

전기자동차 구동 전류 특성을 이용한 Online SOH 알고리즘

이한솔, 최광혁, 김나리, 노태원, 이병국[†]
성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

Online SOH algorithm using a drive current characteristic of electric vehicle

Han Sol Lee, Gwang Hyuck Choi, Tae Won Noh, Nari Kim, and Byoung Kuk Lee[†]
Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 내부 저항을 추정하여 배터리 노화 상태 (State of Health)를 판단하는 알고리즘을 제안한다. 내부 저항은 차량 구동 시 발생하는 전류 변화량과 그에 따른 전압강하 특성을 이용하여 추정되며, 정확도를 높이기 위해 차량의 주행 특성을 고려하여 추정 조건을 결정한다. 알고리즘의 정확도는 MATLAB 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

최근 EV (Electric Vehicle) 보급이 증가하면서, BMS (Battery Management System)를 통해 배터리 상태를 정확히 파악하는 것이 중요해졌다. 노화 시 배터리의 전체 용량이 감소하므로 정확한 충전 잔량을 파악하기 위한 배터리의 노화 상태를 의미하는 SOH (State Of Health) 추정 알고리즘의 필요성이 강조되고 있다. 이를 통해 정확한 주행거리 및 전장품 사용시간을 알 수 있어 안전한 운행이 가능하다.

기존의 SOH 추정 알고리즘은 노화 시 일정한 경향을 가지고 변화하는 전류 용량과 내부 파라미터를 이용한다. 배터리가 노화되면 용량이 감소하므로 충전 시 전류적산법을 통해 용량을 측정하여 SOH를 추정한다. 그러나 실시간으로 추정이 불가능하고 추정 과정에서 추가적인 노화가 발생한다는 단점이 있다. 내부 파라미터의 변화 경향을 이용하는 방법은 EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)와 같은 특정 장비로 내부 파라미터를 측정하거나 수학적 필터를 이용한 추정 알고리즘을 사용한다. 하지만 추가적인 장비가 필요하거나 복잡한 수식으로 인해 연산량이 많기 때문에 적용에 어려움이 따른다.

본 논문은 전기차 구동 시 배터리에서 발생하는 단자 전류의 특성을 이용하여 배터리의 내부 저항을 예측하고 SOH 추정하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 실시간 추정이 가능하며, 차량 특성 및 주행 조건이 고려된 SOH 산출 조건을 통해 정확도를 향상시킨다.

2. 제안하는 SOH 추정 알고리즘

2.1 알고리즘 구성

2.1.1 노화에 따른 R_s 의 변화 경향

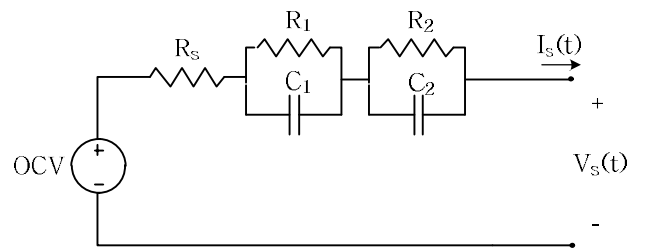


그림 1 배터리 등가 회로 모델

Fig. 1. The equivalent circuit model of battery.

SOH를 추정하기 위해서는 배터리의 노화를 따라서 변화하는 배터리 내부의 파라미터를 찾는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 이 과정에서 그림 1의 2차 RC ladder가 포함된 배터리 등가 회로 모델을 선정하였다.

그림 2를 보면 충전 횟수 증가에 따라 배터리의 내부저항 (R_s)은 비례하여 증가하는 반면 R_1 과 R_2 는 그 횟수가 증가해도 값이 거의 변하지 않고 일정함을 알 수 있다. 따라서 SOH 추정을 위한 파라미터로 R_s 가 적합함을 알 수 있다.^[1]

2.1.2 R_s 추정을 통한 SOH 추정 방법

R_s 는 그림 3과 같이 급격한 방전 전류 발생 시 단자 전류와 전압의 관계를 이용하여 추정할 수 있다. 이 때 단자 전압의 변화 (ΔV)는 순간적인 전압 변화에 기여하는 R_s 로 인해 결정되며 긴 시정수를 가진 ladder 전압은 무시할 수 있다. 따라서, 다음과 같은 식이 성립한다.

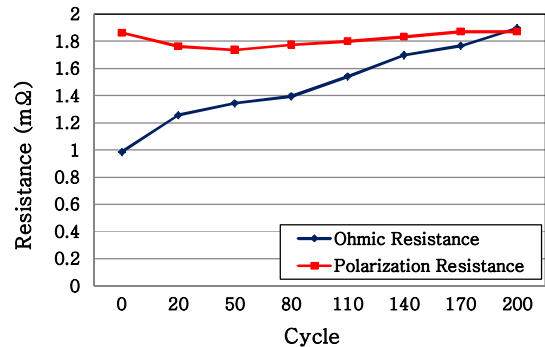


그림 2 배터리 노화에 따른 내부저항 변화 양상

Fig. 2. The internal resistance changes by battery aging.

