

전기화재 예방용 향 검지기의 현장 적용 사례 연구

최충석*, 김향곤*, 박윤석**, 양정훈**

*한국전기안전공사 전기안전연구원, **주식회사 팀코리아

Study on the Field Application of Odor Detector for Electric Fire Prevention

Chung-Seog Choi*, Hyang-Kon Kim*, Yoon-Seok Park**, Jung-Hun Yang**

*Electrical Safety Research Institute, **Team Korea Inc.

Abstract - 본 논문에서는 전기화재 예방을 위한 향 검지기 및 향 캡슐, 향 센서의 구조와 향 검지 시스템의 동작원리에 대하여 다루었으며, 이 향 검지 시스템을 산업 현장에서 많이 사용되는 단자대(터미널 블록)와 저압용 차단기의 체결나사의 접촉 불량에 의한 이상 발열에 적용하여 향 검지 시스템의 동작 특성과 유효성에 대하여 검증하였다. 향 검지시스템을 현장에 적용하여 확인한 결과 효과적으로 이상 발열을 감지하여 음성과 표시로 관리자에게 통보해 줌을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

성숙된 사회일수록 재해 예방을 위한 시스템의 구축 및 운용이 과학적이라는 것에 대해 이를 계기할 사람은 없을 것이다. 재해 발생 시기를 예측하는 기술은 많은 엔지니어들에게 있어 주된 연구 대상일 뿐만 아니라 경영자에게는 기업의 존폐를 결정하는 중요한 인자이다. 사고는 열적 요인, 환경적 요인, 기계적 요인, 전기적 요인 등 나열하기가 어려울 정도로 다양하다. 이 중에서 환경적 요인은 열(온도), 압력, 습도 등 복수 파라미터에 의해 지배를 받고 있고, 특히 대부분의 사고와 밀접한 관계를 갖고 있는 것이 열(온도)이다. 열을 인간이 지체롭게 활용하면 연소의 형태를 이루며, 부적절하게 적용되면 화재로 이어진다.

흔히 화재는 재앙의 근원으로 불리지며 재도약을 위한 최소한의 에너지조차 남김없이 송두리째 없애버린다. 열에 의해 유발되는 재해는 건축물 화재, 전기 화재, 반도체 공정의 불량, 전력 IT 설비의 오류 등 산업 전반의 설비에서 예측 불가능한 사고로 발생하고 있다. 즉 에너지의 변동 및 변환이 있는 곳이라면 이상 발열의 가능성은 언제나 상존하고 있다고 말할 수 있다. 전기 설비 사고의 대부분은 접속부 조임의 느슨함, 열화(劣化), 부적절한 체결, 부식, 진동 등에 의해 발생한다. 전기 설비 접속부에서의 접촉 불량은 이상 아크의 발생 및 산화물 증식 등이 주요 인자이지만[1-2], 일반적인 전기 설비 보호 장치인 누전차단기(RCD 또는 ELB), 배선용차단기(MCCB) 등은 작동 원리의 상이함으로 인해 재해를 감지하지 못하는 경우가 발생한다. 전기 설비는 설계 당시 지적인 문제가 기준치 이상으로 발생하면 자기 보호를 위한 경보, 차단 등의 기능이 있지만 점진적으로 열화(aging)가 진행하거나 설계의 미비에서 발생하는 열적 오류는 그 열을 하나의 저항 부하(설비)로 인지하므로 사고 예방에는 현실적인 어려움에 직면하게 된다 [3-4]. 과전류 또는 과열에 의해 각종 전기 설비를 구성하는 절연물이 화재에 도달하는 과정에는 연기의 발생 이전에 특유의 냄새 가스를 발생하는 경우가 많다. 실제로 공장이나 일반 건물에서 과전류 및 과열에 의해 절연물은 용융되고 유독 가스를 배출하여 화재의 초기 단계로 발전하는 경우가 많다. 이와 같은 사고를 예방하기 위해 온도 테이프, 온도 센서, 연기 센서, 고감도 연기

센서 등이 활용되고 있다. 그러나 이들 검지기는 사고가 상당 시간 진행된 후에 관리자의 점검과 검사에 의해 인지되므로 시스템의 보호에 한계점을 갖고 있다. 반면 향 검지기(odor detector)는 절연 물질이나 도체가 열적 스트레스(80℃, 100℃, 120℃ 등)를 받을 때 발생하는 열에 의해 작동하여 방향성 물질(향)을 내뿜고 이를 검지하여 조기에 관리자 또는 운용자에게 통보되기 때문에 사고의 확산 및 예방에 우수한 특성을 보이는 것으로 알려져 있다[5-7].

