

회복효과에 기반한 배터리 사용 시간 연장 기법

Battery Lifetime Enhancement Based on Recovery Effect

이 종 배*, 이 성 수**

Jong-Bae Lee*, Seongsu Lee**

Abstract

This paper proposes a battery lifetime enhancement method based on the nonlinear discharge characteristics called recovery effect. In general, the stored energy in a battery is considered in the prediction of battery lifetime. However, due to the chemical reaction in a battery, more energy can be drawn from a battery when it is not continuously but intermittently discharged, which is called recovery effect. In the proposed method, several battery cells are alternately discharged, and some battery cells rest while maintaining the system power supply. This makes recovery effect of battery cells, which extends battery lifetime. In the experiment, battery lifetime increases about 7% in the alternating discharge of two battery cells, when compared with conventional parallel discharge.

요 약

본 논문에서는 배터리의 비선형적 방전 특성인 회복효과를 사용하여 배터리의 사용 시간을 연장하는 기법을 제안한다. 일반적으로 배터리의 사용 시간을 예측할 때에는 배터리 내부에 저장된 에너지가 일정하다고 가정하지만, 실제로는 배터리 내부의 화학 반응 때문에 배터리를 계속 방전시키지 않고 중간에 쉬는 시간을 만들어주면 더 많은 에너지를 끌어낼 수 있는데 이를 회복효과라 한다. 제안하는 기법에서는 다수의 배터리 셀을 교대로 방전시킴으로써 기기의 전력 공급은 그대로 유지하면서 배터리 셀 일부를 쉬게 하여 회복효과를 발생시키고, 이에 따라 배터리의 사용 시간을 연장시킬 수 있다. 실험 결과, 2개의 배터리 셀을 기존처럼 병렬 연결하여 방전시키는 것에 비해 배터리 셀을 교대로 방전시키면 배터리 사용시간이 약 7% 증가하였다.

Key words : battery, recovery effect, rate capacity effect, low-power, alternating discharge

1. 서론

* School of Electronic Engineering, Soongsil University, sslee@ssu.ac.kr, 010-9182-3835

★ Corresponding author

※ Acknowledgment

“This research was supported by Industrial Strategic Technology Development Program funded by the Ministry of Trade, Industry, and Energy, Korea(10039239).”

Manuscript received Feb. 15, 2014; revised Mar. 3; accepted Mar. 4, 2014

최근 들어 스마트폰 및 스마트페드의 보급의 급격한 증가에 따라 휴대용 기기의 전력 소모가 중요한 사항으로 떠오르고 있다.[1][2] 그동안 스마트폰, 노트북 및 스마트패드와 같은 휴대용 기기의 전력 소모를 줄이기 위한 저전력 기술은 소자 수준에서 회로, 프로세서, 알고리즘, 운영체제 수준까지 많은 기술들이 제안되어 왔으나 현재는 저전력 기술 분야의 연구는 상당 부분 포화 상태에 도달하였다고 할 수 있으며, 이미 최적화된 기술로부터 배터리의 사용시간을 획기적으로 개선하기에는 많은 어려움이 있다.

기존의 저전력 기술에서는 배터리에 저장된 전력을 고정된 용량으로 간주하여왔다. 즉, 충전이 완료된 배

터리로부터 끌어낼 수 있는 전력은 이 배터리를 사용하는 기기가 배터리로부터 공급받는 전류, 전압, 방전 시간에 관계없이 동일하다고 가정하였으나, 실제로는 배터리가 비선형적인 화학반응을 이용하여 전기 에너지를 충전하고 방전하기 때문에 배터리에 저장된 전력량이 일정하더라도 시스템이 배터리에서 실제 끌어 사용할 수 있는 전력량은 배터리의 충·방전 조건 및 시스템의 동작 조건에 따라 크게 달라진다. 또한 최근 그 사용이 폭발적으로 증가하고 있는 스마트폰이나 스마트패드와 같은 스마트 기기의 경우 전력 소모가 높고 사용 시간이 길기 때문에 여러 개의 셀을 연결하여 사용하는 경우가 많다. 그러나 다중 셀을 이용할 경우 배터리의 특성상 화학적인 에너지와 전기적인 에너지의 변환에서의 비선형적인 특성으로 인해 모두가 동일한 조건의 용량을 가질 수 없는 단점이 있다.[3]

본 논문에서는 스마트 기기에서 사용되는 배터리의 사용시간 연장을 위한 배터리 셀 제어 기법을 제안한다. 일반적으로 배터리의 종류에 관계없이 배터리에서 지속적으로 전류를 끌어내는 경우에 비해 배터리의 방전을 멈추고 일정 시간 쉬게 하는 경우가 배터리에서 더 많은 전력을 끌어낼 수 있다. 제안하는 기법에서는 여러 개의 배터리 셀을 병렬로 연결하여 사용하는 스마트 기기에서 배터리 셀을 교대로 방전함으로써 매순간마다 몇 개의 배터리 셀은 기기의 전력 공급을 도맡고 몇 개의 배터리 셀은 휴지시간을 가짐으로서 전체적인 배터리 사용시간을 연장한다.

