

42V 시스템 시뮬레이션을 위한 36V 납축전지 모델링

윤한석, 이재호, 조보형
 서울대학교 전기공학부 전력전자시스템 연구실

Modeling of 36V lead acid battery for 42V system simulation

Han-Seok Yun, Jea-Ho Lee, Bo-Hyung Cho
 Power Electronics System Laboratory School of Electrical Engineering Seoul National University

Abstract - Modeling of the battery for 42V Power-Net system is presented. For the Battery Management System(BMS) algorithm in a Mildhybrid vehicle, accuracy in SOC estimation is crucial. The battery model is needed for the BMS algorithm as well as system computer symulation for the energy management. The battery model was composed of impedance elements and the each element of the model is estimated by the analysis of the terminal voltage. The result of the model is confirmed by experimental data.

1. 서 론

오늘날 자동차 application에서 운전의 편의성과 안락성의 추구로 인해 차량에서의 전기 부하 양이 증가하고 있다. 이로 인해 기존의 14V PowerNet으로는 늘어나는 부하를 감당하기 위한 wire size 및 alternator개발에 문제가 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해, PowerNet의 전압을 기존의 14V에서 42V로 높여줌으로서, 같은 power에서의 전류를 감소시켜 generating효율 상승 및 wire harness가 좋아지는 효과를 볼 수 있을 뿐만 아니라, 늘어난 Power를 이용해 Mild hybrid를 접목시켜 연비절감의 효과도 볼 수 있다. 이를 위해서는 36V battery를 효율적으로 사용하기 위한 에너지 관리기법이 필요로 하게 되고, 이를 개발하기 위해서 42V 시스템 전체를 가상적으로 운용해 볼 수 있는 시뮬레이션 툴을 만듦으로서 보다 쉽게 알고리즘을 구현할 수 있다. 이때 36V battery에 대한 모델링의 오차가 알고리즘의 구현에 큰 영향을 미치므로, 보다 상세한 연구가 필요로 하게 되었다. 기존 battery 모델은 impedance모델을 기반으로 impedance spectroscopy 장비를 이용해서, 전류, SOC, 온도에 따른 임피던스 값을 측정하는 방법을 사용하였다. 하지만, 이러한 방법은 많은 실험데이터와 시간을 필요로 한다 [1][2]. 본 논문은 battery 전압 데이터를 가지고, 전류에 따른 배터리의 내부임피던스를 구함으로써 배터리 모델을 구성하였고, 실제 테스트를 통해 이를 검증하였다. 본 논문에서 테스트 된 배터리는 GS battery사의 36V VRLA battery(S36V-D26A)를 사용했다.

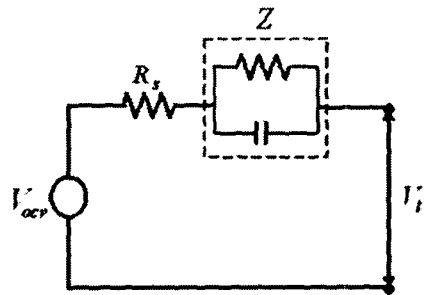
2. 본 론

2.1 배터리 모델의 구성

배터리는 전극의 활물질과 전해질사이의 화학반응인 산화와 환원반응을 통해 충전과 방전을 한다. 배터리가 equilibrium 상태일 때, 즉 전해질의 농도가 일정하게 분포되어 있을때를 OCV (Open Circuit Voltage) 상태라고 하고, 이 때의 전압은 배터리의 SOC(State of Charge)의 정보를 나타내어 주기도 한다. 이 OCV 상태에서 충전하면 화학반응이 일어나면서, OCV에 overvoltage가 발생하게 된다. 이 overvoltage는 부분은 ohmic resistance, double layer, diffusion layer 이렇게 세 부분

으로 나눌 수 있다. Ohmic resistance 부분은 배터리 단자의 저항과 전극표면의 저항, 전해질의 저항성분등을 하나의 series 저항으로 나타낼 수 있고, double layer는 전극과 전해질 사이의 전하분포에 의해 생기는 커패시턴스 성분과 charge transfer resistance성분에 의해 구성된다[3]. 이는 전기적으로 하나의 R-C 병렬 연결로 나타낼 수 있다. Diffusion layer 부분은 전극표면에서의 전해질 농도의 차에 의해 생기는 현상으로 Warburg impedance 라고도 부른다. 이는 회로적으로 여러개의 R-C 병렬 연결인 여러개의 R-C ladder로서 표현 할 수 있다. 이와 같이 OCV와 overvoltage를 발생시키는 각각의 impedance 성분을 통해 battery model을 구현한 것을 impedance model이라 한다.

