9 볼트 사각 전지의 단락사고 발생 시 화재 위험성 고찰

Fire Hazards of a 9 Volt Battery in Case of Short-Circuit

하현우* · 소수현** · 이윤근*** · 공하성****

Ha, hun woo · So, soo hyun · Lee, un kun · Kong, ha sung

Abstract

In this study, the riskiness of fire accidents on 9 V primary battery and secondary battery was investigated experimentally, their batteries were likely to occur the short circuit with a conductor contact. For this experiment, conductors of which short circuit are probable if they are left with 9 V batteries were selected as samples. And the possibility of a fire was experimented by bringing samples in contact with tissue paper, assuming that the 9 V battery and a sample have in short circuit. To consider a fire accident by the short circuit of a battery and a conductor, the theoretical resistance was calculated and the correlation between the experimental results and the theoretical resistance was studied. As a result, the sample(ball point pen's spring) of which length was the longest, cross-section was small and shape had a rolled like a coil was caught a fire. It is proved experimentally so the ball point pen's spring was likely to occur the concentration of heat that it was caught a fire.

Key words : 9 volt battery, riskiness of fire accidents, short-circuit, spring of ball point pen, concentration of heat

요 지

본 연구에서는 도체와의 접촉에 의해 단락 가능성이 높은 9 V 1차 전지와 2차 전지의 화재 발생 위험성을 실험적으로 살펴 보았다. 실험을 위하여 일상생활에서 1차 및 2차 9 V 전지와 함께 방치 되었을 경우 단락 가능성이 높은 도체들을 시료로 선택하였고, 9V 전지와 시료가 단락되는 조건에서 시료에 1회용 종이 티슈를 접촉시켜 발화의 가능성을 실험하였다. 전지와 도체의 단락에 의해 화재가 발생하는 결과를 고찰하기 위해 이론적 저항 값을 도출하여 실험 결과와 이론적 저항 값의 상관관계를 분석하였다. 결과적으로 도체 시료 중 단면적이 적고 코일형으로 되어 있는 볼펜 스프링의 경우가 종이 티슈를 발화되었으며, 볼펜스프링과 같은 조건에서는 단락 시 열의 집중이 일어나기 용이하여 발화가 발생되는 것을 실험적으로 증명하였다.

핵심용어 : 9 V 전지, 화재 위험성, 단락, 볼펜 스프링, 열의 집중

1. 서 론

최근 산업 발전에 의해 가전제품이 소형화됨에 따라 전지는 소형 가전제품의 필수품으로 자리 잡고 있다. 그 중에서도 일반적으로 크기나 용량이 작아 관리가 소홀해지는 소 용량 전지는 서랍 등에 함부로 방치되었을 경우 같은 장소에 보관된 특정 도체 등에 의해 단락될 수 있으며, 이 때 발생하는 줄열(Joule's heat)로 인해 주변 가연물에 화재를 일으킬 수 있는 위험성에 크게 노출되어 있다.

이에 각 전지 업체에서는 주의 사항으로 단락 등의 위험성을 경고하고 있으나, 대부분의 이용자들이 이와 같은 화재 발생 위험성을 충분히 인식하지 못하고 전지를 특별한 조치

없이 함부로 방치하는 경우가 많다.

전지 화재에 대한 연구는 오래 전부터 이루어져 왔으나 방치된 9 V 전지의 단락으로 인한 화재발생에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 일반 전지의 연구로는 건전지 자체의 본질 안전 방폭성을 평가하여 방폭형 전기기기의 기초자료를 제공한 것(이춘하 등, 1994)과 리튬 이온전지의 보호회로가 열과 충격이외의 다른 원인에 의한 위험성이 있다는 것을 제시한 사례도 있다(김수영 등 2008). 또한 불꽃점화 시험 장치를 이용하여 2차 전지의 폭발성 가스의 최초 점화 한계를 구하여 2차 전지의 불꽃방전에 의한 폭발 위험성을 제시한 사례도 있다(김시국 등, 2008). 이와는 달리 9 V 전지의 단락 사고에 대한 연구로는 9 V 알카라인 1차 전지를 도체에 단락

*정회원. 부산경상대학교 소방안전·전기전자계열 겸임교수(E-mail: hunwoo9876@hanmail.net)

Member. Adjunct Professor, Division of Fire Protection & Safety Engineering, Busan Kyungsang College

