

# UPS용 납축전지를 위한 배터리관리시스템

(The Battery Management System for UPS Lead-Acid Battery)

서철식\* · 문종현 · 박재욱 · 김금수 · 김동희

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

## 요 약

본 논문에서는 무정전 전원시스템(UPS : Uninterruptible Power Supply)의 에너지 저장용으로 사용되는 납축전지를 최적의 상태로 유지, 관리하는 배터리관리시스템을 설계, 제작하고, 잔존용량을 추정하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 배터리관리시스템은 배터리의 충·방전 전류를 제어하여 과방전 및 과충전으로부터 배터리를 보호하며, 충·방전 시 배터리 잔존용량(SOC)을 예측하여 배터리를 최적 상태로 유지하도록 하는 알고리즘이 적용된다. 또한 충·방전 시험기를 이용한 실험과 UPS에 장착한 후 성능 실험을 통해, 제작된 시스템의 성능 및 제안된 배터리 잔존용량 추정 알고리즘의 타당성을 입증한다.

## Abstract

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

Key Words : Lead-Acid Battery, Battery Management System(BMS), State Of Charge(SOC), Bolzman Equation

## 1. 서 론

납축전지는 1860년대에 개발된 이래 다양한 분야에서 광범위한 용도로 사용이 되고 있다. 제조 단가가 저렴하고, 넓은 온도범위에서 고출력을 낼 수 있기 때문에 무정전 전원장치(UPS), 자동차, 태양광발

전 시스템 등에서 에너지 저장용으로 많이 사용되고 있다. 특히 최근 산업 및 경제의 급속한 발전으로 전기 및 전자 기기의 보급이 급속하게 확산됨에 따라 안정적인 전력 수급과 우수한 전력 품질에 대한 요구가 높아짐에 따라 UPS의 사용이 급격하게 증대되고 있다. 순간 정전, 순간 전압강하 및 고조파 등에 의한 전력 품질의 저하는 민감한 전기 및 전자 장비의 오동작 과 작동 정지 등을 일으켜 산업체의 생산성 감소 및 새로운 설비 투자 등 막대한 경제적 손실을 발생시키게 된다. 이러한 전력 품질의 문제점을

\* 주저자 : 영남대학교 대학원 전기공학과 박사수료  
Tel : 053-810-2488, Fax : 053-810-4767

E-mail : csseo7000@daum.net

접수일자 : 2008년 4월 24일

1차심사 : 2008년 5월 15일

심사완료 : 2008년 5월 29일

## UPS용 납축전지를 위한 배터리관리시스템

해소하기 위한 일환으로 산업체에서 많이 사용하는 UPS는 전력전자기술의 급속한 발전으로 안정적 동작에 대한 신뢰성은 확보하였으나, 에너지 저장용으로 사용되는 납축전지의 불량으로 인하여 정전시의 부하에 대한 전력 품질 저하 현상이 종종 발생하고 있다.

납축전지는 충·방전을 반복함에 따라 불가피하게 성능이 저하되고, 온도에 따라 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[1-2].

현재 국내·외에서 하이브리드 전기자동차(HEV; Hybrid Electrical Vehicles) 및 전기자동차(EV; Electrical Vehicles)에 대한 관심이 높아 리튬(Li-ion, Li-Po) 배터리를 대상으로 한 배터리관리시스템은 일부 개발되어 적용되고 있으나, UPS용 납축전지를 대상으로 한 배터리관리시스템에 대한 연구 및 개발은 매우 미흡한 상태이다[3-4].

본 논문에서는 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. 본 론

### 2.1 배터리관리시스템의 역할과 구조

배터리관리시스템은 배터리의 전압, 전류 및 온도 등을 실시간으로 검출하고 충·방전 전류를 제어하여 배터리의 과충전 및 과방전을 방지하고, 충·방전 시 배터리 잔존용량 및 잔존수명(SOH; State Of Health)을 계산하여 그 정보를 UPS의 전체적인 관리를 위해 LIN Bus를 통하여 UPS Main Controller

에 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 정보를 주게 된다.

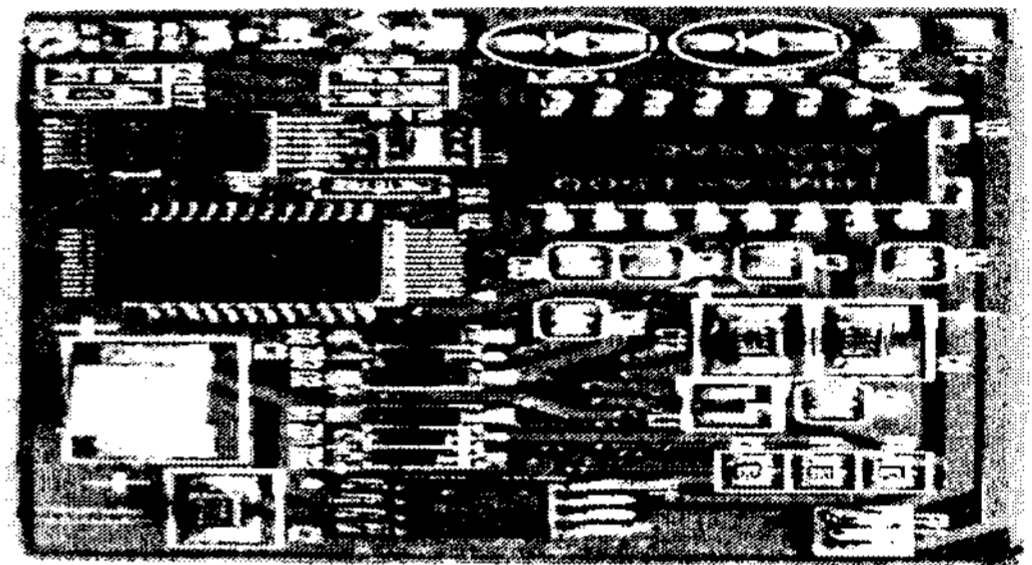


그림 1. UPS용 배터리관리시스템의 실물사진  
Fig. 1. The Battery Management System photo for Uninterruptible Power Supply

