

논문 16-11-15

리튬이온전지를 이용한 노트북 PC용 고성능 Smart Battery의 개발

Development of High-Performance Smart Battery for Notebook PCs with Lithium Ion Battery

김현수^{*}, 문성인^{*}, 윤문수^{*}, 고병희^{**}, 김동훈^{***}
(Hyun-Soo Kim^{*}, Seong-In Moon^{*}, Mun-Soo Yun^{*}, Beyng-Hi Ko^{**}, and Dong-Hun Kim^{***})

Abstract

Smart battery pack (SBP) for notebook PCs was developed using a cylindrical-type lithium ion battery. Batteries were connected with three serial and two parallel, the nominal capacity and the maximum load of SBP was 4,000mAh and 4.0A, respectively. The SBP was composed of a protection IC, by which safety of lithium ion batteries is maintained against overcharge, overdischarge and overcurrent, and a smart IC, which calculates the remaining capacity and the remaining run time. In matching test on notebook PC using Battery Mark 4.0, real and smart data of END voltage coincided nearly and LB and LLB signal worked normally. And there were errors of less than 1% between the real and the smart data on the residual capacity in the charge and discharge test.

Key Words : Smart battery pack, Smart battery system, Lithium ion batteries, FET, Notebook PC, PCM

1. 서론

휴대폰, 노트북 PC, PDA 등 휴대용 전자기기의 보급이 급증함에 따라 그 에너지원인 리튬이차전지의 수요도 비례하여 증가하고 있다. 즉, 그림 1에서와 같이 리튬이차전지의 주요 시장은 핸드폰이 약 50%, 노트북 PC가 약 38%를 점유하고 있다. 핸드폰 시장은 향후에도 약 13% 이상의 성장을 보일 것으로 예상하고 있다. 노트북 PC의 전세계 생산량은 2000년 21,000천대를 기록하였으며, 2004년에는 29,000천대를 상회할 것으로 예상되고 있으며, 현재까지 연평균 약 15% 이상의 성장을 하여 왔다[1]. 또한, 최근에는 PDA가 급속하게 보

급되고 있으며, 국내 PDA 시장은 2001년 20만대에서 연평균 56% 이상의 고속성장을 통해, 2005년에는 115만대 규모로 확대될 전망이다.

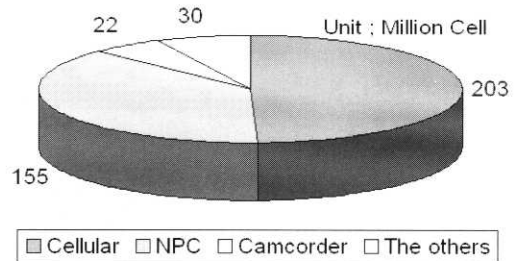


그림 1. 리튬이온2차전지의 용도별 수요.
Fig. 1. Application of lithium ion batteries.

그러나 이러한 휴대용 전자기기의 사용자들은 전자기기에 채용된 전지의 수명이 공급자가 제시하는 사양보다 실제로는 짧다고 느끼고 있다. 뿐만 아니라, 사용 중에 전지의 잔존용량을 정확하게 알

* : 한국전기연구원 전지연구그룹
(경남 창원시 성주동 28-1,
Fax : 055-280-1590
Corresponding Author : hskim@keri.re.kr)
** : 에스엠시(주)
*** : 엠텍(주)
2003년 4월 2일 접수, 2003년 5월 20일 1차 심사완료,
2003년 6월 17일 최종 심사완료

