

## EDLC를 이용한 스마트폰의 배터리 교환 시 연속적 전원 공급에 관한 연구

(A Study of Seamless Power Supply using EDLC on Battery Change of Smartphone)

최상훈\* · 이용성\*\*

(Sang-Hun Choi · Yong-Sung Lee)

### Abstract

Certainly, we are living in a true mobile society. At the end of 2014, approximately 40million 560thousand people are subscribed to smartphone services in Korea, using more than 2000MB of mobile data per a person. The use of smartphone is expected to increase. Moreover, smartphone moves toward becoming a requisite for modern people. Under the circumstances, high-speed communication services such as LTE provide high quality services anywhere and anytime and, furthermore, the development of high performances of the application makes the life patterns of modern people link directly to smartphone. Almost every day, new creative services are being introduced and the demands of on-line streaming services such as high-performance game and YouTube are increasing day after day. However, although smartphones are getting smarter and high quality services are rapidly growing, consumers still complain about the insufficient usage time caused by the capacity of batteries. In order to solve this problem, this thesis suggests EDLC(Electric Double-Layer Capacitor) uses as a supplemental power supply to keep the continuity of work while switching batteries. Through this approach, the running time of smartphone becomes longer as the number of batteries without power off and the purpose of this study is to maximize the convenience of using smartphone by eliminating the initialization of memories and the loss of time of rebooting while batteries are switched.

Key Words : EDLC, PFM Booster, Continuous Power Supply, smartphone, Bootless

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

바야흐로 스마트폰 시대다. 국내에서는 2009년 11월 미국 애플사의 아이폰 보급을 시작으로 2014년 말 기준 약 4056만 명 정도가 스마트폰에 가입하고 있으며,

---

\* Main author : Senior Engineer at Pantech  
\*\* Corresponding author : Professor, Dept. of Smart Electronic, Namincheon Campus of Korea Polytechnic  
Tel : 032-650-6654, Fax : 032-650-6659  
E-mail : ohmpalos@kopo.ac.kr  
Received : 2015. 9. 7.  
Accepted : 2015. 10. 21.

가입자 1인당 무려 2000MB 이상의 데이터를 사용하고 있다[1]. 또한 이러한 추세는 앞으로 더욱 더 증가할 전망이다. 하지만 대부분의 스마트폰 성능이 소비자가 만족할 수준까지 도달했지만 소비자들은 여전히 스마트폰에 불만을 제기하고 있으며, 그 중 가장 주요한 부분은 사용시간이 차지하고 있다. 하지만 문제는 사용 시간이 부족한 가장 큰 이유가 스마트폰에 적용할 수 있는 배터리 용량의 물리적 한계가 있다는 데 있다. 이는 배터리 용량의 증가 속도가 다른 성능의 개선 속도에 비해 현격히 떨어짐으로써 나타나는 현상이며 이로 인해 스마트폰의 제한된 크기에서는 용량 확대가 사실상 어렵기 때문이다[2]. 따라서 사용 시간의 한계를 극복하기 위해서는 오직 신규배터리로 교체하는 것 외에는 특별한 다른 방법이 있을 수 없다. 물론 외장형 보조배터리(에너지 뱅크)를 이용하는 방법이 있으나 이는 휴대성이 급격히 떨어지는 단점이 있다. 그러나 스마트폰의 배터리를 교체하게 될 경우에는 어쩔 수 없이 스마트폰의 전원이 제거되었다가 다시 공급되므로 부득이 하게 부팅과 단말기 초기화 과정을 진행하게 된다. 이로 인해 사용자는 부팅으로 인한 시간적 손실과 함께 모든 어플리케이션을 다시 시작해야 하므로 작업의 연속성이 저하되는 문제가 발생한다.

