

3MW 발전용 연료전지 EBOP 시스템 개발

김형수, 황태식, 김왕래, 정우택, 임창진, 김윤현, 김광섭
(주)포스콘 기술연구소

Development of EBOP system for 3MW Fuel Cell Power Plant

Hyeong-Su Kim, Tai-Sik Hwang, Wang-Rae Kim, Woo-Taik Jung,
Chang-Jin Lim, Yun-Hyun Kim, Kwang-Seob Kim
POSCON corporation R&D center

Abstract

EBOP(Electrical Balance of Plant)는 직류의 연료전지의 출력을 전력전자기술을 이용해 계통전원에 연계 가능한 교류로 변환해주는 일련의 시스템을 칭한다. 포스콘에서는 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)를 이용한 3MW 발전용 연료전지 EBOP 시스템을 개발하였으며, 국제규격(IEEE std.1547, UL1741)에 준하는 시험을 통해 성능검증을 완료함으로써 MW급 EBOP 시스템의 국산화에 성공하였다.

1. 서론

최근 화석연료의 고갈, 지구 온난화 문제 및 이산화탄소 배출 규제 등이 사회적 이슈로 대두되면서 친환경 신재생 에너지에 대한 요구가 증대되고 있다. 이는 미국 등의 선진국을 중심으로 연료전지, 태양광, 풍력, 지열, 조력 등과 같은 신재생 에너지를 이용한 분산형 전원 기술개발이 급속히 추진되고 있는 배경이기도 하다. 특히 미국의 '수소 경제화 선언' 및 국내의 '수소 경제사회의 비전' 등에서 볼 수 있듯이, 이미 세계는 저탄소 수소 에너지 경제시대를 향해 가고 있다.

포스코 그룹에서도 발전용 연료전지 사업을 신사업 중 하나로 선정하여, FCE사와 기술 제휴를 통해 연료전지 스택의 국산화를 추진 중이다. 이와 함께 포스콘은 600kW EBOP 개발을 완료하고 상용 발전시스템 적용을 통한 성능검증을 완료하였으며, 현재 MW급 연료전지용 EBOP의 현장적용을 앞두고 있다.

발전용 연료전지 시스템은 크게 세 부분으로 구성된다. 수소, 산소 등의 연료를 사용하여 전기를 생산하는 연료전지 스택(Fuel cell stack), 연료전지 스택의 출력을 계통전원에 연계하기 위한 전기적 시스템인 EBOP 그리고 연료전지 스택에 연료를 공급해주고, 온도조건 등을 유지하기 위한 기계적 시스템인 MBOP(Mechanical Balance of Plant)로 구성된다. 이 중 포스콘에서 개발한 EBOP는 계통연계 운전, 독립운전, RLR(Rapid Load Recovery), ILR(Immediately Load Recovery), Limp 모드 운전 등 다양한 운전모드로 동작하며, IEEE std.1547, UL1741 등의 규정에 만족한다.

2. EBOP 시스템 설계사양

3MW EBOP 시스템의 설계 사양은 표1과 같다. 설치 장소에 따라 국내용과 국외용으로 운전사양을 선택할 수 있다. 적용규격은 표에 표기된 국제규격 외에도 국내규격인 한전 '분산형 전원 배전계통 연계 기술기준' 등이 있다. EBOP 시스템은 1.5MW PCU(Power Conversion Unit) 패널 2개, 2MVA 변압기 패널 2개, 스위치기어 패널 1개, 총 3종 5개의 패널로 구성된다.

표 1 3MW EBOP 시스템 설계 사양

Table 1 Design specification of 3MW EBOP system

구분	항목	설명
정격입력	전압	645[Vdc] (824[Vmax])
	전류	5,042[Adc]
정격출력	용량	3,000[kW]
	전압	국내 22.9[kV] / 국외 13.8[kV]
	주파수	60[Hz](option 50[Hz])
	역률	0.9 (leading/lagging) ~1.0
환경	주위온도	Max 50[°C]
외형	보호등급	옥외용(NEMA3R)
적용규격	계통연계	IEEE-1547 / UL-1741
크기 (WxDxH) [mm]	PCU 외함	2,900 X 1,500 X 3,100 X 2EA
	TR 외함	2,900 X 1,800 X 2,400 X 2EA
	스위치기어 외함	1,800 X 3,200 X 2,900

