

장주기 충방전에 따른 유클리드 거리 기반 온도를 반영한 배터리 팩 불균형 진단 방안

문태석*, 이상력*, 이성규*, 김종훈† *

충남대학교 에너지저장변환연구실*

Inconsistency diagnosis method for battery pack based on Euclidean distance reflecting temperature according to long cycle profile

Taesuk Mun*, Sangryuk Lee*, Sungyu Lee*, Jonghoon Kim† *

Energy Storage and Conversion Lab., Chungnam National University*

ABSTRACT

에너지저장장치는 어플리케이션의 전압 및 용량의 요구 조건을 만족하기 위해 직렬 및 병렬 조합으로 구성된다. 구성된 배터리 팩은 장주기의 충전 및 방전과 내부 상태 불균형에 따라 셀 간 불균형이 발생한다. 특히, 병렬 연결의 경우, 전기적 회로에 의한 셀 밸런싱이 발생하지만 직렬 연결의 셀 간 불균형 심화는 과충전 및 과방전 등의 남용 상황을 유발할 수 있다. 본 연구는 직렬 연결 배터리 팩의 장주기 충/방전에 따른 전압 불균형을 진단하고 이상 징후를 보이는 배터리 셀의 모니터링 방안을 제안한다.

1. 서 론

에너지저장장치 (Energy storage system; ESS) 및 전기자동차 (Electric vehicles; EVs)는 해당 어플리케이션의 요구조건을 충족하기 위해 직/병렬 조합의 배터리 팩을 사용한다. 다수의 셀을 사용하여 배터리 팩을 설계할 경우, 중요한 요인은 팩을 구성하는 셀의 유사성이며, 이는 배터리의 안전성과 밀접한 관련이 있다^[1]. 셀 특성이 유사한 배터리 팩은 운용 간 안전성과 효율성을 보장할 수 있다. 하지만, 제조 과정에서 특성이 유사한 배터리들을 통해 배터리 팩을 제조하더라도 셀 내부 저항 (Internal resistance; IR), 용량 및 자가 방전 속도와 같은 다양한 변수에 따라 불균형이 심화될 수 있다^[2]. 이는 장기적으로 용량 및 전력 면에서의 저하가 가속화되어 심각한 열폭주 사고로 이어질 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 24개의 직렬 연결 배터리 팩을 사용하여 셀 간 전압 편차를 효과적으로 모니터링 및 사전 진단할 수 있는 연구를 제안한다. 전압 정보만이 아닌 충/방전에 따른 발열량을 고려한 유클리드 거리 기반 전체 셀의 중심으로부터의 거리 변화를 모니터링하며 이를 통해 불균형이 안전 운용 범위를 벗어나기 전에 사전 진단한다.

2. 유클리드 거리 기반 직렬 배터리 팩 불균형 사전 진단 기법

2.1 절 24S1P 직렬 배터리 팩 열화 시험

24S1P 직렬 배터리 팩은 120Ah 배터리 셀 24개를 직렬로 구성하였다. 배터리 팩의 열화 시험 구성은 그림 1에 명시하였다. 열화 시험은 항온챔버를 사용하여 상온 (25℃) 조건에서

1/3C-rate 충전 및 방전을 진행하였다. 충전은 정전류-정전압 (constant current-constant voltage; CC-CV), 방전은 정전류 (constant current; CC)로 진행하였으며, 충전과 방전 사이에 휴지 2시간을 적용하였다. 데이터 로거를 통해 열화 시험 간 측정된 각 배터리 셀의 전압은 그림 2에 명시하였다.