## 1.2 연구의 목적 및 방법

이와 같은 불편함을 해소하고자 본 연구는 EDLC(Electric Double Layer Capacitor)와 PFM(Pulse Frequency Modulation) Booster로 구성되는 전원유지회로를 이용한 접근 방법을 제안한다. 일단 배터리 교체 행위가 시작되면 EDLC의 필요 용량을 최소화하기 위하여, 기기의 소모전류를 최소화하는 과정을 거친다. 이후 EDLC와 PFM Booster로 구성되는 출력안정화 회로를 통해서 배터리가 제거된 상태에서도 시스템에 안정된 전원을 공급할 수 있도록 전원 유지회로를 동작시킨다. 이 후 배터리 교체 행위를 통한 신규 배터리로의 교체가 이루어지면 사용자 모드로 돌아간 후 모든 상황을 종료한다. 이러한 과정을 통해서 전원 꺼짐 없이 배터리 수만큼 스마트폰 사용 시간을

늘릴 수 있으며 배터리 교체 시 부득이 하게 겪어야 하는 메모리 초기화 및 부팅과정에서 발생하는 시간 손실을 제거함으로써 사용자 편의성을 극대화할 수가 있다. 본 연구는 EDLC를 이용한 연속적 전원 공급 방법에 대해서 제안한 후, 시뮬레이션을 통해 회로의 특성을 분석하고 이를 실제 제작하여 성능을 검증하였다. 이를 통해 스마트폰에 실장이 가능한 크기와 용량을 가진 EDLC를 이용해서 20초 이상의 전원유지 시간을 보장할 수 있는 방법을 제안한다.

## 2. 본 론

### 2.1 연속적 전원 공급 방안

본 연구에서 제안하는 연속적 전원 공급 구성은 그림 1과 같다. 그림 1은 전원유지회로의 전체적인 동작을 이해하기 쉽게 하기 위한 목적으로 LDO(Low Dropout Regulator)를 이용하여 구성하고 있지만, LDO를 PFM 방식으로 변경하여도 구성상에는 큰 차이가 없다. 그림 1에 제시된 LDO 회로는 패스소자가 NPN 트랜지스터와 PNP 트랜지스터로 구성된 달링턴 구조의 LDO로서 일반적으로 하나의 트랜지스터를 사용하는 LDO에 비해 낮은 드랍아웃 전압을 가진다 [3-4]. 이 회로 구성은 교체기간 중에 필요한 보조저장장치(Sub)를 입력전원 소스로 하는 LDO의 출력 단자를 스마트폰에 전원을 공급하는 배터리 단자와 연결시키는데 그 특징이 있다. LDO의 출력 단자와 주 배터리(Main Battery)전원이 같이 묶여 있으므로 주 배터리의 전압이 변화할 경우 LDO의 출력 전압은 이를 동일하게 반영하여 변화하게 된다. 따라서 LDO 내부의 제어회로는 시스템 전원전압 자체를 자신이 제어해야 할 대상으로 인식하여 시스템 전압( $V_{out}$ )을 일정하게 유지 시키는 동작을 하게 된다. 또한 LDO 내부 패스소자의 단방향 전달특성으로 인해 LDO 출력에 높은 전압이 존재하더라도 LDO 내부로 역류될 가능성은 없다[4].

본 연구를 위해서는 먼저 스마트폰에 사용되고 있는 배터리의 특성을 알아 볼 필요가 있다. 그림 2는 0.12Ah의 용량을 가진 C/LiCoO<sub>2</sub> polymer Li-ion 배

터리의 방전속도(Discharge Rate)에 따른 전압특성 보여주고 있다[5]. 휴대폰의 경우 기존에는 대부분 C/2의 충전 및 방전 속도를 필요로 하였으나 스마트폰으로 진화하면서 사용 전류의 증가로 인하여 현재는 1.0C의 충전 및 방전 속도의 성능이 요구되고 있다 [6]. 또한 그림 2에서 볼 수 있듯이 스마트폰이 요구하는 방전속도 영역에서의 배터리 전압은 방전속도와 상관없이 3.5V 이하에서는 전압이 급격하게 낮아지는 특성을 가지고 있으므로, 대부분 스마트폰은 3.3V~3.5V 구간에서 전원이 꺼지게 된다. 따라서 본 기능을 안정적으로 구현하기 위해서는 스마트폰의 배터리 특성을 고려한 LDO의 출력전압 설정이 매우 중요하다.