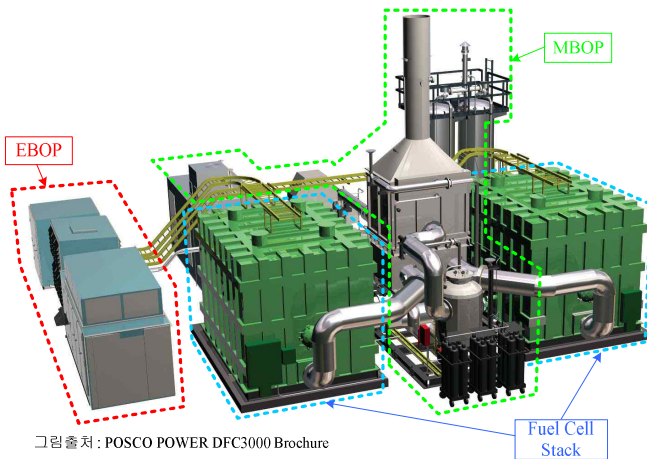


그림 출처: POSCO POWER DFC3000 Brochure

그림 1 3MW 연료전지 발전시스템 배치도

Fig. 1 Layout of 3MW Fuel Cell Power Generation system

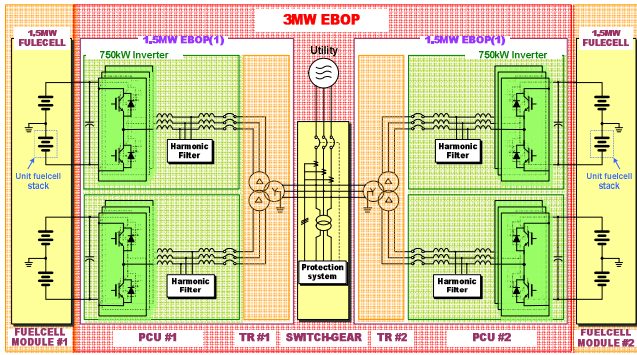


그림 2 3MW 연료전지 발전시스템 블록다이어그램
Fig. 2 Block diagram of 3MW Fuel Cell Power Generation system

1.5MW PCU 패널은 연료전지 출력을 계통전원과 같은 교류 전원으로 변환하는 역할을 하며, 병렬로 구성된 750kW 인버터 모듈, 출력 LCL 필터로 구성되어 있다. 변압기 패널은 PCU 출력전압을 계통전압으로 승압시켜주는 역할을 한다. 스위치기어 패널은 VCB(Vacuum Circuit Breaker)와 Potential Transducer (PT), Current Transducer(CT) 등으로 구성되며, 연료전지 발전시스템과 전력계통을 연결한다. 또한 사용자 특별부하로 전력을 공급하는 PCC(Point of Common Coupling)의 역할을 한다.

3. 시스템 설계

EBOP 시스템은 H/W와 통신 및 제어알고리즘으로 나누어 설계하였다. H/W는 pro-Engineer를 이용한 3D 기반으로 설계 하였으며, Ansys Icepak/Multiphysics와 같은 해석 툴을 이용한 구조/강도 및 열 해석을 통해 설계결과를 검증하였다.