고 싶어 한다. 전지는 자기방전을 하며 충방전함에 따라 비가역 손실이 있기 때문에 사용 초기와는 상태가 다르게 된다[2]. 또한, 사용자는 전자기기에 사용 중인 전지를 몇 시간 더 사용할 수 있을지 알고자 한다. 이러한 사용자의 요구조건을 만족하기 위하여 현재까지는 전지의 상태를 전지전압과 온도만으로 판단하여 왔기 때문에 부정확하다. 즉, 전지의 전압은 충방전 전류의 크기, 주위 온도, 전지의 사용횟수에 따라 다르므로 전지의 전압 및 온도만 근거로 할 경우 신뢰성이 낮다. 결과적으로 최적 충방전 불가능, 전지 수명 단축, 사용 가능한 용량의 낭비를 초래하게 된다. 전지의 전압만을 이용하면, 기기의 사용시 shut down이 너무 늦거나 빠른 경우가 발생하여 전지 용량의 상당량(최대 40%)을 사용할 수 없는 경우가 자주 발생하고, 특히 소비자들의 가장 큰 불만은 잔량 표시의 부정확도이다. 따라서, 기존 전지에 회로적으로 인텔리전트한 기능을 추가하여 상기의 문제점들을 해결하는 전지를 smart battery이라고 하며, 전지팩을 SBP라고 한다[3]. 이러한 SBP는 보호회로부(Protection circuit module, PCM)와 지능제어 회로부(smart circuit module, SCM)로 구성된다. 지능제어 회로부에서는 업계표준인 SMBus(system management Bus) 통신방식을 이용하여 전지의 충방전 상태를 감시하면서 잔존용량 및 사용 가능 시간을 표시하게 하는 fuel gaging 역할과 전지가 최적의 조건으로 충방전할 수 있도록 충전율을 제어하는 역할들을 한다[4,5]. 높은 정확도의 SBP를 실현하기 위한 요소기술 및 부품으로는 예측 알고리즘, 전지 특성 모델, 고정밀 Hardware, 그리고 SBS 표준통신 등을 들 수 있다.

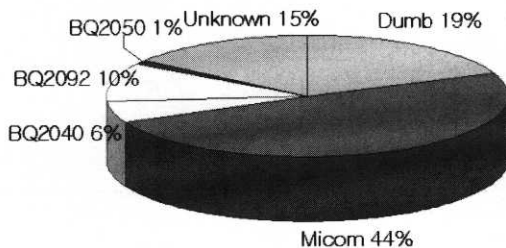


그림 2. 노트북 PC용 Battery Pack의 시장점유율.
Fig. 2. Market share of battery pack for notebook PC.

그림 2에는 노트북 PC용 전지의 기능별 시장점

유율을 나타낸 것으로, 현재 microcomputer type이 44%, fuel gauge type이 17%, dumb pack이 19%, 기타가 15%를 차지하고 있다. Microcomputer type은 SCM 내에 microcomputer를 장착하고, 직접 작성하여 입력한 수명예측 알고리즘을 통하여 정확한 잔존용량, 사용가능 시간, 수명 등을 계산하여 사용자에게 알려준다[6]. Fuel gauge type은 시판 fuel gauge용 IC를 사용하여 전지전압 및 전류를 측정하고, 이를 근거로 잔존용량 등을 계산하여 알려주는 것이며, dumb pack은 보호회로만을 장착한 것이다.

따라서 전문화된 바와 같이 노트북 PC의 사용자들이 가장 큰 요구사항인 전지의 잔존용량 및 사용 가능 시간을 정확하게 계산하여 시스템에 알려줄 수 있는 smart battery의 개발이 필요하며, 이는 최적의 수명예측 알고리즘, 정밀한 하드웨어, 그리고 전지특성의 정확한 평가가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 노트북 PC가 SBS를 실현하고 사용자가 원하는 요구를 만족하기 위하여 전지의 특성을 평가 분석하여 수명예측 알고리즘을 이용한 SCM을 개발하였고, 이를 적용한 고성능 SBP를 제작하여 각종 스마트 성능과 팩의 특성을 평가하였다.

2. 리튬이온전지용 보호회로

현재 리튬이온전지에는 정극활물질로 LiCoO_2 와 부극활물질로 흑연, 그리고 유기전해액이 주로 사용되고 있다. 이러한 리튬이온전지는 정극 및 부극 활물질, 유기전해액과 같은 구성물질과 높은 작동전압으로 인하여 과충전이나 과방전 시에, 또는 과전류가 흐를 때에는 전지의 특성이 현저하게 저하하거나 발열 또는 발화 등 위험성이 매우 높아진다[7]. 따라서, 전지 내부에는 PTC나 안전변과 같은 기계적인 안전장치를 설치하며, 전지팩 내부에는 전기적인 보호회로나 전류 휴즈 등 2중 3중의 보호기능을 도입하여 안전성을 확보하고 있다[8,9]. 그림 3은 보호회로와 작동전압을 나타낸 것이다. 보호회로의 main control IC는 각 전지의 전압과 충방전 전류를 측정하여 과충전, 과방전 및 과전류 상태가 되면 충방전 FET의 gate 단자에 low 또는 high 신호를 주어서 회로를 차단한다.

