

# 1.2MW급 연료전지 EBOP를 위한 Droop control 방식의 인버터 병렬운전 제어기법

김형진, 정상혁, 최세완, 김태희\*, 이기풍\*, 이태원\*  
서울과학기술대학교, \*두산중공업

## Parallel Operation of Inverters Using Droop Control Method for 1.2MW Fuel Cell Electrical Balance of Plant

Hyungjin Kim, Sanghyuk Jung, Sewan Choi, Taehee Kim\*, Gipung Lee\*, Taewon Lee\*  
Seoul National University of Science and Technology, \*Doosan Heavy Industries & Construction Corporation

### ABSTRACT

인버터의 병렬운전은 인버터간의 특성, 선로임피던스 차이, 각 구성품들의 오차 등으로 인해 적절한 제어가 되지 않는 경우 인버터간의 순환전류가 발생하여 인버터의 무효전력 부담이 증가하여 전체 전력 시스템의 용량을 감소시키게 된다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 4병렬 인버터의 병렬제어 알고리즘으로서 전압지령치와 주파수지령치의 regulation 성능이 좋은 동기좌표계 droop 제어기법<sup>[4]</sup>을 적용한 1.2MW급 연료전지용 EBOP를 제안한다.

### 1. 서 론

발전용 연료전지 시스템은 약 300kW 단위 연료전지 스택을 다수 연결하여 용량을 증대시킨다. 다수의 연료전지 스택을 연결하는 방법으로는 저전압출력방식과 병렬연결 방법이 있는데 그림 1과 같이 병렬 연결하는 경우 출력전력의 확장성, 보수의 편리성 등의 장점을 가진다<sup>[1]</sup>. 그러나 인버터를 병렬 운전하는 경우 인버터간의 특성, 선로임피던스 차이, 각 구성품들의 오차 등으로 인해 적절한 제어가 되지 않는 경우 인버터간의 순환전류가 발생하여 전체 전력 시스템의 용량을 감소시키며 또한 스위치 소자파괴 등의 문제가 발생할 수 있으므로 병렬운전 제어기법이 필수적으로 요구된다<sup>[2]</sup>. 병렬운전 제어기법은 centralized control, master slave control, current chain control 등이 있는데 이 방법들은 PCS간의 통신을 이용하기 때문에 신뢰성이 떨어진다<sup>[3]</sup>. 최근 기존 동기발전기에 적용하던 droop제어를 인버터에 적용하여 제어하는 방법에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. Droop제어는 PCS간의 통신이 필요 없기

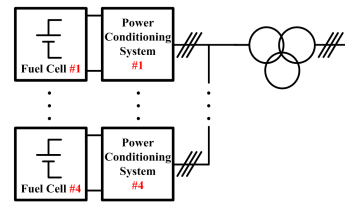


그림 1 인버터 4대로 300kW 스택을 병렬로 하는 구조

때문에 신뢰성이 높아<sup>[3]</sup> 그림 1과 같은 구조의 연료전지 EBOP를 위한 인버터 병렬운전 제어방식으로 적합하다. 본 논문에서는 그림 1의 4병렬 인버터의 병렬제어 알고리즘으로서 전압지령치와 주파수지령치의 regulation 성능이 좋은 동기좌표계 droop 제어기법<sup>[4]</sup>을 적용한 1.2MW급 연료전지용 EBOP를 제안한다.

### 2. 인버터 병렬운전 제어기법

Droop제어는 유효전력과 무효전력에 따라 인버터의 출력 주파수와 전압을 약간 낮추려는 droop특성을 이용하며 그림 2는 제안하는 동기좌표계의 droop제어방식의 제어 블록도를 나타낸다. 그림 3에서 주파수는 유효전력에 비례하여 droop상수  $m$ 의 기울기로 감소하는 것을 알 수 있다. PCS간의 출력주파수의 편차는 수하특성에 의해 일정한 주파수 값으로 수렴되므로 각각의 인버터는 동일한 유효전력을 분담하게 된다. 이때 주파수 지령치와 droop계수  $m$ 은 아래와 같다.

