

무정전 전원공급장치용 온라인 배터리 관리시스템 개발

남종하, 최진홍, 김승중, 김재웅
(주) 파워로지스

Development of Online Battery Management System for Uninterruptible Power Supply

Jong-ha Nam, Jin-Hong Choi, Seung-Jong Kim, Jae-Woong Kim,
Powerlogics Co.,Ltd

ABSTRACT

UPS 시스템에서 정전시 안정적인 전력공급을 방해하는 요소의 대부분은 배터리의 불량에 차지하고 있다. 일반적으로 UPS 시스템에 적용되는 배터리는 일정시간이 경과되면 전체를 교체하는 관리시스템을 가지며, 주기적인 방전시험을 실시하지만 교체기준에 대한 명확한 방안이 마련되어 있지 않다. 일부에서는 배터리의 내부저항 혹은 임피던스를 측정하여 배터리의 교체여부를 판단하는 기준으로 삼고 있지만 배터리의 비선형적 특성으로 인하여 그 오차범위는 크다고 할 수 있다. 또한 배터리는 부동충전시에는 정상적인 특성을 보이지만 방전시 불량 특성이 나타나는 경우가 많고, 리튬-이온 배터리의 경우 내부저항은 수십[mΩ]의 비교적 큰 값을 가지지만 UPS에 적용되는 납축전지의 경우 수[mΩ] 정도의 아주 낮은 내부저항을 가져 측정오차에 의해 불량 여부를 명확히 판단하지 못하는 경우가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점에 착안하여 평상시에는 배터리의 개별셀 전압, 온도, 전계전압 및 보관함의 온도, 충방전 전류, SOC(State of Charge)를 현장 및 원격지의 모니터링 PC로 전송하여 사용자에게 보여주며, 정전으로 인한 방전시에는 내부저항과 개별셀의 용량을 계산하고 이를 통해 교체시기를 결정할 수 있도록 구성되어 있으며, 실험을 통해 타당성을 확인하였다.

1. 서 론

산업 및 경제의 급속한 발전에 따라 전기를 이용하는 각종 산업 기기 및 전자 기기의 사용 및 보급이 급속한 속도로 확산되어 왔다. 또한 전력수요의 급격한 증가와 더불어 전력품질에 민감한 전기·전자 및 통신 기기가 대량 보급되고 사용되면서 전력수급의 문제와 함께 안정적인 전력의 공급, 과거보다 더 향상된 전력의 품질을 요구하고 있다. 전력품질의 저하는 순간정전, 순간전압강하

또는 고조파 등의 전기적 외란의 형태로 나타나며, 민감한 장비를 정지 또는 오동작 등을 일으켜 생산 현장의 생산성 감소와 새로운 설비 투자라는 경제적 손실이 발생시키게 된다. 이러한 전력품질의 문제를 해소하기 위한 일환으로 산업체에서는 UPS가 많이 사용되고 있으며, 정전시 안정적인 전력공급을 위해 배터리를 필수적으로 사용하게 된다. UPS의 경우 전력전자분야의 발전으로 인해 안정적인 동작이 확보되어 있으나 불시의 정전시 전력공급을 하지 못하는 경우가 종종 발생되며, 이러한 원인은 대부분이 배터리의 불량으로 인해 발생되고 있다. 하지만 배터리의 경우 합리적인 관리방안이 제시되어 있지 않으며, 대부분의 경우 UPS 제조사나 배터리 제조사에서 권장하는 기간 혹은 이전에 배터리를 모두 교체함으로써 수명이 다하지 않은 배터리까지 교체되는 손실이 발생되고 있으며, 주기적인 관리를 위한 인력의 낭비를 초래하고 있다. 또한 가장 큰 문제점으로서 교체시기 내에 발생된 불량배터리를 검출할 수 있는 방안이 현재는 전무한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 물리적으로 측정 가능한 축전지의 전압, 온도, 전류를 측정하고 이를 이용하여 잔존용량, 부하율 등을 평상시 현장의 시스템 및 원격지의 PC에 항상 표시하고, 이상이 발생시 팝업(Pop-up)창을 통해 관리자에게 경고를 보내며, 정전 혹은 주기적 방전시험시 이상셀 및 교체시기를 판단할 수 있도록 내부저항 측정 및 셀 용량 측정기능이 구현된 축전지 관리 시스템(Battery Management System)을 개발하였다.

