

# EV Li-Ion 배터리를 위한 배터리 모니터링 IC를 사용한 전하 균일 장치

김철호\*, 김문영\*, 김준호\*, 문건우\*, 임재환\*\*, 양정환\*\*

\* 한국과학기술원, \*\* SK에너지 기술원

## Charge Equalizer Using Battery Monitoring IC for Li-Ion Battery Strings in an Electric Vehicle

Chol-Ho Kim\*, Moon-young Kim\*, Jun-Ho Kim\*, Gun-Woo Moon\*,

Lim Jae-Hwan\*\*, and Yang Jeong-Hwan\*\*

\* Dept. of EE, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Republic of Korea

\*\* SK Energy Institute of Technology

### Abstract

본 논문에서는 전기 자동차에 사용되는 리튬 이온 배터리 전하 균일 장치를 제안한다. 제안하는 회로는 배터리 상태 정보를 얻어오는 모니터링 IC를 셀 정보 측정뿐 아니라 전하 균일 회로 제어에도 사용한다. 이러한 구조로 인하여 전하 균일 장치의 제어 및 전하 균일을 위한 배터리 상태 측정 회로가 간단해지며, 다수의 직렬 연결 배터리에서도 부피가 작고 가격이 저렴한 전하 균일 장치를 구현할 수 있다.

본 논문에서는 88개의 리튬 이온 배터리 셀을 위한 제안하는 전하 균일 장치의 구동 방법 및 실험을 보여준다. 이 실험을 통해 제안하는 장치는 간단한 제어 방법을 통해 우수한 전하 균일 특성을 나타냄을 증명한다.

### 1. 서론

최근 세계적으로 환경 규제가 심화 됨에 따라 고효율의 에너지 소비 및 청정 에너지를 사용하는 미래형 자동차 개발이 활발하다. 이 중 전기 자동차는 친환경 운송 수단으로 자동차 회사, 정부, 시장에서 큰 관심을 끌고 있다 [1]. 그러나 전기 자동차에서 사용되는 배터리는 수시로 충전과 방전을 수행하게 되고, 이 과정에서 배터리는 열화되거나 특성이 변화 되는 현상이 발생된다. 이와 같은 배터리 열화 또는 특성 변화는 직렬 연결 배터리 간의 배터리 전위 불균형을 만들어 내고, 좀 더 나아가 배터리 전체 구조물의 수명 단축에 크게 영향을 미치게 된다 [2]. 따라서 배터리 간의 전위 균형을 맞추는 별도의 보호 회로가 긴 수명을 가진 배터리 셀을 사용하기 위한 중요한 요인이 된다.

특히 리튬 이온 배터리를 사용하는 제품에서는 배터리 간의 전위를 균일하게 맞춰주는 전하 균일 회로가 더욱 중요해진다. 리튬 이온 배터리는 그 화학적 특성상 과충전과 과방전 상태를 견디지 못한다. 과충전의 경우 배터리의 폭발 위험을 가지게 되고, 과방전의 경우 배터리 화학적 성분 변화에 의해 수명이 단축되는 단점을 가지고 있다 [2]. 따라서 개별 배터리의 주의 깊은 배터리 전하 균일 회로 및 모니터링 장치가 필수적이다.

개별 셀 전하 균일 장치는 다음에 소개하는 여러 장치들이 연구 되어 있다 [3]. 이들 소개된 여러 회로들은 각 셀마다 개별로 연결된 DC-DC 컨버터를 가지고 있다. 개별 DC-DC 컨버터는 배터리 용량에 따라 달라질 수 있지만, 비교적 작은 용량에 간단한 제어 방법에 의해 구현된다. 하지만 이러한 전하 균일 장치는 전기 자동차나 같이 높은 구동 전압을 필요로 하여 다수의 배터리 셀을 직렬로 연결하는 제품에서는 그 크기와 가격 그리고 수 많은 제어 신호 때문에 사용이 어려워지고 있다.

이를 효과적으로 극복하기 위해, 제안하는 전하 균일 장치는 모듈 별로 나뉘어 동작하는 전하 균일 장치에 다중 기능을 가진 셀 전압 모니터링 IC를 사용한다. 기본 동작은 배터리 전체 에너지와 특정 배터리를 제어 스위치를 통해 연결한 뒤

에너지를 교환하는 방식이다. 이 때, 배터리 모니터링 IC는 셀 전압을 측정할 뿐 아니라, 전하 균일 장치 제어를 동시에 한다.

제안하는 장치는 다수의 셀이 공통으로 사용하는 하나의 DC-DC 컨버터와 각 셀마다 연결된 전류 제어 스위치, 다중 기능을 가진 모니터링 IC를 전하 균일 장치의 부피와 가격을 효과적으로 줄인다. 또한 다수의 배터리를 모듈 형식으로 연결하여, 각 모듈에 사용 되는 전자 소자의 전압, 전류 스트레스를 낮춘다. 이를 통해 제안하는 장치는 다수의 배터리 셀을 사용하는 제품에서도 그 구조가 단순하여, 저가격화와 작은 사이즈에 전하 균일 장치를 만들 수 있다. 또한 개별적인 셀 제어 방식을 통해 우수한 전하 균일 성능을 보여준다.

