

퓨즈를 이용한 전기화재의 원인분석에 관한 연구 A Study on the Causal Analysis of Electrical Fire by Using Fuse

이춘하*[†] · 김시국 · 옥경재

Chun-Ha Lee*[†] · Shi-Kuk Kim · Kyung-Jae Ok

호서대학교 대학원, *호서대학교 소방방재학과
(2008. 1. 29. 접수/2008. 2. 18. 채택)

요 약

본 논문은 전기제품 내에 안전장치로 사용되는 퓨즈를 이용한 전기화재의 원인분석에 관한 연구이다. 시료는 유리관퓨즈(정격 15 A, 5×20 mm)와 온도퓨즈(정격 10 A, 72 °C)를 사용하였다. 전기화재의 주요원인인 단락 및 과부하 그리고 외부화염을 인위적으로 가하여 소손된 퓨즈의 특성을 비교·분석하였다. 실험결과 유리관퓨즈의 경우 소손된 퓨즈의 외형 및 표면 그리고 조직분석에서 서로 다른 특징들을 확인할 수 있었다. 온도퓨즈의 경우 외부화염실험의 경우에서만 소손된 퓨즈의 외형 및 가동접점의 표면 그리고 조직분석에서 뚜렷한 특징이 나타났다.

ABSTRACT

This paper studied on the causal analysis of electrical fire by using fuse that it is used with safety device in electrical products. The experimental samples used are glass tube fuse (15 A, 5 × 20 mm) and temperature fuse (10 A, 72 °C). The experiment analyzed on the characteristics of damaged fuse by main causes (short circuit, overload, external flame) of electrical fire. The results showed, in case of glass tube fuse identified different characteristics in external form and element surface and element texture of damaged fuse by main causes of electrical fire. In case of temperature fuse identified different characteristics in external form and sliding contact surface and sliding contact texture of damaged fuse only by external flame.

Keywords : Fuse, Electrical fire, Short circuit, Overload, External flame

1. 서 론

산업의 발전과 국민소득의 향상으로 다양한 전기기기·기구의 보급이 보편화되면서 전기화재의 발생은 빈번해지고 있다. 전기화재란 전기에너지를 열원으로 발생하는 화재를 말하며 전기화재의 발생요인으로는 도체에 전류가 흐르면 전류의 발열작용으로 발생하는 줄열과 공간상(절연물)에 전압이 내전압을 초과 시 발생하는 방전불꽃이 있다.¹⁻³⁾ 소방방재청에서 발표한 ‘2007년도 전국 화재 발생현황 분석 결과’ 자료에 따르면 2007년도에 화재는 총 47,760건이 발생하였고 그 중 전기화재가 10,533건(22.1%)으로 나타났다.⁴⁾ 매년 전기로 인한 화재가 많이 발생한 원인은 우리나라의

전기 시설이나 설비 등에 대한 설계, 감리, 시공 및 안전 관리기술은 선진국 수준에 근접하였으나 전기화재 사고의 원인 규명과 예방 대책에선 아직 미비한 수준이기 때문이다. 즉, 화재원인을 파악하기 어렵고 난해한 것은 대부분 전기화재로 미루려는 경향이 있기 때문이다.⁵⁾ 전기화재는 일반화재와 달리 복잡한 에너지 전달체계를 갖고 있어서 원인 규명이 어렵기⁶⁾ 때문에 전기화재의 원인을 규명하는 감식·감정을 위한 자료의 중요성이 부각되고 있다.

본 연구에서는 전기제품 내에 안전장치로 사용되는 퓨즈에 대하여 전기화재의 주요원인인 단락 및 과부하 그리고 외부화염을 인위적으로 가하여 소손된 퓨즈의 특성을 비교·분석하여 전기화재의 감식·감정을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

[†]E-mail: leecha@hoseo.edu

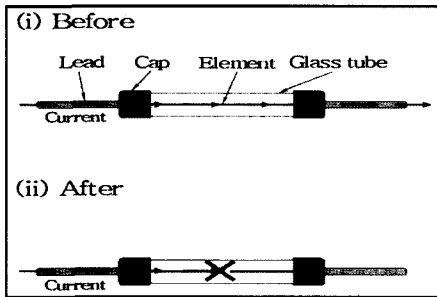
2. 실험

실험은 상온 21 °C, 습도 40% 조건에서 실험을 실시하였다.

