

계통연계형 연료전지 전력변환기 개발  
Development of a Grid Connected  
Static Power Converter for Fuel Cell Systems

정홍주, 정준모, 송중환  
(주)효성 중공업연구소

### 1. 서론

현재 전력사업 분야에서는 산업화의 발전과 더불어 전력수요의 갑작스런 증가와 전세계적인 지구 온난화 문제를 해결하기 위해서 환경친화적인 신 발전방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 배경하에 국내에서는 신 발전방식 중에서 적용 가능성이 가장 큰 것 중에 하나인 용융탄산염형 연료전지 100kW급 발전시스템 개발이 2001년부터 2004년까지 한전 전력연구원을 중심으로 추진되어 오고 있다[1]. 특히 이러한 발전시스템에서는 연료전지로부터 생성된 전력을 전력계통에 안정하게 주입하기 위한 직/교류 전력변환 장치와 제어 장치 그리고 소프트웨어의 개발이 병행해서 이루어져야 한다. 본고에서는 100kW급 전력변환기 설계의 기초단계로 축소형 전력변환기를 설계 및 제작, 시험에 대한 내용을 간략히 기술하고자 한다.

### 2. 전력변환기의 제어방법

연료전지는 전기적으로 저전압-대전류인 특성을 지니므로 전력변환기의 설계 및 제작 또한 이 특성에 적합한 형태로 구성되어야 하며 연료전지 발전시스템의 계통 접속 운전시 계통에의 영향을 최소화 하고 안정화를 도모할 수 있게 적절한 보호 대책을 고려한 제어기로 구성되어야 한다. 연료전지용 전력변환 장치는 크게 두 가지의 제어 방법으로 아래와 같이 분류되어진다[2][3][4].

#### 가. 전압제어 방법

독립운전시 전력변환장치는 계통과 무관하게 독립적으로 전력을 부하에 공급한다. 이 경우, 계통의 전압과 전력변환장치의 출력 전압이 동상일 필요는 없지만 60Hz의 주파수로 전압을 부하에 공급해야 하며 부하의 변동에도 일정전압을 공급하기 위해서 출력전압을 일정하게 유지하는 전압제어가 필요하다.

다음 그림 1은 전압 제어 블록도를 나타낸 것이다. 독립운전의 경우 크게 시스템부와 제어부 그리고 발전회로부로 나눌 수 있다. 이 경우에는 계통과 무관한 시스템을 구성하며 발전회로부는 인버터 출력 전압을 60Hz로 부하에 공급하는 기능을 하고, 제어부는 전력변환장치의 출력 커패시터의 전압을 일정하게 제어하는 부분이다.

