

저압분전반에서 접지 경로를 통한 차단기의 트래킹 화재위험성에 관한 연구

(A study on the Fire Hazard for the Tracking of RCD through Ground Path at Low Voltage Cabinet Panel)

김동욱* · 이기연 · 김동우 · 길형준 · 김향곤 · 정영식**

(Dong-Ook Kim · Ki-Yoen Lee · Dong-Woo Kim · Hyoung-Jun Gil · Hyang-Kon Kim · Young-Sik Chung)

*한국전기안전공사 전기안전연구원, **인천대학교

(Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Incheon univ)

Abstract

The electrical accidents result from insulation breakdown due to over voltage and overheating due to the excess of allowable current, deterioration of insulation performance due to the passage of time, and so on. In this paper, the insulating characteristics of phenolic resin using insulating materials for low voltage were analyzed and the tracking test was performed according to IEC Publ. 112.

1. 서 론

전기설비의 대용량화 및 다양한 전기설비기구의 보급에 따라 편리성이 증가됨과 동시에 전기안전에 대한 관심이 더욱 요구되고 있다. 이러한 설비의 유지는 환경적, 기계적, 전기적 요인이 복합적으로 작용하여 일순간 사고로 이어지기 때문에 상당한 주의가 요구된다^{[1]-[3]}.

전기재해는 설비의 위치에 따라 옥외와 옥내설비 사고로 분류할 수 있으며 설비 사고에 의한 정전 등과 같은 옥외사고와는 달리 옥내사고는 화재와 감전 등 2차, 3차 사고가 더 큰 영향을 초래함에 따라 설비사고의 원인을 분석하여 예방에 필요한 대책을 마련하는 것이 중요한 문제라 할 수 있다.^{[3]-[4]}

현재 누전차단기에 해당되는 지락차단장치 시설 기준 적용방법을 간단히 살펴보면 전기설비기술기준 제45조 제1항의 규정에 의거 사용전압이 60V를 넘는 저압의 기계기구에 전기를 공급하는 전로에는 지락차단장치를 시설하여야 하며, 대지전압이 150V를 넘는 저압의 기계기구를 사람이 쉽게 접촉할 우려가 있는 건조한 곳 이외의 곳에 시설하는 경우 등 그 전로에 지락차단장치를 시설하여야 하는 바 우리나라는 사용전압이 대부분 380V/220V로서 지락차단장치 시설을 생략할 수 있는 장소는 극히 제한적이라 할 수 있다.

그러나 이러한 누전차단기 자체가 전기적, 환경

적 열화에 의해 동작 책무를 다할 수 없을 경우 대형사고로 발전할 수 있으며 감전과 같은 인명사고로 이어질 가능성이 크다^{[5]-[6]}.

본 논문에서는 저압 분전함내에서 Live측 전선과 접지된 분전반사이에서 트래킹이 발생하여 화재가 발생한 사례를 기반으로 재현실험을 통하여 사고의 메커니즘과 사고특성 등을 분석하여 사고 패턴을 제시함으로써 전기설비 사고 원인 분석 및 진단을 위한 자료를 확보하고자 하였다.

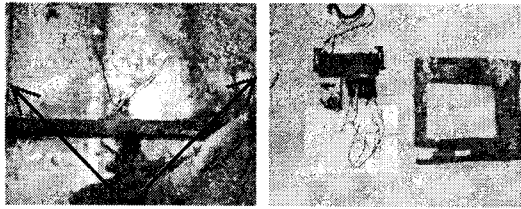
2. 본 론

2.1. 사고사례

2006년 9월 60평 상당의 3층 건물에서 화재가 발생하였으며 약 2천만원 상당의 재산피해가 발생하였다. 발화추정 장소는 3층의 한 사무실로 분전반을 중심으로 상단 천정으로 연소 확대되었다. 그림 1은 분전반이 설치되었던 장소로 V-패턴이 나타났고, 그림 2는 분전반을 철거한 사진으로 차단기는 크게 소손된 상태이며 전선에서 10개의 용융흔이 식별되었으며 분전함 커버의 좌측 하단이 크게 소손되었다.

소손된 배선기구에 대해 단락에 의한 발화가능성 및 누전에 의한 발화 가능성 조사 그리고 트래킹에 의한 발화 가능성에 대해 분석을 실시한 결과 그림 2와 같이 차단기 외함 재료의 절연저항을

측정한 결과 약 50Ω 정도의 저항이 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 소손된 차단기의 경우 분전함 외함과의 사이에서 트래킹에 의해 소손된 것으로 알 수 있다.



