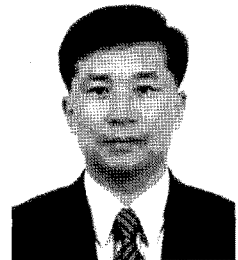


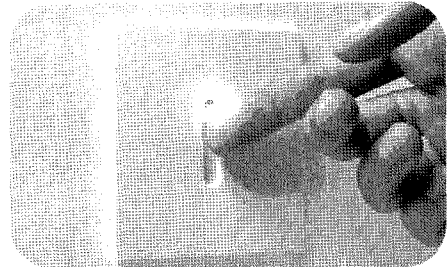
# 접촉 불량에 의해 발생한 옥내용 스위치 화재



최 중 석  
전주대학교 소방안전공학과 교수

## 1. 서론

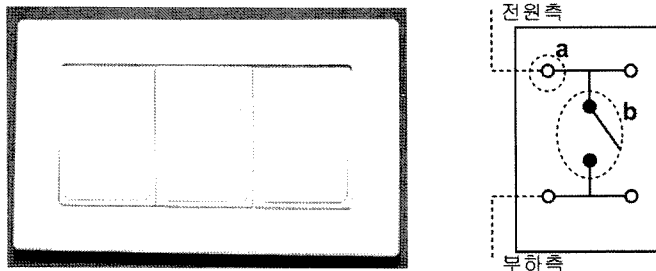
전기에너지의 효율적 사용을 위해 전원의 공급과 차단을 목적으로 설치하는 기기가 스위치류(switches)이다. 옥내용 스위치는 한국산업규격(KS C 3809) 및 국제전기위원회(IEC 60669-1)에 적용 범위, 인용 규격, 정의, 종류 및 정격 성능, 구조, 치수 및 재료, 시험 방법, 검사, 제품의 호칭 방법, 표시 등이 제정되어 있다. 옥내용 스위치의 적용 범위는 주파수 60Hz 교류 250V 이하의 전로에서 주로 옥내등 및 옥외등에 부착하여 전등의 점멸 또는 소형 전기기기에 사용하는 것으로 정격 전류 20A 이하인 것에 대해서 규정하고 있다. 다만, 자동 차단 기구가 붙은 것과 방폭형, 그 밖에 특수한 것 및 특정한 소형 전기기기에만 사용하기 위해서 특별히 설계된 스위치는 포함하지 않는다. 스위치는 사용 목적에 따라 전기회로의 개폐기, 상승 회전 스위치, 회전 스위치, 크로스바 스위치 등과 같은 자동 교환기의 본체를 구성하는 선택 기구, 셀렉터, 컨넥터, 라인 스위치 등과 같이 교환 회로의 최소 단위이며 선택기구, 계전기 등의 부품으로 구성하며 1회로마다 조립하여 사용된다.



따라서 본 논고에서는 옥내에 설치되어 사용 중인 스위치에서 접촉 불량이 발생하여 일반 화재로 진행 되는 과정에 수거된 스위치의 구조, 열화 패턴, 단자부의 특성 등을 분석하여 스위치의 소손 원인을 제시 함으로서 사용자, 관리자, 제품의 시공 및 제작자 등에게 교훈이 되도록 하는데 있다.

## 2. 스위치의 열화 패턴

전기화재의 출화는 제품의 설계 및 구조 불량, 시공 및 공사불량, 경년 열화(劣化), 사용자의 부주의 등에 의해서 발생한다. 일반적으로 스위치의 열화를 지배하는 요소는 전선 연결 클립의 열화, 접촉자의 접촉 불량, 접촉자의 절연 파괴 등이다. 사고 현장에서 수거한 동종 제품의 열화 패턴을 다양한 각도로 제시함으로써 원인 분석의 과학화에 기하고자 한다. 현장에 사용된 스위치의 외형은 3개의 스위치로 구성된 <그림 1>(a)와 같으며, 스위치의 내부 회로는 <그림 1>(b)와 같이 전선을 연결하는 곳이 네 군데 있다. 접촉자인 단자 부분이 한 곳으로 구성되어 있고, 클립과 기계적 접촉 단자에서의 접촉으로 회로가 구성되어 점등이 가능하게 된다.



