

골프카트용 납축전지의 충·방전 특성을 고려한 동적모델링

허우영, 김기덕, 조태정, 김조섭, 김재언
충북대학교

Dynamic modeling using a charging-discharging characteristic of golf-cart lead-acid battery

Woo-Young Heo, Ki-Deok Kim, Tae-Jung Jo, Jo-Seob Kim, Jae-Eon Kim
Chungbuk National University

Abstract - 납축전지는 전 세계 수천만 자동차부터 골프카트, 오토바이 등 동력기계에는 필수 장치로 널리 사용되고 있기 때문에 전지의 수명을 정확히 예측하고 평가하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 납축전지의 충·방전 특성을 고려해 동적 모델을 구현해 보았다. 회로의 구현을 위해 각기 다른 수명의 전지를 테스트하였고, 나타나는 특성 그래프의 변수들을 프로그래밍기법을 활용하여 전지의 특성을 해석할 수 있는 전기적 회로로 모델링하였다.

1. 서 론

배터리는 에너지를 저장하고 사용하는데 있어서 중요한 역할을 해왔다. 대표적인 2차 전지 중의 하나인 납축전지는 오래전부터 자동차나 골프카트 등 공업용 차량에 널리 쓰이고 있다. 납축전지의 사용량은 꾸준히 증가해 왔고, 이에 따라 납축전지를 사용한 후 폐기하는 과정에서 발생하는 환경오염문제나 에너지 고갈문제로 인해 배터리의 효율적인 관리의 필요성이 대두되었다.

배터리의 양을 나타내는 대표적인 지표중의 하나는 SOC(State Of Charge)가 있다. SOC는 배터리의 잔존 용량을 나타내기 때문에 배터리보다 배터리의 회로 적 등가모델을 구현하는 것이 중요한데 이것은 배터리의 충 방전 특성곡선을 이용함으로써 가능하다.

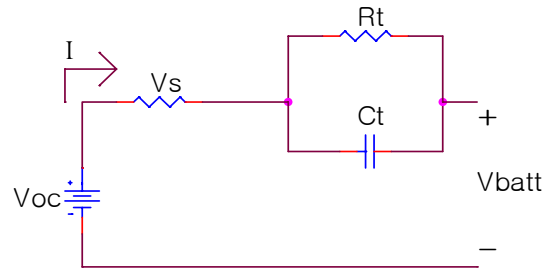
납축전지는 충전상태에 따라 전원 전압이 변하고 또 전류의 흐름에 따라 과도응답 상태가 비선형적으로 변화 된다. 이를 전기적 동적특성을 등가모델로 나타내기 위해 Randle 회로와 유사한 RC회로의 1개 또는 여러 개의 조합으로 표현할 수 있다. 배터리 파라미터는 C-rate, SOC, 온도, 배터리 열화정도 등에 따라 그 값이 변화한다.

본 논문에서는 실제 측정된 배터리 전압 데이터를 가지고, SOC와 배터리 열화 정도를 파악하기 위한 내부임피던스의 변화를 보고 검토해보았다. 간단한 전기적 등가모델을 이용하여 배터리 모델을 구성하였고 온도에 대한 파라미터 변화는 무시하였다.

2. 배터리 모델링

2.1 2차전지의 전기적 모델

본 논문에서는 2차전지의 전기적 동적 특성을 반영하기 위해 테브난 모델 중의 하나인 그림<1>과 같이 등가회로로 단순화한 모델을 사용하였다. 등가회로는 배터리 단자개방전압인 Voc와 배터리의 단자저항과 전극의 저항성분을 하나의 내부저항 Rs로 나타내었다. 그리고 분극 현상을 나타내는 이온화 손실을 저항 Rt로, 전극과 전해질 사이에 생기는 커패시턴스 성분인 Ct로 구성하였다. Voc는 배터리 양단의 전압을 측정하여 나타냈고, 전류 변화에 따른 전압변화가 선형적으로 나타나는 부분은 직렬로 연결된 Rs의 응답과 같은 특성을 보인다. 선형적으로 변하는 부분 이후 전압은 시간지연을 갖고 이를 지수 함수적으로 표현하기 위해 R-C 병렬 연결로 나타낼 수 있다.



<그림 1> 납축전지 배터리의 전기적 테브난 등가모델

2.2 R,C 파라미터 결정

계측기를 이용해 전류의 흐름이 변할 때의 OCV 변화를 측정한다. 2차전지의 내부에 인가했던 방전전류를 차단하면 그림2와 같은 형태의 전압곡선을 보이고, 이러한 곡선을 통해 배터리 내부 파라미터를 도출해 낸다. 곡선은 A구간과 B구간으로 나누어 등가회로의 Rs와 Rt-Ct 병렬 연결로 표현한다. A구간은 전류가 차단된 시점부터 1초까지 선형적인 부분을 B구간은 2초부터 60초까지의 전압곡선에 곡선 접합한다. 곡선접합을 위해 MATLAB을 이용하여 최소자승법(least square method)을 이용하였다.