리튬이온전지는 4.2 V 이상으로 과충전되면 양극에서 전해액이 분해하여 전지의 내압이 상승하며, 특히 고온일 때는 발열 또는 발화의 가능성도 있다. 한편, 음극에서는 수지상 금속리튬이 석출되

고, 이로 인하여 내부단락이 발생하여 발화 또는 폭발이 발생할 위험성도 있다[10,11]. 그러나, 충전기의 고장이나 잘못하여 다른 기종의 충전기로 충전을 하면, 전지의 최대정격 전압을 넘을 위험성이 있다. 이와 같은 경우에 전지의 최대정격을 넘지 않도록 충전제어 FET를 작동시켜 전류를 차단하는 기능을 과충전 보호기능이라 한다[12]. 과충전 검출전압은 정도가 매우 높아야 하며, 전지를 직렬로 연결한 경우에는 각각의 전압을 검출하여야 하며, 현재 시판중인 것은 대부분 ± 25 mV 정도의 정밀도를 갖고 있다. 과충전이 검출되어 보호회로가 동작한 후에도 부하에 대한 방전은 충전 제어용 FET의 기생 다이오드를 통하여 이루어진다. 또한, 과충전 검출 동작은 펄스충전에 대한 대응이나, 노이즈에 의한 오동작 방지를 위하여 지연시간이 필요하다.

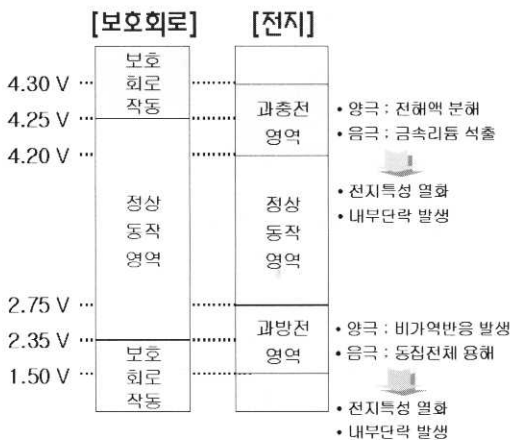


그림 3. LIB용 보호회로의 작동전압.
Fig. 3. Working voltage of protection IC for LIB.

리튬이온전지가 어떠한 원인에 의하여 과방전 상태가 되면, 부극 내의 리튬이 고갈된 후에도 방전이 계속 진행된다. 이 때에는 부극에서 전자를 더 이상 공급할 수 없기 때문에 집전체에서 전자가 공급되고 이와 동시에 Cu foil이 용해된다. 이 경우에도 전지는 내부단락으로 인하여 발화의 위험성이 있고, 전지로서의 기능을 상실하게 된다. 따라서, 전지전압이 일정한 값 이하가 되면 방전 FET가 작동하여 방전전류를 차단하며, 이 기능을 과방전 보호기능이라고 한다. 과방전 상태에서는 전지용량도 극단적으로 떨어져 있기 때문에 보호

IC의 소비전류도 매우 작아야 하며, 현재 시판중인 것은 대부분 수 μA 정도이다. 과방전 보호회로가 작동한 이후에 충전기를 접속하면 방전제어용 FET의 기생 다이오드를 통하여 충전이 이루어진다[13]. 또한, 펄스성의 방전에 대응하기 위하여 과방전 검출에도 지연시간이 필요하다.

