

AC 리플 전류에 따른 배터리 노화 특성 분석을 위한 전기적 등가 회로 모델 파라미터 열화 영향성 비교 분석

최형준*, 강덕훈*, 김보민*, 김종훈*

충남대학교 에너지저장변환연구실*

Comparative Analysis of Electrical Equivalent Circuit Model Parameter Deterioration Effect for Analysis of Aging Characteristics of Battery with AC Ripple Current

Hyeungjun Choi*, Deokhun Kang*, Bomin Kim*, Jonghoon Kim*

Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University*

ABSTRACT

2고조파(120Hz) AC 리플 전류는 전력계통 3상 전압 불평형으로 에너지 저장 장치(Energy storage system; ESS) 충전/방전 시 배터리 입력 전류에 직류전류 이외에 계통 주파수의 2배에 달하는 AC 리플 전류가 발생하고 있다. 본 연구에선 AC 리플 전류가 배터리 열화에 어떠한 영향을 주는지 연구를 수행하였다. 전기적 등가회로 모델 기반 파라미터 분석 결과는 DC에 비해 AC 리플 전류가 인가된 배터리에서 내부 저항이 노화에 따라 증가 경향이 더 클 수 있음을 확인하였다.

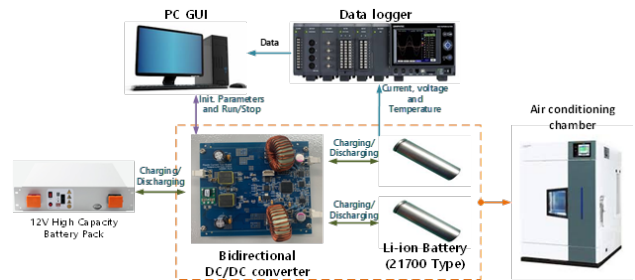


그림 1 AC 리플 전류 실험을 위한 실험 장치 구성도

Fig. 1 Experimental device configuration diagram for AC ripple

1. 서 론

산업화에 따른 화석 연료의 사용 증가로 이산화 탄소 배출이 증가하고 이는 오존 파괴와 지구 온난화를 가속화를 유발하고 있다. 이러한 환경적인 문제점을 해결하기 위해 친환경적인 장점을 가지고 있는 신재생 에너지가 사용되고 있다. 신재생 에너지의 간헐적 발전에 따른 전력 공급 불안정성 해결을 위해 에너지를 안정적으로 저장 및 공급할 수 있는 에너지 저장 장치(Energy storage system; ESS) 사용률이 증가하고 있다. 에너지 출력 안정화, 전기를 효율적으로 활용하기 위한 방법으로 리튬이온 배터리 기반 ESS가 사용되고 있다. ESS에 사용되는 리튬이온 배터리는 높은 에너지 밀도, 낮은 자가 방전, 긴 수명, 친환경적인 장점을 가지고 있어 에너지 저장 장치 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

ESS는 에너지를 저장하는 시스템으로 전력을 생산하여 배터리와 같은 전기저장장치에 충전하여 저장했다가 필요시 방전하여 전력 이용 효율 향상을 도모하기 위한 장치이다. 대용량 ESS는 전력계통과 연계되어 주파수 조정(frequency regulation; FR)의 기능을 담당하고 있다. 그러나 전력계통 3상 전압 불평형 및 전력 변화 장치(Power conversion system; PCS) 인하여 계통 주파수 60Hz의 2배에 해당하는 리플 전류가 DC 링크단에 생성이 되고 있다. 이로 인해 전력 변환 효율은 줄어들고 ESS 충전/방전 시 배터리에 직류전류 이외에 계통 주파수의 2배에 달하는 2차 고조파가 발생한다. 고주파수에서는 전하전달 반응이 잘 나타나지 않아 노화에 영향을 미치지 않지만^[1]저주파수에 대한 영향을 분석한 연구는 많이 진행되어 있지 않다. 따라서 저주파수에 대한 배터리 영향성을 분석하기 위해 2차 고조파 주파수의 AC 리플 전류를 발생시켜 배터리 열화 분석 실험을 진행하였다.

