

# 발전용 연료전지시스템용 PCS 개발 사례

김 광 섭

(포스콘 기술연구소 선임연구원)

## 1. 서론

최근 고유가로 인해 미래 에너지원의 안정적 확보, 지구 환경문제, 전력수요 증대에 대한 대응이 절실히 요구되고 있다. 연료전지는 이러한 환경문제와 에너지문제를 동시에 해결해 줄 미래기술로서 선진국을 중심으로 연구개발투자가 집중되고 있는 분야로서 연료전지의 실용화는 그 자체로 에너지, 전력, 발전설비, 자동차를 포함한 동력기관 등의 산업에 막대한 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 이러한 연료전지 시스템은 크게 3 부분으로 구성되어 있는데, 우선 수소와 공기를 이용하여 전기화학 반응을 일으켜 전기, 열, 물을 발생시키는 연료전지 스택부(Fuelcell Stack), 연료전지 스택부에 수소와 공기를 공급해주고, 화학반응에서 생긴 열을 회수하여 활용하기 위한 MBOP부(Mechanical Balance of Plant), 그리고 이렇게 생성된 직류전원을 우리가 사용하고 있는 교류전원의 형태로 변환하는 EBOP부(Electrical Balance of Plant)로 구성되어 있다. 그림 1에 3MW급 연료전지 발전시스템 구성도를 나타내었다.

EBOP는 일반적으로 PCS(Power Conditioning System)으로 불리며, 신재생에너지원을 계통에 연계하기 위한 전력변환장치의 일종이다. 대부분의 신재생에너지원은 기존 전력시스템에 직접 연계할 수 없기 때문에 반드시 전력변환장치인 PCS를 사용해야 한다. 따라서 PCS는 계통연계를 위한 다양한 제어 및 보호기술과 함께 연료전지, 태양광 모듈, 풍력발전기 등 에너지원에 대한 요구사항을 동시에 만족시켜야 한다. 계통연계와 안전성을 위한 요구사항을 명시한 국제규격은 IEEE std. 1547이나 UL1741 등이 있다.

## 2. 연료전지용 PCS 개발 사례

포스콘 그룹에서는 연료전지 사업을 미래 신성장 동력으로 추진하기 위해 그룹사들의 역량을 결집하고, FCE사와 협력하여 관련 기술인수 및 개발을 함께 진행하고 있다. 연료전지 스택에 대한 기술개발 및 차세대 연료전지 모듈 개발은 포항 산업과학연구원, 세계 최초로 대용량 연료전지스택의 상용화에 성공한 미국 FCE사와 협력하여 스택기술 인수 및 연료전지 사업 수행은 포스코파워, BOP(Balance of plant) 공급사업은 포스콘이 수행하고 있다.

포스콘은 자체 기술을 바탕으로 2007년부터 연료전지용 PCS 개발을 단계적으로 수행하고 있으며, 2008년 600kW

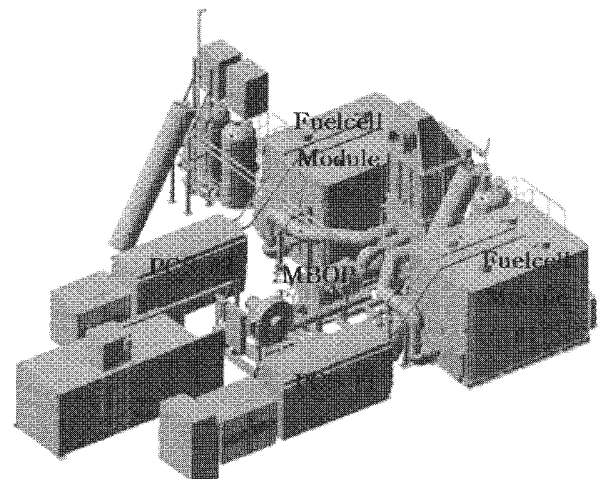


그림 1 연료전지 발전시스템 구성도

급 계통연계형 PCS 시제품을 개발하여 포항 연료전지발전소에 적용하는 실증시험을 수행하였다. 이를 통해 국제규격에 부합하는 계통연계 및 제어기술과 단위모듈 설계기술을 보유하게 되었다. 그림 2는 포항에 있는 연료전지 발전소의 전경이며, FCE사(미국)로부터 연료전지 스택을 공급받고 BOP는 기술인수 및 자체개발 제품을 적용하였다.