제안하는 기법을 검증하기 위해서는 배터리 셀의 연결 상태를 소프트웨어 적으로 원하는 대로 제어해서 스마트 기기에 전력을 공급하고 배터리의 전류, 전압, 전력을 측정하며 최종적으로는 스마트 기기의 배터리 사용 시간을 측정해야 하는데, 이를 수행할 수 있는 통합 실험 환경을 구성하는데 여러 가지 어려움이 따른다. 본 논문에서는 기존의 C/C++ 등의 언어와 다르게 그래픽 기반으로 되어있어 비교적 손쉽게 작성할 수 있는 랩뷰 (Labview)를 이용하여 실험 소프트웨어를 작성함으로써 실험 환경을 구성하였다. 이는 GUI (Graphic User Interface) 환경으로 되어있어 그래프나 차트를 통해 실시간으로 측정 데이터를 관찰할 수 있다. 또한 랩뷰와 연동하여 소프트웨어적으로 원하는 디지털 신호와 아날로그 전압을 발생시키고 입력 신호의 전압, 전류, 로직값을 실시간으로 측정할 수 있는 장비인 DAQ (Data Acquisition)를 이용하여 통합 실험 환경에서 알고리즘 수행, 배터리

제어, 전류/전압/전력 측정, 배터리 사용시간 측정을 한 번에 수행하였다.

II. 배터리 셀의 충방전 특성

스마트 기기의 전력 공급에 사용되는 배터리는 하나 또는 그 이상의 전기화학적 셀이 직렬 또는 병렬로 연결되어 있다. 각각의 셀 안에 저장된 화학적 에너지는 산화/환원의 전기화학적 반응을 통하여 전기 에너지로 전환된다.

부하 (load) 전류가 증가할수록 배터리로부터 공급되는 총 전하의 양은 감소하게 된다. 부하 전류와 배터리 용량의 비율을 방전률 (rate capacity)이라 하고 C로 나타낸다. 여기서 C는 capacity의 줄임말로써, IC이면 배터리 셀의 용량의 1배를 공급할 수 있다는 의미이다.

예를 들어 1,000 mAh 용량의 배터리를 1,000 mA의 전류로 1시간동안 전원을 공급하였을 때를 1C의 비율이라고 한다면, 이론적으로 2C에서 같은 용량의 배터리는 2,000 mA의 전류로 30분 동안 전원을 공급할 수 있고, 0.5C에서 같은 용량의 배터리는 500 mA를 2시간동안 전원을 공급할 수 있다. 실험환경, 주변 온도, 배터리 상태에 따라 다소 차이는 있을 수 있으나, 대부분의 배터리는 종류에 관계없이 비슷한 경향을 보인다.

그림 1은 같은 용량의 배터리에서 방전 전류에 따른 배터리의 사용 시간을 비교한 그림으로, 동일한 전력량이 충전되어 있더라도 방전 전류에 따라 방전 시간에서는 큰 차이를 보여주고 있다.[4]-[6] 즉, 시스템이 끌어 쓰는 전류가 높아지면 배터리 사용시간이 줄어들고, 시스템이 끌어쓰는 전류가 낮아지면 배터리 사용 시간이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이를 방전률 효과 (rate capacity effect)라고 한다.

또한, 같은 용량의 배터리를 같은 부하에 연결하고 같은 방전 전류로 동일한 시간만큼 방전했다고 하더라도, 지속적으로 방전하는 것과 간헐적으로 방전하는 것은 배터리 사용 시간에서 차이가 발생한다. 그림 2는 같은 용량의 배터리에서 두 가지 다른 방전 형태인 지속적 방전 (continuous discharge)과 간헐적 방전 (intermittent discharge)을 비교한 그림으로, 동일한 전력량이 충전되어 있더라도 방전 형태에 따라 방전시간에서는 큰 차이를 보여주고 있다.[7][8]

