

배터리팩 열화 판단을 위한 셀 간 전압 편차 분석

권상욱*, 한동호*, 이성준**, 송현철***, 김종훈*
 충남대학교*, 조선대학교**, 한화디펜스***

Voltage deviation analysis for battery pack Aging

Sanguk Kwon*, Dongho Han*, Seongjun Lee**, Hyeon-Cheol Song***, Jonghoon Kim*
 Chungnam National University*, Chosun University**, Hanwha Defense***

ABSTRACT

본 논문은 과충전 및 과방전의 원인이 되는 배터리팩 내부 셀의 불균형으로 인한 셀 간 전압 편차를 분석하기 위해 24s 1p로 구성된 배터리 팩을 사용하여 전기적 열화 실험을 진행하였다. 만충 만방 실험 결과에서 SOC 구간에 따른 셀 간 전압 편차를 분석하였으며, 사이클 증가로 인한 열화와 상관관계가 높은 구간을 분석하여 열화 판단의 파라미터로 제안한다.

1. 서 론

세계적인 친환경 에너지 정책에 따라 신재생에너지는 빠르게 보급 및 확산되고 있다. 재생에너지를 원동력으로 하는 신재생에너지는 환경에 따라 출력변동이 심하여 연속적인 공급이 불가능하며, 그에 따라 안정적인 공급을 위하여 에너지저장시스템이 중요하게 대두되고 있다.

에너지저장장치의 중요성이 부각됨에 따라 에너지 밀도가 높고 동작속도가 빠른 특징의 리튬이온 배터리를 활용한 BESS(Battery Energy Storage System)의 수요는 증가하고 전국적인 설치가 이루어졌다. 하지만 최근 국내에서 ESS의 연속적인 폭발 및 화재사고가 발생하며, 화재 원인 분석을 위한 연구가 화두로 떠올랐다. 배터리 시스템의 화재의 원인으로 배터리 손상으로 인한 결로 현상, BMS(Battery Manage System)의 명확한 설계 기준의 부재, 과충전 및 과방전으로 인한 높은 열 발생 등이 있으며, 그중 셀간 전압 편차로 발생하는 과충전 및 과방전으로 인한 열폭주 현상을 화재의 원인으로 가장 높게 판단하고 있다. 따라서 그에 따라 배터리의 전기적 특성 분석을 통한 화재 인자 검출 및 이를 통한 BMS의 정밀한 설계가 요구되어지며, 많은 선행 연구가 진행되고 있다^[1].

본 논문은 배터리 시스템의 화재 발생 원인인 과충전 및 과방전으로 인한 화재 발생 가능성에 주목하여 배터리 팩 내부 셀 간 편차를 분석하였다. 셀 간 편차는 셀 간 파라미터의 상이함으로 인한 불균형으로 사이클에 따라 열화 될수록 증가한다. 따라서 24s 1p 배터리 팩을 연속적인 충/방전 프로파일을 통하여 배터리 팩 열화 실험 및 전기적 특성실험을 진행하였으며, 사이클에 따라 변화되는 SOC(State of Charge) 구간별 셀 간 전압 편차의 변화를 분석 및 이의 상관관계에 따라 배터리 시스템의 열화 판단의 파라미터로 제안한다.