전지가 사용 중에 단락되는 경우에는 대전류가 흘러 발열하거나 가연물이 접촉되어 있는 경우에는 발화의 가능성도 있다. 또한, 과전류 시에 온도가 상승하면 최악의 경우는 리튬의 용점까지 도달되어 극도로 위험해진다. 따라서, 전류가 일정한 값 이상으로 흐를 때에는 방전 FET를 작동시켜 방전전류를 차단하며, 이 기능을 과전류 보호기능이라 한다. 과전류 보호기능에는 차단전류와 지연시간을 두고 있다[14]. 과전류 보호기능이 작동한 상태는 과방전 보호기능 때와 동일하지만, 과전류 보호의 경우에는 전지 pack의 단자간을 개방하면 사용이 가능한 상태로 되 돌아온다. 과전류는 FET의 저항을 이용하여, FET 양단의 전압강하를 측정하여 검출하게 되며, FET의 저항이 계속 감소하는 추세이기 때문에, 과전류 검출전압 값은 더욱 낮게 설계되어야 하며 고정도가 요구되고 있다.

3. SBP의 용량 Monitoring 및 잔존용량 예측

그림 4는 기본적인 smart battery system model의 예를 나타낸 것이다[15]. SBS는 smart battery (SB), smart battery charger (SBC) 및 system host (SH)로 이루어진다. SB는 사용기기에 전원을

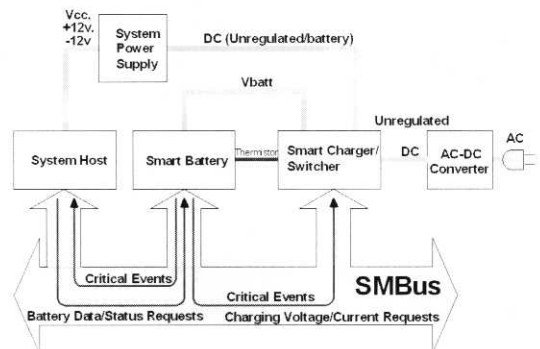


그림 4. Smart battery system 모델의 예.
Fig. 4. Example of smart battery system model.

공급하는 전지와 전지 상태를 감지할 수 있는 전자기기로 이루어진다. SBC는 SB의 상태에 따라 충전할 수 있도록 충전전압과 충전전류를 제어하는 회로이다. 또한 전지에 과충전, 과전압, 고온 상태 등의 문제가 발생할 때 전지로부터 경고 신호를 받는다. SH는 SB에 의해 작동되는 전자기기를 말하며, SB로부터 필요한 정보를 받아 시스템의 전원을 효율적으로 관리하며 사용자에게도 정보를 제공한다. 또한, SB로부터 받은 방전 중지, 잔여용량, 잔여시간 등의 정보를 SBC에 전송한다.

전지의 수명예측 알고리즘을 작성하기 위하여는 우선 전지의 수명(방전용량)에 영향을 주는 인자를 파악해야 한다. 이러한 인자들에는 충전전류 및 방전전류, 자기방전을, 주위 온도, 충전상태 (state of charge, SOC), 전지의 이력, 특정 사용 패턴 (펄스 방전 등) 및 특정 용도 등이 있다. 수명 예측은 전지력이 충방전 전류를 측정하고, 자기방전, 전지 이력 등을 고려하여 잔존 용량을 계산하는 알고리즘이 필요하다. 예를 들면, 잔존용량은 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다[16].

$$CAP_{rem} = \sum Ic \Delta tc - \sum Id \Delta td - \sum Is \Delta ts \quad (1)$$

식 (1)에서 $\sum Ic \Delta tc$ 는 전지의 충전용량의 합, $\sum Id \Delta td$ 는 방전용량의 합 (전지의 사용 이력을 고려), 그리고, $\sum Is \Delta ts$ 는 전지의 종류, SOC 및 온도에 따른 자기방전량이다.

전지의 방전특성 모델은 특정한 방전율과 온도에서 전지에 용량이 얼마나 남아 있는지를 예측하는데 있어서 가장 중요하다. 전지의 잔존 용량은 방전전류(I)와 주위온도(T)의 함수로 나타낼 수

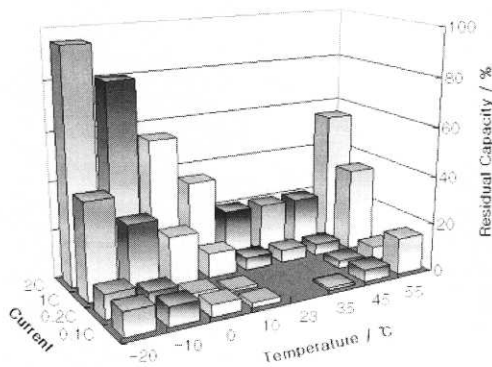


그림 5. 리튬이온전지의 방전특성 모델.
Fig. 5. Discharge model of lithium ion battery.