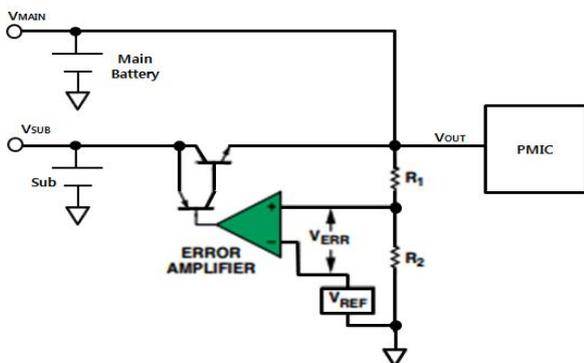


Fig. 1. Seamless power supply system with LDO

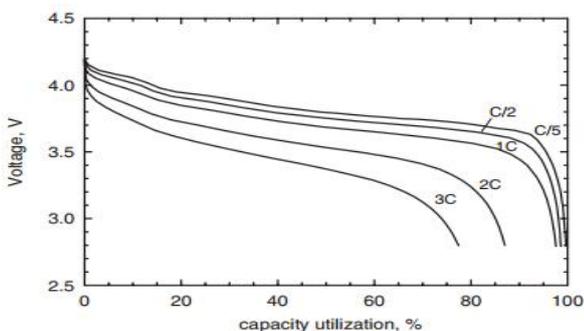


Fig. 2. Discharge rate capability of a 0.12Ah C/LiCoO<sub>2</sub> polymer Li-ion battery at 3C to 0.2C rates, at 21°C

첫째, 출력 전압의 설정 값은 스마트폰이 필요로 하는 모든 사용 구간을 만족 시킬 수 있는 레벨로 결정해야 한다. 따라서 레귤레이터의 출력전압은 무조건 스마트폰의 파워오프(Power Off) 전압보다는 낮아야

한다.

둘째, 시스템의 내부의 안정성을 보장할 수 있도록 LDO의 출력전압은 스마트폰의 전원시스템을 관장하는 PMIC(Power Management IC)가 요구하는 UVLO(Under Voltage Locked Out)보다 높아야 한다. 만약 설정값이 PMIC가 요구하는 UVLO 레벨보다 낮을 경우에는 PMIC가 부득이하게 시스템을 리셋시키는 상황이 발생하므로 각별한 주의가 필요하다.

그림 3은 본 연구에서 사용한 배터리 교체과정에 따른 시스템 공급 전압 변화와 각종 설정 값들을 보여준다. 시스템 전압(Vout) 변화를 보면 알 수 있듯이 일반적인 상황에서는 기존배터리(Old Main Battery)가 전원을 공급한다. 그러나 기존 배터리가 소진되어 새로운 배터리(New Main Battery)로 교체를 해야 할 상황이 발생하면 EDLC가 전원역할을 하여 배터리 제거 구간에서 시스템 전원을 유지시킨다. 그리고 새 배터리로 교체가 이루어지면 정상상태로 돌아가게 된다. 본 연구에서는 스마트폰 배터리 사용범위를 3.5V~4.2V, PMIC의 UVLO를 2.6V로 전제하여 접근하였으며, 레귤레이터의 출력전압은 위 두 가지 조건을 모두 만족하는 영역인 3.0V~3.3V 내외로 설정하였다.

더불어 그림 1과 같은 전원유지회로를 안정적으로 구성하기 위해서는 각 부품의 요구 동작 조건 또한 모두 만족할 수 있어야 한다. 특히 EDLC는 에너지용량이 크고 신뢰성이 높은 장점이 있는 반면, 내압이 2.5V~2.7V로 낮아 사용범위에 제약이 많은 특성이 있다 [7]. 그러므로 EDLC를 사용하여 전원유지회로를 구성할 경우에는 레귤레이터의 입력전압이 출력전압보다 낮은 형태가 되므로 Boosting 기능이 가능한 스위칭 레귤레이터의 사용이 반드시 필요하다.

