

# 딥 러닝 모델 기반의 리튬이온 배터리 잔존 유효 수명 예측에 관한 기술 분석

홍건교, 김동현, 서동준\*  
경북대학교

\*corresponding author

{gun2399, kdhnim96, \*dongjunsuh}@knu.ac.kr

## Technical Analysis on Prediction of Remaining Useful Life of Lithium-ion Battery based on Deep Learning Model

Geonkyo Hong, Donghyeon Kim, Dongjun Suh\*  
Kyungpook National University

### 요 약

최근 산업용 애플리케이션에서 많이 사용되는 리튬이온 배터리의 잔존 유효 수명 예측에 관한 관심이 대두되고 있다. 따라서 본 논문에서는 리튬이온 배터리의 잔존 유효 수명을 사전에 예측하기 위해 딥 러닝 기반의 회귀 예측 분석 연구를 진행하였다. 실험 결과 회귀 예측 평가 척도인 Mean Squared Error, R-Squared, Mean Absolute Error 를 통해 Deep Neural Network 모델이 리튬이온 배터리 잔존 유효 수명 예측에서 가장 적합한 모델임을 확인하였다.

### I. 서 론

최근 2 차 전지인 리튬이온 배터리는 전지 크기의 다양성, 고밀도의 에너지 저장 수행 능력, 고전압 수용 능력의 장점을 가지고 있어 실생활의 다양한 분야에서 사용되고 있다. 예를 들어 스마트폰, 태블릿, 웨어러블 디바이스, 노트북, 등 슬림화 되는 전자 기기를 비롯하여 전기 자동차의 차량용 배터리, 태양광과 같은 신재생 에너지 연료 전지의 축전 시스템 등에 효율적으로 사용되는 배터리이다. 하지만 리튬이온 배터리의 유지 및 보수에 대한 어려움을 겪고 있어 예상치 못한 배터리의 고장이 발생하게 된다. 리튬이온 배터리는 주변 온도와 시간당 반복되는 화학 반응으로 인하여 출력 및 저장 능력에 영향을 주는 성능 저하가 수반된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 현재 상태를 예측할 수 있는 딥 러닝 기반의 고장 예지 및 건전성 관리 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 고장 예지 및 건전성 관리에 대한 기술이 점진적으로 발전하면서 리튬이온 배터리의 잔존 유효 수명 예측이 가능해졌다. 잔존 유효 수명은 현재 시점에서 시스템의 고장이 발생할 미래 시점까지 남아있는 기간으로 정의 된다. 딥 러닝 기반의 잔존 유효 수명 예측을 통해 사람의 접근이 어려운 영역에서 고장을 사전에 방지할 수 있으며, 빠른 피드백을 통해 배터리 고장에 의한 시스템 작동 중단을 막을 수 있어 유지보수 비용뿐만 아니라 제품 생산성 저하로 인해 발생하는 시스템의 손실 비용을 절감할 수 있다 [1].

따라서 본 논문에서는 리튬이온 배터리의 잔존 유효 수명을 사전에 예측하여 고장 예지 및 건전성 관리 확보를 할 수 있는 딥 러닝 모델 기반의 예측 분석 연구를 수행하였다.

### II. 본론

딥 러닝 기반의 리튬이온 배터리 잔존 유효 수명 예측 분석 연구 수행을 하기 위해 실험에 사용된 데이터는 Hawaii Natural Energy Institute 에서 제공한 NMC-LCO 18650 batteries 데이터셋을 사용하였다 [2]. 사용된 배터리 데이터 셋은 25°C 에서 C/2 속도의 CC-CV 충전 속도와 1.5C 의 방전 속도로 1000 회 이상 순환되었다. 해당 데이터 셋은 각 주기 및 배터리 충방전 사이클 인덱스에 대한 전압 및 전류 동작을 나타내는 특징을 포함하고 있다. 데이터 셋 전 처리는 7 개에 해당하는 방전 시간, 4.15V 에 대한 시간, 시정 전류, 3.6-3.4V 감소 값, 방전 시 최대 전압, 충전 시 최소 전압, 충전 시간을 특징 값으로 사용하여 리튬이온 배터리의 잔존 유효 수명을 예측할 수 있도록 정규화를 진행하였다.

