

함부로 방치한 9V 알카라인배터리(6LR61)의 화재 위험성 연구

서울 서대문경찰서 과학수사반 이 승 훈
경기도지방경찰청 과학수사계 문 용 수

일반적으로 크기나 용량이 작아 관리가 소홀할 수 있는 소용량 전지가 서랍 등에 함부로 방치되었을 경우 같은 장소에 보관된 도체로 인하여 단락 될 수 있는데 이때 발생하는 줄열(Joule's heat)에 의한 화재 위험성은 크다. 각 전지업체에서는 주의사항으로 단락 등의 위험성을 경고하고 있으나 대부분의 이용자들이 이와 같은 위험을 충분히 인식하지 못하고 전지를 특별한 조치 없이 함부로 방치하는 경우가 많다.

특히 9V 알카라인전지(6LR61)의 경우 550-650mAh으로 크기에 비하여 용량이 작지 않으며, +, - 양단자가 동일한 방향으로 약 5mm 가량 돌출 되어있어, 함부로 방치하였을 경우 다른 전지에 비하여 도체와 단락될 가능성이 높다.

본 논문에서는 9V 알카라인전지(6LR61)를 대상으로 클립, 볼펜스프링, 열쇠, 동전 등 여러 가지 도체와 단락시켜 보는 실험을 통하여 줄열에 의한 화재위험성에 대하여 검토해 보았다.

사용된 도체 시료의 저항과, 형태에 따라서 발화여부의 차이를 보이며, 저항 0.5Ω 가량의 볼펜스프링은 발화가 매우 용이하였고, 발화하지 않은 도체의 경우도 예상치 못한 회로의 구성과 이때 생길 수 있는 접촉저항을 고려한다면, 발화가능성을 배제할 수는 없을 것으로 보인다.

실제로 서랍속에 방치한 전지의 단자부와 접촉된 의류가 탄화된 채 발견된 사례가 있으며, 실험을 통한 결과에 의해서도 화재로 진행할 수 있는 가능성이 충분하다는 것을 확인할 수 있었다.

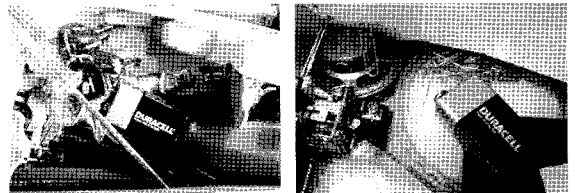
서론

1. 실험목적

일상에서 배터리는 다양한 기기의 다양한 용도로 사용되고 있으며, 그 크기, 모양이나 종류 또한 일일이 거론할 수 없을 정도로 다양하게 사용되고 있다.

배터리는 전기에너지를 저장하고 있는 것으로 용량에 따라 그 위험성도 비례하겠다.

특히, 9V 알카라인 전지(6LR61)는 +, - 양단자가 동일한 방향으로 5mm 가량 돌출 되어있고, 단자간 거리도 약 6mm로 비교적 좁아, 다른 형태의 전지에 비하여 상대적으로 단락될 가능성이 높으며, 550-650 mAh으로 크기에 비하여 용량이 작지 않아 그 위험성이 크다.



(일상적으로 전지를 함부로 방치한 경우를 연출한 것으로 위와 같이 방치할 경우 같은 장소에 보관된 금속제품에 의해 단락될 가능성이 높다.)

현재까지 방치된 9V 알카라인 전지(6LR61)를 발화원인으로 판정하였던 구체적인 사례는 없으나, 다른 발화원이 존재할 수 없는 발화부나, 발화원이 모두 배제된 현장에서 전지와 단락 가능한 도체가 발견되어, 전지 단락에 의한 화재 가능성에 대하여 의구심을 가졌던 경우는 수차례 있어 왔다.

본 연구에서는 실제 9V 전지 단락시 발화가 가능한지, 어떠한 경우에 가능한지, 발화가 용이한 도체는 무엇인지 알아 보고, 발화 후 확인조사 시에 확인할 수 있는 흔적 등을 검토하여 보고자 한다.