본 논고에서는 이러한 향 캡슐과 검지 시스템을 조합한 이상열 검지 시스템의 원리 및 현장 적용 실험을 실시하여 반응 결과를 해석하고 사고의 확산 방지 및 예방을 위한 대안으로 제시하고자 한다.

2. 이 론

2.1 관련 이론

전기 설비의 접속부가 부적절하게 체결되면 에너지 전달이 원활하지 못하고 그 결과 발생하는 부작용의 대표적인 것이 열이다. 즉 초기에는 적은 열에 의해 약간의 냄새 또는 색 변환이 발생하다가 일정 시간이 경과하여 열화(劣化)가 누적되면 시스템의 고장 및 사고를 유발시키고 결국에는 화재가 발생하여 회복 불가능한 상황에 이르게 되며, 그 경로를 나타내면 그림 1과 같다.

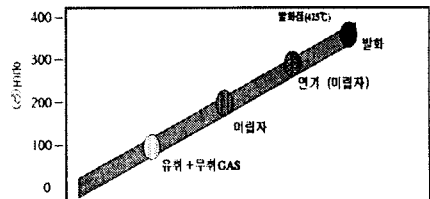
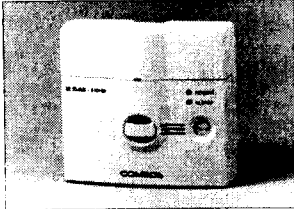
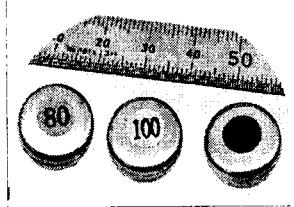


그림 1. 전기설비의 화재에 도달할 때까지의 과정

접속부에서 볼트의 느슨함 등에 의해 저항 값은 증가하고 전류 값이 변하지 않아도 줄열(Joule's heat)은 증가하여 접속부 주변의 온도가 상승한다. 온도 상승과 함께 절연물이 용융, 탄화하여 유독 가스가 발생하고 계속 과열되면 연기의 발생으로부터 불꽃을 동반한 화재로 이어지게 된다. 따라서 일반적인 전류·전압 센서 등의 물리 센서만으로는 사고를 방지하는 것은 불가능하다. 그림 2는 신코스모사(일본)에서 제작한 향 검지기(ESM-100)와 향 캡슐을 나타낸 것으로 화재 초기의 정후인 냄새 발생을 반도체식 초고감도 향 센서에서 검지하는 것에 의해 설비의 피해를 최소한으로 억제하는 것이 가능하다. 그리고 향 캡슐을 온도 상승이 예상되는 케이블 등의 단자부나 접속부에 설치하는 것에 의해 화재의 초기 감지뿐만 아니라 각 지점의 상시 온도감시도 가능하다.



(a) 향 검지기(ESM-100)의 외형

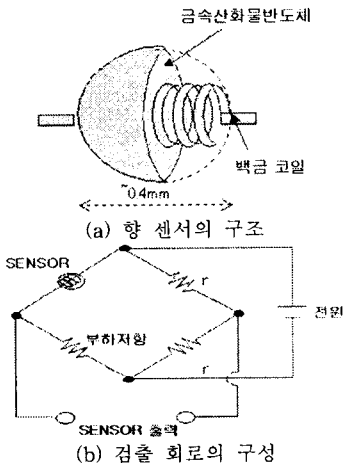


(b) 향 캡슐의 외형

그림 2. 향 검지기 및 향 캡슐

2.2 향 검지 시스템의 구성 및 동작 원리

전기 설비를 구성하는 절연 재료로부터 발생하는 냄새는 절연물의 종류 및 형상 등에 의해서 다르며, 냄새를 감지한 시점에서의 절연물 온도는 일정하지 않다. 따라서 냄새와 더불어 변압기, 차단기, 단자대 등 기기의 외함 뿐만 아니라 전기적 접속부의 온도를 감시해야 하는 경우가 발생한다. 이 경우는 열전대 등의 물리적인 접촉형 온도 센서가 주로 사용되고 있지만, 이 경우에는 동상 열전대의 배선을 동반하게 되고 충전부와 절연되어야 한다는 제약이 따르고 장소 여건상 배선이 불가능한 경우도 있으므로 사용상의 문제점이 발생한다. 이의 대안으로 개발된 것이 향 캡슐 및 향 검지기로 일정한 온도에서 특정의 냄새를 발생시켜 그 냄새를 향 센서에서 검지하면 쉽게 온도 감시가 가능하다. 제작된 캡슐은 원반상(Φ15×7mm, 재질은 등)으로 그림 2(b)와 같은 외형을 갖는다. 향 캡슐에는 액체상의 향 물질이 충전되어 있으며 설정된 온도로 발열할 경우 향 캡슐의 봉인부가 녹아 캡슐의 내부에 있는 향 물질이 기화되면서 외부로 분출하게 된다. 이때 분출된 향 가스를 향 검지기가 검출하여 사용자 또는 관리자에게 알려주게 된다. 그림 3은 향 센서의 구조 및 검출 회로를 나타낸 것이다[8].



