

리튬 이온 배터리의 자가 방전에 따른 내부 화학적 상태를 고려한 3-D K-means Clustering 스크리닝 기법 연구

한동호*, 권상욱*, 김승우*, 임철우**, 김종훈*
 충남대학교 전기공학과*, 한국과학기술원 인공위성연구센터**

3-D K-means clustering method considering internal chemical state variation of self-discharge of Li-ion battery

Dongho Han*, Sanguk Kwon*, Seungwoo Kim*, Cheolwoo Lim**, Jonghoon Kim*
 Chungnam National University*, KAIST Satellite Technology Research Center**

ABSTRACT

리튬 이온 배터리가 전기 자동차 및 다양한 어플리케이션에 적용됨에 따라 폐배터리의 수요 또한 증가하고 있다. 내부 화학적 상태가 상이한 배터리의 전기적 특성실험을 통해 파라미터를 선정할 수 있으며 전기적 특성 실험 전 후의 시간차에 따른 파라미터 변화를 반영하는 것이 필수적이다. 제조 공정과정의 파라미터의 측정값과 특성실험 후의 파라미터 재측정값을 비교함으로써 이를 3-D Kmeans Clustering 알고리즘에 반영하여 더욱 정밀한 셀 선별을 실시하였다.

1. 서론

수명이 다한 대용량 에너지 저장 장치에서 공급되는 폐배터리는 장시간의 노화에 따라 각기 다른 내부화학적 상태를 나타낸다. 각자 다른 배터리의 내부화학적 불균형을 해결하기 위해 패시브 밸런싱(Passive Balancing) 및 액티브 밸런싱(Active Balancing)등 여러 가지 기법들이 배터리 관리 시스템(Battery Management System)내에서 운용되고 있지만, 근본적인 문제 해결 방안으로써 내부화학적 상태가 가장 유사한 셀들을 선별하여 최적의 배터리팩을 제작하는 것이 필요하다.

리튬 이온 배터리는 시간에 따른 자가 방전이 나타나며 이는 스크리닝에서 전기적 특성 실험 전 후의 파라미터 변화로 정의 할 수 있다. 스크리닝의 요소로 전기적 특성 실험 전 후의 파라미터 변화를 선정함으로써, 제조 단계와 특성 실험 단계에서 고려한 파라미터 만으로 진행한 기존의 스크리닝보다 더욱 정밀한 셀 선별이 가능하다. 또한 다양한 파라미터를 반영하기 위해 2차원 2-D K-means Clustering 으로부터 확장된 3-D K-means Clustering Algorithm을 사용할 수 있으며 표준 편차 및 분산을 비교함으로써 가장 최적의 그룹을 선정한다. [1]

2. 자가 방전에 따른 내부 상태 변화

2.1 Parameter Variation

리튬 이온 배터리의 전기적 특성 실험에 따른 자가 방전을 측정하기 위해 전기적 특성 실험 전 과 후에 동일한 기기를 사용하여 파라미터를 측정하였다. 제조 공정에서 측정된 Internal Resistance와 Open Circuit Voltage와 스크리닝을 위한 전기적 특성 이후의 측정값과 비교하여 시간에 따른 자가 방전이 발생할 경우 이를 스크리닝의 파라미터로 선정하고 K-means

Clustering 알고리즘의 요소로 반영한다. 그림 1과 그림 2의 (a)는 전기적 특성 실험 이전과 이후의 Internal Resistance를 나타내며 그림 1과 그림 2 (b)는 전기적 특성 실험 전 후의 Open Circuit Voltage를 나타낸다. 두가지 파라미터 모두 전기적 특성 실험 전후로 파라미터의 변화를 나타내며 이는 스크리닝의 요소로 선정될 수 있다.

