

3원계 배터리 및 LFP 배터리 사이클 노화에 따른 모델 파라미터 분석

공태현*, 이미영*, 안종찬*, 김종훈*
 충남대학교 에너지저장변환연구실*

Analysis of Model Parameters for Ternary Battery and LFP Battery Cycle Aging

Taehyeon Gong*, Miyoung Le*, Jongchan An*, Jonghoon Kim*
 Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University*

ABSTRACT

본 논문에서는 3원계 배터리 및 리튬 인산철(Lithium ferrite phosphate; LFP) 배터리의 사이클 노화에 따른 경향성 분석을 수행하였다. 3원계 배터리 중 망간 계열 1개, 알루미늄 계열 배터리 1개, 인산철 배터리 1개 총 3개의 배터리를 사용하였고 240번 동안 충방전하여 노화를 진행하였다. 240사이클마다 용량 및 전기적 특성 실험을 수행하였으며 노화에 따른 경향성 분석을 위해 240사이클마다 전기적 특성 실험을 기반으로 모델 파라미터 변화를 분석하였다. 전기적 등가회로 모델 중 1RC-ladder 모델을 선정하여 배터리의 전압, 전류, 내부 저항 등의 파라미터를 추출 및 비교하였으며, 배터리 양극재 타입에 따른 상이한 노화 경향을 확인하였다.

1. 서론

리튬이온 배터리(Lithium-ion battery; LIB)는 이동성과 에너지 저장 기능을 제공하는 전력 변환 및 저장 장치의 핵심 동력원으로서의 역할을 수행한다. LIB는 양극재와 음극재의 전위차로 동작하며, 양극재의 종류에 따라 배터리 특성이 상이해지는 경향이 있다. 일반적으로, 알루미늄이 함유된 배터리는 출력 특성이, 망간이 함유된 배터리는 고용량 특성이, 기타 이원계 배터리의 경우에는 높은 안정성 특성이 우수하다. 배터리 가격은 어플리케이션 가격에서 50% 이상 차지하며 양극재에 따라 상이하기 때문에 어플리케이션 특성과 비용적 측면을 만족할 수 있는 배터리 선정이 필요하다. 본 연구는 이러한 양극재의 특성에 따라 고용량 어플리케이션, 고효율 어플리케이션 및 고안정성 어플리케이션에 적용 우수성을 확인하기 위해 각 양극재에 따른 배터리의 노화 실험을 진행하였다. 배터리의 수명 단축과 성능 저하는 주로 사이클 노화(cycle aging)에 의해 발생한다. 사이클 노화는 배터리가 충전 및 방전 과정을 반복함에 따라 발생하는 현상으로, 주로 배터리 내부 구성 요소인 화학물질의 변화에 기인한다. 이러한 사이클 노화로 인해 배터리의 용량 감소, 내부 저항 증가, 임피던스 증가 등의 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 3원계 배터리와 리튬 인산철(Lithium ferrite phosphate; LFP) 배터리의 사이클 노화에 따른 1RC-ladder 모델의 파라미터를 통해 분석하고자 한다^[1]. 1RC-ladder 모델은 배터리 동적 전압 거동을 모사하기 위해 사용되는 전기적 등가회로 모델(Equivalent circuit model; ECM)이다.

이 모델은 배터리의 내부 저항과 캐패시턴스 등을 고려하여 배터리의 전압 거동을 모사하는데 유용하다. 본 논문에서는 3원계 배터리와 LFP 배터리를 대상으로 사이클 노화에 따른 모델 파라미터를 분석함으로써 배터리의 성능 변화를 분석하였다. 이러한 연구 결과는 배터리 제조업체 및 EV 등 어플리케이션 업계에서 최적 배터리 선정 전략에 활용될 수 있을 것이다.

