

배터리의 충전상태에 따른 복합진동 시험 기반 전기적 특성 비교 및 분석

김재호*, 이평연*, 한승윤*, 임철우**, 장민호***, 김종훈*
 충남대학교*, KAIST 인공위성연구센터**, 한국항공우주연구원***

Comparison and analysis of electrical characteristic based on combined environment vibration test according to State of Charge

Jae-ho Kim*, Pyeong-Yeon Lee*, Seung-Yun Han* Cheol-Woo Lim**, Min-Ho Jang***, Jong-Hoon Kim*
 Chungnam National University*, KAIST Satellite Technology Research Center**,
 Korea Aerospace Research Institute***

ABSTRACT

본 논문에서는 다양한 양극 활물질을 가지는 리튬이온 배터리를 이용하여 전기 자동차의 구동 전원으로 사용되는 리튬 이차전지의 성능, 신뢰성 및 안전성을 위한 시험 절차 중 하나인 복합 진동 시험을 진행하였다. 고출력과 고용량의 특성을 가지는 배터리를 복합진동 실험에 기반을 두어 배터리 내부의 전기적 특성 파라미터 변화를 분석한다.

1. 서론

리튬이온 이차전지는 고출력 및 고에너지 특성을 가지고 있어 전기자동차(Electric vehicle ;EV) 및 신재생 에너지의 에너지 저장장치(Energy storage system ;ESS)에 많이 사용되고 있다. 이 어플리케이션들은 운용 중 혹은 운용하지 않을 때도 진동 및 온도 변화에 대한 영향을 받게 된다. 또한, 배터리는 충전 상태(State of charge ;SOC)에 따라서 내부 전기화학적 특성이 달라진다. 하지만, 기존 연구들은 대부분 온도 혹은 진동 등 한 가지 환경시험만 진행하는 경우가 많다. 실제 운용에서 생기는 진동이나 온도 변화와 같은 환경 요인들이 배터리에 미치는 복합적인 영향의 고려가 필요하다. 또한, 배터리의 상태에 따라 내부 특성이 다르며, 배터리 운용 시 특정 SOC에서 진동과 온도 변화가 발생하는 것이 아니기 때문에 다양한 충전 상태를 고려해야한다.

본 논문에서는 리튬이온 배터리의 종류인 고출력의 특성을 가지는 NCA($LiNiCoAlO_2$) 양극 활물질을 가지는 배터리, 고용량의 특성을 가지는 NMC($LiNiMnCoO_2$) 양극 활물질을 가지는 배터리를 사용하여 복합 진동 시험을 수행하였으며, 진동과 온도의 복합적인 영향에 의해 배터리의 내부 전기적 특성의 변화를 분석 하였다. 복합 진동 시험 전, 배터리의 전기적 특성(방전 용량, 내부 저항, 개방회로전압(Open circuit voltage ;OCV))이 비슷한 배터리를 선별하였다. 이후, 충전 상태를 4가지로 분류하여 배터리의 충전 상태에 따른 복합진동 영향을 분석 하였다.

2. 복합진동 시험

2.1 전기적 실험 및 복합 진동 시험 절차

전기자동차에서의 표준을 맞추기 위하여 국가표준인증의 전기자동차용 리튬이차전지 팩/시스템 평가(KS C ISO12405-1)를 참고하여 복합 진동 시험을 진행하였다.^[1] 복합 진동은 진동

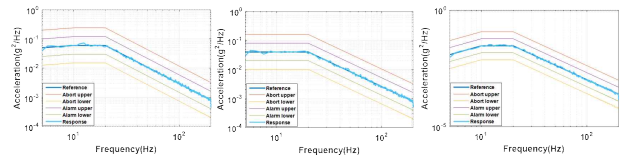


그림 1 복합진동 프로파일(Z, Y, X 축)
 Fig. 1 Profile of combined environment vibration (Z, Y, X-axis)

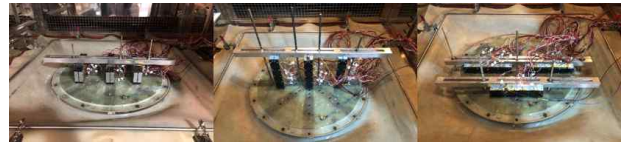


그림 2 복합진동 축별 시험 세팅(Z, Y, X 축)
 Fig. 2 Experiment setting of combined environment vibration (Z, Y, X - axis)

시험 중에 온도를 변화시키는 배터리의 환경시험 중 하나이다. 전기자동차의 경우, 거친 도로 주행 시 불규칙한 진동이 발생되기 때문에 복합 진동시험을 통해 발생할 수 있는 배터리의 고장 여부를 확인할 수 있다. 또한, 배터리는 온도에 의해 수명이 영향을 받는 것이 자명하기 때문에 진동 시험 중에 온도 프로파일은 추가되어야 한다. 그림 1은 복합진동 시험 프로파일이다.

