

# 이동전화 단말기용 배터리에서의 발화위험성에 대한 연구

## A Study on the Riskiness of Ignition at the Mobile Phone Battery

서대문경찰서, 국립과학수사연구소\* 이승훈, 박종택\*, 박영국\*

Seodairmoon Police Station, National Institute of Scientific Investigation\*

Lee Sung - Hoon, Park Jong - Taek\*, Park Young - Guk\*

### 초 록

휴대용 이동전화(Mobile Phone)의 편리성 등에 의해 이동전화의 보급률이 증가하고 있다. 이에 따라 이동전화 기기(핸드폰)에 사용되는 배터리에서의 폭발이나 화재사고의 발생률이 증가되고 있어 이로 인한 사고의 위험과 피해도 점차 증가되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 현재 유통되고 있는 국내·외 배터리 팩 4종을 선별하여 배터리팩의 외부 단자 사이를 1시간 이상 길게 지속적으로 단락(긴 단락)시켜보고, 1초 간격으로 접촉과 해제를 200회 가량 반복하여 단락(짧은 단락)시켜 보았다. 또한, 배터리팩을 분해한 후 보호회로를 제거한 상태에서 셀의 양극과 음극을 금속으로 단락(내부 단락)시켜 셀의 방전실험을 하여, 이에 따른 방전특성과 온도상승에 대한 실험을 하였다. 이를 통해 핸드폰 배터리에에서의 폭발·화재로의 발전가능성 및 위험성에 대해 살펴보았다.

### I. 서론

현재 이동전화(Mobile Phone)는 국내뿐만 아니라, 세

계적으로 점차 보급률이 증가되어 사용되고 있다. 우리나라에도 2003년도 기준으로 볼 때, 이동전화(Mobile Phone)의 가입률은 약3천3백만명(S사 약1천8천만명, K사 약1천만명, L사 약5백만명)에 이르고 있다. 이는 우리나라 인구의 약70% 이상이 휴대폰을 사용하고 있다는 것이며, 점차 PDA 단말기 등의 보급으로 배터리를 사용하는 휴대용 제품은 더욱 더 증가하게 될 것이다. 이에 따라 국내·외적으로 이동전화(핸드폰)나 PDA 단말기 등의 배터리 및 충전기에서의 폭발이나 화재사고가 잇따라 발생하고 있는데, 휴대폰은 신체부위에 접촉 또는 밀접하게 사용, 보관하고 있어, 사고시에는 사용자의 신체에 직접적으로 화상 등의 손상을 줄 수가 있다는 점에서 그 피해와 위험성이 부각되고 있다. 최근 발생한 주요 휴대폰 사고는 다음과 같다.

- 1999년 7월, 서울 정릉동 김모씨의 호주머니 속에서 휴대폰 배터리의 폭발 : 자동차 키홀더가 배터리 단자와 접촉되어 발생된 것으로 추정
- 2003년 10월에서 2004년 1월 사이에 베트남 하노이 시 노키아 등 폭발5건 : 불량제품의 배터리 사용이 원인으로 추정
- 2004년 1월, 서울 봉천동 이모씨 안방서 폭발 : 애견

등의 외부 충격으로 인한 배터리 손상으로 추정

- 2004년 4월, 경남 거창시 여중생 정모양 호주머니 속에서 화재 : 정전기 또는 금속성 물체와 접촉된 것으로 추정

이러한 휴대폰 배터리의 폭발·화재를 방지하기 위해서 이동전화용 배터리의 사용요령 및 성능향상에 대한 연구 또한 활발하게 진행되고 있지만, 배터리에서의 폭발 및 화재의 가능성은 항상 존재한다고 할 수 있으므로, 실험을 통해 현재 사용되고 있는 휴대폰 배터리에 대하여 살펴보고, 단락 등의 실험을 통하여 배터리에서의 화재발생 가능성 및 발생원인에 대하여 접근, 검토해 보고자 한다.