2. 배터리 노화 및 전기적 특성 실험

2.1 배터리 충방전 실험 구성

3원계 배터리 및 LFP 배터리의 노화에 따른 파라미터 거동을 분석하기 위하여, 3원계 배터리인 NCM(Nickel cobalt manages), NCA(Nickel cobalt aluminum; NCA) 배터리 셀 각 1개와 LFP 배터리 셀 1개, 총 3개의 샘플로 그림 1과 같이 실험을 구성하여 진행하였다. 외부의 조건을 배제하기 위하여 항온 항습 챔버를 이용하여 상온(25°C) 조건에서 실험을 진행하였다. NCM, NCA 배터리 셀은 1C-rate로 LFP 배터리의 경우 충전시에서는 1C-rate, 방전시에는 4C-rate 방전으로 완전 충전 및 방전 조건을 240회 반복하였다. 노화 도중 경향성 분석을 위해 40사이클마다 용량 및 개방 회로 전압(Open Circuit voltage; OCV) 시험을 진행하여 배터리 노화에 따른 파라미터를 추출하였다. 각 셀의 OCV 실험은 충전 상태 100%에서 0%에 도달할 때까지 5% 간격으로 1C-rate로 방전 실험을 진행하였다. 배터리의 내부 상태를 안정시키기 위하여 방전 실시 후 휴지 기간을 두어 완전 방전을 진행하였다. 실험 진행 후 1RC-ladder 모델을 기반으로 3원계 배터리와 LFP 배터리의 노화에 따른 특성을 비교 분석하였다.

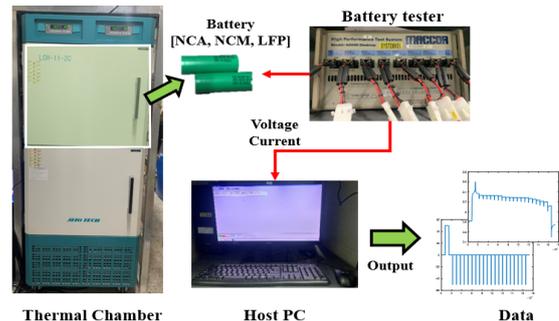


그림 1 배터리 노화 및 전기적 특성 실험 셋업

Fig. 1 Experiment set-up for battery aging and reference performance test current experiments

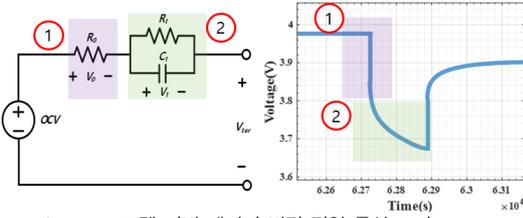


그림 2 1RC-ladder 모델 기반 배터리 방전 전압 특성 모사
Fig. 2 A modeling of battery discharge voltage characteristic based on 1RC-Ladder Model

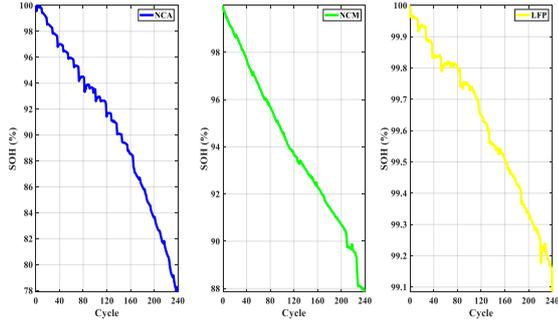


그림 3 배터리 셀 노화 사이클에 따른 SOH
Fig. 3 State of Health (SOH) of battery cells according to aging cycles

2.2 전기적 등가회로 모델 기반 파라미터 추출

본 연구에서는 노화에 따른 양극재별 배터리의 전기적 특성을 분석하기 위하여 RC-ladder 모델을 선택하였으며 그림 2에 모델 및 모델 소자가 모사하는 전압 거동을 나타내었다. RC-ladder의 수가 늘어날수록 정확도가 높아지나 연산량이 늘어난다는 단점이 있어 본 연구에서는 1RC-ladder 모델을 이용하여 전기적 특성 파라미터를 추출하였다.

3. 배터리 타입에 따른 노화 및 특성 분석

3.1 배터리 타입별 노화에 따른 경향성 분석

본 연구에서 사용한 데이터는 240사이클동안 노화한 데이터로 그림 3에 노화에 따른 용량 데이터를 도식화 하였다. 이원계 배터리인 LFP의 경우 동일한 240사이클동안 노화 정도가 1%인 반면 NCM 배터리는 약 10%, NCA 배터리는 약 22%를 확인할 수 있다. 즉 LFP 배터리의 경우 수명 특성이 매우 높은 배터리이며, NCM 배터리의 경우 NCA 배터리 대비 고용량 배터리로, 실제 양극재 특성에 따라 노화 경향이 상이함을 확인하였다.

