

산업용 이차전지의 열화판정에 관한 연구

남종하, 태용준, 여인영, 최진홍, 천창열, 김재웅
(주)파워로직스

A Study on Degradation Diagnosis of Secondary Battery

Jong-ha Nam, Yong-jun Tae, In-young Yeo, Jin-hong Choi,
Chang-yeol Cheon, Jae-woong Kim
Powerlogics Co., Ltd

ABSTRACT

Internal battery ohmic measurements have been a hot topic amongst battery users and battery manufacturers. As a battery deteriorates and loses its capacity, the internal resistance of the battery increases. Everyone seems to agree that measuring the internal parameters of a cell can be very useful in determining a battery's state of health. In this paper experiences show that if a cell's resistance increases by more than 25% above its baseline value(known good resistance of new 100% capacity cell), the cell will no longer be able to deliver 80% or more of the rated capacity.

1. 서 론

반복적 재사용이 가능한 이차전지산업은 작게는 모바일기기에서부터 크게는 산업설비의 전력공급원으로 지속적인 성장 이루어지고 있는 산업중 하나이다. 또한 정부는 반도체, 디스플레이에 이은 차세대 전략산업의 하나로 선정하여 각종 투자 및 개발이 진행되고 있다. 현재의 개발중점은 대부분 장수명, 고출력, 고용량, 저가격화 등에 맞추어져 있으며, 실제 이차전지의 적용처에서의 합리적인 운영 및 관리방안에 대한 연구는 미비한 실정에 있다. 이로 인해 적용기기에서 사용중 불시의 이차전지 불량으로 인해 정상동작에 차질을 유발하고 이로 인해 막대한 손실이 발생되고 있으며, 사용이 가능한 전지가 폐기처분되어 경제적 손실 및 환경오염을 유발시키고 있다. 따라서 본 논문에서는 산업용 밀폐형 납축전지를 대상으로 지금까지의 열화진단에 관해 장단점을 비교하고 기존방식에서의 단점을 개선하기 위한 새로운 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 문

1.1 내부저항에 의한 열화판정

배터리의 열화진단을 위한 기법중 하나는 내부저항을 이용하는 방법이 사용되며, 종류로는 임피던스를 측정하는 AC 측정법, 내부저항을 측정하는 DC 측정법, DC 측정법과 유사한 방식으로 Cadex Ohmtest™ 측정법 등이 있다. 배터리는 내부저항이 높을 경우 원하는 성능을 발휘하지 못하게 된다. 이러한 현상은 실제 방전시에도 잘 나타나고 있으며, 그림 1에서와 같이 다양한 내부저항을 가진 배터리를 대상으로 내부저항의 영향을 알아보기 위해 펄스방전을 하였을 경우 내부저항이 클수록 전압을 강하가 심화되며, 방전종지전압에 가장 먼저 도달하는 것을 볼 수 있다. 본 장에서는 이러한 내부저항의 측정방법별 특징 및 장단점을 알아보고자 한다.

1.1.1 AC 측정법

AC 측정법은 10~1000[Hz]의 교류전류를 배터리의 터미널 단자에 인가하여 전압과 전류의 위상관계를 통해 임피던스를 검출하는 방식이다. 그림 2는 AC 측정법에 응용되는 일례를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 임피던스를 측정 및 교류전류를 발생하기 위한 별도의 회로가 필요하게 된다.

1.1.2 DC 측정법

DC 내부저항 측정법은 그림 3과 같이 방전전류와 전압의 강하분을 고려하여 계산되는 방식이다. 따라서 방전이 필수적으로 이루어져야 특성을 파악할 수 있으며, 유사한 방식으로 기존의 주기적 방전시 방전을 수행하면서 전압을 검사하는 방식과 비슷한 방식이라 할 수 있다. 하지만 이 경우 시험자의 관점에 따라 결과가 달리 해석될 수 있는 부분이 있었으며, 이를 개선한 방식이라 할 수 있다.

