

OBC 전원장치의 배터리 셀 밸런싱 충전 기법

김준모*, 엄태호*, 이정*, 신민호*, 원충연*
성균관대학교*

Battery cell-balancing method for on board charger of Electric vehicle

Jun Mo Kim*, Tae Ho Eom*, Jeong Lee*, Min Ho Shin*, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문에서는 OBC 전원장치를 이용하여 전기 자동차의 배터리를 충전함에 있어 배터리의 셀 밸런싱을 고려한 충전 기법에 대하여 기술한다. 기존의 OBC 전원장치의 경우 배터리의 온도를 무시한 충전기법이 사용되며, 온도특성에 따라 배터리 수명이 달라지는 문제점을 발생시킨다. 따라서 배터리의 셀 밸런싱을 통해 배터리의 온도를 일정하게 유지하여 배터리 수명 연장시킨다.

1. 서론

정부의 이산화탄소 규제에 따라 배터리를 이용한 전기 자동차의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 현재 상용화된 전기자동차의 단점으로 주행 가능거리가 짧다는 문제점이 있으며, 이는 배터리의 용량과 수명에 따라 달라진다. 현재 배터리의 수명과 이용률을 증가하기 위하여 기존의 단일 LDC에서 분산형 LDC 사용으로 배터리는 단일 스트링구조에서 분산형 스트링구조로 변경되어 셀 밸런싱이 포함된 충전기 구현이 가능하게 되었다. 기존 전기 자동차에 사용되는 OBC 전원장치의 경우 배터리 Module마다 동일하게 충전하기 때문에 배터리의 Module마다 수명이 달라진다. 중간 Module과 상·하단 Module의 온도차가 많이 발생하게 되며 상·하단 배터리 Module의 수명이 짧아지게 되며, 결과적으로 배터리 팩 주기가 짧아진다.

따라서 본 논문에서는 배터리 수명을 최대로 가져가기 위한 배터리 셀 밸런싱 충전 기법을 제안한다. 기존 OBC 전원장치는 배터리 팩을 충전하였지만, 본 논문에서 배터리 Module에 따라 충전기법이 달라진다. 배터리의 온도 및 SOC 특성을 BMS를 통해 센싱 받으며, 충전 전류의 크기 및 리플을 가변 제어하여 충전한다.

2. 본론

본 논문에서 제안하는 셀 밸런싱 기법은 그림 1에 나타내었다. 단상 계통 전원을 220[V_{rms}], 15[I_{max}]을 이용하며, PFC는 Bridgeless converter로 구성하였다. PFC는 입력 전압과 전류를 동상으로 맞추며, 부스트 역할을 한다. 따라서 PFC의 출력 전압은 311[V_{dc}]이상의 전압, 출력 전류는 최대 15[A] 까지 출력한다. OBC 전원장치의 경우 계통 전원과 배터리를 절연시켜 안전성을 확보하여야 한다. 따라서 Isolate converter인 Full Bridge converter를 사용하였으며, Full Bridge converter

의 출력 전압, 전류는 배터리 Module에 따라 달라진다.

리튬이온 배터리 8 cell을 한 Module로 되어있으며, HEV의 경우 5~6 Module, PHEV는 7~8 Module로 구성되어있다.

Full Bridge converter는 BMS를 통해 각 Module의 배터리 온도를 센싱 받는다. 배터리의 온도에 따라 내부 저항과 열화 특성이 다르기 때문에 적정온도에서 충·방전이 진행하도록 하며 특정 한 Module의 온도가 낮을 경우 출력 전류의 크기와 Full Bridge converter의 스위칭 주파수 가변을 통해 전류의 리플 크기를 조절한다.