본 논문에서 딥 러닝 기반의 제안된 Deep Neural Network (DNN) 모델은 Figure 1 과 같다. 첫 번째 완전 연결 레이어의 노드는 64, 두 번째 완전 연결 레이어는 노드를 32, 세번째 완전 연결 레이어는 16 으로 구성하였으며 마지막 완전 연결 레이어는 예측을 위해 노드 1 개로 구성하였다. 마지막 레이어의 활성화함수는 Sigmoid 함수를 사용하였으며, 이외의 다른 완전 연결 레이어의 모든 활성화 함수는 ReLU 함수를 사용하였다.

Figure 2 에서는 딥 러닝 모델의 예측 값과 실제 값을 나타내고 있다. 또한 Table 1 에서는 제안된 모델과 비교 모델의 성능 평가 결과를 나타내고 있다. 딥 러닝 모델의 평가 지표는 회귀 예측 평가에서 많이 사용되는 Mean Squared Error (MSE), R-Squared, Mean Absolute Error (MAE) 를 통해 Recurrent Neural Network (RNN), Long Short Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU), DNN 모델 평가를 진행하였다.

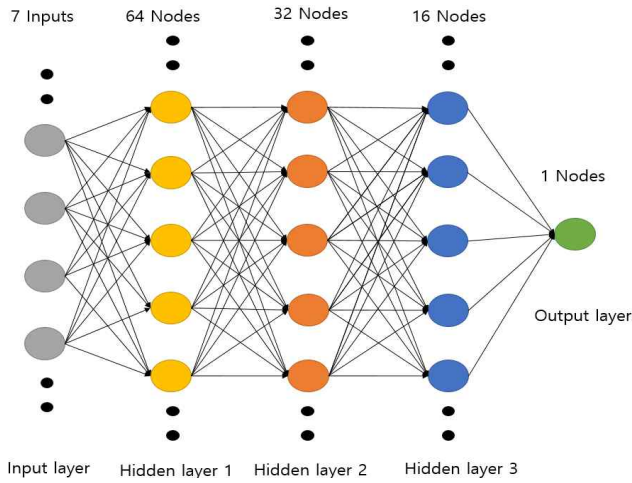


Figure 1 The Proposed DNN Model

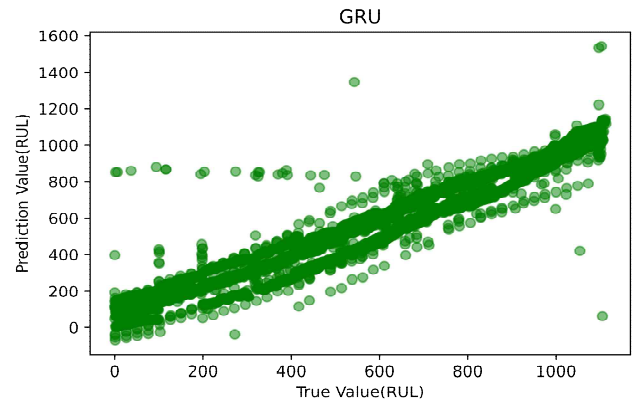
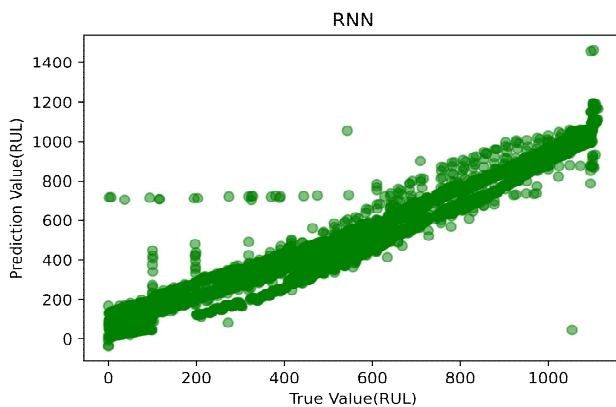
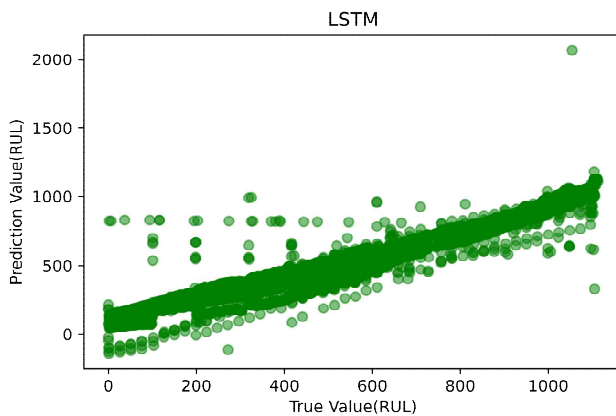
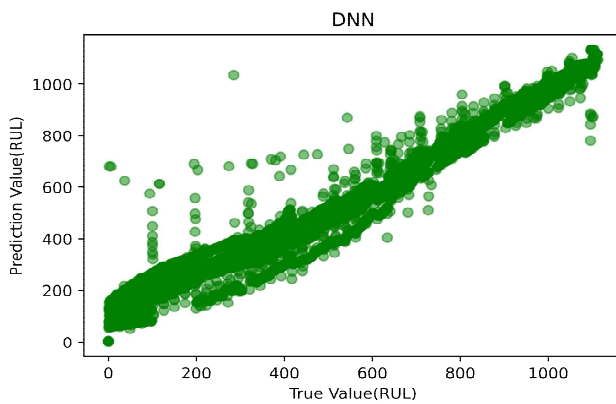


Figure 2 The Performance of Models

Table 1 Evaluation of Models

	DNN	LSTM	RNN	GRU
