

납축전지 건전상태 진단을 위한 기준 임피던스/컨덕턴스 설정에 관한 연구

논문
58P-2-20

A Study on the Establishment of Impedance/Conductance Guide Line for Diagnosis of Lead-Acid Battery's State of Health(SOH)

김종민[†] · 방선배* · 송길목*
(Chong-Min Kim · Sun-Bae Bang · Kil-Mok Shong)

Abstract - Battery is one of the emergency power and its reliability is a very important to keep up the minimum of building capabilities in case of interruption of electric power. This paper, a comparison was made between three different types of instrument on 30 valve regulated lead acid(VRLA) TYPE 12[V]/100[AH] batteries, and then their indicated measured values(impedance/conductance) were compared with the measured capacity of the battery. As a result, Measured value of instrument is strongly related to battery's capacity in the same group battery and Impedance/Conductance guide line for diagnosis of lead-acid battery's state of health(SOH) is a different from each battery group.

Key Words : Lead-Acid Battery, State of Health(SOH), Battery Capacity, Valve Regulated Lead Acid(VRLA)

1. 서 론

전원의 신뢰도는 날로 향상되고 있으나 화재 등의 재해나 보수·점검 등에 의한 정전은 피할 수 없다. 따라서 정전이 발생하였을 경우 건물의 최소 기능을 유지하기 위한 비상용 예비전원설비의 축전지 신뢰성은 매우 중요하다. 이러한 경우에 사용가능한 축전지를 선별하고, 그 상태를 체크하는 것은 무엇보다도 중요하다. 축전지의 유지관리 차원에서 보면 기대 수명이 남아있는 축전지의 과잉교체는 비용적으로 손해이며, 기대수명 예측이 잘못되었을 경우는 비상시 제 기능을 발휘하지 못하여 더 큰 사고를 초래한다. 축전지의 건전상태(SOH)를 확인하는 방법으로는 축전지 셀 단자전압 측정, 비중측정(황산화), 실부하 방전시험 등을 통해 종합적으로 판단해야 하지만 최근의 밀폐형 구조의 축전지는 비중측정 및 육안검사를 할 수 없는 구조이며, 실부하 방전시험 또한 장비의 운전 중에 실시하기 어렵고, 오랜 시간이 소요되며 자주 실시할 경우 축전지의 수명에 단축시키는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 축전지의 내부 임피던스 및 컨덕턴스를 측정하여 축전지의 건전상태를 간접적으로 평가하고자 하는 연구가 진행되었다.[1,2,3] 그 결과 축전지의 건전상태 진단을 위한 측정기술 및 장비에서 상당한 발전이 이루어 졌다. IEEE 기술기준위원회에서는 IEEE Std 1188-1996의 기술기준을 통해 납축전지의 내부임피던스를 측정하여 납축전지 교체시기를 판단할 수 있는 방법을 추천하였다.[4]

이와 같은 방법은 축전지 설치초기부터 지속적인 내부임피던스 및 부동충전 전압을 주기적으로 측정하고 축전지의 온도를 항상 측정하여 이들 측정치의 관리를 통해 적용될 수 있다. 설치시의 초기 내부임피던스값에 비해 측정된 값의 120% 이상의 변화를 통해 축전지의 이상유무를 판단하는 방법이다. 하지만 실제 현장의 설치되어 있는 축전지는 축전지 설치 초기시의 내부임피던스 및 컨덕턴스등을 관리하지 않고 쓰여지고 있어 이와 같은 측정장비의 적용이 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 현장에서 널리 쓰이고 있는 축전지 모델에 대해 시중에 보급되어 있는 축전지 열화진단장비를 3종을 이용하여 측정된 내부 임피던스/컨덕턴스값과 실부하 방전시험을 통한 축전지의 실제용량과의 상관관계를 파악하여 축전지의 교체기준이 되는 기준임피던스 및 컨덕턴스값을 찾고자 한다. 실험을 통한 데이터는 축전지 건전상태 예측 및 열화 판단기준 연구에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 본 론

