

# Cloud Server 내 제한적 데이터 수집 환경을 고려한 Z-Score 기반 셀 간 불균형 모니터링 알고리즘 개발

한동호\*, 이상력\*, 공태현\*, 양가람\*, 김종훈\*

충남대학교\*

handongho05@naver.com, [asas5529@naver.com](mailto:asas5529@naver.com), [xogus8948@naver.com](mailto:xogus8948@naver.com), [pp6573@naver.com](mailto:pp6573@naver.com), [whdgns0422@naver.com](mailto:whdgns0422@naver.com)

## Development of Z-Score based cell balancing monitoring algorithm considering limited data collection environment within Cloud Server

Han Dongho, Lee Sangryuk\*, Gong Taehyuen\*, Yang Garam, Kim Jonghoon\*  
Chungnam University\*,

### 요약

본 논문은 Cloud server에 저장되는 제한적인 정보 내에서 셀 간 불균형 지표를 선정 하기 위하여 Max/Min cell number와 position을 기반으로 배터리의 노화 중 심화되는 셀 탈락 현상을 분석하였다. 현상에 대한 정량화를 위해 Z-Score를 기반으로 안전 운용 범위를 설정 하였으며 Cloud server에 저장된 실제 ESS 운용 사이트 데이터에 적용하여 모니터링 시스템을 구축하여 안전한 운용을 도모한다.

### I. 서론

세계적인 신재생에너지 확대 정책에 따라 에너지 저장장치(ESS)시장이 급격하게 성장하고 있다. 태양광, 풍력 에너지 등 자연에 의존하는 발전 원리의 한계로 전력 생산량의 변화 폭이 크기 때문에 전력 공급의 안정성이 떨어진다는 신재생 에너지의 단점을 보충할 수 있는 대안으로 ESS 사업이 추진되고 있다. 하지만 최근 ESS 화재사고가 빈번하게 발생하면서 많은 문제가 발생하고 있다. ESS 화재이 원인으로, 열관리 실패, 특정 부품 결함, 부품조립과정의 문제, 외부 충격 등이 거론되고 있지만, 아직 까지 명확한 원인을 밝혀내지 못하고 있는 상황이다. ESS의 SYSTEM BMS는 일반적으로 Rack의 운영 데이터를 1초의 Sampling time으로 저장한다. 저장되는 데이터는 기본적인 전압, 전류, 온도 값과 그 외 배터리 상태를 알수있는 데이터를 포함한다. 하나의 모듈은 직렬 17개 병렬 14개, 총 238개의 셀로 구성되며, 238개 셀의 전압값 및 온도값을 저장할 수 없기 때문에 각 측정값의 최저값, 최고값, 평균값과 최저값, 최고값의 위치정보(모듈번호, 셀 번호)를 저장한다. 이처럼 현재 ESS에서 전달되는 데이터에서는 확실한 기술적 한계가 존재하며, 단순하게 저장된 데이터를 토대로 빅데이터 기반의 분석을 통해 가공하는 것이 필수적이다. [1]

### II. 본론

1초 단위로 쌓이는 데이터를 가공하기 위해서는 사용자가 중요하다고 생각하는 요인 즉, Characteristic parameter를 선정해야한다. FR-ESS에서 얻어지는 정보의 한계성에도 불구하고, 배터리의 노화에 밀접한 관련이 있는 요소들의 추출 및 가공이 가능하다. 가장 최적의 데이터 베이스의 구성은 각 셀에 대한 전압 및 온도 정보를 각각 가공을 하는 것이지만, 데이터 저장 한계가 존재하기 때문에 지정된 Sampling time에 위치 정보에 따른 최고값과 최저값에 우선적으로 주목해야할 필요성이 있다. Module 단위의 ESS를 구성하는 238개의 셀에 충전 및 방전에 따라 일정한 전류가