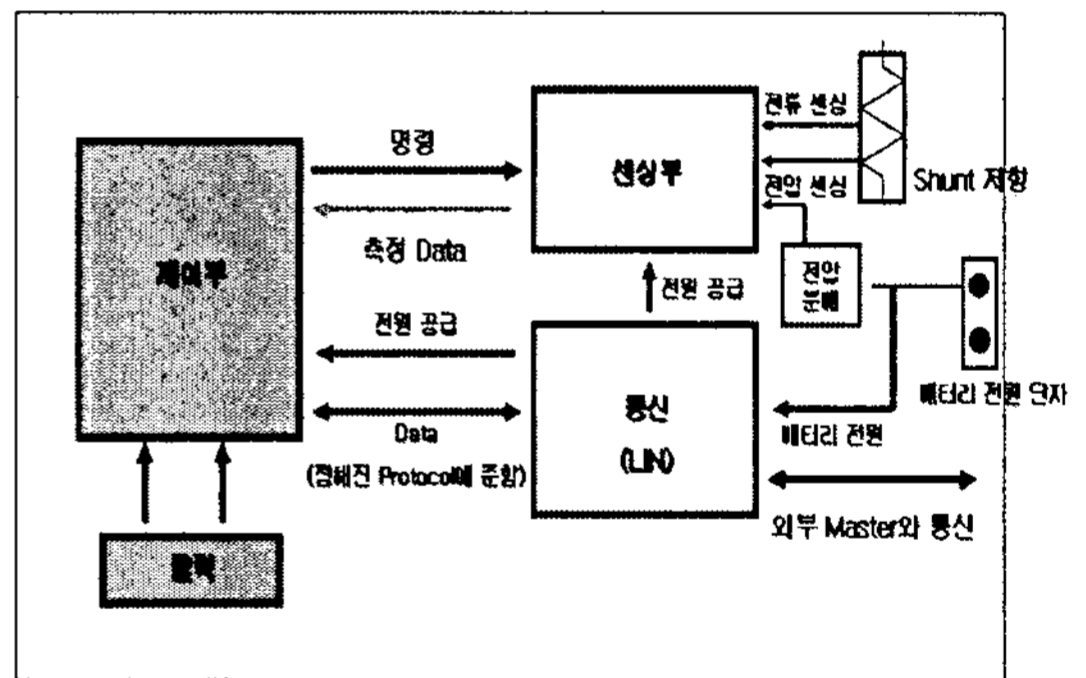


그림 2. 배터리관리시스템의 BLOCK도  
Fig. 2. The Block diagram of a Battery Management System

그림 1은 개발된 UPS용 배터리관리시스템의 실물 사진을 보여주고 있다. 배터리관리시스템의 하드웨어 장치는 크게 전압, 전류 및 온도를 검출하는 센싱부, 연산 및 제어를 위한 제어부(MCU) 및 정보 교환을 위한 통신부로 구성되어 있다.

그림 2는 UPS용 배터리관리시스템의 내부 블럭 구성도를 보여주고 있다. 센싱부는 분류기(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, 16[Bit] A/D Converter, Temperature Sensor, Calibration Register 등이 내장되어 있으며 마이컴과 SPI (Serial Peripheral Interface) 통신을 수행한다. 그리고 LIN Transmit Buffer를 내장하고 있는 고성능 Micro processor의 제어부(MCU)는 센싱부로부터 검출된 실시간의 배터리 상태정보 즉, 배터리의 전압, 전류 및 온도 등의 정보를 계산하여 정확한 배터리의 잔존용량과 잔존수명을 추정하게 된다. 제어부의 기본적인 동작은 500[ms]마다 Timer Interrupt를 발생시키고, 이것을 바탕으로 측정, 계산 알고리즘 및 통신 등이 연동되어 진다. 제어부에서 계산된 정보는 LIN 송신기를 통하여 UPS Main Controller에 정보를 전달하게 된다. 제어부와 센싱부의 동작을 위하여 8[MHz]의 외부 Oscillator를 적용하였고, 온도변화에 따른 측정값 보상 알고리즘을 적용하고 있다.

## 2.2 상태추정 알고리즘 및 제어

배터리는 전기자동차와 같이 완전 충전 및 완전 방전을 반복하는 경우도 있다. 하지만 UPS용 납축 전지와 같이 대부분의 경우 부하 상태에 따라 충·방전이 수시로 반복되는 경우가 많다. 이러한 경우 잔존용량의 범위는 대략 20~80[%]정도이지만, 실제 50~80[%]의 특정구간에서 주로 동작한다.

배터리의 잔존용량을 추정하기 위한 방법으로는 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[4-7].

본 논문에서는 정확성과 실시간 구현 방법을 고려하여 초기 잔존용량( $SOC_{initial}$ )은 배터리관리시스템의 초기화 과정에서 배터리의 개방 전압을 측정하여 이를 Boltzman 방정식에 적용하여 추정하였다. 그리고 배터리 충·방전 시에는 실시간으로 충·방전 전류를 검출하여 이를 적산하는 추정 방식을 적용하였

다. 또한 배터리는 충·방전 전류의 크기, 충·방전 횟수, 그리고 주위 온도, 자기 방전 등에 따라 충·방전 특성이 달라지기 때문에 배터리 제조회사에서 제공하는 충·방전 특성곡선 및 본 연구를 통해서 얻은 충·방전 특성 곡선을 이용한 보정을 통해 보다 정확한 배터리의 잔존용량을 추정하고자 하였다. 그림 3은 본 논문에서 제안하고 있는 잔존용량 추정 알고리즘을 보여주고 있다.