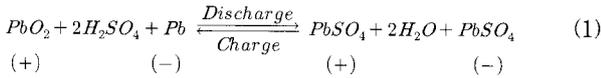
2.1 축전지 내부저항과 성능과의 관계

납축전지의 주요 구성부분을 살펴보면 극판, 격리판, 전해액, 전조의 네 부분으로 되어 있다. 극판은 양극판(PbO_2), 음극판(Pb)이 있으며 전기 화학적 반응에 참여하는 활물질과 이를 지지하는 동시에 전도체 역할을 하는 기판으로 구성된다. 기판은 납 또는 납합금으로 만들어지며, 합금에 첨가되는 원소의 종류와 함량에 따라 가스발생 및 자기방전 등의 형태로 전지의 성능 및 수명에 영향을 미친다. 격리판은 양극과 음극의 단락을 방지하고 활물질을 보호하기 위한 것으로서 내산성 및 내산화성이 우수하며, 축전지의 유해한 물질을 유출하지 않은 절연 재료로 만들어진다. 전해액은 황산용액(H_2SO_4)이 사용되며 전조는 극판, 격리판 및 전해액 등을 수용하는 용기이다.[5]

[†] 교신저자, 정회원 : 전기안전연구원 연구원
E-mail : cmkim@kesco.or.kr

* 정 회원 : 전기안전연구원 선임연구원 · 공박
접수일자 : 2009년 1월 30일
최종완료 : 2009년 3월 10일

축전지의 충·방전시 화학반응을 살펴보면 식 (1)과 같다.



방전이라 함은 식 (1)의 오른쪽 방향이며, 화학에너지를 전기에너지로 변환되는 과정을 말한다. 양극판의 과산화연(PbO₂)과 음극판의 해면상연(Pb)은 황산연(PbSO₄)으로 변하고 전해액인 묽은 황산은 극판의 활물질과 반응하여 물로 변하여 비중이 떨어진다. 그리고 양극판과 음극판이 동일 물질(황산연)로 변하게 되어 기전력이 발생치 않게 되므로 전압도 저하된다. 즉 방전이라 함은 배터리에 저장되어 있던 전기 에너지를 빼내어 쓰는 것을 의미한다. 충전이라 함은 식 (1)의 왼쪽 방향의 반응이며, 전기에너지를 충전기를 사용하여 화학에너지로 변환시키는 과정을 말한다. 방전의 역반응이다. 양극과 음극의 황산연은 전기에너지에 의해 각각 과산화연(PbO₂)과 해면상연(Pb)으로 변하고 전해액은 극판의 활물질과 반응하여 비중이 규정치까지 증가되고 기전력도 발생한다. 그림 1은 납축전지의 노화 메커니즘을 표현한 것이다.

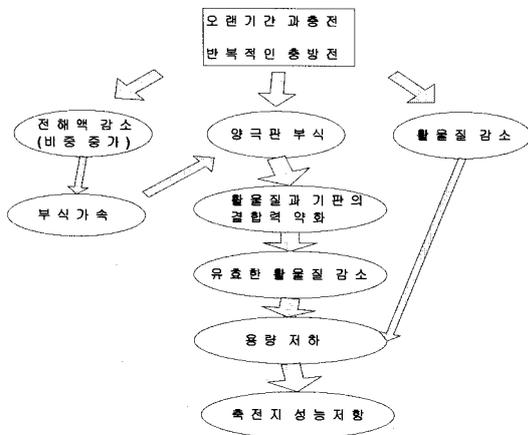


그림 1 납축전지의 노화 메커니즘
Fig. 1 Deterioration mechanism of lead acid battery

오래기간 과충전되거나 반복적인 충·방전은 양극판의 부식을 초래하며 동시에 전해액이 감소된다. 그 결과 축전지의 비중이 증가되며 이는 다시 양극판의 부식을 가속시킨다. 양극판의 부식은 활물질이 다시 본래의 물질로 환원되는 것을 감소시킨다. 활물질은 방전시 팽창하였다가 충전시에는 수축되는 피로 현상을 수반하게 되며 이러한 피로 현상이 반복되면 활물질간의 결합력이 약해진다.[1] 그렇게 되면 유효한 활물질의 양은 감소되며 이는 다시 축전지의 용량저하를 유발시킨다. 양극판의 부식과 활물질과 기판과의 결합력 감소는 축전기 내부저항의 증가를 유발시킨다. 그러므로 축전기 내부저항은 성능저하와 밀접한 관계가 있으며 이는 곧 축전기 용량의 저하를 의미한다.

