

# 주성분 분석 기법을 이용한 배터리 이상 예측 기술

이의수, 정태운, 정의림\*  
로보볼트, \*한밭대학교

euisoo28@robovolt.ai, jty6063@robovolt.ai, \*erjeong@hanbat.ac.kr

## Battery Anomaly Prediction System Using Principal Component Analysis Technique

Lee Eui Soo, Jeong Tae Yun, Jeong Eui-Rim\*  
Robovolt, Co., Ltd., \*Hanbat Univ.

### 요 약

본 논문은 주성분 분석 기법을 이용하여 배터리의 이상 예측 기술을 제안한다. 차원 축소 알고리즘인 주성분 분석을 응용하여 데이터를 축소 및 복원하고 재구성 오차를 통해 리튬이온 배터리의 불량률을 예측한다. 124 개의 인산철/흑연 상업용 리튬이온 배터리 오픈 데이터셋을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 한 결과, 95% 정확도를 보이며, 잔여 수명이 약 300 cycle 남은 시점을 예측할 수 있다.

### I. 서 론

최근 ESS(Energy Storage System), EV(Electric Vehicle) 등이 본격적으로 상용화됨에 따라, 반복적인 충방전이 가능한 고성능 이차 전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 리튬이온 배터리는 다른 배터리에 비해 긴 수명과 높은 에너지 밀도를 가지는 장점이 있어 다양한 제품에 리튬이온 배터리의 사용비율이 높아지고 있다. 하지만 에너지 저장 밀도가 높아 외부충격 및 과충전 등 사용상의 부주의와 배터리 또는 보호회로 불량 등 제조상의 결함에 의해 화재 및 폭발사고가 빈번하게 발생하여 안정성에 큰 문제가 발생하고 있으며, 해당 문제를 해결하기 위해 최근 여러 연구들이 활발하게 진행되고 있다.[1] 그러나 리튬이온 배터리 특성상 불량 배터리 데이터를 수집하는데 많은 시간이 소요되며 정상과 불량 데이터 불균형이 심하여 인공지능 기반의 이상 탐지 기법 연구에 어려움이 있다.

본 논문에서는 데이터 불균형을 해결하기 위하여 주성분 분석 기법 기반의 리튬이온 배터리 이상을 예측하는 기법을 제안한다. 주성분 분석 기법(Principal Component Analysis, PCA)은 데이터의 축소, 즉 차원의 축소를 위해 사용되는 이론으로써, 이 차원 축소 기법을 통해 축소된 데이터를 다시 복원하여 원본 데이터와의 재구성 오차를 측정하고 이를 통해 이상 점수를 계산하여 서로 다른 그룹으로 구분하여 이상을 탐지하는 기법으로 응용할 수 있다.[2]

특히 리튬이온 배터리와 같이 데이터 불균형이 심한 환경에서 정상, 불량 데이터를 최적화된 주성분(Principal Component, PC)의 수로 축소하고 복원하는 과정에서 배터리의 초기 불량률을 예측한다. 본 논문에서는 124 개의 인산철/흑연 상업용 리튬이온 배터리의 오픈 데이터 셋을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 한다.[3] 시뮬레이션 결과에 따르면 95%의 정확도로 이상 예측이 가능하며,

잔여 수명이 끝나기 약 300 cycle 남은 시점을 예측할 수 있다.

### II. 본론

PCA 의 기본 개념은 데이터의 차원을 축소하여 크게 비중을 차지하지 않는 데이터를 제거함으로써 본래의 데이터의 성향에서 크게 벗어나지 않는 데이터를 분석하는 기법이다. 본 논문에서는 이를 응용한 배터리 이상 예측을 제안한다. 먼저 리튬이온 배터리 중 정상 데이터만 이용하여 적절한 설명된 분산의 비율(Variance explained ratio)에 해당하는 최적화된 PC 의 수를 설정하고, 해당 모델에 전처리된 배터리 데이터를 축소 및 복원하여 재구성 오차를 계산한다. 계산된 재구성 오차는 데이터 후처리를 통하여 Anomaly Score 가 출력되고, 해당 값이 임계값을 넘었을 경우 불량 배터리, 넘지 않았을 경우 정상 배터리로 판단한다. 전체 시스템 구조는 그림 1과 같다.

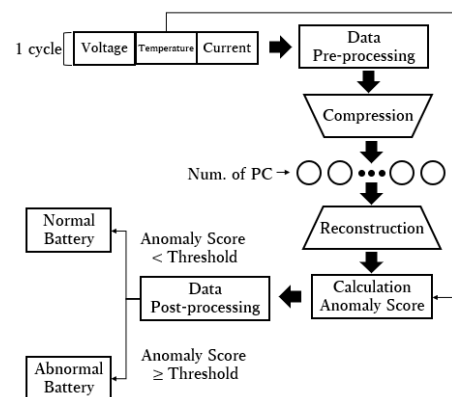


그림 1. 전체 시스템 구조도

배터리 이상 예측을 위해 사용한 리튬이온 배터리 데이터는 다양한 고속충전 조건을 적용하여 150 에서 2,300 cycle 까지 각기 배터리마다의 cycle 수명을 다르다. 여기서 550 cycle 이내에 EOL(End of life)에 도달한 배터리는 이상치로 판단하였다. 또한, 배터리의 cycle 당 샘플 길이가 달라 동일한 샘플 길이 2,000 을 가지도록 전처리하여 진행한다. 그림 2 의 입력은 리튬이온 배터리의 상태 정보(전압, 전류, 온도)의 시계열 데이터이며 압축 및 복원 과정을 거친다. 성능 검증을 위해서는 실제 원본 데이터와 복원된 데이터와의 차이 값을 통해 정상 유무를 판단한다. PCA 기법의 데이터 축소를 위해서는 PC 의 값을 선정해야 하는데 그에 따른 분산 정보량은 그림 2와 같다. PC 의 개수는 Variance explained 가 95% 이상을 만족하도록 선정하였다.