위에서 정의한 impedance모델을 그림1과 같이 구성하였다. OCV부분을 전압 source로 나타내었고, 배터리의 단자저항이라든지 전극의 저항성분, 전해질의 저항성분등을 하나의 직렬등가 저항 R_s 로 나타내었다. Voltage dynamic을 나타내는 double layer와 charge transfer 와 diffusion에 의한 overvoltage 부분을 본 논문에서는 하나의 R-C ladder로 구성된 impedance로 표현하였다.



R_s : Series equivalent resistance
 V_{ocv} : Open Circuit Voltage
 V_t : Terminal Voltage
 Z : Overvoltage impedance

그림1. Battery Impedance Model

2.2 배터리 모델 파라미터 측정

2.2.1 OCV(Open Circuit Voltage)

OCV는 전기화학적으로 Nerst equation[4]에 의해 표시되기도 하지만, 본 논문에서는 OCV전압을 실험을 통해 OCV 상태의 전압을 측정해서 표현하였다. OCV 전압은 보통 배터리의 두 단자를 충전 후 open한 상태로 장시간 동안 둔 다음, 모든 화학적인 반응이 안정화 되었을 때 측정된 전압을 말한다. Open 상태로 두는 rest time을 결정하기 위해 그림 2와 같이 다른 크기의 방전 전류와 SOC상태에서 배터리를 open 시킨후에 전압의

변화를 측정해 보았다. 실험을 통해 2시간 정도의 rest time 이후에는 OCV전압의 변동이 적다는 것을 확인할 수 있으므로, 2시간의 rest time후에 켜 전압을 OCV 전압으로 정의하였다.

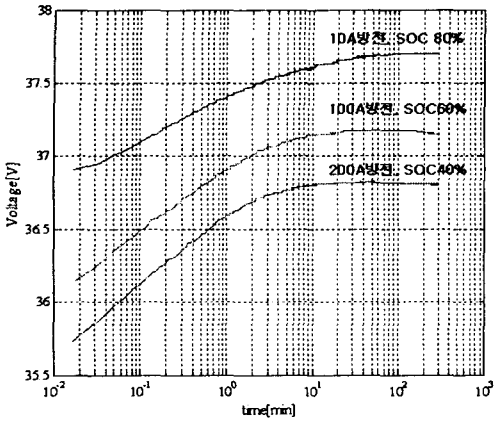


그림2. OCV rest time test

rest time을 정했으므로 SOC에 따른 OCV전압을 측정하기 위해 Ah counting 방법으로 측정하고자 하는 배터리의 SOC상태를 만든다음 2시간동안의 rest time후에 전압을 측정하는 방법으로, 충전시 OCV curve와 방전시 OCV curve를 그림3과 같이 얻었다.

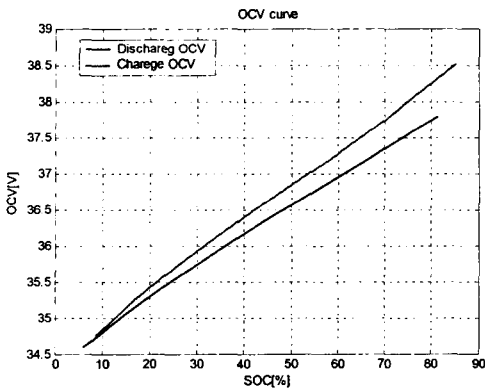


그림3. 충전과 방전시 OCV curve

2.2.2 Rs resistance

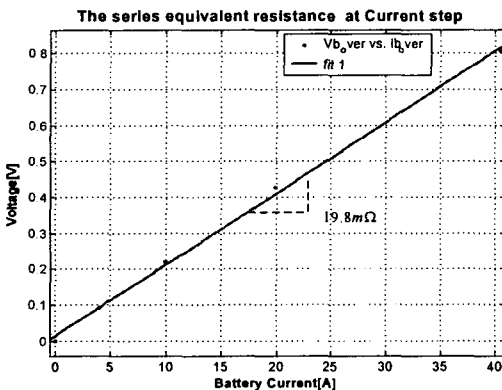


그림4. 초기 Voltage drop을 이용한 Rs값 측정

Rs resistance는 회로적으로 직렬로 연결된 저항성분이므로, 초기 충전전시 나타나는 voltage drop 성분으로 그 값을 측정할 수 있다. 그림4와 같이 전류에 따라 voltage drop을 측정한 결과 19.8mΩ의 Rs 값을 얻었다.

