폐 리튬이온 배터리 셀의 재활용을 위한 스크리닝 방식 고찰

이춘구, 박종후, 이성준, 김종훈
숭실대학교, 조선대학교, 충남대학교

Study on a screening method of retired Lithium Ion battery cells for recycling

Chun Gu Lee, Joung Hu Park, Seong Jun Lee, Jong Hoon Kim,
Soongsil University, Chosun University, Chungnam National University

ABSTRACT

일반적으로 리튬이온은 배터리들은 각 배터리마다 고유의 전기화학적 특성을 갖고 있으며 이러한 특성들로 인해서 직렬 또는 병렬로 패키징 되어서 팩으로 사용 될 때 각 셀 간의 전압 불균형이 발생하게 된다. 셀 벨런싱 회로 같은 셀 간 불균형을 회복시켜주는 기능이 없다면 배터리 팩 내의 셀 간 전압 불균형은 시간이 지남에 따라 더 커지게 되고 이는 배터리 팩의 노화를 가속 시키거나 배터리 팩의 성능을 저하시키는 원인이 된다. 이는 폐 리튬이온 배터리 팩을 재활용하는데 있어서도 반드시 고려해야하는 사항으로서 재활용 팩의 사용시간에 영향을 끼칠 수 있다. 위의 문제를 극복하기 위해서는 배터리 팩을 만들기 전에 스크리닝을 통해서 전기화학적 성분이 유사한 배터리들을 팩으로 만드는 것이 필요하다. 일반적으로 프레시 배터리의 용량은 거의 비슷하기 때문에 프레시 배터리 용량은 프레시 배터리를 스크리닝 하기 위한 많은 기준들 중에서 가중치가 크지 않지만 폐 리튬이온 배터리들은 각 배터리마다 고유의 전기화학적 특성을 갖을 뿐만 아니라 각 배터리마다 상이한 배터리 용량을 갖고 있기 때문에 각 배터리의 용량에 프레시 배터리를 스크리닝 할 때보다 큰 가중치를 두어 스크리닝 할 필요가 있다. 본 논문에서는 같은 전류 프로파일로 노화된 배터리 팩 내의 셀들의 전기화학적 특성을 분석하여 폐배터리 셀들을 재활용하기 위한 스크리닝 방법에 대해서 고찰한다.

1. 서 론

배터리의 에너지 밀도 향상에 의해서 배터리를 이용하여 운용 되는 시스템들이 생겨나고 있다. 일반적으로 배터리를 사용하는 시스템의 경우 배터리의 노화 현상이나 고장 발생 시 동작이 원활이 되지 않기 때문에 주기적으로 배터리를 교체해야 할 필요가 있다. 이 중 배터리의 노화 상태를 State of Health(SOH)라고 하며 프레시 배터리 용량 대비 현재 배터리 용량이 80% 가 되면 SOH를 0이라고 하고 이를 보통 폐배터리 셀이라고 한다. 다시 말해서 배터리를 사용하게 되면 반드시 폐배터리 셀이 발생하게 된다. 전기 자동차의 보급과 함께 사용되는 배터리 수가 크게 증가하였으며 사용되는 배터리 수가 늘어나면 필연적으로 폐배터리 셀 또한 늘어 날 것을 의미한다. 사용되는 배터리의 수가 앞으로 더욱 빠르게 증가 할 것이라고 예측 되고 있기 때문에 이와 같이 늘어날 폐배터리 셀을 재활용 하는 것이 이슈로 떠오르고 있다.

기존의 배터리를 재활용 하는 방법은 폐배터리 셀들을 분해하여 금속을 추출하는 방식으로 이와 같은 재활용 방법은 실제 배터리를 만들기 위해 사용되는 재료와 자원 중 약 30%만을 재활용 할 수 있기 때문에 효과적인 배터리 재활용 방법이라고 할 수 없다. 그래서 이러한 재활용 방법이 아닌 폐배터리를 새로운 시스템에 도입하는 재활용 방법이 주목 받고 있다.