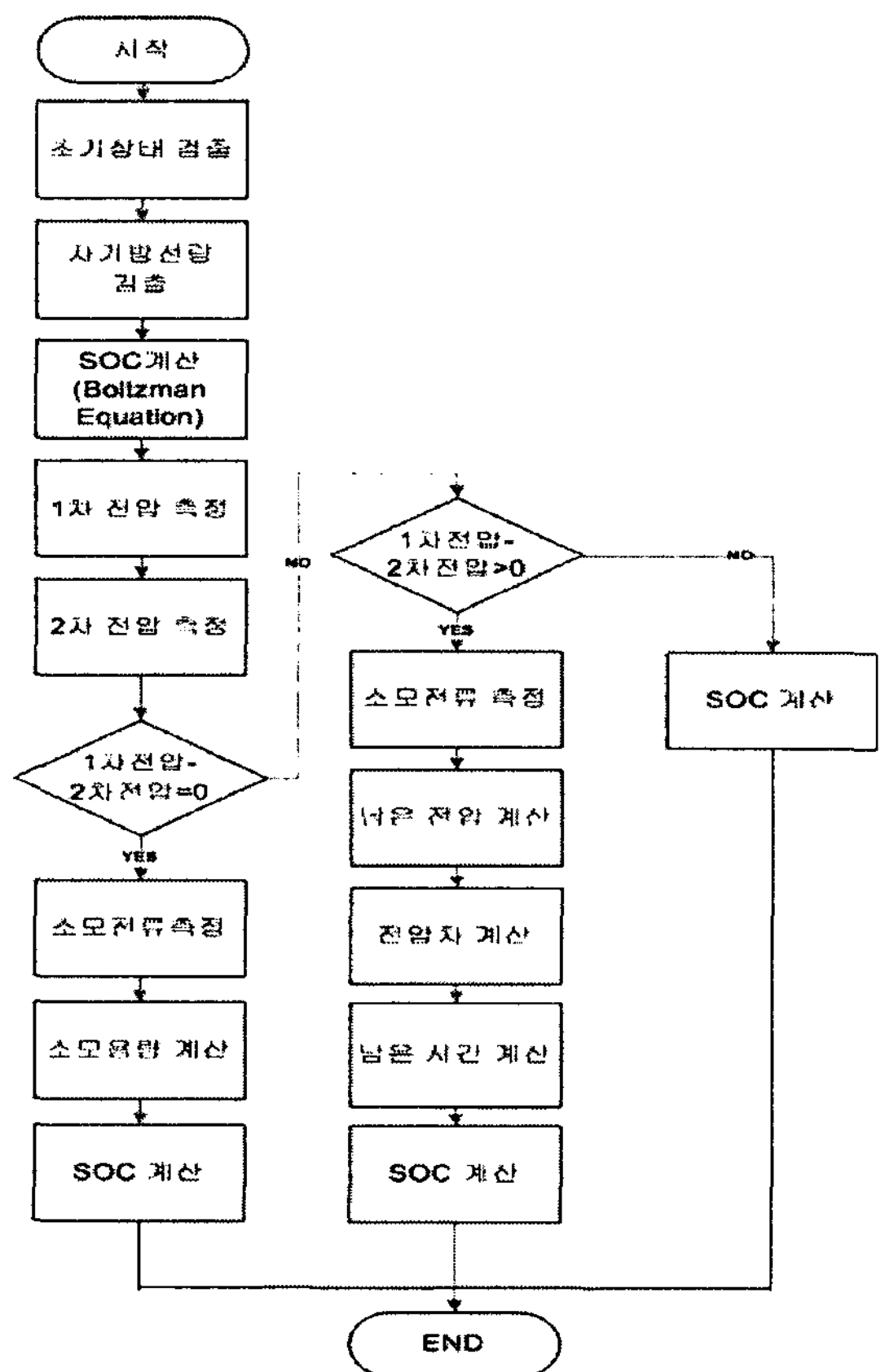


그림 3. 잔존용량(SOC) 추정 알고리즘  
Fig. 3. SOC estimation flow chart

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

$$SOC_{initial} = \frac{V_1 - V_2}{1 + e^{\frac{V_{battery} - V_0}{dV}}} + V_2 \quad (1)$$

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

$V_1$  : Discharging end voltage

$V_2$  : Charging end voltage

$V_{battery}$  : Terminal voltage

$V_0$  : Normal voltage(SOC 50[%])

$dV$  : gradient of the graph

식 (1)의 각 변수들은 배터리의 종류, 노화 상태, 충·방전 횟수 및 온도 등 여러 조건의 영향을 받아 변화하기 때문에, 배터리 제조사에서 제공하는 배터리 충·방전 특성곡선, 다양한 실험을 통한 충·방전 특성곡선 및 Matlab을 이용한 각 변수들의 변화에 따른 잔존용량 추이 곡선 등을 비교 분석하여 이들 변수들을 결정하였다.

그림 4는 변수  $V_0$ 를 고정한 상태에서 변수  $dV$ 의 변화에 따른 Boltzman 방정식의 잔존용량 변화 추이를 나타내는 그래프이다. 변수  $dV$ 가 증가함에 따라 곡선의 기울기가 완만해지고, 변수  $dV$ 가 감소함에 따라 곡선의 기울기가 급해지는 것을 볼 수 있다.