**교신저자. 정회원. 경일대학교 소방방재학부 교수(Tel: +82-53-850-7171, Fax: +82-53-850-7171, E-mail: shso8878@kiu.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, School of Fire & Disaster Prevention, Kyungil University

***부산경상대학교 소방안전·전기전자계열 교수

Professor, Division of Fire Protection & Safety Engineering, Busan Kyungsang College

****정회원. 경일대학교 소방방재학부 교수

Member. Professor, School of Fire & Disaster Prevention, Kyungil University

시킨 후, 단락시킨 도체에 화장지를 접촉시켜 도체의 발화여부를 실험하여, 어떤 전지에 따라서는 도체와의 단락에 의해 발화 할 수 있는 충분한 방전 능력을 가지고 있다는 것을 제시한 사례가 있다(이승훈 등, 2005). 하지만 이 연구에서는 9 V 1차 전지에 대한 실험에 국한 되었다.

따라서 본 연구에서는 시중에서 가장 접하기 쉬운 9 V 1차 전지와 2차 전지에 대하여 일상생활에서 쉽게 방치되어 접촉될 수 있는 물건 중 전지와 단락 가능성이 큰 도체를 시료로 선택하여(Table 1 참조), 책상 서랍과 같은 환경 내에 방치된 9 V 전지와 도체가 단락되었을 경우 화재 발생 가능성을 실험적으로 밝히고자 하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험 시료

2.1.1 전지

전지의 종류는 용도, 크기, 모양에 따라 매우 다양하지만 일반적으로 충전 유무에 따라 1차 전지와 2차 전지로 나눌 수 있다. 1차 전지는 일반적으로 충전 후 재사용이 불가능하며, 전지의 종류로는 알카라인 전지, 망간 전지 등이 있으며, 2차 전지는 1차 전지와는 달리 일반적으로 충전 후 재사용이 가능하며, 전지의 종류로는 니켈-수소 전지, 리튬 이온 전지 등을 들 수 있다.

본 연구에서 사용된 전지는 일상생활에서 많이 사용하고 “+”, “-” 단자가 일렬로 동일한 방향으로 돌출되어 있어, 도체와의 단락 시 화재 위험성이 높다고 생각되는 9 V 알카라인 1차 전지(A사 전지)와 9 V 니켈-수소 2차 전지(B사 전지)를 채택하였다.

본 연구의 발화 실험에 사용된 9 V 알카라인 1차 전지의 특징으로는 9 V의 전압과 620 mAh의 용량을 가지고 있고 자기방전이 적어 장시간 사용이 가능하지만, 전지의 용량이 낮고 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다. 또한 9 V 니켈-수소 2차 전지의 특징으로는 8.4 V의 전압과 250 mAh의 용량을 가지고 있고 과방전, 과충전에 잘 견디며 500회 이상의 충·방전이 가능하다. 하지만 급속 충·방전 시 높은 열을 발생한다는 단점이 있다.

2.1.2 도체

9 V 전지는 작은 크기로 인해 사무실 또는 가정의 선반, 서랍 등 수납이 가능한 장소에 쉽게 방치될 수 있으며, 이로

Fig. 1. Schematic figure of the experimental apparatus

인해 여러 도체들과의 단락 위험성에 노출되어 있다. 본 연구에서는 서랍, 상자 등에 수납될 수 있는 도체 중 발화 가능성이 있는 도체를 선별하여 시료로 선택하였으며, 선택한 시료의 정확한 저항 값을 도출하기 위해 Table 1과 같이 각 도체의 특성치를 조사하였고, 조사한 Table 1의 특성치를 식 (1)에 적용하여 Table 2와 같은 각 도체의 저항 값을 도출하였다.

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1)$$

여기서, R 은 저항값(Ω), ρ 는 도체의 고유저항($\Omega \cdot m$), L 은 도체길이(m), S 는 도체의 단면적(m^2)을 각각 나타낸다.

2.2 실험 장치

전지와 도체의 단락시 전지의 표면온도와 도체의 표면온도를 측정할 수 있는 실험 장치로 Fig. 1과 같이 열전대를 전지와 도체의 단락시킨 위치와 도체의 표면에 부착하고, 데이터 수집 스위치 장치(Agilent 34970A)를 사용하여 온도 데이터를 취득하였으며, 단락 시 발생될 수 있는 유해가스를 배출시키기 위해 후드(Hood) 내에서 실험하였다.