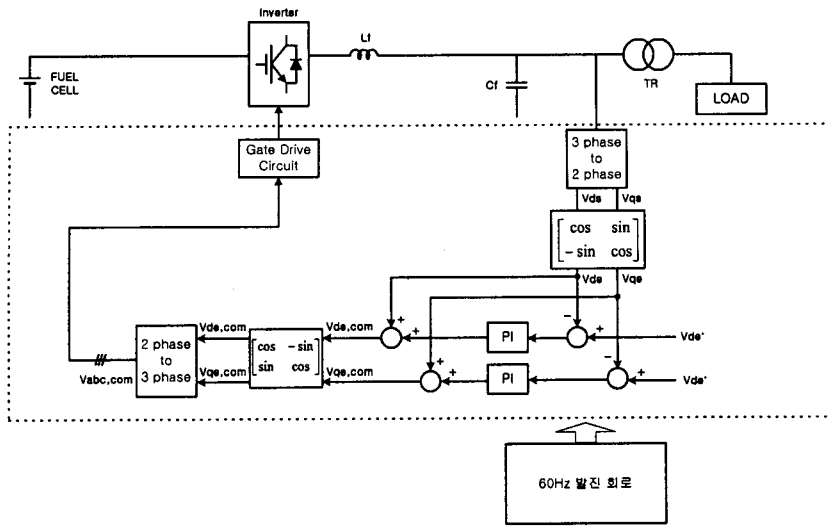


그림 1. 독립운전시 전압제어 블록도

#### 나. 전류제어

분산전원의 전력변환장치가 계통과 연계되어 병렬운전 할 경우에는 전류제어가 적합하다. 연계운전시의 전류 제어 블록도를 다음 그림 2에 나타내었다. 그림과 같이 전류제어에서는 하드웨어인 시스템부와 계통에 단위역률인 일정 전력을 공급할 수 있게 제어하기 위한 제어부 그리고 계통전압의 위상정보와 일치시켜 전력을 주입하기 위해서 계통전원의 위상정보를 갖는 PLL회로부로 나눌 수 있다.

연계운전시에는 독립운전인 경우와 다르게 계통전압의 위상정보를 알고 있어야 한다. 즉, 계통과 분산전원 시스템을 연계할 시점에 분산전원의 발전전압과 계통전압이 동위상이어야 하는데, 이는 분산전원으로의 전력 역류 방지등 분산전원과 부하에의 안전을 위함이다.

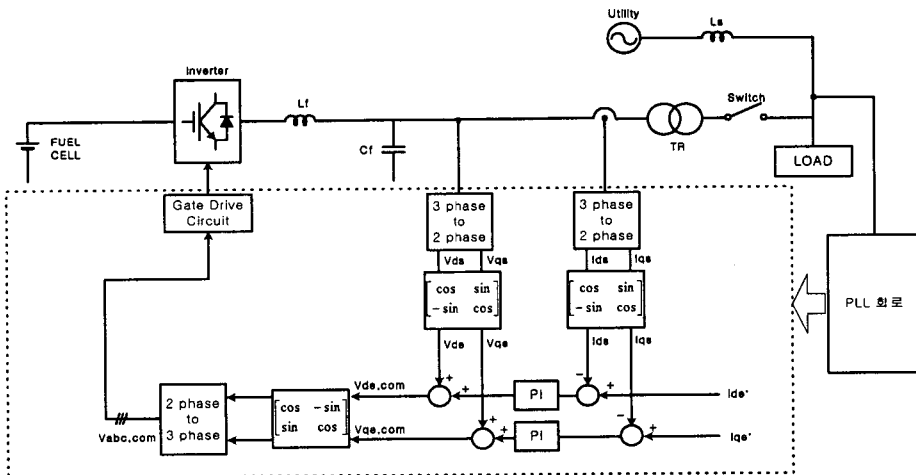


그림 2. 연계운전시 전류제어 블록도

### 3. 전력변환기 제작

전력변환장치는 인버터스택과 출력필터 그리고 계통과의 절연변압기를 포함한다. 또한 연료전지를 모의하기 하기 위해서 다이오드 정류기로 3상 정형과 정류회로를 제작하였다.

주요 부품	규격
1. 제어보드	DSP(TMS320C31)
2. IGBT STACK	70Vac(출력전압)
3. DIODE STACK	100Vdc(출력전압)
4. 계통연계용 승압변압기	60/380[V]
5. 계통접속용 스위치	SSR 380V 60A
6. L,C 필터	0.02/0.04mH(Tap), 600uF

표 1. 전력변환기 주요부품 및 규격

전력변환장치의 운전을 제어할 제어보드는 DSP(TMS320C31)를 장착한 PCB를 제작하여, 운전모드에 따른 출력 전압, 전류 제어 및 전체 운전 시퀀스를 제어하게 된다. 제어보드가 수행할 프로그램의 주요 구성 내용은, 제어보드의 주변 환경 초기화, 운전모드(독립/연계)별 동작 시퀀스 제어, 운전모드별 PLL 알고리즘, 운전모드별 출력 제어 루프 등을 포함하고 있다. 그림 3은 축소형 전력변환장치 PANEL 외부와 내부를 나타낸 것이다.

