

## 화재현장에서 분석 절차에 따른 전기화재 조사기법 개발

김동욱\*, 이기연, 길형준, 김향곤, 정영식\*\*

한국전기안전공사 전기안전연구원\*, 인천대학교 전기공학과\*\*

### A Study on the Unique point about the Tracking at Electrical fire spot

Dong-Ook Kim\*, Ki-Yeon Lee, Hyung-Jun Gil, Hyang-Kon Kim, Young-Sik Chung\*\*

Electrical Safety Research Institute(KESCO)\*, Inchon University\*\*

**Abstract** – Electric fire breaks out by various causes such as electric short, overload(over current), leakage current, poor contact, static electricity, insulation deterioration, partial disconnection and etc. In this paper, we studied analysis technique for scientific and systematic judgment for distinction of electricity fire existence and nonexistence, and described about electricity fire cause analysis process for collecting physical evidences. We handled external form analysis, Substance extension analysis, X-ray transmission analysis, cross-section analysis, thermal analysis, chemical structure analysis, surface structure analysis, component analysis, electrical properties analysis, and circuit analysis by analysis technique for electricity fire cause judgment. We expect that analysis technic elevation and correct cause of fire analysis of scene of a fire investigators and analysts through this paper which see help.

### 1. 서 론

2008년도에 발생한 화재는 49,631건으로 전기화재는 9,808건이 발생하여 19.8%의 점유율을 보였다. 또한 전기화재중 전기배선 및 배선기구에서 발화한 화재가 2,540건으로 25.95%를 점유하였으며 사고전압별로 분석한 전기화재는 220/380V에서의 화재가 6,320건(64.4%)으로 전기화재의 대부분을 점유하였다. 220/380V에서 전기화재가 많은 이유는 대부분의 가전기기 및 동력기기에서 사용하는 전압이 220V나 380V이기 때문으로 분석된다.

전기화재란 전기적 원인이 발화원으로 되는 화재를 말하며, 전기화재의 발생과정을 살펴보면 전기에너지가 변환되어 발생한 열이 발화원이 되어 일어난 화재와 절연물의 도체로의 변질, 네온사인의 고압부에서의 누설방전이나 낙뢰 등 천재지변에 의한 절연파괴, 노후, 자연적 원인뿐만 아니라 취급부주의나 방화 등 인위적인 원인에 의해 발생되는데, 전기기기기구의 제작 불량에 의한 화재와 설계·구조적 결함으로 인한 화재, 불안전한 시공에 의한 누전이나 열 발생, 안전장치의 부동작 등 고장 및 사용자의 부적절한 사용방법이 요인이 되어 발생한 화재로 분류할 수 있다.

전기에너지가 변환되어 발생한 열의 종류에는 줄열(Joule's heat)이나 방진스파크 및 아크(Arc)로부터 발생된 열속 등이 있으며, 줄열이 발생하는 가장 큰 요인으로는 단락이나 지락 등과 같이 전기회로 이외로의 누설에 의한 경우로 전압이 인가된 충전부분에 도체접촉 등이 있고, 그 다음으로는 중성선 단선과 같은 배선의 1선 단락이나 전동기의 과부하운전 등 부하의 증가, 배선의 반단선에 의한 전류통로의 감소와 국부적인 저항치의 증가, 각종 개폐기·차단기류 등을 고정하는 나사가 느슨해져 국부적인 저항이 증가하여 줄열에 의해 발생하는 경우 등이다<sup>[1-2]</sup>.

