

# 철제펜스로 지지된 동력배선의 단락·지락에 의한 전기화재 발생 개연성 연구

김정훈·박병기\*·송종혁\*\*·정기창†

호서대학교 안전보건학과 · \*호서대학교 대학원 안전공학과 · \*\*호서대학교 벤처과정부  
(2007. 10. 1. 접수 / 2007. 12. 7. 채택)

## A Study on the Possibility of Electrical Fires due to the Short Circuit and Ground Fault of Power Cable Supported by an Iron Fence

Jeong Hun Kim · Byoung Ki Park\* · Jong Hyeok Song\*\* · Ki Chang Jung†

Department of Safety and Health Engineering, Hoseo University

\*Department of Safety Engineering, Graduate School of Hoseo University

\*\*Division of Venture Course, Hoseo University

(Received October 1, 2007 / Accepted December 7, 2007)

**Abstract** : Short circuit and ground fault account for the primary causes of electrical fires. In this research, real-scale experiments were conducted to assess the possibility of electrical fires due to these causes. The experiment conditions were identical with an actual fire accident, in which the power cable was supported by an iron fence. The purposes of this research are to investigate the short circuit caused by wire cutting, the conductivity of the iron fence depending on its coating conditions, and the ground fault of one wire or two wires in an effort to reconstruct the fire accident. The test results show that, owing to the instant operation of circuit breaker in the moment of short circuit or ground fault, the generated ignition energy is far less than necessary to start an ignition. Therefore it is concluded that electrical fire is highly unlikely if the electric system is protected by a circuit breaker with normal functions.

**Key Words** : short circuit, ground fault, electrical fire, power cable, iron fence, circuit breaker, minimum ignition energy, electrical spark

### 1. 서 론

전기의 사용량 증가는 전기 부하와 직접적인 관련성이 있으며, 이로 인해 전기관련 화재도 크게 증가하고 있다. 최근 10년간 국내의 전체 화재발생 현황을 살펴보면, 화재 발생건수 중 전기화재의 발생건수가 매년 감소추세를 나타내고는 있지만 아직도 약 30%의 점유율을 차지하고 있다<sup>1)</sup>. 이와 같은 양상은 국내뿐만 아니라 일본, 영국, 미국 등의 경우에도 유사하게 나타나고 있다. Table 1은 최근 5년간 국내의 전기화재 발생현황을 건수와 재산피해 측면으로 나타낸 것이다.

전기화재를 발생 원인별로 분류하면 합선에 의

한 화재발생이 전체의 약 67%, 과부하에 의한 전기화재가 약 8%, 누전에 의한 전기화재와 접촉부 과열에 의한 화재가 4%대로 조사되고 있다. 가정용 전기기기·설비뿐만 아니라 비교적 관리가 용이하고 사용이 간편한 동력케이블을 옥내가 아닌 옥외에 노출된 상태로 사용하는 산업현장에서도 케이블의

Table 1. Occurrence state of electrical fires<sup>1)</sup>

Year	Classification	Occurrence Number			Total Property Damage (Mill. Won)
		Total Fires	Electrical Fires	Occupying ratio(%)	
2006		31,778	9,392	29.6	150,792
2005		32,340	9,971	30.8	171,374
2004		32,737	10,450	31.9	146,634
2003		31,372	10,670	34.0	151,590
2002		32,966	11,202	33.9	143,447

† To whom correspondence should be addressed.  
kcjung@hoseo.edu

노후 및 관리 불량, 기타 원인규명이 어려운 다양한 조건과 메커니즘에 의해 전기화재 발생이 가중되고 있다<sup>2)</sup>.