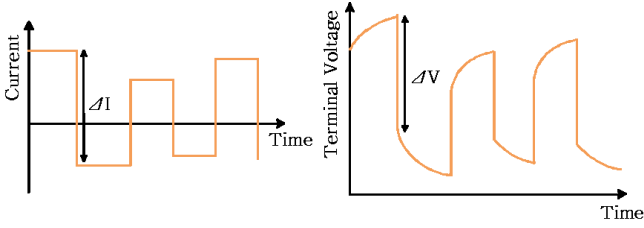


그림 3 전류의 변화에 따른 전압의 변화
Fig. 3. The voltage change created by the current change.

$$R_s = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (1)$$

노화된 배터리의 SOH는 추정된 R_s 를 이용하여 식 (2)와 같이 계산한다.

$$SOH = \frac{R_{EOL} - R_s}{R_{EOL} - R_{fresh}} \times 100\% \quad (2)$$

2.2 R_s 추정 조건

2.2.1 R_s 추정 시기

R_s 추정 시점의 SOC는 전류적산 오차 및 노화 시 변화하는 용량으로 인한 오차를 포함하고 있다. 따라서 제안하는 알고리즘에서는 SOC 오차로 인한 추정 시점의 부정확성을 보완하기 위해 단자 전압이 배터리의 최대 허용 전압에 도달하는 완전 충전 상태를 R_s 추정 시기로 결정한다.

2.2.2 R_s 추정을 위한 전류 산출 방법

R_s 추정을 위해 완충된 EV 구동 시 배터리로부터 발생하는 큰 크기의 순간적인 전류 변화를 이용한다.^[2] 이 때, 정확한 추정을 위해 전류 변화에 대한 크기와 측정 시간을 정하고 주행 저항 (R_{tot})을 고려하여 필요한 전류조건 ($I_{est.}$)을 계산한다.

주행저항은 식 (3)와 같이 구름 저항, 가속 저항, 공기 저항의 합으로 정의한다. 전류조건은 배터리의 출력 전력 (P_{out})이 주행저항으로부터 구해진 전력과 같다는 점을 이용하여 식 (4)를 통해 계산할 수 있다.

$$R_{tot} = \text{구름저항} + \text{가속저항} + \text{공기저항} \quad (3)$$

$$= \mu_r m + \frac{wa(1+\epsilon)}{g} + \frac{1}{2}kAv^2$$

$$P_{out} = VI_{est.} = \frac{R_{tot}v}{75\eta} \quad (4)$$

μ_r : 노면저항계수, m : 질량, w : 무게, a : 가속도
 ϵ : 관성증량계수, g : 중력가속도, k : 공기저항계수
 A : 공기마찰면적, v : 평균속도, η : 기계효율

2.3 시뮬레이션 검증

알고리즘의 정확도를 검증하기 위해 현대자동차의 IONIQ EV를 예시 모델로 선정한다. 식 (3)을 계산 후, $I_{est.}$ 를 계산하면 다음과 같다.

$$R_{tot} = 447.6 \text{ kgf} \quad (5)$$

$$\therefore I_{est.} \approx 29.0 \text{ A} \quad (6)$$

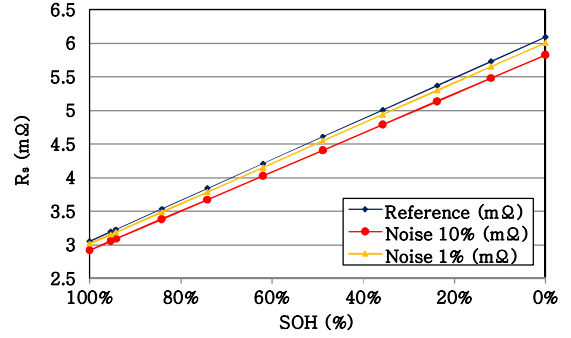


그림 4 알고리즘의 R_s 추정 시뮬레이션 그래프
Fig. 4. The simulation result of R_s estimation.

표 1 노이즈에 따른 SOH 추정 결과

Table 1 The results of SOH according to noise conditions.

SOH (%)	100	94	74	49	24	0
Noise 10%	104.41	98.85	79.70	55.48	31.52	8.75
오차 (%p)	4.41	4.64	5.50	6.65	7.73	8.75
Noise 1%	101	96	76	51	26	3
오차 (%p)	1	1	2	2	2	3

그림 4와 표 1은 Simulink를 이용한 시뮬레이션 검증 결과이다. 센싱 노이즈가 포함되어도 상당히 정확하게 R_s 를 추정하고 있다는 것을 다음 그래프를 통해 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 리튬이온 배터리의 내부저항을 추정하여 SOH를 판단하는 알고리즘을 제안하였다. 정확한 R_s 추정을 위해 완충시점에서의 전류 및 전압 변화량 측정과 실제 전기차의 주행저항을 고려한 특정 전류 조건을 제시하였다. MATLAB 시뮬레이션을 이용해 알고리즘의 정확도가 최대 98.6%임을 확인하였다. 제안한 알고리즘은 Online 상태에서 배터리의 SOH를 추정할 수 있다는 점에 기여한다.

이 논문은 2015년도 산업통상자원부의 지원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행한 녹색산업선도형이차전지기술개발 사업(No.10053711)입니다.

참고 문헌

- [1] D. Haifeng, W. Xueze and S. Zechang, "A new SOH prediction concept for the lithium ion battery used on HEVs," in *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conf.*, 2009, pp. 1649-1653.
- [2] Z. Xiaochen, C. Shukang and Li Weili, "Development of line start PMSM with solid rotor for electric vehicles," in *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conf.*, 2008, pp. 1-5.