본 연구는 스마트폰 대상으로 접근하고 있으므로, 본 연구의 결과물이 스마트폰에 내장이 가능한 크기가 되는 것이 중요한 요소이며 이를 만족하기 위해서는 시스템의 소모전류를 줄여 EDLC의 크기를 최소화할 수 있는 작업이 필수적으로 필요하다. 이를 위하여 본 연구는 교체 모드 진행 시 스마트폰을 “비행모드”로 전환하는 것을 적용하였고 전원유지회로의 레귤레이터는 Boosting 기능이 가능하면서 낮은 동작 전류가 특징인 PFM 방식을 적용하였다[8]. 참고로 2014년

출시되었으며 Qualcomm의 Snapdragon801이 적용된 베가아이언2의 경우 “비행모드” 진입 시 2.8mA정도의 전류소모가 관측되었으며, 향후에는 AP의 저 전력화로 인해 더 작은 전류가 소모될 것으로 예상된다. 더불어 배터리 교체 행위에 필요한 최소 전원 유지 시간은 일반 사용자의 배터리 교체 행위를 충분히 보장할 수 있도록 20초 이상으로 결정하여 연구를 진행하였다.

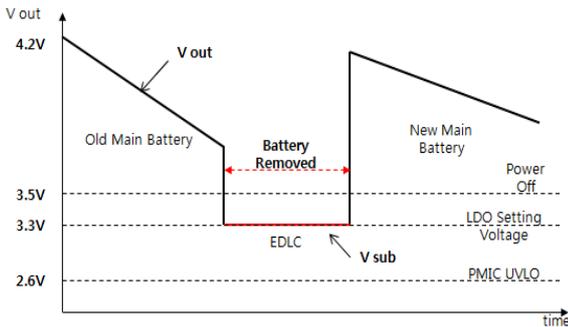


Fig. 3. System voltage( $V_{out}$ ) flow along with input sources

전체적인 회로 동작은 다음과 같이 이루어진다. 사용자가 특정 사유로 인하여 배터리 교체 모드 진입할 경우, AP(Application Processor)는 보조전원장치의 레귤레이터를 Enable 시켜 교체 모드를 시작한다. 아직 배터리를 교체하기 전인 정상상태이기 때문에, 레귤레이터의 출력전압이 입력전압보다 높아( $V_{sub} < V_{out}$ ) 레귤레이터 내부의 제어상태와 관계없이 시스템 방향으로 전류가 흐르지 않게 되어 보조전원장치가 완벽하게 분리된 상태가 된다. 따라서 단말에 전원 공급은 정상적으로 주 배터리(Main Battery)에 의해서만 이루어진다. 그 이후 교체 모드 진입으로 인해 배터리가 제거되면 시스템 전압의 급격한 강하가 발생하고 어느 순간 레귤레이터의 출력 설정 전압보다 낮아지게 되면( $V_{sub} > V_{out}$ ) 이를 감지한 레귤레이터 내부의 오차 증폭기는 패스 소자를 빠르게 동작시켜 출력전압을 설정전압레벨로 유지시키는 동작을 한다. 이 지점 부터는 EDLC가 시스템의 전원을 공급하게 되며 배터리는 제거되었지만 스마트폰은 보조 전원으로 부터 에너지를 공급받아 살아있는 상태가 된다.

이 후 다시 신규 배터리가 삽입되어 설정 전압( $V_{out}$ ) 보다 큰 시스템 전압이 존재하게 되면 패스 소자가 동작하지 않게 되므로( $V_{sub} < V_{out}$ ) 입력의 보조전원장치가 시스템으로부터 분리되어 주 배터리가 시스템에 전원을 공급하게 된다. 이러한 과정 통해서 배터리 교체의 모든 과정이 ‘전원 꺼짐’ 없이 수행되게 되고 사용자는 전원 단절 없이 연속적으로 기기를 사용할 수 있게 된다.