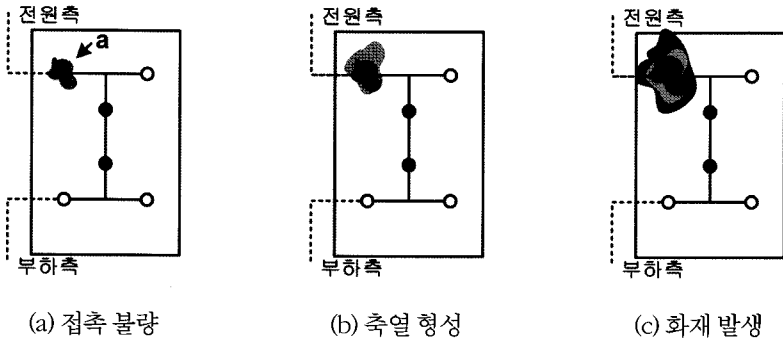
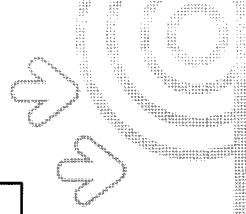
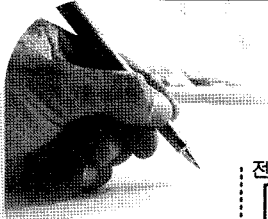
(a) 제품의 외형

(b) 내부 회로

<그림 1> 스위치의 외형 및 내부회로

### 2.1 연결 클립의 열화

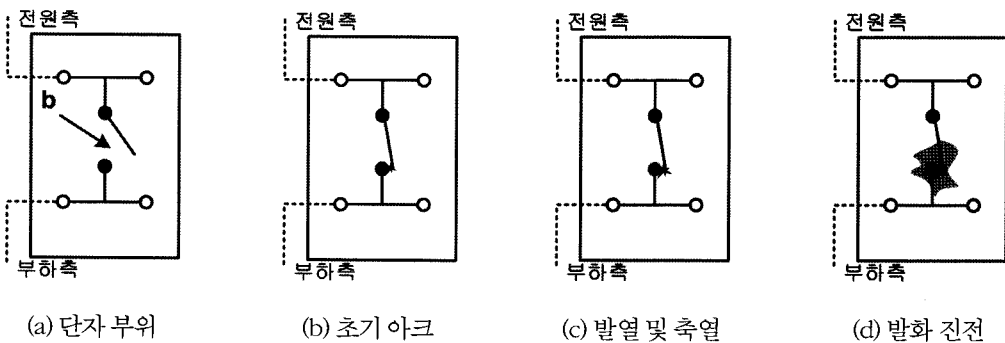
전기에너지를 사용하는 기기의 전원을 적절하게 차단하고 투입하기 위해서 사용되는 스위치는 회로를 구성하는 말단에 설치된다. 즉 전선을 스위치에 고정하기 위해서 사용되는 클립은 열화의 발생 가능성이 높은 부분이다. 사고가 발생하는 경과를 보면 <그림 2>와 같은 시나리오에 의해서 화재로 이어지는 것이다. 스위치는 벽체의 내부에 설치되므로 전선과 클립 부분의 접촉부에서 접촉 불량이 발생하여 장시간 반복적인 스트레스가 진행되더라도 화염과 불꽃을 사용자는 인지하기가 매우 어렵다. <그림 2>는 <그림 1>의 a부분에서 발생한 접촉 불량에 의해 형성되는 화재 발생 과정을 나타낸 것으로 <그림 2>(a)는 초기에 접촉부의 접촉 불량이 발생하면 국부적으로 발열이 발생한다. <그림 2>(b)는 장시간 사용할 때 지속적으로 축열되어 발열 부위가 넓어지고 일부는 아산화동 증식이 발생하면서 전선의 일부가 열적 피로에 의해 적열된다. <그림 2>(c)는 출화가 발생하는 것으로 상기의 과정이 반복되면서 축열되었던 열이 절연 재료의 발화 온도 시점까지 이르면 주변을 연소시켜 화재로 진전된다.



