

사용 후 배터리 재사용 및 재활용 신속 진단을 위한 분류 알고리즘 설계 방안 연구

김보민*, 고은진*, 한동호*, 김종훈*
 충남대학교 에너지저장변환연구실*

A Study on the Design Method of Classification Algorithm for Rapid Diagnosis of Reuse and Recycling of Used Battery

Bomin Kim*, Eunjin Ko*, Dongho Han*, Jonghoon Kim*
 Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University*

ABSTRACT

본 논문은 사용 후 배터리의 재활용 및 재사용을 위한 새로운 분류 방법을 제안합니다. 이를 위해 배터리의 내부적 상태를 나타내는 지표로 VIEDTD(Voltage interval of equal discharging time difference)를 도출하였으며, 배터리의 이상 및 정상 상태를 구분하였다. 제안된 방법을 통해 배터리 팩 내의 셀 간 전압 편차를 분석하여 재사용 및 재활용 분류 방법 가능성을 확인하였다.

1. 서론

최근 지구 온난화에 대응하여 전 세계적으로 내연기관을 사용하는 차량에서 전기 자동차(Electric vehicle; EV)의 수가 증가하고 있다. 전력 저장 기술의 발전으로 인해 리튬이온 배터리(Lithium-iron-battery; LIB) 공급량이 증가하고 있으며, 이에 따라 폐기된 배터리가 증가로 폐배터리 처리와 재사용 및 재활용 방법에 대한 심층적인 연구가 진행되고 있다^[1]. 배터리의 재사용을 위한 응용을 결정하기 위해서는 다른 용도로 배터리를 분류하고, 재활용에 비정상적인 상태의 배터리를 분류하는 기술을 개발하는 것이 중요하다. 배터리의 현재 상태를 분류하기 위해서는 배터리 내부적 특성을 나타낼 수 있는 지표 기반으로 정상 및 비정상 범주를 설정하는 것이 필요하다^[2]. 따라서, 본 논문에서는 사용 후 배터리 방전 내 배터리 내부 화학적, 전기적 특성을 보여줄 수 있는 지표로 VIEDTD (Voltage interval of equal discharging time difference)를 선정하였으며, 사용 후 배터리를 재사용과 재활용으로 분류 알고리즘 분석 방안을 제안한다. 제안한 분류 방법을 통해 배터리 셀 전압 편차를 비교하여 평가하였다.

2. 배터리 팩 방전 데이터 수집 및 분석

2.1 배터리 팩 방전 데이터 수집

재사용을 위한 사용 후 배터리가 입고되는 시점을 가정한 다량의 배터리 팩 방전데이터가 확보된다. 배터리 팩이 입고된 이후 Fully discharge test를 진행하며, Cut-off 하한 전압까지 CC(Constant-current)를 기반으로 완전 방전한다. 그림 1(a)에서 볼 수 있듯이, 다수의 배터리 팩 방전 데이터를 기반으로 분석을 진행하며 배터리 팩의 내부 화학적 상태에 따라 discharge curve는 상이하다. 또한 배터리 팩의 분석을

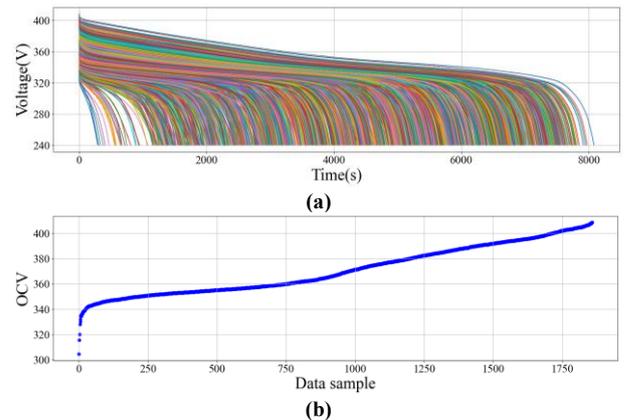


그림 1 상이한 OCV에 따른 배터리 팩 방전 데이터 분석 (a) 전체 배터리 팩 방전 데이터 (b) 배터리 팩의 방전 시작 시점에 따른 OCV 도출
 Fig. 1 Analysis of battery pack discharging data according to different OCV (a) total battery pack discharge data (b) derivation of OCV according to different start discharge point

위해 현재 충전 상태와 밀접한 연관성이 있는 OCV(Open circuit voltage)가 도출된다. 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이 방전이 시작된 시점의 OCV는 각 배터리 팩마다 상이하므로 정의되는 배터리 팩의 분석을 위해서 동일한 OCV값이 도출된 배터리 팩 그룹을 분류한다.