이러한 연료전지 발전시스템은 매우 고가로 지속적인 기술 개발을 통해 경제성을 확보하지 않으면 시장에서 경쟁하기 힘든 상황이다. 가격저감을 요구하는 시장에 맞춰 발전용 연료전지시스템은 대형화하는 추세에 있다. 포스콘은 2008년부터 2009년까지 1단계 시제품을 통해 얻은 기술을 바탕으로 MW급 PCS 제품개발을 진행하였다. 그림 3은 3MW급 연료전지용 PCS 제품으로 1.5MW PCU가 병렬로 구성되어

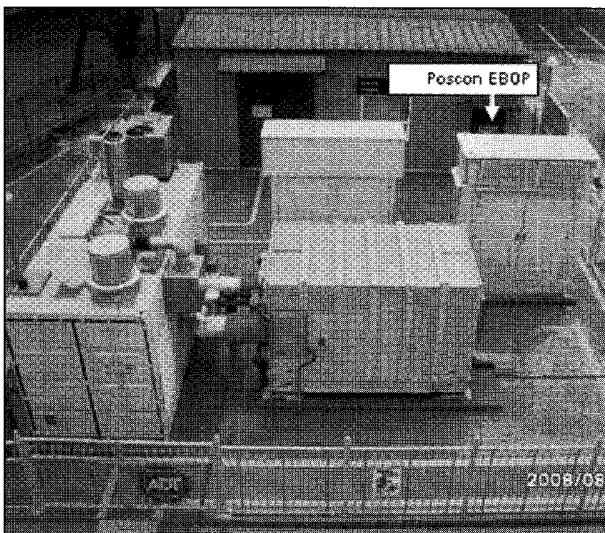


그림 2 연료전지 발전소

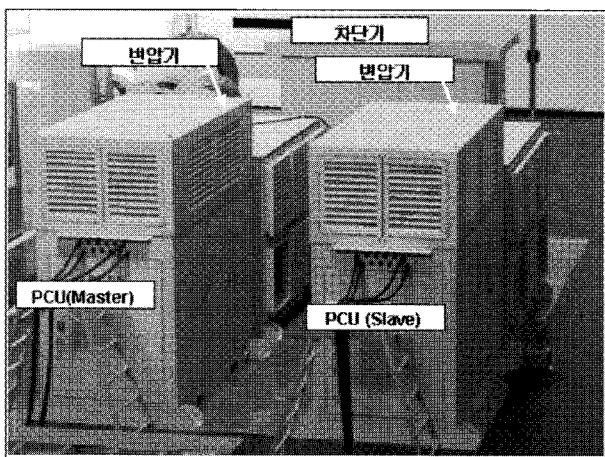


그림 3 3MW 연료전지용 PCS

있다.

NRTL(Nationally recognized test laboratory)에 등록된 시험기관에서 개발된 제품의 안전성과 성능을 객관적으로 검증하였으며, 2010년에는 개발제품을 수출할 예정이다.

### 3. 연료전지용 PCS 개발 및 성능검증

#### 3.1 PCS 설계 및 해석

연료전지용 PCS는 다양한 요구조건을 만족시킬 수 있어야 한다. 안정적인 계통연계를 위해서 높은 전기품질이 요구되며, 다양한 환경조건에서도 안전하게 운전될 수 있어야 한다. 또한 연료전지의 특성을 고려하여 최적의 제어 및 운전기술이 요구되며, 사용자 운전자의 편의성을 높이는 기능을 갖추어야 한다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위한 주요한 활동들에 대해 간략해 소개하고자 한다.

