

ESS 배터리 예지보전을 위한 안전도 분석에 관한 연구

박진원, 김창우, 임홍휘, 최효섭*

한국전자기술연구원

jwpark9010@keti.re.kr, cwkim@keti.re.kr, thinklim@keti.re.kr, hschoi@keti.re.kr

A Study on the Safety Analysis for Predictive Maintenance of ESS Battery

Park Jin Won, Kim Chang Woo, Choi Hyo Sub*

Korea Electronics Technology Institute

요 약

배터리 시스템이 복잡해짐에 따라 과충전, 과방전 등의 보호회로만으로는 안전성 확보에 어려움이 따른다. 따라서, 본 논문에서는 배터리의 안전성을 높이고, 예지보전을 위한 방법으로 BMS 데이터를 활용한 안전도(SoS, State of Satety) 분석과 모니터링 시스템 구축을 목적으로 하였다.

I. 서론

에너지 저장 시스템(ESS, Energy Storage System)은 전력을 저장하여 비상시에 사용하거나 판매 등의 목적으로 만들어진 시스템이다. [1-2] ESS는 배터리 팩, BMS 등으로 구성된다. [3] BMS는 전압, 전류 및 온도 등을 모니터링하여 최적의 상태로 유지 관리 및 배터리 문제 등을 사전에 발견하는 역할을 한다. 이러한 배터리 상태 및 관리를 나타내는 지표로 충전 상태(SoC, State of Charge), 에너지(SoE, State of Energy), 수명상태(SoH, State of Health), 출력과워(SoP, State of Power), 온도상태(SoT, State of Temperature) 그리고 안전도(SoS, State of Safety) 등이 있다. [4] 본 논문에서는 배터리 BMS에서 수집된 최대 전압, 최소 전압, 최대 온도, 최소 온도, 전류, 전압 불평형, 온도 불평형의 지표에 대하여 안전도를 나타내는 방법을 사용하였다. 수집된 데이터에 대해 안전점수 계산 방법은 운영 사이트의 프로텍션 맵과 수치적인 방법을 사용하여 분석하였다. [5] 추가적으로 분석된 결과를 활용하여 사용자가 ESS 상태를 알 수 있게 모니터링 서비스를 제공하였다.

II. 본론

2.1 Dataset

본 논문에서는 BMS로부터 수집된 RACK 데이터를 사용하였다. 1개의 RACK은 17개의 모듈로 구성되어 있으며, 모듈 당 12개의 코어, 코어당 60개의 셀로 구성되어 있다. 실험은 전체 기간 중 2022년 11월에 수집된 최대전압, 최소전압, 최대온도, 최소온도, 전류, 전압불평형, 온도불평형 데이터를 사용하였다.

2.2 안전도(SoS, State of Safety)

SoS는 배터리의 상태를 나타내는 지표이다. SoS는 safe, warning, unsafe 상태로 나타낼 수 있으며, 각 값에 대한 경계는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림 1에서 1의 값은 완전히 안정된 상태를 말하며, 0의 값은 그와 반대된다.

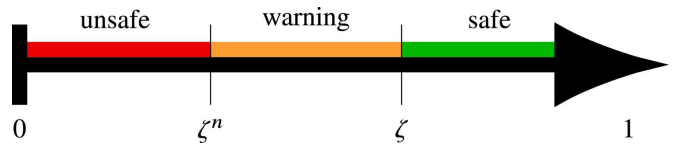


그림 1 SoS의 작동영역[5]

여기서, ζ 는 안전을 보장하는 0에서 1의 값을 가지며, n 은 하위 함수의 수이다. 본 논문에서 사용하는 안전점수는 다음과 같이 나타낸다. [5]

$$f_{safety}(x) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\zeta} - 1\right) \left(\frac{h(x) - h(x_{100})}{f(x_{\zeta}) - h(x_{100})}\right)^2 + 1}$$

여기서, $h(x)$ 는 입력 지표의 현재 값, $h(x_{\zeta})$ 은 입력 지표에 경고 수준에 해당하는 값, $h(x_{100})$ 은 입력 지표에 해당하는 최대 안전도의 값을 나타낸다. 식(1)을 사용하여 하위 함수들에 대한 안전점수를 계산한 뒤, 아래 식을 사용하여 통한 안전점수를 구할 수 있다.

$$SoS(x) = f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \dots \cdot f_n(x_n)$$

$$SoS(x) = \prod_{k=1}^n f_k(x_k)$$

본 논문의 실험에서는 $\zeta=0.8$, 하위 함수의 개수를 지정하는 $n=4$ 로 지정하였다. n 의 값을 변경한 이유는 최대 전압, 최소 전압, 최대 온도, 최소 온도의 값이 종속적이기 때문이다. 따라서, 그림 1에서 SoS의 값이 1일 때, 가장 안정한 상태이며, 0.8이 경고에 기준이 되며, ζ^4 인 0.4096 값이 경고와 위험의 기준값이 된다.