2 이론적 고찰

1) 줄열 [Joule's heat]

저항이 있는 도체에 전류가 흐르면 열이 발생한다. 그 이유는 도체 내 자유전자가 활발하게 운동하여 원자와 많은 충돌을 일으키게 되고, 충돌에 의해 원자가 가지고 있던 운동에너지가 열에너지로 전환이 되기 때문이다. 이때 저항에 의해 발생한 열량을 줄열이라고 한다.

줄열 $Q = I^2 \cdot R$ 이다.

일반 상용전지에 의한 줄열은 전류가 무한대일 수 있어 저항이 열량을 좌우할 수 있으나, 전지의 줄열은 전지의 한정된 방전용량과 관계가 높다.

2) 배터리

배터리는 물질의 화학적·물리적 변화를 이용, 이들의 변화로 방출되는 에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 장치이다.

일반적인 배터리의 전기를 만들어내는 과정은 금속의 산화 환원반응을 이용한 것으로, -극에 있는 금속이 산화되면서 전자를 내놓으면 이 전자가 회로를 통해 돌아서 +극에 있는 금속이온과 결합하여 이를 환원시키게 되고, 회로에 전자의 흐름, 즉 전류가 생겨나게 되며, 그 과정에서는 반응열을 발생시키게 된다.

전지는 사용온도가 낮아지면 반응 속도 늦어져 수명이 길어지는 반면 방전량이 줄어들고, 전지의 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라져 수명이 짧아지는 반면 방전량이 증가하는 특성이 있다.

전지의 종류

1차전지 : 산화 환원반응이 단 한 번만 일어나고 그것을 되돌릴 수 없는 전지 ex) 망간전지, 알카라인전지 등

2차전지 : 외부에서 전류를 가함으로써 여러 번 다시 사용할 수 있는 전지 ex) 납, 니켈카드뮴, 니켈수소, 리튬이온플리머 전지 등이 있음.

배터리는 용도에 따라 성능이나, 크기, 모양이 매우 다양하다.

리튬이온(Li-ion) 전지

최근 가벼운 중량과, 높은 에너지 저장밀도의 장점이 있어 핸드폰이나, PDA, 노트북, 캠코더 등 첨단기기에 사용되며 각광을 받고 있는 것은 리튬이온 전지로, 상용 배터리팩의 경우 용량이 약 1200~ 2000 mAh정도의 높은 방전성능을 가지고 있으며, 반응성이 강한 리튬(Li)을 사용하고 있는데, 이와 같은 특징은 다른 종류의 전지에 비하여 위험이 높다.

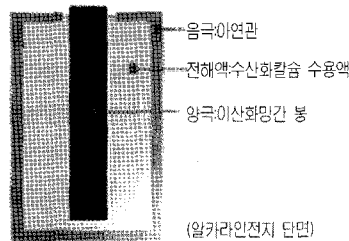
이 때문에 각 업체에서는 case에 별도의 과충전방지, 과방전방지 등의 보호회로를 연결한 후 별도의 case에 조립한 배터리팩의 형태로 판매하고 있음.

이 배터리팩의 경우 보호회로가 정상적으로 작동하면 외부에서 단락이 된다하여도, 보호회로에 의해 일정 전류 이상이 되면 차단되므로, 줄열에 의한 화재의 위험성은 오히려 다른 전지보다 적다고 볼 수 있다. (보호회로가 작동하지 않는 내부 단락 등의 위험성은 별론으로 함)

4 실험

1) 시료

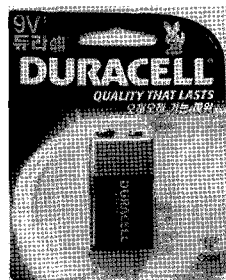
(1) 알카라인전지



(알카라인전지 단면)

양극 활물질에 이산화망간 봉, 음극 활물질에 아연 관, 전해액으로 이온화 경향이 높은 수산화칼륨 수용액을 사용한다. 일상생활에 소

모전류가 작은 가정용기기 및 휴대기기, 장난감 등의 전원에 전반적으로 사용이 많은 제품이다.



