

UPS용 배터리 최적화를 위한 배터리관리시스템에 관한 연구

(A Study on the Battery Management System for the optimum conditions of the battery in UPS)

문중현*, 서철석, 박재욱, 김금수, 김동희

(Jong-Hyun Moon, Cheol-Sik Seo, Jae-Wook Park, Geum-Soo Kim, Dong-Hee Kim)

Abstract

This paper presents the battery management system(BMS) for the optimum conditions of the lead-Acid battery in UPS. The proposed system controls the over and under currents of battery for protecting and it was applied algorithm for optimum conditions to estimate the State Of Charge(SOC) in charge or discharge mode. It approved the performance and the algorithm for the estimation of SOC, through the experiments which using the charge and discharge tester and the field tests.

1. 서론

일반적으로 납축전지는 충·방전을 반복함에 따라 불가피하게 성능이 저하되고, 수명이 단축되며, 배터리의 불안정한 특성으로 사고의 위험성을 가지게 되어 UPS의 전체적인 신뢰도 저하로 이어지게 된다. 이러한 단점을 보완하고 납축전지의 효율적인 관리를 위해서 축전지의 상태를 최적으로 관리할 수 있는 장치의 개발이 필요한데, 이러한 기능을 수행하기 위한 것이 배터리관리시스템(BMS; Battery Management System)이라 할 수 있다[1]-[3].

현재 국내·외에서 하이브리드 전기자동차(HEV; Hybrid Electrical Vehicles) 및 전기자동차(EV; Electrical Vehicles)에 대한 관심이 높아 리튬(Li-MH, Li-Po) 배터리를 대상으로 한 배터리관리시스템은 일부 개발되어 적용되고 있으나, 범용의 납축전지를 대상으로 한 배터리관리시스템에 대한 연구 및 개발은 오히려 미흡한 상태이다. 이에 UPS에 사용되는 납축전지용 배터리관리시스템을 설계 및 제작하였고, 배터리의 잔존용량(SOC; State Of Charge)을 추정하는 최적의 알고리즘을 제안하였다. 또한, 배터리관리시스템과 충방전시험기의 비교 실험 및 UPS에 적용한 시험을 통해서 제안된 시스템의 성능 및 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

2. 본론

2.1 배터리관리시스템의 역할과 구조

배터리관리시스템은 배터리의 전압, 전류 및 온도 등을 실시간으로 검출하고 충·방전 전류를 제어하여 배터리의 과충전 및 과방전을 방지하고, 충·방전시 배터리 잔존용량을 계산하여 그 정보를 UPS의 전체적인 관리를 위해 LIN Bus를 통하여 UPS Main Controller에 알려준다. UPS Main Controller로 전달된 정보들은 UPS의 컨버터부와 인버터부의 동작이 효율적으로 이루어지도록 하게 된다. 또한, 필요시 저장된 정보를 이용하여 과전압, 과전류, 저전압 및 이상 온도 시 모니터링 시스템에 그 정보를 전달하여 사용자에게 알람을 통한 경보를 주게 된다.