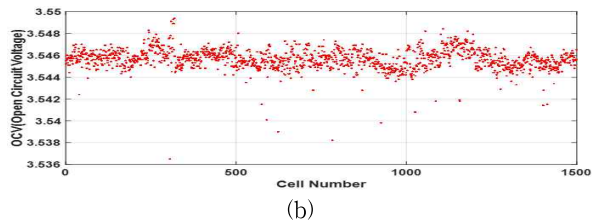
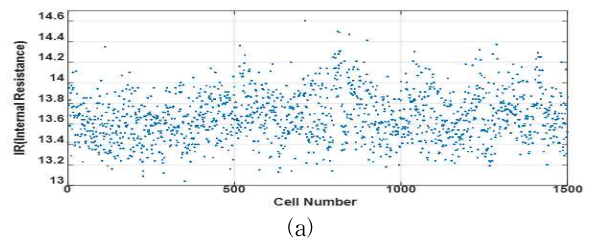


그림 1 전기적 실험 이전의 IR(a) OCV(b)
 Fig. 1 Internal Resistance(a), OCV(b) before electrical experiments

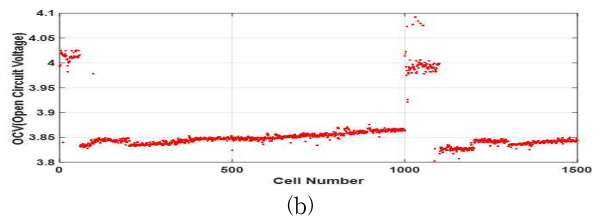
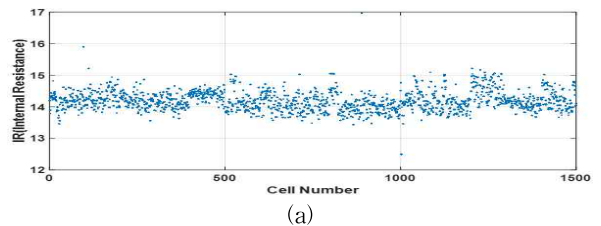


그림 2 전기적 실험 이후의 IR(a) OCV(b)
 Fig. 2 Internal Resistance(a), OCV(b) after electrical experiments

2.2 전기적 특성 실험을 통한 파라미터 추출

제조 공정에서 측정할 수 있는 IR과 OCV 뿐만 아니라 정밀한 스크리닝을 위해서는 전기적 특성 실험을 통해 셀의 내부 화학적 상태를 나타낼 수 있다. 전체 모집단인 셀 1500개에 일괄적인 전기적 특성 실험을 실시하였으며 셀번호에 따라 파라미터를 도출하였다. 그림 3 (a)는 만충 만방 프로파일에서 전류적산법을 통해 도출한 방전 용량을 나타내며 (b)는 4.0V에서 휴지 구간 후 도출할 수 있는 OCV를 나타낸다. 그림 1과 2에서 제시된 자가 방전에 따른 파라미터 변화와 함께 3-D K-means Clsutering Algorithm의 입력으로 사용한다.

2.2 전기적 특성 실험을 통한 파라미터 추출

전체 모집단인 셀 1500개에 일괄적인 전기적 특성 실험을 실시하였으며 셀번호에 따라 파라미터를 도출하였다. 그림 3 (a)는 만충 만방 프로파일에서 전류적산법을 통해 도출한 방전 용량을 나타내며 (b)는 4.0V에서 휴지 구간 후 도출할 수 있는 OCV를 나타낸다. 그림 1과 2에서 제시된 자가 방전에 따른 파라미터 변화와 함께 3-D K-means Clsutering Algorithm의 입력으로 사용한다.

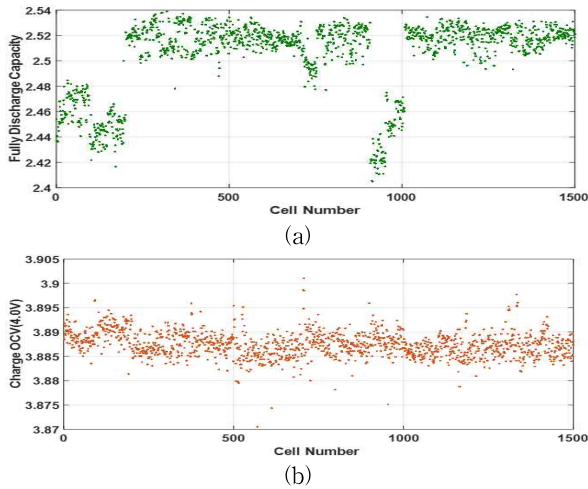


그림 3 (a)방전용량 (b) OCV(4.0V)
Fig. 3 (a) Fully Discharge Capacity (b) OCV at 4.0V

3. 3-D K-means Clsutering을 활용한 셀 선별

클러스터링 알고리즘에는 평균 중심 군집화를 사용하였으며, K는 식별될 그룹의 수를 의미하며, 그룹의 수는 사용자에게 의해 지정된다. 1단계에서 볼 수 있듯이, 사용자가 군집수를 설정한다. 즉, 데이터가 분포된 공간에서 군집중심을 가정하기 위해 임의의 점 K를 선택하며 2단계에서 언급된 거리는 유클리드 거리의 제곱을 의미한다. 최종적으로 속성 m을 가지는 데이터 x,y의 제곱거리는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$d(x,y)^2 = \sum_{j=1}^m (x_j - y_j)^2 \quad (1)$$