듀라셀 알카라인(종류 6LR61)

Battery Type : 9V Alkaline Battery

Volt(전압) : 9 V

Millamperehours(방전용량)

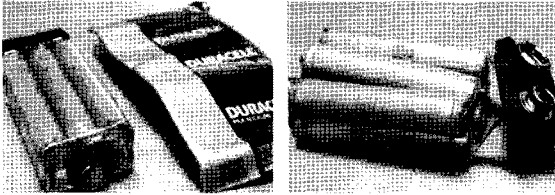
:550mAh

Height(높이) : 485 mm

Width(폭) : 262 mm

Depth(깊이) : 17 mm

Weight(무게) : 44 g



9V (6LR61) 전지의 내부는 1.5V 셀(cell) 6개를 직렬로 연결한 구조이다.

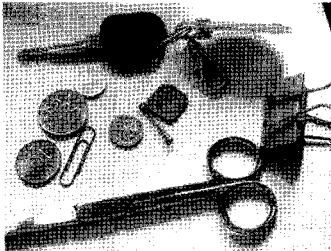
(2) 도체

◎ 일상적으로 서랍속에 보관 하는 물건들 중 단락이 가능한 도체는 이루 거론할 수 없을 정도로 많겠으나, 크기나 구조를 고려하여 단락 가능성이 높은 도체를 선별함.

◎ 1원 동전 (알루미늄), 10원 동전 (황동), 500원 동전 (백동), 클립, 열쇠, 미화 1dime (백동) 은 저항이 측정되지 않음.

볼펜스프링 약 0.5Ω 으로 측정됨.

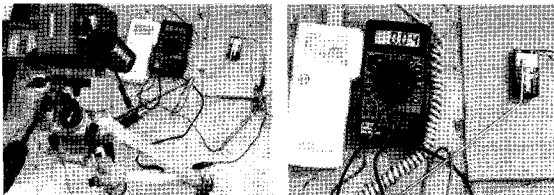
스테인레스 가위 약 0.5Ω으로 측정됨



5 실험 방법

1) 시료전지의 방전특성 시험

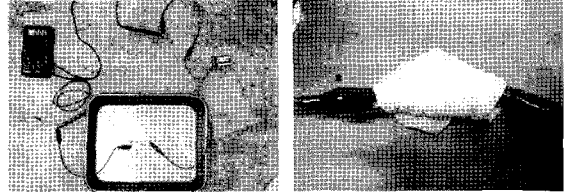
전지에 온도계 전류계를 연결하여 단락 시키고, 시간경과에 따른 방전량 과 전지 외함의 온도변화를 측정하였다.



2) 실험1

전지를 단락 시킴에 있어서 전지의 반응열과 도체의 줄열이 상호 미칠수 있는 영향을 피하기 위하여 전지의 단자를 악어클립과 리드선을 이용하여 전지로부터 약20센티 이상 거리에서 도체의 양단을 연결하였다

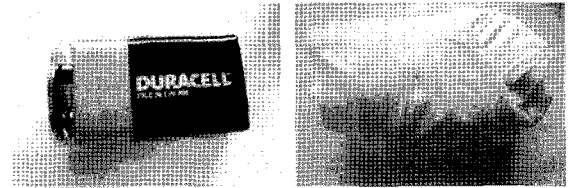
도체의 발열시 축열 및 발화를 유도하기 위하여 화장지로 감는 방법을 사용하였다



(실험1은 2-3개의 도체가 연결되어 단락될 수 있는 상황과 같다)

3) 실험2

전지의 단자에 도체를 직접 접촉시켜 단락 시켰다.



(도체를 단자에 직접접촉 시켜 스키치 테이프로 고정하였으며, 발열시 축열 및 발화를 유도하기 위하여 화장지로 감았음.)

