

LiPB의 내부 임피던스를 고려한 전기차 충전 시스템의 고효율 충전전략

김나리, 안정훈, 김동희, 이병국[†]
 성균관대학교 정보통신공학부

High Efficiency Charging Strategy for xEV Charging System Considering Internal Impedance Characteristics of Lithium-Ion Polymer Batteries

Nari Kim, Jung Hoon Ahn, Dong Hee Kim, and Byoung Kuk Lee[†]
 College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 전기자동차에 탑재되는 리튬 폴리머 배터리의 고효율 충전 전략을 제시하고, 그에 따른 탑재형 충전기의 효율을 분석한다. 내부 임피던스에 의한 충전 손실을 전혀 고려하지 않는 기존의 정전류 충전방식과 대조적으로, 제안하는 방법은 배터리 내부 임피던스를 고려함으로써 충전과정의 손실을 상당량 저감할 수 있다. 본 연구의 타당성은 배터리 실험결과를 통하여 증명한다.

1. 서론

최근 전기를 동력원으로 하는 친환경차량에 대한 관심이 급증하면서, 전기차 배터리 충전과정 손실을 저감시키기 위한 연구 또한 활발하게 진행되고 있다. 하지만 기존 연구는 충전기와 배터리로 구성되는 전체 충전 시스템 중 충전기의 효율 향상에 편중된 반면, 배터리에서 발생하는 손실 분석 및 저감을 위한 연구는 상대적으로 부족하다.

리튬 폴리머 배터리 (LiPB)의 내부 임피던스는 SoC (State of Charge)에 따라 그 값이 변화한다^[1]. 그런데 기존의 배터리 충전방식은 내부 임피던스의 변화와 상관없이 일정한 전류로 충전하기 때문에, 배터리 내부에서 발생하는 충전 손실의 최적화가 이루어지지 않는다. 하지만 배터리의 임피던스를 고려하여 충전전류를 가변하면 충전 시 배터리에서 발생하는 에너지 손실을 최소화할 수 있다. 최근 이러한 충전 과정에서의 에너지 손실을 낮추고 효율을 높이려는 연구가 진행되고 있다^[2].

본 논문에서는 배터리와 충전기 양쪽 모두를 고려한 충전 효율 개선방안을 연구하였다. 먼저, LiPB의 내부 임피던스 변화 특성을 바탕으로 배터리 셀의 충전 손실을 최소화하는 전류 프로파일을 계산하여 실험을 통해 효율성을 검증하였다. 그리고 그 결과를 배터리 팩과 전기자동차 탑재형 충전기에 적용하여, 전체 충전 시스템의 손실이 개선되는 것을 확인하였다.

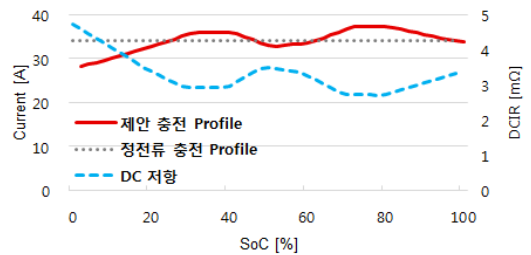
2. 배터리 고효율 충전전략

본 논문에서 사용하는 배터리의 사양은 표 1과 같다. 먼저 파라미터 테스트를 통해 배터리 셀의 내부 저항을 추출하고, 그 결과를 바탕으로 ΔSoC 2%마다 충전전류를 계산한다. 구간별 충전시간을 t_i 라 할 때, 구간 충전전류 I_i 는 식 (1)로

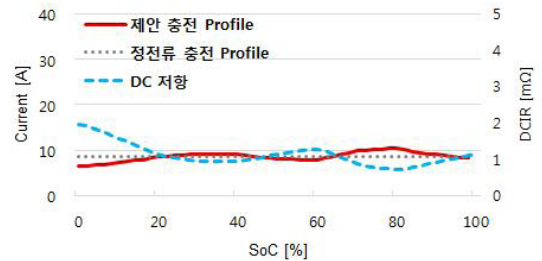
표 1 대상 배터리 사양

Table 1 Specification of the battery.

배터리	제품명	용량	전압범위
Cell	Kokam SLPB80216213	34Ah	3.0V 4.2V
Pack	90 cells 직렬연결		270V 378V



(a) 1시간 충전 프로파일



(b) 4시간 충전 프로파일

그림 1 제안하는 충전전략과 정전류 충전 프로파일 비교
 Fig. 1 Comparison of the charging current profiles.

계산된다. 총 충전시간과 SoC에 따른 내부 저항 값이 주어지면, Evolutionary Algorithm을 이용하여^[3] 전체 구간에 대한 식 (2)의 합이 최소가 되는 최적 전류 프로파일을 찾는다. 이 때, 충전 전류의 범위는 0.5C ~ 2C로 설정한다. 그림 1은 계산하여 얻은 최적 충전 프로파일을 나타낸다. 정전류 충전과 달리, 제안하는 충전 방식은 배터리 저항에 따라 충전 전류의 크기가 가변되는 것을 확인할 수 있다.

$$I_i = \frac{\text{capacity}}{t_i} \Delta\text{SOC} \quad (1)$$

$$E_{\text{Loss},i} = I_i^2 R t_i \quad (2)$$



그림 2 배터리 충방전 실험장비
Fig. 2 Experiment apparatus for batteries.