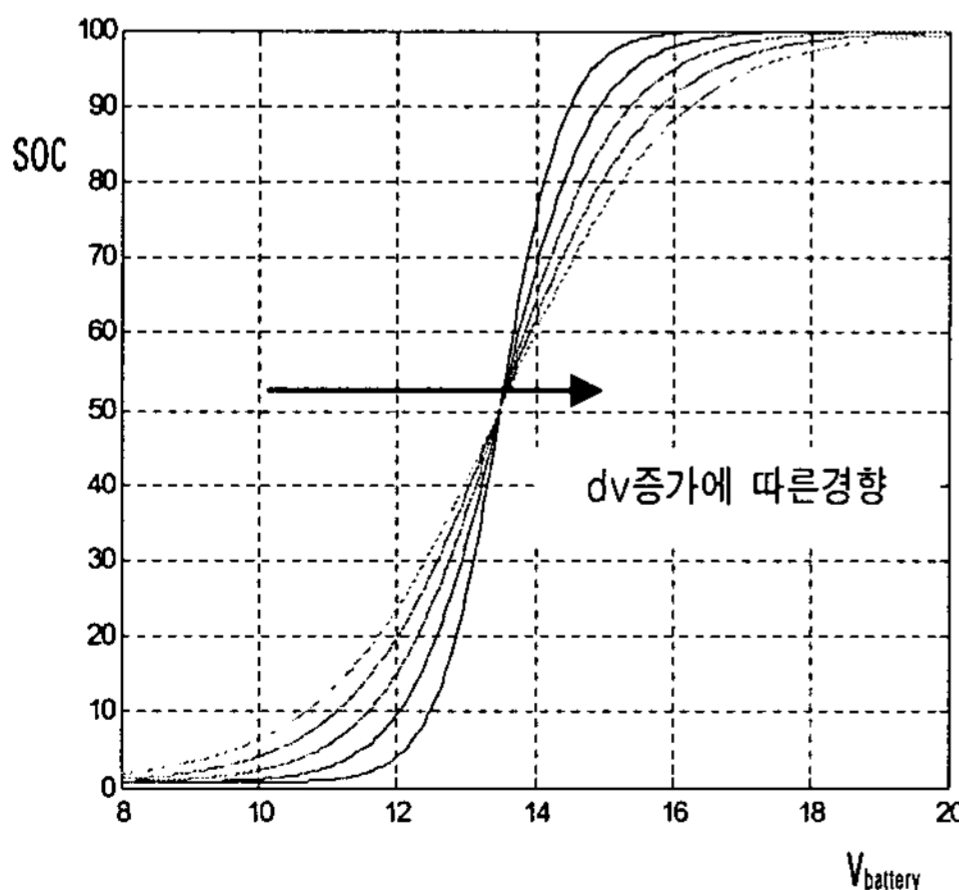


그림 4.  $dV$ 변화에 따른 SOC 변화 추이  
Fig. 4. The trend graph of SOC by  $dV$

또한 그림 5는 변수  $dV$ 를 고정한 상태에서 변수  $V_0$ 의 변화에 따른 Boltzman 방정식의 잔존용량 변

화 추이를 나타내고 있다. 변수  $V_0$ 가 증가함에 따라 곡선의 기울기는 변하지 않고 왼쪽으로 이동하고, 감소함에 따라 곡선이 오른쪽으로 이동함을 볼 수 있다.

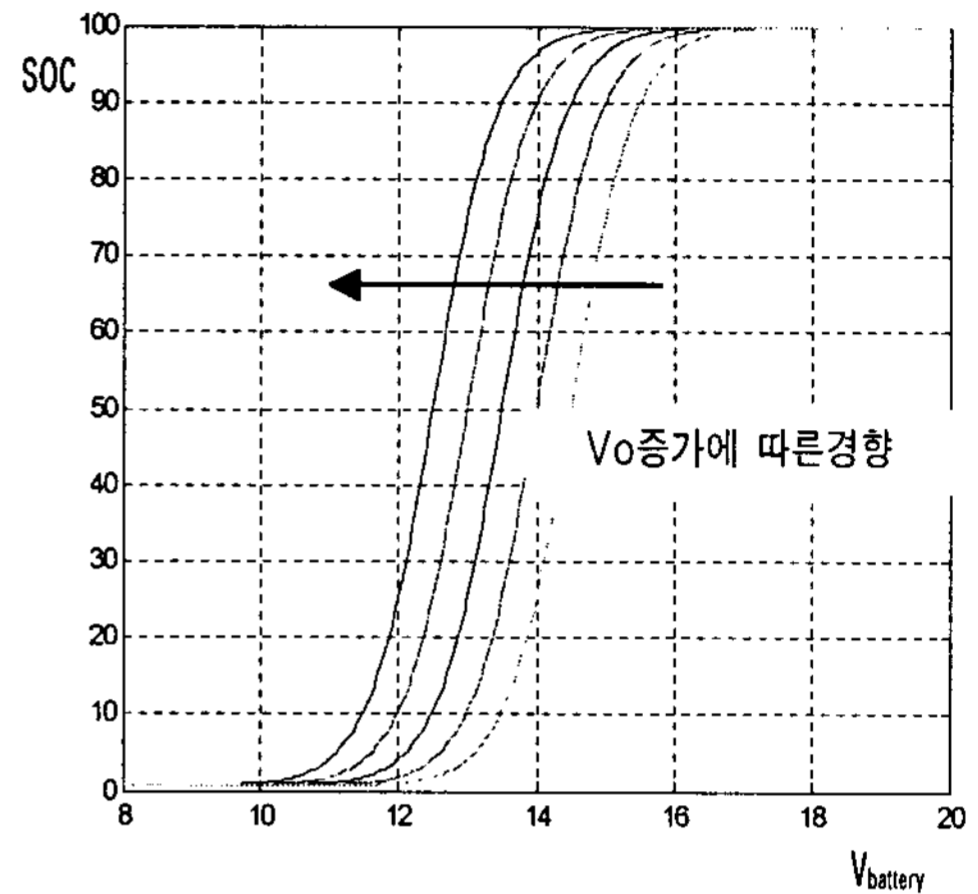


그림 5.  $V_0$ 변화에 따른 SOC 변화 추이  
Fig. 5. The trend graph of SOC by  $V_0$

그림 6은 UPS용 밀폐형 납축전지에 대하여 실시한 실험을 통하여 얻은 배터리 방전시의 개방전압과 잔존용량의 관계를 나타내고 있다.