배터리에서 지속적으로 전류를 끌어다 쓰는 경우에는 배터리 셀의 전압이 계속 낮아지지만, 시스템이 휴면 상태 (sleep mode)에 들어가서 배터리로부터 전류를 끌어 쓰지 않는 시간이 있는 경우에는 배터리의

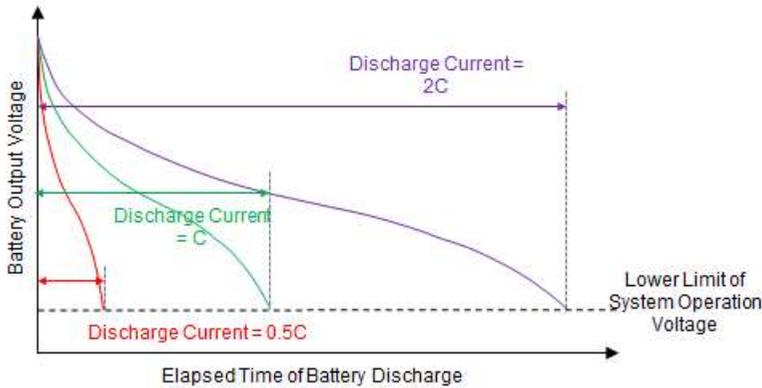


Fig. 1. Rate capacity effect (modified from [4]-[6])
 그림 1. 방전률 효과 ([4]-[6]에서 재구성)

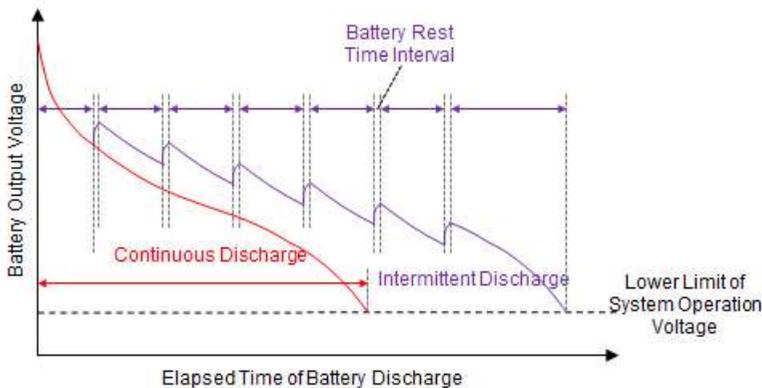


Fig. 2. Battery recovery effect (modified from [7][8])
 그림 2. 배터리 회복효과 ([7][8]에서 재구성)

출력 전압이 상승하여 결과적으로 배터리의 잔여 용량이 증가하게 되는데, 이를 배터리의 회복효과 (recovery effect)라고 한다. 회복효과가 발생하는 이유는 배터리에서 전류를 끌어쓰지 않는 휴지시간 동안에 전극에서 먼 전해질은 안정적으로 가까운 전해질 쪽으로 전자를 전달할 수 있게 되어 결과적으로 더 많은 전하를 배터리에서 끌어낼 수 있기 때문이다. 이와 같이 방전률 효과 및 회복효과는 배터리의 사용시간 및 배터리 사용시간 연장을 위한 중요한 특성임을 알 수 있다.

III. 회복효과를 이용한 배터리 교대 방전 기법

배터리에 저장된 전력량이 일정하더라도 시스템이 배터리에서 실제 끌어 쓸 수 있는 전력의 양은 배터리의 충·방전 조건 및 시스템의 동작 조건에 따라 달라진다. 따라서 배터리 방전특성을 활용하여 배터리 셀의 연결 상태를 제어하여 전력을 종합적으로 관리하면 높은 에너지 효율을 얻을 수 있다.

노트북이나 스마트패드의 경우, 기기의 전력 소모가 높고 사용자의 사용시간도 길기 때문에 2개 이상의 배터리 셀을 병렬로 연결하여 하나의 배터리 팩으로 묶어서 사용하는 경우가 많다. 만약 2개의 배터리 셀을 교대로 기기에 연결하여 하나는 기기의 전력 공