3.2 배터리 타입별 노화에 따른 모델 파라미터 분석

NCA, NCM 및 LFP 배터리 셀의 노화에 따른 전기적 모델 파라미터를 그림 4-6에 나타내었다. 총 240사이클의 노화 동안 각 배터리 셀의 노화 경향을 40사이클 간격으로 비교하였다. 그 결과 파라미터 변화는 LFP, NCM, NCA 순으로 적은 것을 확인할 수 있다. NCM 배터리 셀의 경우 고용량 셀이기에 NCA 배터리 대비 변화율이 적음을 확인하였다. 또한, LFP 배터리의 경우 다른 두 배터리에 비해 변화율이 적게 되었음을 확인할 수 있다. 이를 통해 파라미터 변화를 통해 양극재별 노화의 경향성을 파악할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

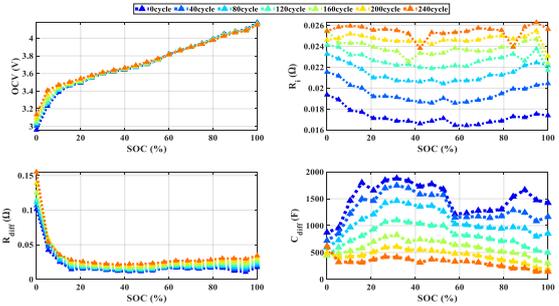


그림 4 NCA 셀 노화 사이클 별 1RC-ladder 모델 파라미터
Fig. 4 1RC-Ladder Model Parameters for NCA Cell Aging by Cycle

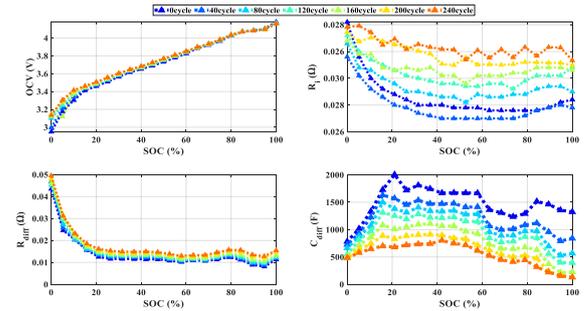


그림 5 NCM 셀 노화 사이클 별 1RC-ladder 모델 파라미터
Fig. 5 1RC-Ladder Model Parameters for NCM Cell Aging by Cycle

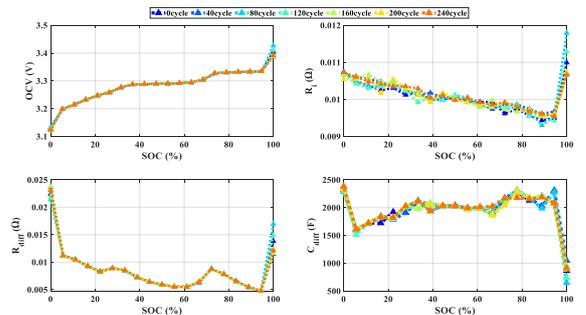


그림 6 LFP 셀 노화 사이클 별 1RC-ladder 모델 파라미터
Fig. 6 1RC-Ladder Model Parameters for LFP Cell Aging by Cycle

4. 결론

본 논문은 1RC-ladder 모델 기반 NCA, NCM 및 LFP 배터리의 노화에 따른 모델 파라미터 변화를 분석하였다. 그 결과, LFP 배터리의 사이클에 따른 모델 파라미터 변화가 다른 양극재 배터리에 비해 적은 것을 확인할 수 있었다. 사이클에 따른 SOH의 값과 비교해 보는 것을 통해 LFP 배터리의 노화가 적게 일어난 것을 모델 파라미터를 통해서도 확인할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

본 논문은 한국전력연구원(R21X001-3, AI 및 서지방호기술을 활용한 신재생에너지 연계형 ESS의 재해예방 및 안전운용 핵심기술 개발)과 현대자동차(LFP 배터리의 SOC 추정 BMS 알고리즘 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

[1] Tran, Manh-Kien, J.P, "Comparative Study of Equivalent Circuit Models Performance in Four Common Lithium-Ion Batteries: LFP, NMC, LMO, NCA Batteries", Proceedings of the MDPI, Vol. 7, No. 3, pp. 230-235, 2021, September.