본 논문에서는 제안하는 장치의 우수성을 검증하기 위해, 88개의 리튬 이온 배터리 셀을 위한 전하 균일 장치의 구현 및 실험을 진행한다. 이 결과를 통해 제안하는 회로가 간단한 제어 방법을 통해 우수한 전하 균일 특성을 나타냄을 증명한다.

### 2. 제안하는 전하 균일 장치

제안하는 전하 균일 장치는 그림 1에서 보는 것과 같이 마스터 모듈과 슬레이브 모듈 두 개로 구성되어 있다. 마스터 모듈은 마이크로 컨트롤러를 통해 슬레이브를 제어하며, DC-DC 컨버터를 통해 전하균일 전류를 만든다. 슬레이브 모듈은 모니터링 IC와 셀 선택 스위치 블록, 모듈 스위치, 배터리로 구성되어 있다. 전체 배터리는 M개의 모듈로 구성되며, 각 모듈은 K개의 셀을 가진다. 또한 각 모듈은 하나의 모니터링 IC와 셀 선택 스위치 블록 및 하나의 모듈 스위치를 갖는다. 제안하는 회로에서 사용하는 모니터링 IC는 TI사의 LTC6802를 사용하며, 이 IC는 셀 전압 취득 및 셀 선택 스위치 제어를 담당한다.

그림 2는 배터리 셀의 모니터링 및 셀 선택 스위치의 제어

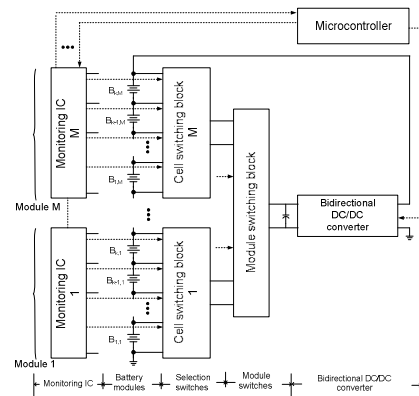


그림 1 제안하는 전하 균일 장치의 블록 다이어그램.

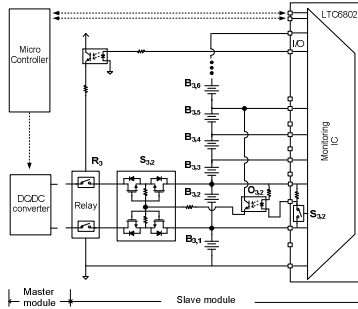


그림 2 모니터링 IC의 셀 모니터링 및 셀 제어 동작의 예.

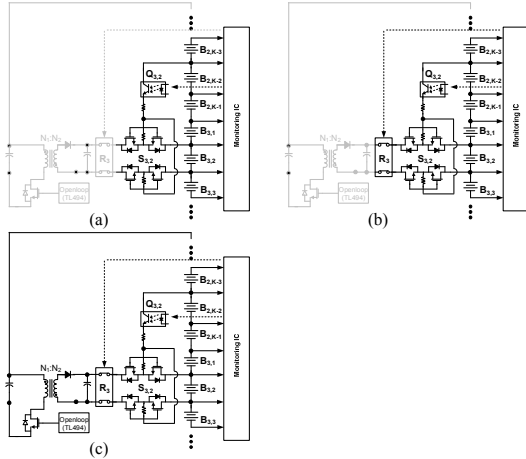


그림 3 제안하는 회로의 기본 동작 과정.  
(a) Mode 1. (b) Mode 2. (c) Mode 3.

동작 회로의 한 예이다. 모니터링 IC는 실시간으로 셀 전압 정보를 얻어 마이크로 프로세서와 통신하며, 모니터링 IC 내부 스위치 동작을 통해 전하 균일 DC-DC 컨버터와 배터리 사이에 연결된 셀 선택 스위치의 켜고 끄는 단순 제어 동작을 한다.

제안하는 회로의 동작 과정을 좀 더 쉽게 설명하기 위해 그림 3을 통해 나타내면 다음 3가지 모드와 같다. 이 때 3번째 모듈의 2번째 배터리,  $B_{3,2}$ , 가 저충전된 상태를 가정하였다.

- Mode 1: 처음으로 모니터링 IC가 3번째 모듈의 2번째 셀이 저충전된 상태를 인식하는 것으로 모드가 시작된다. 모니터링 IC는 저충전된 배터리에 해당하는 선택 스위치,  $S_{3,2}$ , 를 켜다.
- Mode 2: 앞서 단계에서 선택 스위치가 온전히 켜지게 되면, 해당 배터리 셀이 포함된 모듈 스위치,  $R_3$ , 또한 켜지게 된다. 이 때 DC-DC 컨버터와 배터리 사이에 전류 경로가 형성된다.
- Mode 3: 그림 3 (c)와 같이, 최종적으로 마이크로 프로세서는 DC-DC 컨버터를 동작시켜 해당 셀의 전하 균일 동작으로 수행하게 된다. 이러한 일련의 과정은 순차적으로 동작하게 되며, 전하 균일의 종료 과정 또한 DC-DC 컨버터를 종료 시키면서 단계적으로 이루어진다.