(a) 설치 장소 (b) 소손된 분전함

그림 1. 화재 사고 장소 및 소손된 분전함

Fig. 1. Fire accident site and damaged cabinet panel

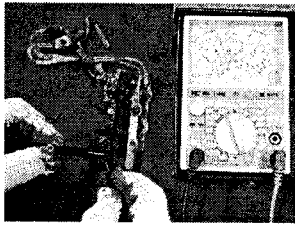


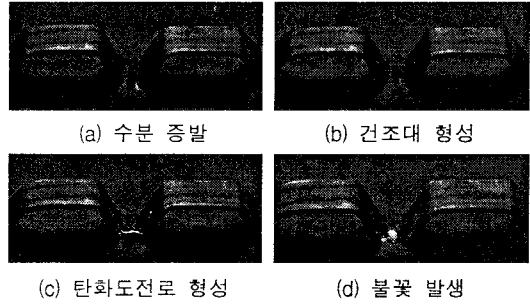
그림 2. 소손된 차단기의 저항 측정

Fig. 2. Resistance measurement of Damaged CB

2.2. 트래킹 메커니즘

저압용 기기의 경우 극간 거리가 짧고 분진이나 습기의 영향에 의해 누설전류가 흐를 수 있는 주변 환경에 많이 노출되므로 쉽게 트래킹으로 진행된다. 그 중 트래킹은 전극과 전극 사이의 절연재료 표면이 도전성 탄화물로 변하여 전류가 상시 흐를 수 있다. 절연물의 표면에 분진, 먼지 등과 함께 수분이 존재하면 발수성의 절연재료가 점차 친수성으로 변하면서 그 표면에 누설전류가 흐르게 된다. 이 때 전극과 전극 혹은 전극과 접지 사이의 수분이 누설전류에 의한 발열로 증발하고 미소불꽃방전이 지속적으로 발생하면서 절연물의 열분해가 시작된다. 그 결과, 절연물은 무정형 고분자 결정구조에서 결정성을 가진 탄화물로 바뀌게 된다.

그림 3은 페놀수지 적층판에 1cm의 간격으로 전극을 배치하고 220V의 전압을 인가한 후 양전극 사이에 1%의 염수를 떨어뜨려 페놀수지에서의 절연과 파괴 진행과정을 나타내었다. 그림 3(a)와 같이 수분이 증발한 후 그림 3(b)와 같이 증발된 수분이 건조대를 형성하며 그림 3(c), 그림 3(d)와 같이 탄화도전로를 형성한 후 탄화된 부분에서 불꽃이 형성되었다.



(a) 수분 증발

(b) 건조대 형성

(c) 탄화도전로 형성

(d) 불꽃 발생

그림 3. 트래킹 발생 과정

Fig. 3. Tracking generation process

3. 실험장치 및 방법

그림 4는 트래킹 실험장치를 구성한 개략도이다. 전압조정기를 이용하여 220V 60Hz를 출력하도록 시스템을 구성하여 차단기의 전원 입력 측에 접속하였으며 차단기는 스테인리스판에 고정시킨 후 스테인리스판은 접지를 하였다. 이러한 상태에서 IEC Publ. 112법을 응용하여 1% NaCl 수용액을 20sec 간격으로 분당 10 방울을 누전차단기 전원 측에 떨어뜨려 미소방전이 시작될 때 시간에 따른 전류의 변화를 기록계(Analyzin recorder, AR1100A, Yokogawa, Japan)를 이용하여 측정하였다. 또한 이때 나타나는 불꽃 특성을 살펴보기 위해 디지털 캠코더로 촬영하였다.

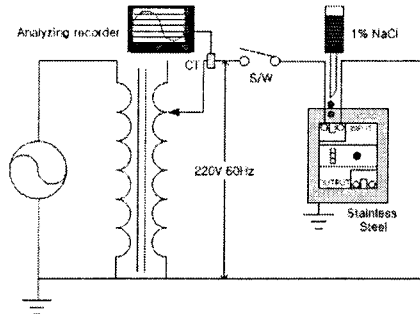


그림 4. 실험 장치 구성

Fig. 4. The experimental schematic

4. 결과 및 고찰

트래킹은 대부분은 양 극간에서 발생하며 제조사에서 극간 내트래킹 검사 위주로 실시하여 구조 개선을 수행한다. 그러나 이번 실험적 연구로 트래킹은 충전부와 접지된 도체 사이에서도 발생하므로 이에 대한 대책이 요구된다.