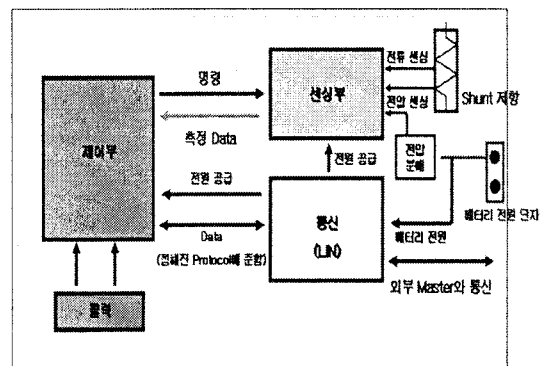


그림 1. 배터리관리시스템의 BLOCK도
Fig.1. The Block diagram of a Battery Management System

그림1은 UPS용 배터리관리시스템의 내부 block 구성도를 나타낸다. 센싱부는 Shunt 저항 양단에 걸리는 전압을 Differential Mode로 A/D 변환하여 전류값을 산출하고, 배터리 전압을 Voltage Divide 방식을 적용하여 A/D 변환한 값을 전압 값으로 산출한다. 센싱부 내부에는 Analog Mux, 16Bit A/D Converter, Temperature Sensor, Calibration Register 등이 내장되어 있으며 마이컴과 SPI (Serial Peripheral Interface) 통신을 수행한다. 그리고, LIN Transmit Buffer를 내장하고 있는 제어부는 센싱부로부터 검출된 실시간의 배터리 상태정보 즉, 배터리의 전압, 전류 및 온도 등의 정보를 계산하여 정확한 배터리의 잔존용량과 잔존수명을 추정하게 된다. 제어부의 기본적인 동작은 500ms마다 Timer Interrupt를 발생시키고, 이것을 바탕으로 측정, 계산 알고리즘 및 통신 등이 연동되어 진다.

2.2 상태 추정 알고리즘 및 제어

배터리의 잔존용량을 추정하는 방법에는 여러 가지가 있는데, 일반적으로 배터리의 전압 측정에 의한 추정 방법, 배터리의 내부 임피던스 측정에 의한 추정 방법 및 충·방전 전류를 실시간으로 적산하여 추정하는 방법 등을 많이 사용하고 있다. 또한, 보다 정확한 배터리의 충전상태를 추정하기 위하여 이들 방법들을 조합하여 서로의 단점을 보완하는 방법들이 제시되고 있다. [4][5][6][7]

본 논문에서 초기 잔존용량 ($SOC_{initial}$)은 배터리 관리시스템의 초기화 과정에서 배터리의 개방 전압을 측정하여 이를 Boltzman 방정식에 적용하여 추정하였고, 배터리 충·방전 시에는 실시간으로 배터리 충·방전 전류를 검출하여 이를 적산하는 추정 방식을 적용하였다. 또한, 충·방전 특성 곡선을 이용하여 이를 보정함으로써 보다 정확한 배터리의 잔존용량을 추정하고자 하였다. 그림 2는 본 논문에서 제안하고 있는 잔존용량 추정 알고리즘을 보여주고 있다.

초기 잔존용량 $SOC_{initial}$ 은 배터리관리시스템의 초기화 단계에서 배터리의 개방전압을 측정하고 이를 전압에 따른 잔존용량의 변화를 나타내는 Boltzman 방정식에 적용함으로써 추정하게 된다. 이와 관련된 Boltzman 방정식은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

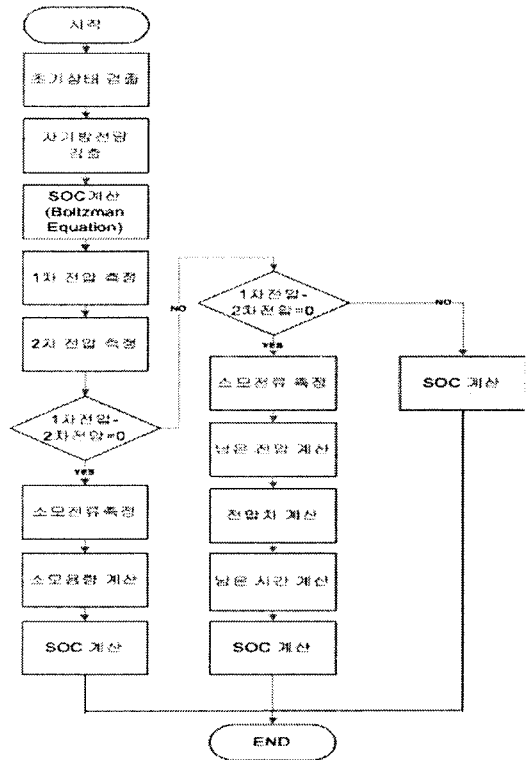


그림 2. 잔존용량(SOC) 추정 알고리즘
Fig. 3. SOC estimation flow chart

$$SOC_{initial} = \frac{V_1 - V_2}{1 + e^{\frac{V_{battery} - V_o}{dV}}} + V_2 \quad (1)$$