### 3. 실험 결과

제안하는 회로의 전하 균일 동작과 성능을 검증하기 위해 전기차에 실제 사용 되는 리튬 이온 배터리 88개 셀에 대한 전하 균일 회로를 개발하였다. 그림 4 (a)는 88개 셀에 대한 전하 균일 회로를 나타낸 것이며, 양방향 DC-DC 컨버터와 11개의 양방향 셀 스위치 블록, 11개의 모니터링 IC, LTC6802로 구성되어 있다. 이 회로는 BMS에 있는 마이크로프로세서의 제어 신호에 의해 DC-DC 컨버터가 동작을 수행하며, 셀 스위치의 구동은 마이크로 프로세서와 통신하는 모니터링 IC의 제어에 따른다.

그림 4 (b)는 앞서 설명한 제안하는 회로 88개 셀에 대한 개발 회로 중 8개 배터리를 위한 한 개의 슬레이브 모듈의 회로를 나타낸다 [60 mm x 110mm]. 88개 전체 회로는 앞서 보인 슬레이브 모듈 11개와 1개의 마스터 모듈로 그림 4 (c)와 같이 연결된다. 마스터 모듈은 한 개의 양방향 dc-dc 컨버터와 마이크로 프로세서를 포함하고 있으며, 슬레이브 모듈을 쏘는 형태이므로

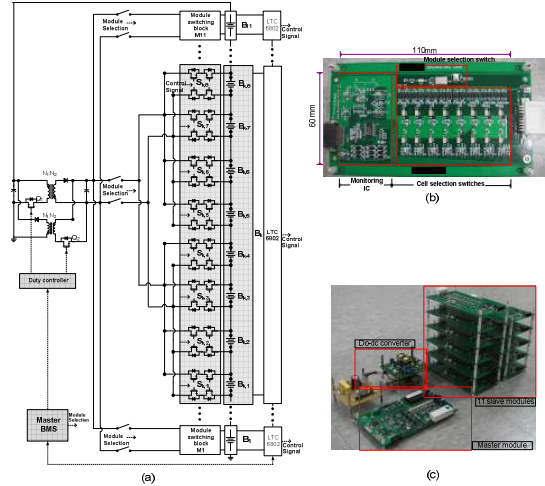


그림 4 (a) 88개 리튬 이온 배터리에 대한 prototype 회로.  
(b) 8개 배터리 셀에 대한 슬레이브 모듈 prototype 사진.  
(c) 88개 배터리 셀에 대한 전체 제안 회로 prototype 사진.

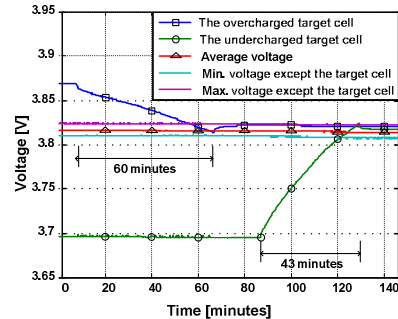


그림 5 88개 리튬 이온 배터리의 전하 균일 성능 실험 결과.

다수의 배터리 셀 연결에 용의하다.

그림 5는 실제 88개의 리튬이온 배터리의 전하 균일 성능을 보이고 있다. 이번 실험에서는 2개의 특정 셀을 과충전, 과방전 상태로 만들어 놓았다. 과방전의 경우 특정 배터리 셀을 평균 SOC (state of charge)보다 약 10% 이상 낮은 상태이며, 과충전의 경우 SOC 10% 이하의 높은 상태이다. 그림에서 보는 바와 같이 모두 한시간 이내에서 전하 균일이 정상적으로 이루어짐을 볼 수 있다.

### 4. 결론

이 논문에서는 다수의 배터리 셀의 전하 균일을 이루기 위한 개별 셀 전하 균일 장치를 설명하였다. 제안하는 장치는 모니터링 IC와 스위치 블록을 사용하여 다수의 배터리 셀에서 사용 시 전체 회로의 크기와 가격 면에서 큰 장점을 갖는다. 또한 단순한 구조임에도 전하 균일 성능은 개별 셀에 전하 균일 컨버터가 각각 연결된 것과 같은 우수한 성능을 보인다. 따라서 제안하는 전하 균일 장치는 전기 자동차와 같이 다수의 리튬 이온 배터리를 사용하는 제품에서 유용하게 사용될 수 있다.

본 연구는 SK 에너지의 지원에 의해 이루어진 것임

### 참고 문헌

- [1] A. Emadi, Y. J. Lee, and K. Rajashekara, "power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55. Pp. 2237-2245, June 2008..
- [2] Y. -S. Lee and M. -W. Cheng, "Intelligent Control battery equalization for series connected lithium-ion battery strings," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, pp. 1297-1307, Oct. 2005.
- [3] Y. -S. Lee and G. -T. Cheng, "Quasi-resonant zero-current-switching bidirectional converter for battery equalization applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 21, pp. 1213-1224, Sept. 2006.