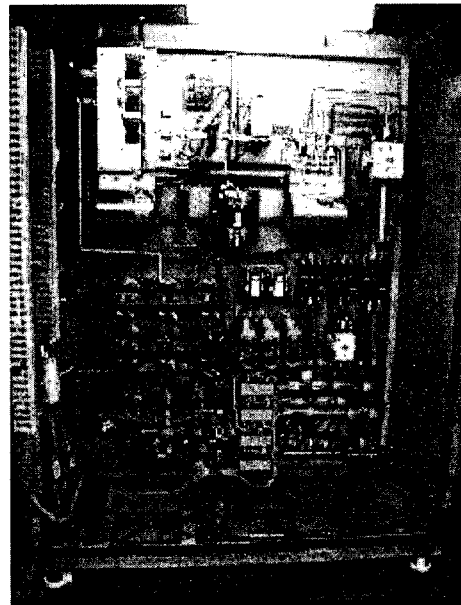
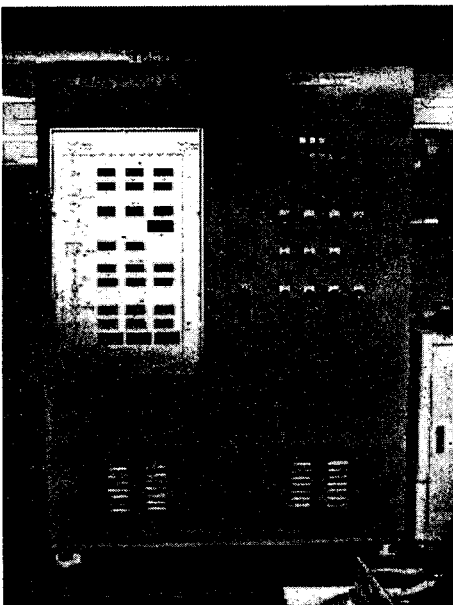


그림 3. 25kW급 전력변환장치 PANEL 외/내부

#### 4. 시험 결과 및 고찰

##### 가. 전압제어시험

전원계통과 무관하게 독립적으로 부하에 전력을 공급하고 있을 경우의 전압제어 실험으로 변환장치 출력의 전압과 전류의 출력 파형을 살펴보았다. 독립운전인 경우를 단상 등가 회로로 아래 그림 4와 같이 표현 할 수 있다.

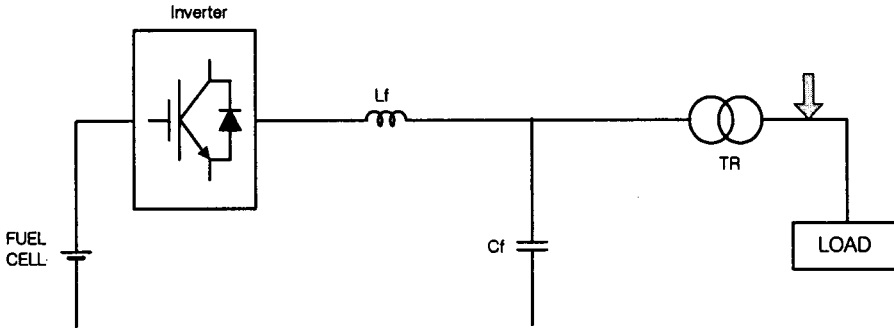


그림 4. 독립운전 단상등가 회로

실험에 사용된 부하는 저항 부하로 부하용량에 해당하는 전력을 인버터로 출력하여 그 결과인 변압기 출력 전압과 전류를 아래 그림 5와 같이 얻을 수 있다. 이경우의 전압 THD는 1.2%로 측정되었다.