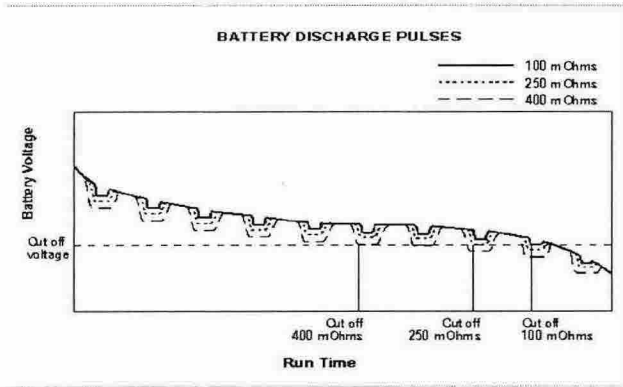


그림 1 내부저항에 따른 배터리 방전전압특성(펄스방전)
Fig. 1 Battery Discharge Characteristic to Internal Resistance(Pulse Discharge)

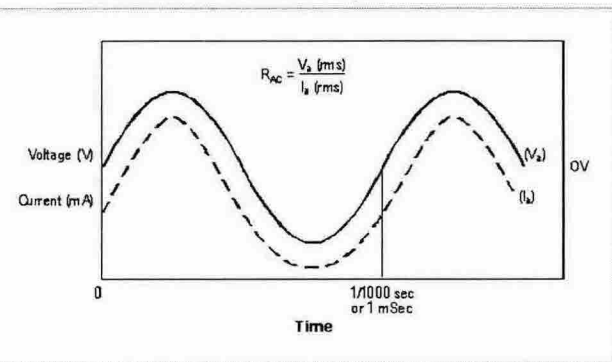


그림 2 AC 임피던스 측정법
Fig. 2 AC Impedance Test Method

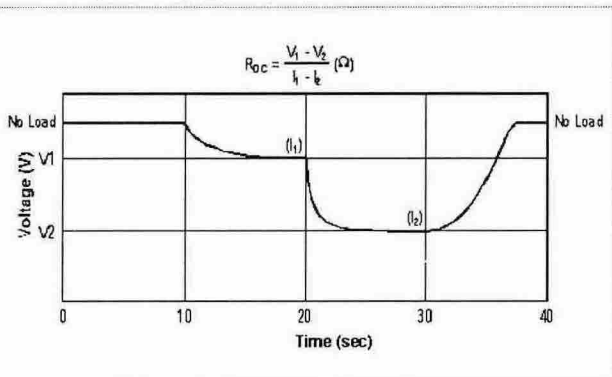


그림 3 DC 내부저항 측정법
Fig. 3 DC Internal Resistance Test Method

1.1.3 내부저항 측정법의 비교

배터리는 전기적 요소 및 화학적 요소를 가지는 비선형적 특성을 지니고 있다. 따라서 모델링시 많은 변수들을 고려하여야만 하는 단점이 있어 많은 정확한 모델을 하기란 매우 어렵다. 그림 4는 저항과 커패시터의 조합으로 구성된 가장 간단한 형태의 배터리 모델링을 보여주고 있다. 다양한 측정방법에서 AC의 경우 식 1과 같이 나타낼 수 있으며, 배터리의 내부임피던스는 주파수와 용량에 반비례하여 결정됨을 알 수 있고, 식 2에서와 같이 DC 측정법에 의해서는 병렬로 연결된 커패시터는 고려

되지 않음을 알 수 있다.