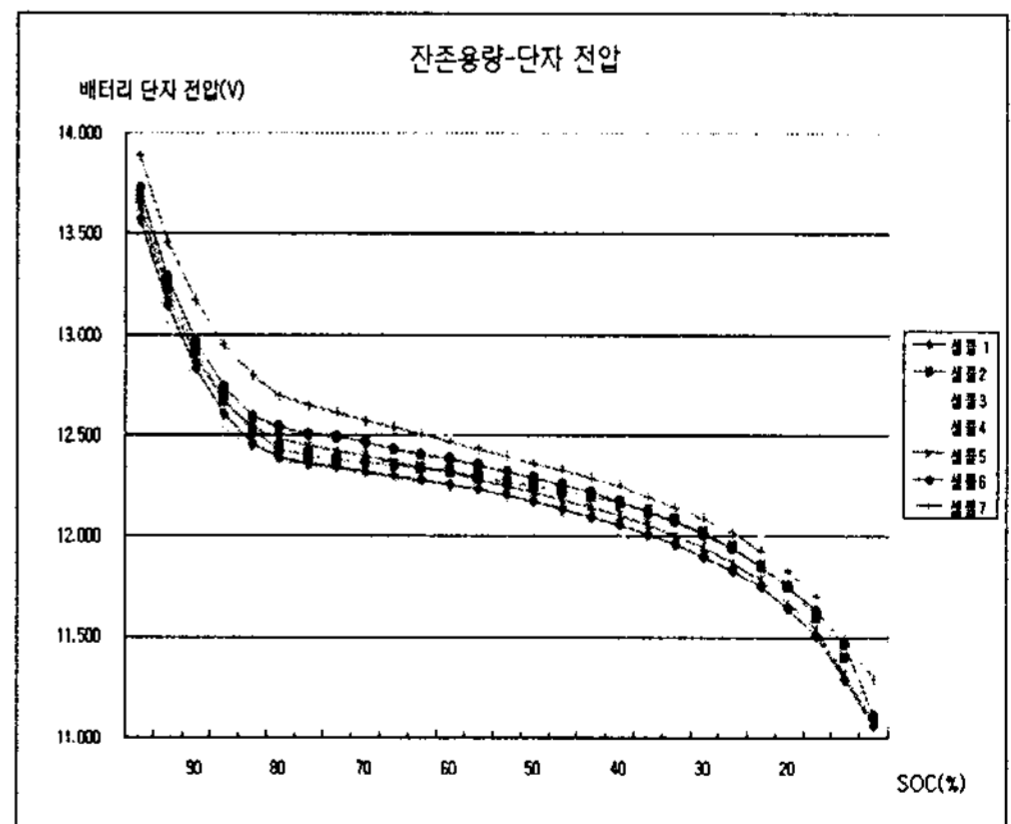


그림 6. 배터리 방전특성 곡선  
Fig. 6. Discharge characteristics of Battery

그림 7은 배터리의 충·방전 회수에 따른 임피던스의 변화를 나타내는 그래프이다. 충·방전 횟수가 증가함에 따라 내부 임피던스가 증가함을 알 수 있

다. 초기 잔존용량을 계산하기 위하여 Boltzman 방정식에서 필요로 하는 변수인  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_0$  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.

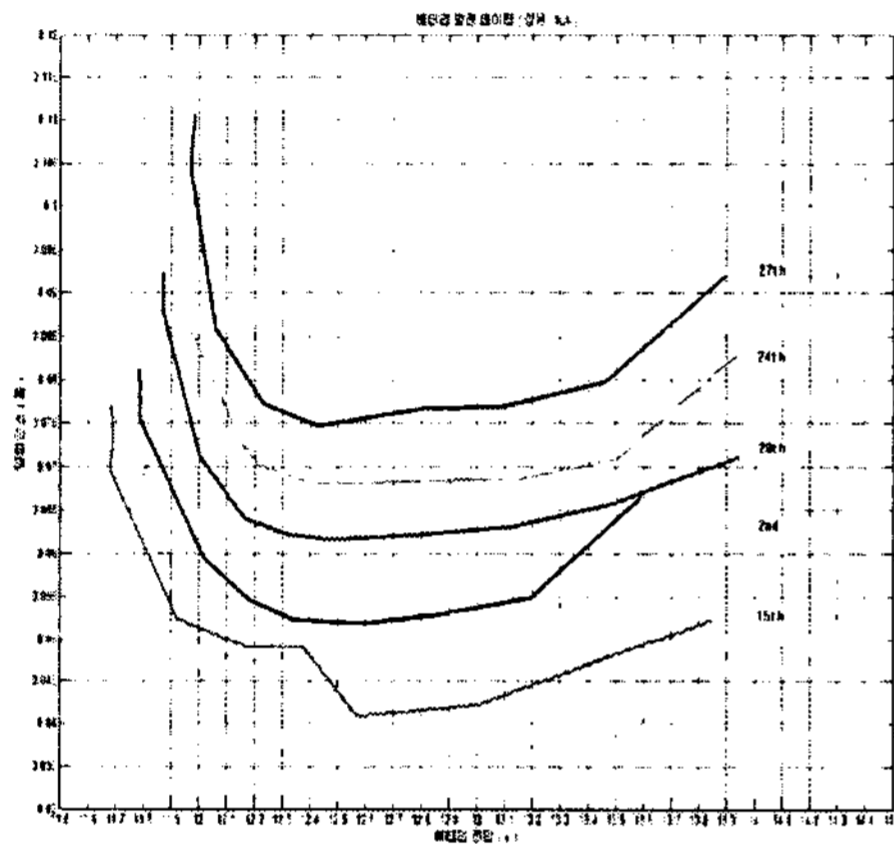


그림 7. 배터리 내부임피던스 곡선  
Fig. 7. The internal impedance curve of Battery

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

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

- 여기서, SOC : SOC of the battery
- $SOC_{initial}$  : initial SOC of the battery
- $i_c$  : Charging current
- $i_d$  : Discharging current
- $\eta$  : Charging efficiency
- $S(T)$  : Self-discharging rate

### 3. 실험결과

그림 8은 200[Ah] UPS용 납축전지에 10[A]의 일

정 전류로 충전 및 방전했을 때의 온도 변화에 따른 단자전압 특성곡선을 나타내고 있다. 그림 8 (a)는 배터리 충전 시의 특성곡선으로 온도가 낮거나 높을 경우, 완전 충전에 도달하는 시간이 짧아져 충전용량이 감소함을 알 수 있다. 또한 온도 저하에 따른 임피던스의 증가로 배터리 단자전압이 증가함을 알 수 있다.

그림 8 (b)는 배터리 방전시의 특성곡선으로 충전 시와 마찬가지로 온도가 낮아질수록 방전시간이 단축됨으로 방전용량이 감소함을 알 수 있다. 즉 온도가 저하함에 따라 배터리의 충·방전 효율이 감소함을 알 수 있다.