## 2.2 연속적 전원 공급 시뮬레이션

PFM Booster를 이용한 배터리 교체 모드의 적합성을 검증하기 위하여 LTSPICE를 이용해 그림 4와 같이 구성하여 시뮬레이션을 해보았다. 시뮬레이션에 사용한 레귤레이터는 Linear Technology Corporation의 범용 Buck-Boost DC/DC 컨버터인 LT3536을 사용하였다[9]. LT3536은 입력 전압이 1.8V~5.5V로 넓어 낮은 입력에서도 충분한 동작이 가능하고 자유롭게 출력전압 설정이 가능하며, PFM 모드를 지원하여 낮은 전류 부하에도 대응이 가능한 부품이다. 간략하게 시뮬레이션 조건을 기술하면 표 1와 같다.

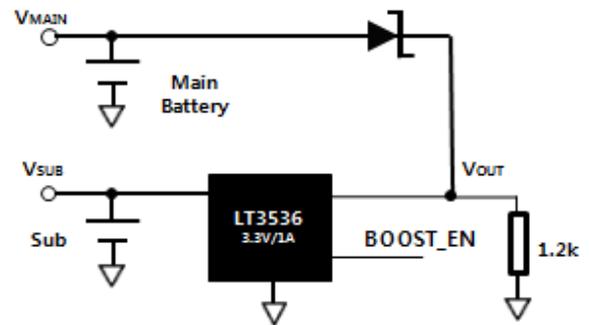


Fig. 4. Simulation block diagram

우선 시스템 배터리 전압은 일반적인 스마트폰에서 사용하고 있는 4.2V~3.5V의 구간으로 하였고 EDLC 보조저장장치는 상용 EDLC의 낮은 입력 전압을 감안하여 2.5V로 그리고 LT3536의 출력전압은 3.3V로 설정하였다. 또한 시스템에서 소모하는 로드 전류는 스마트폰 비행모드의 소모전류를 반영하여 2.7mA로 설

정하였다. 그림 4의 주 배터리에 적용된 쇼트키 다이오드의 경우에는 배터리 제거 상태를 인위적으로 만들기 위해 적용한 것이므로, 단지 시뮬레이션목적으로만 의미가 있기 때문에 실적용 시에는 고려하지 않아도 된다.

Table 1. Simulation setting

Spec.	Setting	Remarks
Main Battery	Li-ion Battery (Typ. 3.8V)	Operation Range : 4.2V ~ 3.5V
Sub	EDLC	0.2F / 2.7V
Output Voltage	3.3V	LT3536 설정 값
EDLC Voltage	2.5V	EDLC charging Voltage
Load Current	2.7mA	Airplane mode current(2.5~3.5mA)