그림 2는 납축전지의 일반적인 등가회로이다. R₁은 전해액과 전극의 저항, R₂는 전해액과 전극 사이의 전송 저항, C는 전해액과 전극사이의 정전용량을 의미한다.[5] 축전지의 임피던스는 식 (2)와 같으며 실수부와 허수부의 관계에서 보면 정

전용량 C값이 작아지면 임피던스가 커지는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Z &= R_1 + \left(\frac{1}{R_2 + j\omega C} \right) \\
 &= R_1 + \frac{R_2}{1 + \omega^2 C^2 R_2^2} - \frac{j\omega C R_2^2}{1 + \omega^2 C^2 R_2^2}
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

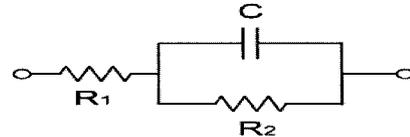


그림 2 납축전지의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of battery

2.2. 실험환경 및 방법

실험목적은 현장에서 사용되어진 동일모델의 축전기 10개셀 3그룹에 대해 축전기 열화진단장비(3종)를 이용하여 축전지의 내부 임피던스/컨덕턴스, 단자전압을 측정하고 일부하 방전실험에 의하여 잔존용량을 측정한 후 각 데이터를 연계·비교함으로써 측정치 사이의 상관관계를 추출하고자 하였다. A사, B사의 축전기 진단장비는 축전기 내부임피던스를 측정하는 장비이며, C사의 진단장비는 축전기 내부컨덕턴스를 측정하는 장비이다.

시험 대상용 축전지는 각각 다른 현장에서 UPS용으로 사용되어진 동일제품의 무누액 밀폐형(VRLA TYPE) 12[V]/100[AH]규격의 납축전기 10개셀 3그룹을 이용하였으며 그룹 A는 제조년월일 2005년, 그룹 B는 2002년, 그룹 C는 2004년도 제품이다.

일부하 방전은 KS C 8505의 용량시험방법에 따라 먼저 시험용 축전지를 정전압으로 완충시킨 후 2시간~24시간 이내에 일부하 방전을 통해 축전기 용량시험을 실시하였다. 일부하 방전 시험은 축전지의 건전상태를 가장 정확하게 진단할 수 있는 방법이며, 완충전된 축전지를 일정한 방전전류로 일정한 조건하에 방전중지전압에 이르기까지 방전시키면서 총 방전 전하량을 측정하는 것이다. 본 연구에서는 일정한 부하전류를 방전하는 역할을 할 수 있는 방전장치인 전자부하(DC electronic load) 600[W]를 이용하였으며, 납축전기(100AH/10HR)의 실방전 시험기준인 정격방전전류(0.1C 방전율), 즉 10[A]의 방전전류로 방전중지전압 10.8[V]까지 총 방전 전하량을 측정하였다. 방전중지전압은 방전율0.1C₁₀인 경우 단전지당 평균 1.80[V]를 적용하여 10.8[V]로 하였다.

일부하 방전시험 전에 축전기 열화진단장비(3종)를 이용하여 축전지의 임피던스 또는 컨덕턴스를 측정하였다. 측정은 제조사에서 제공되어진 클럽형 프роб를 이용하여 3회 반복측정 하였다. 그림 3은 일부하방전 시험구성도이다.

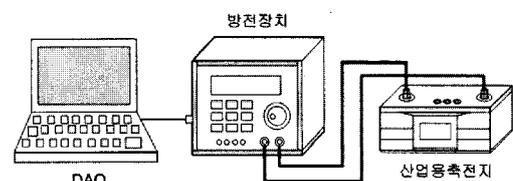


그림 3 실험장치
Fig. 3 Test apparatus

2.3 실험결과 및 고찰

축전지가 기능 저하되고 용량이 80% 이하로 줄어들게 되면 그 후에는 급속히 용량이 줄어들게 되므로 축전지의 수명은 용량이 정격용량에 대해 80%가 되었을 때를 기준으로 삼는다. 또한 축전지 용량이 제조사 제공 초기용량에 80% 미만일 경우 IEEE 1188-1996에서는 축전지의 교체를 권장하고 있다.

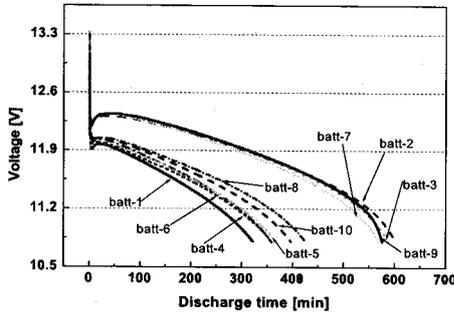
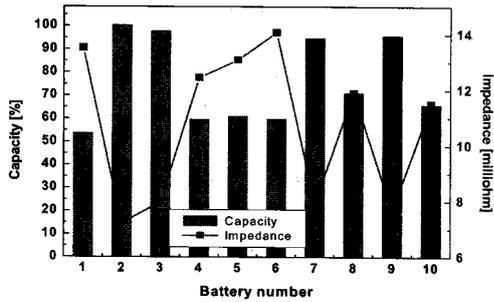
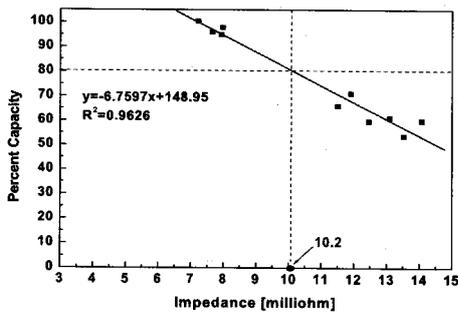