표 2 충전시간 별 제안 방식 및 정전류 방식의 충전 손실 비교
Table 2 Loss comparison of the charging methods.

충전방법	충전시간	손실 [Wh]	에너지 절약율 [%]
제안 방식	1시간	3.696	41.9
정전류 방식		6.362	
제안 방식	4시간	3.889	14.8
정전류 방식		4.564	

그림 2의 충방전기를 사용하여, 상온 (24℃ ~ 26℃)에서 제안하는 전류 프로파일의 용량 실험을 진행한다. 표 2는 제안하는 충전전략과 정전류 충전의 배터리 셀 손실을 비교한 용량 실험결과를 나타낸다. 손실은 CV (Constant Voltage)충전 전까지의 SoC에 대한 충방전 용량 차이로 계산한다. 1시간 충전일 때, 제안하는 고효율 충전전략은 정전류 충전일 때의 손실인 6.362Wh에 비해 41.9%만큼 개선된 것을 확인할 수 있다. 이때, 90개 셀의 특성이 모두 동일하고 셀 밸런싱이 이상적으로 이루어진다고 가정하면 배터리 팩의 에너지 절약율은 셀의 에너지 절약율과 동일하다.

3. 전기차 충전시스템

제안하는 충전전략을 탑재형 충전기에 적용하여, 전체 전기차 충전시스템의 효율을 살펴본다. 탑재형 충전기로는 기존의 정전류 충전방식을 기준으로 설계되었으며, 그림 3과 같이 PFC (Power Factor Correction)와 PSFB (Phase Shifted Full Bridge Converter)로 구성된다. 그림 4와 그림 5는 각각 실제 제작된 충전기 제작품과 실험을 통해 측정된 효율을 나타낸다.

표 3은 4시간동안 전기차를 충전했을 때 배터리 팩과 충전기의 충전 손실을 나타낸다. 비록 제안하는 방식이 기존 충전 방법보다 14.6Wh 더 큰 충전기 손실을 발생시키지만, 배터리를 포함한 전체 충전시스템에서는 약 43.3Wh만큼의 손실 개선을 보여준다.

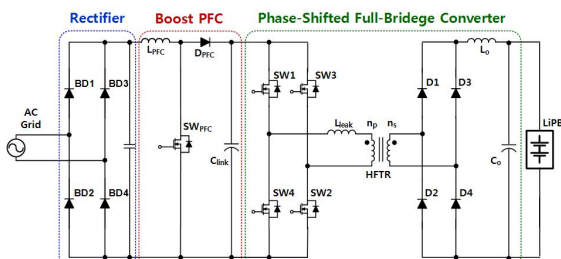


그림 3 PSFB형 탑재형 충전기 회로도
Fig. 3 Schematic of the PSFB-type on-board charger.



그림 4 탑재형 충전기 제작품
Fig. 4 Circuit of the PSFB-type on-board charger.

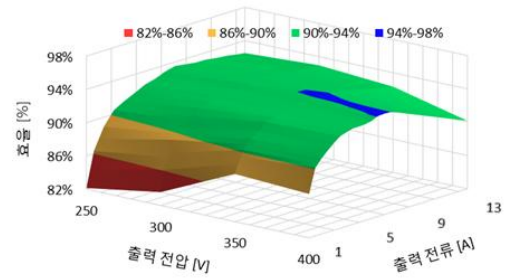


그림 5 탑재형 충전기의 효율 분포
Fig. 5 Efficiency of the on-board charger.

표 3 전기자동차 충전시스템 손실 비교
Table 3 Loss comparison for the xEV charging system.

충전방법	충전기 [Wh]	배터리 [Wh]	합계 [Wh]	에너지 절약율 [%]
제안 방식	724.9	348.3	1073.2	3.9%
정전류 방식	710.3	406.2	1116.5	

4. 결론

본 논문에서는 LiPB의 내부 임피던스를 고려한 충전전략이 전체 충전 시스템의 효율 향상에 기여하는 것을 확인하였다. 제안하는 충전전략은 셀을 대상으로 한 실험에서 1시간 및 4시간 충전 시 기존 정전류 충전 대비 각각 41.9%와 14.8%만큼 에너지를 절약하였다. 또한, 이를 전기자동차 충전시스템에 적용했을 때, 3.9%만큼 손실이 감소하는 것을 확인하였다. 배터리 결과에 비해 낮은 전체 충전시스템의 에너지 절약율은 향후 제안하는 충전 방식에 최적화된 충전기를 설계함으로써 향상시킬 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Kim, "A New Direct Internal Resistance and State of Charge Relationship for the Li Ion Battery Pulse Power Estimation", *International Conference on Performance Engineering*, pp. 1173-1173
- [2] Z. Chen, "Loss Minimization Based Charging Strategy for Lithium ion Battery", *Energy Conversion Congress and Exposition*, pp. 4306-4312, September 2014
- [3] K. Lee, "Optimal reactive power planning using evolutionary algorithms: a comparative study for evolutionary programming, evolutionary strategy, genetic algorithm, and linear programming," *Power Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 101-108, Feb 1998