

리튬이온 배터리의 펄스 충전에 따른 노화 특성 비교 및 분석

이동철*, 이평연*, 이미영*, 김민혁*, 김종훈*

충남대학교 에너지저장변환연구실*

Comparison and Analysis of Aging Characteristics of Lithium-ion Batteries with Pulse Charging Profile

Dongcheol Lee*, Pyeongyeon Lee*, Miyoung Lee*, Minhyeok Kim*, Jonghoon Kim*

Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University*

ABSTRACT

리튬이온 배터리(Lithium-ion battery; LIB)의 적절한 충전 프로파일 적용은 배터리 성능과 노화에 직접적인 영향을 미친다. 높은 충전 상태(State-of-charge; SOC)와 급속 충전 적용 시 큰 전류는 배터리 노화를 가속화시켜 배터리 수명이 급격하게 떨어진다. 본 연구에서는 CC-CV(Constant current-constant voltage) 충전과 펄스(Pulse) 충전 조건에서 배터리 노화에 미치는 영향을 확인한다. 두 노화 프로파일의 노화 경향을 정량적으로 확인하기 위해 배터리 성능 시험(Reference performance test; RPT)을 통해 전기적 특성을 비교 분석하였다.

설계하였다. 충전 프로파일은 CC-CV(Constant current-constant voltage) 충전 및 펄스(Pulse) 충전으로 구성하였다. 충전 프로파일을 다르게 설계하여 상온 25도에서 총 150 Cycle 동안 충전 및 방전을 진행하였다. 그리고 30 Cycle마다 두 노화 프로파일의 노화 경향을 정량적으로 파악하기 위해 배터리 성능 시험(Reference performance test; RPT)을 구성하여 용량 및 개방 회로 전압(Open circuit voltage; OCV) 시험을 수행하였다. Cycle에 따른 노화 경향 및 전기적 등가 회로 모델 기반 모델 파라미터 분석을 통해 충전 프로파일에 따른 열화 특성을 분석하였다.

1. 서 론

지난 수년간 발생한 이상기후 현상의 대부분은 인간의 활동으로 인한 것으로 이러한 기후 위기에 대응하기 위해 탄소중립은 선택이 아닌 필수가 되었다. 전기 자동차(Electric vehicle; EV)의 에너지원인 리튬이온 배터리(Lithium-ion battery; LIB)는 온실가스 배출이 없고 위험 물질을 사용하지 않아 인체에 무해하면서 친환경적이다^[1]. 또한 리튬이온 배터리는 높은 에너지 효율을 가져 EV의 배터리로 많이 사용되고 있다. 하지만 내연기관과는 다르게 오랜 충전 시간은 EV의 큰 기술적 한계로 작용하고 있다. 배터리는 리튬이온이 양극 및 음극을 이동하여 충전 및 방전하는 원리이다. 충전 시간을 줄이기 위해 급속 충전을 수행하면 내부 저항이 점점 증가해 화학작용으로 인한 배터리 손상이 발생한다. 따라서 배터리 충전 시 용량 및 성능 감소 폭이 작고 충전 시간을 감소시킬 수 있는 최적 급속 충전 기법이 필요하다. 본 연구에서는 급속 충전이 가능하면서 배터리 노화 가속화를 유발하지 않는 펄스 충전 프로파일이 인가된 배터리의 노화 경향을 분석하였다.

2. 충전 프로파일 및 실험

2.1 CC-CV 및 Pulse 충전 프로파일

충전 프로파일의 부하 조건에 따른 배터리 노화 경향 및 특성 분석을 위해 2개의 충전 프로파일을 선정하여 열화 및 특성 시험을 진행하였다. 시험에 사용된 셀은 21700-50E 셀이며, 방전 프로파일은 동일한 조건에서 진행되도록

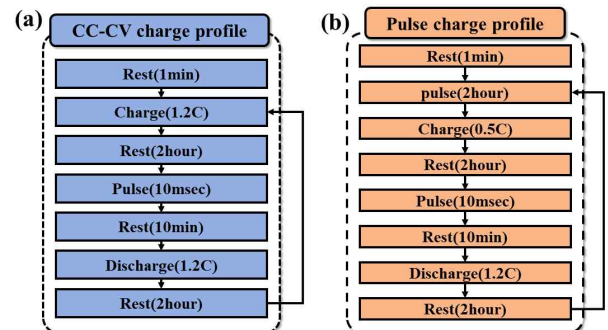


그림 1 (a) CC-CV 충전 기반 노화 실험 프로파일 흐름도, (b) 펄스 충전 기반 노화 실험 프로파일 흐름도

Fig. 1 (a) CC-CV charging based aging experiment profile flowchart, (b) Pulse charging based aging experiment profile flowchart