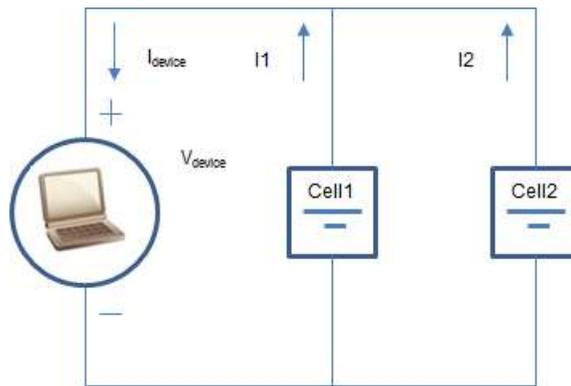


Fig. 3. Conventional parallel battery discharge method
 그림 3. 기존의 배터리 병렬 방전 기법

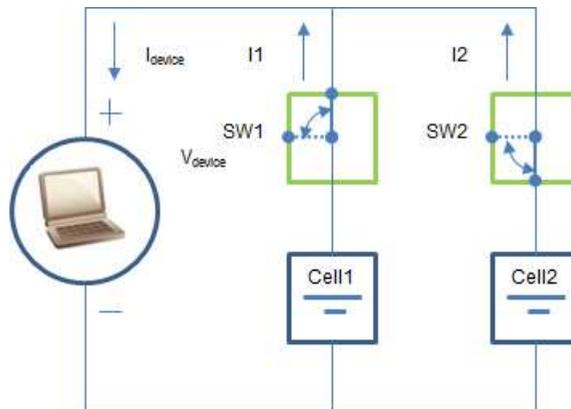


Fig. 4. Proposed alternating battery discharge method
 그림 4. 제안하는 배터리 교대 방전 기법

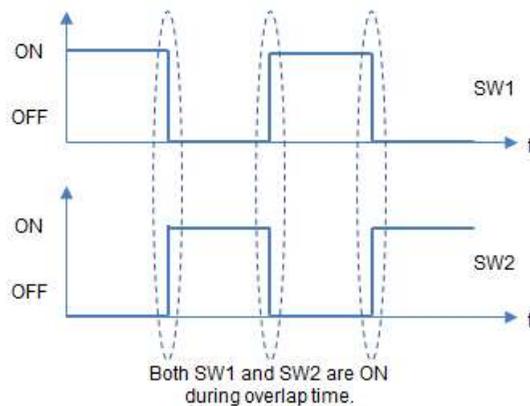


Fig. 5. Cell connection control for proposed alternating battery discharge method
 그림 5. 제안하는 배터리 교대 방전 기법을 위한 셀 연결 제어