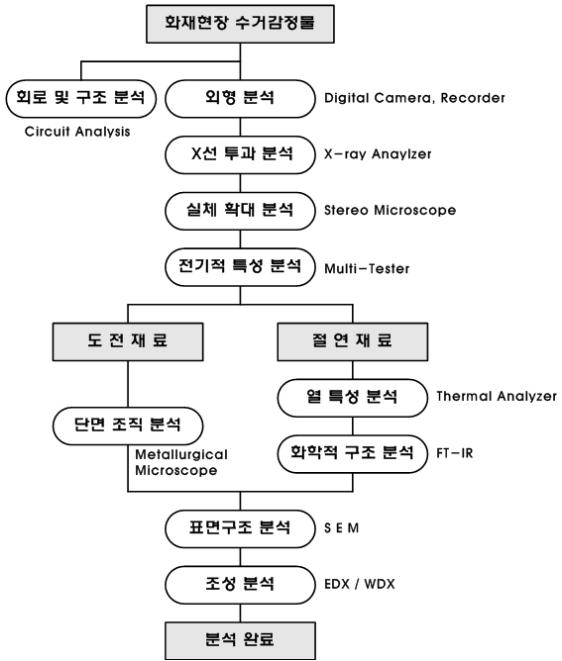
본 논문에서는 화재현장에서 전기화재로 추정되는 화재현장 수거 감정물에 대하여 전기화재의 유무를 밝히기 위한 과학적이고 체계적인 전기화재 원인 분석기법에 대하여 논하고자 한다. 본 논문을 통하여 일선 현장에서 화재원인의 규명하는데 있어 도움이 되기를 기대한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 전기화재의 원인 분석 과정

정확한 화재 원인의 규명을 위해 무엇보다도 중요한 것이 화재현장의 조사와 감정물의 채취이다. 최초 발화지점의 추정과 발화지점에서의 화재 유발 인자의 발굴과 채취, 분석 등 일련의 과정을 거쳐 원인이 밝혀지게 된다. 화재시 발생한 열에 의해 용융, 탄화, 변형된다. 이러한 용융, 탄화, 변형된 감정물의 분석을 통하여 정확한 화재원인을 밝히는데 상당한 어려움이 있다.

Fig.1은 화재현장에서 전기화재로 추정되는 전기기계기구, 전기제품, 전선 등에 대하여 원인분석과정을 나타낸 것이다. 분석과정을 살펴보면, 우선, 감정물에 대한 외형분석과 더불어 회로 및 구조분석이 이루어진다. 그 후, 용융, 탄화된 시료의 경우에는 X선 투과분석으로 내부 구조를 분석하며 도체의 용융, 변색, 절연물의 탄화 등 특이사항이 관측된 부분에 대한 실체 확대 분석이 이루어진다. 또한, 도전재료나 절연재료의 단선, 저항변화 등 전기적 특성을 분석하고 도전재료에 대해서는 용융흔에 대하여 금속단면조직의 분석, 절연재료의 경우 열 특성과 화학적 구조 변화 분석을 수행한다. 그리고, SEM, EDX 등을 이용하여 용융, 탄화된 시료에 대한 표면구조와 조성을 분석하게 된다. 이러한 일련의 분석과정은 모든 감정물에 적용되는 것은 아니며 감정물의 상태나 조건 등에 따라 선별적으로 분석항목이 결정되며 때에 따라서는 순서가 변경되기도 한다.



〈그림 1〉 전기화재 원인 분석 과정

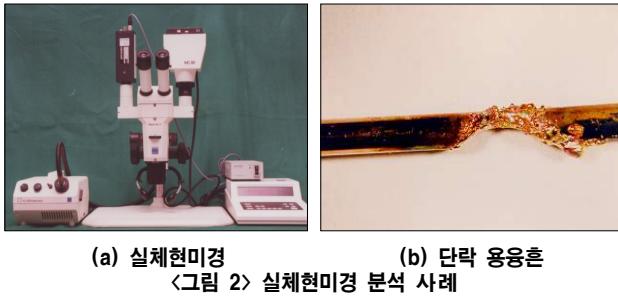
#### 2.2 전기화재 원인규명을 위한 분석절차

최초 발화지점에서 화재 원인이라고 추정되는 증거물에 대한 분석에 있어 가장 먼저 행하는 것이 외형 분석이다. 외형분석을 통하여 화재에 의한 증거물의 소손패턴과 화재확산과정, 화재열의 강도(세기), 용융, 탄화 등 물리적 변화를 확인하게 된다. 이러한 외형 분석에는 일반적으로 아날로그 또는 디지털카메라가 사용되며 기록이 필요한 경우에는 캠코더가 사용되기도 한다.