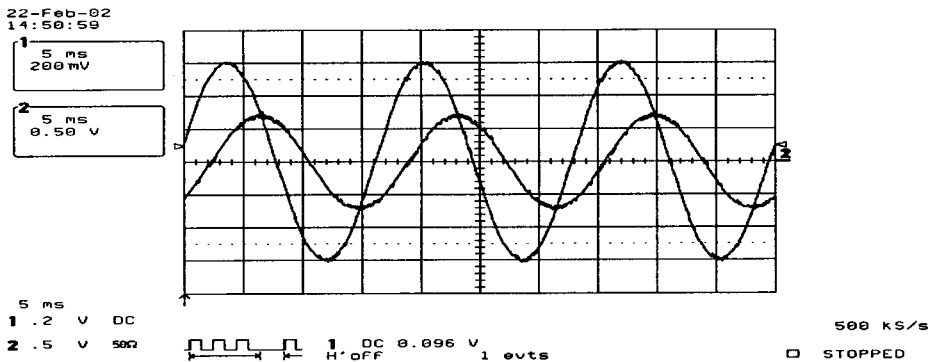


그림 5. 변압기 출력 선간전압 및 선전류

다음 그림 6은 부하변동 시점에서의 부하전압 및 전류를 나타낸 결과이다. 그림에서 리액터 부하를 투입하였을 경우에 전압은 순간적으로 약간의 변동을 거쳐 반주기 이내에서 일정하게 됨을 확인 할 수 있다.

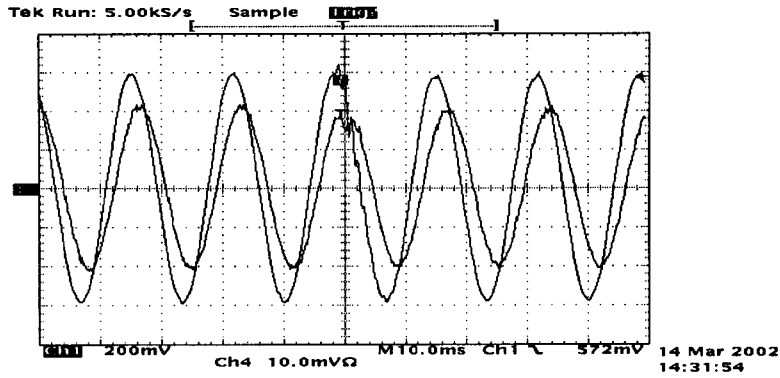


그림 6. 부하변동 시점의 부하전압 및 전류

나. 전류제어시험

아래그림은 전력변환 장치가 계통과 병렬로 운전 할 경우를 단상 등가회로로 나타낸 것으로 전류제어를 행할 경우이다.

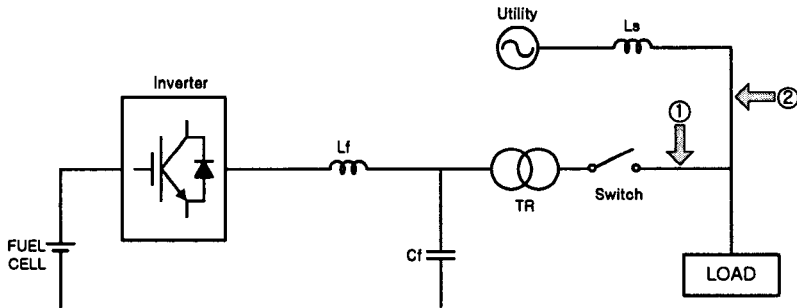


그림 7. 연계운전 단상등가 회로

연계운전 시험에서는 스위치가 꺼진 상태로 운전 중에 스위치를 켜고 인버터에서 전력을 공급할 경우 ①지점과 ②인 지점에서의 전압과 전류를 살펴보았다. 그림 8은 스위치가 꺼진 상태로 계통이 부하로 전력을 공급하고 있는 경우를 나타낸 선간전압과 선전류 파형이다. 위의 파형은 전압을 아래 파형은 전류를 나타낸 것이다.