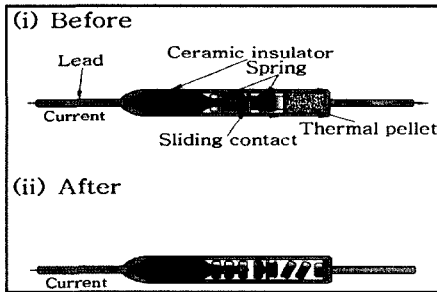
2.1 시료선정

실험에 사용된 시료는 전기제품 내에 안전장치로써 가장 많이 사용되는 대표적인 퓨즈인 유리관퓨즈(정격

15 A, 5×20 mm)와 온도퓨즈(정격 10 A, 72 °C)를 사용하였다. Figure 1은 퓨즈의 작동원리를 나타낸 것으로 (a) 유리관퓨즈는 과전류에 의해 퓨즈의 엘리먼트가 용단되어 전류를 차단하는 원리로 작동하고, (b) 온도퓨즈는 외부 온도가 정해진 온도에 이르렀을 때 가용체가 녹아 스프링이 팽창하여 가동접점이 리드로부터 멀어져 전류를 차단하는 원리로 작동된다.



(a) Glass tube fuse



(b) Temperature fuse

Figure 1. Operating principles of fuse.

2.2 실험장치

실험에 사용된 장치는 1φ 220 V를 입력전원으로 하여 단락·과부하 실험을 하기 위한 장치이다. 실험장치의 전기회로 구성은 Figure 2와 같다.

2.3 실험방법

2.3.1 단락실험

단락실험은 Figure 3과 같이 단락회로를 구성하여 실험을 실시하였고, 순간 단락전류는 80~100 A를 인가하였다. 실험은 시료별로 각각 30회씩 실시하여 결과를 비교·분석하였다.

2.3.2 과부하실험

과부하실험은 Figure 4와 같이 과부하회로를 구성하여 무부하로 실험을 실시하였고, 각 퓨즈에 허용전류

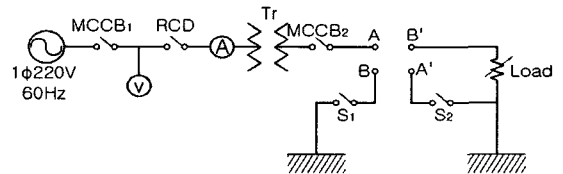
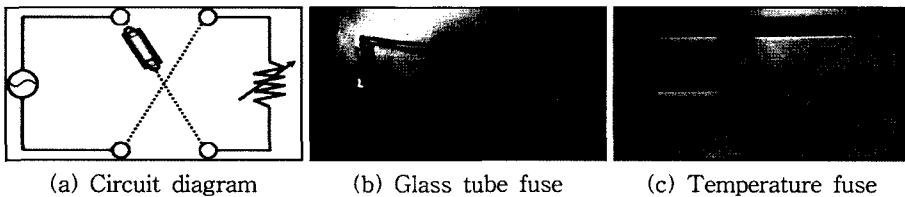


Figure 2. Schematic diagram of electrical circuit.

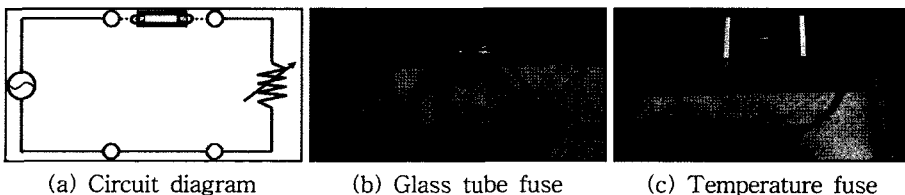


(a) Circuit diagram

(b) Glass tube fuse

(c) Temperature fuse

Figure 3. Photograph of short circuit test.



