

퓨즈를 이용한 전기 화재의 원인 분석 기법에 관한 연구

김시국, 이춘하, 옥경재, 차하나, 사공성호*, 지승욱**
 호서대학교 소방방재학과, *한국소방검정공사, **영남대학교 전기공학과

A Study of Methods about Investigated the cause of Electrical Fire that Use a Fuse

Shi-Kuk Kim, Chun-Ha Lee, Kyung-Jea Ok, Ha-Na Cha,
 Seong-Ho Sakong*, Sung-Wook Jee**

Department of Fire & Disaster Prevention Eng, Hoseo University
 *Korea Fire Equipment Inspection Corporation
 **Department of Electrical Eng, Yeungnam University

1. 서 론

전기화재란 전기에 의한 발열체가 발화원으로 작용하는 화재를 말하는 것으로 전기 화재 발생은 기본적으로 전류의 발열작용으로서 주열열($H=0.24I^2Rt$ [cal])과 방전에 수반되는 불꽃에 기인한다.¹⁾ 산업의 고도화와 대형화에 따라 전기사용량의 증가로 더 심화되고 매년 화재발생원인 1위를 차지하고 있다. 소방방재청에서 발표한 “2006년 화재 발생 현황 분석” 자료에 의하면 화재는 총 31,778건이 발생하였고 이중 전기화재가 9,392건(29.6%)으로 1위를 차지하고 있다.²⁾ 이것은 우리나라의 전기 시설이나 설비에 대한 설계, 감리, 시공 및 안전 관리기술은 선진국 수준에 근접하였으나 전기 화재 사고의 원인 규명과 예방 대책은 그렇지 못하기 때문이다. 즉, 화재원인 파악이 상당히 어렵고 난해하다는 것으로 화재의 원인을 대부분 전기화재로 미루려는 경향이 있기 때문이다.³⁾

우리나라 현행 화재조사 제도는 조사기관이 다원화되어 있고 그 기준과 방법이 다르며 정확한 조사 이론이나 지침이 없어서 조사 기술 정보와 정밀한 과학적 조사 분석 능력에 한계를 드러내고 있을 뿐만 아니라 너무 성급히 결과와 대책만을 강요하는 문제점을 안고 있다. 반면에 선진국에서는 국가 차원에서 화재 조사 요원을 양성하고, 화재 조사용 기자재의 첨단화와 사용의 극대화로 화재 원인을 명확히 규명한 후 그에 따른 예방대책을 구체적으로 제시, 정책에 반영하여 화재를 근원적으로 예방하여 전기 화재를 감소시키고 있다.⁴⁾

따라서 전기 화재를 판정하는 감식·감정 기준이 모호하여 원인을 규명하는데 미흡한 추세이기 때문에 원인 분석 자료의 중요성이 부각 되고 있다.

본 연구에서는 전기제품 내에 안전장치로 사용되는 퓨즈에 대하여 단락·과부하·외부화염을 인위적으로 가하여 퓨즈의 외형분석 및 내부분석, 조직분석을 통하여 전기 화재의 감식·감정을 위한 기초자료로 활용되고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험재료

현재 사용되고 있는 퓨즈는 매우 다양한 종류가 있으나, 국내의 전기제품에 많이 사용되는 정격15[A] 유리관퓨즈(5X20[mm]) 100개와 정격10[A] 온도퓨즈(72[°C]) 100개를 사용하였다.

2.2 실험장치

Fig. 1은 단락·과부하실험장치로 단락·과부하 실험에 사용하였다. Fig. 2는 금속조직현미경(회사:Olympus, 모델명:GX-51)으로 퓨즈의 조직분석에 사용하였다. Fig. 3은 실체현미경(OSM-1 / OSM-U)으로 퓨즈의 외형·내부분석에 사용하였다. Fig. 4는 폴리싱머신(Model: BESTPOL P201 / P202)으로 마운팅 작업에 사용하였다. Fig. 5는 부탄가스토치로서 인위적인 외부화염 실험에 사용하였다.

