

배터리 충방전 장치 DC 직렬 아크 고장 검출 방법

김성중, 이학송, 조희재, 박화평
 금오공과대학교

DC Series Arc Fault Detection Method for Battery

Sung-Jong Kim, Hak-Song Lee, Hui-Jae Jo, Hwa-Pyeong Park
 Kumoh National Institute of Technology

ABSTRACT

전기자동차 및 에너지저장장치가 증가함에 따라 배터리 연계 시스템의 신뢰성과 안정성 확보가 점차 중요해지고 있다. 본 논문에서는 배터리의 충전 및 방전하는 과정에서 발생하는 DC 직렬 아크 고장의 Time Domain 기반 동작 특성을 분석하고, 이를 활용한 DC 아크 고장을 검출하는 방법을 제안한다.

1. 서론

최근 전기자동차 기술과 산업이 성장함에 따라 배터리 수요가 증가했고, 더불어 경제적인 이유로 대규모 배터리와, 배터리를 이용한 에너지 저장장치도 관심이 커지고 있다. 하지만, 배터리 충/방전과정에서 arc가 발생하고 이로 인해 전기화재가 빈번히 발생하여 안전사고의 위험이 커져 배터리에 대한 안정성 및 신뢰성 확보가 중요해지고 있다^[1]. 배터리는 DC 기반 시스템으로 접촉불량, 케이블 결함 등에 의해 DC 아크 고장이 발생할 수 있으며, 연결 상태에 따라 직렬 아크 및 병렬 아크 고장으로 나눌 수 있다. DC 병렬 아크는 선로의 단락과 같이 동작하기 때문에 고장 검출이 용이하지만, 직렬 아크는 선로의 저항이 커지는 것과 같이 동작하여 고장 검출이 어렵다. 아크 고장을 검출하기 위해 기존에는 Frequency Domain에서 이를 분석하는 방법이 제안되었으며, Fast Fourier Transform(FFT)과 Wavelet등의 방법론이 여기에 해당한다. 본 논문에선 Time domain Analysis을 통해 아크 고장 시 발생하는 전압/전류 특성을 충/방전상태에 따라 확인하고, 이를 정상상태변동에서의 전압/전류 특성과 비교하여 직렬 DC 아크 고장을 검출하고자 한다

2. DC 직렬 아크 고장 특성

2.1 절 배터리 모델 간략화

그림(1)은 배터리 내부회로를 접목한 충방전기 회로이다^{[2][3]}. 내부회로의 C_1, C_2, C_3 있을 때의 출력전압 V_{CO} 와 없을 때의 출력전압 V_{CX} 이 유사함을 그림(2)를 통해 확인하였다. 따라서 향후 시뮬레이션 및 실험에서는 C_1, C_2, C_3 이 포함된 ① 부분을 생략하고 내부 저항만 고려한 ②회로를 ① 부분에 연결하고자 한다.

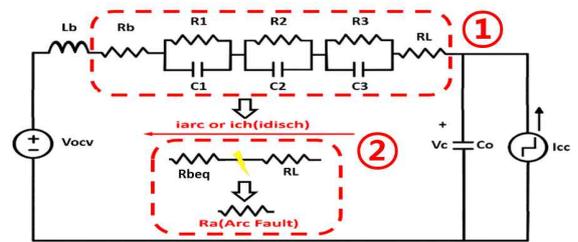


그림1 배터리 충방전기 등가 회로
 Fig.1 BATTERY-CHARGER equivalent Circuit

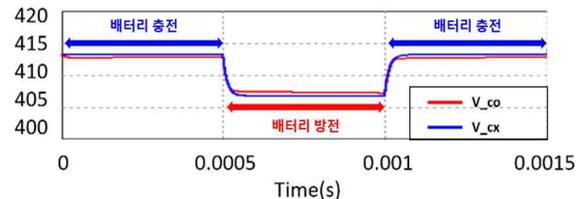


그림2 배터리 축 커패시터 유무에 따른 전압변화
 Fig.2 Voltage change according to the presence or absence of a capacitor on the battery side

2.2절 Time-domain에서의 아크 발생 전류

Time-domain 기반으로 아크 고장 시 DC 전류의 특성을 수치적으로 표현하면 식 (1)와 같다. 그림(3)은 식(1)을 Matlab에서 시뮬레이션한 것과 그림(1)의 회로를 PSIM으로 시뮬레이션했을 때의 결과를 나타낸 것이다. 두 과정이 유사하다는 것을 볼 수 있었으며, 식(1)의 타당성을 확인하였다.

$$i_{arc}(t) = ae^{-\frac{R_L + R_a + R_{beq}}{L_b} t} - \frac{V_{ocv}}{R_L + R_a + R_{beq}} \quad (a \text{는 상수값}) \quad (1)$$