2.2 VIEDTD 기반 이상 Case 분류

VIEDTD는 방전 전류가 고정되어 있는 CC 방전에서 일정한 시간 간격에 따른 전압 강하량을 의미하는 지표이며, 배터리의 내부 화학적 상태를 나타내는 지표이다. 셀 간 전압 편차가 입고 당시부터 심화되어 있는 이상 배터리 팩을 정의하기 위해 초기 상태를 고려하여 방전 후 100초 지점의 VIEDTD와 1000초 지점의 VIEDTD가 비교 분석된다. 그림 2는 각 OCV에 따른 전체 배터리 팩의 전압을 나타낸다. 군집 내 데이터 개수가 충분한 378V, 382V 에서의 OCV에 속한 배터리 팩 전압 데이터를 선정하였으며, 정상으로 분류되는 Case 1과 이상으로 분류되는 Case2를 대상으로 비교 분석을 실시한다. 그림 3은 각 OCV에 따른 VIEDTD의 분석 결과를 나타낸다. 그림 3(a)와 (b)는 각각 378V의 OCV 군집에서 100초와 1000초 지점에서 도출된 VIEDTD를 나타낸다. 배터리 팩의 직렬 및 병렬 조합을 구성하는 개별 셀 전압 편차가 심화되면서 전체 배터리 팩 전압 곡선에 기울기 변화 현상이 나타난다.

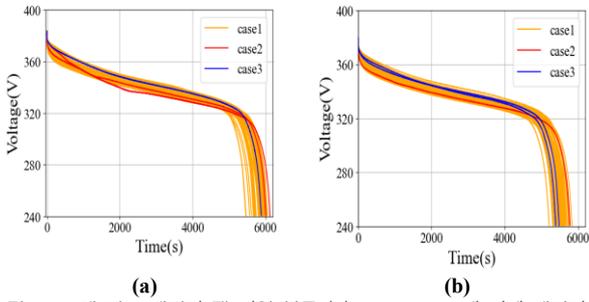


그림 2 OCV에 따른 배터리 팩 전압 분류 (a) OCV : 382V 내 전체 배터리 팩 전압, (b) OCV : 378V 내 전체 배터리 팩 전압

Fig. 2 Battery pack voltage classification according to start point of OCV (a) total battery pack voltage at 382V OCV (c) total battery pack voltage at 378V OCV

Sliding Window 형태로 VIEDTD 도출 결과, 378V의 OCV 군집의 경우 1000초에서 도출된 VIEDTD 값이 비정상적으로 증가하는 것을 확인하였다. 그림 3(c)와 (d)는 382V의 OCV 군집에서 도출된 VIEDTD 결과를 나타낸다. 상이한 배터리의 내부 전기화학적 특성에 따라 해당 군집의 경우 방전 시작 직후 100초 지점에서의 VIEDTD가 정상 배터리 팩과 비교하였을 때 비정상적으로 높게 검출되는 것을 확인하였다. 정상 군집으로 분류되는 Case 3의 경우 전체 군집 데이터 내에서 VIEDTD의 도출 지점과 상관없이 안정적인 중간값을 유지하며 이는 실제 배터리 팩의 셀 간 편차를 분석함으로써 검증된다.

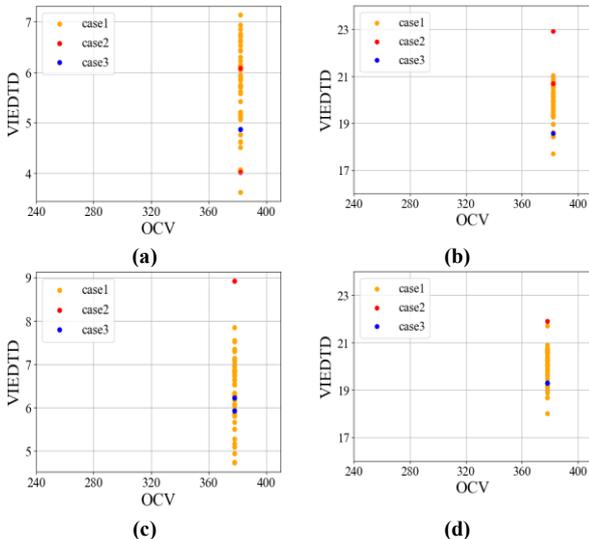


그림 3 OCV에 따른 배터리 팩 별 VIEDTD 분석 (a) OCV 382V, 100초 도출 (b) OCV 382V, 1000초 도출 (c) OCV 378V, 100초 도출 (d) OCV 378V, 1000초 도출