(b) 검출 회로의 구성

그림 3. 향(냄새) 센서의 구조 및 검출 회로

3. 현장적용 실험 및 결과

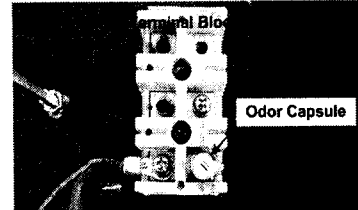
3.1 단자대(터미널 블록) 단자의 이상발열 실험

전기 설비에서 접촉 불량에 의한 이상 발열로 인한 화

재 예방을 위하여 향 검지기(ESM-100)를 사용하였으며 그림 4(a)와 같이 단자대(3P 30A)의 체결 나사 상부에 향 캡슐을 설치하였다. 이때 부하로는 220V 100W 전구 4개를 병렬 연결하여 사용하였으며 단자대에 가진기(accelerometer)를 이용하여 기계적 진동(2G, 60Hz)을 인가하였을 때 전선 고정 나사에서의 발열 및 아크 특성, 향 캡슐의 동작 상태를 확인하였다. 4(b)는 실험장치 구성을 나타낸다.



(a) 단자대(3P 30A)에 설치된 향 캡슐



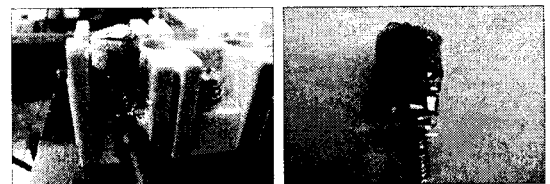
(b) 실험 장치 구성

그림 4. 단자대(터미널 블록) 단자의 이상 발열 실험

그림 5(a)와 (b)는 산업현장에서 많이 사용하고 있는 단자대(terminal block) 단자나사에서 외부의 기계적 진동에 의해 아크가 발생하고 있는 모습이며, 이때 발생한 열이 향 캡슐에 전도되어 향 캡슐의 밀봉부가 용융되어 캡슐 내부의 향 물질이 외부로 누출된 모습을 나타낸 것이다.



(a) 단자대 단자에서의 아크 발생

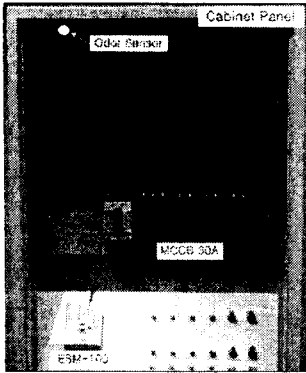


(b) 이상 발열 감지 향 캡슐의 동작 상태

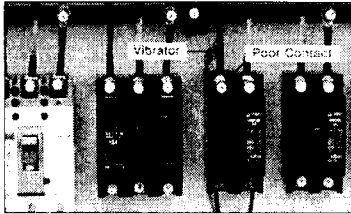
그림 5. 단자대 단자의 아크 및 향 캡슐 동작

3.2 배선용차단기 단자의 이상발열 실험

그림 6과 같이 실제 산업현장과 같은 분전반 내 저압용 차단기 단자나사에 각각 향 캡슐을 설치한 후 진동 모터를 이용하여 배선용차단기 단자의 전선 접속부에 기계적 진동을 인가하였을 때 단자나사의 발열 및 아크 특성, 향 캡슐의 동작과 향 검지기의 동작 상태를 실험하였다. 이때 부하로는 220V 950W의 전열 부하를 사용하였으며 실험에 사용된 배선용차단기는 220V 30A이다.



