

대용량 니켈-수소전지용 배터리관리시스템

남종하

(주)파워로직스

Battery Management System for High Capacity Ni MH Secondary Battery

Jong-ha Nam

Powerlogics Co., Ltd.

Abstract - 군수용 이차전지는 납축전지, 니켈-카드뮴전지 등이 주로 응용되고 있다. 군수용 전지의 경우 민수용에 비해 사용온도범위가 넓고, 진동, 충격 등의 환경시험규격이 까다로우며, 높은 신뢰성이 보장되어야만 한다. 또한 최근 환경문제의 부각으로 니켈-카드뮴전지는 차츰 설자리를 잃어가고 있으며, 납축전지의 경우 오염물질의 배출뿐만 아니라 저온성능이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이의 일환으로 최근 선진외국에서는 이를 대체하기 위한 연료전지, 리튬-이온, 리튬-폴리머, 니켈-수소전지 등의 개발 및 적용이 확대되고 있는 실정이다. 하지만 연료전지의 경우 상용화가 아직 이루어지지 않고 있으며, 리튬계열 배터리의 경우 이상상태에서 폭발하는 특성을 갖고 있어 많은 문제점을 내포하고 있다. 본 논문에서는 군용 니켈-수소전지를 대상으로 특성을 알아보고 배터리의 합리적 운용을 돋기 위한 배터리관리시스템에 대해 살펴보고자 한다.

1. 서 론

사용이 종지점까지 이룬 후에도 전류를 역으로 충전하여 반복적 재사용이 가능한 가역적인 2차 전지는 국가정책적으로 10대 차세대 성장동력산업에 속할 만큼 중요한 산업중의 하나이다. 이러한 2차 전지는 화석에너지의 고갈로 인한 대체에너지원의 개발과 기후변화협약, 친환경 2차 전지의 개발을 통한 오염물질규제 등의 환경문제 등 연관산업의 경쟁력 확보에 결정적인 역할을 담당한다. 하지만 2차전지의 고에너지 밀도화는 충/방전시 온도 및 과전류 등의 이상상태에서 화재의 발생 혹은 폭발의 위험성을 내포하고 있다. 특히 리튬계열의 배터리의 경우 휘발성 유기전해액을 사용함으로써 잠재적 위험성은 매우 크다고 할 수 있다. 예로서 1990년대 초부터 배터리팩의 폭발 및 발화로 인한 공장화재 등 크고 작은 안전사고들이 잇달아 일어나고 있으며, 단일셀보다는 다중셀로 적용하는 경우 이러한 현상을 더욱 심각하다. 따라서 본 논문에서는 카드뮴이라는 중금속오염의 우려가 있는 기존에 군수용 니켈-카드뮴전지를 친환경적인 니켈-수소전지로 대체함에 있어 이상상태로부터 배터리를 보호하기 위한 배터리관리시스템에 필요한 기능 및 알고리즘에 대해 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 니켈-수소전지

기존에 군수용 이차전지로 널리 사용되던 니켈-카드뮴전지는 양극에 니켈 산화물, 음극에 카드뮴을 이용하고 알카리 수용액을 전해액으로 한 전지이다. 하지만 1910년부터 일본의 도야마현 진쓰강 유역에 거주하는 주민에 발생된 Itai-Itai 병은 1968년 원인물질이 카드뮴의 노출결과로 발혀짐으로써 카드뮴에 대한 규제가 본격화되었다. 이에 반해 니켈-수소전지는 수소흡장합금의 가역