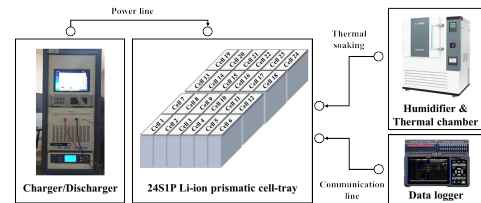


그림 1 배터리 팩 장주기 열화 시험을 위한 시험 환경
Fig. 1 Physical configuration of the battery pack degradation test

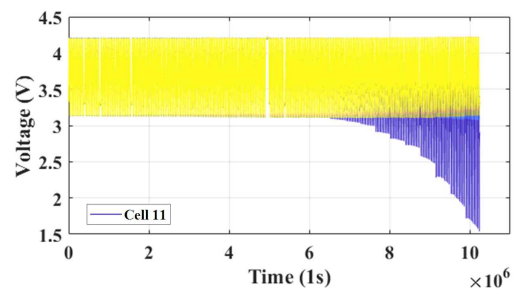


그림 2 배터리 팩 내 개별 셀 전압 데이터
Fig. 2 Individual cell voltage data in the battery pack

2.2 절 온도를 반영한 유클리드 거리 기반 불균형 점수 추정

배터리 팩은 운용 간 전압 불균형의 심화로 인해 과충전 및 과방전과 같은 안전 문제가 발생할 수 있다. 또한, 여러 외부 변수로 인한 특정 셀의 열화 심화는 용량 감소 및 저항 증가를 보인다. 특정 셀의 저항 증가는 동일한 전류 조건 하에서 발열량의 증가를 야기한다. 또한, 팩의 위치적 조건에 따라라도 발열이 심화된 배터리 셀은 휴지 동안 온도 평형에 도달하는 시간이 증가할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 유클리드 거리를 구하기 위한 x, y축에 대한 정보를 1cycle 내에서의 전압 편차의

평균과 발열량으로 선정한다. 이는 기존의 전압 정보만을 통한 불균형 추정과는 다르게 발열량으로 인한 배터리 셀의 이상 징후를 고려하여 사전 진단을 가능하게 한다. 배터리 팩 열화 시험 간 cycle 별 발열량에 대한 정보는 그림 3에 명시하였다.

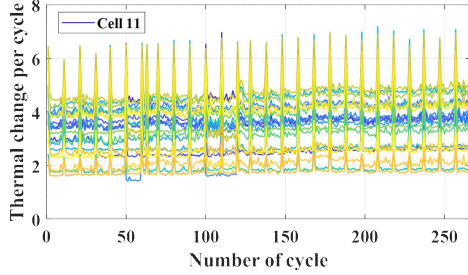


그림 3 사이클 별 직렬 배터리 팩 내 개별 셀 발열량 변화
Fig. 3 Thermal changes of individual cells in a serial battery pack per cycle

배터리 팩 운행 간 다음의 두 가지 정보를 활용하여 전체 셀의 중심과의 유클리드 거리를 계산하였다. 유클리드 거리는 두 개 이상의 변수를 입력으로 하여 여러 데이터를 군집화하는 알고리즘이다. 이는 식 (1)에 명시하였으며, 전체 데이터를 대변하는 중심과의 거리 변화를 추적한다는 개념은 불균형 심화에 따른 특정 셀의 거동을 모니터링하는데 최적화된다.

$$d_{ij}(l) = \sqrt{\sum_{g=1}^n (x_{ig} - x_{jg})^2} \quad (1)$$

그림 4는 식 (1)을 적용하여 cycle에 따라 데이터의 유클리드 변화를 명시하였다. 불균형 심화 이전 110 cycle에서의 발열량은 이후 사이클의 전압 불균형을 심화시키는 것을 확인할 수 있다. 또한, 불균형이 안전 운용 범위를 벗어나기 전에 해당하는 150 cycle에서도 유클리드 거리의 이상 거동을 확인할 수 있다. 그림 5 (a)는 cycle에 따른 유클리드 거리 변화를 보여주며, 그림 5 (b)는 cell 11 불균형 심화에 따라 150cycle 전에 유클리드 거리가 10에 초과하는 것을 확인하였다.