3. 실험 방법

3.1 전지의 표면온도 측정

1차 전지와 2차 전지 단락 시 전지 내부의 반응열로 인해 상승되는 전지 표면의 온도를 측정하기 위해 센서를 1차 전지와 2차 전지의 표면에 Fig. 2와 같이 부착한 후 가연물인 1회용 종이 티슈가 도체 위에 접촉 되었다고 가정하여 실험하였다. 전지 표면의 온도는 10초 간격으로 측정하였으며, 추가로 화재 발생 등 특이한 사항이 발견될 시에는 그 시간의

Table 1. Fundamental properties of electrical conductors

재료	볼펜 스프링	스텝플러용 철침	500원 동전	10원 동전	클립
고유저항(ρ)	$1 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$	$1.326 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$	$2.87 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$	$6.4 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$7.24 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
길이(L)	0.0234 m	0.0065 m	0.0065 m	0.0065 m	0.0065 m
단면적(S)	$7.068 \times 10^{-8} m^2$	$1.6 \times 10^{-7} m^2$	$1.536 \times 10^{-6} m^2$	$1.2 \times 10^{-5} m^2$	$3.14 \times 10^{-6} m^2$

Table 2. Estimated Resistance of electrical conductors

도체	볼펜 스프링	스텝플러용 철침	500원 동전	10원 동전	클립
저항 값	$3.31 \times 10^{-2} \Omega$	$5.38 \times 10^{-2} \Omega$	$1.21 \times 10^{-3} \Omega$	$3.46 \times 10^{-5} \Omega$	$1.49 \times 10^{-4} \Omega$

(a) primary battery (b) secondary battery

Fig. 2. Temperature measurement of a 9-volt primary battery and a secondary battery

(a) primary battery (b) secondary battery

Fig. 3. Temperature measurement of conductor

표면 온도 또한 기록 하여 전지와 도체가 단락 시의 발화 가능성을 살펴보았다.

3.2 시료의 온도 측정

Fig. 3은 시료를 1차 전지와 2차 전지에 각각 단락 시켰을 경우 온도 변화를 측정하기 위한 온도 측정 방법을 보여준다. 온도 센서를 각각의 도체 중심부에 부착 시킨 후 전지의 단락에 의해 상승되는 도체의 온도를 10초 간격으로 측정하였으며, 화재가 발생하는 도체에 대해서는 화재 발생시간을 추가로 기록하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 볼펜 스프링

주위온도 약 8.3°C, 1차 전지의 표면온도 16.5°C, 2차 전지의 표면온도 14.8°C의 실험 환경에서 1차 전지와 2차 전지의 표면과 볼펜 스프링의 중심부에 온도 센서를 부착한 후 단락과 동시에 도체 위에 일회용 티슈를 접촉시킨 결과 Fig. 4(a)와 같이 1차 전지는 약 7초 후 발화되기 시작하였으며, Fig. 4(d)와 같이 60초가 지나자 완전 연소되었다. 2차 전지의 경우에는 Fig. 5(a)와 같이 7초가 지나도 아무런 변화가 없었으며, Fig. 5(d)와 같이 60초가 경과하여도 외관상 아무런 변화가 없었으며, 일회용 티슈를 발화시키지 못하였다.

다음의 Fig. 6은 시간대별 각각의 전지 표면 온도와 볼펜 스프링 중심부의 온도를 측정한 결과를 그래프로 나타낸다. Fig. 6(a)을 살펴보면 1차 전지는 단락 후 전지 표면의 온도가 급격히 상승하는 것을 알 수 있으며, 이때 도체의 온도는 0초 19.23°C, 7초 후, 640.9°C이었다. 일회용 티슈는 7초 후의 640.9°C에서 발화하기 시작하였으며, 발화 후 온도가 급

(a) 7 sec

(b) 15 sec

(c) 20 sec

(d) 60 sec

Fig. 4. Primary battery short-circuiting a ball point pen's spring

(a) 7 sec

(b) 15 sec

(c) 20 sec

(d) 60 sec

Fig. 5. Secondary battery short-circuiting a ball point pen's spring

상승 하여 30초경과 후에는 최고온도 1714.9°C에 이르렀다. 1차 전지의 표면온도 또한 꾸준히 상승하여 94.2°C까지 상승하였다. 그래프와 같이 도체의 표면온도가 급상승한 이유는 화염이 도체에 부착된 온도 센서에 영향을 미쳐 도체의 온도가 급격히 상승한 것으로 판단된다. 또한 Fig. 6(b)을 살펴보면, 2차 전지 표면의 최고온도는 72.3°C, 도체의 표면온도는 76.4°C로써, 1차 전지보다 상승폭이 가파르지 않았으며, 일회용 티슈를 발화 시키지도 못하였다.