인버터 출력은 스위칭으로 인해 높은 고조파를 포함하고 있어서 계통에 연계하여 운전하면 고조파를 계통에 주입하게 되어 악영향을 끼치게 된다. 포스콘에서는 인버터 출력에 정현파 필터를 채택함으로써 이러한 고조파를 대부분 제거하여 높은 전기품질을 확보할 수 있게 되었다. 제어 시스템은 정현파 필터 제어 뿐만 아니라 계통감시, 재동기화, 단독운전검출 등의 다양한 기능을 수행할 수 있으며, 상위 시스템과 제어 명령이나 상태정보를 교환할 수 있도록 신뢰성 높은 통신 시스템을 갖추고 있다.

본 개발 제품은 옥외에 설치되기 때문에 열악한 환경조건에 대한 설계검토가 필요하다. 즉, 외함 내부의 유동과 온도분포 뿐만 아니라 비, 눈, 바람 등에 따른 하중해석과 운송이나 지진에 의한 진동으로 발생하는 변형 등에 대해 고려해야 한다. 이를 위해 3D 기반의 설계 tool을 이용하여 구조설계를 하였으며, 컴퓨터 해석툴을 이용한 구조/강도 및 열 해석을 통해 설계결과를 검증하였다. 그림 4는 3차원 구조설계 및 해석결과를 보여주고 있다.

사용자가 시스템에 편리하게 접근하여 운전할 수 있도록 HMI(Human Machine Interface) 및 웹 모니터링 시스템을 함께 갖추고 있다. HMI는 윈도우 기반으로 사용자가 빠르고 간편하게 조작할 수 있으며 시스템의 모든 변수를 설정하거나 운전상태를 한눈에 감시할 수 있다. 또한 웹 모니터링 시스템은 인터넷 접속이 가능한 어느 곳에서든지 웹 브라우저를 이용하여 원격으로 PCS의 운전 및 상태 등을 확인할 수 있는 기능을 지원한다.

#### 3.2 PCS 성능시험

PCS는 국제표준과 고객의 요구사항을 반영하여 성능검증 시험을 수행하였으며, 아래에 대표적인 규격을 정리하였다.

