

ANN을 이용한 리튬이온 배터리의 SOH 예측기법 연구

권상욱*, 한동호*, 김종훈*
 충남대학교 전기공학과*

Artificial Neural Network based SOH prediction of lithium-ion battery

Sanguk Kwon*, Dongho Han*, Jonghoon Kim*
 Department of Electrical Engineering, Chungnam National University*

ABSTRACT

배터리의 효율적인 사용을 위해 배터리 관리 시스템(BMS)는 중요하다. 그 중 배터리의 잔존 수명을 나타내는 지표인 SOH(State of Health)를 예측하기 위해 본 논문에서는 18650 리튬이온 셀에 전기적 노화 실험(Cycle Life Test)을 적용하였다. 방전 용량 및 저항 변화에 의한 SOH 변화를 인공 신경망(Artificial Neural Network)을 사용하여 예측하도록 설계하고 이에 대한 검증은 수행하였다.

1. 서 론

전기자동차(Electric vehicle) 및 신재생에너지의 에너지저장 장치에 배터리가 쓰이며 배터리의 활용범위가 넓어짐에 따라 배터리의 상태를 모니터링 할 수 있는 배터리 관리 시스템(BMS)이 중요해지고 있다. 그중 배터리 잔존 수명을 판단하는 지표인 SOH(State of Health)는 배터리의 교체 시간을 예측하고, 노화에 따른 내부 파라미터 변화를 예측하여 SOC(State of Charge) 추정 오차를 줄이고 정확도를 높이므로 배터리의 안정성에 영향을 준다.

비선형적이며 직접 측정이 불가능한 SOH의 변화를 추정하기 위해 많은 연구가 진행되었지만 노화에 의한 용량과 저항의 변화를 지표로 추정해야 하므로 완전한 충전과 방전을 통한 오프라인에서의 용량 측정 및, 일정한 전류로 내부저항을 측정해야 하는 문제점이 있다.

본 논문은 제시한 문제점을 극복하고 온라인으로 SOH를 추정하기 위해 머신러닝의 기법의 한 종류인 인공 신경망(Artificial Neural Network)을 통한 SOH 추정 모델을 제시한다. 노화 실험에 따른 용량 변화 및 저항 변화를 학습데이터로 사용하여 오프라인에서 모델을 학습시키고 학습된 인공 신경망을 활용하여 SOH 예측 및 모델 검증은 수행한다.

2. SOH 추정을 위한 전기적 노화 실험

2.1 SOH(State of Health) 추정

SOH는 노화에 의한 배터리 내부 특성변화 및 성능을 판단하는 지표이다. 대표적인 방법으로 초기 용량 및 저항 대비 용량의 감소량과 저항의 증가율로 판단할 수 있으며, 식(1), (2)에 의해 정의할 수 있다.

$$SOH_{capacity} = \frac{Cn_{current} - Cn_{aged}}{Cn_{fresh} - Cn_{aged}} \tag{1}$$

$$SOH_{power} = \frac{P_{current} - P_{aged}}{P_{fresh} - P_{aged}} \tag{2}$$

2.2 전기적 노화 실험

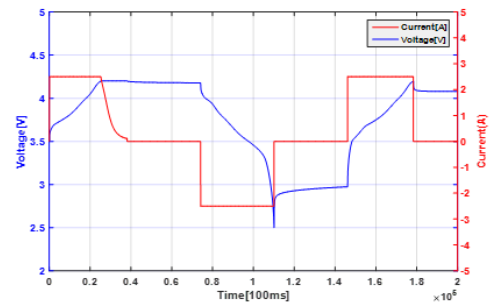


그림 1 전기적 노화 실험을 위한 전류 및 전압 프로파일
 Fig. 1 Current and voltage profile of electric cycle life test

본 논문은 배터리의 노화에 의한 내부 특성변화를 확인하기 위한 실험으로 NCA계열 고출력 18650 원통형 셀을 사용하여 전기적 노화 실험(Cycle Life Test)을 진행하였다.^[1] 그림 1의 프로파일은 충전 상한전압(4.2[V])에서 방전 하한전압(2.5[V])까지 만충(Fully charge)과 만방(Fully discharge)을 1사이클로 정의하였다. 10사이클의 주기로 총 200사이클 실험을 진행하였으며 실험 결과는 그림 2와 같다. 실험을 통한 방전용량은 SOC 100%에서 0%까지 방전 전류를 적산하여 계산하였으며, 내부 저항은 첫 방전 전류 인가 시 순간적인 전압 하강 구간에서 옴의 법칙(Ohm's law)을 통해 계산하였다.

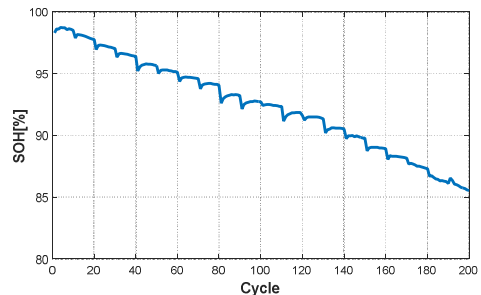


그림 2 전기적 노화 실험에 의한 SOH 변화
 Fig. 2 SOH change by electric cycle life test

3. 인공신경망(ANN) 원리

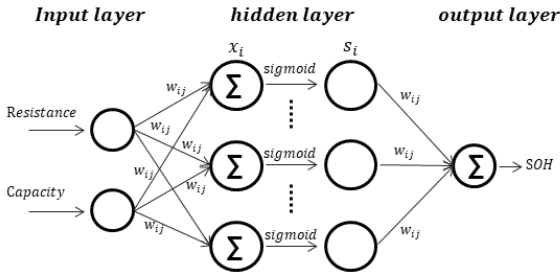


그림 3 인공신경망의 구조
Fig. 3 Structure of artificial neural network

인공신경망(Artificial Neural Network)은 뉴런의 작동 원리에서 착안한 비지도 알고리즘으로 모델에 학습 데이터를 오프라인에서 학습시킨 후 실제 데이터를 적용시켜 결과 값을 예측한다. 인공신경망의 구조는 그림 3과 같이 입력 층(Input layer), 은닉 층(Hidden layer), 출력 층(Output layer)으로 구성되어 있으며 각 층은 여러 개의 뉴런으로 구성되어있다.^[2]

$$\text{sigmoid} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial x_i} \frac{\partial x_i}{\partial s_i} \frac{\partial s_i}{\partial w_{ij}} \quad (4)$$