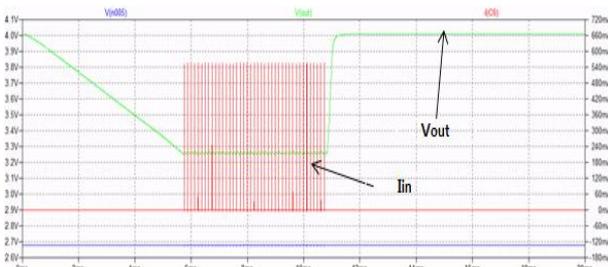


Fig. 5. System power transient by changing a new battery

EDLC를 이용한 시뮬레이션 결과는 그림 5와 같다. 이를 요약하면 BOOST\_EN에 신호를 인가한 후의 시스템 전압(Vout)의 변화를 보면 초기 주 배터리(Main Battery)가 있는 경우에는, 배터리 전압이 LT3536 출력 설정 전압 보다 높아 시스템전압은 보조전원장치와 상관없이 주 배터리에서 공급받고 있음을 알 수 있으며, 배터리를 제거하여, 시스템 전압이 급격히 떨어질 때에도 LT3536의 출력전압 안정화 역할로 인해 설정전압인 3.3V로 유지됨을 알 수가 있다. 이후 신규 배터리 교체가 이루어지면 다시 시스템 전압이 주 배터리로 부터 공급 받아 정상동작 상태로 돌아오므로써 배터리 교체 과정을 모두 안정적으로 완료된다. 특히 그림 5의 입력전류 소모 패턴을 보면 배터리가 제거되어 시스템 전압이 출력설정 값 이하로 낮아 졌을

경우에만 PFM 동작으로 인한 전류가 소모되며 EDLC가 시스템의 전원이 되고 있다는 것이 확인할 수 있다. LT3536은 PFM 모드에서 평균 약 5.6mA정도 소모되는 것으로 예측되었으며 0.2F의 용량의 EDLC를 사용할 경우 25초 정도의 유지 시간을 얻을 수 있을 것이라 예상된다.

### 2.3 연속적 전원 유지 실험 결과

상기 시뮬레이션 결과를 바탕으로 그림 6과 같이 구성하여 실험을 해보았다. PFM Booster는 수급상의 용이함으로 인해 Intersil의 ISL9110A으로 대체하여 사용하여 실험하였다.



Fig. 6. ISL9110A test board

ISL9110A는 1.2A 출력이 가능한 고효율 Buck-Boost 레귤레이터로서 외부 핀 선택을 통해 PWM과 PFM 모드를 선택하여 사용할 수 있다[10]. 물론 실험은 PFM모드만 필요로 하므로 PFM 모드로 핀을 선택하여 실험을 진행하였다. 또한 ISL9110A는 최저 1.8V 이상의 입력에서 동작할 수가 있어 내압이 2.7V인 EDLC를 보조 입력장치로 사용할 경우 2.5V 충전 시 1.8V까지 사용이 가능하므로 최소 0.7V 정도의 구간 용량을 전원 유지를 위하여 사용할 수 있다. 실험상 편의를 위하여 ISL9110A의 출력 전압은 3.3V로 설정하였고, 시스템 전류는 최근 스마트폰의 “비행모드” 시 소모되는 전류를 반영하여 2.7mA로 결정하여 실험하였다. 상기시뮬레이션 조건과 비교 시 PFM Boost Chip만 바뀌었을 뿐 대부분 조건은 동일하다고 할 수 있다.

그림 7은 배터리 교체의 모든 과정의 상태를 전체적으로 보여준다. 우선 정상상태(ISL9110A가 disable)에 있을 때는 기존 배터리(Old Battery)가 시스템에 전원(Vout)을 공급하다가, 사용자가 배터리 교체를 위하여 교체모드를 진입하게 되면(BOOST\_EN을 'High') 시스템 전원은 주 배터리(Old Battery)와 보조저장장치(EDLC)로부터 공급되는 ISL9110A의 출력전압 중 높은 전압을 가진 Source에 의해 결정된다. 따라서 그림과 같이 배터리 교체가 진행되더라도 최소 ISL9110A의 출력 레벨 이하로는 내려가지 않는 것을 볼 수가 있다.

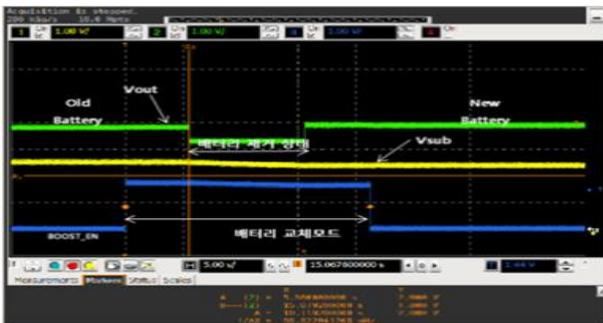


Fig. 7. System power flow at battery changing mode

### 2.4 EDLC 필요 용량

본 실험을 통해 배터리 교체 과정에 있어서 전체적인 동작이 안정적으로 이루어지는 것을 확인할 수 있었으며, 교체 기간 중 전체 소모전류는 평균 약 5.0mA 정도로 실측되었다. EDLC는 전하량과 전압이 선형적인 관계를 가지고 있으므로, EDLC의 내압을 감안한 입력 전압 구간을 설정하여 전원 유지 시간을 계산하면 그림 8과 같이 예상할 수 있다.

