

# 모듈별 밸런싱을 위한 FCEV용 전력변환장치

김미지, 신민호, 최성춘, 전진용\*, 여태정\*, 원충연  
성균관대학교, 삼성전자\*

## Power Conversion System of Battery Modular Balancing for FCEV

Mi Ji Kim, Min Ho Shin, Seong Chon Choi, Jin Yong Jeon\*, Tae Jung Yeo\*,  
Chung Yuen Won  
Sungkyunkwan University, Samsung Electronics\*

### ABSTRACT

FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle)는 연료전지를 사용하여 차량 구동용 전동기에 필요한 에너지를 공급한다. 연료전지는 부하에 급격한 변화가 발생하였을 시에 과도특성이 나타나고 자동차에 에너지를 공급하는 속도에 영향을 준다. 그러므로 연료전지의 특성상 FCEV에서 배터리는 연료전지와 함께 사용된다. FCEV 및 전기자동차는 배터리의 대용량화를 위해 일반적으로 배터리 셀을 직/병렬로 모듈화하여 사용하는데, 이때 배터리 모듈의 충전 및 방전이 반복될 경우, 각 배터리 잔존용량의 불균형이 나타난다. 본 논문은 연료전지 전기자동차용 전력변환장치를 이용하여 배터리 셀을 모듈화하여 모듈 별 밸런싱을 수행하는 시스템의 설계와 제어기법을 제안한다. 각각의 배터리 모듈과 연료전지를 연결하는 컨버터 모듈은 독립적으로 제어되어 배터리를 모듈 단위로 균등화시킨다. 이때 연료전지를 입력으로 절연형 컨버터를 병렬로 사용하며, 각각의 배터리 모듈을 균일하게 충전한다.

### 1. 서론

연료전지 자동차의 경우 화석연료를 전혀 사용하지 않기 때문에 차량 주행 중 환경오염 물질의 배출이 전혀 없고, 수소와 산소가 공급되는 한 항상 전력 생산이 가능하다는 장점이 있다.<sup>[1]</sup> 그러나 연료전지는 낮은 출력 전압과 느린 응답속도로 인해 단독적 사용이 어렵다. 그렇기 때문에 일반적인 FCEV에서는 연료전지의 뒷단에 DC/DC 컨버터를 배치하여 배터리를 충전한다. 이때 배터리의 충전과 방전이 반복되면 셀 전압의 불균형 현상이 발생한다. 그 결과로서 배터리 수명 및 총 저장용량이 감소하거나 최악의 경우에는 배터리가 폭발하고 화재가 나게 되는 현상이 일어나게 된다.

그러므로 배터리 수명을 연장시키고 총 저장 용량이 감소하는 것을 방지하기 위해서는 직렬 연결된 배터리 셀들의 균등화가 반드시 필요하다. 배터리 셀들의 균등화를 위해서는 기본적으로 능동적 방식과 수동적 방식이 있다. 능동적 방식은 변압기, 인덕터, 커패시터 등을 사용하며 수동적 방식은 저항을 사용하여 셀 간의 불균등을 해소한다. 이때 기존의 방식은 개별적으로 밸런싱 장치가 필요하다. 본 논문에서는 연료전지 자동차에서 연료전지로 보조전원인 배터리를 충전할 때, 배터리의 수명 및 효율을 고려하여 모듈별로 전력변환장치를 구성하여 밸런싱을 수행하였다.

### 2. 모듈별 밸런싱을 위한 전력변환장치

#### 2.1 기존의 연료전지 자동차 시스템 구조

FCEV는 연료전지의 특성상 시스템에서 DC DC 컨버터를 사용한다. 연료전지는 일반 배터리에 비해 단위체적 당 낮은 전압을 출력하고 반응속도가 느리기 때문에 배터리가 필수적으로 필요하다. 연료전지 자동차의 시스템 구조는 양방향 DC DC 컨버터의 배치에 따라 연료전지로 보조전원인 배터리를 충전하는 시스템과 연료전지와 배터리를 모두 전원으로 사용하는 하이브리드 연료전지 시스템으로 분류된다.<sup>[2]</sup>

연료전지로 배터리를 충전하는 경우 일반적으로 단일 컨버터를 사용하는데 이때는 배터리의 전압 불균형을 해결해줄 수 없다. 또한 배터리의 전압 불균형을 해결하기 위해서는 별도의 밸런싱을 수행하기 위한 장치를 별도로 설치해야 한다.