인가되지만 저장되는 데이터에 나타나는 전압의 최고값과 최저값이 관측되는 위치 정보는 매 초마다 변한다. 즉, 위치 정보에 따라, 전압의 최고값과 최저값이 나타나는 빈도 회수를 파악함으로써 셀의 노화에 대한 정보를 간접적으로 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 셀 간 불균형 지표 확보를 위해 표 1에 제시된 제한적인 센싱 정보만을 활용한다. 그림 1은 본 논문에서 제시한 알고리즘의 적용대상인 Cloud server내 데이터 수집 환경을 나타내며, ESS와 GCP 인스턴스 서버와의 TCP 프로토콜 통신에 기반한다. Cloud server뿐만 아니라 ESS를 구성하는 Master BMS와 Slave BMS의 통신 또한 버퍼의 문제로 모든 셀의 정보를 EMS에 저장할 수 없으며, 이러한 문제로 Fault signal의 도출에만 사용되며 주기적인 관리에는 사용되지 않는다.

그림 1 Cloud server 내 데이터 수집 환경

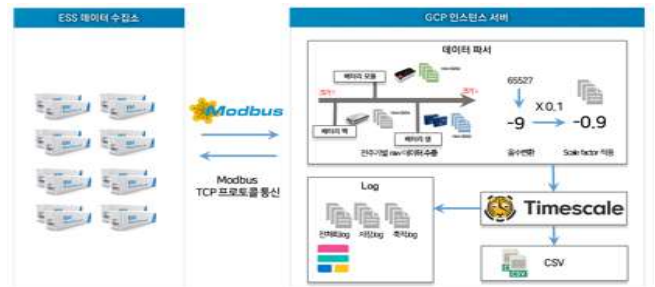


표 1 BMS 내 센싱 가능한 제한적 데이터

BMSensingdata	
Cell deviation	
Max cell voltage number (Charge)	
Max cell voltage position (Charge)	
Min cell voltage number (Discharge)	
Min cell voltage position (Discharge)	

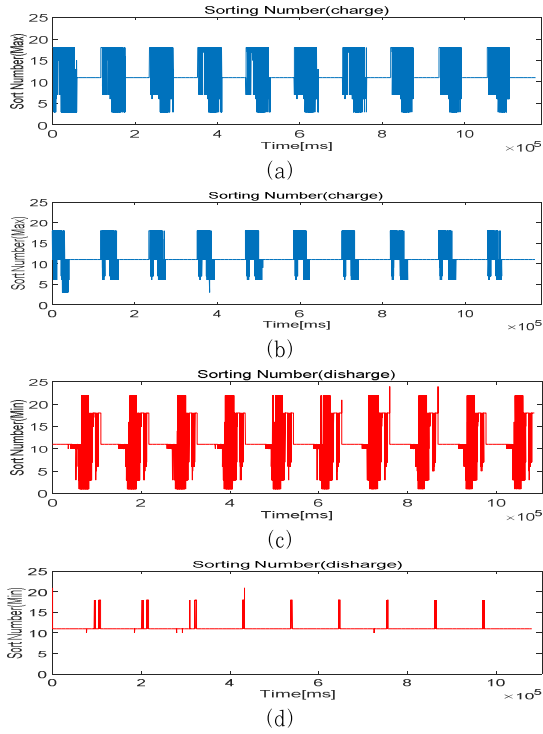


그림 2 Cycle에 따른 Max cell number (a)노화 초기 (b)노화 이후 Min cell number (c)노화 초기 (d) 노화 이후

그림 2는 배터리의 노화에 따른 Max/Min cell number와 Position을 나타낸다. 그림 2(a)와 (c)에서 볼 수 있듯이 노화 초기의 경우 Max/Min에 해당하는 cell number와 position이 각 셀마다 랜덤하게 도출되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 그림 2(b)와 (d)에서 볼 수 있듯이, 배터리가 노화된 이후 Max/Min에 대한 cell number와 position은 특정한 셀로 수렴해 나가는 현상이 도출되었다. 해당 데이터에서는 11번 번 셀에 대한 탈락 현상이 발생하였지만 실제 운용되는 ESS의 경우는 불특정 셀에 대해 탈락 현상을 정량화 할 수 있는 지표가 필요하며 이를 Z-Score로 선정한다.