적인 수소 흡장방출반응을 전기화학적으로 이용한 2차 전지이다. 구성재료는 양극에 니켈다공질금속, 활물질로서는 수산화니켈, 음극에 수소흡장합금, 전해액에 수산화칼륨 등을 성분으로 하는 알카리 수용액을 이용한다. 이는 음극재료에 사용된 카드뮴이란 중금속을 수소저장합금(MH, Metal Hydride)으로 대체한 배터리로서 에너지밀도가 니켈-카드뮴이나 납축 전지에 비해 약 1.5~2배 정도 높고, 특성물질이 없는 친환경 배터리이다. 또한 군용전지의 가장 큰 문제점이었던 저온에서의 에너지 효율이 높으며, 니켈-카드뮴 배터리의 특징이던 메모리효과(Memory Effect)가 없다는 것이 장점이다. 표 1에서는 군용전지로 사용되는 2차 전지의 특징을 나타내고 있으며, 리튬-이온 배터리에 비해 다소 성능 등은 떨어지나 안전성 측면에서 우수함을 알 수 있다. 친환경 에너지저장시스템 적용처는 군사용 장비, 기기 등이며, 목적상 저온에서의 성능 보장과 순간적인 고출력 및 내구성이 보장되어야만 한다. 하지만 기존에 적용된 2차 전지는 동절기에는 제 기능을 발휘하지 못하는 단점을 가졌다. 그럼 1은 기존의 군용 2차전지로 사용된 납축전지나 니켈-카드뮴전지를 나타내고 있으며, 그림 2는 현재 개발되고 있는 군수용 니켈-수소전지와 니켈-카드뮴 전지를 비교한 것으로서 좌측은 현재 개발되고 있는 니켈-수소전지, 우측은 프랑스의 SAFT사의 VHP 430 KH-1 니켈-카드뮴전지를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 동일한 출력에 부피는 약 50% 정도 감소함을 알 수 있다. 그림 3은 군수용 니켈-수소전지의 전류별 방전특성곡선을 나타내고 있다. 그래프에서 알 수 있듯이 0.5C ~ 1C까지는 용량의 100%까지 발휘가 되며, 2C와 3C에서 용량의 80, 40%까지 발휘가 됨을 알 수 있다. 그림 4는 자가방전특성을 나타내고 있으며, 1개월 방치후 용량이 다소 감소하나 정상적인 동작에는 무리가 없음을 알 수 있다. 또한 그림 5와 6은

표 1. 2차전지의 특징

Table 1. Characteristic of secondary battery

구 분	Ni cd	Ni MH	Li ion
음극	cd	MH	C
양극	NiOOH	NiOOH	LiCoO ₂
전해질	KOH	KOH	Li salt
차동 전압(V)	1.2	1.2	3.6
에너지밀도(Wh/L)	90	200	300
에너지밀도(Wh/kg)	40~60	60~80	100
수명(회)	500	500	500
감속충전시간(hr)	1~1.5	2~4	3~4
내부저항	low	low	high
안전성	high	mid	low