있다. 따라서 정확한 잔존 용량을 예측하기 위한 전지의 특성의 평가치를 얻고 이를 데이터들이 충분히 프로그램화 되어 있어야 한다. 그림 5에는 전지의 방전특성 모델의 예를 나타낸 것이다.

리튬이온전지는 Ni/Cd전지나 Ni/MH전지에 비하여 자기방전율이 낮은 것이 특징이지만, 정확한 잔존용량과 사용가능 시간을 예측하기 위하여는 전지의 자기방전을 모델이 필요하다. 자기방전 상태에서 용량 유지율은 온도, SOC 및 사용회수의 함수이며, 정확한 자기방전 보정 모델은 사용기기의 장기 보관시의 Fuel gauge 정확도를 유지한다. 그림 6에는 리튬이온전지의 온도 및 SOC에 따른 자기방전을 모델이다. 자기방전시험에서 완전 충전한 전지를 SOC 100% (20°C)조건에서 90일간 유지한 경우, 전지의 용량이 5.35Ah에서 4.31Ah로 감소하여 월간 약 6.5%의 용량감소율을 나타내었다.

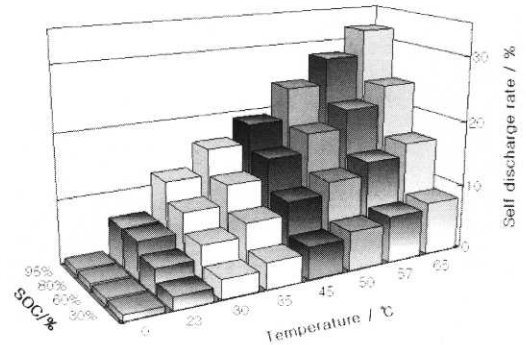


그림 6. 온도 및 SOC에 따른 자기방전을 모델.
Fig. 6. Shelf discharge model of lithium ion battery with temperature and SOC.

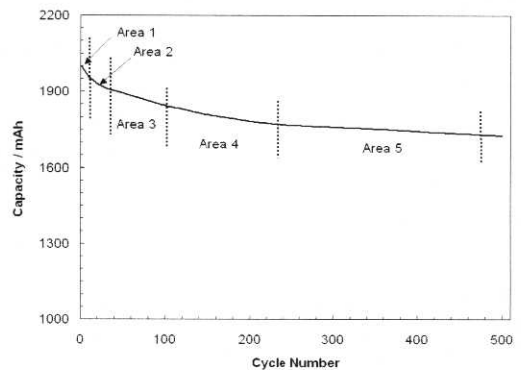


그림 7. 리튬이온전지의 사이클 특성.
Fig. 7. Cycleability of lithium ion battery.

전지의 사용이력에 따라 전지용량은 변화하기 때문에 전지의 사용이력이 계산되어야 한다. 사용 기기가 SOC 100%와 DOD (depth of discharge) 100%를 반복하는 경우 사이클수의 측정 및 계산은 단순하지만 대부분의 경우는 일정하지 않은 SOC와 DOD를 반복하여 사용하고 있다[17]. 사이클 특성에 따른 용량 변화의 예를 그림 7에 나타내었으며, 이와 같이 몇 개의 구간을 정하고 각 구간 위의 점들에 대한 선형화를 할 수 있다. 표 1에는 그림 7의 사이클에 따른 용량변화 곡선에서 얻은 구간별 기울기 및 절편값을 정리한 것이다. 이렇게 선형화 된 기울기와 절편 값을 smart module 내의 메모리에 입력해 두었다가 실제 계산된 용량과 비교하게 된다.

표 1. 사이클 구간별 기울기 및 절편값.

Table 1. Gradient and intercept value on cycleability profile.