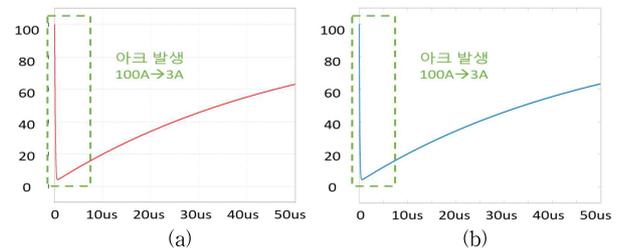


그림3 (a) PSIM (b) Matlab 아크 전류 그래프
 Fig.3 (a) PSIM (b) Matlab arc current graph

2.3절 c_o 값에 따른 아크 고장 특성

Charger단의 c_o 의 Capacitance 값에 따른 아크 발생 전류는 그림(5)와 같다. c_o 의 Capacitance가 클수록 아크 발생 시 출력 전류가 0으로 급격하게 떨어지고, 정상상태로 되돌아가는 과도 상태가 늘어남을 확인하였다.

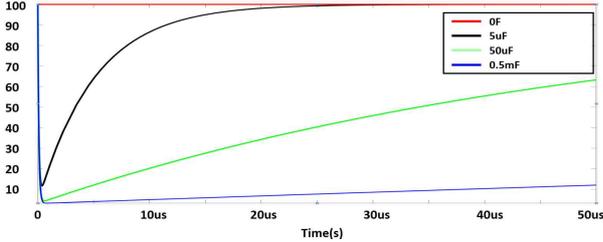


그림4 커패시턴스에 따른 아크전류 특성 그래프
Fig.4 Graph of arc current characteristics according to capacitance

2.3.1절 Charge/Discharge상태에서 아크 특성

그림(5a)과 그림(5b)은 충전상태, 그림(6a)과 그림(6b)은 방전상태에서의 출력전압 및 전류 파형을 나타내었다. 두 결과 모두 그림(3)와 같이 출력전류가 급격히 떨어졌다. 위 시뮬레이션 결과를 바탕으로 배터리 충/방전 상태일 때와 아크가 발생할 때와 출력전류 및 전압이 구분됨을 확인하였고, 이는 배터리 충/방전 장치에서 정상상태변동과 아크고장을 명확히 구분하여 아크고장만 검출이 가능하다는 것을 의미한다.

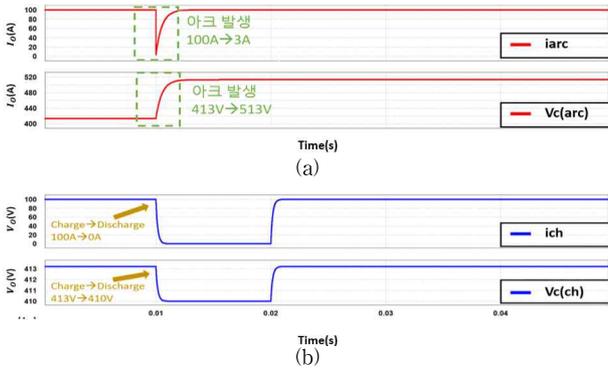


그림5 (a)충전상태 아크 발생 (b)충/방전 특성 확인 그래프
Fig.5 (a)Charge state arc generation
(b) Check charge/discharge characteristics graph

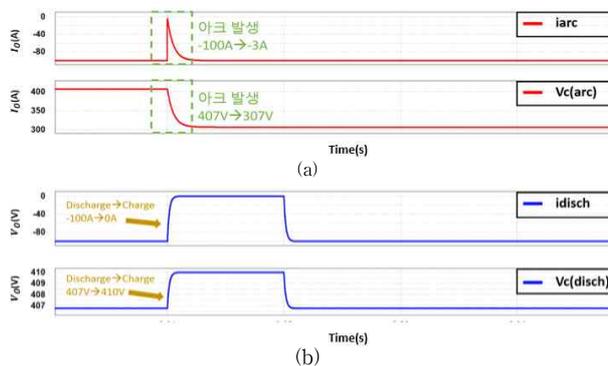


그림6 (a)방전상태 아크 발생 (b)방/충전 특성 확인 그래프
Fig.6 (a)Discharge state arc generation
(b) Check discharge/charge characteristics graph

2.4 실험결과

3. 결론

본 연구는 배터리 충방전 시 발생할 수 있는 DC 아크 고장 특성을 Time-Domain 기반으로 분석한다면 기존 방식보다 더 직관적으로 검출할 수 있음을 Matlab과 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 ○○대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참 고 문 헌

- [1] V. Cattin, P. Perichon, J. Dahmani, B. Schwartzmann and V. Heiries, "Detection of electric arcs in large batteries," *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, Barcelona, Spain, 2013
- [2] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.
- [3] Curtis F. Gerald, *Applied Numerical Analysis: Second Edition*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. pp. 1-14, 1978.