4) 연소 진해의 특이점 관찰

6 실험결과

1) 전지 시료의 방전특성 시험

시료로 사용한 배터리의 단락시 방전 특성에 대한 시험에 의하면 최초 순간단락 전류는 약 10A 이상이며, 약5초경과 후 약 5A, 15초경과 후 약 3A로 약 20초경과 후 약 2.5A의 방전 성능을 보임. 초기에는 비교적 큰 전류를 방전하나, 시간의 경과에 따라 급속하게 방전량이 저하됨을 알 수 있었다. 약5분 경과하였을 경우, 전류는 약0.4A이며 10분 경과 시 0.35A, 15분 경과시 약 0.1A로 측정되었다. 이때 배터리 외함의 온도는 실내 22°C에서 최고 약 68°C까지 측정되었다.

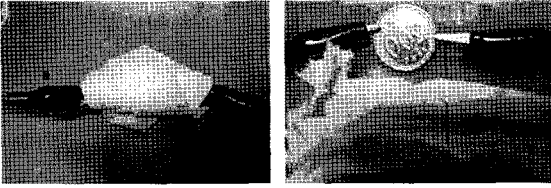
배터리 단락시 화장지로 축열하였을 경우

최초 순간단락전류와 시간경과에 따른 방전량은 축열하지 않은 시험과 비교하였을 때 특이할 만한 차이를 발견치 못하였으며, 배터리 외함의 접촉온도는 약 87°C 까지 상승하였다.

2) 실험1

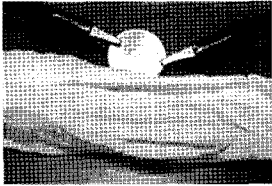
전지에서 리드선으로 도체를 연결, 악어클립을 이용하여 도체의 양끝을 연결하는 방식으로 단락시킨 결과

◎ 500원 동전

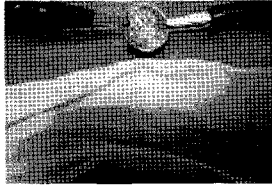


단락 후 약 10분이 경과하였으나, 발화하지 않으며, 동전과 접촉해 있던 화장지를 변색시키지 못하였고, 도체의 특이할 만한 온도변화가 식별되지 않았다.

◎ 10원 동전 (황동)



◎ 1원 동전(알루미늄)



◎ 미화 1dime (백동)



◎ 클립

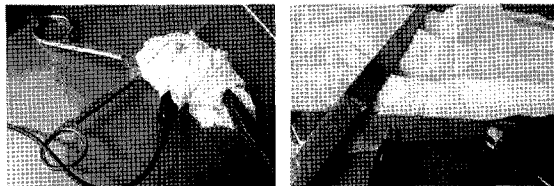


◎ 열쇠



각 동전, 열쇠, 열쇠고리, 집게, 클립 등 저항이 낮아 측정되지 않은 도체의 경우 모두 발화하지 않았으며, 접촉된 화장지를 변색시키지 못하였고, 특이할 만한 온도변화가 식별되지 않았다.

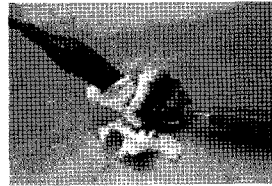
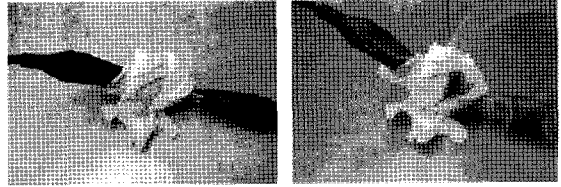
◎ 저항 0.5Ω의 스테인레스 가위



가위의 온도가 약 8°C 상승한 것으로 측정되었고, 발화에

이르지 못하였으며, 화장지를 탄화 및 변색시키지 못하였다.

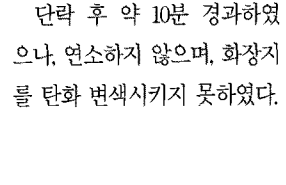
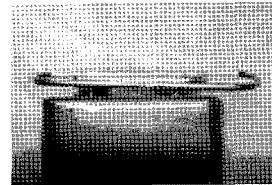
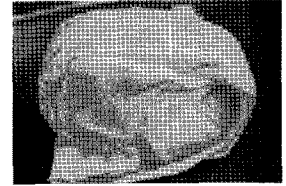
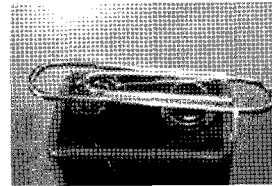
◎ 저항 0.5Ω의 볼펜 스프링



단락 후 약 10초 내에 연기가 외부로 발생하였고, 스프링의 중앙부로부터 탄화되기 시작하며, 약 30초경과 후 외부로 출화하였다.

