

600kW급 용융탄산염 연료전지 발전시스템용 EBOP 제어시스템

황태식, 정우택, 양병훈, 김광섭, 권병기, 최창호
포스콘 기술연구소

Control System of 600kW EBOP for Molten Carbonate Fuel Cell Generation System

Tai-Sik Hwang, Woo-Taek Joung, Byung-Hoon Yang, Kwang-Seob Kim, Byung-Ki Kwon, Chang-Ho Choi
POSCON Coporation R&D Center

ABSTRACT

An electrical balance of plant(EBOP) of a 600kW molten carbonate fuelcell (MCFC) has to transit from grid-connected(GC) mode to grid-independent(GI) mode when a grid is in a fault conditions. A minimum transition time is limited by four cycle for a 600kW MCFC to ride through a grid fault. In this paper, we propose a control algorithm of a 600kW EBOP for a MCFC system. The EBOP has three operation modes, i.e., GC mode, GI mode, and grid-synchronized(GS) mode. The EBOP controls output currents in a GC mode and regulates output voltages in GI or GS mode. GS mode is defined as an interface between GC mode and GI mode to make a mode transition smooth, i.e., limitation of inrush currents, regulation of output voltages within ANSI standard. Simulations and experiments carried out to verify the effectiveness of the proposed control algorithm.

1. 서 론

최근 고유가로 인해 미래 에너지를 안정적으로 확보하는 문제나, 이산화탄소 배출량 증가에 따른 지구 온난화 문제가 가시화됨에 따라 신재생 에너지의 중요도에 대한 인식이 더욱 강해지고 있다. 따라서, 미국 등 선진국을 중심으로 연료전지 발전, 태양광 발전, 풍력 발전, 천연가스를 이용한 마이크로 가스터빈 등과 같은 신재생 에너지를 이용한 분산형 전원 기술개발이 급속히 추진되고 있다. 특히 미국의 "수소 경제화 선언" 및 국내의 "수소 경제사회의 비전" 등에서 볼 수 있듯이 수소 및 연료전지를 이용한 신재생 에너지 시스템이 주목을 받고 있으며, 이에 포스코 그룹에서도 신사업 중의 하나로 발전용 연료전지 사업을 선정하여 FCE(미국)사로부터 250KW 발전용 연료전지 시스템을 수입하여 성능 평가를 실시하고 있으며 연료전지 사업화를 실행하고 있다. 포항 RIST, 광주 조선대 병원, 탄천 하수처리장, 분당 열병합 발전소등 4곳에 설치되어 운전 중이며, 사업의 활성화를 위해서는 국산화 개발이 절실히 요구되고 있다.

연료전지 시스템은 크게 3 부분으로 연료전지 스택, MBOP, EBOP으로 구성되어 있다. EBOP 시스템은 연료전지 스택에서 생산한 직류전원을 한전과 같은 계통전원에 연결하는 인터페이

스 시스템으로 발전용 연료전지 시스템의 성능을 평가하는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 즉, 한전과 같은 발전 사업장에 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 다양한 보호기능과 계통연계를 위한 요건들을 충족시켜야 한다. 이러한 분산형 전원이 전력계통에 다수 연결될 것으로 예상되어지기 때문에, 전력계통에 양질의 전력을 공급하기 위해서 적용되는 다양한 국제 규격이 만들어지고 있다. 대표적으로 IEEE Standard 1547과 UL-1741이 있고, 한전에서도 이러한 국제규격을 기준으로 계통 연계기준을 적용하고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 EBOP 시스템은 계통과 연계하는 기능을 하기 때문에 전력품질에 대한 엄격한 요구사항을 만족해야 하며 시스템이나 관리자의 안전을 위한 보호기능도 필요로 한다. 계통에 주입하는 전류나 부하에 공급하는 전압은 THD가 5% 미만이어야 하며, 전력 시스템이나 관리자의 안전을 위해 계통이 차단된 상태를 검출하고 빠른 운전모드 전환이 중요한 기술적 요구사항이다. 또한 발전 시스템에서 전력변환 효율은 전체 시스템의 효율에도 영향을 주므로 매우 중요한 의미를 가진다.