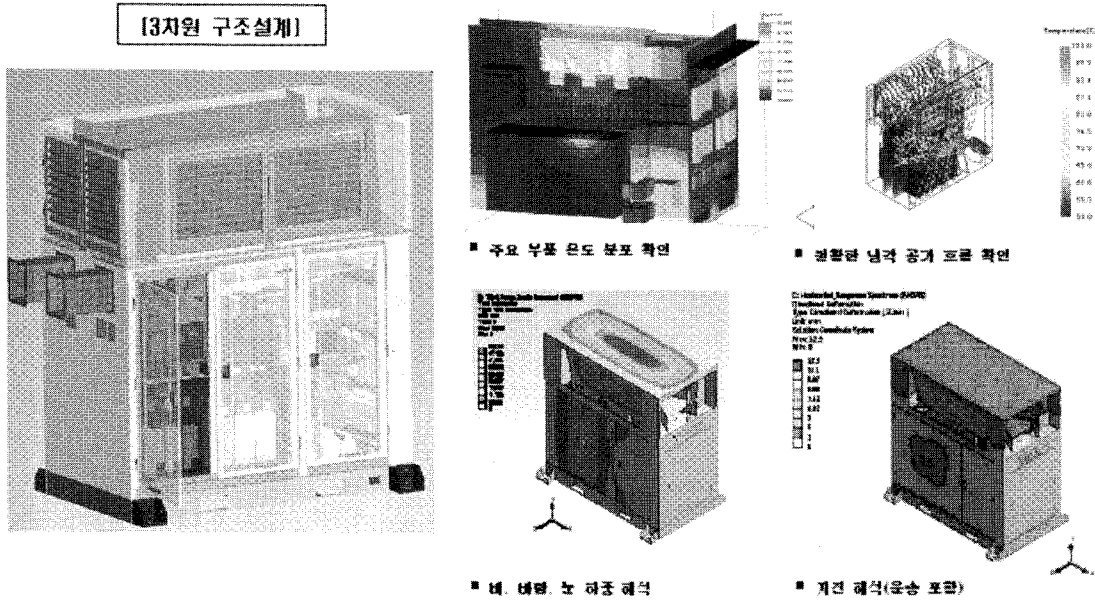


그림 4 PCS 3차원 구조설계 및 해석결과

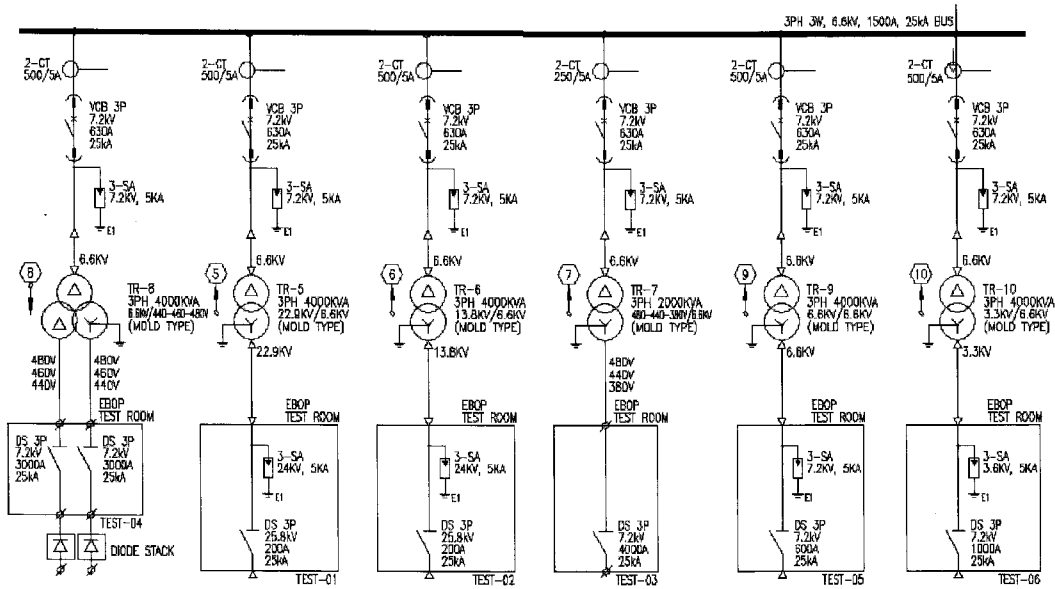


그림 5 4MVA 시험용 수배전 구성도

- 1) IEEE (Institute Electrical & Electronic Engineers)
  - IEEE 519-1992 : 고조파 제한
  - IEEE 1547 : 계통보호 및 연계
  - IEEE 1547.1 : 계통보호 및 연계 시험 절차
- 2) ANSI (American National Standards Institute, Inc)
  - ANSI C84.1 : 전압 조절 요구사항
- 3) UL (Underwriter's Laboratories, Inc.)

- UL 1741 : 안전 및 보호등급
- 4) CA Rule (California Rule 21)
- 5) 분산형 전원 배전계통 연계기술 해설서 (한국전력)
- 6) 고객 요구사항