그림 8의 그래프는 레귤레이터로 ISL9110A를 사용시 EDLC 용량 편차를 고려한 전원 유지시간을 보여준다. 본 연구가 요구하는 20초 이상으로 전원을 유지시키기 위해서는 약 0.2F 이상의 EDLC만 있으면 된다는 것을 알 수가 있으며, 이 정도 용량의 EDLC는 모바일 기기에 실장 가능한 수준이므로 고무적인 결과라고 할 수 있다.

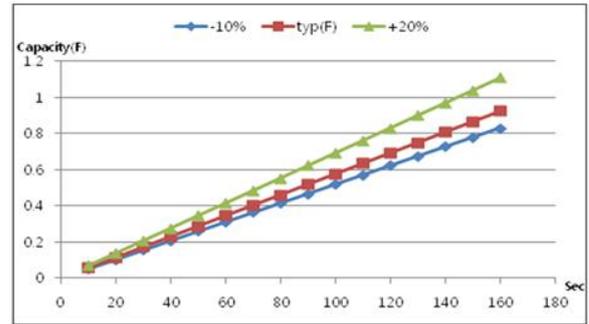


Fig. 8. EDLC Capacity Vs. Power suspending time

### 3. 결 론

본 연구를 통해서 0.2F 이상의 EDLC와 PFM Booster로 구성된 보조전원장치를 이용하여 전원회로를 구성하고 스마트폰의 “비행모드”를 이용하여 사용전류를 최소화할 경우 배터리를 교체함에도 불구하고 20초 이상 전원 꺼짐이 없는 상태로 유지됨을 확인할 수 있었다. 이렇게 할 경우 사용자는 배터리 보유 수만큼 연속적으로 스마트폰의 사용이 가능하게 된다. 특히 주의할 점은 그림 9, 그림 10과 같이 사용자 사용환경, 어플리케이션등 여러 가지 상황에 따라 “비행모드” 설정 후 최소전류로의 진입 시간이 달라지므로 안정적인 교체 진행을 위해서는 충분히 기기가 “비행모드”로 들어갔는지 확인을 할 수 있어야 한다.

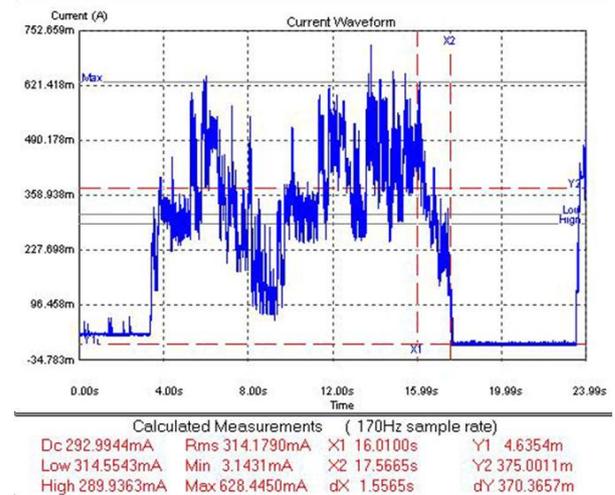


Fig. 9. Entering time to the airplane mode in idle mode(1.5sec)