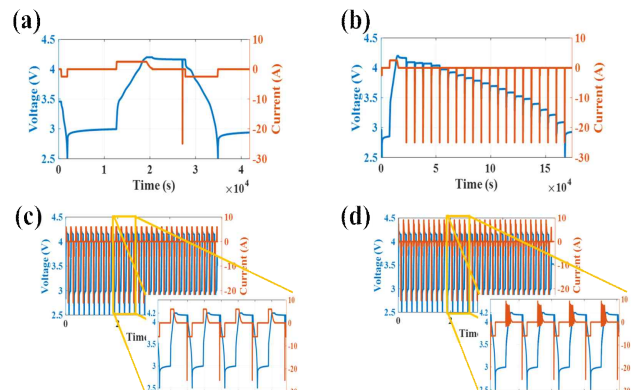


그림 2 (a) 용량 시험 프로파일, (b) 개방 회로 전압 시험 프로파일, (c) CC-CV 노화 프로파일, (d) 펄스 노화 프로파일

Fig. 2 (a) Capacity test profile, (b) OCV test profile, (c) CC-CV aging profile, (d) Pulse aging profile

3. 충전 프로파일별 배터리 열화 시험 및 분석

충전 프로파일의 적합성 판단을 위해 본 연구에서는 CC-CV 충전과 펄스 충전 시의 노화 및 충전 시간을 분석하였다. 노화를 판단하기 위해 Cycle 시험 및 RPT 실험에서의 용량과 저항을 분석하였다. 다만 배터리 충전 시 SOC 80%까지의 충전이 안정적이기 때문에 SOC 80% 도달 지점을 기준으로 충전 소요 시간을 비교하였으며, 가속 노화를 위해 만충전 만방전 실험을 진행하여 노화에 따른 파라미터를 비교하였다^[2].

3.1 충전 프로파일별 노화에 따른 전기적 특성 분석

충전 프로파일별 노화 특성 분석을 위해 RPT 시험을 통해 용량 및 내부 저항 변화량을 확인하였다. 150 Cycle까지 노화가 진행된 상태에서 초기 Cycle에서의 용량 및 저항을 비교하였다. RPT 시험을 30 Cycle 지점마다 구성하였고 이를 통해 용량 및 내부 저항을 측정해 노화 경향성을 확인하였다. 저항 파라미터의 경우 1차 RC ladder 회로 기반 SOC-OCV에 따른 내부 파라미터 R_s , R_{diff} 및 C_{diff} 를 추출하였다. 그림 3 및 4의 내부 파라미터 지표를 분석하여 노화가 진행될수록 두 충전 프로파일 모두 내부 저항과 커패시터가 동일한 경향으로 증가한 것을 확인하였다. 또한 Cycle에 따른 용량 거동을 비교했을 때 CC-CV로 충전한 배터리의 용량 감소량은 8.2%, 펄스 충전한 배터리의 용량 감소량은 8.05%로 용량 감소 경향이 거의 동일하였으며 이를 그림 5(a) 및 표 1에 나타내었다. 따라서 용량 및 내부 저항의 경향성을 분석했을 때 CC-CV 충전 프로파일과 펄스 충전 프로파일 간 배터리 노화 경향성은 동일함을 확인할 수 있었다.

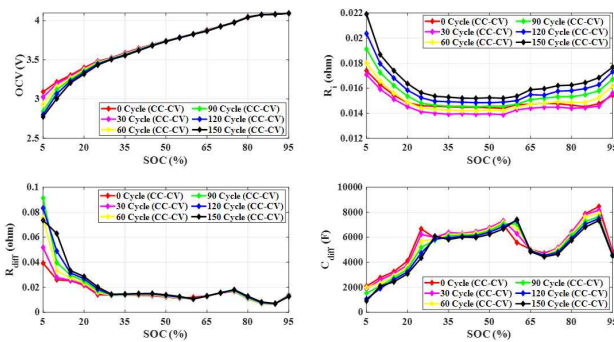


그림 3 노화 상태에 따른 CC-CV 프로파일 내부 저항 변화량
Fig. 3 Variation of internal resistance by CC-CV profile according to aging condition

