

SOC 알고리즘 개선을 위한 MIL Test Parameter 오차 분석 및 고찰

강동일¹, 이병국²

¹성균관대학교 기계공학부 학부생

²성균관대학교 전자전기공학부 교수

0417chddlf@g.skku.edu, bkreesku@skku.edu

Analysis and Review of MIL Test Parameters for Improvement of SOC algorithm

Dongil Kang¹, Byoungkuk Lee²

¹School of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University

²School of Electronic and Electrical Engineering, SungKyunKwan University

요 약

배터리의 상태 추정 알고리즘은 전기차의 성능과 안정성 관련 핵심 기술이다. SOC(state of charge) 알고리즘은 배터리의 충전 상태를 추정하는 역할을 한다. 본 논문에서는 SOC 알고리즘의 MIL(Modeling in the Loop) Test 과정에서 사용되는 파라미터의 오차와 영향에 대한 고찰을 제시한다.

1. 서론

최근 전기차 산업의 성장으로 인해 차량용 배터리는 핵심적인 요소가 되었다. 전기차의 성능과 운영 안정성이 배터리의 품질과 성능에 크게 의존하기 때문이다. 그리고 그러한 역할에 관여하는 배터리 관리 시스템은 다양한 기능과 함께 발전되었다. 배터리의 충전 및 방전 과정을 제어하고 모니터링하는 기능 등이 이에 해당한다.

그 중 배터리의 충전 상태를 추정하는 SOC(state of charge) 알고리즘에 집중한다. 검증 과정인 SOC MIL(Modeling in the Loop) Test 에서 배터리의 전압, 전류, 온도 등의 실시간 데이터와 특정 알고리즘에 따라 배터리 충전 상태를 추정하고 오차를 분석한다. 이 과정에서 사용된 파라미터들은 오차의 원인으로 제시된다. 이 오차를 줄여 정확한 추정을 하는 것이 SOC 알고리즘의 발전 방향이다.

본 연구에서는 SOC 알고리즘의 검증과정에서 사용되는 대표적인 파라미터인 RCR 파라미터, SOC-OCV 테이블, 배터리 용량의 영향에 대해 분석한다.

2. SOC MIL Test

SOC MIL Test 는 SOC Modeling in the Loop Test 의 약어로, 실제 차량 검증 이전에 소프트웨어에서 구현

된 모델링을 기반으로 검증하는 과정을 의미한다.

그림 1 은 SOC MIL Test 의 과정을 도식적으로 설명한다. 검증 과정은 다음과 같은 과정으로 진행된다.

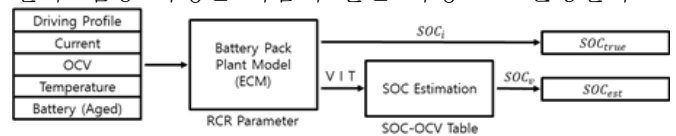


그림 1. SOC MIL Test 과정

전류를 기반으로 전류 적산법을 사용하여 얻은 SOC 인 SOC_i 를 추정할 수 있고, 이를 이론 값으로 설정한다. 전압을 기반으로 얻는 SOC_v 의 경우에는 전압, 전류, 온도 등의 데이터에 따른 등가회로와 SOC-OCV 테이블을 사용한 추정 과정을 거쳐 SOC_v 를 추정할 수 있고, 이를 실험 값으로 설정한다.

3. SOC MIL Test 알고리즘

전류 적산법을 사용하여 추정하는 SOC_i 의 경우, 전류적산법 공식에 따른 계산으로 추정을 진행한다.

$$SOC_i[k] = SOC_i[k-1] + \frac{I}{Q} \times T_s \times \frac{1}{3600}$$

공식에서 사용된 k 는 진행 과정을 표현하는 파라미터, Q 는 배터리 용량, T_s 는 단위 시간, I 는 단위 시간에 변화된 전류의 양을 나타낸다. 이처럼 공식을 통해서 알 수 있듯이 배터리 용량이 전류적산법 공식의 중요 파라미터가 된다.

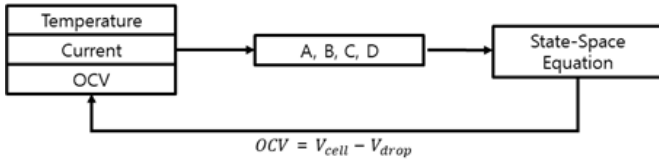


그림 2. SOCv Estimation 과정

전압 기반으로 한 SOC_v 추정 과정을 간단히 살펴 보면, SOC-OCV 테이블을 통해 특정 OCV 전압에 따른 SOC를 추정할 수 있다. 그러나 이 과정에서 등가 회로를 도는 과정에서 전압의 감소가 일어난다. 이를 V_{drop} 이라고 정하고 이를 계산하는 과정에 필요한 파라미터가 RCR 파라미터이다. V_{drop} 을 기존의 OCV 값에 감산했을 때, 추정된 OCV를 얻을 수 있고 이를 기반으로 반복적으로 SOC를 추정한다.