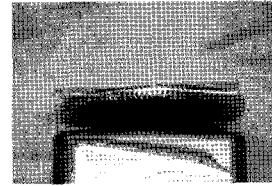
3) 실험2

◎ 클립

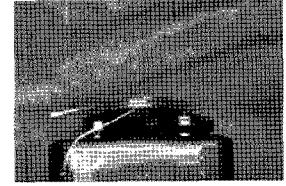


단락 후 약 10분 경과하였으나, 연소하지 않으며, 화장지를 탄화 변색시키지 못하였다.

◎ 500 동전



◎ 1원동전



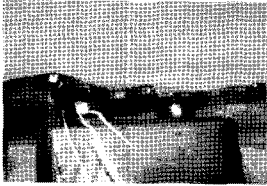
◎ 미화 1dime



◎ 10원동전

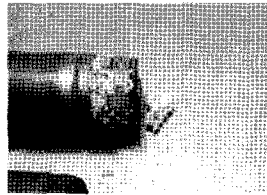
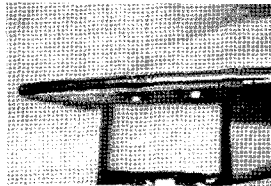


◎ 열쇠



50원, 10원, 1원, 미화1ctime, 열쇠, 스테인레스 가위는 연소하지 않았으며, 화장지를 탄화 변색시키지 못하였다.

◎ 스테인레스 가위



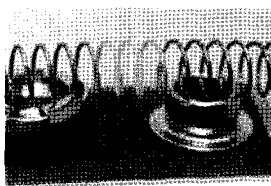
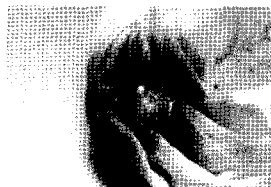
6개의 셀중 한 개가 부풀어 오름
상: 이상셀
하: 정상셀

※ 스프링 탄성의 상실, 중 이 재질의 단자부 중앙이 국부적으로 연소되었으며, 전지 하단부가 부풀어 오름. 셀1개의 누액이 분출되었다.

◎ 저항 0.5Ω의 스프링



스프링이 단자에 접촉되자마자 발열을 시작하였고, 화장지를 감는 동안 이미 연기가 발생하며, 화장지가 연소하기 시작하였다.



단자위에 스프링을 올려 둔 것임.
접촉 직후 적열상태로 발열 중인 모습.

실험1과 실험2는 그 결과에 있어 특이할 만한 차이를 보이지 않았다.

누액분출 셀의 성능 비교

	전압	전류(단락)
정상셀	1.43V	1.0A
이상셀	0.2V	측정되지 않음

정상셀은 전압을 유지하며, 계속해서 방전을 하고 있는 반면, 누액이 분출된 셀은 전압이 0.2V로 감소하였으며, 더 이상 방전이 되지 않았다.

연소 후 전지나, 스프링의 변형은 외부 수열에 의해서도 같은 형상을 보일 수 있을 것으로, 위 실험 후 관찰된 형상만으로는 발화여부에 대한 논단이 어려울 것으로 보인다.

4 검토 및 고찰

1) 실험1

저항이 측정되지 않았던 동전, 클립, 열쇠고리 등은 특이할 만한 온도상승이 관찰되지 않았으며, 스테인레스 가위의 약 80℃의 온도상승이 감지되나, 구조상 도체 전체를 통한 열의 손실로, 계속해서 상승하지 않은 것으로 보임. 스프링은 단락직 후 온도가 급상승하며, 곧 발화가 시작되었다.