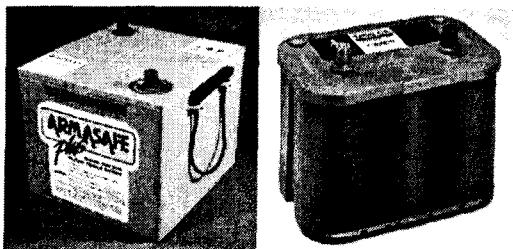


그림 1. 군수용 납축전지 및 니켈-카드뮴전지
Fig. 1. Lead-acid and Ni-Cd battery for military

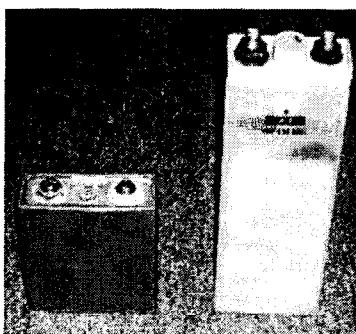


그림 2. 군수용 니켈-수소전지(좌) 및 니켈-카드뮴 전지(우)
Fig. 2. Ni-Cd and Ni-MH battery for military

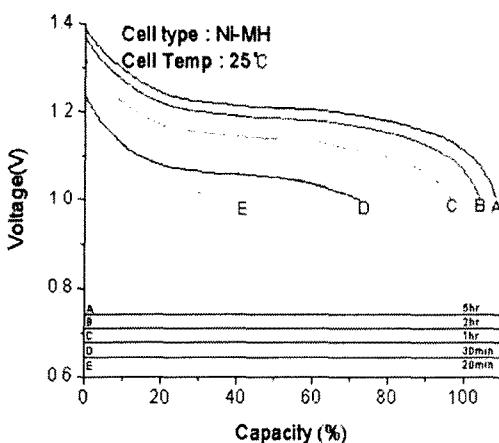


그림 3. 전류별 방전특성
Fig. 3. Discharge characteristic by changing current

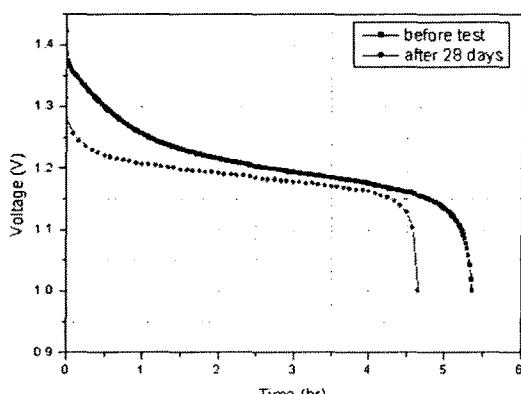


그림 4. 자가방전특성
Fig. 4. Self discharge characteristic

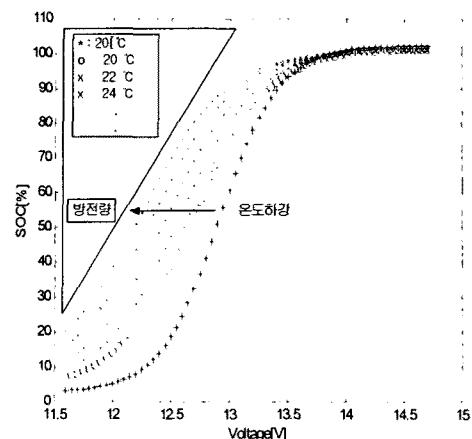


그림 5. 니켈-수소전지의 방전특성
Fig. 5. Discharge characteristics of Ni-MH battery

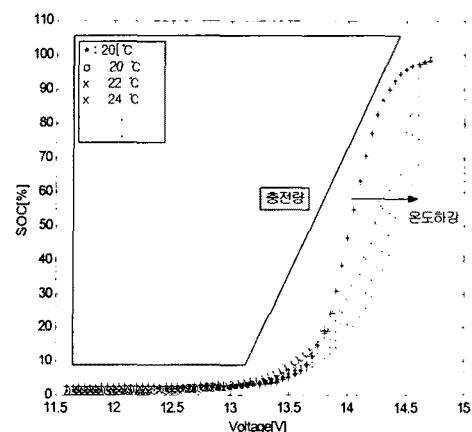


그림 6. 니켈-수소전지의 충전특성
Fig. 6. Charge characteristics of Ni-MH battery

니켈-수소전지의 충방전 곡선으로부터 수식을 유추한 후 온도변화별 충방전 곡선의 추이를 살펴본 것으로서 온도가 하강함에 따라 방전시에는 방전량이 줄어들고 충전시에는 충전량이 증가함을 볼 수 있다. 따라서 저온에서는 충전의 경우 많은 충전량을 필요로 함과 동시에 방전시 방전량이 줄어듦으로써 효율이 급격히 저하됨을 알 수 있다. 하지만 온도가 고온으로 유지시에는 단시간적인 성능 및 효율은 상승이나 노화의 진행이 가속된다.

2.2 배터리관리시스템

배터리관리시스템(Battery Management System, BMS)은 배터리의 수명예측(State of Health, SOH)에 의한 효율적 사용, 이상상태로부터의 보호, 잔존용량(State of Charge, SOC)의 표시 등을 위한 기술이며, 2차 전지를 사용하는 모든 적용처에 필수적인 기술이라 할 수 있다. 배터리관리시스템의 주요역할은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 잔존용량 계산 및 표시
- 배터리의 수명계산 및 표시
- 시스템의 전압, 전류, 온도의 모니터링
- 시스템 진단에 의한 최적의 유지관리
- 시스템의 안전운영을 위한 경보 및 사전 예방조치
- 데이터 보전 및 시스템의 진단기능

2.1.1 잔존용량

잔존용량은 현재의 배터리 충전상태를 알려주는 기능을 담당하는 것으로서 중요한 기술중의 하나이다. 정확한 잔존용량을 계산하기 위한 알고리즘의 개발을 위해서는 적용 배터리의 충/방전 특성을 다양한 변수를 고려하여 분석하는 것이 필요하다. 일반적으로 잔존용량을 계산하기 위한 방법으로 전압의 측정에 의한 방법, 전류와 시간과의 관계를 통한 전류적산법, 비중의 측정에 의한 방법 등이 있으나 단일한 방법으로는 오차의 발생이 커지게 되는 우려가 있어 두 가지 이상의 방법을 병행하여 사용하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 기본적인 잔존용량의 산출은 전류적산법에 의해 실시하고 특정조건에서 오차의 크기를 줄이기 위한 방법으로 전압에 의한 방식을 적용하고자 한다. 이러한 방식은 잔존용량의 중요성이 한층 더 강조되는 하이브리드 전기자동차 등에도 적용되고 있는 방식이며, 그림 6은 잔존용량 알고리즘을 나타내고 있다.