기존 시스템에서 교체 된 폐배터리 셀이라고 하더라도 배터리로 사용 할 수 없다는 것을 의미하지 않는다. 단지 배터리의 성능이 저하되어 기존의 시스템에서 사용되기 힘든 것이기 때문에 폐배터리 셀들은 기존의 시스템이 아닌 저하된 성능으로도 활용 될 수 있는 다른 시스템에서 재활용 될 수 있다. 다만 기존의 시스템에서 사용 되었던 배터리들을 재활용하기 때문에 셀 간의 용량 차이 및 셀들의 전기화학적 특성이 프레시 배터리에 비하여 큰 차이가 있을 것이 예상되므로 이것을 고려하여 재활용 배터리 팩의 성능을 최대한으로 만들기 위해서는 재활용 할 셀들을 스크리닝을 통해서 전기화학적 차이와 용량의 차이를 최소화 하여 재활용 배터리 팩을 만들 필요가 있다.

본 논문에서는 가속 노화 실험이 아닌 실사용을 통해서 노화된 LG 18650 B3 폐배터리 셀들을 전기화학적 특성과 용량을 기준으로 분석하여 폐배터리 셀들을 재활용하기 위한 스크리닝 방법에 대해서 고찰한다.[1 2]

2. 본 문

2.1 폐배터리 셀들의 전기화학적 특성 분석

셀은 그림 1과 같은 배터리 등가 저항 모델을 통하여 분석하였다. 폐배터 팩 내 배터리 셀들은 총 8개이고 각 셀의 이름은 편의상 A 1, A 2,…, A 8 라고 하겠다.

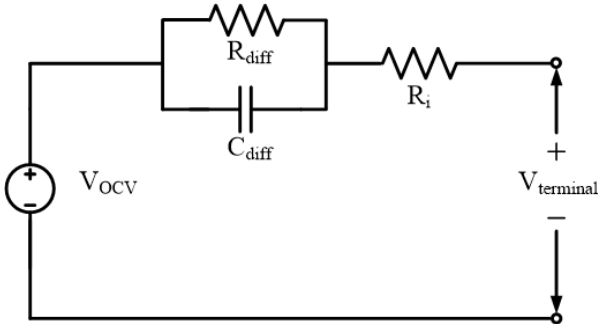

그림 1 배터리 등가 저항 모델

2.1.1 배터리팩 내 셀들의 용량 분석

폐배터리 셀의 용량은 CV mode 충전 후 CC mode 방전을 이용하여 방전용량을 측정하였다. 아래의 그림 2는 각 셀들의 용량 그래프이다. 기존의 SOH 정의 기준으로 SOH가 0 보다 작은 셀들이 있어서 각 셀의 용량은 프레시 용량 대비 현재 용량 비를 %로 표기하였다. 가속 노화 실험을 통해서가 아니라 일반적인 사용을 통해서 자연 노화된 폐배터리 셀들의 용량이 상이한 것을 확인 할 수 있다.

이를 보았을 때 재활용 하려는 폐배터리 팩을 그대로 사용하게 된다면 배터리 성능이 크게 저하 된 상태로 사용 될 것임을 알 수 있다. 즉 폐배터리 팩을 분해 한 후 동일 팩 내의 폐배터리 셀들을 스크리닝을 통해서 분류 하여 다시 패키징하는 과정이 폐배터리 팩을 재활용하기 위해서 필요하다.

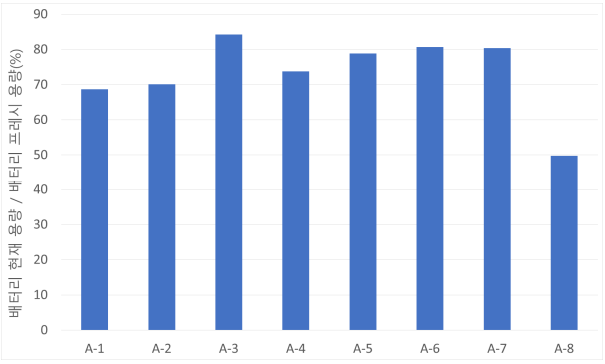

그림 2 폐배터리 셀 용량(%)

2.1.2 배터리팩 내 셀들의 전기화학적 파라미터 분석

폐배터리 등가 저항 모델에서의 파라미터 R_i, R_{diff}, C_{diff}는 상온 25℃에서 실험을 통해 구하였으며 SOC 5%를 기준으로 각 파라미터를 측정하였다.