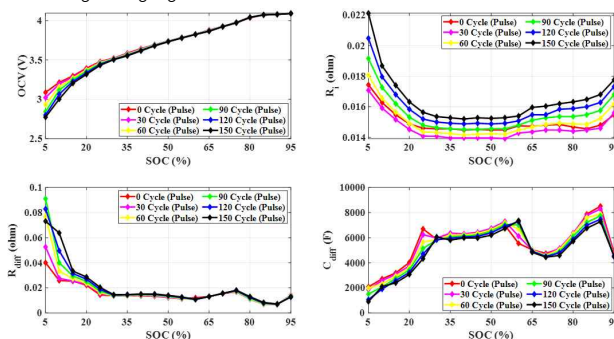


그림 4 노화 상태에 따른 펄스 프로파일 내부 저항 변화량
Fig. 4 Variation of internal resistance by pulse profile according to aging condition

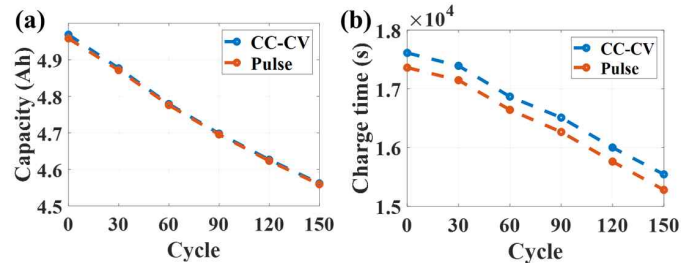


그림 5 (a) 노화에 따른 프로파일별 용량 변화량, (b) 노화에 따른 프로파일별 SOC 80%까지의 충전 시간 변화량

Fig. 5 (a) Changes in RPT capacity by profile according to aging, (b) Changes in charging time up to 80% of SOC by profile due to aging

표 1 노화에 따른 프로파일별 RPT 용량

Table 1 RPT capacity by profile according to aging

Cycle	0	30	60	90	120	150
CC-CV [Ah]	4.9692	4.8772	4.7793	4.6983	4.6268	4.5619
Pulse [Ah]	4.9586	4.8718	4.7761	4.696	4.6233	4.5591

3.2 충전 프로파일별 충전 시간 분석

Cycle 노화 시험에서 충전 프로파일별 소요되는 SOC 80%까지의 충전 시간을 분석하였다. 그 결과 노화가 진행되어도 SOC 80%까지의 충전 시간은 펄스 충전 프로파일이 더 적게 소요되었음을 확인하였다. 이를 그림 5(b)에 나타내었다. 즉 펄스 충전 프로파일이 CC-CV 충전 프로파일보다 SOC 80%까지 더 빠르게 충전할 수 있음을 확인하였다.

3. 결론

펄스 충전 프로파일의 충전 시간이 더 빠르다는 점을 통해 CC-CV 프로파일보다 펄스 프로파일의 장점이 있음을 확인하였다. 현재 배터리 건강 상태(State-of-health; SOH)가 90%까지 노화가 진행된 상태라 완전한 노화 경향성을 파악하기는 어려웠지만, 각 충전 프로파일별 노화 경향성은 동일하면서 펄스 충전 프로파일이 충전 시간을 단축할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구로써 초기 용량 대비 80% 지점인 수명 임계점(End of life; EOL)까지 배터리 노화를 진행해 일반 충전 프로파일과 펄스 충전 프로파일 간 노화 특성 분석 연구가 요구된다.

본 논문은 한국 전력연구원(KEPRI)의 2021년 선정 기초 연구개발 과제 연구비 지원(R21X02-09, V1G 및 V2G 총방전 패턴 개발 및 배터리 수명 영향 평가) 및 산업기술평가관리원의 재원으로 인지컨트롤스(No. 20015572, 전기차 급속 충전 및 고출력 운전 대응을 위한 상변화 물질 적용 배터리 팩 열관리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Costa, Carlos M., et al. "Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities." *Energy Storage Materials* 37 (2021): 433-465.
- [2] Kostopoulos, Emmanouil D., George C. Spyropoulos, and John K. Kaldellis. "Real-world study for the optimal charging of electric vehicles." *Energy Reports* 6 (2020): 418-426.