(a) Circuit diagram

(b) Glass tube fuse

(c) Temperature fuse

Figure 4. Photograph of overload test.

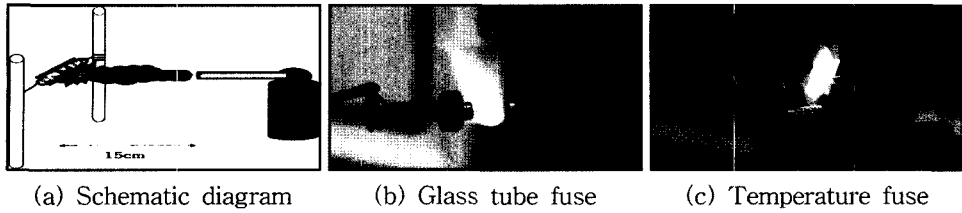


Figure 5. Photograph of external flame test.

2배인 30 A(유리관퓨즈), 20 A(온도퓨즈)의 과전류를 인가시켰다. 실험은 시료별로 각각 30회씩 실시하여 결과를 비교·분석하였다.

2.3.3 외부화염실험

외부화염실험은 Figure 5와 같이 장치를 구성하여 실험을 실시하였고, 외부화염은 토치를 이용하여 약 800~1000℃의 온도로 40초간 퓨즈에 가하였다. 실험은 시료별로 각각 30회씩 실시하여 결과를 비교·분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유리관퓨즈

3.1.1 퓨즈의 외형분석

Figure 6은 유리관퓨즈의 외형을 실체현미경(OSM-1/ OSM-U)으로 20배 배율로 관찰한 것으로 퓨즈 엘리먼트의 주성분은 주석(Sn)이다. (a)는 정상시료의 사진이다. (b)는 단락 실험결과로 순간적인 과전류에 의해 소선인 엘리먼트가 안개상으로 비산하여 외형상으로 관찰하기 어려웠으며, 퓨즈의 캡부분 유리관 표면에 은색의 띠 형상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. (c)는 과부하 실험결과로 40초 이내에 엘리먼트의 중앙부에서 용단 현상이 나타났으며, 유리관 표면 중앙에서 은색의 띠를 볼 수 있었다. (d)는 외부화염실험 결과로

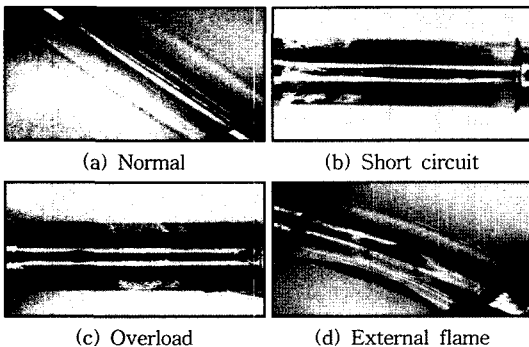


Figure 6. Analysis of external form (Glass tube fuse).

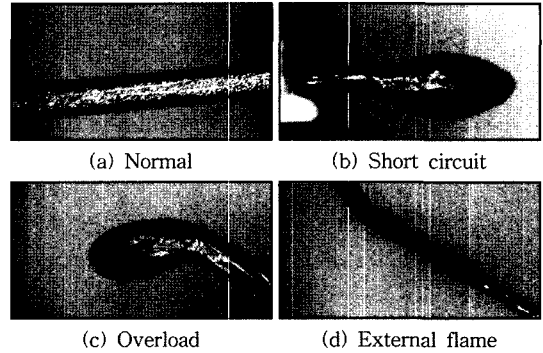


Figure 7. Analysis of element surface (Glass tube fuse).