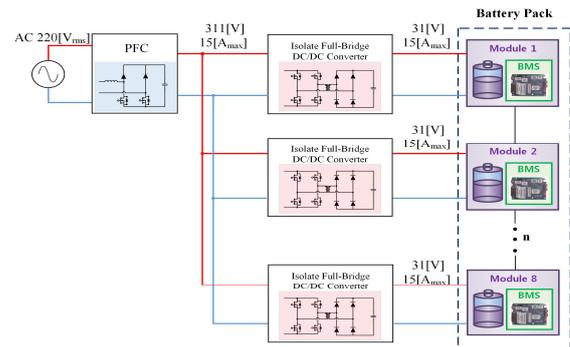


그림 1. 셀 밸런싱 충전기법

2.1 배터리 온도에 따라 변화하는 임피던스

전기 자동차의 리튬이온 배터리는 적정온도(25~35℃) 이상의 온도에서 충·방전 시 내부 임피던스 증가와 저항에 의한 손실이 증가하게 되며, 수명 단축으로 나타난다[1]. 10℃ 이하의 온도에서는 충·방전 시 배터리의 격자 구조 파손으로 지속 동작 시 배터리 파손 위험이 있다. 또한 충전 시 충전 전류 리플의 차이로 배터리의 온도도 달라진다[2]. 그림 2는 배터리 온도에 따라 내부 임피던스의 변화를 보여주며 내부 임피던스에 따라 배터리에서 발생하는 손실전력이 달라진다. 즉 배터리의 온도가 높을수록 내부 임피던스 증가하며 열화 속도가 증가한다.

표 1. 온도에 따른 배터리 내부 임피던스

배터리 온도[℃]	내부 임피던스[mΩ]
55	340
45	220
35	110
20	105
10	101

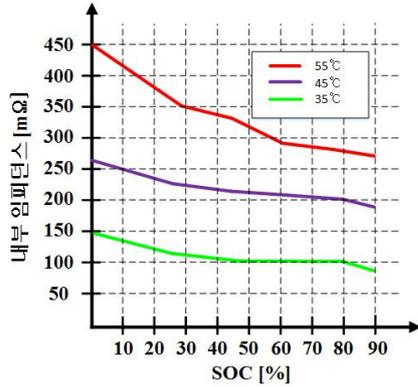


그림 2. 온도에 따른 내부 임피던스 변화

2.2 충전 전류 리플에 따른 배터리 온도 변화

리튬이온 배터리의 충전시 전류 리플은 배터리의 온도를 증가시키는 주요 방법이다. 전류 리플이 클수록 배터리 온도는 증가폭이 상승하며, 리플이 작을수록 배터리의 온도는 증가폭이 감소된다[3]. 따라서 본 논문에서는 Full Bridge converter의 스위칭 주파수를 가변하여 충전 전류 리플을 크기를 조절한다. 배터리의 온도가 낮을수록 스위칭 주파수를 낮춰 충전 전류 리플의 크기를 증가시킨다. 적정 온도인 배터리의 충전 전류는 10[A], 전류 리플의 크기는 0.5[A]로 충전하며, 배터리 Module의 온도가 5[°C] 차이가 발생할 때 마다 스위칭 주파수를 1[kHz] 변경 하여 충전 한다.

배터리의 온도에 따라 용량과 수명은 달라진다. 배터리 팩의 배터리 Module은 중간 배터리 Module의 온도가 상대적으로 낮은 온도로 떨어지는 현상이 나타나게 된다. 그러므로 배터리의 중간 Module의 온도를 상승시키기 위해 충전 전류의 리플을 가변하며, 전류 리플에 따른 배터리 수명 감소를 줄이기 위해 스위칭 주파수를 5[kHz] 범위에서 가변한다. 따라서 배터리 팩의 전체 온도는 일정하게 유지되며 수명을 최대로 이용할 수 있는 장점이 있다.

