

# 모듈러 배터리팩 충·방전기의 모듈 간 전압 밸런싱을 위한 직렬 운전 알고리즘

이운성\*, 강경민\*, 최봉연\*, 김미나\*, 이훈\*, 원충연\*  
 성균관대학교\*

## A Series Operation Algorithm For Voltage Balancing Between Modules Of Modular Battery Pack Charging/Discharging System

Yoon-Seong Lee\*, Kyung-Min Kang\*, Bong-Yeon Choi\*,  
 Mi Na Kim\*, Hoon Lee\*, Chung-Yuen Won\*  
 Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

This paper proposes a series operation algorithm for voltage balancing of modular battery pack charging/discharging system using 3P-CFDAB (3-Phase Current-Fed Dual Active Bridge) converter. By using the proposed algorithm, we can prevent deterioration or loss of a particular module. The algorithm in this paper was verified through PSIM simulation.

### 1. 서 론

최근 환경문제에 대한 관심이 증대되고 EV나 ESS와 같은 중/대전압 배터리가 필요한 방안들이 그 해결책으로 대두되면서 중/대전압 배터리 충·방전기에 대한 연구가 요구되었다.

본 논문에서 사용되는 모듈러 배터리팩 충·방전기는 그림 1과 같은 3P-CFDAB (3-Phase Current-Fed Dual Active Bridge) Converter를 기반으로 이루어져 있다. 이러한 단일 모듈의 배터리 팩 여러 대를 직렬로 연결하면 중/대전압 배터리의 충·방전이 가능하다. 제어를 거쳐 구해진 위상값을 이용한 PSM(Phase Shift Modulation)으로 전류, 전압을 제어하는 직렬 운전 기법에 대한 연구가 선행되었다. 하지만 기존의 직렬 제어 기법은 전류제어기와 전압제어기가 각각의 위상값을 이용하여 제어하기 때문에 전압 불평형을 유발한다. 이러한 전압 불평형은 충·방전하는 배터리팩 충·방전기의 열화, 소손 등을 유발할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 전압 불평형을 저감할 수 있는 직렬 운전 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 직렬 운전 알고리즘을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

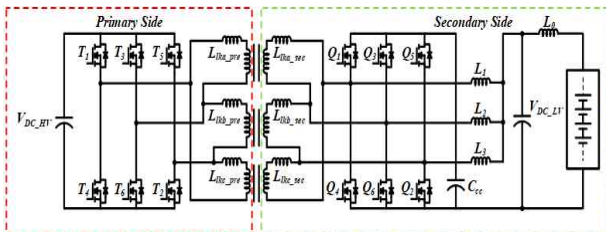


Fig. 1 A single module of 3P-CFDAB Converter

### 2. 모듈간 전압 밸런싱 직렬운전 알고리즘

#### 2.1 3P-CFDAB 컨버터의 구조

3P-CFDAB 컨버터는 1차 측과 2차 측이 3상으로 이루어져 있고 3개의 변압기를 통해 절연되어 있다. 2차 측은 변압기의 누설 인덕터에 축적된 에너지를 방출할 때 생기는 Voltage Spike를 방지하기 위한 Active clamp capacitor와 인덕터로 이루어져 있다. 2차 측에 존재하는 인덕터로 인해 충전 시에는 Buck Mode로 동작하고 방전 시에는 Boost Mode로 동작하여 양방향 전력변환이 가능하다. 또한 인터리브드(Interleaved) 방식을 사용하여 인덕터를 3개로 나누어 설계하므로 각 인덕터에 흐르는 전류의 실효값을 줄일 수 있고 PSM 제어를 통하여 전류 리플을 줄일 수 있는 장점이 있다. 1차 측과 2차 측의 각 상은 120도의 위상차를 갖는 PWM(Pulse Width Modulation) Duty 제어를 통해 출력 Capacitor의 전압을 일정하게 제어한다. 2차 측 스위치는 PSM을 통하여 Master Module과 Slave Module이 각각 전류제어와 전압제어를 수행한다.