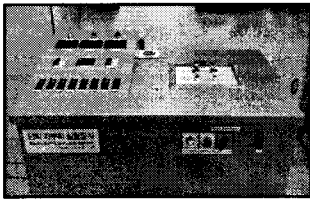


Fig. 1. 단락·과부하실험장치

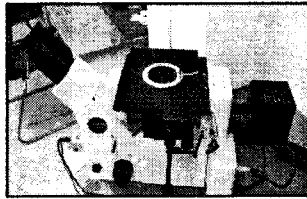


Fig. 2. 금속조직현미경

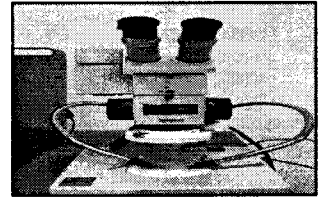


Fig. 3. 실체현미경

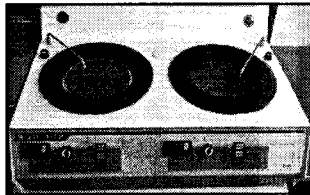


Fig. 4. 폴리싱머신



Fig. 5. 부탄가스토치

2.3 실험방법

(1) 단락실험(각30회)

Fig. 6과 같이 단락 회로를 구성하여 실험을 하였다.

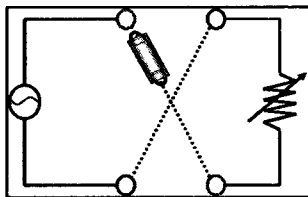
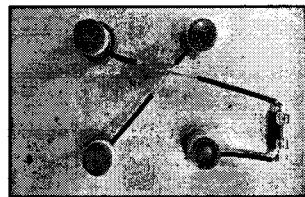


Fig. 6. 단락실험



(2) 과부하 실험(각30회)

Fig. 7과 같이 과부하 회로를 구성하여 각각의 퓨즈에 허용전류 2배의 과전류를 인가시켜 실험하였다.

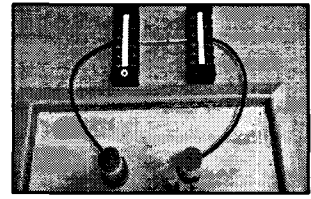
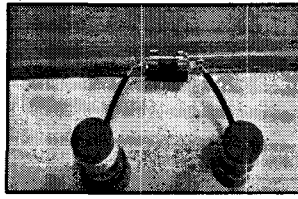
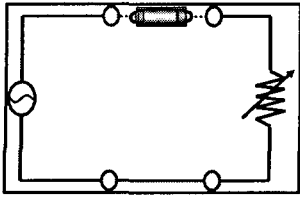


Fig. 7. 과부하실험

(3) 외부화염실험(각30회)

Fig. 8과 같이 외부화염을 40초간 가하였으며, 토치의 온도는 약 600~800[°C]이다.

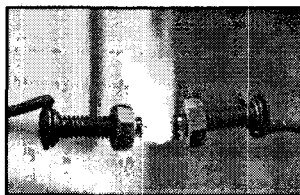
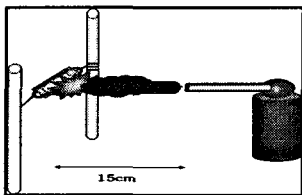


Fig. 8. 외부화염실험

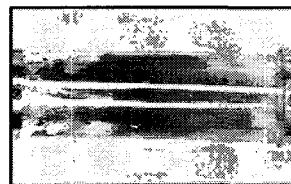
3. 실험결과 및 고찰

3.1 외형분석(유리관퓨즈)