한편, Fig. 6(a)과 (b)를 비교하면 1차 전지에 단락시킨 도체 표면온도가 2차 전지에 단락시킨 도체 표면온도 보다 22배 이상 월등히 높은 것을 알 수 있다.

또한 1차 전지에서 볼펜 스프링이 발화한 이유로는 실험에 사용된 도체 중 가장 큰 저항 값을 가지고 있고 형태 또한 코일 형으로 되어 있어 직선으로 되어 있는 다른 길이의 도체에 비해 전지의 단자에 단락될 수 있는 길이가 길며, 방열되는 면적이 적어, 열을 집중시키기 용이하여 발화가 일어난 것으로 사료된다.

2차 전지에서 볼펜 스프링이 발화하지 않은 이유로는 1차 전지에 비해 전지의 용량(1차 전지 620 mAh 및 2차 전지

(a) Surface Temp. of ball-pen spring and primary battery

(b) Surface Temp. of ball-pen spring and secondary battery

Fig. 6. Temperatures of the battery short-circuiting a ball point pen's spring and conductor

250 mAh)이 적어 전지의 발열량이 크지 않기 때문에 종이 티슈를 발화시키지 못한 것으로 판단된다.

4.2 스템플러용 철침, 500원 동전, 10원 동전, 클립

주위 온도 약 7.9°C의 실험 환경에서 앞 절에서 언급한 방법과 동일하게 볼펜 스프링을 제외한 도체들을 1차 전지와 2차 전지에 각각 단락시킨 후, 일회용 종이티슈를 접촉 시킨 결과, 1차 전지와 2차 전지는 Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같이 일정시간이 경과하여도 1회용 티슈를 발화시키지 못

(a) staple pins

(b) 500 won coin

(c) 10 won coin

(d) clip

Fig. 7. Primary battery short-circuiting staple pins, 500 won coin, 10 won coin, and clip

(a) staple pins

(b) 500 won coin

(c) 10 won coin

(d) clip

Fig. 8. Secondary battery short-circuiting staple pins, 500 won coin, 10 won coin, and clip

하였고 외관상으로도 별다른 변화가 없었다.

한편, Fig. 9(a)는 1차 전지에 단락시킨 볼펜 스프링의 표면 온도와 다른 각각의 도체들의 표면 온도를 측정 비교한

(a) Surface Temp. of electrical conductors short-circuiting on a primary battery

(b) Surface Temp. of primary battery with the short circuit

(c) Surface Temp. of electrical conductors short-circuiting on a secondary battery

(d) Surface Temp. of secondary battery with the short circuit

Fig. 9. Surface Temperatures of each battery by a short-circuit and electrical conductor

Table 3. The relation of temperature between resistance and cross-sectional area of electrical conductors

도체	1차 전지에 단락시켰을 경우 도체의 최고온도	2차 전지에 단락시켰을 경우 도체의 최고온도	저항 값	단면적
볼펜	1714.9°C	76.4°C	$3.31 \times 10^{-2} \Omega$	$7.06 \times 10 \text{ m}^2$
스텝플러용 철판	69.3°C	62.4°C	$5.38 \times 10^{-3} \Omega$	$1.6 \times 10 \text{ m}^2$
500원 동전	18.4°C	16.1°C	$1.21 \times 10^{-3} \Omega$	$1.536 \times 10 \text{ m}^2$
10원 동전	23.6°C	29.3°C	$3.46 \times 10^{-5} \Omega$	$1.2 \times 10 \text{ m}^2$
클립	43.4°C	34.2°C	$1.49 \times 10^{-4} \Omega$	$3.14 \times 10 \text{ m}^2$

결과를 나타내며, 볼펜 스프링의 온도 상승률과 발화 시 최고 온도가 다른 도체들에 비해 현저하게 높은 것을 볼 수 있다. 이런 결과로 인하여 볼펜스프링의 단락 시 발화가 발생할 가능성이 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 9(b)는 도체와 단락된 1차 전지의 표면온도를 측정한 결과로 볼펜스프링이 단락된 경우만이 지속적으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 일회용 티슈의 발화로 인하여 온도가 상승한 결과라고 판단된다.