MSE	0.003	0.007	0.005	0.005
R-Squared	0.954	0.912	0.928	0.928
MAE	0.041	0.063	0.059	0.053

실험 결과 제안된 DNN 은 시계열 기반의 리튬이온 배터리 잔존 유효 수명 예측에서 다른 모델보다 MSE 는 0.003, R-Squared 는 0.954, MAE 는 0.041 로서 가장 우수한 성능을 나타내어 적합한 모델임을 보여주었다. 이러한 점은 DNN 모델이 시계열 뿐만 아니라 다른 충전 및 방전에 대한 특징 값을 모두 고려할 수 있다는 것을 나타낸다.

### III. 결론

본 논문에서는 리튬이온 배터리 셋의 잔존 유효 수명 예측을 위해 딥 러닝 기반의 모델을 비교 분석하였다. 다수의 학습을 수행 한 결과 시계열 기반의 데이터 셋을 사용하였음에도 불구하고 시계열 특징 데이터에 강건한 RNN 기반의 다른 모델보다 DNN 모델이 가장 우수한 성능을 나타내었다. 실험을 통해 데이터 특징에 맞는 딥 러닝 모델 알고리즘을 도출하였다. 추후 연구로는 리튬이온 배터리 용량 예측에서 다수의 배터리 데이터 셋 확보를 통해 데이터 특징 분석 및 심층 네트워크 기반의 앙상블 알고리즘 모델을 제안하고자 한다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호: 2021R1A5A8033165, 2021R1I1A3049503).

### 참 고 문 헌

- [1] 정상진 and 허장욱. (2020). 딥러닝을 이용한 리튬이온 배터리 잔여 유효수명 예측. 한국기계공학학회지, 19(12), 21-27.
- [2] <https://www.batteryarchive.org/list.html> 14 databases are selected from the HNEI source.