$$J = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K w(i,k) * d(x_i, y_k)^2 \quad (2)$$

만약 N번째 셀이 특정한 K(Cluster)로 분류되었다면, K-means clustering 알고리즘은 J를 최소화 할 수 있는 w(i,k)와 y(k)를 선정한다. 식 (2)에서 x_i는 I 번째 데이터를 의미하며 y_k는 k 번째 군집의 중심이며, x_i가 k 번째 군집

에 속하면 w_k는 1로 정의되며 그렇지 않을 경우 0으로 정의된다. 그림 4는 그림1과 그림2에서 나타낸 파라미터 초기 추정값과 재 추정값의 차이를 나타내며 방전용량, OCV(4.0V)와 함께 Clustering 알고리즘의 입력으로 사용하여 그림5와 같이 스크리닝을 실시하였다. Clustering 알고리즘을 적용할 때, 3가지 파라미터에 일괄적으로 정규화를 실시하여 단위의 영향을 제거하였으며, 스크리닝 결과 중, 가장 좋은 성능을 보인 군집개수 K가 4일때의 결과를 그림 5에 나타내었다.

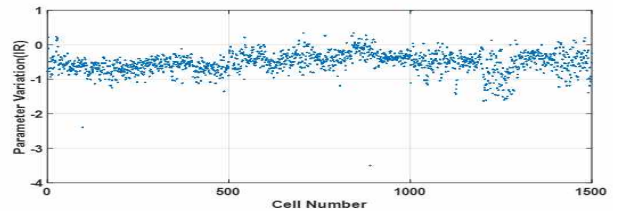


그림 4 자가 방전에 따른 파라미터 변화량
Fig. 4 Parameter variation according to self-discharge

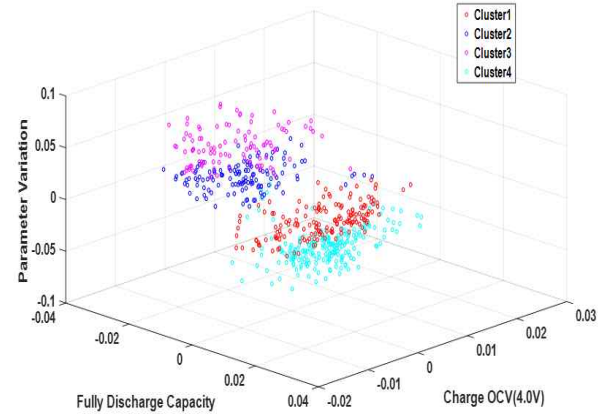


그림 5 3-D K-means Clsutering을 활용한 셀 선별
Fig. 5 Screening using 3-D K-means Clsutering

3. 결론

본 논문은 기존 2-D K-means Clsutering 알고리즘을 사용한 스크리닝에서 리튬 이온 배터리의 자가 방전에 따른 파라미터 변화를 고려한 3-D K-means Clsutering 알고리즘을 제안하였다. 스크리닝에는 전기적 특성 실험으로부터 도출된 방전용량, OCV(4.0V)와 제조과정과 특성 실험 후에 재측정된 IR, OCV의 차이를 입력으로 사용하였다. 가장 작은 표준편차는 0.02312로 그룹 3에서 가장 정밀한 셀 선별이 가능하며 기존 방법인 2-D Clsutering의 표준편차는 0.06751로 더욱 정밀한 스크리닝이 가능함을 검증하였다.

이 논문은 2017년 한국연구재단의 우주핵심기술사업의 지원을 받아 수정된 연구임 (NRF-2017M1A3A3A03016056)

참고 문헌

- [1] Linda Gaines, "Lithium-ion battery recycling process: Research towards a sustainable course" Sustainable Materials and Technologies, vol. 17, Sep 2018.