그림 4 축전지 방전특성 곡선(그룹 A)
Fig. 4 Discharge characteristics of battery(Group A)

그림 4는 그룹 A의 일부하 방전시험결과이다. 시험결과 축전지 1번, 4번, 5번, 6번, 8번, 10번의 축전지는 기준용량에 적합하지 않은 것으로 나타났다.



(a)



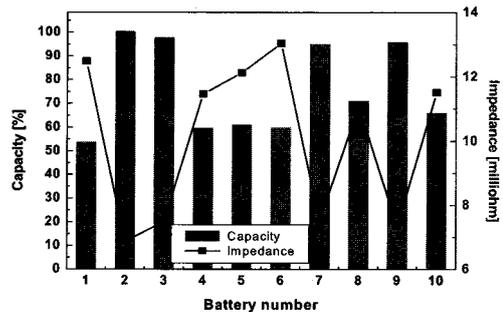
(b)

그림 5 A사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 A)
Fig. 5 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument A (Group A)

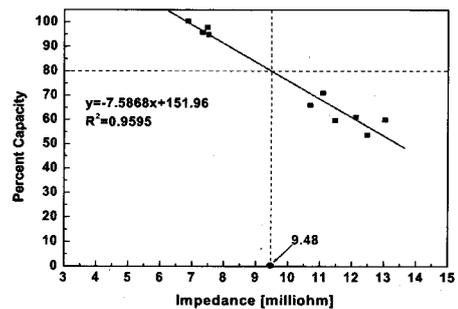
그림 5의 (a)는 축전지 용량과 A사의 축전지 진단장비를 통해 측정된 축전지 임피던스를 도시한 것이며 축전지의 용량이 적은 축전지의 임피던스가 큰 것을 알 수 있다. 그림 5 (b)의 점으로 찍혀진 부분은 축전지의 임피던스값과 실제 방전실험을 통해 측정된 축전지 용량을 정격용량대비 비율로 표시한 값이다. 측정값들의 중심을 가로지르는 실선은 최소자승법으로 구한 추세선(regression line)으로 축전지들의 임피던스와 용량의 상관 함수관계를 나타낸다. 상관관계가 1인 경우 모든 측정점들은 추세선과 완전히 일치함을 나타낸다[3.4]. 이번 실험의 추세선과 측정점들과의 상관관계는 0.9626이며 용량 80%인 점의 기준임피던스값은 10.2[mΩ]이다.

그림 6은 B사의 측정장비를 통해 측정된 임피던스와 용량의 상관관계를 나타낸 것이다. 이번 실험의 추세선과 측정점들의 상관관계는 0.9595이며 용량 80%인 점의 기준임피던스값은 9.48[mΩ]이다. A, B사의 계측장비를 이용하여 임피던스를 측정된 결과 두 장비의 측정값은 다르지만 측정되는 축전지간의 패턴은 동일하였다. 이는 계측장비의 측정 주파수가 다른 이유로 측정값의 범위가 다르게 측정되기 때문이다.

그림 7은 C사의 측정장비를 통해 측정된 컨덕턴스와 용량의 상관관계를 나타낸 것이다. 축전지의 임피던스는 축전지의 건전상태와 반비례적인 관계를 갖는 반면 축전지의 컨덕턴스는 상대적으로 비례관계를 보이므로 축전지의 건전

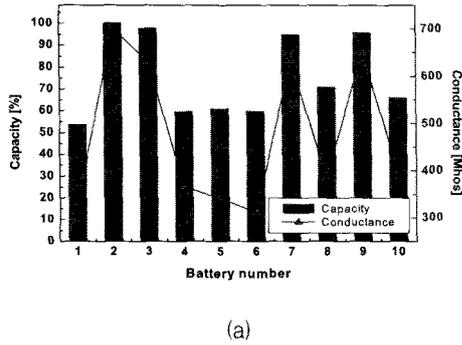


(a)