2. 시스템의 해석

2.1 납축전지의 내부저항 측정

본 논문에 적용된 납축전지는 12[V], 200[AH], 16개가 직렬로 구성되어 사용되었다. 일반적으로 배터리의 성능에 영향을 미치는 요소로서는 온도, 방전율, 충·방전 사이클 등 많은 변수들이 존재하게 된다. 이러한 변수들은 최종적으로 축전지의 내부저항으로 표현이 된다. 납축전

지는 평상시 부동충전상태로 유지되며, 정전시 UPS의 부하에 해당하는 방전전류가 흐르게 된다. 일반적으로 축전지의 내부저항을 측정하는 방식으로는 AC 측정법, DC 측정법 등이 있으며, AC 측정법의 경우 약 5[A] 정도의 전류를 배터리에 인가하여 나타나는 전압을 측정하고 전류와 전압의 위상차를 이용하여 임피던스를 측정하는 방식이다. 이 방식의 경우 정확한 내부저항을 측정할 수 있다는 장점과 함께 시스템이 복잡해지고, 고가라는 단점을 가진다. DC 측정법의 경우 AC 측정법에 비해 정확성이 다소 떨어지지만 시스템이 간소해지는 장점을 가진다. 본 시스템에서는 그림 1과 같이 부동충전상태에서 정전으로 인한 방전이 진행시 배터리의 내부저항에 의한 전압강하(Voltage Drop)와 전류와의 관계를 통해 계산하는 DC 측정법을 사용하였다. 내부저항 계산시점은 내부저항에 의한 전압강하와 분극현상에 의한 전압강하와의 관계에서 내부저항만을 고려하기 위해 방전개시 후 1000[msec] 시점에서 계산되었다. 그림 2는 200[AH], 12[V] 표준시료로 사용된 납축전지의 방전전류별 내부저항의 관계이며, 납축전지의 내부저항은 방전전류와 반비례하는 특성을 가지게 된다. UPS의 경우 방전전류의 크기는 부하의 사용유무에 따라 다양하게 변화할 수 있다. 따라서 방전전류와 관계없이 일정한 내부저항을 계산하기 위해 식 1과 같이 방전개시 후 1000[msec] 시점에서 내부저항을 계산하고, 표준시료의 방전전류별 내부저항 그래프로부터 식 2와 같이 근사화 수식을 유도하며, 식 3의 비례식을 통해 최대전류에서의 내부저항으로 계산되도록 구현하였다. 그림 3은 내부저항 측정 알고리즘을 Matlab을 통해 계산되어진 결과를 보여주고 있다. 보는 바와 같이 방전전류가 변화되어도 내부저항은 일정한 값을 유지함을 알 수 있다.

$$IR_{cal} = \frac{V_1 - V_2}{I_2 - I_1} [m\Omega] \quad (1)$$

$$IR_{ref} = \frac{A_1 - A_2}{1 + \left(\frac{\Delta I}{x_0}\right)^p} + A_2 [m\Omega] \quad (2)$$

$$IR = \frac{IR_{cal} \times IR_{max\ i}}{IR_{ref}} [m\Omega] \quad (3)$$

여기서, IR_{cal} : I, V 측정에 의해 계산된 내부저항
 IR_{ref} : 표준시료에서 ΔI 에 해당하는 내부저항
 IR : 비례식을 통한 내부저항
 $IR_{max\ i}$: 표준시료의 최대전류에서의 내부저항
 A_1, A_2, x_0, p : 표준시료 그래프 변수

