

상온 및 저온 조건을 고려한 배터리 등가회로 모델 내부 파라미터 비교 분석

김용순*, 박진형*, 장성수**, 김종훈*
충남대학교*, 한국항공우주연구원**

Comparative analysis of internal parameters of battery equivalent circuit model considering room temperature and low temperature conditions

Yongsoon Kim*, Jinhyeong Park*, Sung Soo Jang**, Jonghoon Kim*
Chungnam National University*, Korea Aerospace Research Institute**

ABSTRACT

본 논문에서는 환경조건에 따른 18650 고용량 원통형 배터리의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해, 상온 및 저온에서 전기적 특성 실험을 실시하였다. 배터리 등가회로 모델을 기반으로 온도조건에 따라 내부 파라미터를 비교 및 분석하였으며, 이를 통해 배터리의 특성 변화를 나타내었다.

1. 서론

인공위성은 방송, 통신, 기상관측 및 군사목적으로 활용되어 과학 및 국가 기반 기술 향상에 큰 역할을 수행해왔다. 특히 정지궤도위성의 경우 상공 3만 6000km 고도에서 지구 자전속도와 같은 속도로 지구를 공전하여 넓은 한 구역을 관측할 수 있다.^[1] 인공위성의 수명은 짧게 5년 이상, 길게는 20년 이상 운용한다. 한번 궤도에 오른 인공위성은 고장 시 수리가 불가능하거나 막대한 비용이 든다.

저온환경에서 배터리의 성능과 수명이 줄어드는 현상으로 인해 실제 어플리케이션 신뢰성에 문제가 발생한다. 정지궤도위성의 전력원으로 사용되는 배터리의 안정성과 신뢰성 확보를 위해 사전에 다양한 환경조건에서의 성능 검증이 필요하다.

본 논문에서는 상온 및 저온에서 배터리를 실험하였고 온도 조건은 10℃, 0℃, 10℃, 20℃, 25℃, 30℃로 하였다. 실험 후 내부 파라미터를 추출하고 용량 및 내부 파라미터와 온도 간의 관계를 25℃를 기준으로 비교/분석하였다.

2. 배터리 등가회로 모델

그림 1은 배터리의 동작 특성을 나타내는 전기적 등가회로 모델이다. 배터리의 특성을 분석하기 위해 전기적 특성을 기반으로 파라미터를 추출하였다. 배터리 등가회로의 핵심 파라미터는 OCV(Open Circuit Voltage), 직렬저항, 확산저항 및 커패시턴스로 구성된다.

OCV는 배터리에 전류가 인가되지 않을 때의 전압으로 휴지 기간의 끝 전압이다. R_i 는 내부 저항으로, 배터리 내부에서 전하가 이동할 때 이를 방해하는 요소이며 그림 2의 순간적인 전압강하(V_i) 부분의 저항이다. 그림 1의 RC 병렬 회로는 그림 2의 방전 곡선에서 지수 함수적으로 감소하는 부분을 나타낸다. 배터리의 동적특성을 나타내는 병렬 단의 저항(R_1, R_2)은 그림 2의 V_1, V_2 에서의 전압 강하를 나타내며, 화학 반응에 의한 전

위 손실을 의미한다. 커패시턴스(C_1, C_2)는 계면 사이의 전하의 일정한 배열에 의한 커패시터 특성을 나타낸다.

온도 조건에 따라 각 파라미터의 차이를 분석하고 배터리의 동적특성을 세분화하기 위해 방전 구간의 시정수를 기점으로 빠른 동적특성을 나타내는 R_1 과 C_1 , 느린 동적특성인 R_2 와 C_2 로 나누어 식 (1)과 (2)를 사용하여 파라미터를 추출 하였다. 배터리의 SOC(State of Charge)에 따라 파라미터 값이 상이하므로 SOC 전 구간에서 파라미터를 추출하였다.