〈그림 2〉 전선과 클립 부분의 접촉 불량에 의한 화재 발생 시나리오

## 2.2 접촉자의 접촉 불량

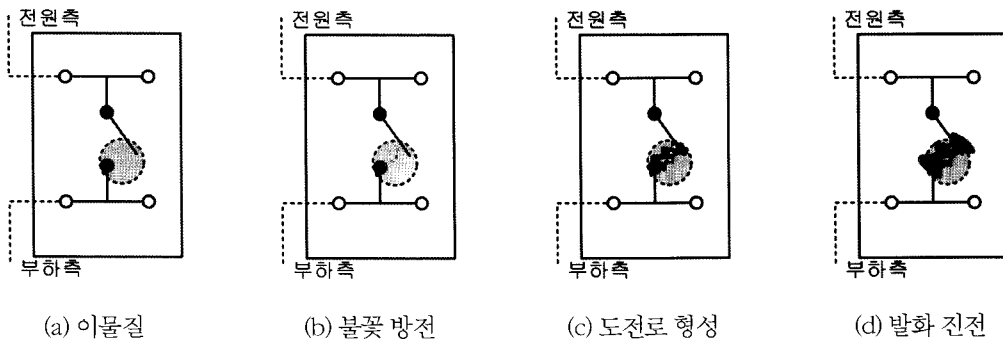
스위치를 통해서 전기를 공급하고 차단할 때 매개 역할을 담당하는 곳이 접촉자이다. 접촉자는 사용자에 의해 물리적인 스트레스가 반복적으로 받게 된다. 〈그림 3〉은 접촉자의 접촉 불량에 의해 발생할 수 있는 화재 진전 시나리오를 나타낸 것이다. 〈그림 3〉(a)는 접촉 단자의 위치를 나타낸 것으로 물리적 힘에 의해 휘거나 이물질에 의해 접촉에 이상이 발생하였을 경우 접촉 불량에 의해 조명이 깜박거리거나 나타날 수 있다. 접촉 불량은 접촉단자에서 접촉 저항에 의한 전압 강하가 발생하는 것으로 이에 따른 현상으로 조명이 깜박거리거나 조도가 낮아질 수 있는 것이다. 〈그림 3〉(b)에서 나타난 것과 같이 접촉 불량이 발생하면 미소 아크가 발생하는 것을 알 수 있다. 〈그림 3〉(c)는 미소 아크가 반복적으로 발생하면서 축열되고 접촉 단자 일부가 발열되는 것을 알 수 있다. 대부분의 접촉 재료는 아산화동 증식을 억제하는 재료가 사용되고 있어서 아산화동 증식은 거의 발생하지 않으나 발열 범위가 확대되면서 축열이 이루어진다. 〈그림 3〉(d)는 축열된 열이 주변의 절연재료의 발화 온도 시점까지 이르게 되면 탄화되면서 화재로 이어지게 된다. 따라서 이러한 다양한 화재 진전 메커니즘을 정확히 이해하면 화재 원인을 객관적으로 밝힐 수 있다.



〈그림 3〉 접촉자의 접촉 불량에 의한 화재 진전 시나리오

### 2.3 접촉자의 절연 파괴

접촉자 사이에 절연이 파괴되어 화재가 진전되는 과정을 <그림 4>에 나타냈다. <그림 4>(a)는 단자 사이에 이물질이 부착된 것으로 수분이나 먼지 등이 단자 사이에 끼면 누설 전류가 흐르게 된다. <그림 4>(b)는 누설 전류가 흐르는 표면에 미소 불꽃 방전이 발생하여 절연 재료를 탄화시키면서 더 많은 전류가 흐를 수 있도록 도전로가 형성된다. <그림 4>(c)는 탄화 도전로가 형성된 것으로 많은 전류가 흐르게 되어 표면이 탄화되면서 많은 열을 발생시키고 축열된다. <그림 4>(d)는 축열되었던 열에 의해 발화되는 것을 나타낸 것이다. 상기의 과정이 반복되다가 발화 온도 시점이 되면 주변을 태우면서 화재로 진전하게 되는 것이다.