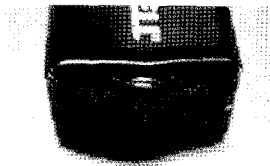
2) 실험2

저항이 측정되지 않았던 동전 등의 실험에서도 온도상승이 관찰되었으나, 전지 몸체의 온도가 더 높게 상승하는 점으로 보아, 도체 자체의 줄열 보다는 전지 내부의 반응열이 전도 된 것으로 보인다.

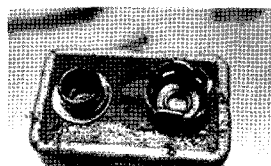
스프링의 경우, 실험1과 같이 쉽게 발화하였으며, 전지의 부풀어 오름 등의 손상이 관찰되었다.

실험1, 2는 그 결과에 있어서 특이할 만한 차이를 보이지

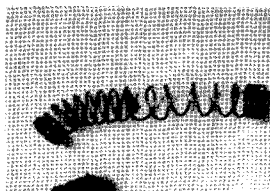
4) 연소후 잔해의 관찰



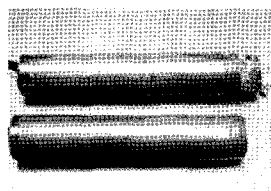
배터리 하단부



단자부



스프링



6개의 셀중 한 개가 부풀어 오름

않았다.

스프링은 적정 저항과 상대적으로 넓은 전열면적을 가지고 있어 발화가 매우 용이하였던 것으로 추정되고, 동전 등 발화에 이르지 못한 도체의 경우는 낮은 저항 및 전열면적이 적은 이유, 외부로 열이 손실된 점으로 인하여 발화가 되지 않았던 것으로 보였다.

#발화가 용이한 도체의 유형

▷ 부피가 작아 외부로의 열 손실이 적어야 한다.

▷ 적정저항을 가지고 있어야 한다. - 저항이 높을 경우 흐르는 전류가 작아 줄열이 작아지고, 저항이 작을 경우 많은 전류가 흘러 순간 고열을 낼수 있으나, 배터리의 한정된 방전량을 고려할 때 고온상태의 시간이 짧아지므로, 주변 가연물을 가열하여 착화하기에는 어려움이 따른다.

▷ 스프링과 같은 코일형태는 동일 길이의 직선형태에 비하여 열을 집중시킬 수 있어 발화가 더욱 용이하다.

8 결론

현재까지 방치된 9볼트 전지를 발화원인으로 판정한 구체적 인 사례는 없으나, 책상 서랍에 의류와 같이 넣어둔 9볼트 사각전지가 단자와 접촉된 부위를 탄화 변색케 한 후 초기단계에서 발견된 경우가 있으며, 전기 단락에 의한 화재로 의심되었던 현장은 여러차례 있었다.

실험을 통하여 9볼트 전지가 도체에 의해 단락이 된다면, 경우에 따라 줄열로 인하여 발화할 수 있는 충분한 방전능력을 가지고 있으며, 실험에 사용한 스프링과 같이 적당한 저항과, 형태를 가진 도체와 단락되면, 발화가 매우 용이하여, 그 위험성이 크다는 것을 확인하였다.

일상적으로 책상서랍 등 보관 장소에서 스프링과 유사한 조건을 지닌 도체를 만나기는 쉬운 일이 아닐 수 있으나, 동전 등 발화에 이르지 못한 도체의 경우에도 예상치 못한 회로의 구성과 이때 생길 수 있는 접촉저항 등을 고려한다면, 동전이나, 클립 등 저항이 낮은 도체의 경우에도 발화 가능성을 배제할 수는 없을 것으로 보인다.

■에너지저장 알카라인

Battery Type : 9V Alkaline Battery

전압(Voltage) : 9V

용량(Capacity) : 625 mAh

중량(Weight) : 456 g

높이(Height) : 485 mm

넓이(Lenght) : 265 mm

폭(Width) : 175 mm

■듀라셀 알카라인

Battery Type : 9V Alkaline Battery

전압(Voltage) : 9 V

용량(Capacity) : 550 mAh

높이(Height) : 485 mm

넓이(Lenght) : 262 mm

폭(Width) : 17 mm

중량(Weight) : 44 g