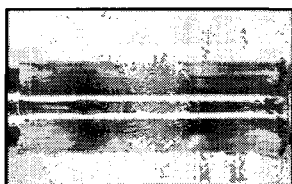
Fig. 9의 (a)는 정상시료의 사진으로 element의 주성분은 Sn이다. Fig. 9의 (b)는 단락실험의 결과로 element를 발견하기가 어려웠다. 이는 순간적인 과전류에 의해 element가 안개상으로 비산한 것으로 사료된다. 또한 유리관 표면 끝단에서 은색의 띠를 볼 수 있었다. Fig. 9의 (c)는 과부하 실험의 결과로 40초 이내에 퓨즈가 용단되었으며 element의 중앙에서 용단되는 특징이 있었다. 또한 유리관 표면 중앙에서 은색의 띠를 볼 수 있었다. Fig. 9의 (d)는 외부화염 실험의 결과로 element에선 용융흔적을 발견 할 수 있었지만, 용단되지는 않았다. 또한 고열에 의해 퓨즈 내부에 있는 접착제와 납이 외부로 빠져 나오고, 화염의 온도가 유리의 융점(소다유리 550[°C], 경질 봉규산 유리 780[°C])보다 높기 때문에 유리관의 심한 변형과 흠을 볼 수 있었다.



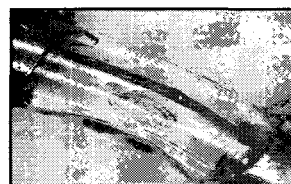
(a) 정상시료



(b) 단락



(c) 과부하



(d) 외부화염

3.2 내부분석(유리관퓨즈)

Fig. 10의 (a)는 정상시료의 element 사진이다. Fig. 10의 (b)는 단락 실험의 결과로 내부의 순간적인 과전류에 의해 용단되어 앞이 둥글고 뾰족하며 매끄럽고 광택이 나는 것을 볼 수 있었으며, Fig. 9의 (b)의 사진처럼 단락의 경우 element의 손상이 크므로 시료를 채취하는데 어려움이 많았다. Fig. 10의 (c)는 과부하 실험의 결과로 열 축적에 의해 element 중앙에서 하향 기역자로 용단되고 매끄럽고 광택이 나는 것을 볼 수 있었다. Fig. 10의 (d)는 외부화염 실험의 결과로 용융부분의 경계가 불분명하고 거칠며 광택이 없고 굵기가 균일하지 않는 것을 볼 수 있었다.

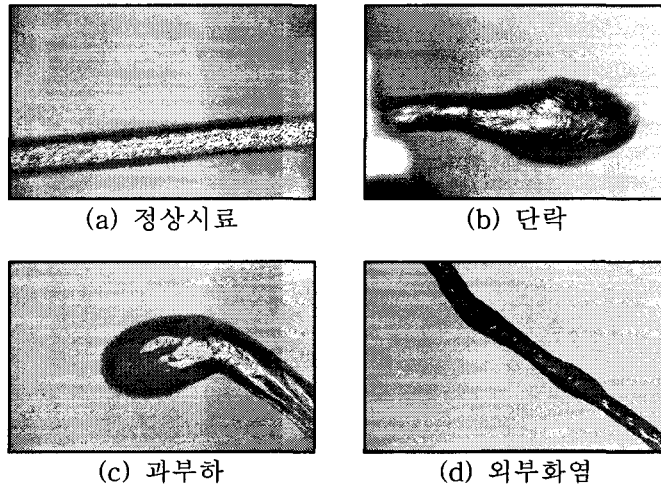
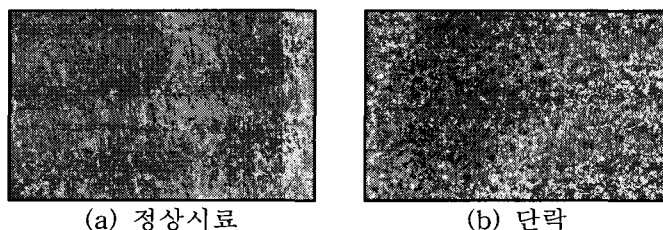