그림 3은 폐배터리 셀의 SOC 구간에 따른 R_i 값이다. SOC 구간에 따른 선형성은 보이지 않는다. 따라서 특정 SOC구간에서의 R_i만 스크리닝을 위해서 사용한다면 정확한 스크리닝이 되지 않을 것이다. 위에서 구한 셀들의 용량 분석 결과를 이용 예상 되어지는 SOC 사용 구간에서의 결과의 가중치를 두는 방법을 이용하여 스크리닝에 반영 하는 것이 효과적일 수 있다.[3]

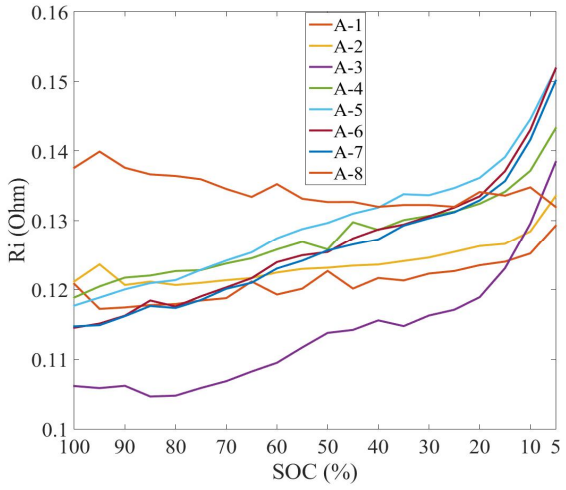

그림 3 폐배터리 셀 R_i(Ω)

그림 4는 동일 팩 내 셀의 SOC 구간에 따른 C_{diff} 값이다. 앞의 R_i와 마찬가지로 SOC 구간에 따른 선형성은 보이지 않는다. 하지만 SOC 구간에 따라서 가변되는 C_{diff} 값의 경향성은 확인 할 수 있다. 특히 SOC 10% 구간에서의 C_{diff} 크기를 기준으로 상위 4개 셀인 A 5, A 6, A 7, A 3과 하위 4개 셀인 A 2, A 4, A 8, A 1 두 그룹으로 묶을 수 있는데 이는 그림 2의 폐배터리 셀들을 용량 기준으로 상위 배터리 4개와 하위 배터리 4개의 두 그룹으로 묶는 것과 같은 결과를 갖는다. 하지만 C_{diff} 값과 각 셀 용량이 값이 서로 비례하지는 않기 때문에 C_{diff} 값이 폐배터리 용량을 반영한다고는 할 수는 없다. 그렇지만 C_{diff}가 배터리 용량과 관련 있는 팩터라고 판단되기 때문에 C_{diff} 값에 가중치를 주어 폐배터리 셀들을 스크리닝 할 필요가 있다.

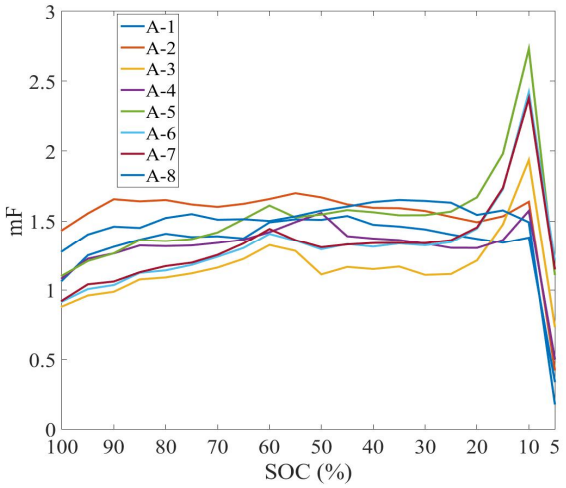

그림 4 폐배터리 셀 C_{diff}(Ω)

그림 5는 폐배터리 셀의 SOC 구간에 따른 R_{diff} 값이다. 앞의 C_{diff}와 마찬가지로 SOC 구간에 따라서 가변되는 R_{diff} 값의 선형성은 확인되지 않지만 경향성은 확인 할 수 있다. 특히 SOC 5% 구간에서 측정한 R_{diff} 크기를 기준으로 내림차순으로 셀을 나열하면 A 8, A 1, A 2, A 4, A 5, A 7, A 6, A 3 순인데 이는 폐배터리 셀들의 용량을 오름차순으로 정리 하였을 때의 순서와 같다. 위의 실험 결과를 보았을 때 SOC 5% 구간에서 측정한 R_{diff}의 값이 폐배터리 셀들의 용량과 반비례 하는 관계인 것을 알 수 있다. 하지만 SOC 5% 구간에서 측정한 R_{diff}의 값의 편차가 폐배터리 셀의 용량편차와 같지는 않기 때문에 이 팩터를 기준으로 폐배터리 셀의 용량을 추정 할 수는 없다. 그렇지만 SOC 10% 구간에서 측정한 C_{diff}의 값처럼 용량과 관련 있는 팩터라고 판단되기 때문에 다른 팩터들 보다 큰 가중치를 주어서 스크리닝에 사용 할 필요가 있다.