2. AC 리플 전류를 고려한 배터리 열화 시험

2.1 AC 리플과 배터리 열화 영향 분석을 위한 실험 장치 구성 및 방법

본 연구에서는 AC 리플 전류가 인가된 배터리 영향성을 검토를 하기 위하여 그림 1과 같이 설계하였다. 리플 전류를 발생시킬 수 있도록 DC/DC 컨버터를 구성하고 전력 공급을 위한 납축전지, 전류, 전압, 온도 신호를 측정하는 장비로 구성되어 있다. 실험에서 INR21700-48X 셀을 이용하여 2차 고조파에 대한 영향을 분석하였으며 120Hz의 고정된 주파수의 AC 리플 전류가 리튬이온 배터리의 열화에 어떤 영향을 미치는지 분석하기 위해 리플 전류의 크기(I_{dc}) 및 Peak-to-peak를 선정하여 표 1과 같이 실험을 진행하였다. 일정 사이클마다 배터리 내부 파라미터 추출을 위해 (State of charge - Open circuit voltage; SOC-OCV)실험을 5% 간격으로 진행하여 해당 실험에서 추출된 데이터를 기반으로 전기적 등가회로 모델 파라미터들의 변화를 분석하였다.

표 1 DC 및 AC 리플 전류 배터리 열화 분석을 위한 사이클 실험

Table1. Cycle experiment for DC and AC ripple current battery degradation analysis

Cell type	I_{dc}	f	Peak-to-peak	비고
21700 48X NMC	2.4A (0.5C-rate)	120Hz	-	DC
			2.4A(10%)	DC+AC
			2.4A(20%)	

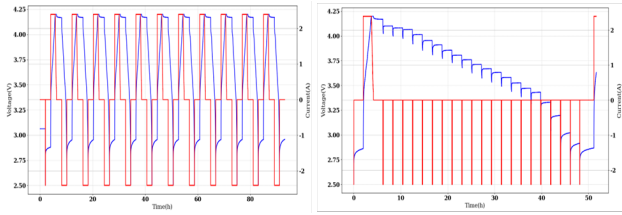


그림 2 DC, AC 전류 사이클 실험 및 DC, AC 리플 전류 SOC-OCV 프로파일
Fig. 2 DC, AC Current Cycle Experiment and DC, AC Ripple Current SOC-OCV Profile

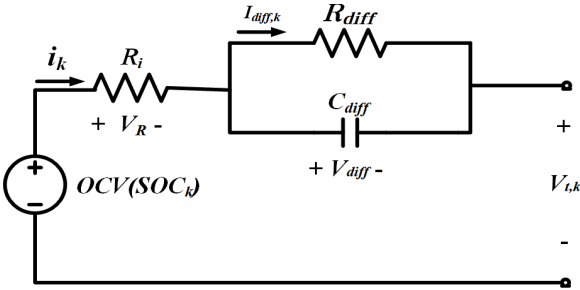


그림 3 파라미터 분석을 위한 전기적 등가회로 모델
Fig. 3 Electrical equivalent circuit model for parameters analysis

2.2 DC, AC사이클 노화에 따른 배터리 용량 분석

AC 120Hz 리플 전류가 인가된 셀과 DC 전류가 인가된 셀을 사이클별로 배터리 용량 및 내부 저항 변화 경향을 비교하여 리플 전류 수치에 따른 배터리 용량 감소 영향을 결과 데이터를 토대로 분석을 진행하였다. 그림 4는 식 (1)을 사용하여 용량 기반 실험 결과를 제시하였다. $C_{present}$ 는 현재 사이클에서의 용량 (Ah), $C_{initial}$ 은 INR21700-48X셀 데이터 시트에 기록된 용량 4.8Ah를 나타낸다. 방전 용량 기준으로 용량 비율 ($Capacity_{rate}$)을 산출하여 사이클 반복에 따른 용량 변화 경향을 분석했다. 150 사이클 기준 DC 사이클 용량 감소량은 약 7.35%, AC 사이클 용량 감소량은 약 7.38%(AC 10%), 7.28%(AC 20%)로 거의 유사한 용량 감소 경향을 나타내었다. 따라서 AC 리플 전류에 따른 배터리 용량 감소 영향은 거의 나타나지 않았다.