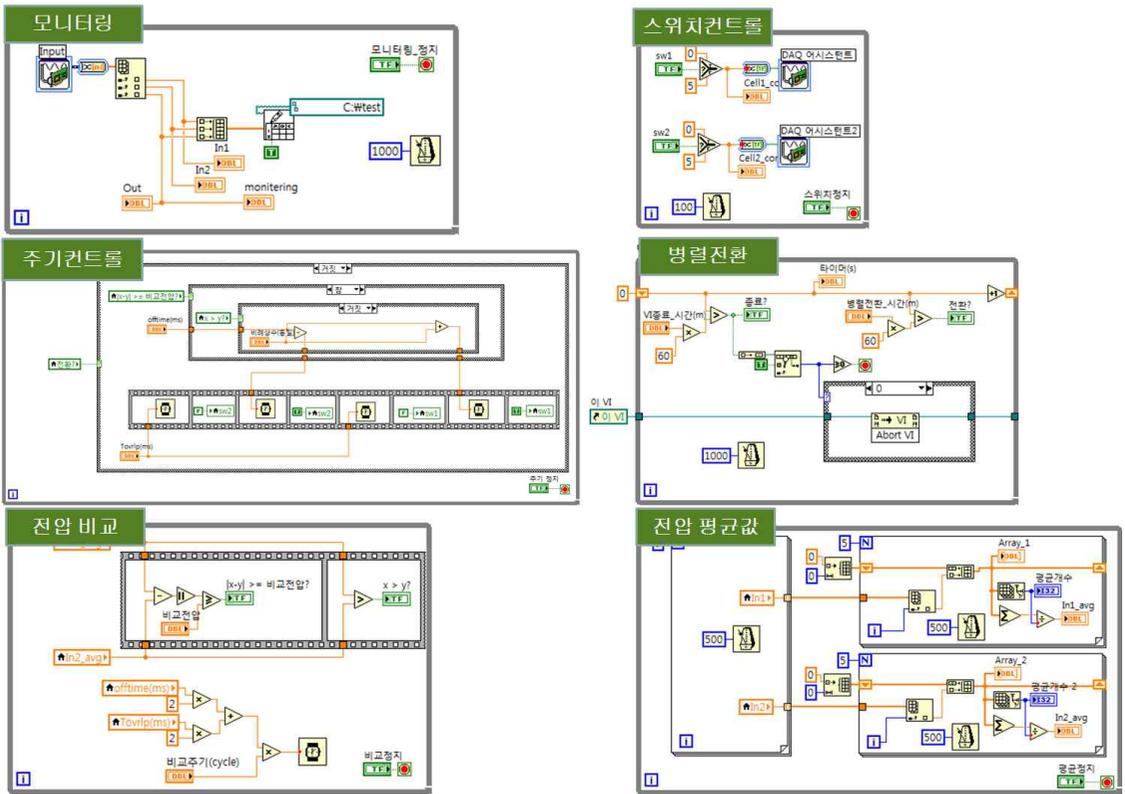


Fig. 6. Labview program configuration
 그림 6. 랩뷰 프로그램 구성

급을 담당하고 다른 하나는 쉬게 한다면 전력을 공급하는 배터리 셀에서는 방전을 효과에 의해 사용시간이 감소하며, 쉬고 있는 배터리 셀에서는 회복효과에 의해 사용시간이 증가한다. 이들 효과는 배터리의 사용시간에 서로 반대되는 효과를 미치지만 일반적으로 방전률 효과보다 회복효과가 더 큰 영향을 미치기 때문에 전체적으로는 배터리의 사용 시간이 늘어난다. 이것이 본 논문에서 제안하는 배터리 교대 방전 기법의 원리이다.

일반적으로 2개의 배터리 셀을 사용하는 배터리 팩에서는 그림 3과 같이 배터리 셀을 병렬로 연결하여 사용한다. 이에 반하여 본 논문에 제안한 배터리 교대 방전 기법에서는 그림 4와 같이 배터리 팩 내부에서 2개의 배터리 셀이 병렬로 부하와 연결되어 있고 각 배터리는 그림 5와 같이 부하와 연결되어 전력을 교대로 공급하게 된다. 셀1과 셀2는 번갈아가며 부하에 전력을 공급한다. 셀1이 활성 상태 (active state) 일 때 셀2는 휴지 상태 (sleep state)가 된다. 즉, 셀1

이 부하에 전력을 공급할 때 셀2는 부하와 연결 상태가 끊어진 상태로 회복효과가 일어난다. 마찬가지로 셀1이 휴지 상태가 되면 셀2가 활성 상태가 되어 셀1은 회복효과가 일어난다. 부하의 전력 공급이 끊기지 않기 위해서는 전력 공급이 셀1과 셀2 사이에서 바뀌는 시간 동안에 둘 다 ON이 되도록 중복기간 (overlap point)을 주어야 한다. 이 기간이 너무 짧으면 부하에 안정적으로 전력을 공급하지 못하게 되고, 이 기간이 너무 길면 배터리 사용시간의 개선 효율이 떨어진다. 따라서 부하가 안정적으로 동작할 수 있는 범위 내에서 중복기간을 최대한 짧게 하여야 한다.