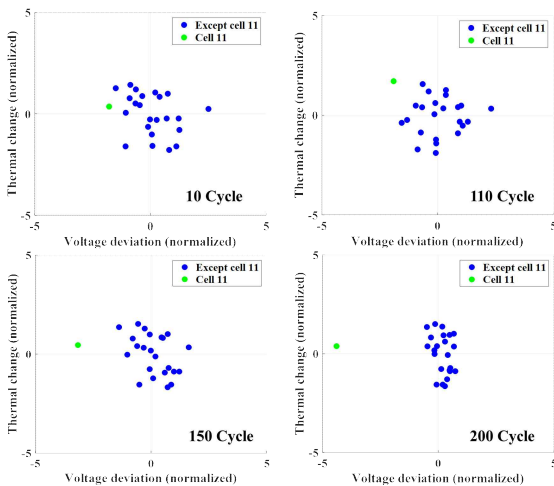


그림 4 열화에 따른 유클리드 좌표에서의 11번 셀 거동
Fig. 4 Change of cell 11 at Euclidean coordinates with degradation

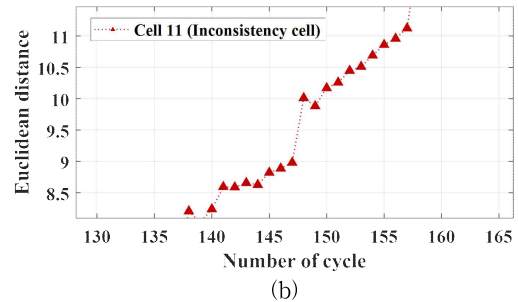
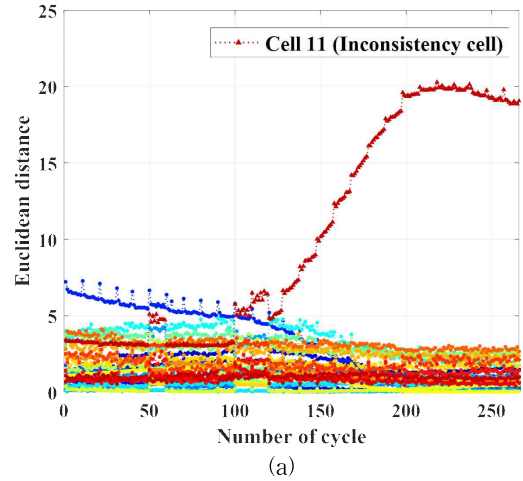


그림 5 불균형 심화에 따른 유클리드 거리 변화 (a) 전체 사이클, (b) 150 사이클
Fig. 5 Euclidean distance change with inconsistency (a) full cycle, (b) 150 cycles

3. 결 론

본 연구는 직렬 배터리 팩의 장주기 노화에 따른 특정 셀의 불균형 심화를 진단하는 방법을 제안한다. 불균형 진단을 위해 기존의 전압 기반의 불균형 평가 인자에 동일 전류량에 따른 발열량을 고려하였다. 이를 통해 특정 셀의 불균형 심화 이전 사전 진단의 성능을 높일 수 있음을 확인하였다. 또한, 유클리드 거리 기반의 불균형 평가 점수를 통해 불균형이 발생하는 셀의 이상 거동을 민감하게 모니터링할 수 있음을 확인하였고, 이는 기존의 전압만을 통한 한계점을 해결하였다.

본 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(No. 2022-1711152629)의 지원과 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행되었음(No. 20210501010020).

참 고 문 헌

- [1] Martinez-laserna, E., Sarasketa-zabala, E., Sarria, I. V., Stroe, D., Swierczynski, M., Warnecke, A., Timmermans, J., Goutam, S., Omar, N., & Rodriguez, P. (2020). Technical Viability of Battery Second Life : A Study From the Ageing Perspective. 54(3), 2703 - 2713.
- [2] Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries : Status , prospects and future. 195, 2419 - 2430.