력전압을 나타낸 것으로 한 눈금의 크기는 250V/div이고 아래 그림은 부하가 변경되었을 경우의 컨버터의 출력전류를 나타낸 것으로 한 눈금의 크기는 20A/div이다. 그림에서와 같이 부하가 변경되어 전류가 변경되었을 경우 순간적인 전압 변동이 있으나 곧 정상상태로 회복되어 일정 전압이 유지되고 있음을 확인 할 수 있다.

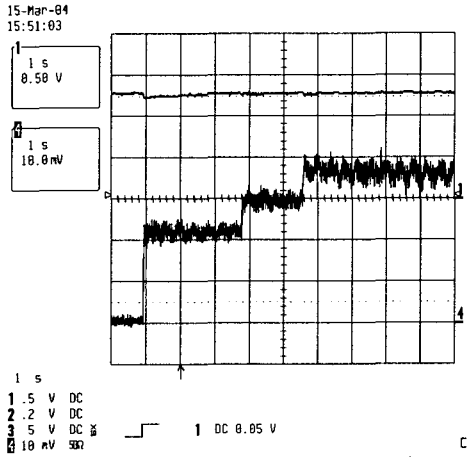

그림3. 부하변경시 컨버터 출력전압과 전류

그림4(a)는 인버터의 출력 선간 전압을 나타낸 시험 파형으로 인버터 출력 필터의 전단과 후단을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 인버터 출력전단 전압은 PWM 파형으로 정현파가 아니지만 필터 후단은 THD가 약 2%로 정현파에 가까운 파형이 됨을 확인 할 수 있다. 그림 4(b)는 15kW로 운전하는 인버터에서 출력하는 선간 전압과 필터 커패시터로 유입되는 전류를 나타낸 것이다. 부하로 유입되는 전류는 인버터에서 출력되는 전류에서 커패시터로 유입전류를 뺀 부분이 되며 그림에서 전류를 표현하는 눈금당의 크기는 20A/div이다. 그리고 그림 4(c)는 앞에서 설명한 15kW에서의 부하로 공급되는 전압과 전류를 나타내는 파형이다. 이 경우 저항부하에서 전류 THD는 1.5%로 측정되었다. 그림4(d)는 50kW에서의 인버터 출력 전압과 전류를 나타낸 것으로 전류에 대한 한 눈금의 크기는 50A/div이다.

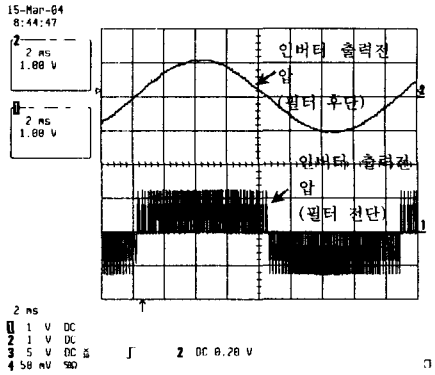

그림4(a) 인버터 출력필터 전/후단 전압 파형

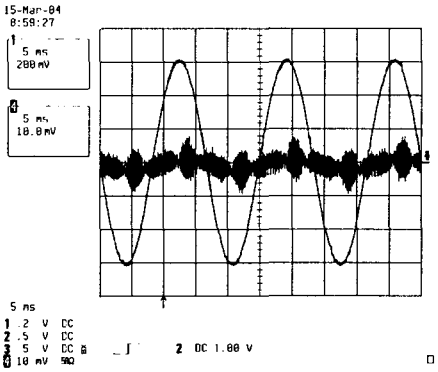

그림4(b) 인버터 출력전압 및 필터 유입전류

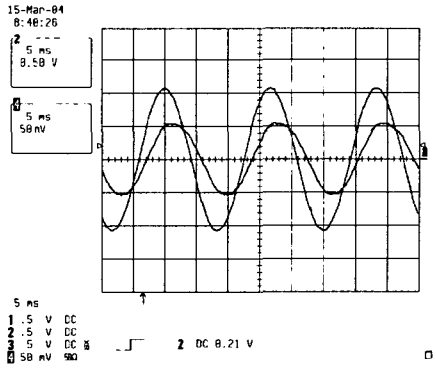

그림4(c) 인버터 출력 전압 및 전류(15kW)

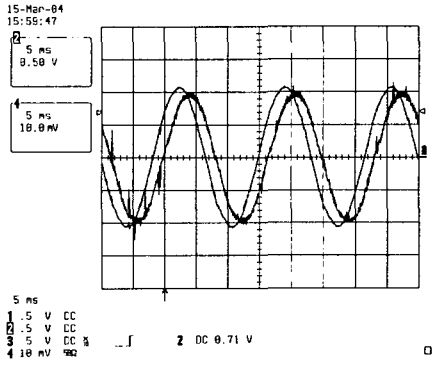

그림4(d) 인버터 출력 전압 및 전류(50kW)

이외에 전력변환기의 부하에 따른 최종 출력 전압의 THD 측정 결과, 전압THD 2%이내로 유지됨을 확인할 수 있었고, 효율 측정 시험에서는 최대 효율 88.3%로 측정되었으며 효율 향상을 위한 검토는 현재도 진행중에 있다.

4. 결 론

100kW급 용융탄산염형 연료전지(MCFC) 발전 시스템을 위한 전력변환장치 개발에 대한 내용으로서, 개발 과정의 주요 사항은 다음과 같다.

· 100kW급 전력변환장치 제작 및 조립
  - 전력변환기 구성요소 설계 및 제작
  - 패널 제작 및 전력벼환장치 총조립
· 100kW급 전력변환장치 성능 확인 시험
  - 구성요소 특성 시험 : FET스택, 고주파변압기, 리액터, IGBT스택, 출력필터 등 구성요소별 특성 확인 시험 및 결과 고찰
  - DC/DC 컨버터의 운전 특성 검토(정격운전, 온도시험)
  - DC/AC 인버터의 운전 특성 검토(독립부하 운전시 출력전압THD 및 효율 확인)

개발된 전력변환장치는 향후 100kW급 MCFC 발전 시스템에 실제 설치되어, 연료전지와 연계 운전될 것이며, 그러한 시운전 과정에서도 성능확인 및 운전결과 검토는 지속적으로 이루어 질 것이며 특히, DC/DC 컨버터의 안정적인 병렬운전 및 계통 연계 운전시의 보호동작을 위한 검토와 효율 향상을 위한 검토가 집중적으로 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., 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)