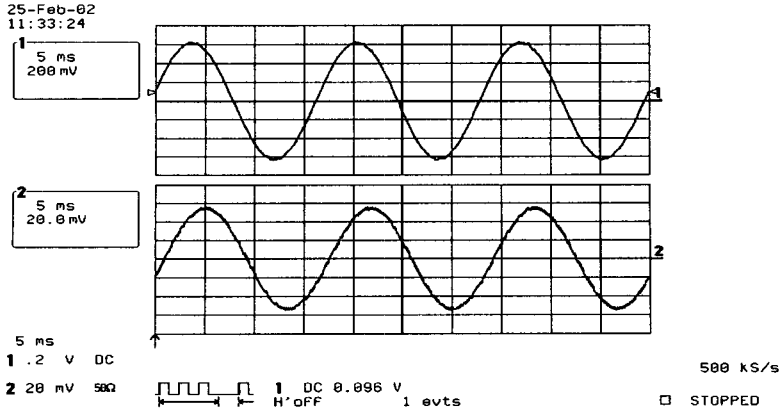


그림 8. 스위치 오프상태의 계통전압 및 전류

그림 9는 스위치가 켜지고 전력변환장치와 계통이 병렬운전을 시작하는 시점에서 전류제어에 의해서 ①지점에서의 전류가 주입되는 파형이며 Softstart로 지령을 주기 때문에 전류가 정상상태로 되기까지 얼마간의 시간지연을 가지고 있음을 볼 수 있다. 그리고 그림 10은 정상상태에서 인버터의 출력 전압과 전류를 나타낸 것이다.

그림 11은 병렬운전시점에서 ②지점인 계통전압과 전류를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 전력변환장치에서 전력이 공급되고 있으므로 계통의 전류가 감소함을 볼 수 있다. 그림 12는 정상상태에서의 계통의 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 전류는 전력변환 장치에서 주입하는 것과 비례적으로 감소하게 되는 현상을 볼 수 있다.