한편, Fig. 9(c)와 (d)의 결과는 동일한 방법으로 실시한 2차 전지에 대한 실험 결과로 일회용 종이 티슈를 발화되지 않은 이유로 온도의 지속적 상승경향은 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 다른 도체와는 달리 볼펜 스프링의 경우 약 20초 후에 감소하는 경향을 보이지는 않는 것을 알 수 있다.

이러한 결과를 볼 때 볼펜 스프링이 다른 도체에 비하여 1차 전지 및 2차 전지의 단락으로 발생하는 열을 방열시키기 힘든 특징을 가지고 있음을 알 수 있다.

4.3 각 도체의 저항 값과 단면적에 의한 온도 상승 관계

각 도체의 저항 값과 단면적, 그리고 각각의 도체를 9 V 1차 및 2차 전지에 단락시켰을 경우의 최고온도를 Table 3에 나타내었다. Table 3을 살펴보면 볼펜 스프링이 다른 도체에 비하여 단면적에 대비한 저항 값이 압도적으로 큰 것을 알 수 있으며, 이러한 결과가 발화를 발생시키는 요인과 밀접한 관계가 있음을 짐작할 수 있다.

이것은 단면적이 작은 도체 일수록 방열이 잘 되지 않기 때문에 열을 도체에 집중시켜 화재로 전이하기 용이하다는 것을 말하며, 실험에서 저항 값이 가장 크고 단면적이 가장 작은 볼펜 스프링에 접촉된 일회용 종이 티슈가 발화되었던 것을 통해 증명되었다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 일상생활에서 9 V 전지가 도체와 단락되었을 경우, 도체의 저항값, 단면적과 전지의 용량 등이 전지와 도체의 온도 상승률에 미치는 영향과 화재 발생여부를 실험한 연구로 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 실험에서 채택된 시료의 정확한 저항 값을 도출하기 위해 고유저항, 길이, 단면적 등 각 도체의 특성치를 조사하고, 이를 적용하여 각 도체의 저항 값을 도출하였다.
- 2) 또한, 도출된 각 도체의 저항 값과 단면적에 의한 온도 상승 관계를 실험을 통해 살펴본 결과 볼펜 스프링은 단면적에 비해 저항 값이 크고 코일 형으로 이루어져 있어 단락 시 열을 집중시키기 용이하여 발화의 가능성이 높아 볼펜 스프링에 접촉시킨 1회용 티슈가 발화하였다.
- 3) 전지의 용량에 따른 도체의 발화 가능성을 실험을 통해 증명하였다. 즉, 본 연구에서 사용된 2차 전지는 1차 전지보다 방전 용량이 적어, 도체와의 단락 시 1회용 종이 티슈를 발화시키지 못하였다.

향후 연구과제로는 도체가 단락되었을 경우 본 연구에서 이론 및 실험적으로 증명된 화재인자 요소라고 할 수 있는 저항 값과 단면적, 전지의 용량과의 연관성 뿐만 아니라 단락 시 발생하는 줄열 등 추가적인 화재발생 인자와의 상관관계를 위한 연구가 병행되어야 할 것이다.

References

- Kim, S.K. and Cha, H.N. (2008) A study on the explosion hazard by the spark discharge of Rechargeable battery, *the 4th excellence fire safety paper prize*, KOFEIC, pp. 51-68.
- Kim, S.Y., Han, D.H., Chun, S.S., Lee, D.W., Kim, S.S., Lee, J.T. and Lee, C.H.(2008) Experimental Study on fire risk Assessment Method for Lithium ion battery of Laptop computer, *Proceedings of 2008 Autumn Annual Conference*, KIFSE, Daegu, Korea, pp. 513-517.
- Lee, C.H., Song, H.J., Lee, K.S. and Lee, D.I.(1994) Experimental study on Ignition of Flammable gas by spark of dry battery, *Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference 1994*, pp. 1543-1546.
- Lee, S.H. and Moon, Y.S. (2005) Study on fire hazards of the neglected 9V alkaline batteries(6LR61), *J. of Korean Institute of Fire Investigation*, Vol. 5, No.1, pp. 39-44.

© 논문접수일 : 2012년 09월 12일
 © 심사회의일 : 2012년 09월 13일
 © 심사완료일 : 2012년 11월 01일