전기화재의 특징은 그 위험성을 예측·확인하기 어렵고, 사고 발생시 신속한 대처를 할 수 없는 점이다. 또한 전기화재는 지속적인 인명피해와 경제적 손실을 가져오고 있으며, 최근에는 화재확대로 인해 경제사회에 미치는 영향도 매우 크다. 이러한 전기화재의 억제 및 예방을 위해서 전기화재 발생 원인 중 큰 비중을 차지하는 지락 및 단락보호, 과부하보호를 위하여 누전차단기, 배선용 차단기를 비롯한 각종 차단기를 설치, 단락사고 및 과부하에 의한 과전류 발생시 차단 기능을 부여하여 전기화재의 발생을 억제하고 있다. 그러나 각종 구조적인 문제로 인하여 전기화재 방지가 미흡한 실정이기 때문에, 미연에 정확한 전기화재 원인 및 분석, 조사를 통하여 동종·유사 재해를 방지하는 것이 최상의 대책이다. 이에 반해 사고 후 동일 사고에 대한 화재감식 해석을 달리할 경우 전기화재의 원인은 명확하게 규명하기 어려운 것이 현실이다<sup>3-6)</sup>. 따라서 기 발생된 화재사고를 샘플링하여 동 사고시 발생장소에서의 운전조건, 기후적 환경, 작업자의 결함, 기타 특수조건 등을 정량화시켜 시나리오별 화재발생을 재연하는 것도 방화기술의 또 다른 방법이다.

본 연구에서는 화재원인 해석상 단락 혹은 지락으로 인한 전기적 원인이 화재발생의 주요 원인이었는가를 실험적으로 검증해 보기 위한 일환으로 산업현장 사고(경기도 안산시 소재 M사, 2005.3.25)를 샘플링하였다. 옥외로 노출된 동력배선(220V 인가)이 철제펜스로 지지된 상태에서 단락 및 지락에 의한 스파크로 인해 전기화재의 전이 가능성, 주위 가연물의 착화 가능성을 사고시와 동일한 장소에서 실험으로 수행하여 그 원인해석과 결과를 도출하고자 하였다.

## 2. 이론

### 2.1. 단락

전기화재(C급 화재)를 일으키는 원인 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 단락은 제품의 결함, 시공 불량에 의한 피복 손상, 외부 충격에 의한 절연피복의 손상으로 도체가 노출되거나, 전선이 다른 도체와 접촉, 피복이 외부의 열에 의해 열화되어 내

부의 도체가 노출되어 서로 접촉하는 경우 등을 들 수 있으며, 이 경우 저항이 거의 없는 상태에서 단락(합선)이 일어나게 된다<sup>7-11)</sup>. 단락되는 순간의 전류는 전원 측의 임피던스, 배선의 조건에 따라 다르게 나타나며 일반적으로 저압 옥내배선인 경우 보통 수백~수천A의 단락전류가 발생한다. 또한 단락과 동시에 단락 부위에는 높은 열과 스파크에 의해 용융흔이 형성되며 주위에 가연물이나 인화성, 폭발성 가스 등이 존재할 경우 화재로 진전하게 된다. 또한 과전류가 전선에 흐르게 되면 전선에서의 발열이 커지고 피복의 변형, 변질, 발화 또는 전선의 적열과 용해 절단에까지 이르게 된다.

### 2.2. 지락

한편, 전선이나 전기 기기·기구 등에서 절연이 파괴되어 누설 전류가 주위의 물질을 따라 대지로 흐르는 현상을 지락(누전)이라고 한다<sup>7)</sup>. 이것은 전선에서 발생하는 열의 양이 주위로의 방산열보다 많게 되면 점차 활성화되어 탄화하는 부분이 다른 곳으로 확대된다. 또한 미소 전류 증가에 따라 스파크에 의한 고온 가열이 동시에 발생하게 되며, 단계적으로 전선에서의 절연파괴로 인해 결국, 절연체의 연소 또는 전선의 단락 현상에 이른다. 전기 스파크는 전기 기기·기구를 사용하기 위해 스위치를 작동하거나 콘센트의 사용, 전기회로의 단락, 전기 기기·기구의 접속부분의 접촉 불량 등 여러 가지의 경우에서 발생한다. 이때 주위에 인화성 가스·증기 또는 고체가 존재하고 있을 때 물질점화의 위험성이 있다. 전선과 전선-전선, 단자 등의 접촉면의 접촉 상태가 불완전하게 되면, 초기에는 국부적이지만 접촉부위가 산화, 열팽창, 수축 등의 현상이 중첩되어 접촉면이 거칠어지므로 접촉 저항이 점차 확대되어 발화의 원인이 된다.