그림 5는 전선을 따라 1% NaCl 수용액을 차단기 표면에 떨어뜨려 실험한 것으로 그림 5(b)와 같이 초기에는 전선이 삽입된 부분에서 급속판 방향으로

미소방전이 시작된 후 그림 5(c)와 같이 방전의 세기가 증가하였으며 그림 5(d)와 같이 차단기와 금속판사이에서 불꽃방전이 진행되었다. 불꽃방전에 진행된 후 그림 5(e), 그림 5(f)와 같이 차단기 외함과 전선에 불꽃을 착화시켰다.

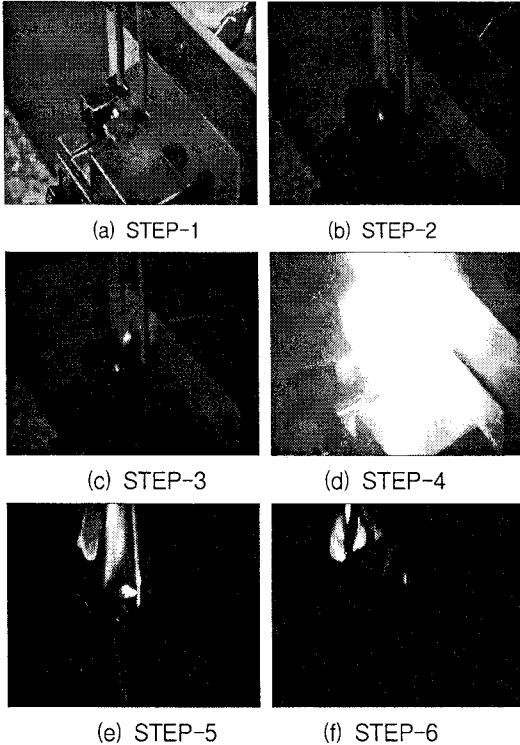


그림 5. 차단기 단자와 외부 금속간 트래킹 과정
Fig. 5. Tracking Process between RCD terminal and outside steel

그림 6은 그림 5에 나타난 실험중에 전류의 변화를 나타낸 그래프로 미소방전이 진행되어 차단기의 표면을 열화시키는 과정에 나타나는 전류는 대략 20~30mA로 누전차단기의 동작범위 이하의 전류가 누설되다가 트래킹으로 불꽃이 발생될 때 높은 전류가 발생되었다. 이와 같이 트래킹은 차단기의 동작범위 이하의 전류가 발생하여 주차단기 및 분기 차단기가 동작되지 않을 수도 있어 전기화재의 발생 위험이 크다고 할 수 있다.

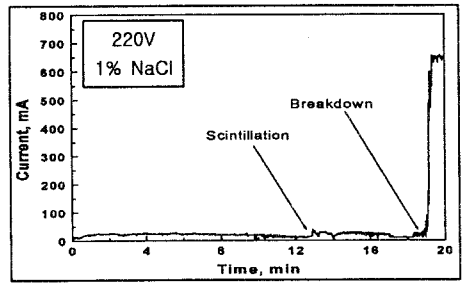


그림 6. 트래킹 과정 중에 나타난 전류 변화
Fig. 6. Current variations with processing of tracking

그림 7은 그림 5의 실험 후 나타난 차단기의 외형으로 입력측 좌측에 위치한 전선은 불꽃방전이 진행될 때 단선 되었으며 상부에 위치한 단자와 전선을 중심으로 탄화패턴을 형성하였다.

그림 8은 트래킹이 발생된 단자부분으로 금속판에 용융흔이 나타났으며 트래킹이 발생한 단자에 단선된 전선의 일부가 남아있고 단자와 금속판 사이에 탄화도전로가 진행된 형태를 나타냈다.

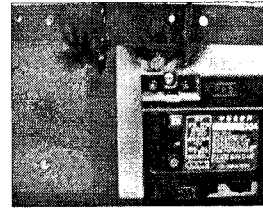


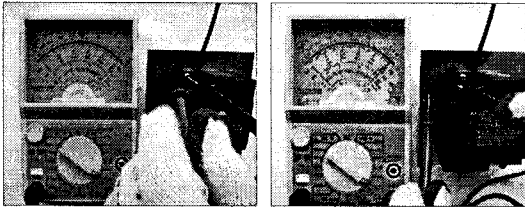
그림 7. 단자와 금속판사이에서 트래킹이 발생된 차단기
Fig. 7. RCD that tracking was generated at between the terminal and the sus plate



그림 8. 트래킹이 발생된 단자 부분
Fig. 8. The terminal part

그림 9는 차단기 입력측 나사와 주위의 금속사이를 테스터로 저항을 측정하여 탄화도전로의 형성 유무를 찾는 것으로 그림 9(a)는 트래킹이 발생한 차단기 입력측 왼쪽 단자와 차단기를 금속판에 고정시키는 나사 사이에 저항을 측정한 결과 대략 3kΩ의 저항이 측정되었으며 그림 9(b)는 입력측 단자와 금속판 사이에 저항을 측정한 결과 대략 1kΩ의 저항이 측정되어 탄화도전로가 왼쪽