2.2 납축전지의 용량측정

납축전지의 정격용량은 0.1[C] 방전율에서 방전시 용량을 기준으로 적용한다. 예를 들어 200[AH] 납축전지의

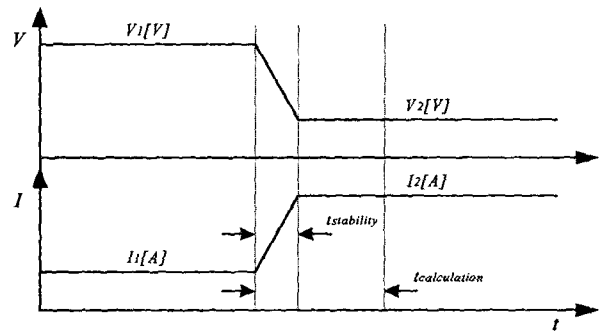


그림 1 방전시 배터리 전압 및 전류
 Fig. 1 Voltage and current of battery with discharge

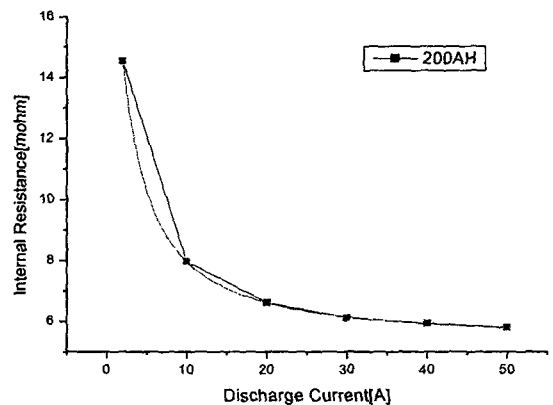


그림 2 방전전류별 내부저항
 Fig. 2 Battery internal resistance with discharge current

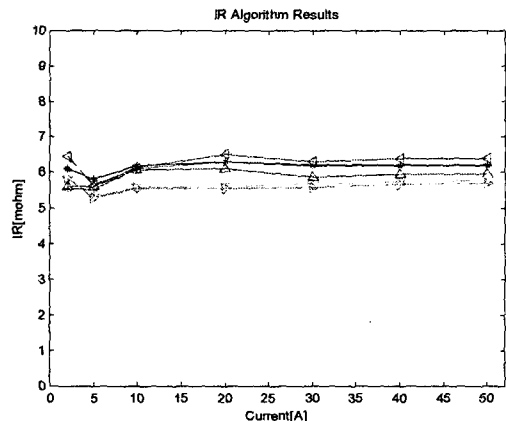


그림 3 시뮬레이션 결과(x축:방전전류, y축: 내부저항)
 Fig. 3 Simulation results

경우 20[A]로 10시간 방전시 용량을 뜻하게 된다. 따라서 UPS의 경우 축전지의 정격용량은 정전보상시간과 밀접한 관계가 있으며, 사용기간이 지남에 따라 용량은 감소하게 된다. 축전지 제조사에서는 정격용량을 기준으로 용량이 일정범위 감소시 축전지를 교체하도록 권고하고 있다. 기존의 UPS 사용처에서는 일정기간마다 주기적 방전 시험을 통해 보상시간이 일정시간 이하시 전체 축전지를 교체함으로써 아직 사용기간이 남은 축전지까지 교체됨

으로써 많은 비용소모는 물론 폐축전지로 인한 환경오염이 발생하였다. 본 논문에서는 주기적 방전시험을 통해 셀 용량을 측정하는 방식을 채택하였으며, 시험시간은 30분을 적용하여 최소화 하였다. 따라서 기존의 방전시험에서의 완전방전시험으로 인한 시간적 손실을 최소화하도록 구현하였다. 식 4는 방전 개시 30분 시점에서 축전지 정격용량에서 방전량을 계산하고 남아 있는 잔존용량을 계산하는 식이다. 또한 표준시료의 방전그래프를 볼츠만수식(Boltzmann Eq.)로 변환하여 식 5와 같이 나타내고 30분 시점에서의 셀 전압을 변수로 적용하여 표준시료에서의 30분 시점 잔존용량을 계산하게 된다. 수식으로부터 계산된 용량의 비를 식 6에 대입하면 예측되는 정격용량이 계산된다. 여기서 t_{con} 은 방전시간 단축으로 인한 시간보상상수를 나타낸다. 시뮬레이션 결과는 표 1에 나타내었으며, 측정오차는 약 3[%] 이내이다.

$$C_{remain} = C_{full} - (I_{avg} \times 0.5) [AH] \quad (4)$$

$$C_{ref} = \left(\frac{A_1 - A_2}{1 + \exp\left(\frac{V_{cell} - x_0}{dx}\right)} + A_2 \right) \times C_{full} [AH] \quad (5)$$

$$C_{predict} = \frac{C_{ref}}{C_{remain}} \times t_{con} \times 100 [\%] \quad (6)$$

여기서, C_{remain} : 30분 방전시점 표준 잔존용량[AH]

C_{full} : 표준 정격용량[AH]

$C_{predict}$: 예측된 정격용량[%]

V_{cell} : 30분 방전시점 셀 전압[V]

A_1, A_2, x_0, dx : 표준시료 그래프 변수

표 1 시뮬레이션 결과
Table 1 Simulation results

시료	측정용량[AH]	예측용량[AH]	정격용량[%]
#13	171.302	172.21	79.7
#14	172.832	171.31	79.3
#15	185.945	184.24	85.3
#16	170.583	171.64	79.5