#### 2.2 기존의 모듈러 배터리 팩 충·방전기의 직렬운전방식

기존의 모듈러 배터리팩 충·방전기는 첫 번째 Module을 Master Module로 선정하고 나머지 모듈을 Slave Module로 선정한 Master-Slave기법을 사용한다. Master Module은 직렬회로에 흐르는 전류값  $I_{out\_real}$ 과 지령전류  $I_{out}^*$ 를 비교한 PSM제어를 통해 전류를 제어하고 Slave Module은 배터리 전체 전압  $V_{Batt\_Total}$ 의 1/N(Number of Modules)을 실제 모듈의 출력 전압  $V_{Batt}$ 과 비교하여 전압제어를 수행한다. 그림 2는 기존 모듈러 배터리팩의 직렬 운전 제어 블록도이다.

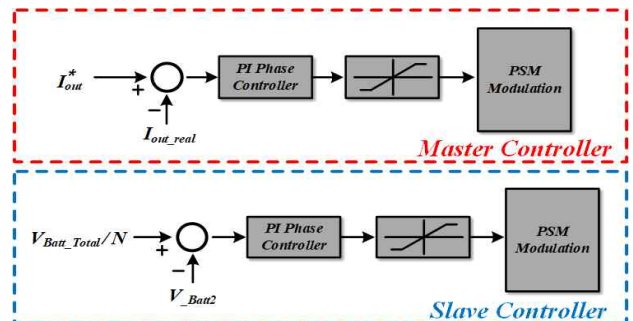
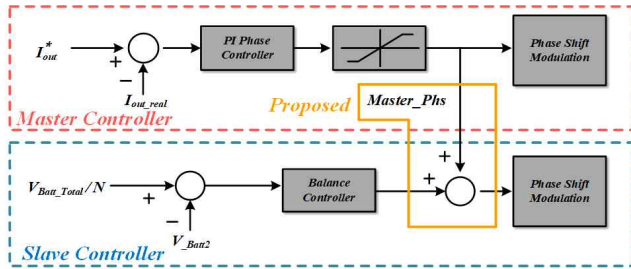


Fig. 2 Conventional series operation control block diagram of modular battery pack

### 2.3 제안하는 모듈러 배터리 팩 충·방전기의 직렬 운전 알고리즘

기존의 직렬 운전 기법에서 발생하는 모듈 간 전압 차이를 해소하기 위한 개선된 직렬 운전 알고리즘을 제안한다. Slave Module에서 생성된 기존의 위상값과 Master Module로부터 전달받은 위상값을 비교하여 Master Module의 위상값이 더 크면, Slave Module의 위상값을 더 크게 만들어주고 Master Module의 위상값이 작으면, Slave Module의 위상값을 작게 만들어 Master Module과 Slave Module의 위상값을 같게하여 PSM제어를 수행한다.



3 제안하는 모듈러 배터리 팩 직렬 운전 제어 블록도  
Fig. 3 Proposed series operation control block diagram of modular battery pack

### 3. 시뮬레이션

제안하는 직렬 운전 알고리즘을 검증하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1의 모듈러 배터리 팩 충·방전기의 주요 Parameter를 바탕으로 기존 직렬 운전 기법과 제안하는 직렬 운전 알고리즘을 비교하였다. 충·방전 시 전류 측정을 통해 충·방전 변환 안정성 또한 확인하였다.

표 1 모듈러 배터리 팩 충·방전기의 주요 Parameters  
Table 1 Main parameters of modular battery pack charging/discharging system

Parameter	Values	Parameter	Values	
Clamp Capacitor	120[μF]	TR.	Turn ratio	3.5 : 1
DC-Link Voltage	700[V]		Leakage inductance	6.8[μH]
System frequency	83.3[kHz]	Output current	80[A]	
Battery voltage	300[V]	Number of Modules	3[EA]	