Fig. 10. 내부분석

3.3 조직분석(유리관퓨즈)

Fig. 11의 (a)는 정상시료의 사진으로 element가 제작될 때 생성되는 가공방향으로 신장된 스트링거 조직을 볼 수 있었다. Fig. 11의 (b)는 단락 실험의 결과로 단시간에 급격한 온도상승에 기인하므로 용융될 때 산소가 침투하여 무수히 많은 소혈(小穴)조직을 볼 수 있었다. Fig. 11의 (c)는 과부하 실험의 결과로 장시간의 열 축적에 의해 용단되므로 덴트라이트 구조의 무늬를 볼 수 있었다. 또한 외부 조직보다 내부조직이 크게 생성된 걸 볼 수 있었다. Fig. 11의 (d)는 외부화염 실험의 결과로 고열에 용융된 경우 금속 조직 자체의 특정한 형태를 일정하게 보이기는 외부화염 특유의 원형조직과 변형된 덴트라이트 조직을 볼 수 있었다. 또한 과부하와 반대로 내부 조직보다 외부조직이 크게 생성된 걸 볼 수 있었다.



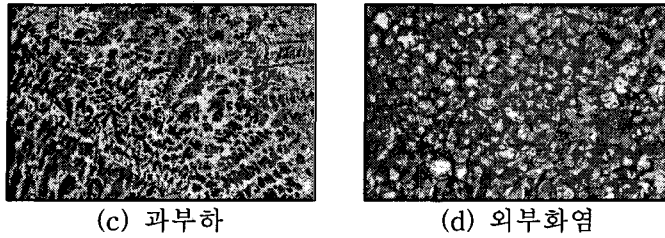


Fig. 11. 조직분석(1000X)

3.4 외형분석(온도퓨즈)

Fig. 12의 (a)는 정상시료의 사진으로 가용체가 스프링을 밀어주고 리드선과 성형전극이 가동접점으로 붙어 있다. Fig. 12의 (b)는 단락 실험의 결과로 정상시료와 차이가 없는 것을 볼 수 있었고, 단락 시 통전이 차단이 되지 않았다. 이것은 단락이 순간적으로 발생되기 때문이라고 사료된다. Fig. 12의 (c)는 과부하 실험의 결과로 열 축적에 의해 가용체가 정해진 온도에서 녹아 압축 스프링이 느슨해져 가동접점이 떨어진 것으로 사료된다. 또한 가용체가 부분적으로 남아 있는 것을 볼 수 있었다. Fig. 12의 (d)는 외부화염 실험의 결과로 과부하에서 확인 할 수 있는 가용체가 발견되지 않았다. 이것은 화염에 의한 온도 퓨즈 내 압력 팽창 후, 압력 파괴로 인하여 가용체가 외부로 모두 분출되는 것이라 사료된다. 과부하 실험과 같은 원리로 통전이 중단되었을 것으로 사료된다.

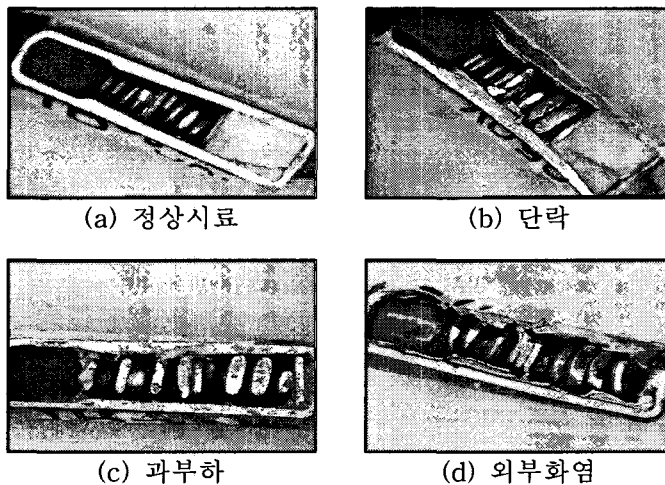


Fig. 12. 외형분석

3.5 내부분석(온도퓨즈)