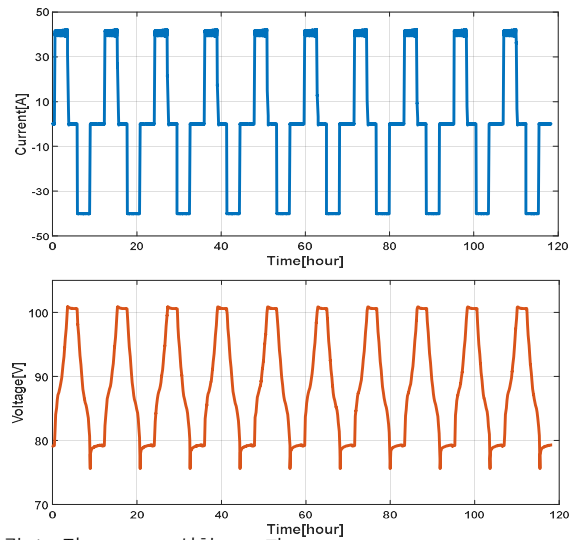


그림 1 전 실험 파
 Fi 1 C cle li e te t pro ile

2. 전기적 특성 실험 및 분석

2.1 전기적 열화 실험

배터리 팩의 연속적인 충/방전으로 인한 전기적 특성 변화를 분석하기 위해 만충과 만방을 반복하는 전기적 열화 실험을 진행하였다. 24개의 배터리가 직렬로 연결된 24s1p 120Ah 용량의 배터리팩으로 실험을 진행하였으며, 실험 프로파일은 그림1에서 확인할 수 있다. 실험 조건은 전류는 1/3C-rate를 적용하고, 충전과 방전 전환 사이 휴지 시간은 2시간을 적용하였다. 만충에서 만방까지를 1사이클로 정의하여, 연속적으로 10사이클을 진행하였으며, 총 100사이클의 실험을 진행하였다. 열화 프로파일 이후에는 SOC 5% 구간별 OCV 실험을 수행하여 10사이클마다 내부 파라미터의 변화를 분석하였다.

2.2 열화에 따른 전압 편차 분석

ESS 내부에는 요구되는 용량, 출력에 따라 단위 셀이 직렬 및 병렬로 연결되어 배터리 팩으로 구성된다. 그러나 배터리 팩 내부 단위 셀 사이 파라미터의 상이함에 따라 셀 간의 전압 및 SOC 편차가 발생한다. 이러한 셀 간 편차는 배터리 팩의 전체용량 및 효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 배터리 팩의 열화 속도를 가속시키며, 또한 과충전, 과방전의 원인이 된다.

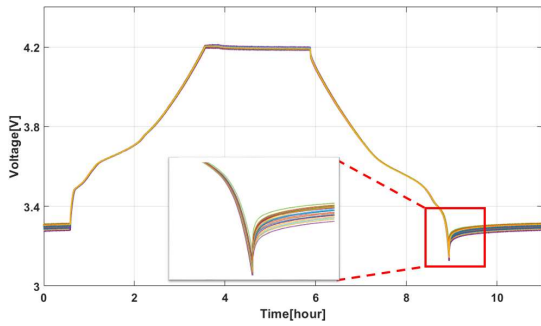


그림 2 24 p 터 의 전압
Fi 2 Volta e cur e o 24 1p batter pack

그림 2는 한 사이클 동안 배터리 팩 내부 24개의 단위 셀의 전압 그래프이다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이 셀 간 편차는 구간에 따라 다르게 나타나며, 배터리 특성이 불안정해지는 낮은 SOC 영역에서 가장 심하게 발생한다. 또한 사이클이 반복되어 열화 될수록 셀 간 전압 편차는 증가하는 추세를 보이고 SOC 구간에 따라 전압 편차의 증가율은 다르게 나타난다.