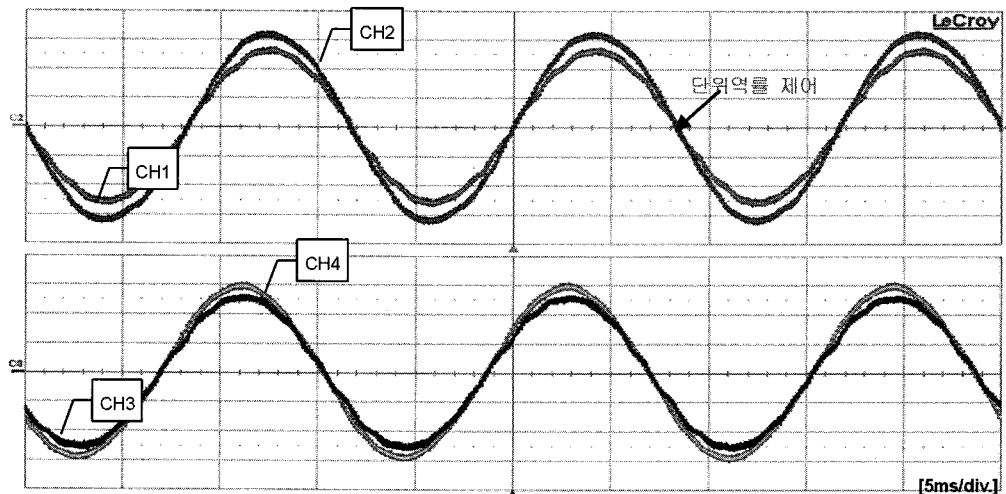
- Inverter Acceptance Test Plan  
 이러한 연료전지용 PCS의 신뢰성 검증을 위해 성능검증 시험 및 제품출하시험 등을 수행할 수 있는 설비를 구축하

였다. 성능시험 설비는 4MVA 연료전지 모의전원 장치, 1.5MW 다단계 수동부하, 4MVA 수배전 설비로 구성되어 있다. 특히 수배전반은 22.9(kV), 13.8(kV), 6.6(kV), 3.3(kV), 480(V)의 다양한 국내의 배전 계통 전압에 대응이 가능하며, 그림 5에 구성도를 간략히 나타내었다.

### 3.3 성능시험 결과

아래 그림 6~9는 성능시험 결과 파형을 보여 주고 있다.

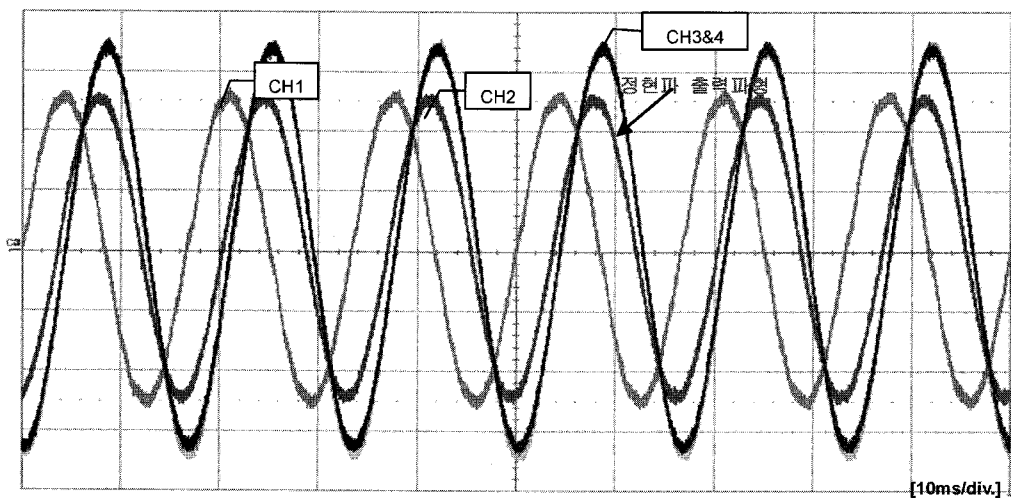
그림 6은 계통연계 운전시 정상상태의 운전파형으로 단위역률 제어를 수행하면서 정현파 전류파형을 보여 주고 있다. 그림 7은 독립 운전시 출력 파형으로 출력 전압이 이상적인 정현파에 가깝다. 이는 인버터 출력에 정현파 필터를 적용한 결과이다. 그림 8은 단독운전시험으로 국내기준은 0.5초 이내이나 이보다 훨씬 빠르게 동작하고 있음을 알 수 있다. 그림 9는 계통 재투입 시험으로 빠른 동기화와 제한된 돌입 전류 특성을 보여 주고 있다. 이 밖에도 여러가지 운전 조건