(a) 차단기 단자 이상발열 실험장치 구성

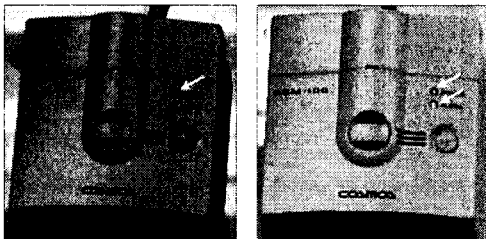


(b) 배선용차단기 단자의 향 캡슐 설치
그림 6. 배선용차단기 단자의 이상발열 실험

그림 7은 분전반 내 배선용차단기 단자에서의 접촉 불량에 의한 이상 발열시 향 캡슐 및 향 검지 시스템의 동작 상태를 나타낸 것으로 접촉 불량에 의해 차단기 단자에서 불꽃이 발생하였으며 접촉 불량에 의해 발생한 열이 향 캡슐에 전도되어 향 캡슐의 밀봉부가 용융되면서 내부의 향 물질이 외부로 누출되어 분전반 내 상단면에 설치된 향 검지 센서가 검지하여 이를 시스템의 본체에 전달하여 적색 표시와 동시에 음성신호로 이상 상태를 표시해 줌을 확인할 수 있었다.



(a) 배선용차단기 단자의 아크 발생(좌측 단자)



(b) 향 검지 시스템의 동작 상태(좌-정상, 우-이상)
그림 7. 차단기 단자의 아크 및 향 검지기 동작 특성

4. 결 론

이상과 같이 접촉 불량으로 인한 발열로 화재가 발생하는 것을 사전에 예방하기 위한 향 검지기 및 향 캡슐의 구조와 동작 원리에 대하여 알아보았으며, 이 시스템을 산업 현장에 적용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론

을 얻었다.

1) 단자대(터미널 블록)의 체결나사에 향 캡슐을 부착하고 접촉 불량에 의한 이상발열 실험을 수행한 결과, 진동에 의한 접촉 불량으로 도체 접촉면에서 불꽃(아크 또는 스파크)과 열이 발생하였으며, 체결단자에서 발생한 열이 향 캡슐에 전도되어 향 캡슐이 동작되는 것을 확인할 수 있었다.

2) 분전반의 배선용차단기 전원측 단자에 향 캡슐을 부착하고 분전반의 상단에 향 센서를 위치한 상태로 접촉 불량에 의한 이상발열 실험을 수행한 결과, 차단기 단자 접촉면에서 불꽃이 발생하였으며 이때 발생한 열이 향 캡슐에 전도되어 향 캡슐의 밀봉부가 용융되면서 향 가스가 외부로 분출하였으며 이를 향 센서가 감지하여 이상발열 여부를 신호와 소리로 통보함을 확인할 수 있었다.

이상과 같이 현장적용 실험 결과 향 검지 센서를 이용한 향 검지 시스템은 전기설비에서의 이상 발열에 의한 재해를 사전에 예방해 줄 수 있음을 확인할 수 있었으며 향후, 지속적인 연구 개발을 통해 활용 범위 및 적용 대상이 확대될 것으로 기대된다.

[감사의 글]

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] 최충석 외 3, "적렬아크에 따른 도체의 산화물 증식 및 전압 파형 분석", 대한전기학회논문지, Vol.55P No.3, pp.146-152, 2006
- [2] 김향곤 외 4, "저압용 비닐절연전선에서의 적렬 아크 특성 분석" 대한전기학회 춘계학술대회, pp.57-59, 2006
- [3] 김동우 외 4, "가연물 특성에 따른 저압용 차단기의 스위치 아크에 의한 화재특성" 대한전기학회 하계학술대회, pp.37-38, 2006
- [4] Chung Seog Choi et al, "Heating Characteristics according to the Mechanical Pressure at the Terminal of Circuit Breaker for Low Voltage", 29th International Symposium on Combustion, pp.68, 2002
- [5] A. Zhao, L. Wang and C. H. Yao, "Research on Electronic-nose Application Based on Wireless Sensor Networks", Journal of Physics: Conference Series 48, pp.250-254, 2006
- [6] T. Katsube et al, "Sensor Fusion for Taste Sensor and Odor Sensor", Chem. Senses 30, pp.260-261, 2005
- [7] C. Arnold et al, "Air Quality Monitoring and Fire Detection with the Karlsruhe Electronic Micronose KAMINA, IEEE Sensors Journal, pp.1-22, 2001
- [8] Takayuki Yamashita et al, "Overheat Sensing system using an Odor Detector and Capsules "CAN-NETSU-KUN", Hitachi Cable Review, No.22, pp.66-69, 2003