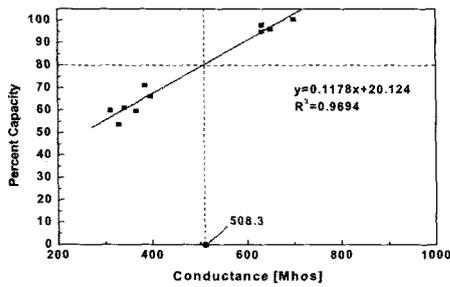


(b)

그림 6 B사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 A)
Fig. 6 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument B (Group A)



(a)

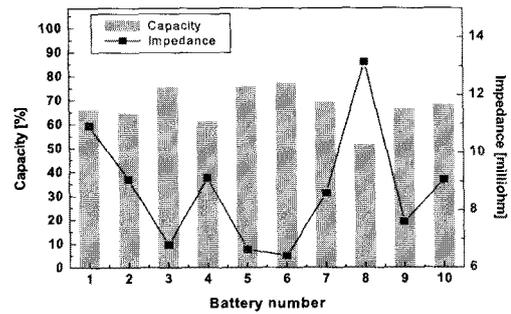


(b)

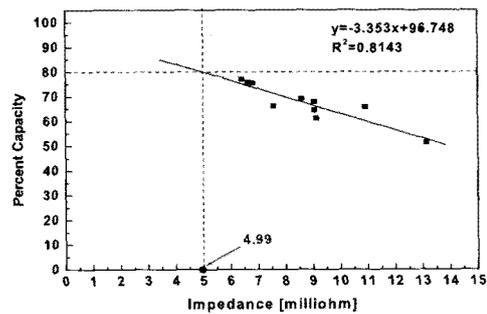
그림 7 C사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 A)
Fig. 7 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument C (Group A)

상태를 시각적으로 판단하기에 좋은 점이 있다. C사의 계측장비를 이용한 측정결과도 측정값만 다를뿐 A, B사의 계측장비를 이용한 측정값과 반비례관계인 패턴으로 나타남을 알 수 있다. 이번 실험의 추세선과 측정점들과의 상관관계는 0.9694이며 용량 80%인 점의 기준컨덕턴스값은 508.3[Ω]이다.

그림 8은 그룹 B의 일부하 방전시험결과이다. 시험결과 시험용 축전지 모두 기준용량에 미치지 못하고 있는 것으로 나타났다. 그림 9는 A사의 계측장비를 통해 측정된 임피던스와 용량과의 상관관계를 나타낸 것이다. 이번 실험의 추세선과 측정점들과의 상관관계는 0.8143이며 용량 80%인 점의 기준임피던스값은 4.99[mΩ]이다.



(a)



(b)

그림 9 A사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 B)
Fig. 9 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument A (Group B)

그림 10은 B사의 계측장비를 통해 측정된 임피던스와 용량과의 상관관계를 나타낸 것이다. 이번 실험의 추세선과 측정점들의 상관관계는 0.8121이며 용량 80%인 점의 기준임피던스값은 4.7[mΩ]이다. 축전기 그룹 B에서도 A, B사의 계측장비를 이용하여 임피던스를 측정할 결과 두 장비의 측정값은 다르지만 측정되는 축전지간의 패턴은 동일하게 측정됨을 알 수 있다. 그림 11은 C사의 계측장비를 통해 측정된 컨덕턴스와 용량과의 상관관계를 나타낸 것이다. 이번 실험의 추세선과 측정점들과의 상관관계는 0.8309이며 용량 80%인 점의 기준컨덕턴스값은 829.2[Ω]이다.