##### 2.2.1 분석시료의 실체 확대 분석

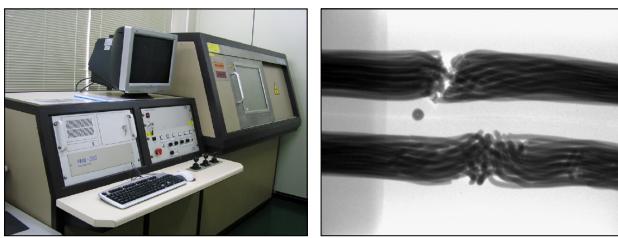
외형 분석에서 도체나 절연물 등에 용융, 탄화, 변색, 침식 등 물리적인 변형이 관찰된 경우에는 그 부분을 실체현미경 등을 이용하여 확대 분석하게 된다. 이러한 확대 분석을 통하여 도체의 경우에는 용융흔의 생성 형태나 크기, 변색 등을 분석하며 절연물의 경우에는 탄화, 용융, 절연열화 등의 특징을 분석하여 화재원인을 규명한다. Fig.3은 실체 확대분석에 사용되는 실체현미

경과 실체현미경을 이용한 전기화재 분석사례를 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 실체현미경의 외형모습이며, 그림 2(b)는 단락에 의해 용융된 전선도체의 외형을 나타낸 것으로 단락시 발생한 높은 열과 아크에 의해 단락된 부분이 용융된 것을 볼 수 있다.



## 2.2.2 내부 구조 투과 분석

화재현장에서는 화재시 발생한 열 등에 의해 기기나 제품들이 탄화되고 변형된다. 이렇게 변형된 제품이나 기기의 내부구조 분석을 위해 사용되는 것이 X선 투과분석장비이다. X선 투과분석장비는 일반적으로 반도체 제조공정이나 생산된 제품의 이상 유무를 판별하기 위해 사용되는 장비로 화재원인 규명에 있어서도 이용되고 있으며 정상 제품 뿐만 아니라 탄화되고 변형된 증거물들의 내부 구조나 내부 결함 등을 분석할 때 활용된다. Fig.4는 X선 투과분석장치의 외형과 X선 투과분석장치를 이용한 전기화재 분석사례를 나타낸 것이다. 그림 3(a) X선 투과분석장비의 모습이며, 그림 3(b)는 기계적 피로에 의해 연장코드의 내부의 소선들이 단선된 모습을 나타낸 것이다. 심선 중 일부가 단선되는 것을 반단선이라고 하며 반단선이 발생하면 국부적인 저항증가와 접촉에 따른 아크에 의해 피복이 열 열화하고, 착화하게 된다.



