

리튬이온 폐배터리의 효율적인 재활용을 위한 발전된 SOC 추정방법의 필요성 연구

이현준¹, 박종후¹, 김종훈²
숭실대학교¹, 조선대학교²

Research of the advanced SOC estimation method for the efficient recycling of the retired Lithium-ion battery

Hyun jun Lee¹, Joung hu Park¹, Jonghoon Kim²
Soongsil University¹, Chosun University²

ABSTRACT

본 논문에서는 리튬 이온(Lithium ion) 폐배터리 효율적인 재활용을 위한 발전된 SOC 추정방법의 필요성과 간단한 개념을 언급하고자 한다. 배터리는 노화되면 용량이 줄어들고 임피던스의 크기가 증가해 기존의 새 배터리의 SOC 추정방법으로는 정확한 추정이 어렵다. 따라서, 폐배터리를 안전하고 효율적으로 사용하기 위해서는 그에 맞는 SOC 추정방법이 필요하다. 따라서, 폐배터리의 간단한 개념을 설명하고, 동일한 배터리 등가회로모델과 EKF 알고리즘을 적용한 새 리튬 이온 셀과 노화된 리튬 이온셀의 SOC 추정결과를 비교하고 노화에 따른 배터리 파라미터값의 변화를 분석해봄으로서 발전된 SOC 추정방법의 필요성에 대해 논의해보고자 한다.

1. 서론

최근 2차 전지를 이용한 어플리케이션인 EV(Electric Vehicle), HEV(Hybrid Electric Vehicle), ESS(Energy Storage System)등에 관한 관심이 높아지고 활발히 사용되고 있다. 그러나, 2차 전지도 사용기한이 지나 수명이 다하면 폐기를 하게 되는데, 이는 환경을 오염시키고 막대한 국가적 손실을 유발시킨다. 따라서, 광물자원 수입을 줄이면서 2차 전지 산업 경쟁력을 높일 수 있는 대안으로 2차 전지를 재활용한 폐배터리 재활용 시장이 성장하고 있다. 특히, EV나 HEV에 쓰이는 lithium ion 배터리팩은 노화가 되어 새 배터리팩 대비 용량이 80%가 되면, 폐배터리팩으로 판단하고 새 배터리팩으로 교체해야 한다. EV나 HEV에서 생명을 다한 폐배터리팩들은 태양광이나 풍력 발전과 같은 신재생 에너지의 저장장치로 재활용을 할 수 있다.^{[1][2]}

폐배터리를 효율적이고 안전하게 재활용하기 위해서는 그에 맞는 BMS(Battery Management System) 구축이 필수적이다. BMS의 구성요소 중 하나인 SOC(State of Charge)는 가장 핵심적인 역할을 한다. 그러나, 배터리는 노화가 진행됨에 따라, 용량 및 임피던스, 출력특성 등의 변화로 기존의 새 배터리에 맞춘 SOC 추정방법으로는 정확한 추정이 어렵다. 그러므로 폐배터리의 정확한 SOC 추정을 위해서는 배터리의 전기적 등가회로모델링이나 알고리즘상의 보완이 반드시 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 폐배터리 재활용의 개념에 대해 간단히 언급하고, 동일한 조건의 배터리 등가회로모델과 EKF 알고리즘을 사용하여 새 배터리와 노화된 배터리의 SOC 추정을 해 보고 결과를 비교하고, 노화된 정도에 따른 배터리 여러 가지

모델 파라미터의 변화를 해봄으로서 발전된 SOC 추정방법의 필요성에 대해 언급해보고자 한다.

2. 본론

2.1 폐배터리의 재활용

폐배터리라고 판단하는 정확한 기준은 없으나, 보통 자동차용 Lithium ion 배터리의 경우 새 배터리 대비 용량이 70~80%로 감소했을때, 폐배터리라 판단하고 새 배터리로 교체를 한다. 그러나 이 폐배터리는 재충전이 가능하기 때문에, 태양광이나 풍력발전과 같은 grid 분야의 에너지 저장 장치, 즉 ESS 분야에 충분히 재활용이 가능하다. 그림 1은 자동차용 폐배터리의 ESS 분야로의 재활용에 관한 간단한 개념도이다. 여러개의 자동차용 폐배터리팩을 셀 단위로 해체한 후, screening을 통해 비슷한 용량, 임피던스, 출력특성을 가지는 셀별로 모아 팩으로 재구성하여 ESS 분야에 재활용하는 것이다.

