

상업용 리튬이온 배터리 사이클링 실험 조건을 통한 열화 영향 분석 연구

김동현, 황준화, 서동준*

경북대학교

{kdhnim96, jhhwang1907, *dongjunsuh}@knu.ac.kr

Analysis of Deterioration Effects through Commercial Lithium-ion Battery Cycling Conditions

Donghyeon Kim, Junhwa Hwang, Dongjun Suh*

Kyungpook National University.

요약

최근 국제적인 탈탄소화 추진에 따라 기존 내연기관 자동차에서 리튬이온 배터리를 채택한 전기차로의 전환이 가속화되고 있다. 하지만 전기차는 불량 배터리 셀로 인한 안전성 문제 발생 시 연쇄반응을 통해 큰 사고로 이어질 수 있다. 따라서, 전기차용 배터리 양산 전 시제품제작 단계에서 다양한 조건하에 수행된 충·방전 실험 결과를 기반으로 배터리에 대한 안정성 및 신뢰성을 보장해야 한다. 본 연구에서는 공개 데이터셋을 사용하여 외기온도와 방전 전류에 따라 group을 분류하고 충·방전 실험 조건에 따라 배터리 열화 영향 정도를 분석하고자 한다. 분석 결과 배터리 열화에는 방전 전류보다 외기온도가 더 큰 영향을 미침을 확인할 수 있다.

I. 서론

국제적인 탈탄소화 이슈에 따라 모빌리티 부문이 기존 내연기관 자동차에서 전기차로의 전환이 장려되고 있다. 이에 따라 전력원으로 높은 에너지 밀도, 수명 및 낮은 자가 방전율을 장점으로 갖는 리튬이온 배터리가 채택되었다 [1]. 리튬이온 배터리는 충·방전 사이클이 반복됨에 따라 용량이 감소하면서 성능이 저하되는 특성을 갖는다. 전기차의 성능은 탑재된 배터리의 품질 및 상태에 크게 의존한다. 따라서, 리튬이온 배터리에 대한 품질 연구 및 개발은 필수적이다.

전기차는 단 한 개의 배터리 셀에 문제가 발생하더라도 연쇄반응을 통해 더 큰 사고로 이어질 수 있다. 따라서 배터리 양산 전 다양한 조건에서의 충·방전 실험은 필수적이다. 배터리 제조사는 외기온도와 충·방전 율속, DoD(Depth of Discharge) 등의 조건을 달리하여 수행한 실험 결과를 바탕으로 배터리에 대한 성능을 검증하고 배터리의 안정성 및 신뢰도를 보장해야 한다 [2].

리튬이온 배터리 데이터는 정교한 작동 및 장기간의 사이클링 실험을 통해 얻을 수 있어 많은 시간과 비용이 필요하여 수집에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구는 NASA Ames PCoE(Prognostics Center of Excellence)에서 제공하는 배터리 열화 데이터를 사용하여 사이클링 실험 조건에 따라 group을 분류하고 사이클링 실험 환경에 따른 열화 정도를 분석하고자 한다.

II. 본론

2.1. NASA Ames PCoE dataset

본 논문에서 열화 영향도 분석에는 NASA Ames PCoE에서 제공하는 18650 리튬이온 배터리 데이터셋 11개를 사용하였다 [3]. 모든 데이터셋은 동일한 충전과정을 수행하며, 4.2V에 도달할 때까지 1.5A로 CC(Constant Current)모드 충전 후 충전 전류가 20mA로 떨어질 때까지 CV(Constant

Voltage)모드를 유지하였다. 방전 과정은 Table 1과 같이 부하 전류 및 cut-off voltage를 고정하여 CC 모드를 유지하여 진행하였다. 또한 모든 데이터셋은 초기 용량 대비 30% 열화가 진행될 때까지 사이클링 실험을 진행하였다. 각 데이터셋의 사이클링 실험 환경은 Table 1과 같다.