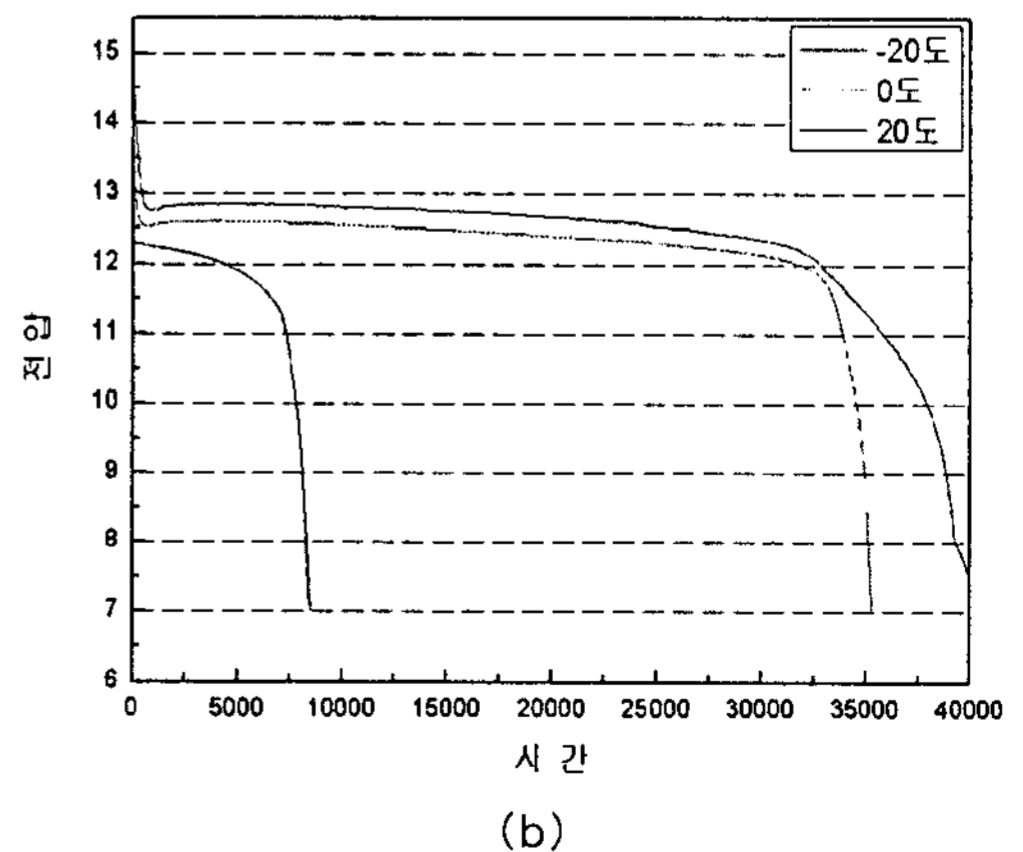
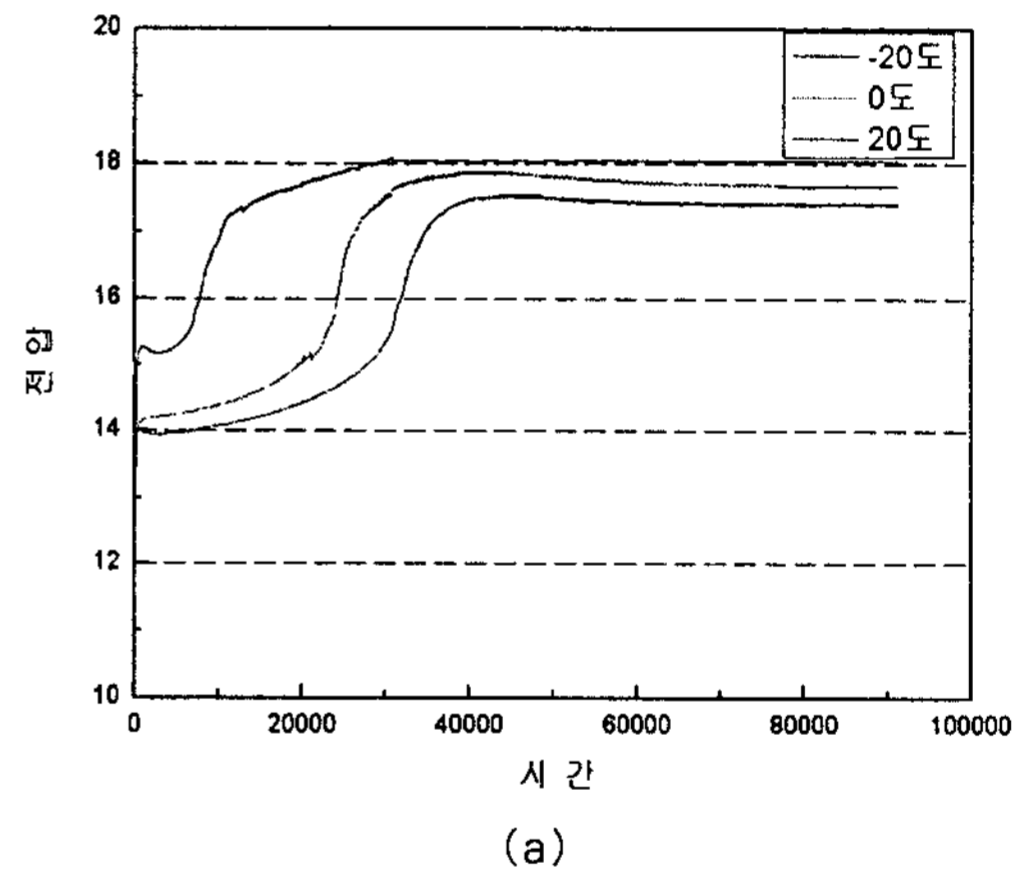
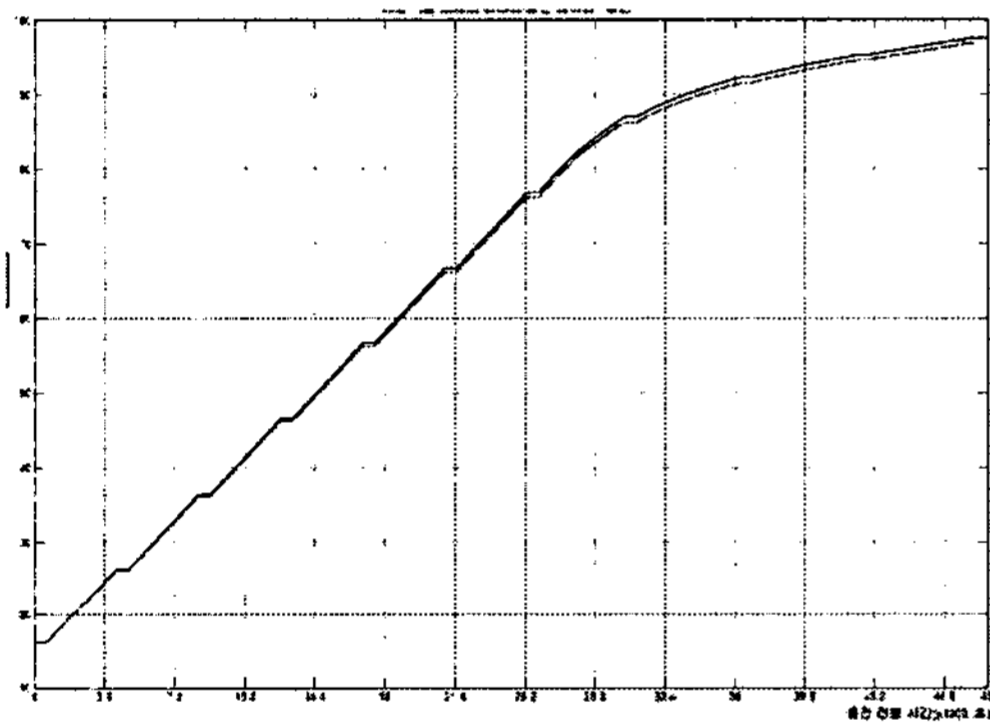


