

에너지 저장장치의 EIS 배터리 진단 연구

권효상, 김기현,
한솔테크닉스

Study on EIS Battery Diagnosis of Energy Storage Devices

Hyosang-Kwon, Kihyun-Kim
Hansol Technics

ABSTRACT

IT 기술의 발달과 함께 배터리를 전원으로 사용되는 휴대용 기기들의 수요가 급격히 증가하고 있고, 2차전지는 소형화, 경량화, 고효율화가 가능하여 전원으로 가장 많이 사용되고 있다. 최근 들어 배터리 관련 사고가 끊이지 않으며, 배터리의 안전에 대한 중요성이 제기되고 있다.

본 논문에서는 에너지 저장장치에 사용되는 배터리에 대한 상태 및 노화에 따른 용량의 변화를 파악하기 위해 전기화학적 분광법 (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS)을 적용한 EIS-ESS(Energy Storage System) 시스템을 구성하였다. EIS-ESS 시스템은 배터리가 충전 또는 방전의 기능을 하지 않고 동작 대기중 일 때 수시로 배터리에 대해 EIS 측정 함으로써, 배터리의 상태 및 수명을 추정할 수 있도록 제안하였다.

1. 서론

에너지 저장장치 시스템 ESS:(Energy Storage System)는 에너지를 저장하기 위한 리튬이온(Lithium-Ion), 납(Lead-acid) 배터리 등을 사용하여 에너지를 저장했다가 필요시 에너지를 활용하는 시스템이다. 국내 ESS 보급은 2017년 이후 보급지원 정책으로 빠르게 보급되었으나 당해연도 8월 풍력 발전 ESS 화재가 발생한 이래 ESS 화재가 잇따라 발생하고 있으며 이로 인한 재산 손실이 증가하고 있다. ESS 화재 및 안전과 관련하여 일어날 수 있는 전기적, 환경적 요인을 파악하여 배터리 화재를 예방하고 각종 전력변환장치 보호와 유지보수 및 화재 이후의 재산과 인명 손실을 최소화 할 수 있는 연구가 필요하다.[1]

2. EIS-ESS 시스템

2.1 보편적인 ESS 시스템

ESS의 구성요소는 생산 전력을 저장하기 위한 배터리와 배터리의 상태 및 모니터링을 하기 위한 BMS, 전력 변환을 하기 위한 PCS(Power Conditioning System), ESS 시스템을 운영하기 위한 모니터링 시스템(EMS)으로 구성된다.

EMS(Enrtgy Management System)은 상위제어기로 전력변환장치의 충전과 방전 및 현재 발전량등을 결정하여 ESS를 제어함으로써 효율 운전 및 최적 운전을 할 수 있도록 한다.

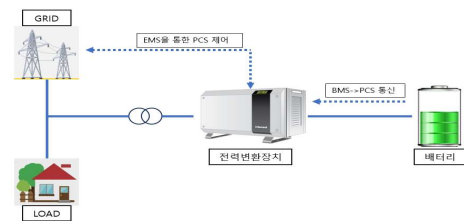


그림 1 ESS 시스템 구성도.
Fig.1 ESS System Diagram

그림 1의 보편적인 ESS 시스템에서의 BMS는 배터리의 셀의 온도, 상태, 전압 등을 감시하고 관리하는 역할을 수행하고, “셀 밸런싱(Cell Balancing)” 및 과충, 방전 및 과전류를 방지하는 “제어” 기능으로 구성되어 있다. 만약 BMS의 관리가 소홀해 지면 배터리는 쉽게 열에 취약해질 수 있다. 이때 충전에서 발생하는 열을 관리하지 못하면 배터리 팩에 과도한 온도 상승 및 온도 분포 불균형을 일으켜 수명 및 안정성에 부정적인 영향을 미친다. 그림 2은 보유하고 있는 배터리 중 문제점이 발견된 배터리 모듈이다. ESS 시스템 동작 대기상태일 때 배터리 셀 전압이다. 배터리 셀 전압 48개(MIN: 3523, MAX: 3568, AV: 3549) 중에서 모든 셀의 전압 범위가 오차 내에 측정되기 때문에 ESS 시스템은 배터리 상태를 정상이라고 판단하여 운전 모드에 따라서 동작을 하게 된다.