Table 1. Dataset description

| Group | Dataset | Cycle | Load_current [A] | Temperature [°C] | Cut-off [V] |
|-------|---------|-------|---------------------|---------------------|----------------|
| 1 | B0005 | 167 | 2 | 24 | 2.7 |
| | B0006 | 167 | 2 | 24 | 2.5 |
| | B0007 | 167 | 2 | 24 | 2.2 |
| | B0018 | 131 | 2 | 24 | 2.5 |
| 2 | B0045 | 69 | 1 | 4 | 2.0 |
| | B0046 | 68 | 1 | 4 | 2.2 |
| | B0047 | 68 | 1 | 4 | 2.5 |
| | B0048 | 68 | 1 | 4 | 2.7 |
| 3 | B0054 | 101 | 2 | 4 | 2.2 |
| | B0055 | 101 | 2 | 4 | 2.5 |
| | B0056 | 101 | 2 | 4 | 2.7 |

2.2. 전처리 및 그룹화

열화 영향도 분석을 위해 11개의 데이터셋을 외기온도와 방전 전류에 따라 Table 1과 같이 3개의 group으로 분류하였다. Group 1은 외기온도 24°C와 방전 전류 2A, group 2는 외기온도 4°C와 방전 전류 1A, 그리고 group 3은 외기온도 4°C와 방전 전류 2A 환경으로 분류하였다. 전처리 과정에서 모든 데이터셋에 대하여 첫 번째 cycle과 용량이 0Ah로 측정되는 이상치에 대한 데이터를 제거하고 정규화를 진행하였다.

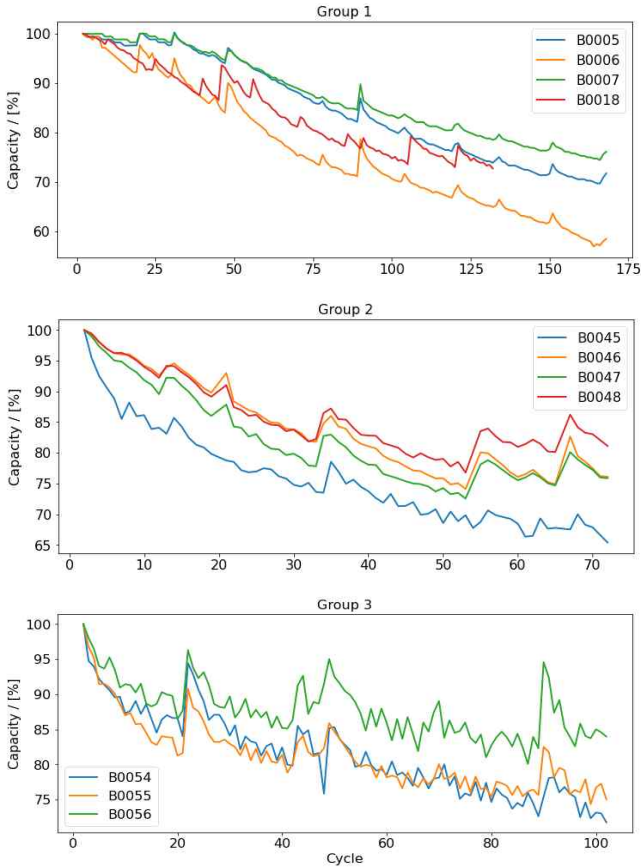


Fig 1. Capacity degradation curve of NASA datasets by group

2.3. 열화 영향도 분석 결과

사이클링 실험 조건에 따른 열화 영향 분석에는 특정 cycle 지점 기준 초기 용량 대비 group 별 평균 용량 열화량과 cycle 지점까지 걸린 시간을 측정하였다. 총 3개의 group 비교를 위해 30, 50, 65 cycle 지점에 대하여 열화 지표를 측정하고 group 1과 3에 대하여 100 cycle 지점의 열화 지표를 추가로 측정하였다. 또한 단위 시간당 용량 열화 정도를 측정하여 사이클링 실험이 진행될수록 열화 양상을 확인할 수 있도록 하였다. Group 간 비교 분석의 신뢰성을 위해 다른 두 group과 공통 실험 조건이 포함된 group 3을 기준으로 분석 결과를 해석하였다. Group별 열화 분석 결과는 Table 2와 같다.