여기서, $SOC_{initial}$: initial SOC of the battery

V_1 : Discharging end voltage

V_2 : Charging end voltage

$V_{battery}$: Terminal voltage

V_o : Normal voltage

식(1)의 각 변수들은 배터리의 종류, 노화 상태, 충·방전 횟수 및 온도 등 여러 조건의 영향을 받아 변화하기 때문에, 배터리 제조사에서 제공하는 자료와, 실험을 통한 충·방전 특성곡선 및 Matlab를 이용한 각 변수들의 변화에 따른 잔존용량 추이 곡선 등을 비교 분석하여 이들 변수들을 결정하였다. 그림 3과 4는 각각 dV 의 변화에 따른 잔존용량의 변화 추이와 V_o 의 변화에 따른 잔존용량의 변화 추이를 나타내었다.

$S(T)$: Self-discharging rate

3. 실험결과

그림 5(a)는 배터리 충전시의 시간 경과에 따른 잔존용량의 변화를 나타내고 있고, 그림 5(b)는 방전시의 시간 경과에 따른 잔존용량의 변화를 보여주고 있다. 상온의 동일한 조건에서 충전 및 방전 시점과 배터리관리시스템의 충·방전특성을 비교한 것으로 배터리관리시스템이 충전 및 방전 제어 기능을 정확하게 수행하고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 잔존용량 77%에서 82%에 이르기까지의 UPS 장착 시험 시의 충전 그래프를 보여주고 있다. 충전시 경과 시간에 따른 배터리의 전압, 전류 및 잔존용량을 나타내고 있는데 이를 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성을 검증할 수 있다.

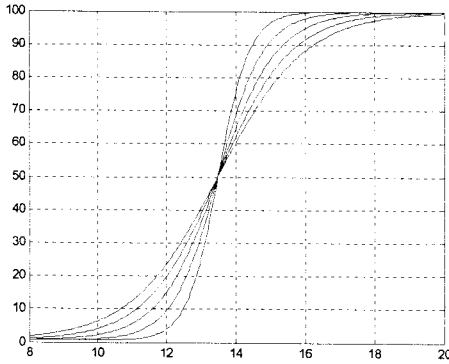


그림 3. dV 변화에 따른 SOC 변화 추이
Fig. 3. The trend graph of SOC by dV

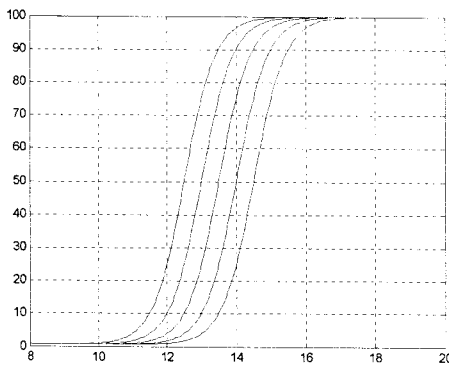


그림 4. V_O 변화에 따른 SOC 변화 추이
Fig. 4. The trend graph of SOC by V_O

초기 잔존용량을 계산하기 위하여 Boltzman 방정식에서 필요로 하는 변수인 V_1 , V_2 , V_O 및 dV 는 이들 실험 및 시뮬레이션 그래프를 이용하여 결정하였다. 또한, Boltzman 방정식의 변수들은 배터리의 온도, 내부 임피던스 및 압력에 의해서 영향을 받기 때문에 정확한 초기 잔존용량 추정을 위하여 이에 대한 보상도 고려하였다.

배터리의 충·방전 시 잔존용량 SOC 는 충·방전 전류를 실시간으로 검출하여 이를 적산함으로써 얻을 수 있으며, 식(2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$SOC = SOC_{initial} + \int i_c n dt - \int i_d dt - S(T) \quad (2)$$