최근 이동전화 기기의 경량화 및 다기능화 추세에 의해 배터리도 그에 상응한 변화로서, 단위중량 및 단위부피 당 에너지 저장밀도와 전압이 높은 장점 등이 많은 리튬이온 2차 전지를 사용하고 있다. 핸드폰에 사용되는 리튬이온 전지의 셀(Cell)당 전압은 약 3.7V이며, 용량은 일반적으로 800~1000mAh 정도이다.(1)

리튬이온 2차 전지는 그 기능면에서 알카라인이나 니켈계열 등 기존의 2차 전지에 비하여 월등한 성능을 가지고 있으나, 반응성이 강한 리튬을 사용함으로써 폭발이나 화재의 위험성을 내재하고 있는 단점을 가지고 있다. 따라서 셀 단위의 전지에 다중의 보호장치를 부착한 후 팩 형태로 제작, 판매되고 있다.

일반적으로 휴대폰 배터리의 보호장치는 안전변(Safety Vent), 온도퓨즈(Thermal Cutoffs), PTC 서미스터(Positive Temperature Coefficient Thermistor), 격리막(Shut-down Separator), 첨가제(Additives), 보호회로(Safety Circuit) 등이 사용되고 있으며, 전지의 제조사 및 모델에 따라서 다양한 종류의 보호장치가 채용하고 있다.(1)

본 연구에서는 현재 유통되고 있는 국내·외 배터리 팩 4종을 선별하여 배터리팩의 외부 단자간을 1시간 이상 길게(긴 단락), 1초 간격으로 접촉과 해체를 200회 가량 반복하는 방식(짧은 단락)으로 구분하여 외부 단락 실험을 하였고, 배터리팩의 분해 후 보호회로를 제거한

상태에서 셀의 양극과 음극을 금속으로 단락(내부 단락)시켜, 셀의 방전특성과 방전과정을 관찰하는 내부 단락실험을 시행하여 온도상승 등의 특이성과 폭발·화재로의 발전가능성 등에 대한 고찰을 시행하였다.

## II. 본 론

### 1. 이론적 검토(2)

최근 사용되는 휴대폰은 PDA, 카메라 기능 등의 고기능 및 다기능화의 추세에 의해 고용량 전원의 사용 및 장기간 지속사용이 필요한 전원장치를 필요로 함에 따라서 리튬2차 전지를 사용하고 있으며, 종류는 리튬이온, 리튬폴리머 전지가 있다.

리튬계열의 2차 전지는 기존의 니켈계열의 전지에 비하여 셀당 3배 가량의 높은 전압을 가지며, 에너지 저장밀도 또한 약2배 가량 높다.

일반적으로 배터리는 에너지저장 밀도에 따라서 그 위험성이 비례한다고 볼 수 있고, 리튬이온 2차 전지의 경우 리튬의 불안정한 특성에 의해서 다른 전지와는 구별되는 또 다른 위험성을 가지고 있다.

#### (1) 리튬이온 전지

리튬은 주기율표 1A족에 속하는 알카리금속의 한 종류로, 산소와 반응성이 강하여 수분에 노출되었을 경우, 급속히 반응하여 열과, 수소를 발생시키고, 폭발하기도 한다. 또한, 폭발 1등급으로 분류되어 있으며, 보관시 산소나 수분과의 반응을 차단하기 위하여 석유에 보관하는 등의 취급상 주의가 필요하다. 전지에 사용되는 리튬은 안전성을 높이고 이온 분해도를 높이기 위해 코발트(Co) 산화물로 합성한 리튬이온을 사용한다.

#### (2) 리튬이온 2차전지의 구조

전극 집전체는 알루미늄(Al)과 니켈(Ni)로 구성되어 있으며, 전극 활물질은 금속산화물 리튬 천이 복합 산화물(LiCoO<sub>2</sub>, LiNiO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) 고분자정극재료를 사용

하며, 부극 활물질은 리튬금속합금탄소, 흑연화 탄소, 고분자부극재료를 사용하고, 전해질로는 액체 전해질, 고분자 전해질(Dry형, Gel형, 다공성 Hybrid형), 무기 고체 전해질을 이용하며, 부극 집전체는 구리(Cu), 니켈(Ni) 등의 재료를 사용한다.

### (3) 리튬이온 2차전지의 종류

사용되는 셀의 포장에 따라서 리튬이온전지와 리튬이온폴리머 전지로 구분된다.