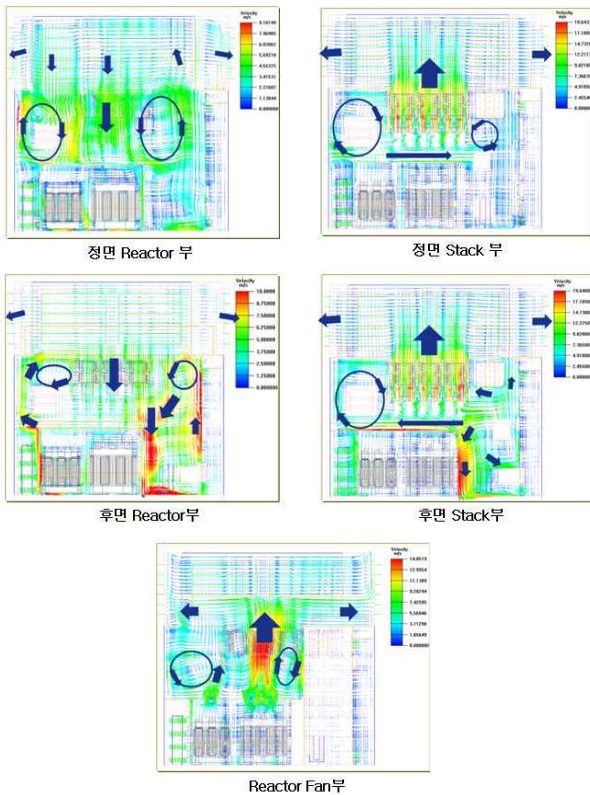


그림 3 Icepak을 이용한 EBOP 열유동 해석
Fig. 3 Thermal flow analysis of EBOP using Icepak

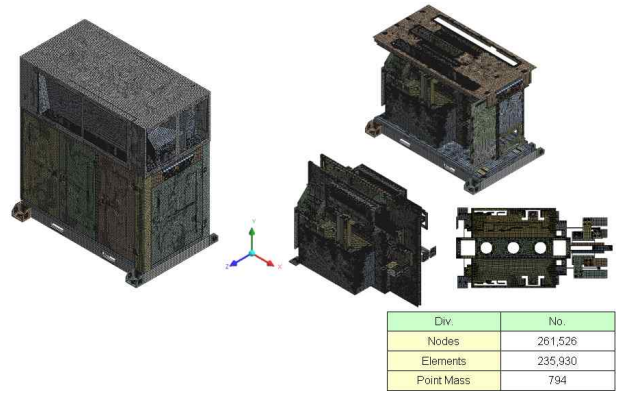


그림 4 구조해석을 위한 격자생성
Fig. 4 Meshing for structure analysis

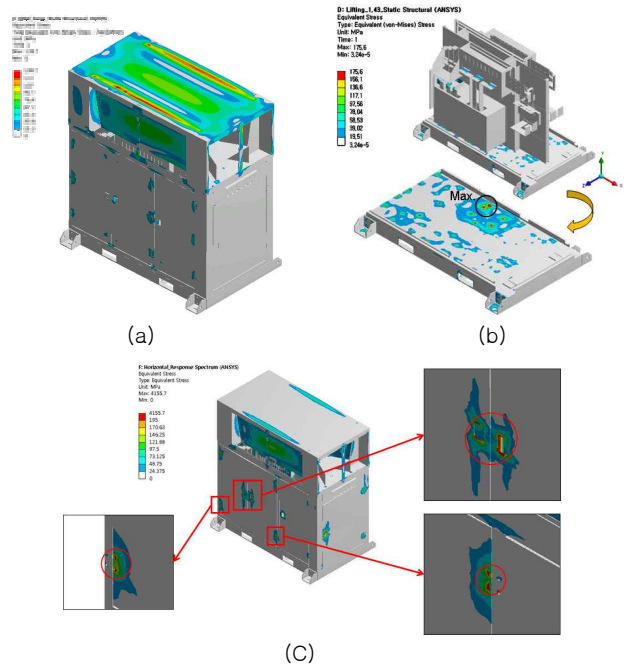


그림 5 EBOP 구조강도해석
(a)는, 바람하중 해석, (b) 리프트 해석, (c) 내진 해석
Fig. 5 Structural stress analysis of EBOP
(a) Wind-snow stress, (b) Lifting stress, (c) Seismic stress

EBOP 시스템의 통신에는 CAN, MODBUS/TCP, TCP/IP, RS232, RS485 등의 방식이 사용되었다. 그림6은 EBOP 시스템의 통신 인터페이스 구성도이다.