$$Z = R_1 + ((R_2 \times X_C) / (R_2 + X_C))$$

$$= R_1 + (R_2 / \omega CR_2) \quad (1)$$

$$= R_1 + (R_2 / 2\pi f CR_2)$$

$$R = R_1 + R_2 \quad (2)$$

여기서, Z : 배터리의 내부 임피던스

f : 측정주파수

C : 배터리의 용량

R : 배터리의 합성 내부저항

R_1 : 배터리의 내부저항

R_2 : 배터리의 분극저항

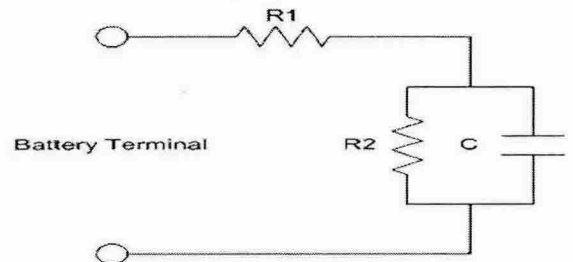


그림 4 배터리 등가회로

Fig. 4 Simplified Battery Equivalent Circuit

1.2 용량에 의한 열화판정^[2]

용량에 의한 배터리의 열화판정 혹은 교체시기의 선정은 배터리 제조사에서 사이클 수명특성곡선에서 제시되는 방법이다. 납축전지는 사용기간이 늘어남에 따라 극판에서의 활물질이 황산납이 되고 이를 황산화현상이라고 한다. 황산납은 전기전도성이 떨어지며 이로 인해 충전 혹은 방전이 불가능하게 된다. 이러한 현상이 차츰 누적되어 사용기간이 증가함에 따라 용량이 감소하게 된다. 이는 납축전지뿐만 아니라 이차전지에서는 정도의 차이를 가지고 나타나는 공통된 현상이다. 하지만 정확한 용량을 측정하기 위해서는 충방전 장비를 통해 장시간의 시험을 거쳐야만 하는 단점을 가진다. 따라서 현장의 상황에는 맞지 않으며, 유사한 방법으로 현장에서 강제적으로 방전을 실시하고, 사용자의 조건에 부합하는 시간 동안 방전이 이루어지는지의 여부를 통해 배터리의 교체기준으로 삼는 주기적 방전시험과 동일하다고 볼 수 있다. 이 경우에는 개별셀에 대한 판정이 불가능하고 장시간이 시험시간이 요구되며, 역시 시험자의 판단기준에 따라 결과가 달리 해석될 수 있는 우려가 존재한다.

3. 시험결과 및 고찰

본 논문에서는 앞서 언급한 다양한 열화판정의 장점과 문제점을 보완하여 새로운 열화판정법을 제

시하고자 한다. 새로운 열화판정법은 DC 내부저항과 최소시간의 주기적 방전시험을 통해 용량을 예측하는 방식으로 구성되며, 본 방식에 적용된 DC 내부저항의 경우 내부저항에 의한 손실과 분극현상에 의한 손실분이 더해져서 계산되어 진다. 일반적으로 DC 측정법이 AC 측정법보다 큰 내부저항이 나타되며, 이는 각 방식별로 측정되는 분극저항의 정도에 의해서 발생되며, 전류의 크기, 지속시간, 주파수 등이 원인이 된다. 수식 3에서 6은 내부저항 측정법을 나타내고 있다. 이차전지의 경우 실제 배터리의 특성을 반영하고, 측정된 값을 이와 비교하는 방식이 가장 많이 사용된다. 이는 실제 배터리를 충방전기를 통해 시험하고 이 결과를 모델링하여 적용하게 된다. 수식 7에서 10은 일정 방전시험을 통해 최종적인 용량을 예측하기 위한 용량예측 알고리즘을 나타내고 있다. 배터리의 경우 실제적인 특성이 나타나는 구간은 방전이 이루어지는 구간이며, 내부의 전기화학적 반응이 활성화된 상태를 의미한다. 따라서 기존의 부동충전상태에서 검출되는 정보로는 비활성화 상태를 통해 검출되므로 정확한 측정이 불가능하다. 또한 본 알고리즘에서는 온도에 의한 영향을 고려하여 오차를 최소화하도록 구현하였으며, 오차의 범위가 비교적 큰 내부저항측정에 의해서는 방전과 동시에 DC 내부저항의 측정에 의해 이상셀을 판정하고 이를 만족시 일정시간동안의 방전을 통해 예측용량을 검출함으로써 정확한 열화상태 및 교체시점을 검출하도록 구현되었다.