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5
Gradient	4,865	1,4585	1,105	598	381
Intercept	1,761	1,658	1,785	1,715	1,875

4. 노트북 PC용 SBP의 제작 및 성능

그림 8에는 노트북 PC용 SBP의 제조공정도를 나타낸 것이다. 전지는 정격용량이 1,900 mAh인 원통형 (18650 Type)을 3직렬 2병렬로 연결하였다.

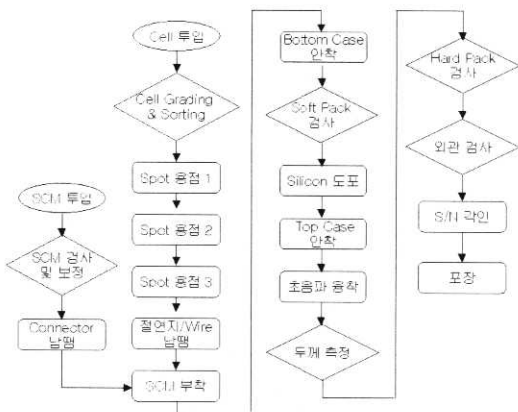


그림 8. Smart battery pack의 제작 공정도.

Fig. 8. Manufacturing flow of the smart battery pack.

각 전지는 개로전압과 내부저항을 측정하고, 10 mΩ 이내의 편차를 가진 전지를 분류하여 사용하였다. 리튬이온전지용 보호회로에는 monolithic IC MM1293을, fuel gauge용 IC로는 미쓰비시사의 모니터링 IC M61040과 8bit MCU (micro control unit) M37516을 사용하였다. PCM/SCM을 부착한 후 soft pack이 완성되면 1차 기능검사를 한다. Hard pack 제작은 Si 도포, upper case 조립, 초음파 용착 등의 순서로 하였다.

그림 9에는 노트북 PC용 SBP에 적용한 PCM과 SCM의 개략적인 구성도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 전지를 보호하기 위한 1차 보호회로와 2차 보호회로, 그리고 fuel gauging 부분으로 구성되어 있다. 1차 보호회로는 제2장에서 서술한 바와 같이 과충전, 과방전, 과전류 시에 회로를 차단시켜 전지의 과열이나 폭발의 위험으로부터 보호하는 것을 기본 목적으로 한다. 2차 보호회로는 전지 전압이 기준전압 보다 높으면, 휴즈의 발열 저항으로 휴즈가 끊어지도록 설계하여 과충전으로부터 전지를 보호한다[18]. Fuel gauge 회로는 시스템 초기화 시에 외부 EEPROM으로부터 데이터를 읽어들이어 SMBC와 SMBD 통신라인을 사용하여 host와 충전기와의 통신을 하여 전지전압, 온도, 충전상태, 용량, 충전전 횟수 등을 전송하여 사용자에게 필요로 하는 정보를 제공한다.

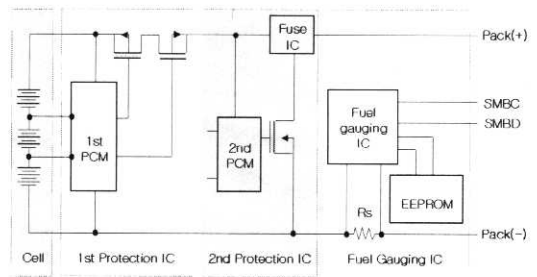


그림 9. 노트북 PC용 SBP의 회로 구성도.

Fig. 9. Basic scheme of SBP for notebook PC.

표 2는 개발된 노트북 PC용 smart battery pack의 주요사양을 나타낸 것이다. 제작된 노트북 PC에 대하여 matching 시험을 하였으며, smart data의 정확도를 평가하였다. 노트북 PC matching 특성은 전지의 방전 종료를 알려주는 alarm

표 2. 노트북 PC용 smart battery의 주요사양.

Table 2. Specification of smart battery.