퓨즈가 고열에 의해 변형되었으나 용단 현상이 나타나지 않았다. 그리고 퓨즈 내부의 접착제와 납이 캡과 유리관 틈새로 새어 나왔으며, 화염의 온도가 유리의 용점(소다유리 550℃, 경질 붕규산 유리 780℃)보다 높기 때문에 유리관의 심한 변형과 홀이 발생하는 것을 볼 수 있었다.

3.1.2 소손된 퓨즈의 표면분석

Figure 7은 유리관퓨즈의 소손된 표면을 실체현미경(OSM-1/ OSM-U)으로 40배 배율로 관찰한 것이다. (a)는 정상시료의 사진이다. (b)는 단락실험 결과로 용단된 망울의 형상은 둥글고 뾰족하며 망울의 표면은 매끄럽고 광택이 나는 것을 볼 수 있었으며, 부분적으로 순간 단락전류에 의해 엘리먼트가 비산하여 망울형태로 유리관표면에 붙어 있는 것을 확인할 수 있었다. (c)는 과부하실험 결과로 40초간 열 축적에 의해 하향 기역자로 용단이 되었으며, 용단된 망울은 매끄럽고 광택이 나는 것을 볼 수 있었다. (d)는 외부화염실험 결과로 용융부분의 경계가 불분명하고 거칠며 광택이 없고 굽기가 균일하지 않은 것을 볼 수 있었다.

3.1.3 소손된 퓨즈의 조직분석

Figure 8은 유리관퓨즈의 소손된 조직을 금속조직현미경(GX-51)으로 1000배 배율로 관찰한 것이다. (a)는 정상시료의 사진으로 엘리먼트가 제작될 때 생성되는

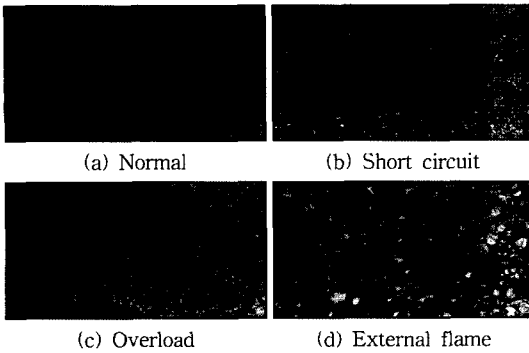


Figure 8. Analysis of element texture (Glass tube fuse).

가공방향으로 신장된 세로줄무늬의 조직이 나타났으며, (b)는 단락실험 결과로 단락전류는 극부적, 순간적 에너지가 크기 때문에 용단될 때 산소가 침투하여 무수히 많은 소혈(小穴)조직이 나타났다. (c)는 과부하실험 결과로 40초 이내에 용단되므로 열축적에 의해 변형된 과부하조직의 특징인 나뭇가지 형상의 수지상(樹枝狀)조직⁷⁾이 나타났으며, 용단된 망울의 외부조직보단 내부조직이 크게 생성된 걸 확인할 수 있었다. (d)는 외부화염 실험의 결과로 금속 조직 자체의 특정한 형태를 일정하게 보이기보다는 외부화염 특유의 원형 조직과 변형된 수지상조직이 나타나는 것을 알 수 있었다.

3.2 온도퓨즈

3.2.1 퓨즈의 외형분석

Figure 9는 온도퓨즈의 외형을 실체현미경(OSM-1/ OSM-U)으로 20배 배율로 관찰한 것으로 가동접점 (Sliding contact), 동판(Copper plate), 스프링(Spring), 가용체(Electrically nonconductive thermal pellet)로 구성되어 있다. (a)는 정상시료의 사진이다. (b)는 단락실험 결과로 정상시료와 차이가 없는 것을 볼 수 있었고, 단락 시 통전이 차단되지 않았다. 이것은 단락 특성상 극

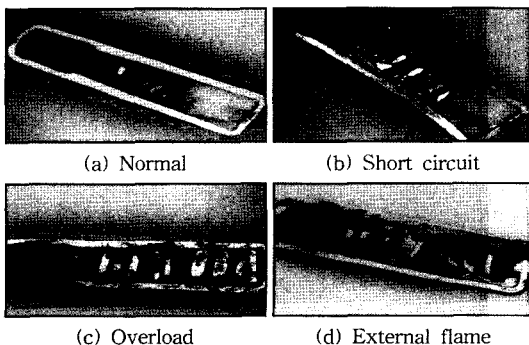


Figure 9. Analysis of external form (Temperature fuse).