2.1.1 복합 진동 시험조건

그림 2는 축별 복합진동 시험 세팅을 나타낸다. 진동 시험의 경우 Z, Y, X축 순서대로 진행 하였으며, 배터리의 운용 온도를 고려하여 최대 55℃에서 최소 -5℃로 온도가 변하는 사이 클리핑을 수행하였다. 진동은 축 당 최소 3시간을 진행하고 각 축의 진동 실험이 끝날 때마다 온도가 25도에 안정될 때까지의 휴지 시간을 가진다.

2.1.2 전기적 실험

복합진동 시험 전과 후 배터리의 전기적 특성의 변화를 파악하기 위한 방전용량 실험과 SOC 5%별 HPPC(Hybrid pulse power characterization)실험을 진행하였다. 방전 용량 실험을 통해 비슷한 용량의 특성을 가지고 있는 배터리를 1차 선별하였다. 선별된 배터리들의 실제 용량을 기반으로 2차적으로 선별하기 위해 OCV-HPPC 실험을 진행 하여 SOC 5%마다의 개방회로전압과 내부 저항이 비슷한 배터리를 추출하였다. HPPC 실험은 각 SOC별 휴지시간에서 전압의 안정화가 되었을 때

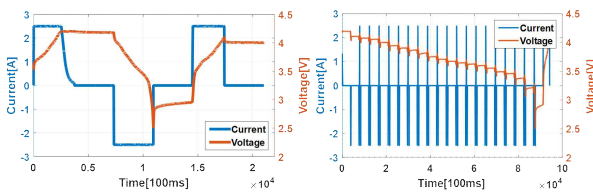


그림 3 용량 실험 프로파일(좌)과 OCV-HPPC 실험 프로파일(우)
Fig. 3 Capacity test(Left) and OCV-HPPC test(Right)

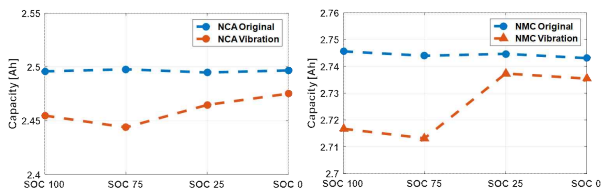


그림 4 충전 상태에 따른 복합진동 시험 전과 후의 용량 변화
Fig. 4 Before and after vibration test: the change of capacity by state of charge

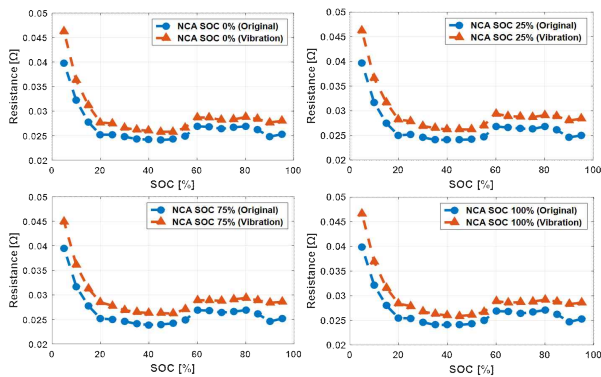


그림 5 NCA 배터리의 복합진동에 의한 내부 저항 변화
Fig. 5 Variation of resistance by combined vibration (NCA)

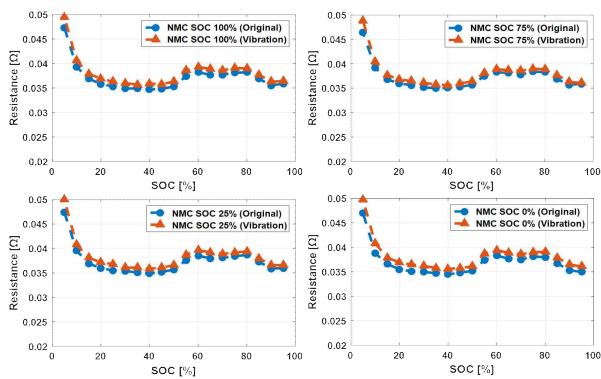


그림 6 NMC 배터리의 복합진동에 의한 내부 저항의 변화
Fig. 6 Variation of resistance by combined vibration (NMC)

진행되며, 10초의 충전과 방전의 펄스 전류를 인가 시 발생하는 전압의 하강 및 상승에 의해 내부 저항을 추출할 수 있다. 추출된 내부 저항은 배터리 성능의 척도를 나타낼 수 있으며, 그림 3은 용량 실험과 OCV-HPPC 실험의 프로파일이다.