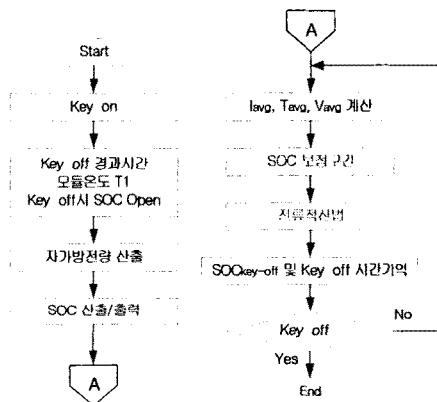


그림 7. 잔존용량 알고리즘
Fig. 7. SOC algorithm

2.1.2 열화판정

배터리는 사용기간에 경과함에 따라 성능이 저하되는 특성을 가진다. 대략적인 수명특성은 배터리 제조사에서 제시하는 사이클 수명특성을 통해 알 수 있지만 단일센 혹은 다중센로 연결되어 실제 사용하게 되면 제시된 기간이 되기 전에 제 성능을 발휘하지 못하거나 기간이 지난 이후에도 정상적인 동작을 수행하는 경우가 있다. 본 논문에서는 DC 내부저항의 측정을 통해 배터리의 열화상태를 판정하는 방식을 선택하여 적용하였다. 배터리는 활성화 상태, 즉 방전상태에서 성능이 좌우되나 기존의 AC 임피던스 측정법의 경우 비활성화상태(부동충전상태)에서 측정됨으로써 열화상태를 제대로 반영하지 못하는 단점을 가졌다. 이에 비해 DC 내부저항 측정법은 방전시 방전 전류와 전압을 강하분을 고려하여 부동충전시에는 정확한 판정이 불가능하였던 배터리의 열화상태를 정확히 판별할 수 있다는 장점을 가진다.

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

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

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

$$IR = IR' \times (\alpha + \beta \times T) [m\Omega] \quad (4)$$

여기서, IR_{cal} : I, V 측정에 의해 계산된 내부저항

IR_{ref} : 표준시료에서 측정한 내부저항

IR : 비례식을 통한 내부저항

IR_{max} : 표준시료의 최대전류에서 내부저항

A_1, A_2, x_0, p : 표준시료의 내부저항특성 변수

α, β : 온도의 변화에 따른 보상 변수

T : 내부저항 측정시점의 온도

2.1.3 시스템 구성

그림 8은 본 논문에서 제안하고자 하는 시스템의 구성도이다. 시스템은 크게 시스템 전체를 제어하기 위한 마이크로컨트롤러부, 배터리로부터 전압, 전류, 온도를 센싱하기 위한 센싱부, 외부 PC와의 모니터링을 위한 통신부 등으로 구성되며, 상기 기능을 포함하게 된다.

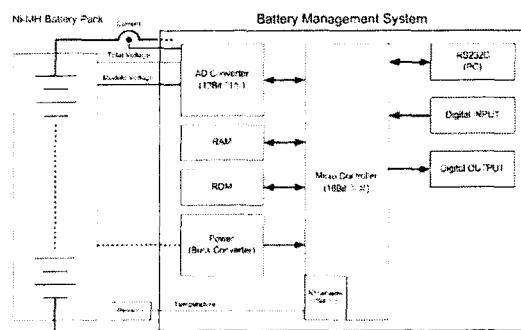


그림 8. 시스템 구성도
Fig. 8. System block diagram

3. 결 론

기존의 규수용 이차전지는 높은 신뢰성의 요구 및 적용처의 특성상 납축전지 또는 니켈-카드뮴 전지가 주로 사용되었다. 하지만 이를 이차전지는 중금속에 의한 환경오염의 폐해가 두각되면서 차츰 설자리를 잃어가고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 친환경에너지저장장치인 니켈-수소전지를 채택하고 배터리관리시스템을 적용하여 항상 최적의 상태를 유지하기 위한 잔존용량 알고리즘, 열화판정알고리즘 등을 구축하고 이를 구현하기 위한 시스템을 제시하였다. 차후 니켈-수소전지의 시험을 통해 알고리즘을 보완하고 시스템 구현을 통해 알고리즘의 타당성 및 군용의 특성에 맞는 환경시험을 실시하여 신뢰성을 검증하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청의 기술혁신사업 기술연구회 공동연구개발사업 과제인 친환경 수송기계용 에너지저장장치 개발 연구의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] 남종하, 최진홍, 김승종, 황호석, 김재웅, “하이브리드 전기 자동차용 배터리 ECU 설계 및 잔존용량 알고리즘에 관한 연구”, 전력전자학회 논문지, 제9권, pp. 319~325, 2004.08

[2] 남종하, 최진홍, 김승종, 김재웅, “무정전원공급장치용 온라인 배터리 관리시스템 개발”, 전력전자학회 학제학술대회논문집, pp. 830~833, 2004.07

[3] Glenn Alber, “Ohmic Measurements: The History and Facts”, pp. 1-7, 2003