#### 2.2 제안된 개별전하제어용 전력변환장치

단일 컨버터로 구성된 기존의 전력시스템을 병렬 컨버터로 구성하여 연료전지로 배터리를 충전할 때 배터리의 모듈별 용량 편차를 고려한다. 이때 입력단과 출력단의 직/병렬 구성을 고려하여 절연형 컨버터를 사용한다. 본 논문에서는 풀 브리지 컨버터를 phase shift 방식으로 스위칭하여 효율을 높인다.

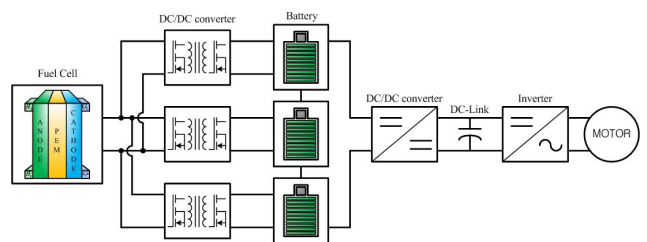


그림 1 전체 시스템 구성

Fig. 1 Overall system configuration

그림 2는 배터리 모듈 용량에 따른 각 컨버터의 전력 흐름도를 보여준다. 잔존 용량이 상대적으로 낮은 배터리의 충전량을 높이고 잔존 용량이 상대적으로 높은 배터리의 충전량을 줄인다. 그러므로 모듈별로 컨버터 및 배터리를 구성하여 용량에 따라 충전량을 다르게 함으로써 충전과 동시에 밸런싱을 진행하기 때문에 배터리의 용량 편차를 줄여 수명을 늘려줄 뿐만 아니라 배터리의 실제 사용 영역을 넓혀 효율이 증가한다.

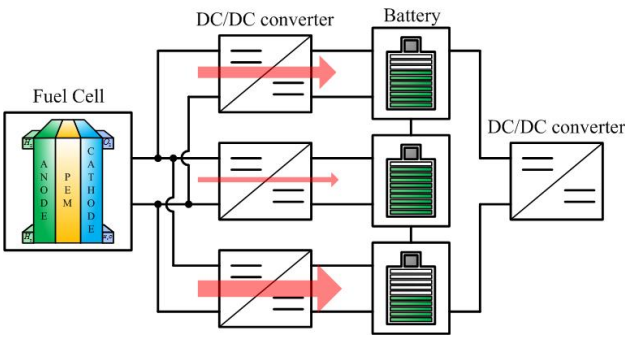


그림 2 배터리 모듈 용량에 따른 각 컨버터 전력 흐름도  
Fig. 2 Power flow according to capacity of battery module

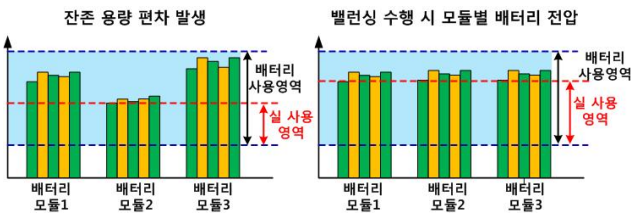


그림 3 밸런싱 제어 수행 시 배터리 셀 사용 영역  
Fig. 3 Usable area of battery module with balancing

### 2.3 시뮬레이션

그림 4는 3개의 배터리 모듈과 연료전지로 각 배터리 모듈을 충전하는 컨버터로 구성된 시스템 회로도이다. 동일한 입력을 가진 3개의 컨버터가 병렬로 각 배터리 모듈을 충전한다. 컨버터는 풀 브릿지 컨버터를 사용하여 입력과 출력을 분리하였으며 phase shift 방식으로 제어하였다. 입력 전압은 15[V], 출력의 레퍼런스 전압은 22[V]로 선정하였다. 초기 배터리 전압은 모듈 당 각각 15[V], 17[V], 19[V]로 설정했다.