## 2.2.3 도전재료의 단면조직 분석

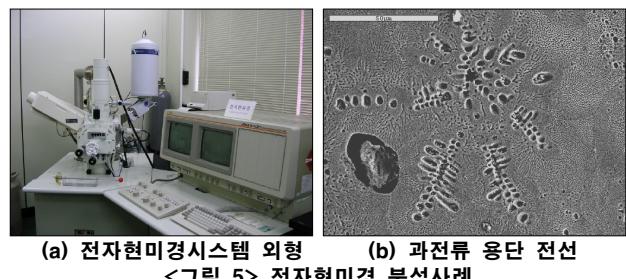
전기에너지의 전송에 사용되는 도전재료로 주로 동(구리:copper)이 사용된다. 동전선은 제조시 생성되는 길이방향의 연신구조를 갖고 있으며, 동전선이 전기적인 원인이나 외부의 열 영향 등으로 수열하게 되면 열적 변형이 일어나게 된다. 전기적인 단락이 발생한 경우에는 순간적인 높은 열과 아크에 의해 동전선이 용융하게 되며 이때 용융된 부분에 나타나는 금속단면조직이 주상조직이다. 주상조직은 전선이 용융되기 전에 전기에너지가 인가되었다는 것을 나타낸다. 또한 전선에 허용전류 이상의 과전류가 흐르게 되면 줄열에 의해 전선 도체에 열에 발생하게 되며 과전류의 크기에 따라 전선이 열열화하며 큰 전류가 흐를 경우에는 동의 용융온도 이상에서 단선되며 이때 생성된 용융흔에는 나뭇가지 모양의 수지상 조직이 나타난다. 또한, 외부화염에 의해 동전선이 열 열화되며 수열온도에 따라 조직이 점차 커지게 되며 전선 표면에는 산화물이 형성되거나 동의 용융온도 이상의 열을 받게 되면 용단된다. 화재현장에서는 화재시 발생한 열 등에 의해 용융된 동전선을 볼 수 있으며 정확한 화재원인의 규명을 위해서는 정밀 분석이 필요하게 된다. 이러한 동전선의 금속단면조직의 분석을 통하여 용융흔의 생성원인을 밝히며 이를 통하여 화재원인을 규명하게 된다. Fig.5는 동전선의 단면조직변화를 분석하는 금속현미경과 금속현미경을 이용한 전기화재 분석사례를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 금속현미경 모습이며 그림 4(b)는 전기적 단락에 의해 생성된 1차 용흔의 금속단면조직(100배 확대)을 나타낸 것으로 용융된 부분과 용융되지 않은 부분의 경계선을 볼 수 있으며 경계선을 중심으로 주상조직과 보

이들을 관찰할 수 있다.



## 2.2.4 분석시료의 표면구조

전자현미경은 크게 주사전자현미경(SEM ; Scanning Electron Microscope)과 투과전자현미경(TEM ; Transmission Electron Microscope)로 나누어진다. SEM은 광학현미경으로는 구분하기 어려운 작은 입자나 미세한 구조를 확대 분석이 가능하며, 도전재료나 절연재료에 관계없이 관찰할 수 있다. 그림 5는 도전재료나 절연재료의 표면구조 분석에 사용되는 주사전자현미경(SEM)과 SEM을 이용한 전기화재 분석사례를 나타낸 것이다. 그림 5(a)은 전자현미경시스템을 나타낸 것으로 표면구조를 분석하기 위한 SEM과 분석시료를 구성하는 원소의 성분과 양을 분석할 수 있는 EDX와 WDX로 구성되어 있다. 그림 5(b)은 과전류에 의해 용단된 0.32mm 동전선 용융부의 표면구조를 나타낸 것으로 나뭇가지 모양의 수지상 조직을 관찰할 수 있다. SEM은 광학현미경(OM ; optical microscope)에서 분석이 불가능한 미세한 입자의 고배율 분석이 가능하며 시료에서 나타나는 물리적 특성의 변화를 통하여 화재원인을 규명하게 된다.



## 3. 결 론

이상과 같이 전기화재로 추정되는 화재사고에 있어 전기화재의 유무를 판별하기 위한 분석기법에 대하여 소개하였으며 최초 화재발생 원인으로 추정되는 전기기기나 전기제품, 전선 등에 있어 외형분석, 실체 확대 분석, X선 투과분석, 열 특성 분석, 화학적 구조분석, 금속단면조직분석, 표면구조분석, 조성분석, 전기적 특성분석, 회로해석 등 과학적이고 체계적인 분석기법을 활용하여 원인 규명이 이루어져야 할 것이며, 분석기법의 정확성과 다양화를 위한 지속적인 연구와 기법의 개발이 필요하다. 이상에서 열거된 분석기법들이 화재현장에서 수거된 모든 분석시료에 적용되는 것은 아니며 분석률의 상태와 조건 등에 따라 분석절차에 따라 분석이 이루어져야 할 것이다. 본 논문을 통하여 우리나라의 전기화재 분석기법의 선진화와 분석기술의 향상에 도움이 되기를 기대한다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] D. W. Kim, "A Study on the Characteristics of Tracking Deterioration between Electrodes on Phenolic Resin used for Low Voltage", ICEE 2002 conference
- [2] H. Zang, R. Hackam, "Electrical Surface Resistance, Hydrophobicity and Diffusion Phenomena in PVC", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 1, pp.73~83, 1999