정격부하 운전파형

CH1 : 계통전압[0.4pu/div], CH2 : 계통전류[0.3pu/div], CH3 : 인버터 출력전압[0.4pu/div], CH4 : 인버터 출력전류[0.3pu/div]

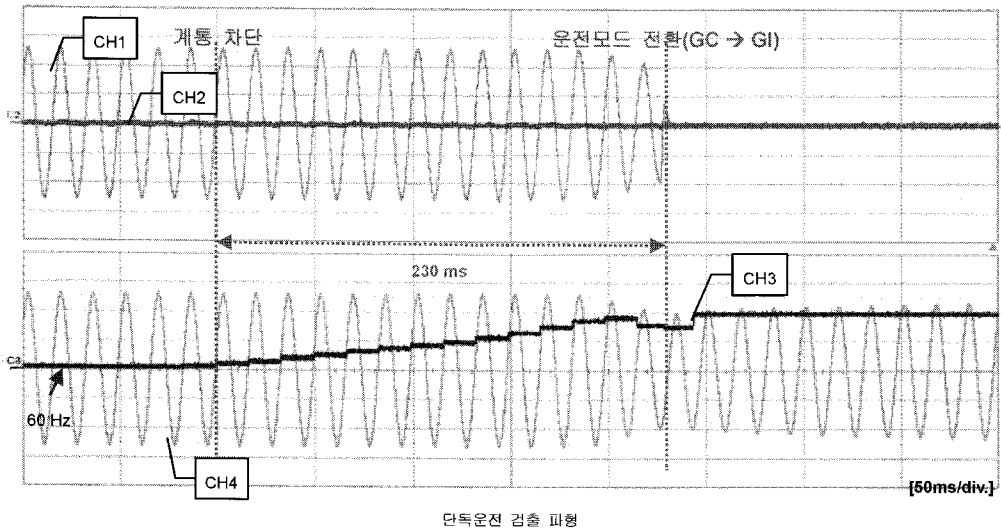
그림 6 계통연계 운전파형



독립 운전 파형

CH1 : 계통전압[0.4pu/div], CH2 : 출력전압[0.4pu/div], CH3 : 인버터 #3 출력전류[0.1pu/div], CH4 : 인버터 #4 출력전류[0.1pu/div]

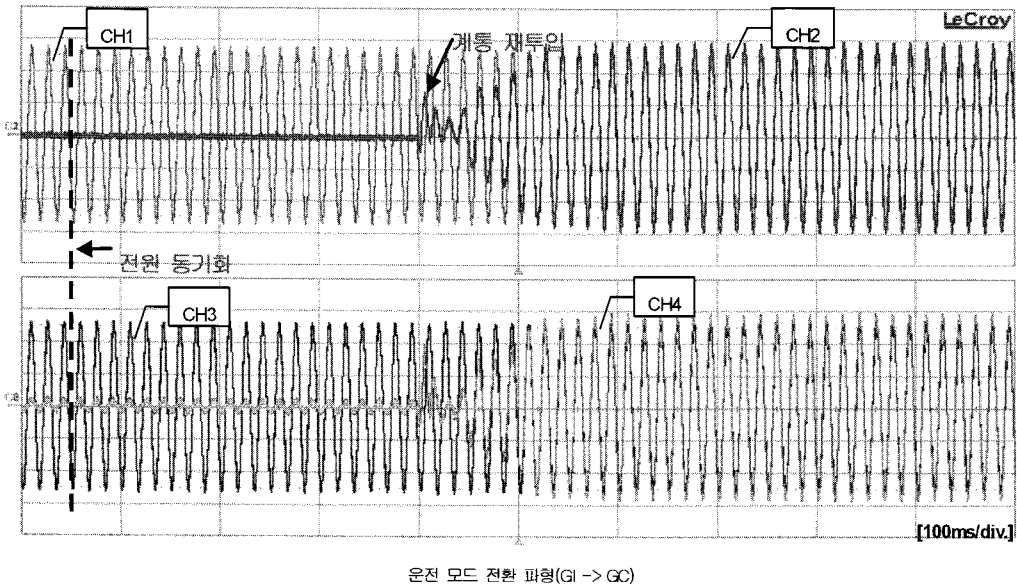
그림 7 독립운전파형



단독운전 검출 파형

CH1 : 계통전압[0.4pu/div], CH2 : 계통전류[0.1pu/div], CH3 : 계통주파수[0.8Hz/div], CH4 : 출력전압[0.4pu/div]

