

전기 자동차 주행 프로파일 기반 CNN을 이용한 리튬 배터리 SOH 추정 기법 연구

문태석* 한동호* 백중복** 강모세** 유기수*** 김종훈*
 충남대학교 에너지저장변환실험실*, 한국에너지기술연구원**, 영남대학교***

A Study on Lithium Battery SOH Estimation Using CNN Based on Electric Vehicle Driving Profile

Taesuk Mun*, Dongho Han*, Jongbok Baek**, Mose Kang**, Kisoo Yoo***, Jonghoon Kim*
 Chungnam National University*, Korea Institute of Energy Research**, Yeungnam University***

ABSTRACT

배터리의 효율적인 관리와 안정적인 운영을 위해서는 배터리의 노화에 따른 배터리의 모니터링이 중요하다. 그 중에서도 노화에 대한 문제는 실제 어플리케이션에서 매우 중요하기 때문에 더 정확하고 안정적인 운영을 위해서는 배터리 잔존 수명을 판단하는 지표인 State of Health (SOH)가 필수적이다. 따라서 실험을 통한 UDDS의 전압 차 (Voltage Difference) 이미지를 학습데이터로 구성하여, SOH의 파라미터인 용량을 추정하는 Convolutional Neural Network(CNN) 모델을 제안한다.

1. 서 론

최근 들어 화석연료의 가격 증가와 대두되는 환경문제에 따른 문제점으로 인해 배터리를 사용하는 전기자동차 (Electric vehicle)에 대한 관심이 급증하고 있으며 배터리에 대한 관심은 물론 효율적인 배터리 사용을 위한 배터리 관리 시스템 (Battery Management System)의 중요성이 강조된다. BMS의 주된 역할은 배터리 잔존 용량 추정 및 셀 충전 용량의 밸런싱으로 최근에는 노화 상태를 반영한 잔존 용량 추정을 통해서 배터리의 정확한 잔존 수명을 예측하고 배터리 결함 진단, 유지보수 및 교체 일정 선정에 대한 연구가 진행되고 있다.^[1] 그에 따라 배터리의 노화와 잔존수명에 관련되는 SOH 추정기법에 대한 연구가 필요하다.

SOH는 용량 감소 및 내부 저항 측면에서 배터리 노화 수준을 정량적으로 평가하는데 사용되며 용량 감소의 주된 원인은 배터리의 노화가 지목되고 있다.^[2] 많은 논문에서 용량감소를 감안한 SOH 추정에는 대표적으로 물리 기반 모델 (Physics-based Model)이 연구되었지만 모델의 단순화나 매개변수 식별 측면의 복잡성의 문제점이 존재한다.

본 논문은 물리 기반 모델 추정의 단점을 보완하기 위해 전압 차 (Voltage Difference)를 이용한 CNN 용량 추정 기법을 소개한다.

2. CNN 기반 Voltage Difference를 통한 용량 추정

2.1 Voltage Difference를 통한 전압 추출

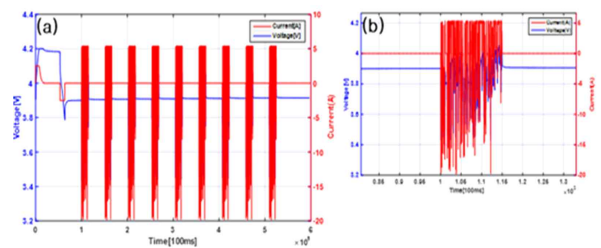


그림 1 10cycle과 1cycle에 대한 UDDS의 voltage와 current 파형
 Fig. 1 Voltage and current waveform of UDDS for 10cycle and 1cycle

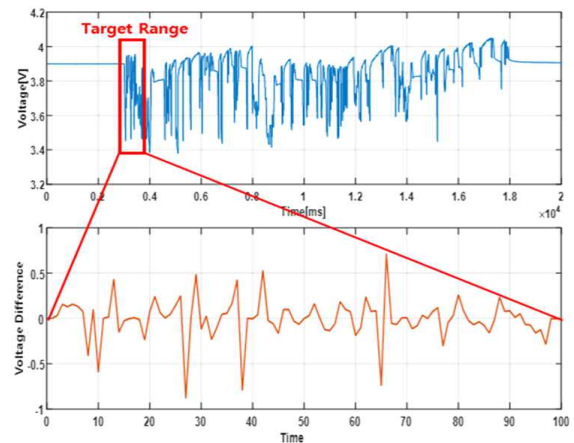


그림 2 Voltage Data를 통해 추출된 Voltage Difference
 Fig. 2 Voltage and current waveform of UDDS for 10cycle and 1cycle

실제 운행 간 노화에 따른 용량 감소를 확인하기 위해 Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)을 Target Cell인 INR18650-25R에 맞게 변형한 노화 실험을 진행하였다. 본 실험에 사용한 UDDS 프로파일은 실제 전기 자동차의 운행을 모방한 실험 방식으로 전기자동차의 출력에 따른 전류로 구성된다. 노화 실험은 총 700cycle을 진행하였고 10cycle 진행마다 용량을 측정하였다. 그림 1 (a)는 10cycle 진행한 UDDS 실험에 대한 전압과 전류 파형이며 그림 1 (b)와 같이 1cycle에 대한 실험 데이터로 분류하였다. 결과적으로 노화 실험을 통해서 총 700개의 그림 1 (b)와 같은 전압 전류 파형을 확보하였다.