$$R_i = \Delta V_0 / \Delta I, R_1 = \Delta V_1 / \Delta I, R_2 = \Delta V_2 / \Delta I \quad (1)$$

$$C_1 = \tau_1 / R_1, C_2 = \tau_2 / R_2 \quad (2)$$

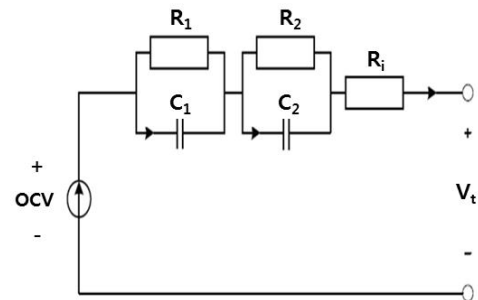


그림1 배터리 전기적 등가회로 모델

Fig.1 Battery electrical equivalent model

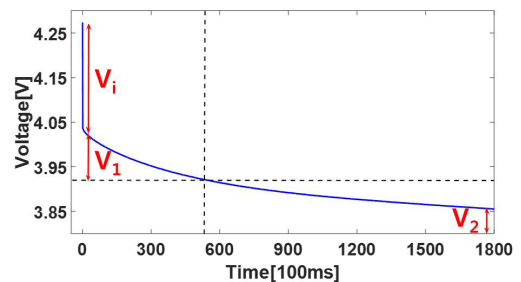


그림2 방전 구간 배터리 전압 특성

Fig.2 Battery voltage characteristic during discharge

3. 온도에 따른 배터리 특성 비교 및 분석

3.1 온도에 따른 용량 및 저항 특성 분석

배터리의 용량은 정전류 정전압 충전 방식으로 완전히 충전된 배터리에서 정전류로 완전 방전하였을 때 전하의 총량으로

정의한다^[1]. 용량 정보는 배터리 성능 평가와 SOC를 계산 시 중요한 지표로 활용된다. 배터리의 용량은 그림 3에서처럼 온도에 따라 매우 상이한 값을 가지게 된다.

배터리의 용량은 저온으로 갈수록 급격하게 감소하는 것을 그림 3을 통해 확인 할 수 있다. 25℃를 기준으로 0.59% (30℃), 4.35% (20℃), 12.81% (10℃), 39.07% (0℃), 57.62% (10℃)만큼 온도에 따라 하락하였다. 용량 감소율은 저온으로 갈수록 급격하게 감소한다. 용량 감소의 원인은 그림 4에 나타냈듯이 R_i , R_1 , R_2 의 총합을 나타내는 DCIR(Direct Current Internal Resistance)이 저온으로 갈수록 급격하게 증가하기 때문이다. 저항 값이 증가할수록 배터리 내부의 손실 및 전압 강하가 높아짐에 따라 용량이 감소한다.

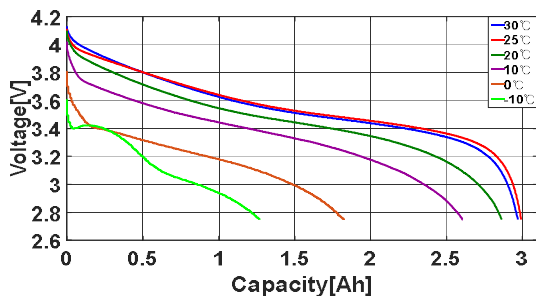


그림3 온도에 따른 배터리의 용량
Fig.3 Battery capacity depending on temperature

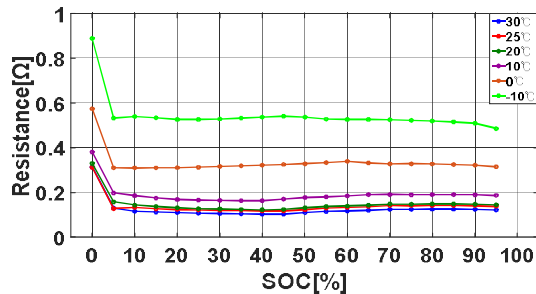


그림 4 온도에 따른 DCIR
Fig. 4 DCIR depending on temperature

3.2 온도에 따른 커패시턴스 및 OCV 특성 분석

그림 5와 6은 온도에 따른 커패시턴스의 경향성을 나타낸다. 커패시턴스를 통해 온도에 따른 배터리 동적 특성을 분석하였다. 저온으로 갈수록 저항 값이 급격하게 증가하고 커패시턴스의 값은 크게 감소한다. 이는 시정수가 저온으로 갈수록 급격하게 감소하는 것을 식 (2)를 통해 확인 할 수 있다. 시정수가 감소함으로써 동적특성이 감소하는 것을 확인하였다.