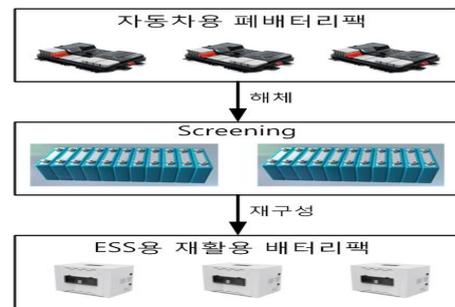
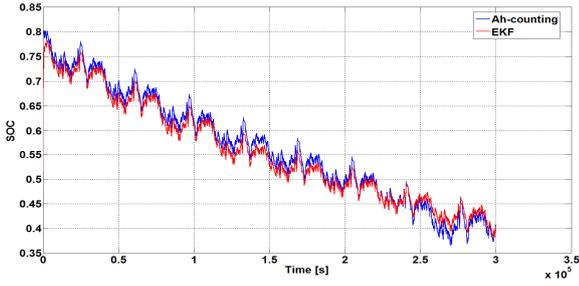


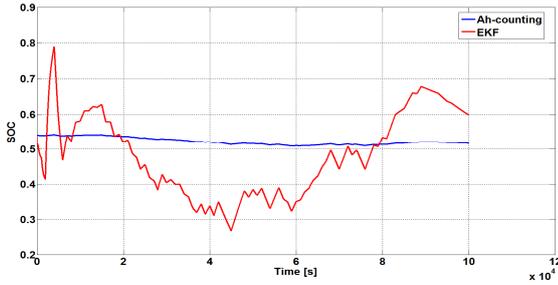
그림 1. 자동차용 폐배터리팩의 재활용 개념도

2.3 동일한 등가회로모델과 EKF 알고리즘을 적용한 SOC 추정결과 비교

그림 2는 1.3Ah 원통형 리튬 이온셀이 fresh한 상태에서 측정된 충/방전 전압데이터와 125일동안 노화시킨 상태에서 측정된 충/방전 데이터를 가지고, 동일한 조건의 배터리 등가회로모델과 EKF 알고리즘을 사용하여 SOC 추정된 결과를 비교한 것이다. 배터리 등가회로는 그림 3과 같이 1개의 RC ladder를 가지는 가장 기본적인 회로로 모델링하였다. 새 리튬 이온셀은 기본적인 등가회로모델과 EKF 알고리즘을 사용하여 추정해도 정확히 SOC 추정을 하지만, 노화된 리튬 이온셀은 전혀 추정하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 폐배터리의 정확한 SOC 추정을 위해서는 발전된 SOC 추정방법이 필요하다는 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 2. 동일한 등가회로모델과 EKF 알고리즘을 적용한 SOC 추정결과;
(a) 새 리튬-이온 배터리의 SOC 추정결과
(b) 노화된 리튬-이온 배터리의 SOC 추정결과

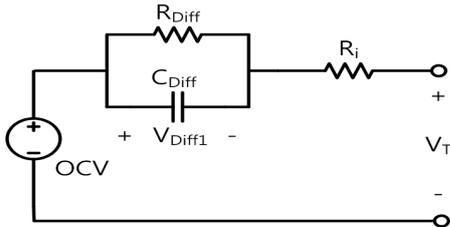
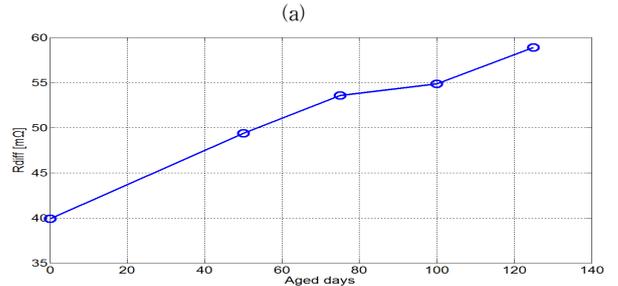
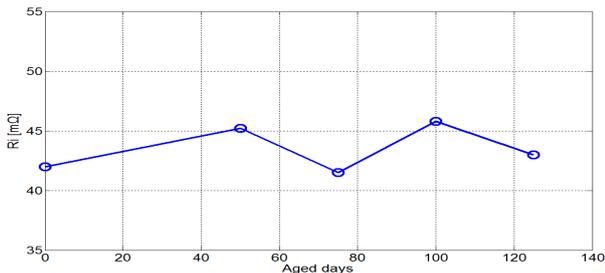