2.2.3 Overvoltage

배터리 모델의 overvoltage 부분도 배터리 테스트를 통해 배터리 전압을 측정함으로써 구현할 수 있다. 배터리가 완방된 상태에서 각 전류별로 만충까지 일정하게 충전한 전압 데이터에서 X축을 시간 대신 SOC로 나타내면, OCV 곡선과 기울기가 일치하는 구간이 그림5와 같이 SOC 5%에서 65%까지 나타난다. 초기 충전 시에는 배터리의 capacitance 성분에 의해 voltage dynamic이 생기다가 SOC 5%부터는 capacitance 성분이 없어지고, resistance성분만 나타나는 steady state구간이 SOC65%까지 나타난다.

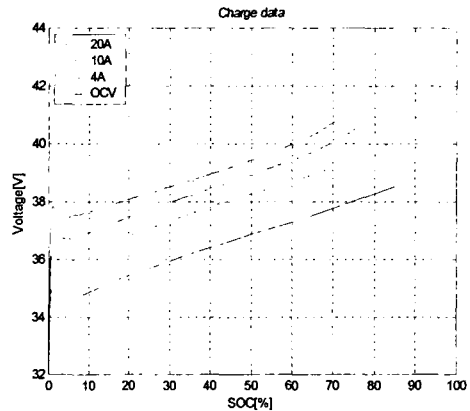


그림5. 전류별 충전 데이터

따라서 steady state상태에서 OCV 곡선과 배터리 전압의 차이값에서, Rs에 의해 생기는 전압성분을 제거하면 overvoltage값을 얻을 수 있다. 표1은 steady state상태에서 각 전류에 따른 overvoltage값을 측정한 결과이다.

전류[A]	-40	-20	-10	-4	0	4	10	20
Overvoltage[V]	-1.35	-1.23	-0.93	-0.75	0	1.38	1.88	2.2

표1. 충전 전류에 따른 overvoltage('부호가 방전전류를 나타낸다)

표1의 값을 이용해서, overvoltage부분의 전류와 전압관계식을 나타내는 Butler-Volmer[4]식을 이용해서, fitting에 의해 전류와 전압 관계식을 그림5와 같이 얻을 수 있다. 단, 여기서 그림4에서 보는 것과 같이 SOC70% 이후에는 overvoltage가 급격히 상승하는 것을 알 수 있다. 이에 대한 부분을 추가적으로 R-C ladder를 추가시킴으로써 표현해야 하지만, 42V 시스템의 경우 충전시 높은 SOC에서 나타나는 overvoltage의 급격한 상승과, 방전시 낮은 SOC에서의 overvoltage의 급격한 drop이 나타나는 영역에서는 거의 동작하지 않으므로 영향을 크게 받지 않는다. 따라서, 42V 시스템의 경우 하나의 R-C ladder만으로 overvoltage의 voltage dynamic을 충분히 표현할 수 있다.

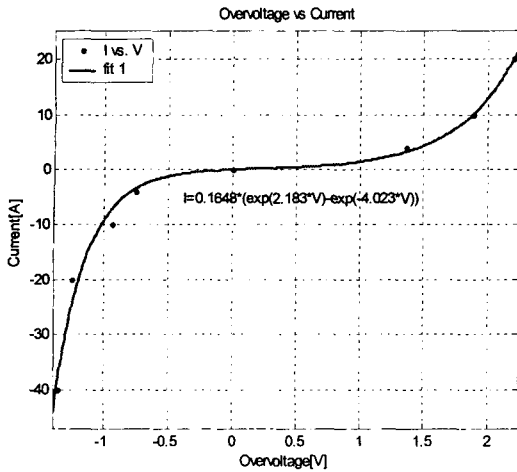


그림6. 충전전 전류와 Overvoltage 데이터 fitting

그림6에서 구한 식으로 overvoltage에 관한 부분을 그림 7과 같이 Simulink로 구현할 수 있다.