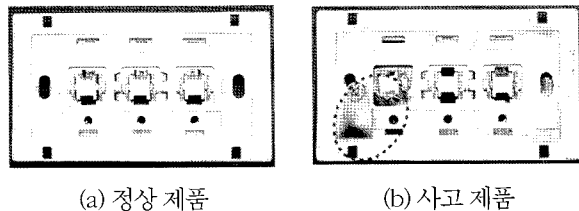


<그림 4> 접촉자의 절연 파괴에 의한 화재 진전 시나리오

### 3. 소손품의 패턴 분석

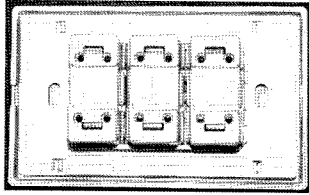
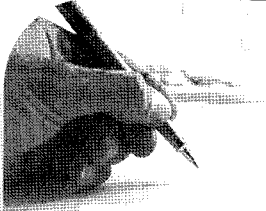
일반 건물 내의 사무실 조명용으로 사용하는 전등의 제어용 스위치는 정격전압 250V, 정격전류 15A인 누름버튼스위치이다. 사고가 발생했을 때 사무실에서 근로자들이 정상적인 업무를 수행하고 있었던 관계로 화재가 발생했음에도 불구하고 조기에 진화되어 2차 재해를 예방할 수 있었다.

<그림 5>는 스위치의 실제 사진을 나타낸 것이다. <그림 5>(a)는 정상 제품의 외형을 나타낸 것이고, <그림 5>(b)는 사고 제품을 나타낸 것이다. <그림 5>(b)의 좌측 첫 번째 단로 스위치가 열적 스트레스에 의한 변형이 나타나 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 두 번째 단로 스위치의 경우 내부 접속부가 어떤 이유인지는 정확히 알 수 없으나 이탈되어 있는 것을 알 수 있다.

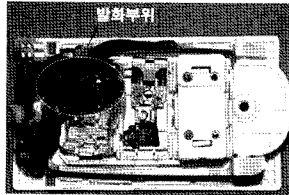


(a) 정상 제품 (b) 사고 제품

<그림 5> 스위치 정면의 소손 패턴 비교



(a) 정상 제품

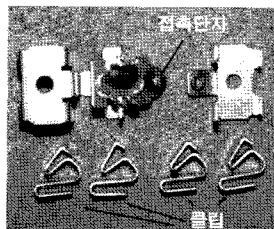


(b) 사고 제품

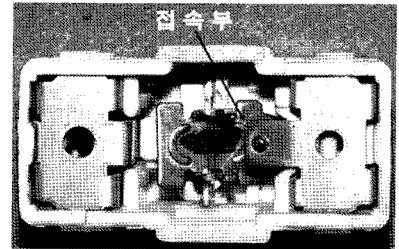
〈그림 6〉 스위치 뒷면의 소손 패턴 비교

〈그림 7〉은 정상인 단로 스위치의 내부 구성을 보여주는 것으로 접촉부를 중심으로 접촉 단자가 동작할 수 있도록 설치되어 있는 것을 알 수 있다. 접촉자, 지지대, 외함 등이 매끄럽게 처리되어 있고 구조도 양호한 것으로 판단된다.

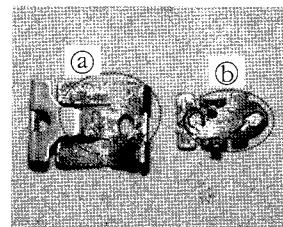
〈그림 8〉은 내부 구성품을 분해하여 비교한 것으로 〈그림 8〉(a)에서 접촉 단자와 클립이 나타나 있으나, 〈그림 8〉(b)의 사고 제품에서는 대부분 이탈 되었고 접촉 단자를 지지하여 클립과 접촉되는 ㉓와 접촉 단자 부분인 ㉔의 외형을 볼 수 있다. ㉓는 점선 원안의 부분이 검게 탄화 된 것으로 보아 높은 열에 의한 소손이 있었음을 알 수 있다. ㉔는 대부분 검게 그을려 있으며 접촉 부위의 단자 부분이 용융되어 있는 것으로 보아 높은 열이 있었음을 알 수 있다.