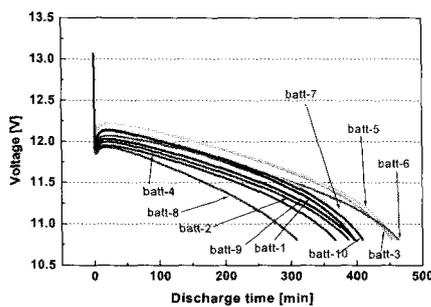
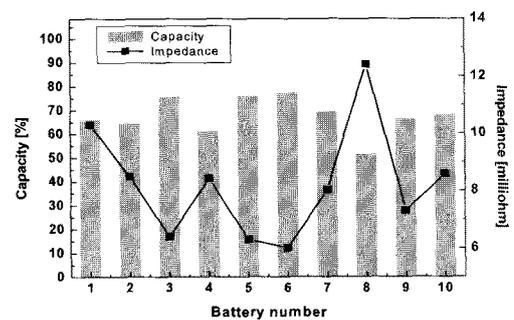
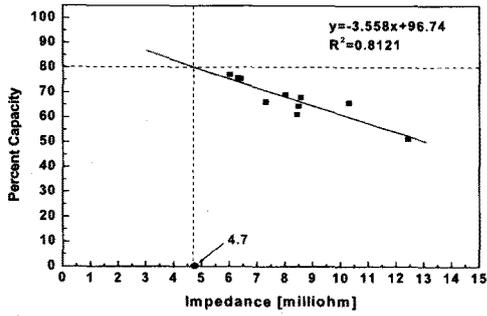


그림 8 축전지 방전특성 곡선(그룹 B)
Fig. 8 Discharge characteristics of battery(Group B)

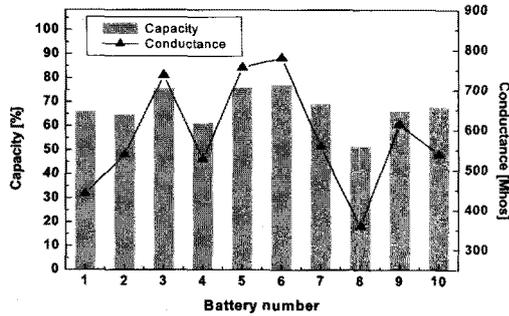


(a)

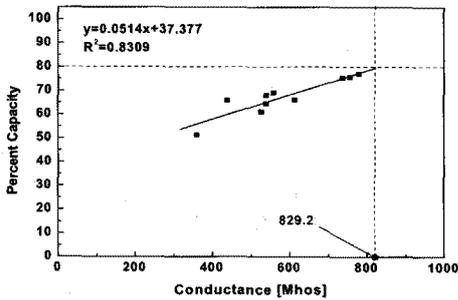


(b)

그림 10 B사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 B)
Fig. 10 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument B (Group B)



(a)



(b)

그림 11 C사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 B)
Fig. 11 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument C (Group B)

그림 12는 그룹 C의 일부하 방전시험결과이다. 시험결과 시험용 축전지 모두 기준용량에 미치지 못하고 있는 것으로 나타났다. 축전지의 용량이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 그림 13, 14, 15는 각 측정장비를 통한 임피던스/컨덕턴스와 용량과의 상관관계는 나타내며 각 장비들의 측정 임피던스/

컨덕턴스와 용량과의 상관관계는 0.7431, 0.7378, 0.7249이며 용량 80%인 점의 임피던스값은 음의 값을 가지므로 적용될 수 없는 값을 알 수 있으며 또한 컨덕턴스 값은 1761.8 [Ω]으로 그 값이 매우 큰 것을 알 수 있다. 축전지 그룹 C에서도 A, B사의 임피던스는 측정값은 다르지만 측정되는 축전지간의 패턴은 동일하게 측정됨을 알 수 있다. C사의 측정된 컨덕턴스값은 A, B사의 임피던스와 역비례관계로 나타나고 있다.

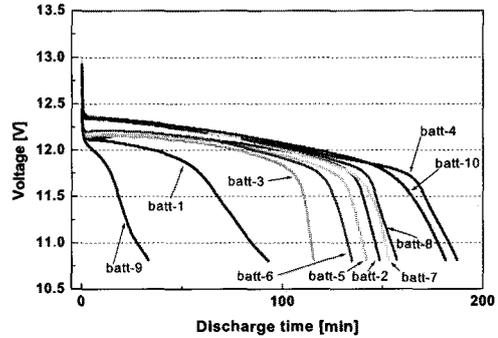
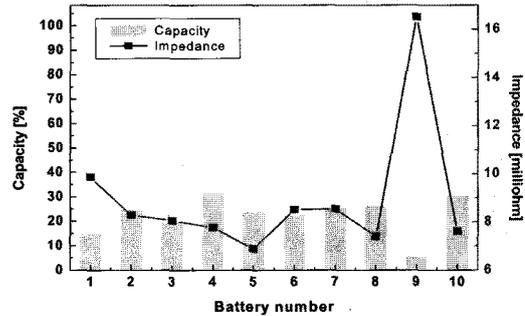
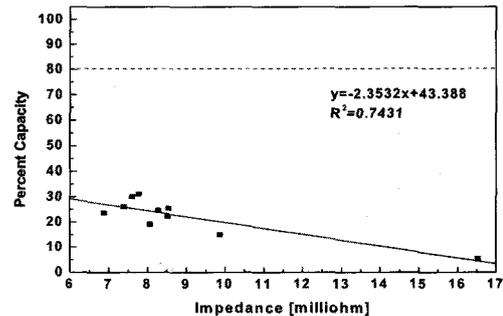