IV. 실험 환경 구성 및 측정 결과

1. 실험 환경 구성

본 논문에서는 제안하는 기법의 배터리 사용 시간 개선 효과를 측정하기 위해 그림 6과 같이 랩뷰로 실

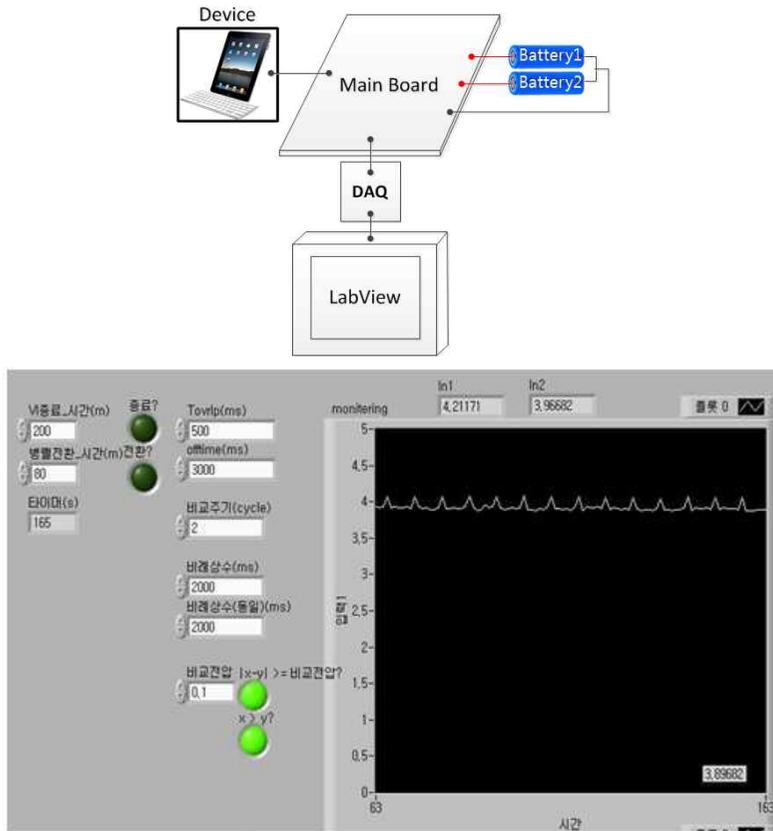


Fig. 7. Measurement environment configuration
 그림 7. 측정 환경 구성

험 소프트웨어를 구성하였다. 랩뷰는 그래픽 기반 프로그래밍 언어로서 기존의 프로그래밍 언어보다 유연하게 테스트, 측정 및 제어 어플리케이션을 신속히 작성할 수 있는 개발 환경이다. 또한 랩뷰를 통해 실제 신호와 인터페이스하고 데이터를 분석 할 수 있다. 실험 소프트웨어는 그림 5와 같이 모니터링부, 주기컨트롤부, 전압 비교부, 스위치 컨트롤부, 병렬전환부, 전압 평균값 계산부로 구성하였다.

모니터링 부는 입력 전압값과 스위칭되어 출력되는 출력 전압 값을 실시간으로 모니터링해주고 수집된 데이터 값을 저장하는 기능으로 구성하였다. 전압 비교부는 실시간으로 전압을 비교하여 다중 셀의 전압 값을 서로 비교하도록 구성하였다. 스위치 컨트롤부는 배터리의 연결상태를 제어하고 모니터링 함으로서 현재 어느 셀이 디바이스와 연결되어 있는지 확인할 수 있도록 구성하였다. 전압 평균값 계산부는 다수의 셀로 구성되어있는 배터리를 실시간으로 모니터링 함

으로써 방전 및 충전 전압 값이 비정상적으로 변동이 있을 경우를 체크하기 위한 기능을 가지고 있다. 병렬전환부는 다수의 배터리 셀을 교대방전 하다가 병렬로 전환하여 방전할 수 있도록 하는 기능을 가지고 있다.

그림 7은 실험환경 구성으로 다수의 배터리 셀로부터 교대로 전력을 공급받는 부하 (iPAD), 배터리 연결 상태를 제어하는 보드, 연결상태에 따라 교대로 방전되는 다수의 배터리 셀, 배터리 셀을 실시간으로 측정 및 수집할 수 있는 하드웨어 장치인 DAQ 그리고 측정된 데이터를 실시간으로 모니터링하기 위한 PC로 구성이 되어있다.

2. 측정 결과

그림 8은 병렬방전과 교대방전에 따른 배터리 사용시간을 측정하여 비교한 그래프이다. 본 논문에서는

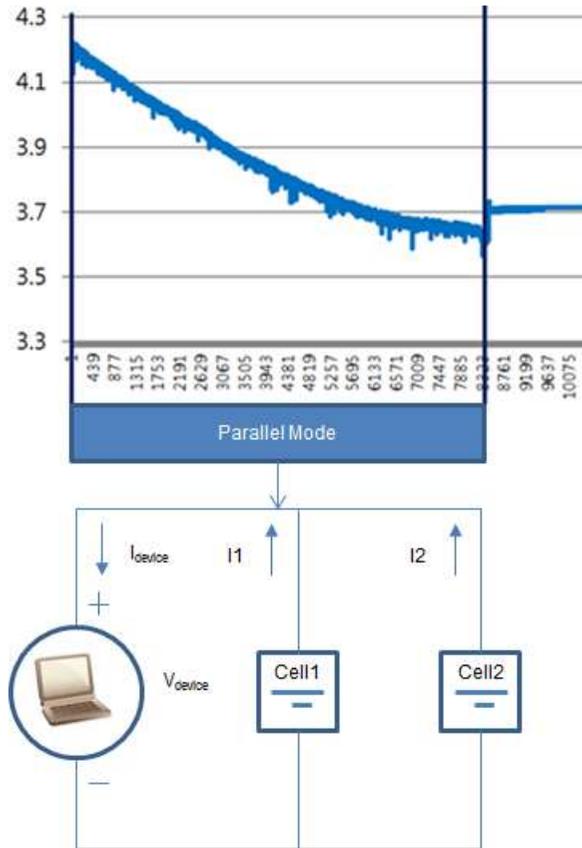


Fig. 8. Measurement results of conventional parallel discharge method
 그림 8. 기존 병렬방전 기법의 측정 결과

750 mAh Li-ion 배터리 2개를 배터리 셀로 사용하였다. 사용된 부하인 아이패드의 경우 750 mAh Li-ion 배터리를 완전충전 하였을 때 전압이 약 4.2V이고 아이패드와 연결하여 실험한 결과 약 3.3V이하에서는 시스템이 동작을 하지 못하였으므로, 공급 전압의 유효범위는 4.2V에서 3.3V정도로 확인 되었다.