그림 8 단독운전 검출시험(GC:계통연계운전, GI:독립운전)



운전 모드 전환 파형(GI → GC)

CH1 : 계통전압[0.4pu/div], CH2 : 계통전류[0.3pu/div], CH3 : 인버터 출력전압[0.4pu/div], CH4 : 인버터 출력전류[0.3pu/div]

그림 9 동기화 및 재투입 시험 파형

에 대해 시험을 수행하여 우수한 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

포스콘은 그 동안 축적된 기반기술과 지속적인 투자를 바탕으로

으로 높은 신뢰성과 국제규격(IEEE Std 1547, UL-1741, CA Rule 21 등)에 부합하는 제어 성능 및 발전 설비의 특성상 외부 환경에 강인한 특성을 가져야 하는 MW급 PCS 제품의 국산화에 성공함으로써 핵심기술을 확보하였으며, 2010년부터 국내 발전용 연료전지 시스템에 MW급 PCS 제품을 공급하고 있다. 하지만 신재생에너지 시장에서 경쟁력을 높

이기 위해서는 제품의 신뢰성과 편리성을 높여서 다양한 실증을 통해 지속적인 개발이 이루어져야 할 것이다. ■

### 참고 문헌

- [1] 양병훈, 김광섭, 김윤현, "연료전지용 600kW급 EBOP 시스템 개발", 2008, POSCON 기술보 24호.
- [2] 황태식, 정우택, 양병훈, 김광섭, 권병기, 최창호, "600kW급 용융탄산염 연료전지 발전시스템용 EBOP 제어시스템", 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집.
- [3] 김형수, 황태식, 김왕래, 정우택, 임창진, 김윤현, 김광섭, "3 MW 발전용 연료전지 EBOP 시스템 개발", 전력전자학회 2009년도 추계학술대회 논문집.
- [4] 정우택, 김윤현, 김윤현 "3MW 연료전지용 EBOP 제어 시스템 개발", 2009, POSCON 기술보 27호.
- [5] Tai-Sik Hwang, Kwang-Seob Kim, Byung-Ki Kwon, "Control strategy of 600kW E-BOP for molten carbonate fuel cell generation system", Electrical Machines and Systems, 2008. ICEMS 2008. International Conference on, 17-20 Oct. 2008 pp. 2366-2371.
- [6] M. Prodanović, T. C. Green, and H. Mansir, "A survey of control methods for parallel three-phase inverters connection", in Proc. IEE PEVD Conf. (IEE Conf. Publ. No. 475), Sep. 2000, pp. 472-477.
- [7] Josep M. Guerrero, Lijun Hang, and Javier Uceda, "Control of Distributed Uninterruptible Power Supply Systems", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, NO. 8, Aug. 2008. pp. 2945-2869.
- [8] Juan C. Vasquez, Josep M. Guerrero, Alvaro Luna, Pedro Rodriguez and Remus Teodorescu, "Adaptive Droop Control Applied to Voltage-Source Inverters Operating in Grid-Connected and Islanded Modes", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, NO. 10, Oct. 2009. pp. 4088-4096.
- [9] Chien-Liang Chen, Yubin Wang, Jih-Sheng Lai, "Design of Parallel Inverters for Smooth Mode Transfer Microgrid Applications", APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE 15-19 Feb. 2009 pp. 1288-1294.

### 〈 필 자 소 개 〉



#### 김광섭(金光燮)

1970년 10월 3일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 (주)포스콘 기술연구소 선임연구원.