(a) 정상 제품



〈그림 7〉 스위치의 내부 구조

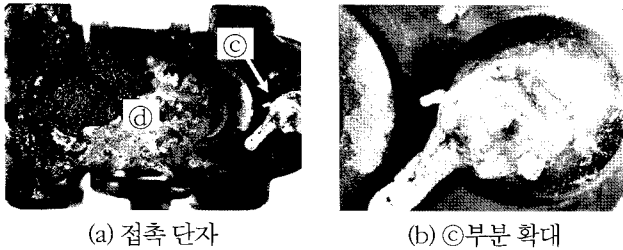


(b) 사고 제품

〈그림 9〉는 접촉 단자를 20배율로 확대한 것으로 ㉓와 ㉔부분에서 용융된 흔적을 발견하였다. 〈그림 9〉(b)는 ㉓부분을 확대한 것으로

접촉 단자 부분이 높은 열에 의해 용융된 것을 알 수 있다. 접촉 단자 대부분이 검게 그을려 있으나 실제 용융된 부분은 〈그림 9〉(a)에서 알 수 있듯이 ㉓와 ㉔부분인 것으로 나타났다. ㉓부분은 점접 부분으로 열에 강하도록 재료가 되어 있는 부분으로 용융된 흔적으로 보아 순간 높은 열이 발생하였던 것으로 판단된다. 〈그림 9〉(b)에서와 같이 확대를 해서 보면 접촉면에서 용융된 것을 확인할 수 있다. ㉔부분은 단자 지지대와 연결된 부분으로 접촉 단자가 움직일 수 있도록 기계적으로 연결된 고리이다. 이 부분에서 용융된 흔적이

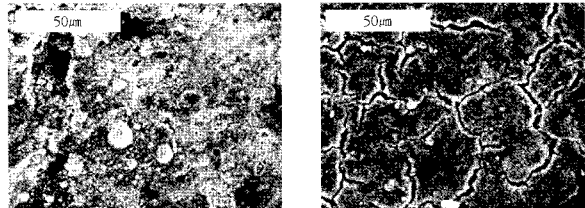
〈그림 8〉 스위치 내부 구성품의 비교



(a) 접촉 단자 (b) ㉠부분 확대

〈그림 9〉 접촉 단자의 확대된 실체 현미경 사진

대해 카메오(cameo)를 이용하여 성분 분포를 확인하였다. 〈그림 10〉(a)는 접점 부분으로 파란색 부분은 주석(Sn)이며, 녹색은 은(Ag)이 분포되어 있는 것을 나타낸 것이다. 또한, 산소(O)는 극히 일부에서 빨간색으로 분포되어 있다. 〈그림 10〉(b)는 접점 주변을 매핑(mapping)한 것으로 구리(Cu)는 파란색으로 대부분을 차지하고 있으며 극히 일부분 균열된 부분에서 탄소(C)와 산소(O)가 있는 것을 확인하였다.



(a) 접점 (b) 접점 주변

〈그림 10〉 소손된 스위치 접점의 카메오 성분 분포

#### 4. 결론

접촉 불량이 발생한 옥내용 스위치의 구조, 열화 및 소손 패턴, 열 특성, 단자부의 성분 분포, 절연 덮개를 과학적으로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 단로 스위치의 사고 패턴에 있어서 외형 변화는 좌측 첫 번째 단로 스위치의 열에 의한 변형이 확인되었고, 열의 진행은 단로 스위치를 중심으로 시작되었다.
- (2) 사고 단로 스위치의 내부는 높은 열에 의한 영향으로 탄화된 것을 확인하였고, 대부분 검게 그을려 있으며 접촉 부위의 단자 부분이 용융되어 있었다.
- (3) 접촉 단자의 실체 확대를 통해 접촉단자 부분이 높은 열에 의해 용융된 것을 확인하였고, 이는 열 흔적의 형태로 보아 순간 높은 열이 발생하였던 것으로 판단된다.

이상의 결론을 종합하면 점등용 단로 스위치의 사고 원인은 공사불량 또는 외부의 물리적인 힘이 가해져 접촉이 불량한 상태에서 장시간 열화(劣化)되어 화재로 진전되었던 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 사고를 예방하기 위해서는 생산자는 양질의 제품을 생산하고, 시공자는 적절한 시공이 필요하다. 또한, 관리자 및 사용자는 스위치 주위에서 미세한 잡음 발생, 불규칙적인 점멸 혹은 조도의 저하 등을 주의 깊게 관찰하면 사고를 예방 할 수 있을 것으로 판단된다.