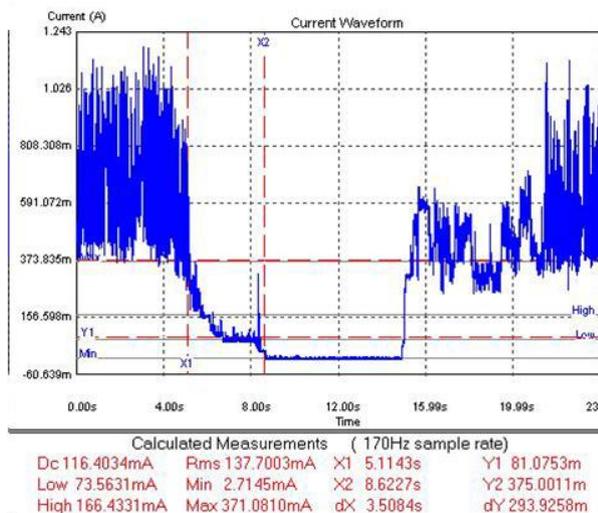


Fig. 10. Entering time to the airplane mode on gaming(3.5sec)

무엇보다도 배터리가 제거되기 직전까지는 기기가 반드시 최소전류모드로 들어 가야하므로, 배터리 교체를 위한 물리적 소요 시간(커버 분리, 배터리 분리 등)이 최소 전류모드로 진입하는 시간보다는 반드시 길어야 한다. 따라서 이 최소전류모드로의 진입완료를 보장하기 위한 방법에 대한 추가적 고민이 필요하다. 더불어 안드로이드와 같이 오픈된 OS 환경에서 동작할 수 있는 불특정 어플리케이션중에는 경우에 따라 “비행모드” 진입을 허용하지 않을 수 있으며 이럴 경우에는 부득이하게 해당 어플리케이션을 종료할 수밖에 없으므로 이런 상황에서도 모든 어플리케이션을 연속적으로 사용할 수 있도록 하는 추가적 연구가 필요하다.

### References

[1] Korea Communication Commission, Korea Communication Commission Annual Report 2014, Korea Communication Commission, 2015.  
 [2] Paradiso, J.A., Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics, Pervasive Computing, IEEE, 2005.

[3] Ask The Applications Engineer—37 Low-Dropout Regulators, <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/41-05/lido.pdf>  
 [4] TI, technical review of low drop voltage Regulator operation and performance, Texas Instruments, 1999.  
 [5] David Linden and Tomas.B.Reddy, Handbook of Batteries third edition, McGraw-Hill, New York, USA, ch.35, 2002.  
 [6] Jung-Gi Park, Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries, Hongrung Publishing Company, Seoul, pp. 450, 2010.  
 [7] Dae-Joong Cha, Ji-Eun Baek and Kwang-Cheol Ko, “A Study of Voltage Balancing Method in Series-Connected EDLCs for High Power Applications”, The Journal of The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Vol. 29, No. 7, pp. 22-27, 2015.  
 [8] Li-Min Park, Hak-Jin Jung, Tai-Kyung Yoo and Kwang-Sub Yoon, “Design of the DC-DC Buck Converter for Mobile Application Using PWM/PFM Mode”, The journal of The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol 35, No. 11, pp. 1667-1675, 2010.  
 [9] Linear Technology Corporation, LT3536 1A Low Noise, Buck-Boost DC/DC Converter datasheet, Linear Technology Corporation, Milpitas, CA, USA, 2011.  
 [10] Intersil, ISL9110A 1.2A High Efficiency Buck-Boost Regulator datasheet, Intersil, USA, 2012.

### ◆ 저자소개 ◆



**최상훈 (崔相勳)**

1975년 11월 15일생. 2001년 한국기술교육대학교 전자공학과 졸업. 2015년 단국대학교 정보통신공학과 졸업(석사). 현재 팬택(주) 중앙연구소 근무.



**이용성 (李鎔成)**

1973년 3월 5일생. 2000년 한국기술교육대학교 전자공학과 졸업. 2009년 단국대학교 정보통신공학과 졸업(석사). 현재 한국폴리대학 스마트전자과 부교수.