등가모델에서의 단자전압 Voc는 아래와 같다.

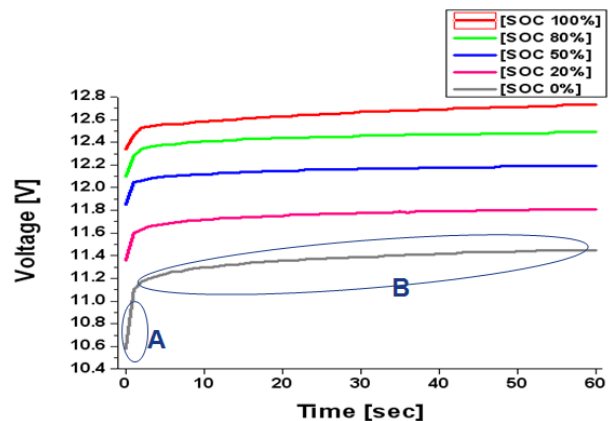
$$Voc(t) = V_S + V_t e^{-\frac{t}{\tau_t}} \tag{1}$$

여기서, $V_S = V_A - V_0$, $V_t = V_B - V_A$, $\tau_t = \text{time constant} = R_t \cdot C_t$ 이다

V_A 는 A구간에서의 V_B 는 B구간에서의 단자전압이다.

위의 식을 이용해 각각의 파라미터를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_s = \frac{V_s}{I}, \quad R_t = \frac{V_t}{I}, \quad C_t = \frac{\tau_t}{R_t} \quad (I = \text{배터리 방전전류}) \tag{2}$$

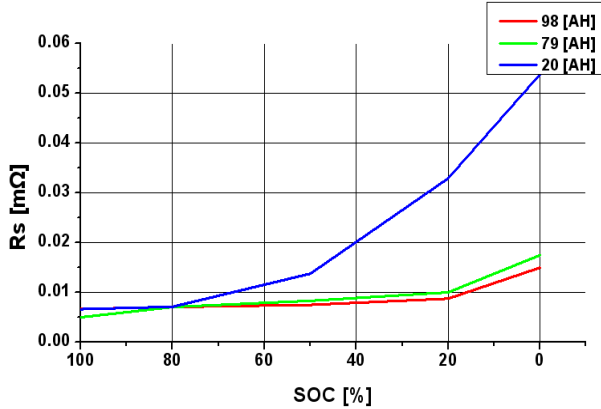


<그림 2> 방전 후 SOC에 따른 OCV의 변화

2.2.1 모델 파라미터 추출 시험

본 연구에서의 배터리 시험은 실제 골프장에 사용하던 골프카트용 배터리(12V 120AH)를 열화정도(98AH, 79AH, 20AH)에 따라 나누어 시험하였다. 시험하기 전 배터리는 0.1C로 14.4V까지 완충 하였고, 이때를 각 배터리SOC상태를 100%, 방전 중지전압은 10.5V로 설정하고 이때의 각 배터리SOC상태를 0%라고 보았다. 정전류 24A로 방전한 후 60초간 전류를 차단하여 전압의 변동을 보았고 SOC상태는 100~0%까지 5개 구간으로 나누어 수행하였다. 그리고 배터리를 정상화 시키기 위해 시험 과정 사이에 10분간 배터리가 안정화될 시간을 주었다. 온도는 실온(25℃)이라 가정하고 시험하였다.

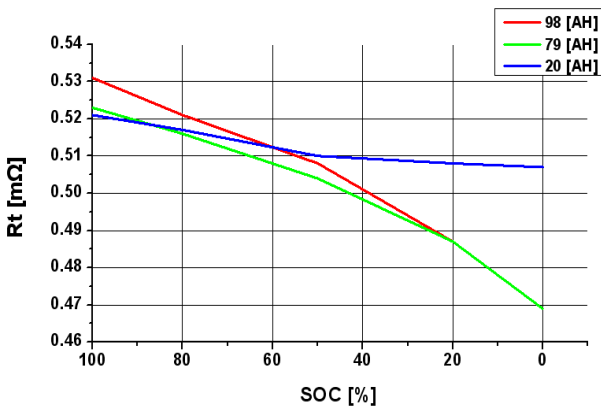
2.2.2 열화 정도, SOC에 따른 내부파라미터



〈그림 3〉 방전 시 임피던스변화(Rs)

〈표 1〉 방전 시 SOC에 따른 내부 파라미터(Rs)