$$IR_{cal} = \frac{V_1 - V_2}{I_2 - I_1} [m\Omega] \quad (3)$$

$$IR_{ref} = \frac{A_1 - A_2}{1 + (\frac{\Delta I}{x_0})^p} + A_2 [m\Omega] \quad (4)$$

$$IR = \frac{IR_{cal} \times IR_{max i}}{IR_{ref}} [m\Omega] \quad (5)$$

$$IR = IR \times (\alpha + \beta \times T) [m\Omega] \quad (6)$$

여기서, IR_{cal} : I, V 측정에 의해 계산된 내부저항
 IR_{ref} : 표준시료에서 ΔI 에 해당하는 내부저항
 IR : 비례식을 통한 내부저항
 $IR_{max i}$: 표준시료의 최대전류에서 내부저항
 A_1, A_2, x_0, p : 표준시료의 내부저항특성 변수
 α, β : 온도의 변화에 따른 보상 변수
 T : 내부저항 측정시점의 온도

$$C_{remain} = C_{full} - (I_{avg} \times T_{dis}) [AH] \quad (7)$$

$$C_{ref} = (\frac{A_1 - A_2}{1 + exp^{(V_{cell} - x_0/dx)}} + A_2) \times C_{full} [AH] \quad (8)$$

$$C_{predict}' = \frac{C_{ref}}{C_{remain}} \times t_{con} [\%] \quad (9)$$

$$C_{predict} = \frac{C_{predict}'}{\gamma + A_1(1 - e^{-T/\delta}) + A_2(1 - e^{-T/\epsilon})} [\%] \quad (10)$$

여기서, C_{ref} : T분 방전시점 표준 잔존용량[AH]

C_{full} : 표준 정격용량[AH]

$C_{predict}'$: 예측된 정격용량율[%]

V_{cell} : T분 방전시점 셀 전압[V]

A_1, A_2, x_0, dx : 표준시료 용량특성 변수

t_{con} : 시간에 따른 보상 변수

$C_{predict}$: 온도를 보정한 예측 정격용량율[%]

$\gamma, \delta, \epsilon, A_1, A_2$: 온도의 변화에 따른 보상변수

T : 용량예측시험 온도

4. 결 론

본 논문에서는 산업용 이차전지로 가장 많이 사용되고 있는 납축전지를 대상으로 이상셀 판정 및 교체시점의 판단을 위한 열화판정법에 대해 제시하였다. 니켈-카드뮴, 납축전지 등의 중금속을 포함하고 있어 최근 환경문제를 야기하고 있다. 납축전지의 경우 일부에서 친환경 배터리인 니켈-수소로의 교체가 이루어지고 있으나 가격적인 측면에서 아직까지는 산업용 배터리로서 가장 널리 사용되고 있다. 본 논문에서 제시된 알고리즘 및 시스템은 현재 100여 곳의 현장에 설치, 운영되고 있으며, 축전지의 이상 혹은 수명이 종료된 배터리를 검출하여 불시의 정전시 배터리 불량으로 인한 손실을 최소화하고 있다. 또한 이를 통해 배터리를 최대수명까지 사용하므로 폐기되는 배터리의 양을 현저히 줄이고 있어 환경오염원의 배출을 억제하는 효과를 거두고 있다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청의 기술혁신사업 기술연구회 공동연구개발사업 과제인 친환경 수송기계용에너지 저장장치 개발 연구의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 남중하, 최진홍, 김승중, 황호석, 김재웅, "하이브리드 전기 자동차용 배터리 ECU 설계 및 잔존용량 알고리즘에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, pp. 319-325, 2004. 8.
- [2] H.L.Chan, D.Sutanto, "A New Battery Model for use with Battery Energy Storage Systems and Electric Vehicles Power Systems", IEEE, pp. 470~475, 2000.