Item	Value	Remarks
Nominal Capacity	4,000mAh	0.2C discharge, 3V/cell cut off
Nominal Voltage	11.1V	3.7V/cell at 0.2C discharge
Rated charge Voltage	12.6V	
Discharge cutoff Voltage	9.0V	3.0V/cell
Rated charge Current	2.0A	
Maximum charge Current	4.0A	
Rated load	2.0A	
Maximum load	4.0A	
Operation temperature	0~60℃	Discharge
	0~45℃	Charge

massage (잔량 10%, 3%) 및 save to disk가 정상적으로 작동하는지 평가하는 것이다. 여기에서는 SBP을 노트북 PC에 실장하고 비교적 큰 소비전류가 필요한 battery bench marking용 소프트웨어인 Battery Mark 4.0을 이용하여 평가하였다. Battery Mark 4.0으로 방전했을 때의 방전 시간은 표 3과 같다. END voltage는 시스템에서 충전과 방전의 완료 상태를 나타내는 것으로서 정확한 지점에서 충·방전이 완료되었는지를 확인할 수 있다. 시험 결과, 실제값과 smart 데이터와는 거의 일치하였으며, LB (low battery) 및 LLB (low low battery) 신호도 정상적으로 작동하였으며, 이는 그림 10에서 알 수 있다. 여기에서 smart battery는 정전류로 완전 충전되었으며, 그 후에 노트북 PC에서는 Battery Mark 4.0이라는 소프트웨어를 작동하였을 경우에 방전되고 있음을 나타내고 있다. 그림에서 방전 END 근방에서 전압이 한번 증

표 3. Smart battery의 system matching 시험결과.

Table 3. Result of system matching test.

Test Mode	Charge		Discharge	
	Time	End Voltage	Time	End Voltage
Actual	214	12.565	112	9.796
Smart	214	12.578	109	9.694

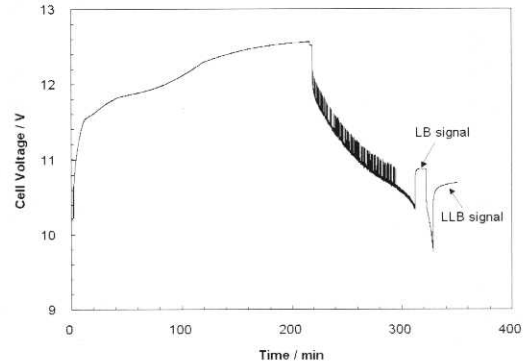


그림 10. Battery Mark 4.0을 이용한 충전전 곡선.
Fig. 10. Charge-discharge profile of smart battery.

가하는 부분이 LB가 나타나는 것이며, 10.0V 지점에서 LLB가 나타난 것으로 분석된다. END voltage에서 실제값과 smart 값의 차가 0.1V 이하로 상당히 양호하였다.

정전류 충전전에 대한 smart 데이터의 정확도를 알아보기 위하여 제작한 SBP를 0.5C의 방전율로 충전전을 실시하였다. 그림 11에는 full-charge full-discharge (FCFD) 시험시의 용량의 정확도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 첫 사이클에서는 실제 및 smart 데이터의 용량오차가 1% 이상이지만, 두 번째 사이클부터 용량학습을 통하여 오차가 1% 이하로 줄어들어, 상당히 양호한 정확도를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 그림에는

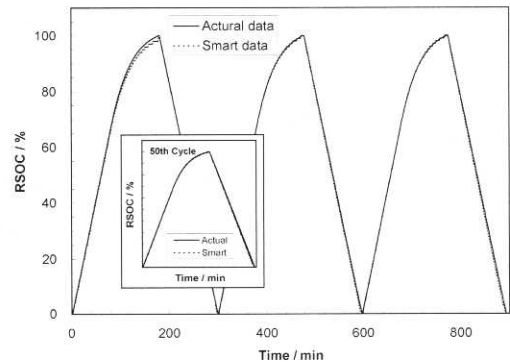


그림 11. SBP의 용량 정확도를 위한 FCFD 시험 결과.

Fig. 11. Capacity accuracy in FCFD test for SBP.

50회 충방전한 경우의 실제 및 smart 데이터를 나타내는 것으로 여전히 용량오차가 1% 이내로 양호한 값을 나타내었다. 이는 smart circuit module의 전류 측정값이 정확하고 충방전 전류 적산이 정확도가 높다는 것을 의미한다.