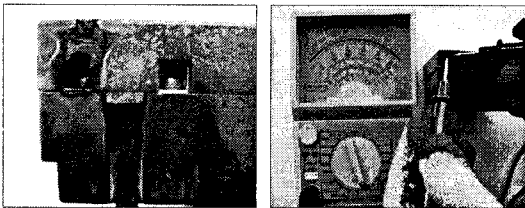
입력측 단자와 금속판 사이에 형성된 것을 알 수 있다. 이와 같은 저항측정에 의해 트래킹에 의한 화재를 감정할 수 있으며 또한 트래킹 경로를 예측할 수 있다.



(a) 입력측 나사와 고정 나사 (b) 입력측 나사와 금속판
그림 9. 트래킹된 차단기 입력측 나사와 금속판사이의 저항 측정

Fig. 9. Resistance measurement at between input terminal of RCD and sus plate

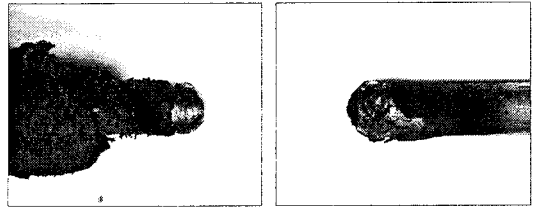
그림 10은 테스트를 이용하여 차단기 자체의 탄화도전로 형성 유무를 판단하기 위한 것으로 그림 10(a)와 같이 탄화된 왼쪽의 입력측 단자를 그림 10(b)와 같이 저항을 측정한 결과 대략 5Ω으로 작은 저항값을 나타냈다.



(a) 탄화된 부분 (b) 탄화된 부분의 저항 측정
그림 10. 탄화도전로의 저항 측정

Fig. 10. Resistance measurement of the carbonized conductive path

그림 11은 트래킹이 발생된 차단기의 입력측 좌측 전선을 나타낸 것으로 트래킹에 의한 불꽃 방전이 발생되었을 때 단선되었다. 실체현미경에 의해 확대한 결과 그림 11(a)와 같이 용융된 부분은 원형을 나타내며 탄화된 전선 피복을 나타냈으며 그림 11(b)의 전선은 트래킹된 입력측 단자 내부에 있던 것으로 단선된 부분의 용융흔을 중심으로 그을음과 전선의 박리현상이 나타났다.



(a) 탄화된 부분 (b) 탄화된 부분의 저항 측정
그림 11. 탄화도전로의 저항 측정

Fig. 11. Resistance measurement of the carbonized conductive path

3. 결론

이와 같이 사례를 기반으로 저압 분전함에서 충전부와 접지도체간 트래킹에 의한 불꽃 발생과정을 실험한 결과 차단기의 표면에 누설되는 전류는 차단기의 동작범위 이하의 전류가 발생되고 순간적인 불꽃 발생으로 전기화재의 위험이 크다고 할 수 있다.

따라서 충전부와 주위의 도체간 절연 및 내트래킹 성능을 높여 트래킹에 의한 전기화재의 발생을 최소화해야 한다. 또한 본 연구를 통해 전기화재 감정기법에 적용할 수 있다고 판단된다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 송인회, 電氣災害統計分析, 韓國電氣安全公社, pp. 8-89, 2004.
- [2] 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, pp.189-270, 2004.
- [3] 최충석, 이경섭, 이덕출, "열열화된 600V 2중 비닐절연전선의 특성변화 분석", 대한전기학회논문지, Vol.49C, No.1, pp.8-12, 2000.
- [4] C.S. Choi, K.M. Shong, D.O. Kim, D.W. Kim, Y.S. Kim, "The Electrical arc Direction Patterns by Short-circuit angle", pp.218, Thirtieth Int. Symposium on Combustion, 2004.
- [5] Shigehito, Kensuke Akamatsu, Tetsuya Yano, Minoru Mizuhata and Akihiko Kajinami, "Preparation and characterization of copper(I) oxide nanoparticles dispersed in a polymer matrix", J. Mater. Chem., 8(8), pp.1865-1868, 1998.
- [6] V.musolino, A.Dal Corso, A.Selloni, "Initial stages of growth of copper on MgO(100) : A first Principles study", The American Physical Society, Vol.83, No.14, pp.2761-2764, 1999.