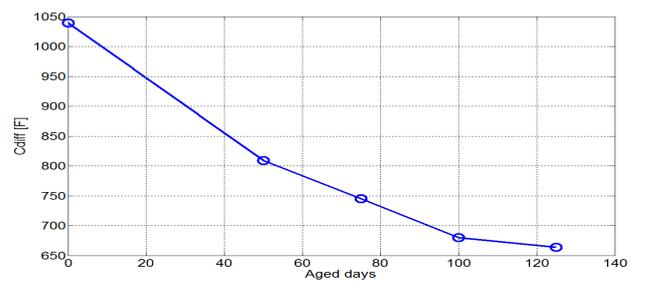
그림 3. 기본적인 배터리의 전기적 등가회로모델

2.2 노화에 따른 배터리 등가회로모델 파라미터의 변화

그림 3는 13Ah 원통형Lithium ion 셀을 새 배터리부터 50일, 75일, 100일, 125일 동안 노화시켰을 때 각각의 모델 파라미터값의 변화를 나타낸 것이다. 노화가 진행될수록 직렬저항 R_i 는 크기가 일정하게 증가하거나 감소하는 것이 아니라 40mΩ에서 47mΩ 사이에서 분포하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 전하이동 및 전기 이중층과 확산 부분을 나타내는 RC circuit의 R_{diff} 는 노화가 진행됨에 따라 점차 증가하고 C_{diff} 는 감소하는 경향을 확인 할 수 있는데, 여기서 C_{diff} 의 감소는 전체 배터리 용량의 감소를 나타내고 R_{diff} 의 증가는 전체 임피던스 크기의 증가를 나타낸다. 이러한 파라미터값들의 변화는 비선형적이기 때문에 직접적으로 SOC 추정알고리즘에 반영하기 어렵다. 따라서 배터리의 전기적 등가회로모델의 정교화를 통해 모델 에러를 줄이거나 파라미터값의 변화에 의해 발생하는 에러를 노이즈모델을 통해 보상해주는 기법등이 필요할 것이다.^{[2] [3]}



(b)



(c)

그림 3. 노화에 따른 용량 및 모델 파라미터값의 변화;
(a) 노화에 따른 R_i 의 변화, (b) 노화에 따른 R_{diff} 의 변화
(c) 노화에 따른 C_{diff} 의 변화

3. 결론

본 논문에서는 1.3Ah Lithium ion 셀의 fresh 조건 충/방전 데이터와 노화된 조건의 충/방전 데이터를 각각 동일한 배터리 등가회로모델과 EKF 알고리즘에 적용하여 SOC 추정결과를 비교해 보았다. 그 결과, 새 배터리는 정확히 SOC를 추정하고, 노화된 배터리는 전혀 SOC를 추정하지 못하는 것을 확인하였고, 발전된 SOC 추정방법의 필요성을 인식하였다. 그리고 노화실험을 통해 노화 정도에 따른 배터리 등가회로모델의 파라미터 값들의 변화를 분석해 봤는데, 그 결과 등가회로모델 파라미터 중 RC circuit의 R_{diff} 가 점차 증가하고, C_{diff} 가 점차 감소하는 것을 확인하였고, 이러한 변화가 SOC 추정에 큰 에러요소가 될수 있지만, 추정 알고리즘상에서 이 변화를 직접적으로 반영하기는 어렵기 때문에, 배터리의 등가회로모델 정교화를 통해 모델 에러를 줄이거나, 노이즈모델(Noise Model)과 데이터 리젝션(Data Rejection 기법을 통해 에러를 보상해주는 방법등이 필요할 것이다. 추후, 이 방법들을 적용하여 폐배터리에 맞는 발전된 SOC 추정실험을 진행할 것이다.

참고 문헌

- [1] Wen Chen Lih, Jieh Hwang Yen, Fa Hwa Shieh, Yu Min Liao, "Second Use of Retired Lithium ion Battery Packs from Electric Vehicles: Technological Challenges, Cost Analysis and Optimal Business Model", 2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control, 2012. 06, 381 384
- [2] 이현준, 박종후, 김종훈 "등가회로 모델링 구성에 따른 확장칼만필터(EKF) 기반 SOC 추정성능 비교분석", 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2014. 11, 56 57
- [3] 남완용 "축소차원 칼만 필터링을 이용한 리튬이온 배터리 SOC 추정 방법", 서울대학교 대학원 석사학위논문, 전기·컴퓨터 공학부, 2006