Fig. 13의 (a)는 정상시료의 동판(Cu)과 성형전극(Ag)의 사진이다. Fig. 13의 (b)는 단락 실험의 결과로 정상시료와 별 다른 차이점을 볼 수 없었다. Fig. 13의 (c)는 과부하 실험의 결과로 단락과 마찬가지로 정상시료와 별 다른 차이점을 볼 수 없었다. Fig. 13의 (d)는 외부화염 실험의 결과로 동판(Cu 녹는점 1083[°C])과 성형전극(Ag 녹는점 961[°C])이 고열에 의해 용융되어 서로 붙어 있는 것을 볼 수 있었다.

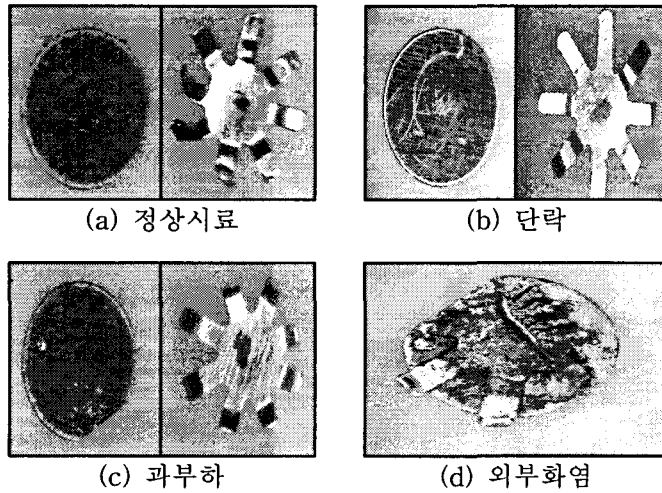


Fig. 13. 동판과 성형전극의 내부분석

3.6 조직분석(온도퓨즈)

Fig. 14의 (a)는 정상시료의 동판의 사진으로 생성되는 가공방향으로 신장된 스트링거 조직을 볼 수 있었다. Fig. 14의 (b)는 단락 실험의 결과로 정상시료와 별 다른 차이점을 볼 수 없었다. Fig. 14의 (c)는 과부하 실험의 결과로 단락과 마찬가지로 정상시료와는 별 다른 차이를 볼 수 없었다. Fig. 14의 (d)는 외부화염실험의 결과로 외부화염 특유의 원형조직과 결정 입자 간의 병합으로 조직이 크게 성장한 것을 볼 수 있었다.

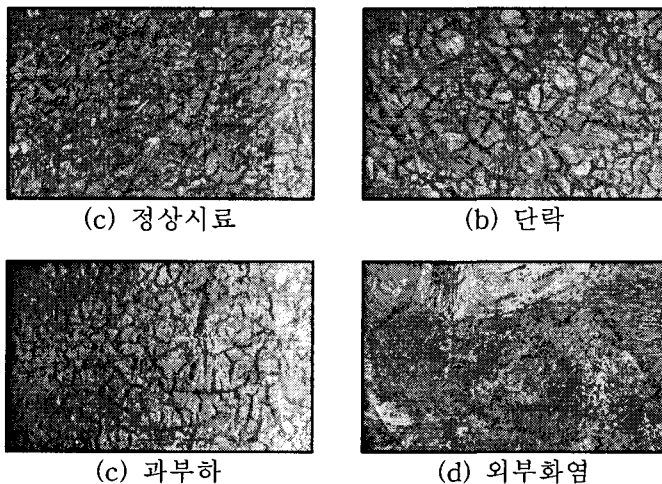


Fig. 14. 동판 조직분석(1000X)