포스콘 기술연구소는 전력변환 시스템에 대한 지속적인 연구개발을 수행해 왔으며 다양한 현장에 제품을 공급하고 있다. MW급의 인버터, 컨버터 시스템, 전원계통의 고조파를 보상하는 APF(Active Power Filter), 부하에 정현파 전원을 공급하는 무정전 전원장치(Uninterruptible Power Supply)등을 개발하여 적용한 실적이 있다. 이를 통해 기술연구소는 EBOP 시스템에 대한 기반기술과 응용기술을 다수 확보하고 있어 대용량 연료전지용 EBOP 시스템을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 발전용 연료전지 시스템의 구성

발전용 연료전지 시스템은 수소와 산소를 공급받아 직류전기와 열로 변화시키는 연료전지 스택, 연료전지 스택에 연료와 공기를 공급해주는 MBOP(Mechanical Balance Of Plant), 연료전지의 출력을 계통에 연계시키는 EBOP(Electrical Balance Of Plant)로 구성된다. 그림1에 연료전지 시스템의 외형도를 나타내었으며, 그 구성도는 그림2와 같다. 연료전지용 EBOP 시스템(EBOP)은 전력변환부, 계통연계부, 제어부 등으로 구성되어 있다. 전력변환부는 연료전지 시스템의 출력과 계통을 연계하기 위해 연료전지의 출력인 직류전압을 교류전압으로 변환한다. 계통연계부는 전력계통의 상태를 감시하고 사고 발생시 계통으로부터 연료전지 시스템을 분리시키는 역할을 수행한다.

제어부는 유효전력 및 무효전력을 제어하거나 시스템을 보호하는 역할을 수행한다.

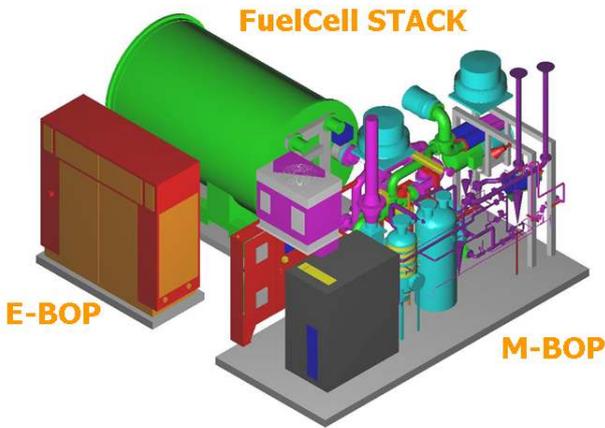


그림 1 발전용 연료전지(MCFC) 시스템 외형도
Fig. 1 A simple power transmission system with thyristor controlled shunt compensator

2.2 발전용 연료전지 시스템의 EBOP 제어시스템

EBOP의 제어모드는 계통연계모드(grid-connected mode), 계통동기화모드(grid-synchronized mode), 독립운전모드(grid-independent mode)로 구성된다. EBOP는 계통연계모드에서는 계통으로, 독립운전모드에서는 특별부하로 출력전력을 공급한다. 계통동기화 모드는 독립운전모드와 계통연계모드 사이 및 EBOP 최초 구동 시에 제어모드 전환을 위해서 동작한다. 제안하는 EBOP의 제어 알고리즘은 계통연계 모드에선 출력 전류를 제어하고 독립운전모드 및 계통동기화모드에서는 출력 전압을 제어한다.