그림 12 축전지 방전특성 곡선(그룹 C)
Fig. 12 Discharge characteristics of battery(Group C)

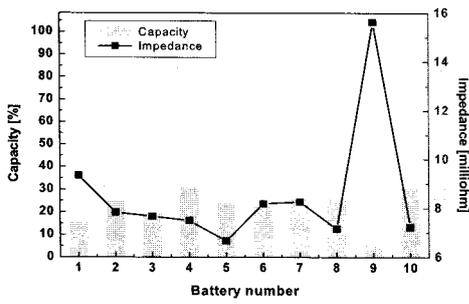


(a)

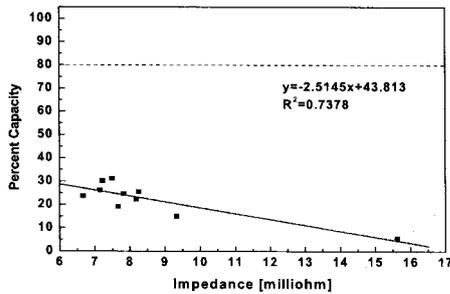


(b)

그림 13 A사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 C)
Fig. 13 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument A (Group C)

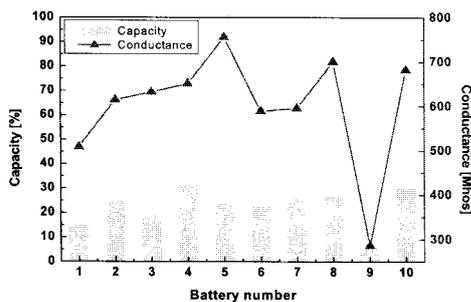


(a)

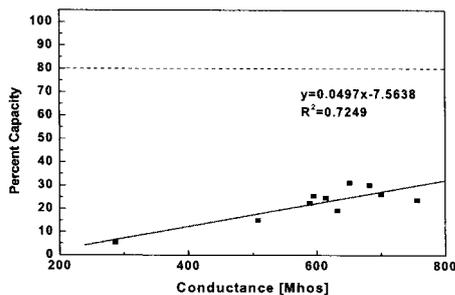


(b)

그림 14 B사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 C)
Fig. 14 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument B (Group C)



(a)



(b)

그림 15 C사 계측장비 임피던스-용량 상관관계(그룹 C)
Fig. 15 Mutual relationship between battery's capacity and measured value of instrument C (Group C)

축전지 그룹 A, B, C의 실험결과 축전지 진단장비의 임피던스/컨덕턴스는 동일 환경에서 사용되어진 축전지들의 건전상태와 상관성이 높은 것을 알 수 있었다. 하지만 같은 제조사에서 제작된 동일규격의 축전지라 하여도 그룹의 운전조건과 충방전 회로의 특성에 따라 축전지의 임피던스/컨덕턴스 분포가 달라지는 것을 알 수 있었다. 또한 사용기간이 더 오래된 그룹 B의 축전지들의 건전상태가 그룹 C의 축전지보다 좋은 것을 볼 때 축전지의 수명저하는 사용기간에 따른 수명저하보다 사용환경에 따른 수명저하가 더욱 큰 것을 간접적으로 확인 할 수 있었다.

축전지들의 추세선 자료를 확보하여 축전지 진단장비의 기준임피던스/컨덕턴스 값을 정확히 알고 있다면 축전지의 불량여부를 좀더 쉽게 판단 할 수 있을 것이다. 하지만 본 실험결과 표 1과 같이 각 축전지 그룹마다 추세선에 의한 기준임피던스/컨덕턴스의 편차가 큼을 알 수 있었다. 이는 같은 제조사에서 제작된 동일 규격의 축전지라 할지라도 같은 기준임피던스/컨덕턴스를 적용하여 축전지의 불량여부를 판정하면 안되는 것을 알 수 있다. 또한 축전지의 건전상태가 좋지 못한 축전지그룹의 기준 임피던스가 낮고 건전상태가 양호한 그룹의 기준임피던스가 높은 것을 알 수 있었다. 기준 컨덕턴스는 임피던스와 역비례의 관계로 적용된다. 따라서 축전지 진단장비를 통해 축전지의 불량여부를 판정할 경우 양호한 축전지 그룹의 기준임피던스보다 상태가 좋지 못한 축전지 그룹의 기준임피던스/컨덕턴스를 더 가혹하게 적용하여 축전지의 불량여부를 판정해야 할 것으로 사료된다.