$$Capacity_{rate} = \frac{C_{present}}{C_{initial}} \quad (1)$$

2.3 DC, AC사이클 노화에 따른 배터리 파라미터 분석

DC 및 AC 리플 전류 사이클 노화에 따른 배터리 내부 파라미터를 분석을 진행하였다. 그림 3은 배터리 내부 파라미터 분석을 위한 전기적 등가 회로 모델이다. 직렬 저항은 R_i 를 나타내고 병렬 저항은 R_{diff} 를 나타낸다. 150 사이클 SOC 50% 기준 DC 직렬 저항 및 병렬 저항 증가량은 각각 13.4%, 12.1%로 나타났고, AC 10%는 13.5%, 16.3%이며 AC 20%는 10%, 15.4%로 나타났다. AC 10%의 증가량이 가장 높고 AC 20%의 증가량이 가장 낮게 나타났다. DC와 비교하여 AC 리플 전류가 인가된 셀은 용량 감소 영향은 거의 나타나지 않았다. 그러나 내부 저항은 DC 보다 AC 리플 전류가 인가된 셀 내부 저항 증가량이 AC 10% 기준 직렬 저항 0.1%, 병렬 저항 4.2%로 높은 결과를 보여줬다.

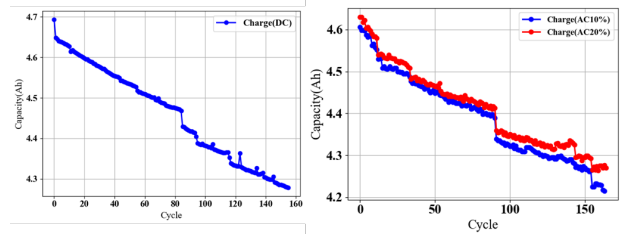


그림 4 DC, AC 리플 전류 사이클 실험 결과 용량 변화율
Fig. 4 DC, AC ripple current cycle experiments result in capacity variation.

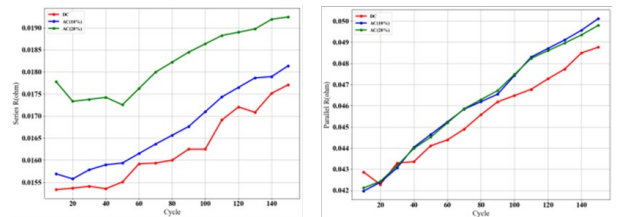


그림 5 DC, AC 리플 전류 사이클 실험 결과 직렬 및 병렬 저항 변화율
Fig. 5 DC, AC ripple current cycle experiment results in series and parallel resistance variation

3. 결 론

ESS에 리플 전류는 3상 전압 불평형으로 발생하는 성분이기 때문에 배터리에 어떤 영향성을 주는지 검토해야 할 필요가 있다. 이를 확인하기 위해서 AC 리플 성분이 들어간 배터리 사이클 실험을 진행하였다. 실험 결과 내부 저항이 노화에 따라 증가 경향이 더 클 수 있음을 확인하였다.

향후 리플 크기에 따른 내부 저항 상승과 온도에 대한 연관성을 확인하고 있으며 AC 리플 전류 영향에 따른 상태 추정 정확도 향상 방법과 수명 추정 방법을 진행할 계획이다.

본 논문은 한국전력연구원(R22X001-2, PCS AC측 불평형 보상과 DC측 품질개선 알고리즘 설계 및 셀 열화원인 제거 냉각방식 제안 기초연구)과 산업기술평가기관리원의 재원으로 인지컨트롤스(No. 20015572, 전기차 급속 충전 및 고출력 운전 대응을 위한 상변화 물질 적용 배터리 팩 열관리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Uno, Masatoshi, and Koji Tanaka. "Influence of high-frequency charge-discharge cycling induced by cell voltage equalizers on the life performance of lithium-ion cells." IEEE Transactions on vehicular technology 60.4 (2011): 1505-1515.