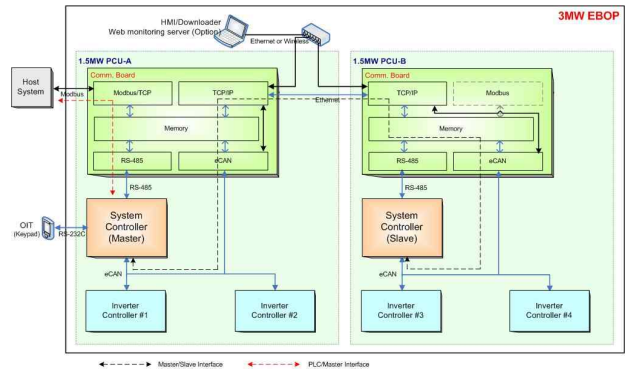


그림 6 통신 인터페이스 구성도
Fig. 6 Block diagram of communication interface

PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통해 제어 알고리즘을 검증하였다. 또한 알고리즘 검증용으로 제작한 10kVA 연료전지 발전 시스템 모의장치를 이용하여 제차 검증함으로써 시제품 검증시험 기간을 단축할 수 있었다.

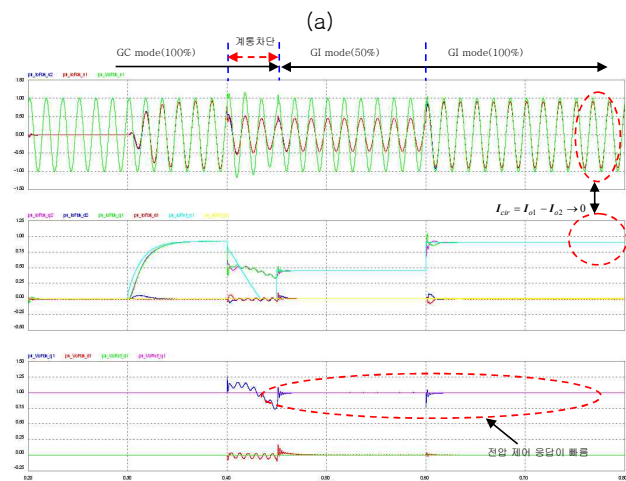
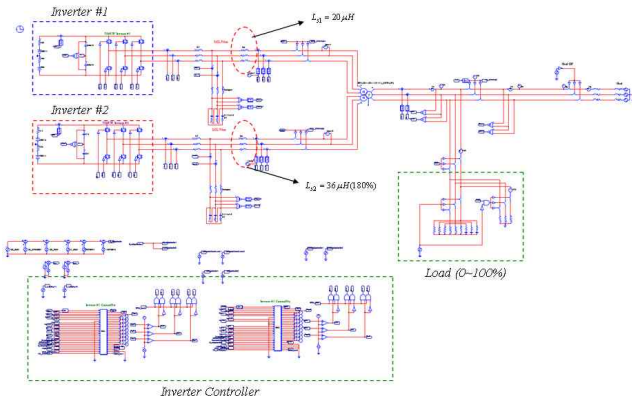


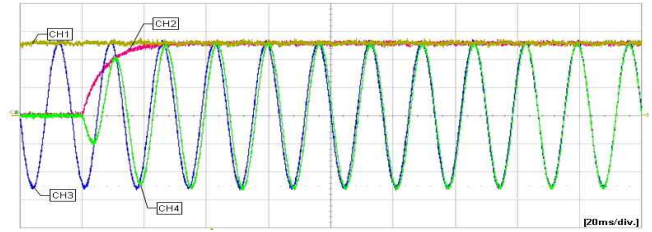
그림 7 PSIM을 이용한 시뮬레이션
(a) EBOP 시스템 모델링, (b) 시뮬레이션 결과