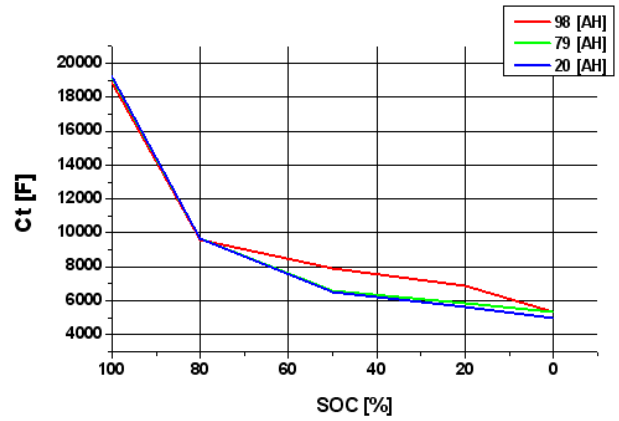
	SOC 100%	SOC 80%	SOC 50%	SOC 20%	SOC 0%
A(98AH) Rs(mΩ)	6.67	7.08	7.5	8.75	15
B(79AH) Rs(mΩ)	5	7.083	8.33	10	17.5
C(20AH) Rs(mΩ)	6.66	7.166	13.75	32.9	53.75



〈그림 4〉 방전 시 임피던스변화(Rt)

〈표 2〉 방전 시 SOC에 따른 내부 파라미터(Rt)

	SOC 100%	SOC 80%	SOC 50%	SOC 20%	SOC 0%
A(98AH) Rt(mΩ)	531	521	508	487	469
B(79AH) Rt(mΩ)	523	516	504	487	469
C(20AH) Rt(mΩ)	521	517	510	508	507



〈그림 5〉 방전 시 임피던스변화(Ct)

〈표 3〉 방전 시 SOC에 따른 내부 파라미터(Ct)

	SOC 100%	SOC 80%	SOC 50%	SOC 20%	SOC 0%
A(98AH) Ct(F)	18825	9599	7867	6850	5331
B(79AH) Ct(F)	19125	9693	6611	5867	5334
C(20AH) Ct(F)	19212	9679	6533	5627	4933

위 그림에서 OCV를 이용하여 방전 시 내부 파라미터 값의 변화를 표에 나타내었다. 위의 표에서 보면 배터리의 SOC상태가 감소하거나 열화정도가 심해지면, 전체적으로 Rs 값은 증가하고 Ct값은 감소함을 알 수 있다. Rt값은 SOC상태가 낮아 질수록 감소하는 추이를 보이는데 이는 SOC상태가 낮아지면 내부저항에 의한 전압강하가 일어난 후의 내부 전압이 전체적으로 줄어들고 전류는 일정하여 저항의 크기가 전체적으로 감소함을 볼 수 있다. Ct와 Rt값이 낮아지면 시정수(τ)가 작아짐을 의미하고 더 빠르게 정상상태의 특성을 보인다. 열화정도가 심한 배터리일수록 내부파라미터의 많은 변동률을 보인다.

2.3 배터리의 SOC 예측

배터리 데이터를 이용하여 초기상태의 임피던스와 SOC가 0에서(방전 중지전압 10.5V일때)의 임피던스를 비교하여 SOC(%)를 나타낼 수 있다. 여기서 배터리 내부에 직렬로 연결된 Rs값의 변화를 살펴보면 실시간으로 배터리의 SOC상태를 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 골프카트용 납축전지 배터리의 OCV의 변화를 이용하여 배터리의 동적특성을 알아보았다. 배터리의 충전상태나 노후정도에 따른 OCV의 변화로 배터리 내부 파라미터 값의 변화를 확인하였다. 각 파라미터는 열화된 정도와 SOC상태에 따라 일정한 관계를 가지고 있었고, 단순화된 전기적 등가모델의 파라미터 값은 그래프와의 관계를 이용하여 모델링이 가능하여 열화 된 배터리의 수명예측을 수행 할 수 있게 해준다. 배터리는 전류 온도 등에 따라 영향을 많이 받으므로 좀 더 정확한 수명예측을 위해선 온도 전류변화에 따른 배터리의 동적특성 연구가 필요할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 노동윤(Dongyoon Noh),황인성(Insung Hwang),유지운(Jiyeon Yoo),“리튬폴리머 배터리(LiPB)의 OCV를 이용한 배터리 SOH 추정 방법”, 전력전자학회 2010년도 전력전자학술대회 논문집,page(s): 269-270 ,2010.7
- [2] Hogi Kim · Sangjin Heo · Gubae Kang, “Modeling and Characteristic Analysis of HEV Li-ion Battery Using Recursive Least Square Estimation”, 한국자동차공학회논문집, 제17 권 제1호 (통권 97호), page(s): 130-136, 2009.1
- [3] 이종경(Jongkyung Lee), 윤동현(Donghyun Yun), 차한주(Hanju Cha),“시뮬링을 이용한 납축전지 동적 모델링”, 2010 대한전기학회 제 41회 하계학술대회, page(s): 1042-1043 , 2010.7