## 3. 실험 및 고찰

본 연구에서는 D사의 주배전반으로부터 인입된 동력배선(CV8SQ×2/C)이 지면과 비틈새 구조의 높이 2m 경량 철제펜스에 cable tie로 지지된 상태에서 전원을 공급받아 현장라인을 가동하던 M사의 단락 및 지락에 의한 전기사고로 인해 인접 모기업 중 하나인 I사측에 전기화재로 확대될 수 있는가에 대한 직접적 개연성을 실험적으로 검증하기 위해 화재 사고시와 동일한 조건의 실험을 실시하였다. 화

재사고시의 기상청 자료(풍속 6.8~8m/s)를 근거로 터보팬 4기를 설치하고, 외기온도 하강 시간대(22~24시, 22℃)를 택하여 유사 기후적 환경을 설정하였다.

### 3.1. 자동 절단방식 실험

실험시 안전성 확보를 위해 Fig. 1과 같이 air compressor를 이용한 순차 가압식 자동절단 방식의 절단기를 사용하여 배선에 가해지는 압력 증가에 의한 심선의 단락 실험을 수행하였다. 예비 실험을 통해 약 5kg/cm<sup>2</sup>의 압력이 절단에 소요되는 것을 알 수 있었다. 실제 실험을 수행한 결과, 약 2분 50초 경과 후 심선과 절단기의 접촉에 의하여 spark가 발생하였으며, 동시에 trip 현상으로 차단기(LG산전, ABS53b, 50A이상 0.02s 이내 동작, 220VAC-25kA)의 전원이 차단되었다. 또한, 차단기는 spark 발생과 거의 동시에 동작됨으로써 착화 원인 제공의 가능성이 없으며, 배선의 피복의 착화 역시 어려운 것으로 나타났다. 한편, 배선 피복의 온도변화 측정에 있어 그 변화가 거의 없는 것으로 보아 단락전류의 형성시간이 매우 짧아 열 축적이 생성되지 않는 것으로 사료된다.



(a) before experiment



(b) during spark occurrence

Fig. 1. Short circuit experiment images by the automatic cutting method.

### 3.2. 수동 절단방식 실험

자동 절단방식의 실험을 통해 위험성이 매우 경미한 것을 확인함으로써, Fig. 2와 같이 수동절단기를 사용하여 순간적인 외부 응력에 의한 동력배선 절단을 통해 화재발생 개연성 확인 재 실험을 실시하였다. 조건은 자동 절단방식과 다르게 순간적인 응력이 가해졌으나 동일하게 약 1~2초의 spark 발생과 단시간 내의 차단기 작동으로 인해 화재 발생·전이는 형성되지 않았다. 또한, 설치된 온도기록계를 분석한 결과 자동절단실험과 유사한 그래프를 나타내었다.

### 3.3. 1선 및 2선 지락 실험

동력배선과 철제펜스 간 상호 접촉에 의한 지락 현상을 통해 화재발생 개연성을 예측하고자 1선 및 2선 지락실험을 수행하였다. 1선 지락실험은 동력배선의 피복을 벗긴 상태에서 이 중 한 가닥은 철제펜스, 나머지 한 가닥은 지면에 접촉시킨 상태에서 실시하였다. 그리고 2선 지락실험은 심선 2가닥 모두를 철제펜스 표면에 접촉시켜 1선 또는 2선 지락 실험간의 차이점을 관찰하였다.