Cell Voltage [mV]							
Cell No.1	3527	Cell No.13	3526	Cell No.25	3564	Cell No.37	3553
Cell No.2	3526	Cell No.14	3525	Cell No.26	3561	Cell No.38	3562
Cell No.3	3529	Cell No.15	3523	Cell No.27	3559	Cell No.39	3561
Cell No.4	3526	Cell No.16	3523	Cell No.28	3558	Cell No.40	3562
Cell No.5	3526	Cell No.17	3567	Cell No.29	3558	Cell No.41	3568
Cell No.6	3526	Cell No.18	3565	Cell No.30	3557	Cell No.42	3562
Cell No.7	3529	Cell No.19	3563	Cell No.31	3555	Cell No.43	3564
Cell No.8	3526	Cell No.20	3565	Cell No.32	3559	Cell No.44	3560
Cell No.9	3525	Cell No.21	3566	Cell No.33	3562	Cell No.45	3567
Cell No.10	3525	Cell No.22	3564	Cell No.34	3561	Cell No.46	3562
Cell No.11	3523	Cell No.23	3562	Cell No.35	3565	Cell No.47	3565
Cell No.12	3526	Cell No.24	3562	Cell No.36	3559	Cell No.48	3563

그림 2 ESS 대기 중 배터리 셀 전압 값
Fig. 2 Battery cell voltage value in ESS standby mode

그림 3은 ESS 동작 중 배터리 셀 전압 값이다. 48 개의 배터리 셀 중에 한 개의 셀 전압이 배터리 충전시에 셀 전압이 CELL 전압값 보다 0.45V 이상 상승하는 문제점을 확인 할 수 있다. 위와 같이 동작 전에는 배터리 전압이 정상 범위 내에 있지만 ESS 동작 시 한 개의 셀 전압이 너무 높아지면 소손

및 화재의 문제로 인하여 제어 보드에서 ESS 운영을 정지시킨다. 정지 이후 배터리 전압이 정상 상태로 확인된다면 재가동을 하게 되고, 점검이 필요한 상황이지만 재가동을 반복 함으로써 배터리 셀 전압의 문제를 파악하는 시점이 미뤄지게 된다.

Cell Voltage [mV]							
Cell No.1	3527	Cell No.13	3526	Cell No.25	3564	Cell No.37	3553
Cell No.2	3526	Cell No.14	3525	Cell No.26	3561	Cell No.38	3562
Cell No.3	3529	Cell No.15	3523	Cell No.27	3559	Cell No.39	3561
Cell No.4	3526	Cell No.16	3523	Cell No.28	3558	Cell No.40	3562
Cell No.5	3526	Cell No.17	3567	Cell No.29	3558	Cell No.41	3568
Cell No.6	3526	Cell No.18	3565	Cell No.30	3557	Cell No.42	3562
Cell No.7	3529	Cell No.19	3563	Cell No.31	3555	Cell No.43	3564
Cell No.8	3526	Cell No.20	3969	Cell No.32	3559	Cell No.44	3560
Cell No.9	3525	Cell No.21	3566	Cell No.33	3562	Cell No.45	3567
Cell No.10	3525	Cell No.22	3564	Cell No.34	3561	Cell No.46	3562
Cell No.11	3523	Cell No.23	3562	Cell No.35	3565	Cell No.47	3565
Cell No.12	3526	Cell No.24	3562	Cell No.36	3559	Cell No.48	3563

그림 3 ESS 동작 중 배터리 셀 전압 값
Fig.3 Battery Cell Voltage Value during ESS Operating

2.2 제안된 ESS 시스템

본 논문에서 제안한 EIS-ESS 시스템은 기존 BMS에서 제공하여 주는 배터리 정보를 포함하여 추가로 ESS 시스템이 동작 대기중 일 때 배터리 진단을 할 수 있는 EIS 회로를 배터리 모듈 안에 추가 설계 함으로써 배터리 각 셀의 노화됨에 따른 배터리 셀의 커패시터 변화를 파악할 수 있다. EIS-ESS 인버터 검증을 위해 표 1과 같은 사양의 ESS 인버터를 설계하였고, 그림 4와 같이 실제 시험을 하기 위한 시험 환경을 구성하였다. 단상 출력을 갖는 가정용 ESS 시스템을 설계 하였으며, 배터리 EIS 측정은 단채널로 설계 하였다. 이상 동작을 하는 배터리에 대하여 셀 단위로 측정을 하기 위하여 배터리 모듈을 셀 단위로 EIS 측정을 진행하였다.