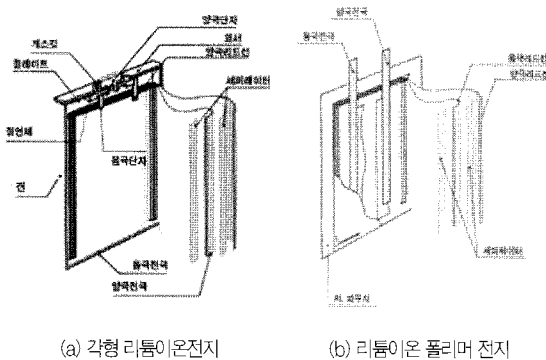


그림1. 리튬이온 전지의 종류

리튬이온전지의 경우, 액체전해질을 사용하므로, 전해액의 누액을 막기 위해 알루미늄 캔 타입의 외함을 사용한다. 따라서 디자인은 각형, 원통형 등 단순한 형태의 성형이 가능하며, 이때 전해액은 발화점이 200℃ 정도이고, 인화점은 상온 이하로 매우 낮다. 발열시 전해액이 분해하여 전지의 두께가 팽창되는 원인이 되기도 하며, 전지의 이상 작동시 초기 가연물로 작용할 수 있다.

리튬이온 폴리머전지의 경우, 젤(gel)형 등의 고체 전해질을 사용하고 있어, 리튬이온전지에 비하여 누액의 위험이 적다. 알루미늄 파우치(pouch) 형태로 포장을 하며, 이 때문에 다양한 형태의 성형이 가능한 장점이 있으나, 파우치 형태의 포장으로 외부 충격에 의해 셀이 손상될 수 있는 위험성은 상대적으로 크다.<sup>(3)</sup>

### (4) 리튬이온 2차 전지의 성능

리튬이온 2차 전지와 니카드(NiCd), 니켈수소(NiMH) 전지의 성능은 아래표와 같다.

표1) 리튬이온 2차전지와 니카드, 니켈수소 전지의 성능 비교

Characteristics	LiPB	LiB	NiCd	NiMH
Voltage(V)	3.7~3.8	3.7	2.1	2.1
Gravimetric Energy Density(Wh/kg)	120~160	120~160	40~60	60~80
Volumetric Energy Density(Wh/l)	230~300	230~300	120	150
Cycle life	> 500	> 500	2000	1000
Memory Effect	No	No	Yes	No
Packaging Size & Shape Variability	Easy	Hard	Hard	Hard

표1과 같이, 리튬계열의 전지는 기존의 타 전지에 비하여 에너지 저장밀도가 높고, 메모리효과 및 전압 등의 측면에서 효율적이어서 사용이 확산되고 있는 추세이나, 리튬이온 2차 전지의 셀은 반응성이 높은 리튬이온과 인화점이 낮은 유기용매를 전해액으로 사용하기 때문에 보호회로가 없이 단락되었을 경우에는 급격한 방전과 높은 반응열로 인하여 자체적으로 발화 및 폭발의 위험성이 있다. 따라서, 전지팩의 제조업체에서는 셀 단위의 전지를 판매하지 않으며, 다중의 안전장치를 포함하여 팩 형태로 판매하고 있다.

### (5) 리튬이온 2차 전지의 안전장치<sup>(4)</sup>

리튬이온 2차 전지의 안전장치로는 셀 내부의 기체의 방출에 의해 상승된 내부압력을 이미 설정된 통로를 통하여 해소되도록 하여, 셀의 내부의 압력상승으로 인한 폭발을 방지하도록 설계된 안전변(Safety Vent)이 있으며, 일정온도가 넘으면 저항이 점차적으로 상승하다가, 계속하여 온도가 상승하면 도전을 차단(온도가 내려가면 기능이 복귀)하도록 하는 PTC 서미스터(Positive Temperature Coefficient)가 있고, 격리막 자체가 일정온도가 넘으면 이온이 통과할 수 없도록 용융되어 도

전이 차단되는 격리막(Shut-down Separator)이 있다. 이 격리막은 폴리프로필렌(PP)나 폴리에틸렌(PE), 또는 두 물질을 함께 쓰기도 하는데, 폴리프로필렌의 용융점은 180℃이고, 폴리에틸렌의 용융점은 140℃이다. 리튬금속의 안정성을 높이기 위해 산화코발트 등의 화합물을 사용하는 등 활성물질(Active Material), 전극(Electrode), 전해액(Electrolyte)에도 첨가제를 사용하고 있고, 과전류, 과전압, 과열시 도전을 차단하는 기능으로서의 보호회로(Safety Circuit)는 팩(Pack)화 될 때, 양극과 음극 사이에 부착된다.