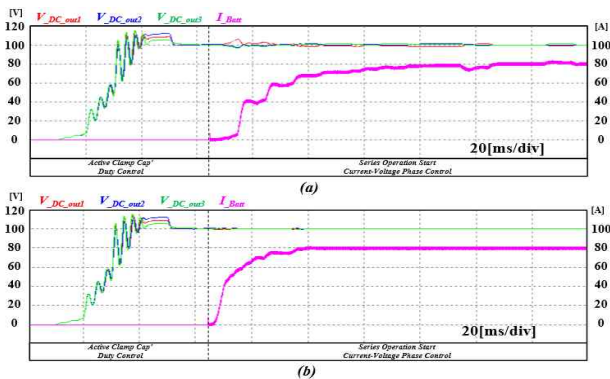


그림. 4 기존 운전 기법과 제안하는 운전 기법의 전압, 전류 파형

Fig. 4 Major waveform of Charging/discharging system with conventional series operation method

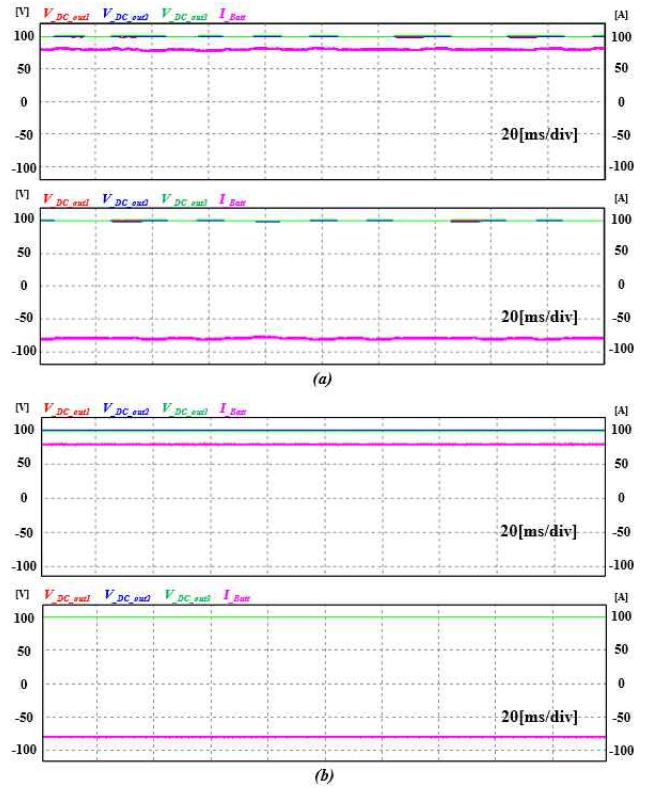


그림. 5 (a) 기존 운전 기법의 충·방전 파형, (b) 제안하는 운전 알고리즘의 충·방전 파형

Fig. 5 (a) Charging/discharging waveform of conventional operation method, (b) Charging/discharging waveform of proposed algorithm

그림 4-(a), (b)는 기존 운전 기법과 제안하는 운전 알고리즘의 릴레이(MC) 전단 출력전압, 전류 파형이다. 그림 5-(a)와 (b)는 각각 기존 운전 기법의 충·방전 파형과 제안하는 운전 알고리즘의 충·방전 파형을 나타낸다. 그림 4에서 릴레이(MC)가 불기 전, 스위치가 Duty제어를 수행하여 Active clamp capacitor의 전압을 일정하게 제어하기 때문에 과도 상태가 나타난 후, 직렬 운전을 수행한다. 기존 운전 기법과 제안하는 알고리즘의 파형 비교를 통해 전류 리플 감소와 전압 밸런싱이 안정적으로 이루어짐을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 모듈러 배터리 팩 충·방전기의 모듈 간 전압 밸런싱을 위한 알고리즘에 대해서 기술하였다. 제안하는 새로운 직렬 운전 알고리즘을 적용할 경우, 모듈 간 전압차를 줄여 열화, 소손을 방지할 수 있고 충·방전 시 안정적으로 동작함을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] Zhang Xuan, Huang Shenghua, Ning Guoyun, "A Three-phase Dual Active Bridge Bidirectional ZVS DC/DC Converter", 2012 International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering, pp. 139-148, 2012.