표 1 기준임피던스/컨덕턴스

Table 1 Impedance/Conductance Guide Line

	A사 기준임피던스	B사 기준임피던스	C사 기준컨덕턴스
그룹A	10.2[mΩ]	9.48[mΩ]	508.3[Ω]
그룹B	4.99[mΩ]	4.7[mΩ]	829.2[Ω]
그룹C	(-)값	(-)값	1764.8[Ω]

3. 결 론

본 연구에서는 현장에서 널리 쓰이고 있는 축전지에 대해 축전지 열화진단 장비 3종을 이용하여 축전지 내부 임피던스/컨덕턴스값을 측정하고 일부하 방전시험을 통한 축전지의 실제용량과의 상관관계를 파악하여 축전지의 교체기준이 되는 기준임피던스 및 컨덕턴스값을 찾고자 하였다. 실험결과 축전지 각 그룹내의 축전지들의 건전상태는 축전지 진단장비의 임피던스/컨덕턴스값과 상관성이 높은 것을 알 수 있었다. 하지만 같은 제조사에서 제작된 동일규격의 축전지라 하여도 그룹의 운전조건과 충방전 회로의 특성에 따라 축전지의 임피던스/컨덕턴스 분포가 달라지는 것을 알 수 있었다. 또한 각 축전지 그룹마다 추세선에 의한 기준임피던스/컨덕턴스의 편차가 다양하며 이는 같은 제조사에서 제작된 동일 규격의 축전지라 할지라도 동일한 기준임피던스/컨덕턴스를 적용하여 축전지의 불량여부를 판정하면 안되는 것을 알 수 있었다.

실험을 통해 축전지의 건전상태가 좋지 못한 축전지그룹의 기준 임피던스는 낮고 건전상태가 양호한 그룹의 기준 임피던스가 높은 것을 알 수 있었다. 기준 컨덕턴스는 임피던스와 역비례의 관계로 적용된다. 따라서 축전지 내부임피던스/컨덕턴스를 측정하여 축전지의 불량여부를 판정할 경우 양호한 축전지 그룹의 기준임피던스보다 상태가 좋지 못한 축전지그룹의 기준임피던스를 낮게 설정하여 축전지의 불량여부를 판정해야 하며 컨덕턴스의 경우는 높게 설정하여 판단해야 할 것으로 사료된다. 향후 계속되는 연구에서는 보다 많은 축전지의 실험 및 축전지의 체계적인 분석을 통해 데이터의 신뢰성을 추구 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Yoshitaka KONYA, "A Deterioration Estimating System for 200-AH Sealed Lead-Acid Batteries", Telecommunication energy conference, pp.256~262, 1994
- [2] M.Kniveton, A. I. Harrison, "Impedance/Conductance Measurements as an Aid to Determining Replacement Strategies", IEEE, 1998
- [3] M J. Hiavac, D. Feder, "Field and laboratory studies to assess the state of health of valve-regulated lead acid and other battery technologies using conductance testing" IEEE
- [4] 김효성, "축전지 관리시스템(BMS)을 위한 건강상태(SOH)진단방법", 전력전자학회 논문지, 제11권 제6호, pp.558~562, 2006.12
- [5] 김인권 외 6명 "이차전지의 가속수명시험 및 성능평가 기술개발" 한국표준과학연구원 KRISS-92-056-IR 최종 보고서

저 자 소 개



김 종 민 (金 鍾 旻)

1972년 7월 18일생. 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 연구원.

Tel : 031-580-3077

Fax : 031-580-3070

E-mail : cmkim@kesco.or.kr



방 선 배 (方 善 培)

1968년 5월 18일생. 1994년 명지대 전기공학과 졸업. 2002년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 졸업(박사). 2003년~현재 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : 031-580-3074

Fax : 031-580-3070

E-mail : bsb1586@kesco.or.kr



송 길 목 (宋 佶 穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 숭실대 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 졸업(석사), 2007년 동 대학원 졸업(박사). 전기전자재료 및 대전력 전공, 1996년 3월~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : 031-580-3065

Fax : 031-580-3070

E-mail : natasder@naver.com