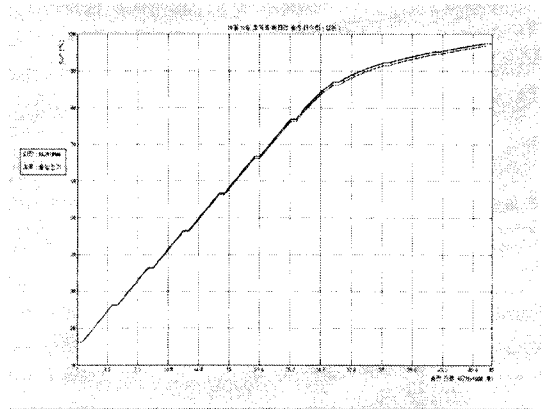
여기서, SOC : SOC of the battery

$SOC_{initial}$: initial SOC of the battery

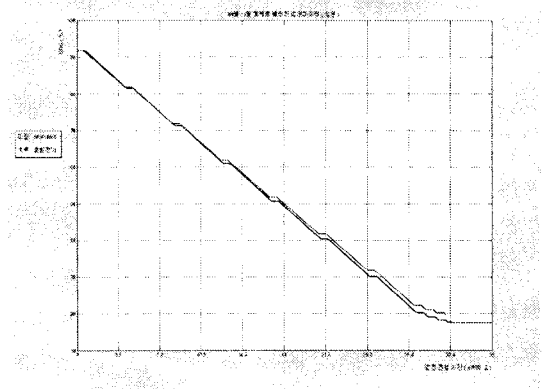
i_c : Charging current

i_d : Discharging current

η : Charging efficiency



(a)



(b)

그림 5. 충·방전시 잔존용량 변화 그래프
Fig. 5. The SOC graph by charge and discharge mode

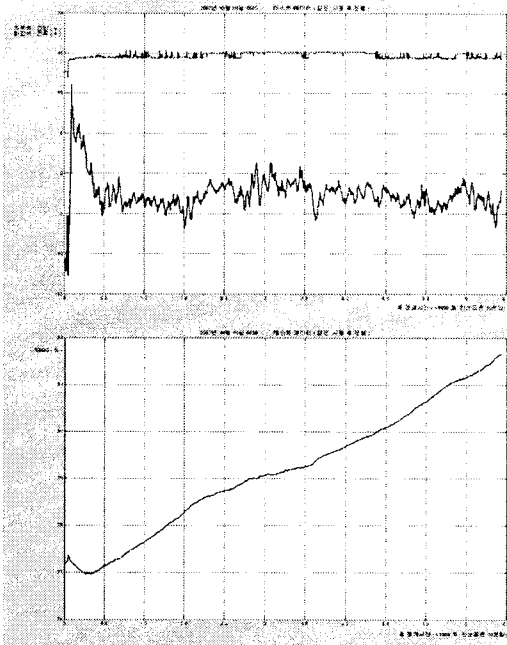


그림 6. BMS 장착후 충전 그래프
 Fig. 6. The charge graph after installation of the Battery Management System

4. 결 론

본 논문에서는 UPS용 납축전지의 전압, 전류 및 온도를 실시간으로 검출하여 배터리의 잔존 용량(SOC)을 계산하고 충·방전 전류를 제어하여 과충전 및 과방전을 방지함으로써 배터리를 항상 최적의 상태로 유지 할 수 있는 배터리관리시스템(BMS)을 설계 및 제작하였고, 배터리에 대한 다양한 특성 시험을 통하여 얻은 자료를 이용하여 배터리 잔존용량을 정확하게 계산 및 관리할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 배터리관리시스템과 충방전 시험기의 비교시험을 통해서 개발된 배터리관리시스템의 성능 및 제안한 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

(1) David Linden, "Handbook of Batteries and Fuel Cells", McGraw Hill, 1984
 (2) Butterworth-Heinemann, "Rechargeable Batteries Applications Handbook", 215~223, Technical Marketing Staff of Gates Energy Products, Inc. , 1992

(3) 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
 (4) J M Lee, U D Choi, "Role and Operation Algorithm of a Battery Management System for Electric Vehicles" Korea Power Electronics Conference 2001
 (5) P. Mauracher, E. Karden, "Dynamic modeling of lead/acid batteries using impedance spectroscopy for parameter identification", Journal Of Power Sources, vol.67,pp. 69-84, 1997..
 (6) Stephan Buller, Marc Thele, Eckhard Karden, Rik W. De Doncker, "Impedance-based non-linear dynamic battery modeling for automotive applications", Journal of Power Sources, vol. 113, pp.422-430, 2003
 (7) 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.