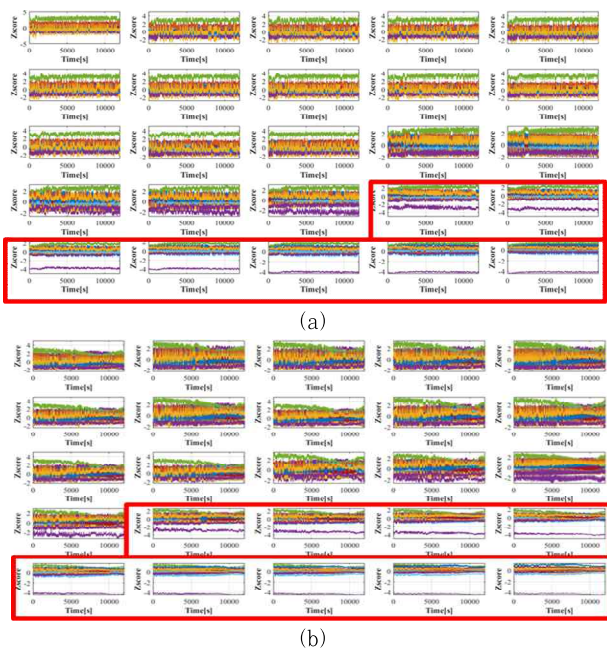


그림 3 Cycle에 따른 Z-Score 도출 (a) SOC 40~50% (b) SOC 50~60%

표 2 기보유 불균형 데이터 기반 Z-Score 범위 선정

Z-Scorerange	Warning
3.5 < Z-Score	5
3.4 > Z-Score < 3.3	4
3.3 > Z-Score < 3.2	3
3.1 > Z-Score < 3.0	2
Z-Score < 3.0	1

그림 3은 Max/Min cell number와 Position을 기반으로 각 셀에 대한 Z-Score 도출 결과를 나타낸다. 직렬 및 병렬로 구성된 배터리 모듈의 특성상 셀 간 편차 발생 시 편차는 지속적으로 누적되게 되며 이는 충전 상태 즉, SOC 구간에 따라 상이하다. 따라서 SOC 10% 간격으로 Z-Score를 도출하였으며, SOC 40%부터 60%까지의 Z-Score를 대표적으로 제시하였다. 분석된 Z-Score를 기반으로 불균형의 안전 범위를 선정하였으며 이를 표 2에 나타낸다. 또한 그림 4는 그림 2에 제시된 Cloud server내 데이터 수집과 표 2를 기반으로 실제 운용 중인 ESS 실증 사이트에 적용된 Warning signal의 결과를 나타낸다. 정상적으로 운용 중인 ESS이므로 Warning signal은 1로 도출되며 비정상적 셀의 탈락 현상에 대한 지표로 활용하여 안전한 시스템 운용을 도모할 수 있다.



그림 4 ESS 실증 사이트 내 Warning signal 모니터링

### III. 결론

본 논문에서는 Cloud server 내 저장된 제한된 데이터에 내에서 셀 간 불균형을 추정하기 위해 노화에 따라 불균형이 심화된 배터리 모듈 기보유 데이터에서 Max/Min cell number를 분석하였다. 그 결과 노화 초기 상태 대비 배터리의 노화가 진행 될수록 특정한 셀이 탈락하는 현상을 도출하였으며, 이에 대한 현상을 지표화 하기 위해 Z-Score를 도입하여 환산하였다. 또한 차등적인 SOC 구간에서 도출된 Z-Score를 기반으로 안전 운용 범위를 설정하였으며 데이터 서버에 저장된 실제 운용 ESS에 적용하여 Warning signal을 도출하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(No. 2022-1711152629, 대규모 분산 에너지 저장장치 인프라의 안전한 자율운영 및 성능 평가를 위한 지능형 SW 프레임 워크 개발) 및 한국전력연구원(R23X005-03, ESS향 물리모델-AI 결합 클라우드 기반 BMS 요소기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

### 참고 문헌

[1] F. Schneider, U.W. Thonemann, D. Klabjan, "Optimization of battery charging and purchasing at electric vehicle battery swap stations", *Transport Sci*, 52 (5) (2017), pp. 1211-1234