3. 구간별 셀 간 전압 편차 분석

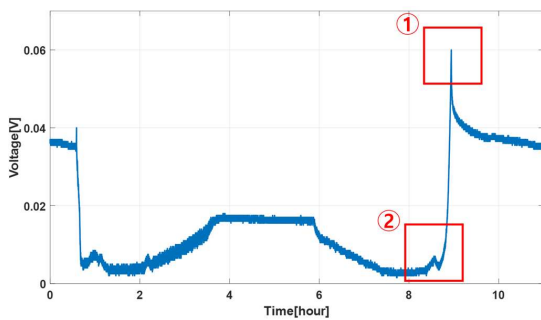


그림 3 24 p 터 의 전압
Fi 3 Ma i u oltae de iation cur e o 24 1p batter pack

그림 3은 배터리 팩 내부 24개의 단위 셀 중에서 최대로 측정된 전압에서 최소로 측정된 전압을 뺀 값을 1 사이클 동안 그래프로 나타낸 것이다. 그림 3을 통해 충전과 방전 구간에 따라 배터리 팩 내부 셀 간 전압편차가 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 구간별 셀 간 편차의 차이는 열화에 따라서도 다르게 증가한다. 그림3은 단위 셀의 dV/dQ 곡선과 유사하다는 점을 착안하여 열화 판단을 위한 2개의 특정 구간을 정하여 분석하였다.^[2] 첫 번째 구간은 방전 끝단인 SOC 0% 지점으로 배터리 특성이 불안정해지며 최대 전압편차가 발생하는 구간이고 두 번째 구간은 방전구간의 낮은 SOC(11%~13%)에서 나타나는 전압 편차의 피크지점으로 방전 전압 곡선에서 굴곡이 생기는 구간이다.

제시한 두 구간에서 전압 편차를 확인하기 위하여 10사이클마다 구간에서의 최대 전압 편차를 비교하였으며, 그림 4와 그림 5의 그래프로 나타내었다. 그림 4는 구간 1에서의 열화에 따른 최대 전압 편차 곡선이며, 전압 편차는 가장 크게 나타났으나 열화에 의한 전압 편차의 증가량은 변화가 심한 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 구간 2에서의 열화에 따른 최대 전압

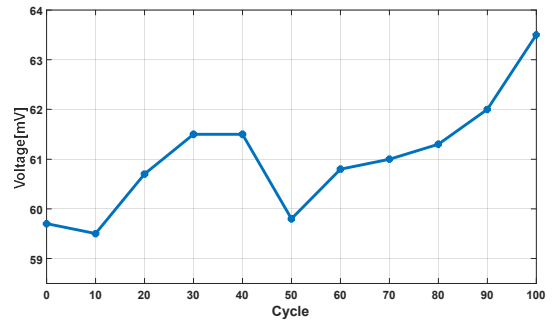


그림 4 1 의 전압
Fi 4 Volta e de iation cur e it a in in ection 1

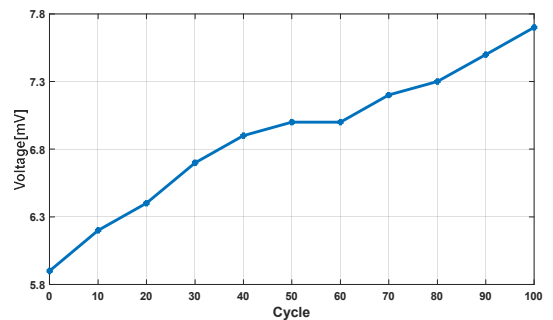


그림 2 의 전압
Fi Volta e de iation cur e it a in in ection 2

편차 곡선이며, 열화에 의한 전압 편차의 증가량이 일정하게 증가하는 것을 통해 배터리 팩의 열화와 상관관계가 높은 것을 확인할 수 있다. 따라서 2번째 구간의 최대 전압 편차를 통해 배터리 팩의 열화를 판단의 파라미터로 사용 가능하다.

4. 결론

본 논문은 과충전과 과방전으로 이어질 수 있는 배터리 팩 내부 셀 간 전압 편차를 분석하기 위해 전기적 열화 실험을 총 100사이클 진행하였으며, 실험을 통해 충전과 방전 SOC 구간별로 전압편차가 상이하다는 것을 확인하였다. 사이클에 따른 배터리 팩 열화는 전압 편차의 증가로 나타나며 구간별 전압 편차 증가율을 분석하고 상관관계가 높은 구간을 열화 판단의 파라미터로 제시하였다.

본 논문은 한화디펜스의 연구비의 지원을 받아 수행된 연구에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Chuang Qi, "Mathematical model for thermal behavior of lithium ion battery pack under overcharge", International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 124, September 2018, Pages 552-563
- [2] Sijia Liu, "Analysis of cyclic aging performance of commercial Li4Ti5O12-based batteries at room temperature", Energy Volume 173, 15 April 2019, Pages 1041-1053