4. SOC MIL Test 결과

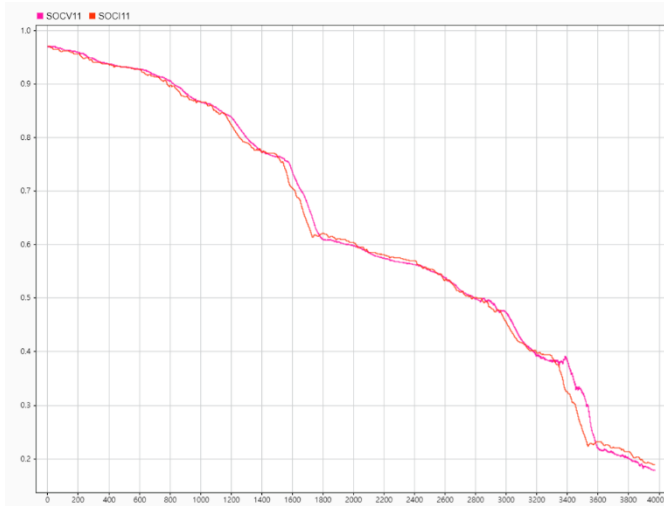


그림 3. SOC_i - SOC_v Plot(WLTP)

그림 3은 Driving Cycle의 일종인 WLPT(Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure[1])의 경우에 SOC MIL Test에서 생성된 SOC_i 와 SOC_v 의 Plot을 보여준다. SOC간의 오차를 보이며 비슷한 추세의 Plot이 생성되었다는 것을 알 수 있다.

추가적으로 WLPT와 EPA_city(Environmental Protection Agency city[2])에서 생성된 오차율을 계산했다. 오차율은 각각 WLTP: 2.4255%, EPA_City: 2.8327% 이었다. 이후 파라미터의 스케일을 조절하면서 오차를 분석하며 파라미터의 영향에 대한 고찰을 제시하려 한다. 모든 경우에 생성된 SOC_i - SOC_v Plot은 그림 3과 유사한 과정을 보이기에 생략한다.

5. 파라미터에 따른 SOC MIL Test 결과

Error(%)	B, D	SOC-OCV table	Capacity
SOC_i	1.1313%(WLTP) 1.0238%(EPA_City)	9.8902%(WLTP) 10.026%(EPA_City)	3.8321%(WLTP) 2.192%(EPA_City)
SOC_v	2.1698%(WLTP) 1.2571%(EPA_City)	8.7062%(WLTP) 9.2898%(EPA_City)	0.50571%(WLTP) 0.10281%(EPA_City)

그림 4. 파라미터에 따른 SOC MIL Test 오차

그림 4는 파라미터에 따른 SOC MIL Test에서 생성된 SOC_i 와 SOC_v 간의 오차를 보여준다.

RCR 파라미터인 B, D의 값을 고친 결과, SOC_i 간의 오차율은 1.1313%와 1.0238%에 불과했다. 대신 SOC_v 간의 오차율은 2.1698%와 1.2571%로 SOC_i 에 비해 높은 값을 보였다. RCR 파라미터가 SOC_v 추정에서 주로 사용되는 파라미터이기에 보이는 변화로 분석된다.

SOC-OCV 테이블의 값을 고친 결과, SOC_i 에서 9.8902%, 10.026%를 보였고, SOC_v 에서 8.7062%, 9.2892%를 보였다. 다른 파라미터에 비해 다소 큰 오차를 보이는 것을 알 수 있다. SOC-OCV 테이블은 SOC값을 지정하는 과정에서 사용되는 파라미터이기 때문에 오차가 비교적 크게 나타난 것을 확인할 수 있다.

배터리 용량 값을 고친 결과, SOC_i 에서는 3.8321%, 2.192%를 보였고, SOC_v 에서는 비교적 작은 0.50571%, 0.10281%를 보였다. 진류적산법 공식에 영향을 미치는 파라미터이기 때문에 SOC_i 추정 과정에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 배터리 관리 시스템의 기능 중 하나인 SOC 알고리즘의 파라미터에 따른 오차를 분석했다. RCR 파라미터, SOC-OCV 테이블, 배터리 용량의 값을 바꾸며 오차를 분석한 결과, 배터리 용량은 SOC_i 추정에서 영향이 컸고, RCR 파라미터는 SOC_v 추정에서 영향이 컸으며, SOC-OCV 테이블은 두 가지 과정에서 모두 큰 오차를 보였다. 이를 통해 파라미터들이 SOC 추정에 영향을 미치는 정도에 대해 이해할 수 있었다.

본 연구에서는 단순히 파라미터의 값을 특정 비율로 바꾸며 오차 분석을 진행했다. 그러나 최적의 파라미터가 존재하는 과정을 이와 같은 과정으로 추정하기는 힘들기 때문에 Global Optimization 개념을 활용한 파라미터 최적화 과정이 필요할 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0022098, 2024 년 미래형자동차 기술융합혁신인재양성사업)

참고문헌

[1] "UN Regulation No. 154 - Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP)", UNECE, last updated April 2, 2021, accessed April 2, 2024, <https://unece.org/transport/documents/2021/02/standards/un-regulation-no-154-worldwide-harmonized-light-vehicles-test>

[2] "Fuel Economy and EV Range Testing", United States Environmental Protection Agency, last updated Nov 27, 2023, accessed April 2, 2024, <https://www.epa.gov/greenvehicles/fuel-economy-and-ev-range-testing>Roger