또한, Spark 발생에 따른 착화 가능성을 관찰하

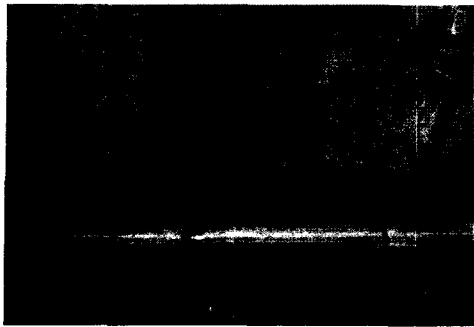


(a) before experiment

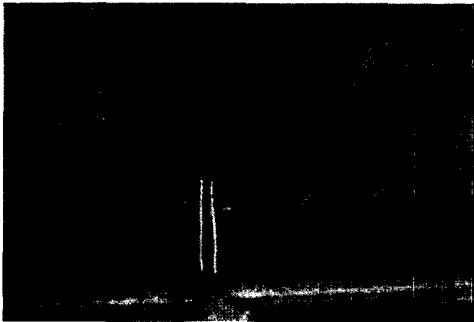


(b) during spark occurrence

Fig. 2. Short circuit experiment images by the passivity cutting method.

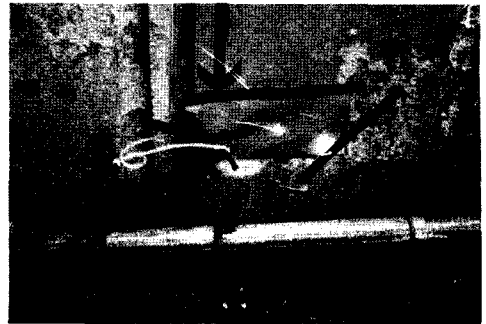


(a) 1 wire ground fault

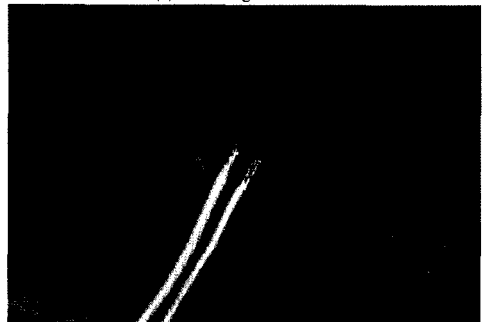


(b) 2 wires ground fault

Fig. 3. Images before the ground fault experiment after paint removing(Combustible material; PVC tent sample).



(a) 1 wire ground fault



(b) 2 wires ground fault

Fig. 4. Trace images by the ground fault experiment after paint removing(Combustible material; PVC tent sample).

기 위해 철제 펜스에 천막 시편(PVC), 신문고지의 가연물을 부착한 상태에서 철제펜스 도장면의 유·무에 따른 실험을 실시하였다. 도장면 제거 전 실험에서는 도장면의 절연 특성으로 인해 도전 현상이 발생되지 않았으나, 도장면 제거 후 순간적인 spark 발생 후 차단기 동작으로 전원이 차단되었다. 실험결과를 종합하면, 1선 또는 2선 지락실험 모두 spark에 의한 전기화재 발생 가능성은 없는 것으로 나타났으며, 이것은 순간적인 spark 생성으로 부착 가연물이 쉽게 점화되지 않는 현상을 관찰함으로써 검증할 수 있었다. Fig. 3은 PVC 천막재질 시편을 대상으로 도장면 제거 후의 1선 및 2선 지락실험 전 현장 사진을 나타낸 것이다.

또한, Fig. 4는 동일 지락실험 후 도장면에 나타난 흔을 나타낸 것으로 1, 2차 지락실험 모두 미소 흔 정도를 나타내고 있어 화재발생 원인으로서의 직접적 개연성으로 해석할 수 없음을 단적으로 보여주고 있다.

### 3.4. 화염에 의한 탄화 실험

전기화재 발생원인 중 하나인 전기 단락흔을 관찰하기 위해 통전 상태에서 torch로 외부 화염 접촉



(a) during flame contact



(b) electric wire after carbonization

Fig. 5. Comparison of electric wire images before and after carbonization by the torch flame.