분석 결과 group 3의 사이클링 실험이 진행됨에 따라 기준 cycle에 도달하는 시간이 모든 group에서 가장 빠르며 cycle이 진행될수록 시간 차이가 더 늘어나는 경향이 있음을 확인할 수 있다. Table 2의 Cycling time에 따르면 기준 cycle에 도달하는 속도는 group 3, group 2, group 1 순서이고, 이는 사이클링 시간의 관점에서 방전 전류량보다는 외기온도가 배터리 열화에 더 큰 영향을 끼치는 요인임을 확인할 수 있다. Cycle 지점 별 용량 열화 정도는 30, 50, 65 cycle에서 모두 group 2의 열화가 가장 높은 것을 알 수 있다. 하지만 단위 시간당 용량 열화 비율 측정 결과에 따르면 사이클링 시간의 관점에서 분석한 바와 같이 group 3이 가장 높은 단위 시간당 용량 열화 비율을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 NASA dataset의 11개 cell을 그룹화하여 비교 분석한 결과 리튬이온 배터리의 열화는 방전 전류의 차이보다는 외기온도에 영향을 더 받을 수 있었다.

Table 2. Deterioration effects on NASA dataset

| Cycle | Indicator | Group 1 | Group 2 | Group 3 |
|-------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 30 | Fade | 0.948 | 0.806 | 0.856 |
| | Cycling time | 15d 14h | 9d 03h | 7d 07h |
| | (Δt) | (+8d 07h) | (+1d 20h) | (-) |
| 50 | Fade/time [%/h] | 0.253 | 0.368 | 0.489 |
| | Fade | 0.922 | 0.744 | 0.875 |
| | Cycling time | 25d 23h | 15d 21h | 14d 07h |
| 65 | (Δt) | (+11d 16h) | (+1d 14h) | (-) |
| | Fade/time [%/h] | 0.148 | 0.195 | 0.255 |
| | Fade | 0.853 | 0.743 | 0.796 |
| 100 | Cycling time | 29d 05h | 22d 10h | 16d 18h |
| | (Δt) | (+12d 11h) | (+5d 16h) | (-) |
| | Fade/time [%/h] | 0.122 | 0.138 | 0.198 |
| 100 | Fade | 0.773 | - | 0.783 |
| | Cycling time | 37d 12h | - | 26d 10h |
| | (Δt) | (+11d 02h) | - | (-) |
| | Fade/time [%/h] | 0.086 | - | 0.124 |

III. 결론

본 논문에서는 리튬이온 배터리의 사이클링 실험에 따른 열화 영향도를 분석하기 위해 NASA Ames PCoE dataset을 사용하여 외기온도와 방전 전류를 기준으로 실험 조건별 group을 구분하고 각 cycle 지점에 따라 비교 분석을 진행하였다. 비교 분석 결과 배터리 열화에 외기온도가 방전 전류보다 더 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

추후 연구로는 실제 리튬이온 배터리 실험을 더 많은 조건을 두어 열화 인자를 파악할 뿐만 아니라 파악한 열화 인자를 활용하여 배터리의 수명을 예측하는 모델을 개발할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호: 2021R1A5A8033165, 2021R111A3049503)

참고 문헌

- [1] Zhang, Ying et al. "Prognostics and health management of Lithium-ion battery using deep learning methods: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 161 (2022): 112282.
- [2] 박선호, et al. "정전류/정출력 고속충전 방식에 따른 리튬이온전지의 열화 비교 연구." *KEPCO Journal on Electric Power and Energy* (2020).
- [3] Saha, B., and K. Goebel. "Battery data set, NASA ames prognostics data repository. NASA Ames, Moffett Field, CA, USA." (2007).