기존 방식대로 2개의 배터리를 병렬로 연결을 고정하여 시스템에 전력을 공급하는 방식으로 실험했을 때의 배터리 사용시간은 그림 8과 같다. 그림 9는 제안하는 방법으로, 충전량이 안정적으로 충분히 있어 회복효과가 잘 일어나는 시점까지는 교대로 방전하고 회복효과가 약한 시점부터는 병렬로 방전하여 실험했을 때의 배터리 사용시간이다. 4번의 측정 결과는 표 1과 같다. 기존의 병렬 방전 기법에서 배터리 사용시간의 평균값은 9733초로 측정되었고 제안하는 배터리 교대 방전 기법에서 배터리 사용시간의 평균값은

10418초로 측정되었다. 따라서 배터리 셀을 교대로 방전하는 것만으로도 7%의 사용시간 연장을 얻을 수 있었다.

Table 1. Measurement results of battery lifetime
 표 1. 배터리 사용시간 측정 결과

실험	기존 기법	제안 기법
#1	9707초	10178초
#2	9689초	10367초
#3	9667초	9935초
#4	9869초	11194초
평균	9733초	10418초
개선률	-	7.04%

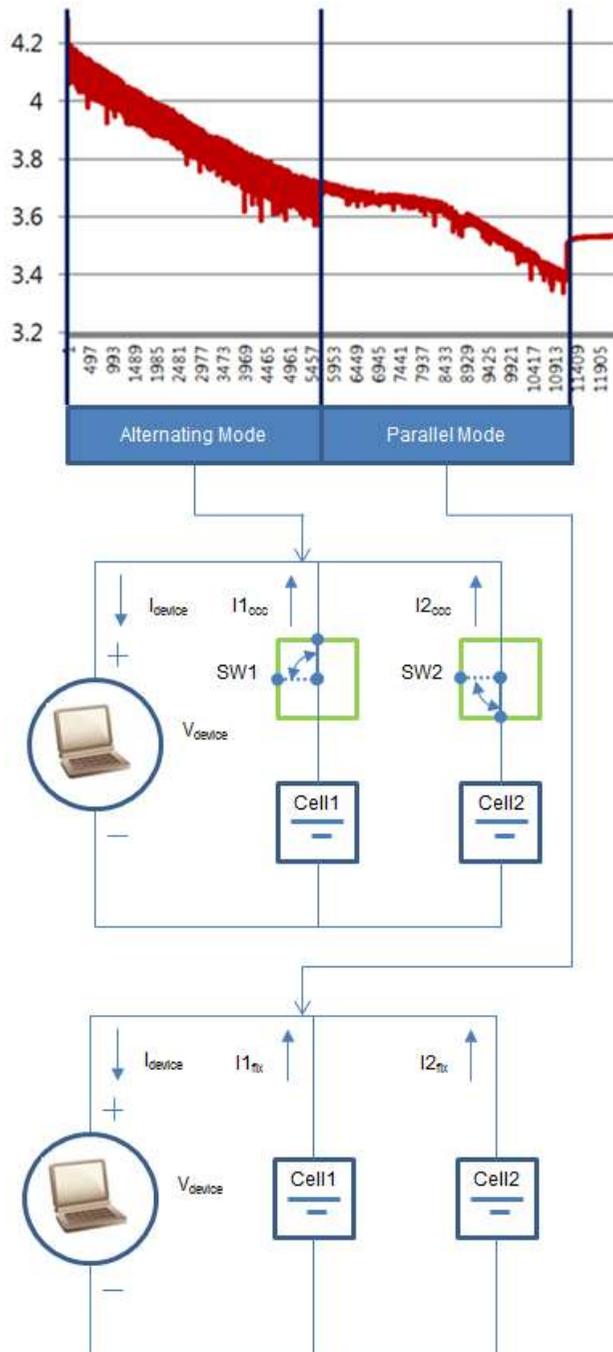


Fig. 9. Measurement results of conventional parallel discharge (b) proposed alternate discharge
 그림 9. 제안하는 교대방전 기법의 측정 결과

제안하는 방법으로 실험하는 과정에서는 배터리 셀을 교대로 방전하다가 중간에 병렬로 연결을 고정하여 방전하는 부분이 있다. 이는 배터리의 화학적 특성에 의해 충전량이 많을수록 배터리가 안정화되기 때문에 완전충전 상태에서는 배터리 회복효과가 잘 일어나지만 전압이 어느 정도 떨어진 시점에서는 회복효과가 약해지기 때문이다. 이러한 특성 때문에 배터리 셀을 계속적으로 교대로 방전하는 것보다 회복효과가 약한 시점부터는 병렬로 연결하여 실험하는 것이 효과적이다.