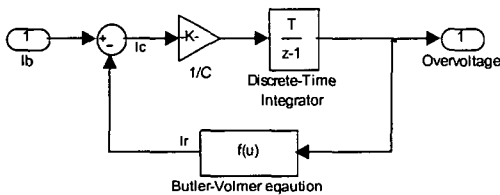


그림7. Overvoltage 부분의 Simulink 구성

그림7은 회로적으로 R-C 병렬회로를 Simulink로 구현한 것으로 그림6에서 구한 Butler-Volmer식은 전압과 전류의 관계를 나타내는 식이므로 저항으로 표시할 수 있고, capacitance 값은 simulation을 통해 voltage dynamic을 잘 나타낼 수 있는 하나의 대표값(100F)을 설정하였다.

2.3 배터리 모델 검증

그림8은 battery model의 검증을 위해, 차량주행 mode의 speed profile을 42V 시스템 시뮬레이션에 적용했을 때 나오는 battery의 충전전 전류 profile을 가지고, 실제 배터리 전압과 battery 모델에 충전전 전류 profile을 적용했을 때 나온 전압을 서로 비교한 그림이다. 42V 시스템 시뮬레이션에서의 battery model의 가장 중요한 역할이 배터리의 충전전 power값을 효과적으로 표현하는 것인데, 큰 전류의 충전전시에도 전압의 오차가 1V 미만으로 나타나므로, 배터리 모델로서 적합함을 확인할 수 있다.

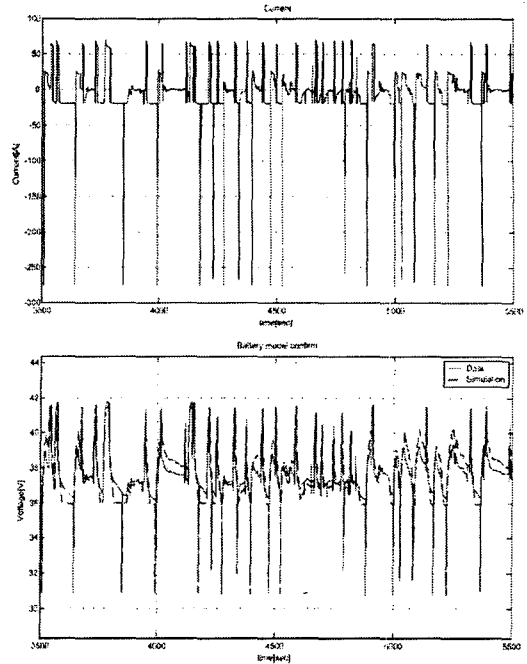


그림8. Battery model 검증

3. 결 론

배터리 전압의 거동을 impedance 모델을 통해 전기화학적으로 접근을 해서, 배터리 전압의 dynamic을 표현하였다. impedance model에서 각각의 값들을 수많은 실험을 통해 데이터화 해서, 적용하기 보다 전기화학에 근거한 수식을 이용해 구현함으로써 테스트 시간을 많이 줄일 수 있었다. 42V 시스템 특성상 일정한 SOC 영역에서만 동작되므로, 이 영역에서의 overvoltage 부분을 하나의 R-C ladder로서 구현함으로써 해서 모델을 간략화시켰고 그리고 이러한 접근방법을 실제 배터리 테스트 데이터와의 비교를 통해 이를 검증하였다. 보다 정확한 Battery model을 위해서는 추가적으로 온도에 관한 영향이 차후에 고려되어야 한다.

본 연구는 현대자동차와 에너지변환저장센터(Research center for energy conversion and storage)와의 공동연구로 진행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Mauracher, E. Karden, "Dynamic modelling of lead/acid batteries using impedance spectroscopy for parameter identification", Journal of Power Sources, 67권, 69-84쪽, 1997
- [2] Stephan Buller, Marc Thele, Eckhard Karden, Rik W. De Doncker, "Impedance-based non-linear dynamic battery modeling for automotive applications", Journal of Power Sources, 113권, 422-430쪽, 2003
- [3] Herman L.N. Wiegman, "Battery state estimation and control for power buffering applications", A doctoral thesis of university of winsconsin-madison, 1999
- [4] Allen J. Bard, Larry R. Faulkner, "Electrochemical methods fundamentals and applications", 2nd ed., Wiley, 2001