부적, 순간적 에너지로서는 크지만 지속시간이 짧기 때문에 가용체가 녹지 않은 것으로 사료된다. (c)는 과부하실험 결과로 2분 30초 이내에 통전이 차단되었다. 열축적에 의해 가용체가 정해진 온도에서 녹아 압축 스프링이 느슨해져 가동접점이 리드로부터 떨어져 회로가 열려 통전이 차단된 것을 볼 수 있었으며, 가용체가 부분적으로 남아 있는 것을 확인할 수 있었다. (d)는 외부화염실험 결과로 과부하 실험 결과와 동일한 원리로 동작하였지만 부분적으로 남아 있었던 가용체가 발견되지 않았다. 이것은 화염에 의한 온도퓨즈 내 압력팽창으로 인하여 퓨즈의 몸체가 파괴되어 가용체가 외부로 모두 분출되는 것이라 사료된다.

3.2.2 가동접점의 표면분석

Figure 10은 온도퓨즈의 가동접점 표면을 실체현미경(OSM-1/ OSM-U)으로 40배 배율로 관찰한 것으로 퓨즈의 가동접점의 주성분은 은(Ag)이다. (a)는 정상시료의 사진이다. (b)는 단락실험 결과로 정상시료와 별 다른 차이점을 볼 수 없었다. (c)는 과부하실험 결과로 단락과 마찬가지로 정상시료와 별 다른 차이점을 볼 수 없었다. (d)는 외부화염실험 결과로 가동접점(녹는점 961℃)과 동판(녹는점 1083℃)이 고열에 의해 용융되어 서로 붙어 있는 것을 볼 수 있었다.

3.2.3 가동접점의 조직분석

Figure 11은 온도퓨즈의 가동접점 조직을 금속조직현미경(GX-51)으로 1000배 배율로 관찰한 것이다. (a)는 정상시료의 조직이다. (b)는 단락실험 결과로 정상 조직과 별 다른 차이점이 나타나지 않았고, (c)는 과부하실험 결과로 2분 30초 이내에 통전이 차단되었지만, 정상시료와는 별 다른 차이가 나타나지 않았다. 그러나 생성될 당시의 조직이 소멸하고 입자간의 병합이

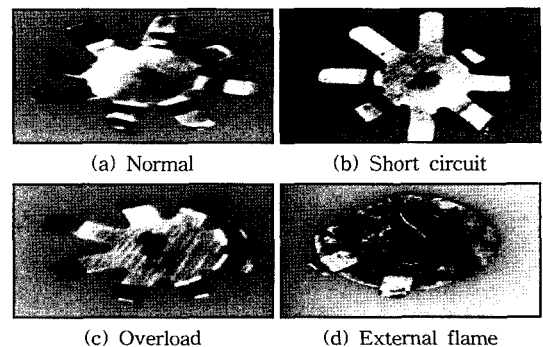


Figure 10. Analysis of sliding contact surface (Temperature fuse).

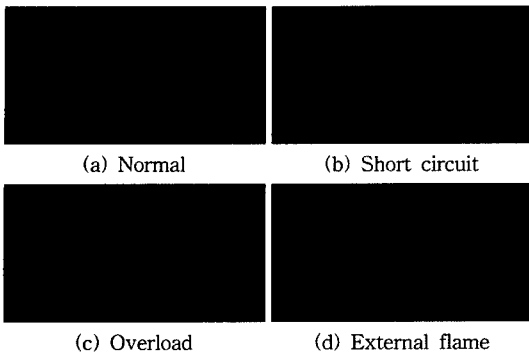


Figure 11. Analysis of sliding contact texture (Temperature fuse).