$$\omega^* = \omega_{nom} - mP, \quad (m = \frac{\omega_{nom} - \omega_{min}}{P_{rated}}) \quad (1)$$

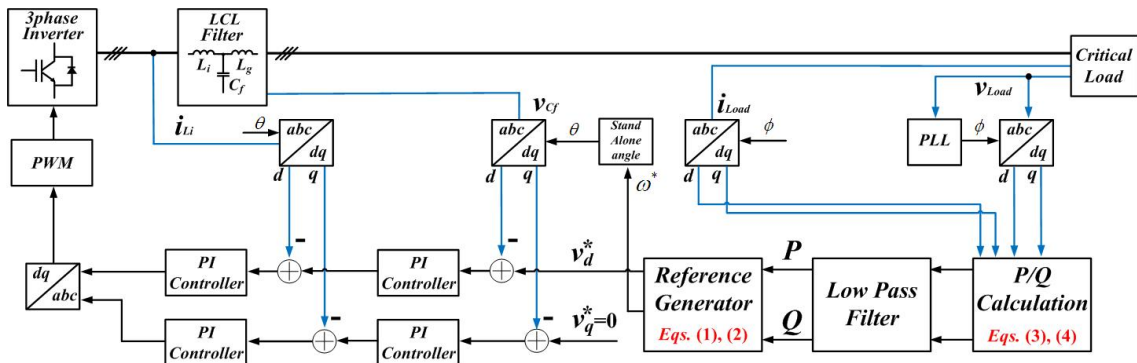


그림 2 동기좌표계 droop 제어기법의 제어 블록도

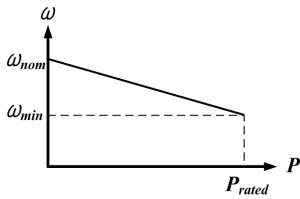


그림 3 유효전력과 주파수의 droop특성

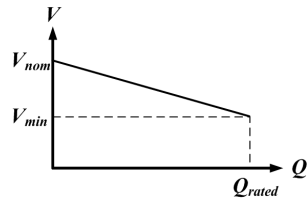


그림 4 무효전력과 전압의 droop특성

그림 4에서 출력전압은 무효전력에 비례하여 droop계수  $n$ 의 기울기로 감소하는 것을 알 수 있다. PCS간의 출력 전압의 편차는 수하특성에 의해 일정한 전압으로 수렴되므로 각각의 인버터는 동일한 무효전력을 분담하게 된다. 이때 전압 지령치와 droop계수  $n$ 은 아래와 같다.

$$V^* = V_{nom} - nQ, \quad (n = \frac{V_{nom} - V_{min}}{Q_{rated}}) \quad (2)$$

수식 (3)과 (4)는 동기좌표계에서의 유효·무효전력 계산식을 나타낸다<sup>[4]</sup>.

$$P = 1.5(V_{Load}^d I_{Load}^d + V_{Load}^q I_{Load}^q) \quad (3)$$

$$Q = 1.5(V_{Load}^q I_{Load}^d - V_{Load}^d I_{Load}^q) \quad (4)$$

### 3. 시뮬레이션

제한한 동기좌표계 droop 제어기법의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양으로 4병렬 인버터에 동기좌표계 droop 제어기법을 적용하여 시뮬레이션 하였다.

- $P_o=1.2\text{MW}$
- $f_{nom}=60\text{Hz}$
- $L_i=418\mu\text{H}$
- $C_f=276\mu\text{F}$
- $P_{inv}=300\text{kW}$
- $V_{nom,LL}=380\text{V}$
- $L_{g,\#1 \sim 4}=150\mu\text{H}$
- $m=0.0012$
- $f_{sw}=5\text{kHz}$
- $V_{dc}=780\text{V}$
- $L_{g,\#3 \sim 4}=165\mu\text{H}$
- $n=0.000103$