2.3 납축전지의 열화판정

밀폐형 납축전지의 열화판정은 내부저항을 통해 열화판정을 하도록 IEEE의 고정용 밀폐형 납축전지 규격에 명시되어 있으며, 교체권고기준은 초기 내부저항값의 120[%]에서 교체를 권장하고 있다. 하지만 실제적으로 대용량 납축전지의 경우 내부저항의 크기는 수[mΩ]의 값을 가지며, 측정오차에 의한 오판정의 우려를 가진다. 또한 축전지 제조사에서 권장하는 열화판정 기준은 용량값을 기준으로 정격용량의 80, 60[%] 혹은 일정기간 사용후 전체 교체를 권장하고 있다. 이처럼 축전지의 열화판정에 있어서 각각 다른 규정을 적용하고 있다. 본 시스템에서

는 방전시 DC 측정법에 의해 내부저항을 측정하고 특정 기준치 이상시 이상셀로 판정하며, 방전개시 후 30분 경과시점에서 예측된 용량을 기준으로 축전지의 교체를 실시하도록 하였다.

3. 시스템의 구성

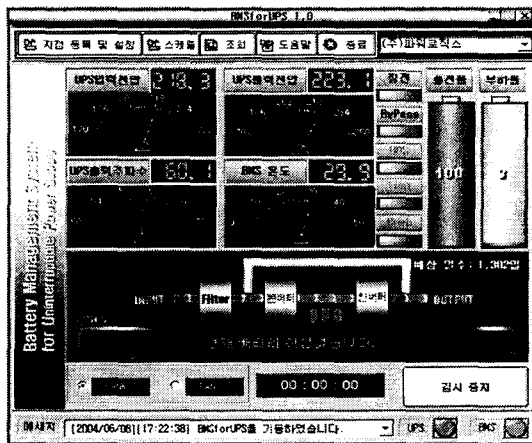
그림 4에서는 제안된 UPS용 온라인 축전지 관리시스템을 보여주고 있다. (a)와 (b)는 원격지의 모니터링 PC를 통해 축전지의 상태를 관측하기 위한 소프트웨어를 보여주고 있다. 시스템과 PC는 LAN을 통해 정보를 전달하게 되며, 2개소 이상에서 모니터링이 가능하도록 구성되었다. 메인화면에서는 UPS의 입·출력 전압, 출력 주파수 및 축전지 보관함의 온도, 잔존용량 등을 보여주며, 별도의 창을 통해 셀 전압, 온도 등 셀 정보를 보여주게 된다. 또한 이상발생시 팝업(Pop-up)창을 통해 경고창이 발생됨으로써 관리자가 다른 작업중에도 인지할 수 있도록 구성되었다. (c)는 제안된 축전지 관리시스템으로서 현장의 축전지함에 설치된 외관이다. 본 시스템은 크게 Main Unit, Sensing Unit, Display Unit의 3부분으로 구성되며, 현장에서는 LCD 및 LED로 구성된 Display Unit을 통해 사용자에게 축전지 정보를 나타내고 하나의 Sensing Unit은 축전지 8개당 하나가 적용되며, 축전지의 수가 늘어나게 되더라도 Sensing Unit만 증설하면 되도록 구성되었다. 잔존용량, 내부저항, 셀 용량 등의 정밀도는 전압 정밀도와 밀접하게 연관되므로 정밀도를 높게 구현하였다.

4. 실험

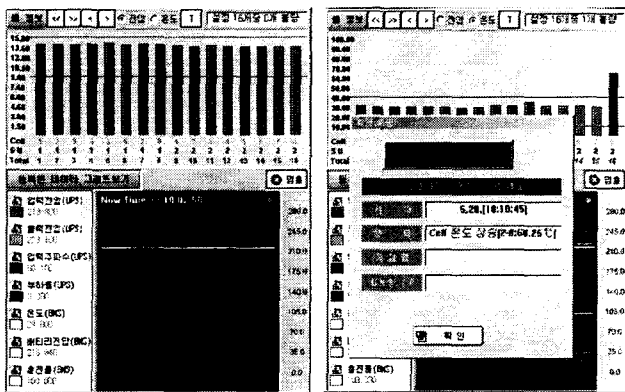
실험은 사용기간이 2년 경과된 납축전지를 16개 직렬로 연결하여 UPS에 적용하였다. 본 시스템에서는 내부저항의 경우 일반적으로 4~8[mΩ]의 값을 가지며, 이상셀 판정은 약 2.5배 인 20[mΩ] 이상에서 이상셀로 판정하며, 교체시점은 정격용량에서 40[%] 감소된 60[%]에서 실시하는 것을 기준으로 적용하였다. 시험 결과에서 내부저항값은 5.0~5.9[mΩ]으로서 이상셀이 존재하지 않음을 알 수 있으며, 용량의 경우 정격용량에서 약 15~20[%] 정도 감소된 상태임을 알 수 있다. 앞서 실시한 용량시험 및 시뮬레이션에 사용된 #13~16의 결과와 실험결과를 비교를 그림 5에 나타내었으며, 각 항목별 값의 최대 오차는 약 3[%] 이내임을 알 수 있다.