2.3 안전 점수 예측

ESS Rack 데이터는 초당 데이터가 획득된다. 따라서, 초당 SoS를 구하여 예측을 진행할 수 있으나, 본 연구에서는 5초당 한 번씩 안전 점수를 구하여 예측 데이터 셋을 만들었으며, 1분 뒤 SoS 값을 예측하였다. 예측에는 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델을 사용하였다. LSTM은 1개의 레이어를 가지며, 16개의 요소(unit), 활성화 함수는 시그모이드(sigmoid)를 사용하였다. 드롭아웃(drop)을 사용하여 과적합을 방지하였다. 그림 2는 LSTM을 사용하여 예측한 결과이다.

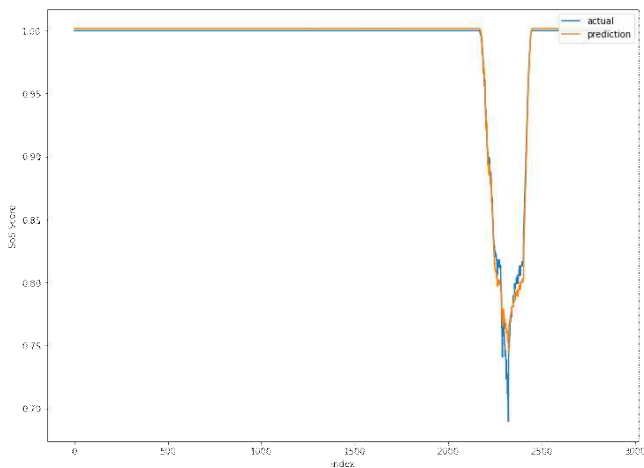


그림 2 안전 점수 예측 결과

2.4 모니터링 시스템

본 실험에서는 ESS 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 활용하여 SoS 안전점수를 계산 및 예측하는 모니터링 시스템을 구축하였다. 그림 3은 실제 구축된 모니터링 시스템이다. 통합 SoS 안전점수뿐 아니라 하위 합수들에 대한 안전점수를 볼 수 있다. 따라서, 어떤 문제가 발생했는지 직관적으로 알 수 있다. 이외에도 ESS 안전지표와 분석에 대한 다양한 결과들은 keti-dp 웹사이트에 들어가면 확인할 수 있다.[6]

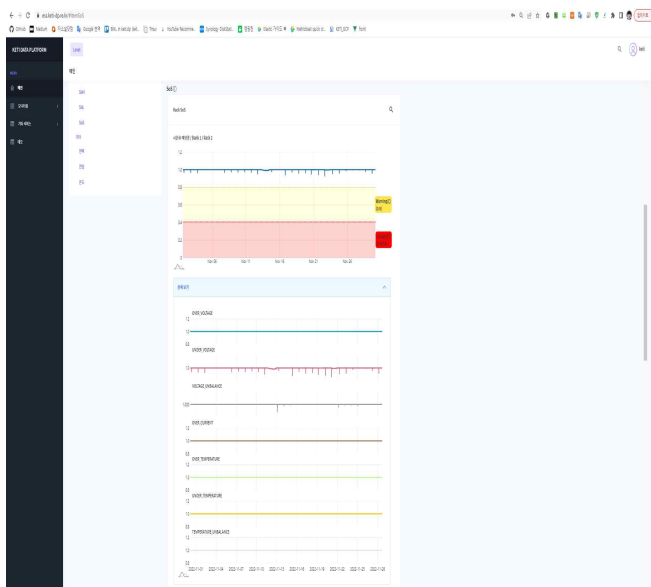


그림 3 모니터링 시스템

III. 결론

본 논문에서는 ESS로부터 수집되는 데이터를 활용하여 배터리 상태 지표인 SoS 값을 표현하였다. 현재는 SoS 값을 나타내기 위해 BMS에서 수집되는 데이터만을 사용하였지만, SoC, SoH, SoF 등과 같은 다양한 상태 지표 데이터를 활용하여 SoS 값을 나타낼 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서는 딥러닝 알고리즘을 사용하여 사용자에게 사전에 알려줄 수 있는 예측 모니터링 시스템을 구축하였다. 현재는 웹 모니터링을 통하여 사용자에게 위험에 대해 경고를 주고 있지만, 향후에는 모니터링뿐 아니라 실제 ESS 운영 사이트에 적용하여 예지보전에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-00077, 대규모 분산 에너지 저장장치 인프라의 안전한 자율운영 및 성능 평가를 위한 지능형 SW 프레임워크 개발)

참 고 문 헌

- [1] Komarnicki, Przemyslaw, Pio Lombardi, and Zbigniew Styczynski. "Electric Energy Storage System." Electric Energy Storage Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, 2017. 37-95.
- [2] Schainker, Robert B. "Executive overview: energy storage options for a sustainable energy future." IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004.. Ieee, 2004.
- [3] Zhang, Chao, et al. "Energy storage system: Current studies on batteries and power condition system." Renewable and Sustainable Energy Reviews 82 (2018): 3091-3106.
- [4] Hu, Xiaosong, et al. "State estimation for advanced battery management: Key challenges and future trends." Renewable and Sustainable Energy Reviews 114 (2019): 109334.
- [5] Cabrera-Castillo, Eliud, Florian Niedermeier, and Andreas Jossen. "Calculation of the state of safety (SOS) for lithium ion batteries." Journal of Power Sources 324 (2016): 509-520.
- [6] <https://ess.keti-dp.re.kr>