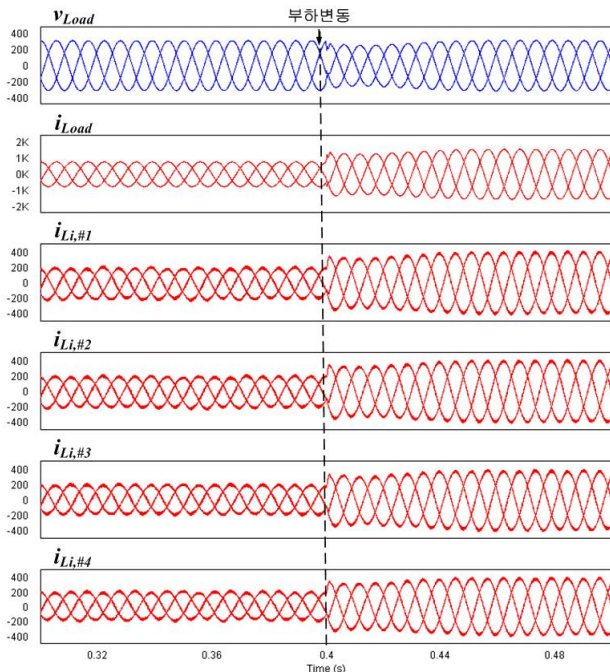


그림 5 Droop 제어기법의 부하변동시 파형(120kW→240kW)

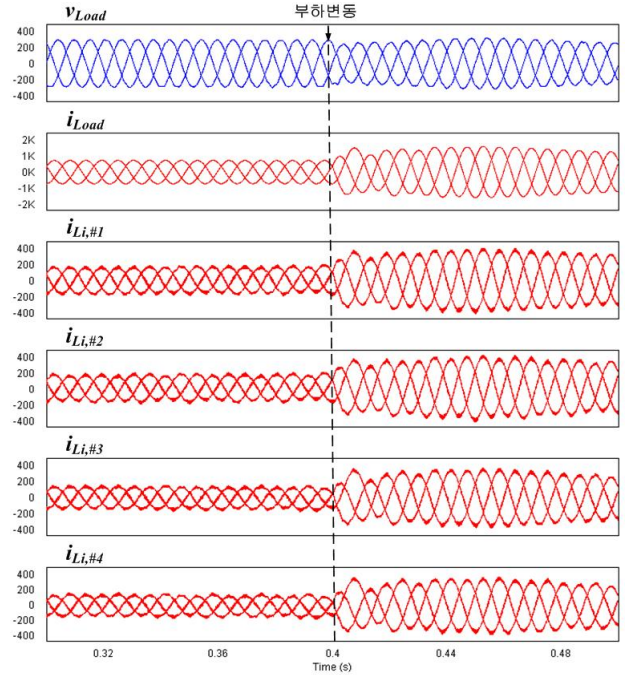


그림 6 Droop 제어기법의 부하변동시 파형(70kVar→140kVar)

그림 5와 6는 각각 부하가 변동했을 때 각부 파형이며 인버터의 출력 임피던스는 10% 차이를 두었다. 모의 실험결과 순환전류가 거의 없이 부하분담이 잘 이뤄지고 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 4병렬 인버터의 병렬제어 알고리즘으로서 동기좌표계 droop 제어기법을 적용한 1.2MW급 연료전지용 EBOP를 제안하였으며 모의실험을 통해서 각각의 인버터의 출력임피던스가 다른데도 불구하고 순환전류가 거의 없이 부하분담이 잘 이뤄지는 것을 확인하였다. 최종논문 발표시 실험을 통해 본 논문의 제어기법을 검증하겠다.

본 연구는 2008년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. 2008 N FC12 J 04 2100)

### 참고 문헌

- [1] 최세완, “발전용 연료전지 PCS 기술 및 개발 동향”. 전력전자학회 학회지, 제 15권, 제 1호, pp. 36 42, 2010년 2월
- [2] 변영복, “병렬운전 UPS의 특성과 기술동향”. 전력전자학회 학회지, 제 5권, 제 4호, pp. 11 17, 2000년 8월
- [3] J.M. Guerrero, L. García de Vicuña, and J. Uceda, “Uninterruptible power supply systems provide protection,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 1, no. 1, pp. 28 38, 2007.
- [4] N. Pogaku, M. Prodanovic, and T. C. Green, “Modeling, analysis and testing of autonomous operation of an inverter based microgrid”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 2, pp. 613 625, Mar. 2007.