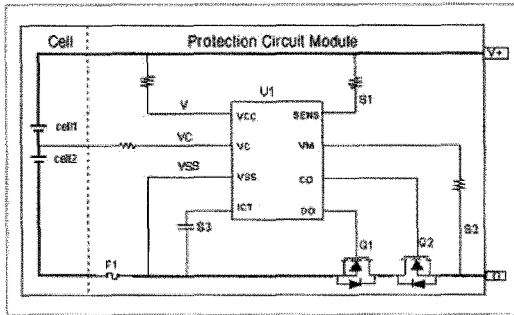


그림2) 일반적으로 사용되는 보호회로도

(6) 보호회로의 부착 예

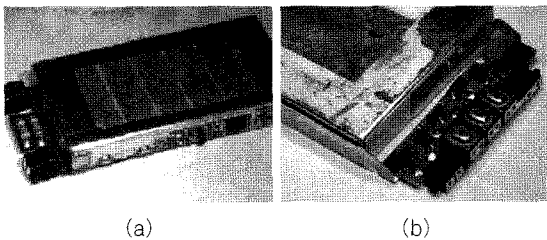


그림3. 신형(IC회로 부착)

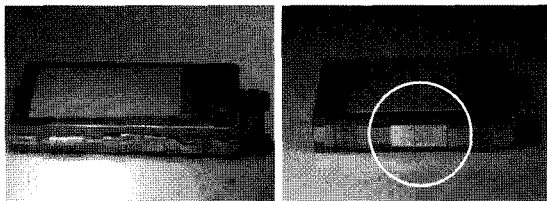


그림4. 구형(온도퓨즈 및 서미스터 부착)

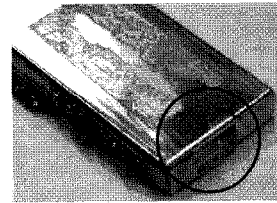


그림5. 구형 보호회로에서의 서미스터가 양극단자와 접한 위치로 변경

이상의 그림3과 그림4, 그림5에서 알 수 있듯이, 구형기종과 신형기종을 비교하여 보면, 보호회로의 종류와 수량, 부착된 위치 등에서 많은 차이를 보이고 있다. 구형기종은 과충전 및 과방전 방지회로, 서미스터, 온도퓨즈가 안전장치로서 사용되고 있고, 신형기종은 IC회로를 이용한 온도 및 전류를 감지 및 제어하는 안전장치를 사용하고 있어, 이상전류나 발열시에 구형의 보호회로에 비하여 보다 신속한 제어가 가능하다.

보호장치의 일부분 서미스터의 위치가 셀의 측면에서 양극단자와 접한 위치로 변경된 것도 위험요소를 줄이기 위한 진보 중 하나로 볼 수 있다.

### III. 실험 및 고찰

#### 1. 실험 방법

##### (1) 외부 단락 실험

우리나라에 유통되는 국내·외 배터리 팩 4종을 시료로 선별하여 외부의 단자 사이를 클립(저항이 측정되지 않음)으로 연결하여, 1시간 가량 단락상태를 유지시키면서 다시 완충전하여 같은 방법으로 단락시키는 것을 1주기로 10회 반복 실험(긴 단락실험)하면서 온도 등 변화를 관찰하였다. 그리고 양 단자를 약 1초 간격으로 접촉과 해제를 반복하는 방법으로 약 200회 가량 반복 실험(짧은 단락실험)을 하였다.

##### (2) 내부 단락 실험

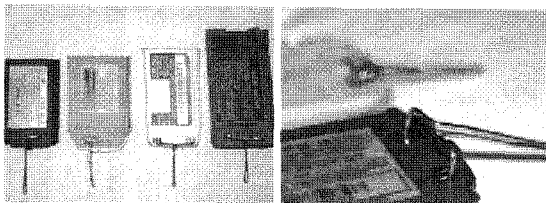
배터리팩을 분해한 후, 보호회로를 제거 또는 보호

회로 이전 측에서 셀의 양극과 음극을 금속으로 단락 시켜, 셀의 방전특성과 방전과정을 관찰하는 내부 단락 실험을 하였다.