그림 7은 온도에 따른 SOC OCV 관계를 나타내는 그래프이다. 상온(30℃, 20℃, 10℃)와 기준 온도(25℃)의 SOC 0% 구간을 제외하고 OCV 편차는 약 1% 내외의 값을 가졌다. SOC 100% 구간에서 25℃를 기준으로 0℃와 10℃의 최대 OCV 편차는 각각 3.08%와 6.00%이다. 25℃를 기준으로 SOC 0% 구간의 최대 OCV 편차를 각 온도별로 비교하였을 때 10℃에서 가장 큰 편차를 보였으며 이는 9.02%이다. 최저 OCV 편차는 25℃를 기준으로 20℃에서 1.23%이다. 25℃와 0℃, 10℃, 30℃의 OCV 편차는 각각 4.24%, 4.74%, 2.29%이다. 따라서 SOC 0%구간을 제외하면 저온환경으로 갈수록 OCV 편차가 커지는 것을 확인 할 수 있다.

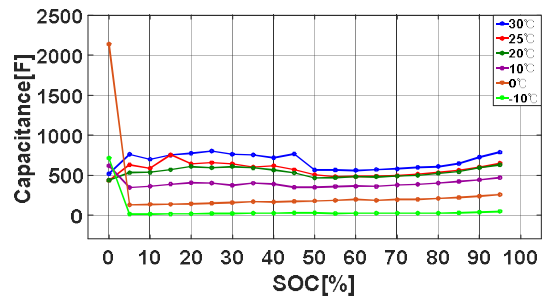


그림 5 온도에 따른 C_1
Fig. 5 C_1 depending on temperature

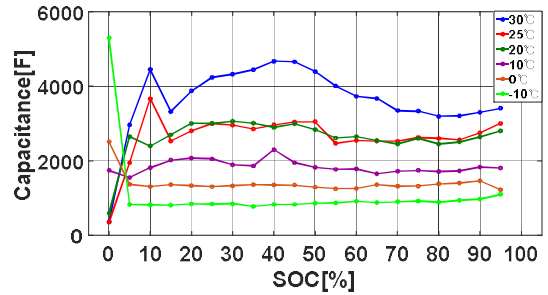


그림 6 온도에 따른 C_2
Fig. 6 C_2 depending on temperature

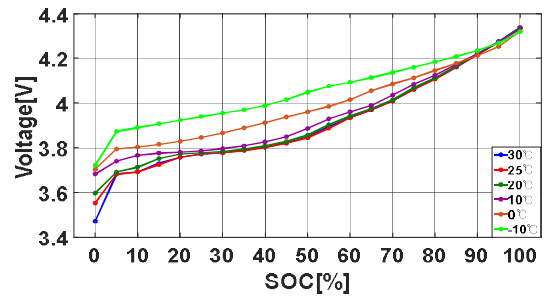


그림 7 온도에 따른 OCV
Fig. 7 OCV depending on temperature

4. 결론

본 논문에서는 정지케도위성의 신뢰성 확보를 위해 18650 고용량 원통형 셀을 상온 및 저온에 따라 전기적 특성 실험 및 내부 파라미터 비교 분석을 실시하였다. 상온에서 SOC 100%에서 20%영역까지 OCV 큰 차이는 없다. 반면에 저온으로 갈수록 편차가 심화되고, 내부 저항 증가 및 동적특성이 급격하게 감소된다. 따라서 극한의 환경에 처하는 정지케도위성의 전력 공급 안정성 및 신뢰성 확보를 위해 저온에서의 배터리 특성 분석이 요구된다.

이 논문은 2018년 한국연구재단의 정지케도복합 위성개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF 2018M1A3A4A03058068).

참고 문헌

- [1] 김종훈, 이성준, 이재문, 조보형, “온도를 고려한 리튬이온 프레스 배터리의 특성 분석연구”, 전력전자학회, 2007
- [2] 최재동, 양근호 “정지케도위성 기술현황과 국내개발”, 전자공학회지, 2010