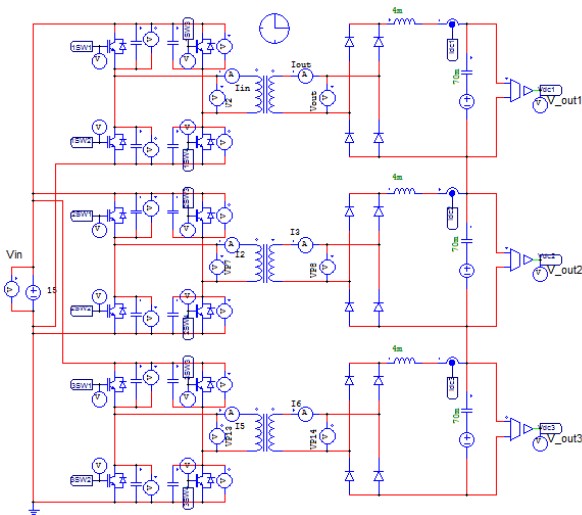


그림 4 3-모듈 병렬 구성 전력 변환 시스템  
Fig. 4 3-module parallel power conversion system

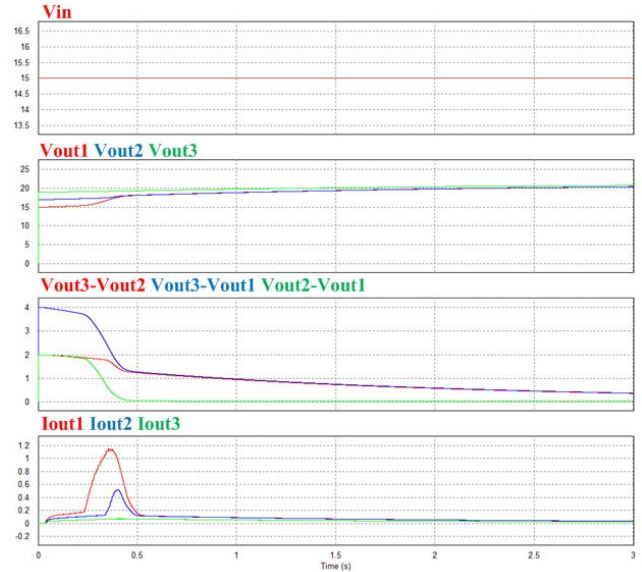


그림 5 모듈별 밸런싱 수행 파형  
Fig. 5 Waveform of modular balancing

시뮬레이션 파형은 그림 5에 나타내었다. 초기 모듈당 배터리의 전압은 각각 다르게 시작되어 레퍼런스 전압인 22[V]로 수렴한다. 또한 밸런싱을 수행함으로써 각 모듈의 배터리 전압의 차이가 감소하여 배터리의 잔존용량 편차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 컨버터 당 전류 또한 차등적으로 분배되는 것을 볼 수 있는데, 배터리의 잔존용량이 가장 낮은 1 모듈의 배터리가 가장 높은 전류로 충전되고 배터리의 잔존용량이 가장 높은 3 모듈의 배터리는 가장 작은 전류로 충전된다.

### 3. 결론

본 논문은 전기자동차용 전력변환장치를 이용하여 배터리 셀을 모듈화하여 모듈별 밸런싱을 수행하는 시스템을 제안하였다. 각각의 배터리 모듈과 연결된 컨버터의 모듈은 독립적으로 제어되어 배터리를 모듈 단위로 균등화시킨다. 충전 시 상대적으로 잔존 용량이 낮은 배터리 모듈의 충전량을 높이고 상대적으로 잔존 용량이 높은 배터리의 충전량을 줄임으로써 배터리 모듈의 밸런싱을 수행하였다.

이 논문은 삼성전자(주) 연구비 지원에 의하여 연구되었음.(No. IO131217 01110 01)

### 참고 문헌

[1] 고안열, 김도윤, 황정필, 원일권, 원충연, "FCEV 구동을 위한 DC link 최적 제어가 가능한 양방향 DC DC 컨버터 설계", 전력전자학술대회 논문집 2013. 7, pp. 102 103  
[2] K. Jin, X. Ruan, M. Yang, and M. Xu, "A Hybrid Fuel Cell Power System," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 4, pp. 1212 1222, Apr. 2009