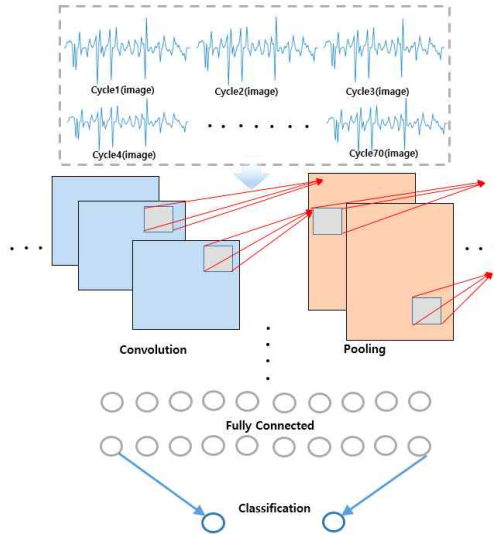


그림 3 CNN을 통한 이미지 학습
Fig. 3 The process of learning images through CNN

그림 2는 그림 1 (b)의 전압 파형에서 전류가 인가되는 시점부터 10초 동안의 전압 차 (Voltage Difference)를 보여주며 Voltage Difference는 식 (1)과 같이 표현한다. 노화가 진행되면서 내부 저항이 증가하기 때문에 Voltage Drop은 커지며 식 (1)의 값은 증가하는 경향성을 보인다.

$$V_{Difference} = voltage_{(k+1)} - voltage_{(k)} \quad (1)$$

2.2 CNN을 통한 학습 및 검토

2.2.1 CNN을 통한 학습

CNN 알고리즘을 이용하여 용량 추정을 하는 과정은 그림 3과 같이 표현되고 Convolution 과정을 통해 입력으로 들어온 이미지의 특징을 추출한다. 이 과정에서 추출된 700개의 Voltage Difference 이미지가 입력데이터로 들어간다. Pooling 과정은 그림 3에 나타내었으며, Convolution의 출력 데이터를 입력으로 받아서 출력 데이터의 크기를 줄이거나 특정 데이터를 강조하는 용도로 사용된다. 그림 4는 실제 INR18650-25R의 노화 실험을 통해 확인한 용량감소에 대한 그래프를 나타낸다. 즉, 10개의 이미지와 그에 맞는 용량 값을 분류하고, 700개 이미지 중 random한 이미지를 입력하였을 때 다음 학습과정을 거친 CNN 프로그램이 정확한 용량 값을 추정하는지 확인하였다.

2.2.2 용량 추정 및 검토

노화가 진행되면서 Voltage Drop의 정도가 심해짐에 따라 Voltage Difference 값도 증가하며 제안된 CNN 기반 용량 추정 기법은 이 부분을 이용하여 학습 데이터를 제작하였다. 그림 5는 학습된 CNN 알고리즘을 사용한 용량 추정 값과 실제 용량 값을 비교하여 시각화하였으며 경향성이 일치하는 것을 확인하였다. 실제 용량 값에 대한 추정치의 평균 오차율은 0.01%이고 최대 오차율은 1.5%로 확인하였다.

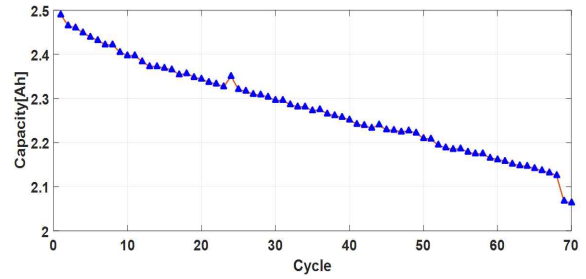


그림 4 UDDS 700cycle 진행되는 동안 용량감소
Fig. 4 Capacity reduction during 700cycle of UDDS

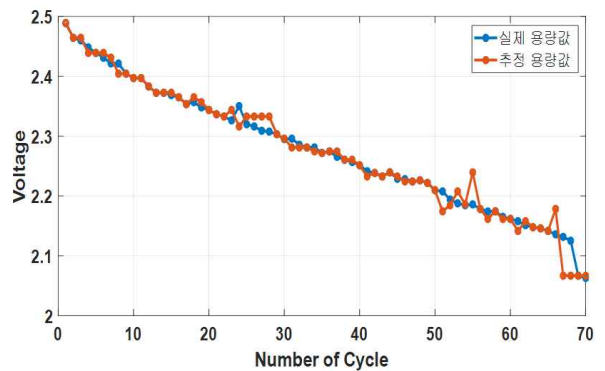


그림 5 CNN을 통한 용량 추정과 실제용량 감소 비교
Fig. 5 A comparison of capacity estimation and actual capacity reduction through CNN

3. 결론

본 논문은 실험적 데이터를 통한 CNN기반 새로운 용량 추정 기법을 소개했다. 오차를 줄이고 더 정확한 용량 값 추정을 위해서는 Convolution과 Pooling의 횟수를 늘리고 초기단계를 사용한 전압 이외에 더 Critical한 전압 영역대를 찾아서 입력 데이터를 만든다면 정확한 추정이 가능하다. 추후에는 다른 Cell의 임의의 실험 프로파일을 통해 추출한 Voltage Difference 이미지를 이용하여도 용량 추정의 정확성이 떨어지지 않는지 확인하려 한다. 본 논문의 CNN을 이용한 용량추정 기법이 임의의 주행 프로파일에 적용하였을 때도 정확성이 있다면 운행 중 노화 정도 추정이 가능하다.

이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KETI) 연구비 지원에 의한 연구임('20011626')
본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구임 ('20182410105280')

참고 문헌

- [1] Xuebing Han, "A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle"
- [2] Xiaosong Hu, "State estimation for advanced battery management: Key challenges and future trends", Volume 114, October 2019, 109334