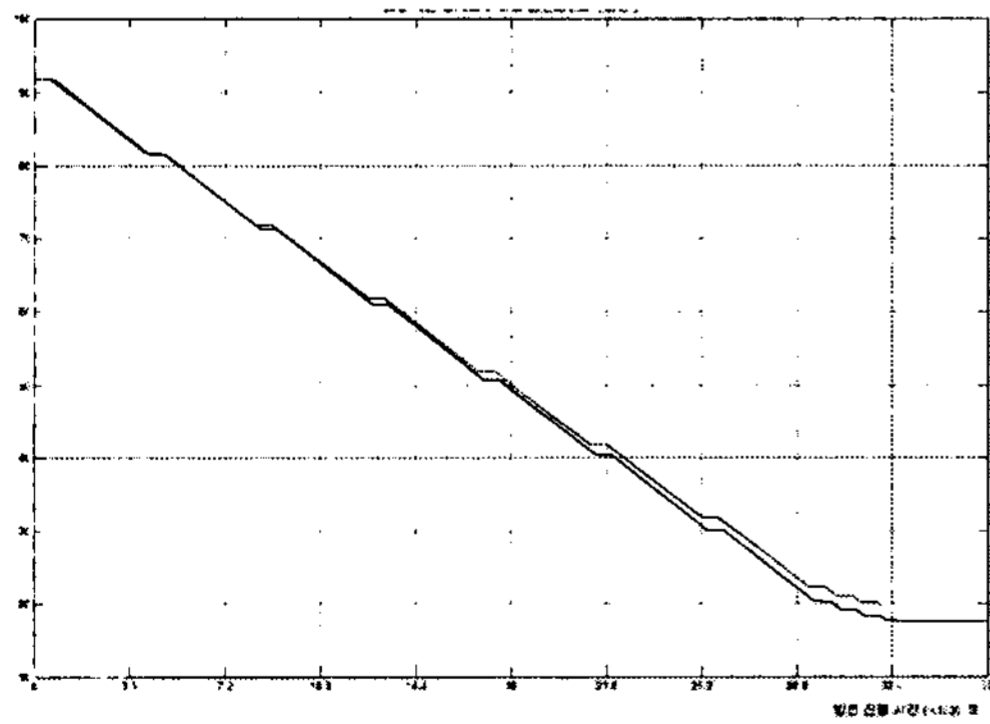
그림 8. 충·방전 특성곡선  
Fig. 8. The characteristic curve of charge and discharge

그림 9 (a)는 배터리 충전시의 시간 경과에 따른 잔존용량의 변화를 나타내고 있고, 그림 10 (b)는 방전시의 시간 경과에 따른 잔존용량의 변화를 보여주고 있다. 상온의 동일한 조건에서 충방전 시험기와 배터리관리시스템의 충·방전 특성을 비교한 것으로 배터리관리시스템이 충전 및 방전 제어 기능을 정확하게 수행하고 있음을 알 수 있다.

그림 10은 잔존용량 77[%]에서 82[%]에 이르기 까지 UPS 장착 시험 시의 충전 그래프를 보여주고 있다. 충전 시 경과 시간에 따른 배터리의 전압, 전류 및 잔존용량을 나타내고 있는데 이를 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성을 검증할 수 있다.



(a) 충전시 잔존용량 변화



(b) 방전시 잔존용량 변화

그림 9. 충·방전시 잔존용량 변화 그래프  
Fig. 9. The SOC graph by charge and discharge mode

#### 4. 결 론

본 논문에서는 UPS용 납축전지의 전압, 전류 및 온도를 실시간으로 검출하여 배터리의 잔존용량 (SOC)을 계산하고 충·방전 전류를 제어하여 과충전 및 과방전을 방지하여 배터리를 항상 최적의 상태로 유지 할 수 있는 배터리관리시스템(BMS)을 제작하였다. 그리고 배터리에 대한 다양한 특성 시험을 통하여 얻은 자료를 이용하여 배터리 잔존용량을 정확하게 계산 및 관리할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 또한 배터리관리시스템과 충방전 시험기의 비교시험 및 실제 UPS에 장착하여 실시한 시험을 통해서 개발한 배터리관리시스템의 성능 및 알고리즘이 향후 실제 시스템으로의 응용이 가능함을 입증하였다.