그림 4는 NCA와 NMC 계열 배터리의 복합진동시험 전 후 용량을 나타낸다. NCA배터리의 경우 SOC 75%에서 초기 상태와 비교 시 -2.16%의 용량 감소로 용량의 감소가 가장 크며, SOC 0%에서 -0.86%의 용량 감소로 용량의 감소가 가장 작음

을 확인하였다. 또한, NMC 배터리의 경우에서도 SOC 75%에서 실험 환경우가 -1.12%로 가장 용량 손실이 많이 일어났으며 SOC 25%와 0%에서 각각 -0.26%, -0.27%의 용량 감소로 가장 적은 용량 손실이 일어났다. 실험의 결과로 NCA 계열 배터리가 NMC 계열 배터리보다 진동에 의한 용량의 영향이 큰 것으로 나타났다. NCA, NMC 계열의 두 배터리 모두에서 SOC 75%에서 가장 많은 용량 감소가 나타났으며, SOC 0%와 25%의 낮은 충전 상태에서 가장 적은 용량의 감소가 일어났다. 이는 복합진동에 대한 영향이 SOC 0%에서 작지만, SOC 0%를 계속 유지해야 용량의 감소가 적다는 것은 아니다. 오히려 긴 시간동안 SOC 0%의 SOC를 유지하는 것은 배터리의 용량 감소를 발생할 것으로 예상된다.

그림 5, 6은 NCA와 NMC 계열 배터리의 복합진동 시험 전과 후의 내부저항 변화를 SOC 별로 나타낸다. 파란색 선이 초기 상태 배터리의 내부 저항이고, 붉은색이 복합진동 시험 후의 내부 저항을 나타낸다. 양극의 종류, 시험당시의 SOC에 상관없이 저항이 증가하는 것을 볼 수 있다. 시험 당시의 충전상태가 0%, 25%, 75%, 100% 순서대로 NCA 계열 배터리에서는 9.07%, 11.18%, 10.80%, 10.23% 저항이 증가했으며, NMC 계열 배터리에서는 3.48%, 2.79%, 2.15%, 2.84% 저항이 증가한 것으로 나타났다. 위 결과로 NCA의 활물질은 가지는 고출력 배터리가 NMC의 활물질을 가지는 고용량 배터리보다 복합진동에 의한 용량의 노화가 크다는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 용량과는 다르게 충전 상태에 따른 내부 저항의 변화는 미미함을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 다른 양극 물질을 가지는 NCA, NMC 계열 리튬이온 배터리를 사용하여 전기자동차 혹은 ESS같은 실제 어플리케이션에서 발생할 수 있는 복합적인 환경적 영향을 확인하기 위해 복합 진동을 진행함으로써, 리튬 이차전지의 성능과 안전성을 파악하고자 하였다. 충전 상태를 0, 25, 75, 100%로 나누어서 충전 상태에 따른 복합진동의 영향도를 파악하였으며, 그 결과로 용량의 경우 SOC 75%에서 복합진동 시험을 진행한 배터리가 가장 큰 용량 감소를 보이며, SOC 25%, 0%에서 복합진동 시험을 진행한 배터리가 가장 적은 용량의 변화를 확인하였다. 내부 저항의 경우 복합진동 시험 후의 저항이 시험 전에 비하여 충전 상태에 상관없이 모두 증가한 것을 볼 수 있었으며, 고출력 특성을 가지는 NCA 계열 배터리의 내부 저항이 고용량 특성을 가지는 NMC 계열 배터리 보다 내부 저항의 증가가 크게 나타났다. 이를 토대로, 배터리의 진동 및 온도의 복합적인 영향에 대한 안정성을 확보할 수 있다.

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

참고 문헌

- [1] 김경삼, 차지훈, 정혁, 이광범, 배준호, 권해봉, “전기자동차용 구동축전지 내구성능 평가방안 연구”, 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 2012. 11.
- [2] 김종훈, 이성준, 이재문, 조보형. “온도를 고려한 리튬이온 프레스 배터리의 특성 분석연구”, 전력전자학회 학술대회 논문집, 2007. 11.