일반적으로 프레시 배터리 셀들을 스크리닝 할 때에는 등가 저항 모델에서의 파라미터 R_i, R_{diff}, C_{diff}의 값들 중 배터리가 사용되는 SOC 구간의 파라미터 값에 더 큰 가중치를 두어 스크리닝 하게 되는데 폐배터리 셀들의 경우 위의 그림 3과 그림 4에서 확인 한 것 같이 low SOC 구간에서의 파라미터 값이 배터리의 용량과 관계가 있다면 기존 프레시 배터리 셀들을 스크리닝하는 방식으로는 폐배터리를 효과적으로 스크리닝 할 수 없을 것이다. 그러므로 폐배터리 셀들을 스크리닝 하기 위해서는 폐배터리에 특징을 반영하는 팩터에 가중치를 두는 방법 등

이 필요해 보인다.

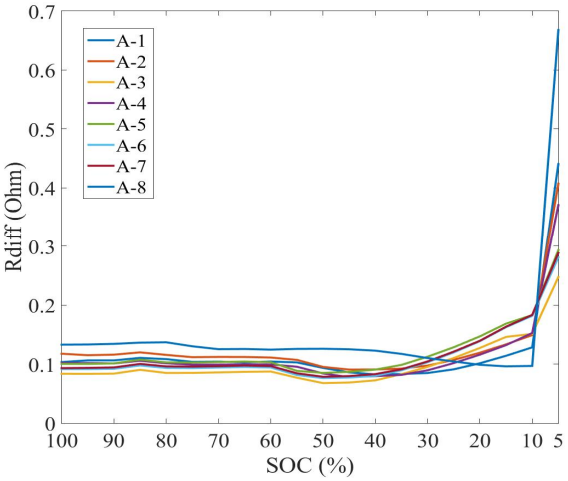

그림 5 폐배터리 셀 $R_{diff}(\Omega)$

3. 결 론

본 논문에서는 같은 전류 프로파일로 노화된 폐배터리 셀들의 전기화학적 특성을 분석하여 폐배터리 셀들을 재활용하기 위한 스크리닝 방법에 대해서 고찰하였다. 전기화학적 특성을 분석하기 위해서 배터리 등가 저항 모델을 사용 하였고 실험을 통해서 각 파라미터 값을 SOC 구간마다 추출 하여 분석했다. 셀들의 파라미터 결과 값들 중 선형성을 갖는 값을 찾기는 힘들었으나 R_{diff}, C_{diff} 파라미터의 경우는 구간마다의 크기를 분석 하였을 때 경향성을 확인 할 수 있었다. 특히 SOC 10%에서 측정 한 C_{diff} 값과 SOC 5%에서의 R_{diff} 값은 배터리의 용량과도 관계가 있는 것으로 보이기 때문에 이를 바탕으로 폐배터리 셀들을 효과적으로 스크리닝 할 수 있을 것으로 기대된다.

다음 연구에서는 이번 연구에서 확인 된 폐배터리 셀들의 특징이 다른 폐배터리 팩의 배터리 셀들에서도 나타나는지 확인 해야겠고 이를 바탕으로 하여 파라미터에 다양한 가중치를 두고 직접 실험하여 폐배터리 셀들을 스크리닝하여 재활용 배터리 팩을 구성할 때 향상 되는 성능을 실험 결과를 통해서 증명해야할 것이다.

이 논문은 한화테크윈의 연구비 지원에 의하여 연구되었슴

참 고 문 헌

1] 김종훈, 신종원, 전창윤, 김우섭, 조보형 “최적의 전압 밸런싱을 위한 배터리 스크리닝의 방법 연구”, 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2009. 11, 262 264

[2] 이평연, 이동윤, 박진형, 김종훈, 임철우. "고출력 어플리케이션의 배터리 팩에 적합한 셀간 편차를 이용한 스크리닝 기법." 전력전자학술대회논문집, 2017. 11, 157 158

[3] 이동윤, 이평연, 김종훈, 임철우. "배터리 팩을 위한 고출력, 고용량 리튬이온 18650 셀 스크리닝 비교 분석." 전력전자학술대회논문집, 2017. 11, 161 162