5. 결 론

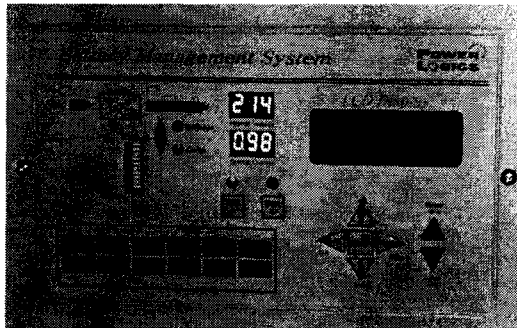
무정전 전원장치에서 정전시 부하에 안정적인 전력공급을 위해 에너지 저장요소로서 납축전지를 사용하였다. 하지만 UPS 및 축전지 제조사에서는 축전지의 교체기준



(a) Monitoring software program



(b) Monitoring and alarm



(c) Battery management system

그림 4 제안된 축전지 관리시스템

Fig. 4 The proposed battery management system

표 5 실험결과

Table 5 Experimental results

셀	전압 [V]	용량 [%]	내부저항 [mΩ]	셀	전압 [V]	용량 [%]	내부저항 [mΩ]
1	12.62	85	5.7	9	12.62	85	5.7
2	12.59	85	5.9	10	12.47	80	5.8
3	12.61	85	5.8	11	12.59	85	5.9
4	12.51	82	5.8	12	12.58	85	5.9
5	12.60	85	5.9	13	12.44	79	5.8
6	12.59	85	5.8	14	12.48	81	5.0
7	12.59	85	5.7	15	12.63	86	5.7
8	12.57	84	5.9	16	12.46	80	5.5

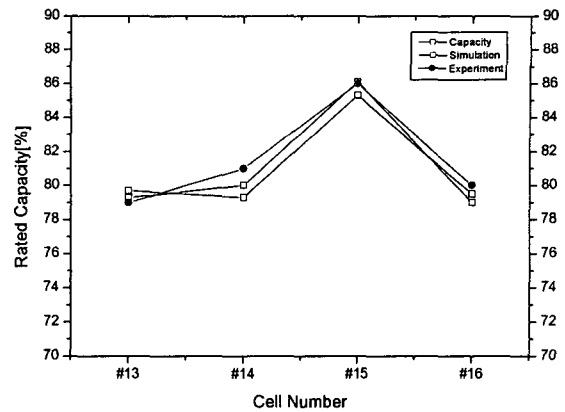


그림 5 축전지의 용량비교 결과

Fig. 5 Result of battery capacity

이 마련되지 않았거나 적용방법이 불분명하여 사실상 적용처에서는 일정기간이 경과하면 축전지 전체를 교체함으로써 비용적인 손실이 발생되었다. 또한 더 큰 문제점으로는 사용기간중 발생하는 이상셀을 발견하지 못해 정전시 정상적인 전력공급에 차질이 생기는 경우가 종종 발생되었다. 본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 무정전 전원장치에 적용되는 밀폐형 납축전지의 교체 및 열화관정을 위한 BMS를 개발하였다. 판정을 위한 방법으로는 정전 또는 주기적 방전시험시 측정되는 내부저항을 이용하여 이상셀을 판정하고, 방전개시 후 30분 경과시점에서 셀 전압을 측정하여 용량으로 환산함으로써 정격용량대비 60[%]에서 교체를 하도록 구현하였다. 제안된 축전지 관리시스템은 현장은 물론 원격지의 PC에서 실시간으로 축전지 정보의 모니터링이 가능하며, 이상발생시 Pop-up 창을 통해 사용자에게 알려줌으로써 모니터링 효율을 증대하였다.

참고 문헌

- [1] Isamu Kurisawa, Masashi Iwata, "Internal Resistance and Deterioration of VRLA Battery-Analysis of Internal Resistance obtained by Direct Current Measurement and its application to VRLA Battery Monitoring Technique", IEEE, pp. 687-694, 1997.
- [2] Masahiro Ichimura, Toshio Horie, Katsuichi Yotsumoto, "Measuring the Internal Resistance of Cell in Assembled Batteries", IEEE, pp. 784-791, 1996.
- [3] Ivan Sajfar, Mirjana Malaric, "Sealed Batteries in Transient Limiting Distribution Networks-Methods of Measuring Their Internal Resistance", IEEE, pp. 458-463, 1990.