MCFC 시스템은 최초 구동하기위해서 외부에서 전력을 공급해주어야만 한다. 그리고 MCFC가 발전을 시작하면 EBOP로부터 공급받는다. 계통에서 사고가 발생하면 EBOP는 가능한 빠르게 계통을 차단하고 MCFC 시스템의 자체 구동전력을 공급하기 위해 계통연계모드에서 독립운전모드로 전환해야 한다. 만약 MCFC가 계통 사고에 의해 구동전력 공급을 중단시키면 연료전지 수명을 단축시킨다. 그래서 계통 사고에 의한 운전모드 전환은 최대한 빨리 해야한다.

그림 2에서 EBOP의 제어블록도를 나타내었다. 계통연계 모드에서는 연료전지의 DC전류와 무효전력제어를 위해 전력제어, 계통으로 전류를 흘리기 위한 전류제어, 출력 필터의 공진 억제제를 위한 필터제어가 수행된다. 독립운전 모드는 부하의 변동에도 출력전압을 ANSI 범위내에서 제어하기 위해 전압제어 및 필터제어를 수행한다. 독립운전모드에서 계통연계모드로 전환하기 위해서는 계통동기화모드에서 위상각 동기화 및 전압제어를 수행하여 계통전압의 크기와 위상각 및 주파수를 부드럽게 동기화시키게 된다. 계통과 EBOP 간의 차단기의 동작시간은 수 십ms 정도 소요되므로 운전모드 전환시 돌입전류를 막기위해 차단기의 동작 접점상태와 출력전류의 크기 이용하여 운전모드 전환이 부드럽게 이루어 질 수 있도록 하였다. 또한, 계통연계모드에서 독립운전모드로 빠르게 전환을 수행할 수 있다.

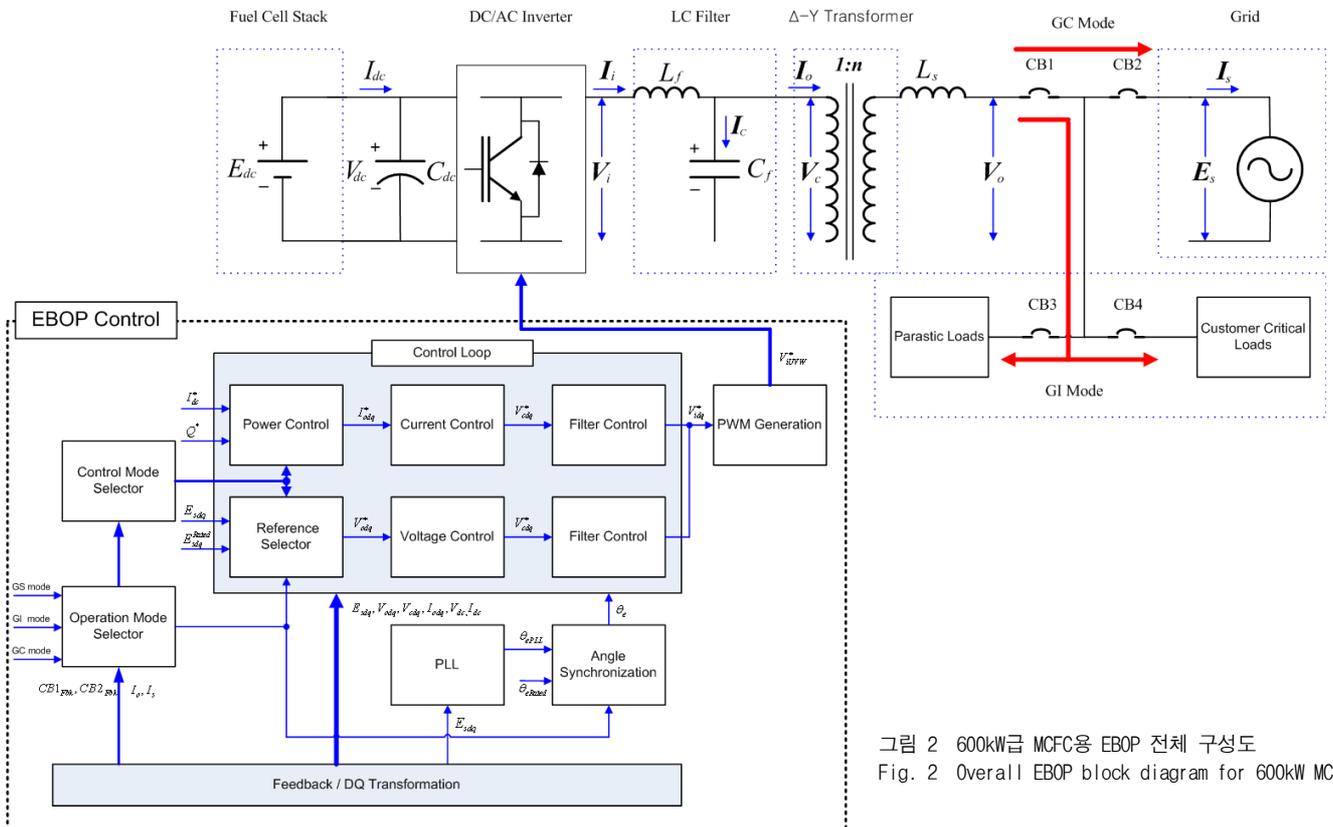
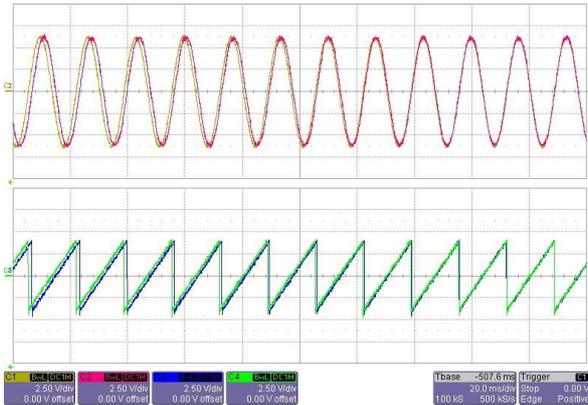