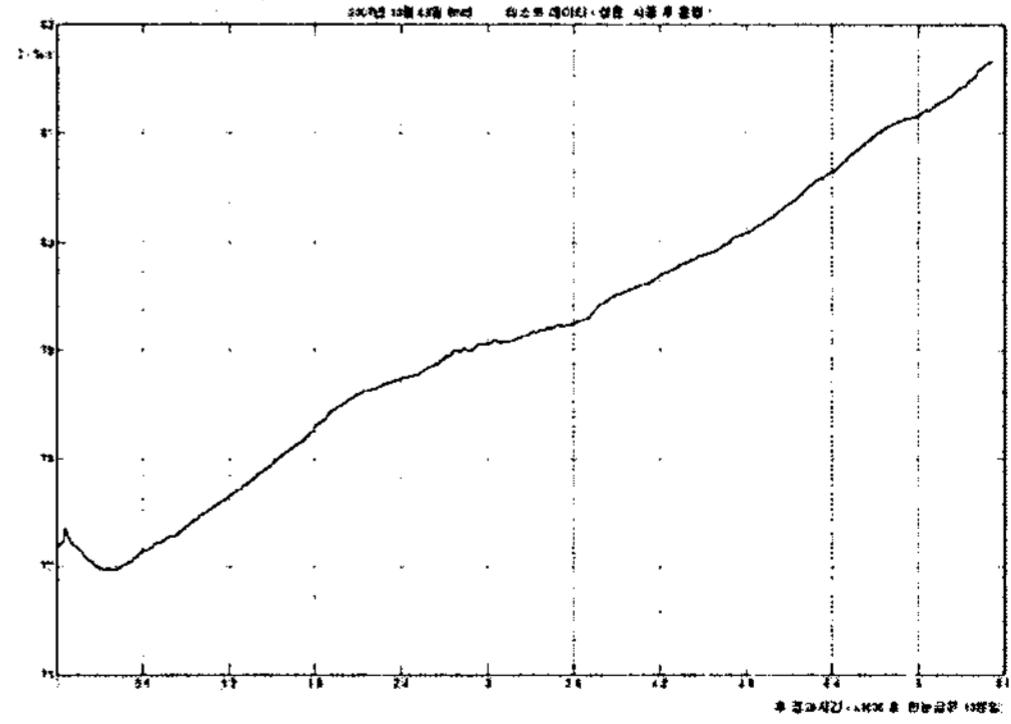
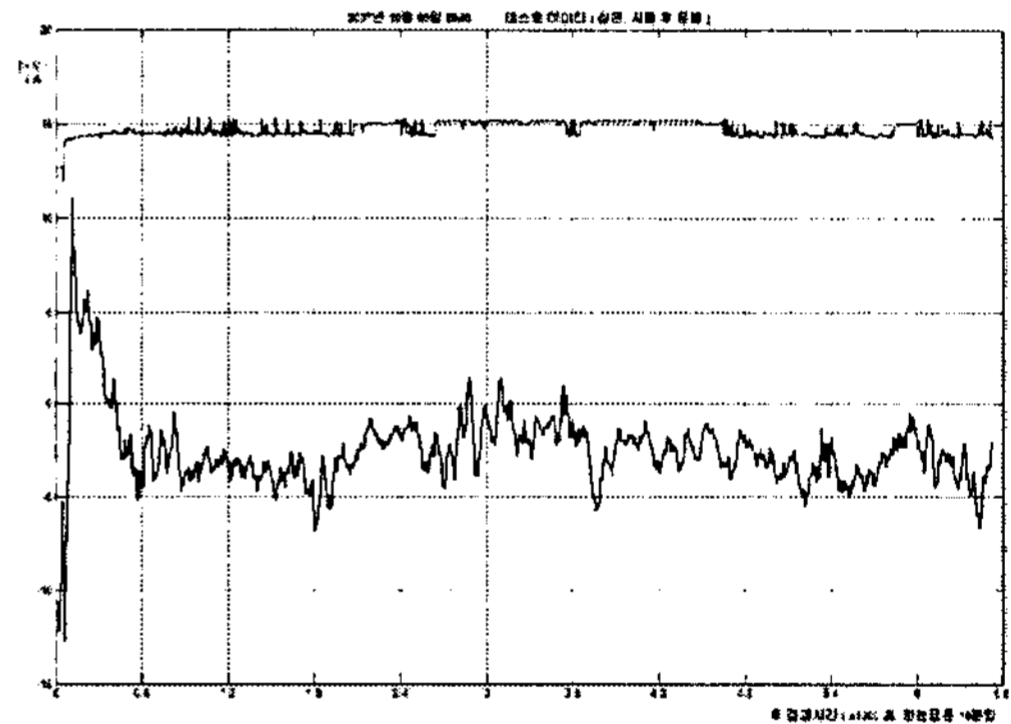


그림 10. BMS 장착후 작동시 충전 그래프  
Fig. 10. The chage graph after installation of the Battery Management System



본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신  
인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## References

- [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 Confrence 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] Niu Liyong, "A study on Battery Management system of Ni-MH Battery Packs for Hybrid Electric Vehicle Applications", First International Power and Energy Conference PECon 2006 November 28-29, 2006.

## ◇ 저자소개 ◇

### 서철식 (徐喆植)

1968년 4월 19일생. 1993년 경북대전자공학과 졸업. 1998년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동대학원 전기공학과 박사과정 수료. 2001~2004년 구미1대학 전자정보계열 전임강사.

### 문종현 (文鍾現)

1979년 5월 10일생. 2005년 영남대전기공학과 졸업. 2006년 9월~현재 동대학원 전기공학과 석사과정.

### 박재욱 (朴宰煜)

1967년 8월 24일생. 1994년 경북대 전자공학과 졸업. 2002년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사.) 2005년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 (주)누리기술 부사장. 울산과학기술대학 전기전자학부 겸임교수.

### 김금수 (金錦秀)

1961년 8월 21일생. 1984년 인천대전자공학과 졸업. 1999년~현재 (주)누리기술 대표이사. 영남대학교 산업대학원 석사과정.

### 김동희 (金東熙)

1950년 11월 20일생 1973년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 Kobe 대학졸업(박사) 1987~1989년 한국전기연구원 전력전자연구부장. 2000년 9월~2001년 2월 국립 Kyushu대 교환교수. 현재영남대전기공학과 교수.