Fig. 15의 (a)는 정상시료의 성형전극의 사진으로 생성되는 가공방향으로 신장된 스트링거 조직을 볼 수 있었다. Fig. 15의 (b)는 단락 실험의 결과로 정상조직과 별 다른 차이점이 없었다. Fig. 15의 (c)는 과부하 실험의 결과로 정상시료와는 별 다른 차이는

없지만, 스트링거 조직이 소멸하고 입자간의 병합이 형성되는 것을 볼 수 있다. Fig. 15 (d)는 외부화염 실험의 결과로 고열에 용융된 경우 금속 조직 자체의 특정한 형태를 일정하게 보이기보다는 외부화염 특유의 원형조직과 변형된 덴드라이트 조직을 볼 수 있었다.

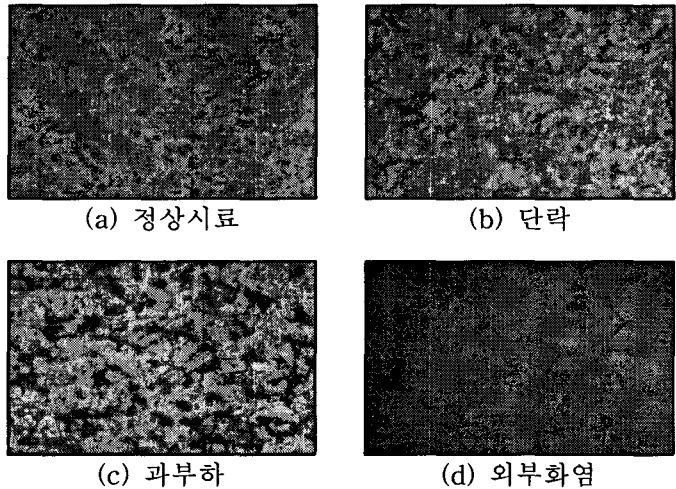


Fig. 15. 성형전극 조직분석(1000X)

5. 결론

본 논문은 전기제품 내에 안전장치로 사용되는 퓨즈에 대하여 단락·과부하·외부화염을 인위적으로 가하여 퓨즈의 용단 모양과 파괴된 조직 등을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유리관퓨즈의 경우 각각의 실험을 비교·분석한 결과 외형·내부·조직분석에서 서로 다른 특징들을 확인 할 수 있었다. 하지만, 단락의 경우 시료 찾기가 어려운데, 이것은 단락 시 순간적인 과전류에 의해 element가 안개상으로 비산한 것으로 사료된다.
2. 온도퓨즈의 경우 각각의 실험을 비교·분석한 결과 외부화염의 경우에만 외형·내부·조직분석에 뚜렷한 특징을 확인 할 수 있었다. 과부하의 경우 외형분석에서만 특징을 볼 수 있었다. 온도퓨즈는 통전에 의한 발열 때문에 용단(溶斷)되는 것이 아니고, 주위 온도가 규정값을 넘으면 가용체가 정해진 온도에서 용단되는 것이다. 따라서 단락의 경우 순간적으로 일어나기 때문에 단락 시 온도퓨즈는 회로 차단 능력이 없다고 사료된다.
3. 이상과 같은 결과를 통해 전기화재의 감식·감정기법에 유용한 기초자료가 될 수 있다고 사료된다. 그러나 조건에 따라 많은 변수들이 발생함으로 과학적으로 검증된 판별법으로 정립하기 위해서는 많은 유형의 실험과 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 인천광역시 소방본부, 현장실무자를 위한 화재원인 조사기법.

2. 소방방재청, “2006년 전국화재 통계분석”.
3. 김두현 외, 최신전기안전공학, 신평문화사, 2004.
4. 김만건 외, 전기화재감식공학, 성안당, 2006.
5. 전기설비 기술기준.
6. 한국전기안전공사, 전기화재원인분석 및 예방대책연구.