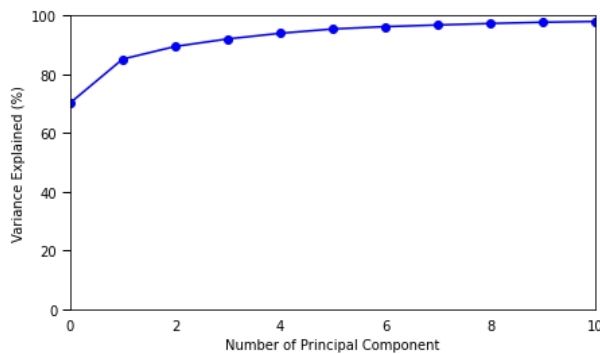


그림 2. PC 에 따른 분산/정보량 그래프

### III. 실험 결과

본 절에서는 제안된 기법의 성능 검증을 위해 Python 을 이용하여 컴퓨터 모의실험을 수행한다. 전체 리튬이온 배터리 데이터에서 충전과 방전으로 이루어진 1 cycle 을 PCA 의 입력 값으로 하며 훈련 셋은 전부 정상 데이터로만 구성하고 테스트 셋은 정상과 불량 배터리를 포함하였다. 원본 데이터와 주성분 분석 기법을 통해 복원된 데이터 사이의 MAPE(Mean absolute percentage error)를 계산해 Anomaly score 를 출력한다.

그림 3 (a)는 제안하는 기법의 정상 배터리의 테스트 결과이며 충방전 cycle 초반에는 임계값을 넘지 않다가 수명 종료 일정 기간 전부터 임계값을 넘는 모습을 나타낸다. 그림 3 (b)는 불량 데이터의 테스트 결과이며 2 개의 배터리를 제외한 나머지 배터리 데이터는 초기부터 임계값보다 훨씬 높은 값으로 출력되는 것으로 보인다. 그림 3에 따르면 제안 기법은 초기 100 cycle 이내의 경우 약 95%의 정확도를 보이며 모든 배터리에서 수명 종료 직전 약 300 cycle 이전부터 Anomaly score 가 증가함에 따라 수명 종료 이전 시점도 예측할 수 있을 것으로 보인다. 표 1은 테스트 데이터를 통한 초기 불량 예측 모델의 성능을 비교한 표이다.

표 1. 초기 불량 예측 성능 비교

	Sensitivity	Specificity	Acuuracy
Normal 20% Abnormal 80%	0.92	0.95	0.948

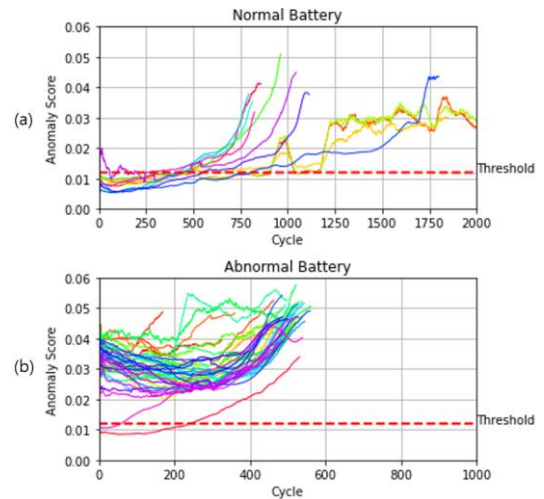


그림 3 배터리 이상 예측 결과

### IV. 결론

본 논문에서는 주성분 분석 기법을 이용한 리튬이온 배터리 이상 예측 시스템을 제안하였다. 제안한 방법을 이용하면 초기 100 cycle 이내에 95% 정확도의 이상 예측 성능을 보였다. 더 나아가 제안기법으로 배터리 수명 종료 이전 시점에 선제적으로 예측할 수 있을 것으로 보이며 향후 필드 리튬이온 배터리 데이터를 통해 성능을 검증하는 연구가 필요하다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 2022 년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-004)

### 참 고 문 헌

- [1] J. Hong, D. Lee, E.-R. Jeong, Y. Yi " Towards the swift prediction of the remaining useful life of lithium-ion batteries with end-to-end deep learning," Applied Energy, Vol 278, pp. 115646, Nov. 2020
- [2] Harrou F., Kadri F., Chaabane S., Tahon C., Sun Y. " Improved principal component analysis for anomaly detection: Application to an emergency department," Computers & Industrial Engineering, Vol 88, pp. 63-77, Oct. 2015
- [3] Severson K. A., Attia P. M., Jin N., Perkins N., Jiang B., Yang Z., et al. " Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation," Nature Energy, Vol 4, pp. 383-391, Mar. 2019