3. 시뮬레이션

표 2. 시뮬레이션 설계 사양

V_{in}	220 [Vrms]	L_{PFC}	0.5 [mH]
V_{PFC}	350 [V]	C_{PFC}	3,000[μF]
V_{Module}	31 [V]	$f_{s,PFC}$	15 [kHz]
$P_{battery_peak}$	3 [kW]	$f_{s,Full\ Bridge}$	25~30[kHz]

표 2의 설계 파라미터를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였으며, PFC동작 및 제어 확인, 배터리 셀 밸런싱 충전 기법의 방법을 검증하였다. 그림 3은 시뮬레이션 결과이며, 실험 전 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 검증하였다. 입력의 전압, 전류의 위상은 동상이며, OBC 전원장치의 IEEE519 기준을 통과하기 위한 전류 THD를 확인하였으며, 입력 전류 THD는 4.5%이다. Bridgeless의 커패시터의 전압은 350[V]이며, 전압 리플은 10[V]이다. Module 1, Module 2의 전압은 31[V]이며, Module 1의 전류는 10[A], 리플은 0.5[A]이다. Module 2의 전류는 12[A], 리플은 1[A]이다. 즉 배터리의 상태에 따라 출력 전류를 제어하여 배터리를 충전한다. PHEV는 총 8개의 배터리 Module로 구성되어 있으며, 각 Module이 담당하는 전력은 370[W]이다. 따라서 OBC 전원장치의 총 용량은 3[kW]이다.

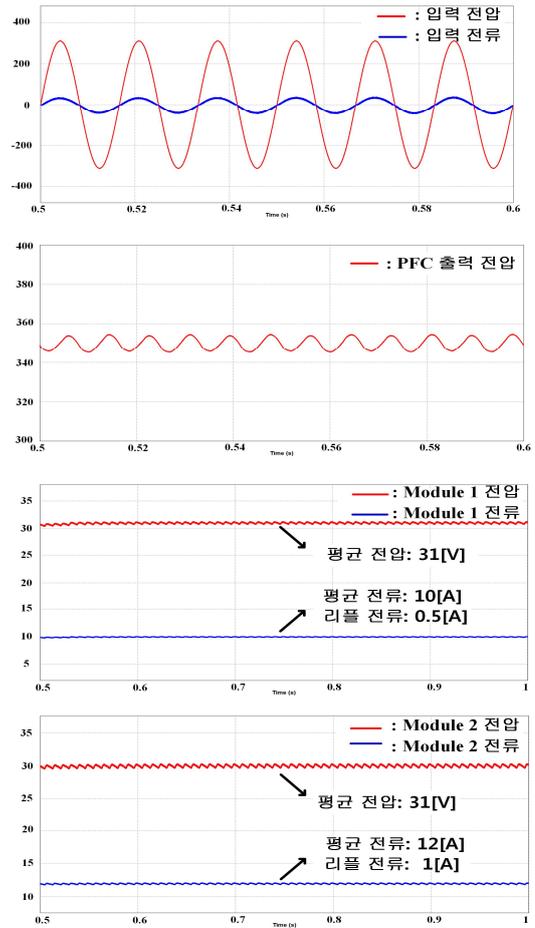


그림 3. 시뮬레이션 결과

4. 결론

본 논문에서는 BMS를 통해 각 배터리 Module의 온도를 측정하며, 측정된 온도에 따라 충전 전류의 크기 및 리플을 조절 한 셀 밸런싱 충전기법을 제안하였다. 셀 밸런싱을 통한 충전 기법은 배터리 수명을 최대로 이용할 수 있기 때문에 다양한 배터리 충전 시스템에 적용이 가능하며, 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Remmlinger, J., Buchholz, M., Meiler, M., Bernreuter, P., & Dietmayer, K. (2011). "State of health monitoring of lithium ion batteries in electric vehicles by on board internal resistance estimation," Journal of Power Sources, pp. 5357-5363, 2011.
- [2] Madeleine Ecker, Jochen B. Gerschler, Jan Vogel, Stefan Kabitz, Friedrich Hust, Philipp Dechent, Dirk Uwe Sauer, "Development of a lifetime prediction model for lithium ion batteries based on extended accelerated aging test data," Journal of Power Sources, pp. 248-257, 2012.
- [3] 박정인, "전기자동차의 주행환경 및 배터리 온도를 고려한 배터리 성능 테스트 알고리즘 개발 연구와 배터리 모델링", 국민대학교, 석사 학위 청구 논문, 2016