Fig. 3 VIEDTD Analysis of each battery pack at different OCV (a) derive at 382V OCV and 100 sec (b) derive at 382V OCV and 1000 sec (c) derive at 378V OCV and 100 sec (d) derive at 378V OCV and 1000 sec

3. VIEDTD 분석에 따른 이상 배터리 팩 검출

3.1 이상 배터리 팩 검출 결과

그림 4는 비정상적으로 높게 검출된 VIEDTD 분석 결과에

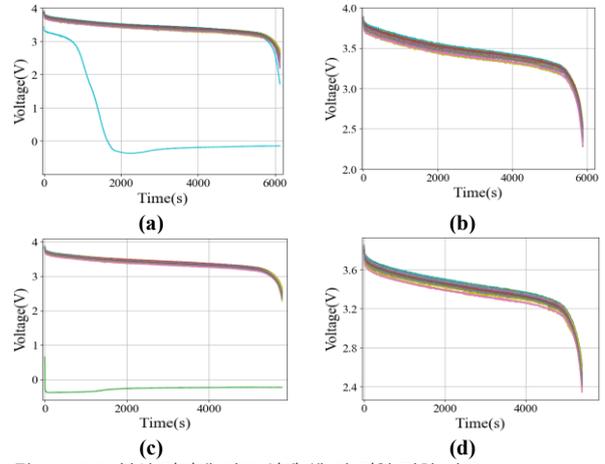


그림 4 VIEDTD 분석 결과에 따른 실제 셀 간 전압 편차 비교

이상 배터리 팩 내 셀 간 편차 (a) OCV : 378V (c) OCV : 382V 정상 배터리 팩 내 셀 간 편차 (b) OCV : 378V (d) OCV : 382V

Fig. 4 Comparison of actual cell voltage deviations based on VIEDTD analysis results : cell voltage deviations of abnormal battery pack (a) OCV : 378V (c) OCV : 382V and normal battery pack (b) OCV : 378V (d) OCV : 382V

따른 실제 해당 배터리 팩의 셀 간 전압 편차 비교 결과를 나타낸다. 그림 4(a)와 (b)는 각각 382V의 OCV에서 VIEDTD 값이 높게 검출된 이상 배터리 팩과 정상 배터리 팩으로 분류된 실제 셀 간 전압 편차 결과를 나타낸다. 비교 결과, 직병렬 조합을 구성하는 셀 중 특정 셀이 탈락하는 현상을 나타내며 이는 입고된 배터리 팩을 재사용할 경우 화재 및 폭발 사고의 간접적인 원인이 될 수 있다. 또한 그림 4(c)와 (d)에서 볼 수 있듯이 378V의 OCV에서 비정상적으로 높게 검출된 VIEDTD에 해당하는 배터리 팩 또한 특정 셀이 탈락하는 현상이 발생했음을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 재사용 및 재활용을 목적으로 사용 중 입고된 배터리 팩 군집 내 이상 및 정상 분류를 위한 분석을 진행하였다. 이상 및 정상 배터리 팩 분류를 위한 인자로 VIEDTD를 선정하였으며, 동일한 조건 내의 분석을 위해 OCV 군집 별로 VIEDTD를 도출하였다. Sliding Window 형태로 VIEDTD를 도출하기 위해 100초와 1000초에서의 값을 도출하였으며, 실제 배터리 팩 내 셀 간 전압 편차를 제시하였다.

본 논문은 한국전력연구원(R23X005-03, ESS향 물리모델-AI 결합 클라우드 기반 BMS 요소기술 개발)과 현대자동차(모델 융합형 기술 기반 배터리 상태 진단 기술 고도화 개발)과 GS건설주의 지원을 받아 에너지메터리얼즈주의 방전데이터를 활용하여 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Zhang, Xiaoxiao, et al. "Toward sustainable and systematic recycling of spent rechargeable batteries." *Chemical Society Reviews* 47.19 (2018): 7239-7302.
- [2] Ge, Ming-Feng, et al. "A review on state of health estimations and remaining useful life prognostics of lithium-ion batteries." *Measurement* 174 (2021): 109057.