## 2. 실험 결과 및 고찰

### (1) 외부 단락 실험

외부 단락 실험에 의해서는 특이할 만한 온도변화를 보이지 않았다. 이는 구형기종의 배터리일 경우에는 보호장치로 서미스터와 온도퓨즈만을 사용하고 있으나, 실험에 사용한 4종의 시료는 IC 회로 등의 보호장치가 사용된 것으로 셀의 온도변화 및 방전량에 대한 감시와 제어가 비교적 신속하게 작동한 것으로 사료된다.



(a) 4종의 배터리 (b) 외부 단자부 근접  
그림6. 외부 단락 실험 모습

### (2) 내부 단락 실험에 의한 방전특성 및 온도변화

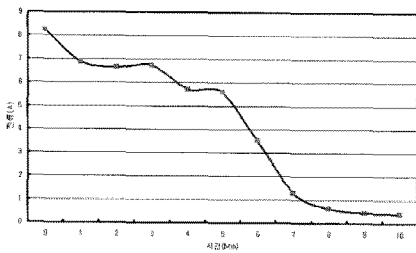


그림7. 시간의 경과에 따른 방전량(A)의 변화

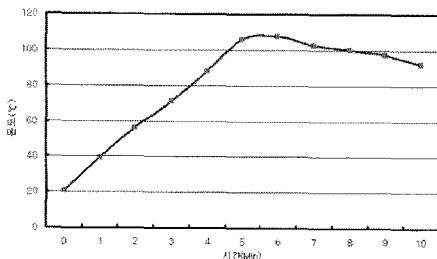
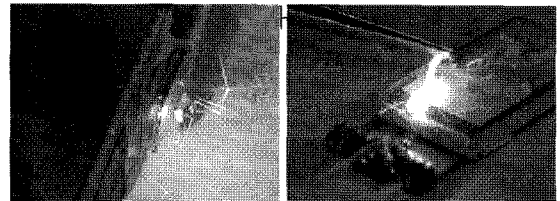


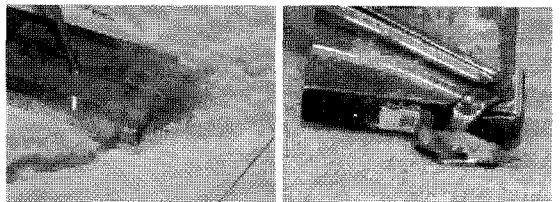
그림8. 시간의 경과에 따른 배터리 외함의 온도변화

그림7과 그림8의 그래프에서 알 수 있듯이, 내부 단락 실험의 경우, 시간의 경과에 따라 방전량은 약 5분까지는 비교적 완만한 하향곡선의 형태로 감소하다가 이후 급격하게 방전량이 감소하였으며, 배터리 외함의 온도는 다소 급격하게 상승하면서, 약6분 후에 최고 115°C까지 상승하였다.

### (3) 내부 단락 실험에 의한 방전과정 및 고찰



(a) 접촉 직후 완성한 아크 실현 (b) 단락에 이용된 철사의 비산 및 증발



(c)누액 및 전해액 유출의 발현 (d) 단락부의 금속의 적열, 인접가연물연소  
그림9. 배터리팩의 방전과정

이상의 그림9에서 볼 수 있듯이, 단락 직후 급격한 방전으로 인하여 단자 리드선 및 단락 도체가 고온으로 적열되었고, 접촉부위에서 완성한 아크가 발생되었다. 금속의 적열과 아크에 의하여 인접한 가연물이 연소되었으며, 단락에 사용되었던 직경 0.5mm 가량의 철사는 과전류에 의해 비산 및 증발되었다.

내부의 반응열에 의해 알루미늄 외함의 온도는 최고 115°C까지 상승하였고, 셀 내부로부터 전해액과 그 유증이 분출되었으며, 셀의 외장인 알루미늄캔이 부풀어 오르는 등의 손상을 보였다.