그림 2 600kW급 MCFC용 EBOP 전체 구성도
Fig. 2 Overall EBOP block diagram for 600kW MCFC

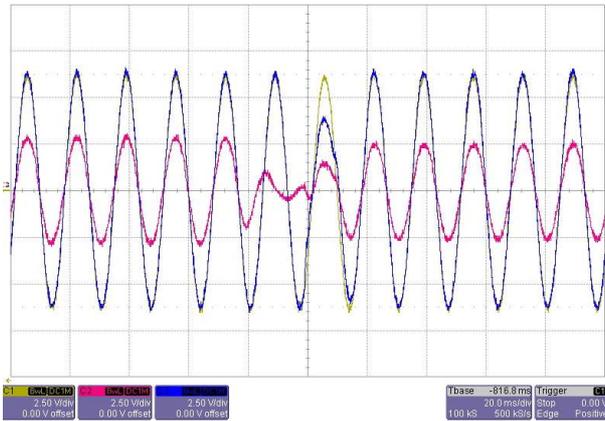
3. 실험결과

본 논문에서 제안하는 EBOP 제어알고리즘의 성능검증을 위해 1 실험을 수행하였다. 연료전지 모의 전원장치는 PWM 컨버터를 이용하였다. 계통 출력 선간전압은 380V이며 DC 링크 전압은 620V이다. 독립운전모드를 위한 특별부하는 저항부하를 사용했다. 그림3은 계통동기화모드에서 전원의 크기와 위상각을 나타내었다. 실험에서 보듯이 계통동기화가 부드럽게 수행됨을 알 수 있다.