5. 결 론

원동형 리튬이온전지를 이용하여 노트북 PC용 smart battery pack을 개발하였다. 전지는 3S2P로 조합하였으며, 정격용량은 4,000 mAh, 최대 방전 전류는 4.0 A였다. 개발된 SBP는 과충전, 과방전, 과전류 시에 회로를 차단하는 1차 보호회로와 과전압이 걸리지 않도록 하는 2차 보호회로, 그리고 fuel gauging 부분으로 구성되어 있다.

Battery Mark 4.0을 이용하여 노트북 PC에 대하여 matching 시험한 결과, END Voltage 값은 실제값과 smart 데이터가 거의 일치하였으며, LB 및 LLB 신호도 정상적으로 작동하였다. 정전류 충방전에 대한 smart 데이터의 정확도를 측정하기 위하여 SBP를 0.5C로 FCFD 시험을 한 결과, 첫 사이클에서는 실제 및 smart 데이터의 용량오차가 1% 이상이지만, 두 번째 사이클부터 용량학습을 통하여 오차가 1% 이하로 감소하였다.

참고 문헌

- [1] 김현수, 문성인, 윤문수, 고병희, 박상건, 신동오, 유성모, 이승호, "리튬이온전지의 Smart Battery System", 한국전기화학회지, 4권 3호, p. 132, 2001.
- [2] 김종욱, 성창호, 구할분, 박복기, "고체전지용 LixV3O8 Composite 정극의 전기화학적 특성", 전기전자재료학회논문지, 11권, 9호, p. 733, 1998.
- [3] JSB Ed., "Advanced Secondary Batteries", Nikkankougyou Sinbum Co., Tokyo, p. 267, 1999.
- [4] E. C. Sledge, "Intelligent Design of Smart Batteries", Proceedings of 12th International Seminar on Primary and Secondary Battery Technology and Application, p. 569, 1995.
- [5] M. Yoshio, "Li Ion Secondary Batteries", Nikkankougyou Sinbum Co., Tokyo, p. 161, 2000.
- [6] J. Norman Allen, "New Advancements in Smart Battery Electronics", Batteries 2000, Paris, 2000.
- [7] 김현수, 김성일, 최관영, 문성인, 김상필, "리튬이온전지용 Urethane계 겔폴리머 전해질에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 12호, p. 1033, 2002.
- [8] 이재안, 김종욱, 구할분, "리튬-폴리머전지용 PVDF/PAN계 고분자 전해질의 이온전도 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 4호, p. 306, 2000.
- [9] H. Kim, J. Shin, C. Doh, S. Moon, and S. Kim, "Preparation of Gel Polymer Electrolytes Using Tri(Ethylene Glycol) Dimethacrylate and Their Electrochemical Performances", J. Power Sources. Vol. 112, p. 469, 2002.
- [10] T. Osaka and M. Datta, "Energy storage systems for electronics", Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, p. 551, 2000.
- [11] R. A. Leising, M. J. Palazzo, E. S. Takeuchi, and K. J. Takeuchi, "Abuse Testing of Lithium-Ion Batteries: Characterization of the Overcharge Reaction of LiCoO₂/Graphite Cells", J. Electrochem. Soc., Vol. 148, p. 838, 2001.
- [12] M. Hamaguchi, "Design of Protection Circuit of Lithium Ion Battery", Electronics Technology (Denshi Gizyutsu), Vol. 11, p. 32, 1999.
- [13] T. Mito, "Design of Secondary Battery in Notebook PCs", Electronics Technology (Denshi Gizyutsu), Vol. 11, pp. 25, 1999.
- [14] Y. Terada, "IC for Lithium Ion Battery and its use", Electronics Technology (Denshi Gizyutsu), Vol. 11, p. 38, 1999.
- [15] T. Jurumura, "Smart Battery Status and Issues in Note-PC Field", Batteries 2000, Paris, 2000.

- [16] W. Schalkwijk and B. Scrosati, "Advances in Lithium-Ion Batteries", Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, p. 459, 2001.
- [17] J. Alzieu, H. Smimite, and C. Glaize, "Improvement of Intelligent Battery Controller: State-of-Charge Indicator and Associated Functions", J. Power Sources, Vol. 67, p. 157, 1997.
- [18] K. Yamamoto, "Secondary Batteries for IC Designer", Electronics Technology (Denshi Gizyutsu), Vol. 11, p. 2, 1999.