Fig. 7 Simulation using PSIM

(a) EBOP system modeling, (b) Simulation result

4. 3MW EBOP 성능시험

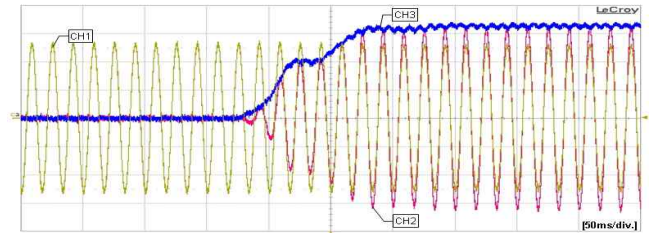
3MW EBOP 시스템의 성능시험을 위하여 EBOP Test room을 준공하였으며, 세계 각국의 배전계통 전압에 대해 시험을 실시할 수 있도록 수배전 설비를 갖추었다. 또한 연료전지모의장치 및 수동부하장치 등의 성능검증장치를 제작하였다. EBOP 시스템의 성능시험은 EBOP 동작의 기초기능에 대한 시험인 단위 기능시험, 전력변환 성능 및 제어기 동특성 등을 확인할 수 있는 성능검증시험, 온도특성 및 시스템 안정도를 확인할 수 있는 연속운전시험으로 구분하여 실시하였다. 시험 절차 및 방법은 poscon I.A.T에 기준하여 실시하였으며, 설계 기준에 만족하는 운전성능을 확인하였다. 시험에 대한 결과파형들은 다음과 같다. 그림 8은 EBOP와 계통을 연계하기 위해 EBOP 출력전압을 계통과 동기화하는 동기화 모드 파형이다. 그림 9는 계통과 연계된 상태에서 정격으로 발전을 개시하는 시점에서의 EBOP 출력 전압, 전류 파형이다. 그림 10은 단독운전 상황이 발생했을 경우, EBOP가 이를 검출하고 연료전지 발전시스템을 계통과 분리하는 단독운전 검출 시험 파형이다. 그림 11은 계통연계 운전모드에서 계통과 분리되어 자체부하로만 전력을 공급하는 운전모드인 독립운전으로 모드 전환하는 파형이다.



CH1: 계통전압(Q축) [0.4pu/div], CH2: 출력전압(Q축) [0.4pu/div]
CH3: U상 계통전압 [0.4pu/div], CH4: U상 출력전압 [0.4pu/div]

그림 8 계통전압과 EBOP 출력전압 동기화

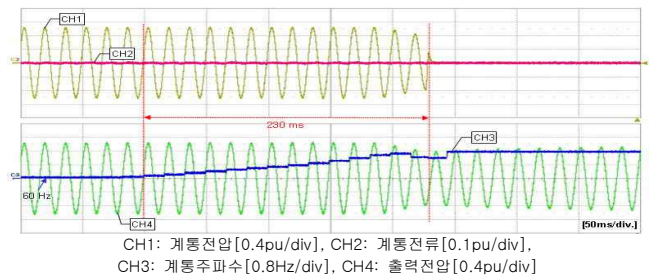
Fig. 8 EBOP output voltage Synchronization with grid voltage



CH1: 계통전압 [0.4pu/div], CH2: 계통전류 [0.3pu/div]
CH3: 계통주파수 [0.3pu/div]

그림 9 계통연계 정격부하운전

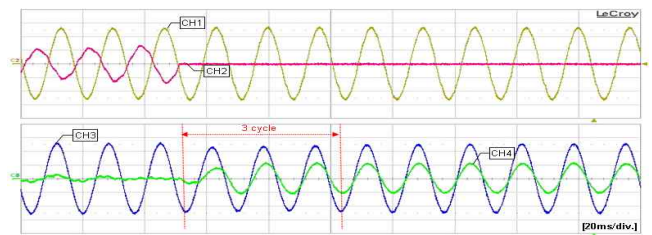
Fig. 9 Rated Load operation in Grid connected mode



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

그림 10 단독운전검출 시험

Fig. 10 Anti-islanding test



CH1: 계통전압 [0.4pu/div], CH2: 계통전류 [0.3pu/div]
CH3: 인버터 #3 출력전압 [0.4pu/div], CH4: 인버터 #3 출력전류 [0.3pu/div]

그림 11 독립운전모드 전환(계통연계운전→독립운전)

Fig. 11 Operation mode change from GC mode to GI mode

5. 결 론

포스콘에서는 3MW 발전용 연료전지 EBOP 시스템을 개발하였으며 시험을 통해 국제규격(IEEE std.1547, UL1741)에 만족하는 성능을 검증함으로써 MW급 EBOP 시스템의 국산화에 성공하였다.

EBOP를 비롯한 연료전지 발전시스템의 국산화 개발은 CO₂ 배출 규제강화, RPS(Renewable Portfolio Standard) 제도 도입 등으로 인해 그 수요가 증가하고 있는 신재생 에너지 시장 선점에 필수적인 요소이다. 또한 Micro-Grid 및 Smart-Grid 분야에서 안정적인 분산전원으로서 그 역할이 증대되리라 사료된다.