C1 : 계통 U상 전압 (100[V/div]), C2 : 출력 U상 전압 (100[V/div])
C3 : 계통 위상각(2π [V/div]), C4 : 동기화 위상각(2π [V/div])
그림3 계통동기화모드에서 시험 파형

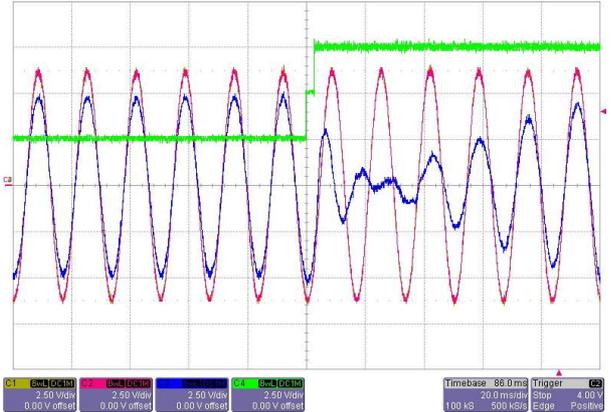
그림4는 계통연계모드에서 독립운전모드 전환과정을 나타냈다. 계통연계모드에서 전류제어를 수행하다가 독립운전모드에서 전압제어로 넘어가면서 출력전압의 크기는 약 1사이클 이내로 회복함을 알 수 있다.



C1 : 계통 U상 전압 (100[V/div]), C2 : 출력 U상 전압 (100[V/div])
C3 : 출력 U상 전류 (10[A/div])
그림4 계통연계모드에서 독립운전모드 전환시 시험 파형

그림5는 계통동기화모드에서 계통연계모드로 전환하는 과정을 나타냈다. 이때 계통동기화모드가 수행되기 이전에 독립운전모드로 전압제어를 수행하다가 계통연계모드로 전환하기위해 계통동기화모드가 이루어진다.

여기서 4번 채널은 운전모드 상태를 나타낸다. 독립운전모드는 0, 계통동기화모드는 1, 계통연계모드는 2,3이다.



C1 : 계통 U상 전압 (100[V/div]), C2 : 출력 U상 전압 (100[V/div])
C3 : 출력 U상 전류 (10[A/div]) C4 : 운전모드(1[V/div])
그림5 계통동기화모드에서 계통연계모드 전환시 시험 파형

4. 결 론

최근 고유가와 지구 온난화등으로 환경에 대한 관심과 신재생에너지에 대한 수요가 날로 증가하고 있다. 수소와 산소로부터 전기와 열을 만들어내는 연료전지는 오염물질 배출이 거의 없는 친환경 발전시스템으로써, 미래의 주요 에너지원으로 주목받고 있다.

포스코 그룹에서는 미국 FCE사와 협력하여 세계 최초로 대용량 발전용 연료전지 시스템을 국내에 공급하기로하고 국산화에 박차를 가하고 있는 중이다. 포스코에서는 600kW급 연료전지용 EBOP 시스템을 자체 개발하여 국산화하고 있다.

본 논문에서는 600kW급 MCFC 발전시스템을 위한 EBOP 제어기법을 소개하였다. 실험결과는 계통연계모드, 계통동기화모드, 독립운전모드에서 부드럽게 운전모드 전환이 이루어짐을 알 수 있다. 특히, 독립운전모드로 전환시 매우 빠르게 출력전압이 회복됨을 알 수 있다.

향후, MW급의 발전용 연료전지 시스템을 개발하여 단기적으로는 국내의 에너지 수요를 분담하여 에너지원을 안정적으로 확보할 수 있도록 하고, 장기적으로는 이산화탄소 배출량 증가에 따른 지구 온난화 문제를 해결하는데 크게 기여하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] J.P. Lyons and V. Vlatkovic, "Power Electronics and Alternative Energy Generation", Proc. Of PESC'04, Aachen, Germany, pp.16-19, 2004.
- [2] F. Blaabjerg and R. Teodorescu, M. Liserre, Adrian V. Timbus, "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems", IEEE Trans. On Industrial Electronics.vol.53, no.5.2006.
- [3] Timbus, A. Liserre, M., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., "Synchronization Methods for Three Phase Distributed Power Generation Systems. An Overview and Evaluation", Proc. of PESC '05. pp.2474-2481, 2005.