에 의한 배선의 탄화 전·후 현상을 비교 실험하였다. 실험결과, 외부 화재에 의한 통전 중 강제 착화 후 약 9분 경과시 단락이 발생하였으며, 단락 발생 후 차단기가 즉시 동작되었다. 동력배선의 절연 피복은 자연 소멸되었으며, 문헌상 단락현상시 형성되는 1차 전기 단락흔의 특징인 광택성 흔이 전기화재의 2차적 원인인 외부 화재에 의해서도 동일하게 관찰되는 특징을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 산업현장에서 빈번하게 발생하는 전기화재 사고 중 첼레펜스로 지지된 동력배선의 단락·지락 사고를 샘플링하여 전기화재 발생 개연성을 실험적으로 검증하고자 단락실험, 지락실험, 외부화염에 의한 탄화실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 샘플링된 화재사고의 각종 조건 등을 고려할 때 전 실험에 있어 인위적인 단락 및 지락 발생에 의한 화재전이 가능성은 없는 것으로 나타났으며, 이것은 차단기의 즉시 동작 및 1~2초 이내의 spark 형성 등이 뒷받침한다.

2) Spark 발생과 동시에 trip현상으로 인해 차단기 동작시 비통전 상태가 즉시 형성됨으로써, 인가된 점화에너지는 PVC 재질의 천막 시편과 신문고지의 가연물을 착화하기에는 불가능한 수준으로 나타났다.

3) 첼레 펜스 도장면의 절연효과로 인해 동력배선의 단락 및 지락에 의한 전기화재 발생 가능성 및 개연성은 매우 희박한 것으로 사료된다.

4) 외부화염에 의해 탄화된 동력배선의 심선에 형성된 전기 단락흔을 관찰한 결과, 1차적 전기단락현상에서 관찰되는 광택성있는 흔이 동일하게 나타남으로써 화재발생의 원인이라 알려진 전기 단락흔이 화재발생의 원인이 아닌 결과가 될 수 있음을 실험적으로 고찰할 수 있었다. 이러한 단락흔은 전기화재 발생원인으로 해석이 매우 어려움을 알 수 있었으며, 종합적으로 볼 때 산업현장에서 정상적

인 차단기 설치 및 동작 조건하에서의 전기화재 사고가 화재발생으로 전이될 직접적 가능성은 매우 적은 것으로 사료된다. 향후 이와 유사한 전기화재 사고의 재발 방지 및 예방을 위해 사례별 모델링에 의한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 1) 소방방재청, “2006 화재 통계 연보”, 2006.
- 2) 김창중, “전기화재 징후검출 장치의 적용 및 테스트회로의 구성”, 한국 조명·전기 설비학회, 제15권, 제6호, pp. 21~28, 2001.
- 3) John E. Traister, Terry Kennedy, “Low Voltage Wiring: Security/Fire Alarm Systems”, McGraw-Hill, pp. 199~212, 2002.
- 4) Robert A. Yereance, “Electrical fire analysis”, Thomas, pp. 17~31, 1995.
- 5) 한국전기안전공사, “배선기구 탄화 및 발열에 의한 전기화재 위험성 연구”, 1996.
- 6) 이상호, “저압 배선선로의 과부하 및 단락사고 발생시 전선의 열해석에 관한 연구”, 한국화재소방학회논문지, 제16권, 제3호, 2002.
- 7) 김두현 외 5인, “전기안전공학”, 동화기술, pp. 235~244, 1995.
- 8) S. Kumagai, N. Yoshimura, “Impact of Thermal Aging and Water Absorption on the Surface Electrical and Epoxy Resin”, IEEE Trans. DEI Vol. 7, No. 3, pp. 424~431, 2000.
- 9) IEC Publ. 112, “Recommended Method for Determining Comparative Tracking Index of Solid Insulating Materials under Moist Conditions”, 2nd Ed., 1971.
- 10) Choi Chung Seog, Kim Hyang Kon, Kim Dong Ook, “A Study on the Growing Properties of the Cu<sub>2</sub>O According to the Change of Load”, Journal of the KIIS, Vol. 16, No. 5, pp. 46~50, 2001.
- 11) 이의평 외 3인, “전기용융흔에 의한 화재원인 감정법에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술대회 논문집, pp. 100~108, 2001.