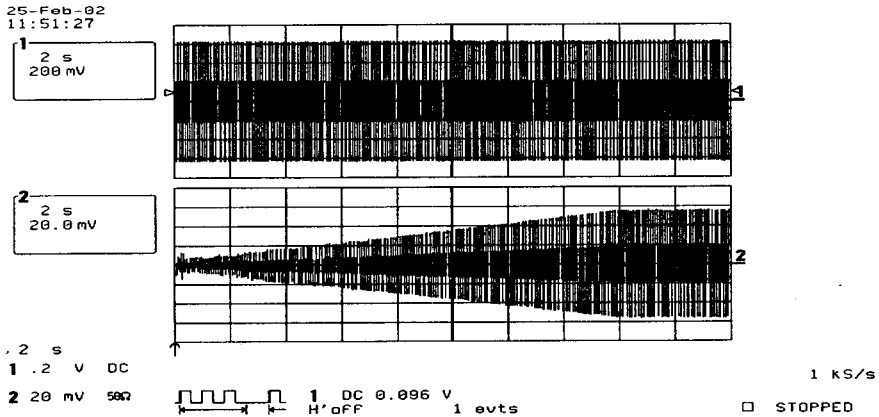


그림 9 과도상태의 인버터 출력 전압 및 전류 파형

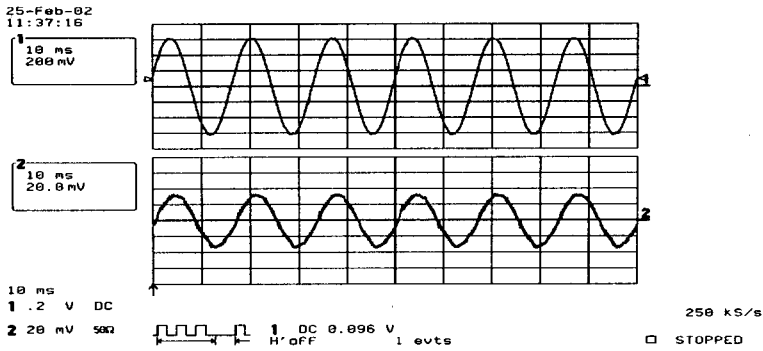


그림 10. 정상상태의 인버터 출력 전압 및 전류 파형

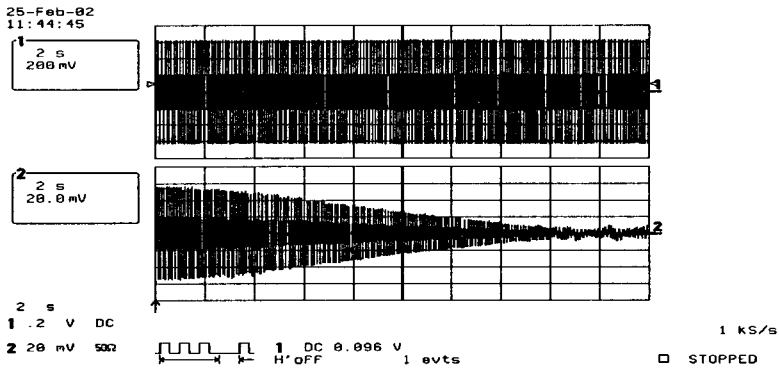


그림 11. 과도상태의 계통 전압 및 전류 파형

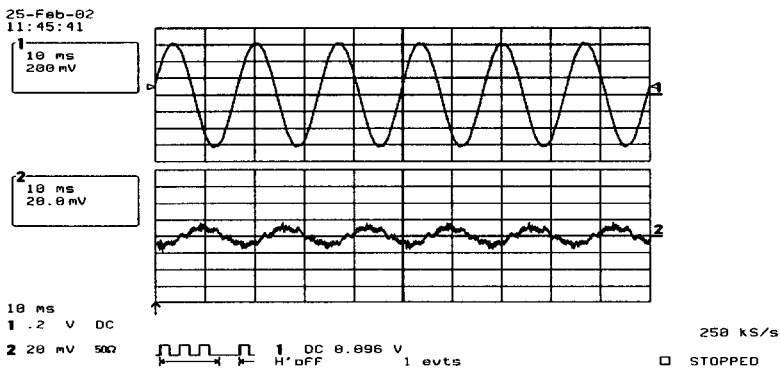


그림 12 정상상태의 계통 전압 및 전류 파형

이와 같이 실험을 통하여 연료전지 등과 같은 분산전원이 계통과 병렬로 운전하여 부하에 전력을 공급하면 분산전원이 공급하는 전력만큼을 계통이 부하에 공급하는 전력은 감소하게 됨을 알 수 있었으며 이 경우에도 부하에는 일정한 전력이 공급된다. 즉, 계통에 분산전원이 병렬로 운전하면 계통이 부담하는 전력은 분산전원이 공급하는 만큼 덜게 됨을 실험을 통해 확인 할 수 있다.

## 5. 결론

MCFC 발전시스템의 특성에 적합한 전력변환기술을 개발하려는 목표를 위해서, 연료전지용 전력변환장치의 설계 및 계통접속시 계통영향 평가를 위한 축소형 모델을 설계 및 제작하고 실험으로 연료전지용 전력변환장치에 대한 운전특성을 살펴보았다. 향후 MCFC 발전시스템에 대한 검토 및 축소형 전력변환장치 설계 및 제작 과정에서의 설계 데이터, 시뮬레이션 자료, 제어 알고리즘 등은 지속적인 검토와 수정을 거쳐, 향후 100kW급 전력변환장치의 설계 및 제작 과정에 반영 될 것이며 특히 계통연계운용상 예상되는 중요한 요소인 고립운전 방지나 보호협조등은 지속적인 연구가 진행되어 100kW급 전력변환장치 구성을 위한 각 단위기기별 설계 및 제작을 완료하고 성능확인 시험을 수행할 예정이다.

## 참고 문헌

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)