형성되는 것을 볼 수 있었다. (d)는 외부화염실험 결과로 고열에 용융된 경우 금속조직 자체의 특정한 형태를 일정하게 보이기보다는 외부화염 특유의 원형조직과 변형된 수지상조직을 볼 수 있었다.

4. 결 론

전기제품 내에 안전장치로 사용되는 퓨즈에 대하여 전기화재의 주요원인인 단락 및 과부하 그리고 외부화염을 인위적으로 가하여 소손된 퓨즈의 외형 및 표면 그리고 조직을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 유리관퓨즈

단락인가 시 순간적인 과전류에 의해 소선인 엘리먼트가 안개상으로 비산하는 특징이 나타났고 용단된 망울은 둥글고 뾰족한 형태로 매끄럽고 광택이 났으며, 무수히 많은 소혈(小穴)조직을 볼 수 있었다.

과부하인가 시 엘리먼트의 중앙부에서 40초 이내에 용단 현상이 나타났고 용단된 망울은 하향 기역자의 형태로 매끄럽고 광택이 났으며, 열충격에 의해 변형된 조직인 수지상(樹枝狀)조직을 볼 수 있었다.

외부화염을 40초간 가한 경우 고열에 의해 변형은 되었으나 용단현상이 나타나지 않았고 용융부분은 거칠며 광택이 없고 굵기가 균일하지 않았으며, 외부화염 특유의 불규칙적인 원형조직을 볼 수 있었다.

2) 온도퓨즈

단락인가 시 온도퓨즈의 경우 통전을 차단하지 못하

였으며, 정상시료와 외형 및 표면 그리고 조직분석에서 차이점을 발견할 수 없었다.

과부하인가 시 가용체가 정해진 온도에서 녹아 스프링이 느슨해져 가동접점이 리드로부터 떨어져 통전이 2분 30초 이내에서 차단되었으나, 정상시료와 표면 및 조직분석에서 차이점을 발견할 수 없었다.

외부화염을 40초간 가한 경우 과부하인가 시와 동일한 원리로 통전이 차단되었고 과부하인가 시 부분적으로 남아 있었던 가용체가 발견되지 않았다. 또한, 가동접점과 동판이 고열에 의해 용융되어 서로 붙어 있었으며, 외부화염 특유의 원형조직과 변형된 수지상 조직을 볼 수 있었다.

기존의 퓨즈를 이용한 전기화재 원인분석은 주로 외형분석만을 통하여 이루어 졌으나, 본 연구의 결과로 소손된 퓨즈의 조직분석 결과를 통하여 보다 신속하고 명확한 전기화재의 원인분석이 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 최충석, 김현우, 이경섭, 이춘하, 임양수, 정재희, “전기화재공학”, 동화기술, pp.189-237(2004).
2. 인천소방본부 화재조사팀, “현장실무자를 위한 화재원인 조사기법”, pp.263-268(2003).
3. 김두현, 김용식, 김상철, 김찬오, 윤양배, 이동훈, 이성일, 정재희, 조성곤, “최신전기안전공학”, 신광문화사, pp.237-248(2004).
4. 소방방재청, “2007년도 전국 화재 발생현황 분석 결과”(2008).
5. 김만건, 김진표, “전기화재 감식공학”, 성안당, pp.51-56(2006).
6. 최충석, “전기화재의 종류 및 원인분석”, 전기저널(2001. 12).
7. 洪世基, “電氣火災 原因分析 및 豫防對策 研究”, 韓國 電氣安全公社(1994).
8. 한국전기안전공사 신기술법제팀, “전기설비기술기준 및 판단기준”(2007. 1).
9. 최충석, “열적 스트레스 변화에 따른 600 V 비닐절연 전선의 특성분석”, 한국화재소방학회논문지, Vol.15, No.1, pp.108-115(2001).