한 층에서 다음 층으로 넘어갈 때 각 뉴런에 가중치를 곱한 후 합한 값을 식 (3)과 같은 활성화 함수(Activation function)를 통해 값을 출력하여 다음 층의 뉴런에 입력된다. 최종적으로 출력 층에서 도출된 예측 값이 학습 데이터 실제 값과 비교하여 오차가 발생한 경우 역전파(Backpropagation)를 활용하여 반대 방향으로 식 (4)를 반복하여 오차를 줄이도록 가중치를 학습시킨다.

4. 인공신경망(ANN)을 활용한 SOH 예측

4.1 인공신경망 모델 설계

전기적 노화 실험 사이클 수에 따라 산출된 방전 용량과 내부저항으로 SOH를 예측하기 위해 인공신경망 모델을 설계하였다. 은닉 층은 1개의 층과 10개의 뉴런으로 구성했으며 활성화 함수로 sigmoid 함수를 사용하였다. 모델의 학습은 출력 층에서의 예측 값과 실제 값의 오차를 줄이는 방향으로 역전파를 활용하여 가중치를 반복하여 학습했다. 학습데이터는 전기적 노화 실험을 통해 변화된 방전 용량, 저항, 식 (1)에 의해 계산된 SOH값을 사용하였으며, 입력 층에는 용량과, 저항을 입력하고 출력 층에서는 실제 SOH값을 입력 값에 의한 예측 값을 비교하여 학습시켰다.

4.2 인공신경망을 활용한 SOH 예측 결과

본 논문에서 사용된 인공신경망 모델은 머신러닝에 많은 이점을 가지고 있는 Tensorflow 프로그램을 사용해서 설계하였다. 200 사이클의 데이터 중에 초기 100 사이클의 데이터를 학습데이터로 인공신경망 모델을 학습시킨 이후 나머지 100 사이클의 SOH값을 예측하여 실제 SOH값과 비교 분석하였다. 그

림 4(a)에서 보여주는 실제 SOH값과 그림 4(b)에서 보여주는 인공신경망을 통해 예측된 SOH값을 비교한 결과 평균 오차가 2.846%로 예측 능력을 확인하였다.

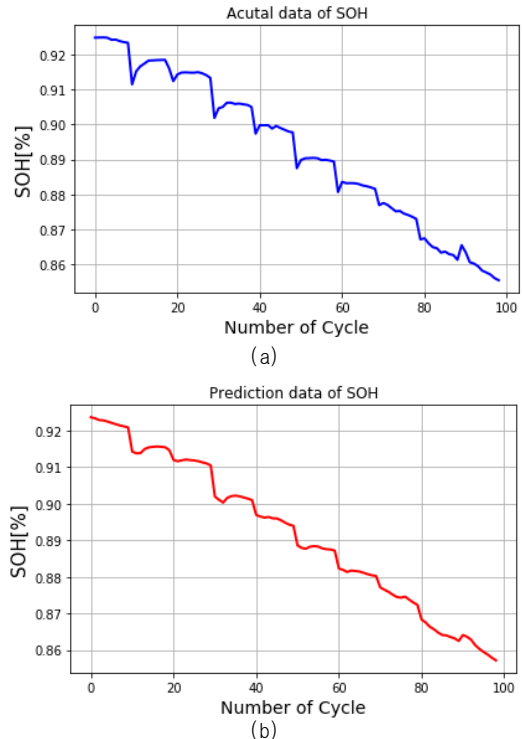


그림 4 실제 SOH와 인공신경망을 통해 예측된 SOH 비교
(a)실제 SOH (b)예측 SOH
Fig. 4 Actual SOH and SOH estimation using ANN
(a)Actual SOH (b)SOH estimation

5. 결론

본 논문은 전기적 노화 실험으로 인해 변화된 배터리 내부 특성과 SOH의 관계를 알아보고 비선형적인 SOH를 예측하기 위해 인공신경망 모델을 활용하였다. Tensorflow를 사용하여 모델을 설계하고 200사이클의 데이터에서 초기 100사이클의 방전 용량, 내부 저항, SOH 변화 값을 학습데이터로 학습시킨 이후 나머지 사이클에 대한 SOH값을 예측하고 실제 값과 비교하여 평균 오차 2.846%로 모델의 예측 능력을 검증하였다.

본 연구는 한국전력공사의 2016년 선정 기초연구개발과제 연구비에 의해 지원되었음 (과제번호 R17XA05-55)

참고 문헌

- [1] 이평연, 박진형, 윤창오, 김종훈, “고출력 리튬이온 배터리 에 적합한 단순선형회귀모형 기반 SOH 추정 기법”, 전력 전자학회, 2018
- [2] Ho-Ta Lin, Tsorng-Juu Liang, Shih-Ming Chen “Estimation of Battery State of Health Using Probabilistic Neural Network” IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.9, pp.679-685, May 2013