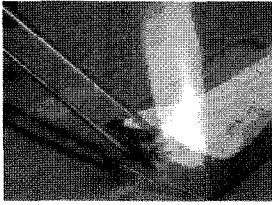


그림10. 단락과중에서 누출된 전해액에 인위적으로 착화

이상의 배터리 구조 및 실험을 통해서 알 수 있듯이, 휴대용 배터리팩은 전기적인 에너지를 항상 안고 있으므로, 배터리 팩 내부에 다양한 안전 안전장치를 갖추고 있으며, 앞으로 계속해서 보완, 발전시켜 나갈 것이다. 그러나 아무리 안전장치가 겹겹이 갖추어져 있다고 하더라도 안전장치가 망가지거나 팩 내부의 단자 사이의 절연이 손상될 경우에는 단락되어 화재로 발생할 수 있는 에너지원이라는 것을 간과해서는 안 될 것이다.

휴대폰 배터리 팩 내부에는 다양한 안전장치가 있어서 외부 단락 실험에 의해서는 쉽게 화재로 발전되기가 어려웠다. 그러나 내부 단락 실험에서 볼 수 있듯이, 안전장치를 벗어나서 단락이 발생할 경우에는 화재로 발전될 수 있는 여지를 가지고 있다.

또한 배터리팩의 전해액으로 사용된 유기용매는 발화점이 약200℃이고, 인화점은 상온이하로 매우 낮아서 외부의 충격 등으로 인해 전해액이 누출될 경우에는 적열된 고온부나 아크에 의해 초기 가연물로 작용될 가능성이 있어 배터리팩의 관리 소홀이나 외부 충격 등으로 인한 손상이 발생할 경우에는 화재로 이어질 수도 있다는 것을 숙지하여야 할 것이다. 특히, 화재원인을 조사하는 데에 있어서 핸드폰 배터리도 하나의 압축된 발화원이라는 생각과 자세로 임해야 할 것이라고 이번 실험을 통해서 재삼 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

핸드폰 배터리는 하나의 축적된 전기적 에너지원이

다. 배터리 팩 내부에는 다양한 안전장치를 갖추고 있으나, 이상의 실험을 통하여 알 수 있듯이, 안전장치가 손상되어 제 기능을 하지 못할 경우에는 화재로 발전될 수 있는 충분한 에너지원임을 다시 한번 확인할 수 있었다.

외부 단락 실험의 경우, 실험에 사용된 4종의 시료는 모두 IC 회로 등의 보호회로가 사용된 제품으로 신속한 감시와 제어가 이루어져서 화재로 발전되지는 않았다. 그렇지만, 구형기종은 안전장치가 미흡하여 외부의 단자만의 단락에 의해서 과열이 발생할 수 있고, 지속적으로 반복될 경우에는 성능열화 및 이상 작동이 발생할 수도 있음을 간접적으로 알 수 있었다.

내부 단락 실험의 경우에는 안전장치가 손상된다면, 화재로 발전될 수 있는 충분한 여지를 가지고 있었다. 즉, 안전장치를 벗어나서 단락이 발생할 경우에는 단락부위에서 발생된 왕성한 아크 등에 의해 전해액이나 인접 가연물에 착화되어 화재로 발전될 수 있는 여지를 가지고 있다.

최근 사용되고 있는 배터리 팩 내부에 있는 안전장치 구조로 보아, 사용 중 도체의 열쇠고리나 동전 등에 의해서 발생할 수 있는 외부 단자간 단락으로는 폭발이나 화재의 발생 가능성은 크지 않을 것으로 보인다. 그러나, 보호회로 이전에서 발생할 수 있는 위험요소, 즉 침수 등에 의한 이물질의 개입, 보호회로의 부식으로 인한 도전로 형성 및 외부충격 등에 의해 내부 단락의 경우, 비교적 큰 방전량 및 반응열에 의해서 화재로 발전될 가능성이 있다는 것을 이번 실험을 통해서 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1)전기설비설계, 이해기, 강성화, 대영문화사, p.193, 2001.
- (2)http://www.samsungdi.co.kr/contents/kr/product/battery/battery.html(삼성에스디아이)
- (3)http://www.lgchem.co.kr/proservice/electron\_main.jsp (엘지화학)
- (4)http://www.batech.co.kr/technical/technical4.asp (바테크 코리아)