V. 결론

본 논문에서는 스마트 기기의 배터리 사용 시간 연장을 위해 여러 개의 배터리 셀을 교대로 방전하는 기법을 제안하였다. 2개의 배터리 셀을 교대로 기기에 연결하여 하나는 기기의 전력 공급을 담당하고 다른 하나는 쉬게 한다면 전력을 공급하는 배터리 셀은 배터리 사용시간이 감소하며, 쉬고 있는 배터리 셀에서는 사용시간이 증가한다. 일반적으로 전력을 공급하는 배터리 셀의 사용시간 감소보다 쉬고 있는 배터리 셀의 사용시간 증가가 더 크기 때문에 전체적으로는 배터리의 사용 시간이 늘어난다.

제안하는 기법은 배터리의 전력 용량 자체를 늘리지는 않지만 배터리의 방전 방식만을 바꿈으로서 배터리의 사용 시간을 연장하며, 실제로 배터리 내부 물질의 변화 없이도 배터리의 전력 용량을 늘리는 효과를 가져온다고 볼 수 있다. 배터리 사용시간에 중요한 영향을 미치는 배터리 방전 특성인 회복효과를 이용하여 배터리 셀의 연결 상태를 제어하고 교대로 부하와 연결되어 방전시켜 실험한 결과, 기존의 방법인 병렬로 고정으로 연결하여 방전할 때의 배터리 사용시간보다 약 7%가 증가하였음을 확인하였다.

References

- [1] C. Park, K. Jang, S. Woo, and J. Choi, "Design of a High-Resolution Integrating Sigma-Delta ADC for Battery Capacity Measurement", Journal of IKEEE, vol. 16, no. 1, pp. 28-33, Jan. 2012.
- [2] C. Yim, J. Kim, and S. Park, "Synchronous Buck Converter with High Efficiency and Low Ripple Voltage for Mobile Applications", Journal of IKEEE, vol. 15, no. 4, pp. 319-323, Dec. 2011
- [3] J. Nam, J. Choi, J. Baek, and H. Hwang, "A Study on Cell Equalizing of Secondary Battery",

Proceeding of Power Electronics Annual Conference, pp. 143-145, Nov. 2006.

[4] R. Rao, S. Vrudhula, and D. Rakhmatov, "Battery Models for Energy Aware System Design", IEEE Computer, vol. 36, pp. 1019-1030, Dec. 2003.

[5] M. Doyle, and J. Newman, "Analysis of Capacity-Rate Data for Lithium Batteries Using Simplified Models of the Discharge Process", Journal of Applied Electrochemistry, vol. 27, no. 7, pp. 846-856, Jul. 1997.

[6] F. Qin, M. H. Wahab, Y. Wang, and Y. Yang, "Battery Recovery Aware Sensor Networks", Proceedings of Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks, pp. 203-211, 2009.

[7] Y. Jang and S. Lee, "Battery Lifetime Enhancement Technology Using Recovery Effect", Journal of IEEK, vol. 48, no. 6, pp. 316-321, Jun. 2011.

[8] T. Martin, "Balancing Batteries, Power, and Performance: System Issues in CPU Speed-Setting for Mobile Computing", PhD Thesis, Carnegie Mellon University, 1999.

BIOGRAPHY

Jong-Bae Lee (Student Member)



2011 : BS degree in Electronic Engineering, Hanseo University.
 2014 : MS degree in Electronic Engineering, Soongsil University.
 2014~Now : Ph.D candidate in Electronic Engineering, Soongsil University

<Main Interest> HEVC, Low-Power SoC Design, Multimedia SoC Design, Battery Management

Seongsoo Lee (Life Member)

1991 : BS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.

1993 : MS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.

1998 : PhD degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1998~2000 : Research Associate, University of Tokyo

2000~2002 : Research Professor, Ewha Womans University

2002~Now : Associate Professor in School of Electronic Engineering, Soongsil University

<Main Interest> HEVC, Low-Power SoC Design, Multimedia SoC Design, Battery Management