표 1 EIS-ESS 시스템 사양
Table 1 EIS-ESS System Specification

항목	ESS System
Power(VA)	5.5kW
Battery 용량(Wh)	10kWh
Battery cell 수량	48
EIS Start Frequency	0.1
EIS Stop Frequency	10KHz
EIS max. AC Amplitude	3A
EIS max. DC Bias	3A
EIS Points	1000



그림 4 EIS-ESS 인버터의 시험 환경 구축
Fig. 4 Experimental setup of EIS-ESS Inverter

그림 5은 ESS 시스템 운전 시 문제가 되었던 Battery cell 을 포함하여 정상 상태 배터리 셀 5개에 대해서 임피던스값을 측정 한 Nyquist Plot이며 배터리에 대한 상대안정도(Relative Stability)를 확보한 값이다. EIS 측정 시 배터리 셀에 인가되는 전류는 AC amplitude 150mA(Peak-to-Peak), DC Bias 300mA 인가한 상태로 임피던스를 측정하였으며, 주파수는 1~1000Hz 사이에서 Sweep 하였다. 동작중 문제가 되었던 배터리 셀은 No.2 이며, 정상적인 셀과 비교하였을 때 전하 전달 임피던스(Rct(mΩ)) 값이 정상적인 제품군 보다 곡선의 변화가 심한 것을 확인할 수 있었다. 이를 이용하여 현재 배터리 상태에 대하여 진단 함으로써 기존 시스템보다 더 안정적인 시스템을 설계할 수 있다.

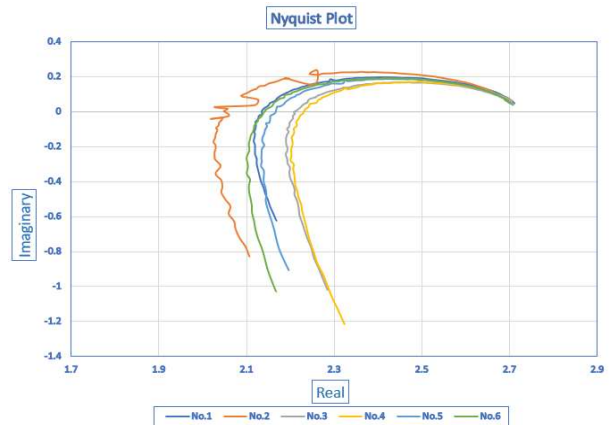


그림 5 리튬-이온 배터리 셀 나이퀴스트 선도
Fig. 5 LI-Ion Battery cell Nyquist Plot

3. 결론

본 논문에서는 배터리를 진단할 수 있는 EIS와 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 ESS를 이용하여 EIS-ESS 시스템을 구현하였다. 배터리 진단을 하기 위하여 Nyquist Plot 이용하여 배터리 셀의 상태를 파악함으로써, 결합이나 노화의 초기 징후를 감지하여 유지 보수 및 교체 전략에 관한 정보를 얻을 수 있다. 또한, 예기치 않은 고장이나 성능이 저하된 배터리의 경우 고장 분석에 활용할 수 있으며, 정상적인 시스템과 불량 시스템의 임피던스 데이터를 비교함으로써 고장의 근본 원인을 정확히 파악할 수 있다. 제안된 시스템은 현재 소용량 배터리를 이용하는 시스템에 해당 되는 내용으로 대용량 ESS 시스템에도 적용할 수 있도록 배터리 셀 단위가 아닌 모듈 단위로 배터리의 상태를 측정할 수 있는 연구가 필요하다. 한솔테크닉스에서는 이 논문을 시작으로 배터리 진단에 대하여 추가적인 연구를 계획하고 있다.

이 논문은 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KETIP) 연구비 지원에 의하여 연구 되었음 ("20026705")

참 고 문 헌

[1] 용호철, "배터리 노화에 따른 전기화학적 임피던스 측정결과와 Capacity 변화 사이의 상관관계 분석", 석사학위논문, pp. 1-3, 2021, November.