

오염된 절연재료의 Tracking 특성에 관한 연구

옥경재, 오종용, 박민영, 이춘하*

호서대학교 안전공학부 소방전기연구실, 호서대학교 환경안전공학부

A Study on the Characteristics of Tracking on Contamination Insulators Material

K.J. Ok, J.Y. Oh, M.Y. Park, C.H. Lee*

*Fire Electrical Lab Safety Engineering to Hoseo University, Environmental Safety Engineering to
Hoseo University**

1. 서론

전기는 산업의 에너지원으로서 전력수요의 급격한 증대에 수반하여 전력계통의 초고 전압화, 장기간에 걸친 성능의 안정성과 신뢰성 등이 절실히 요구되고 있다. 이로 인하여 전기절연재료에 요구되는 절연성능도 일반적으로 고도화되고 점점 가혹한 조건이 부가되고 있는 실정이다.¹⁾

고체 절연물의 절연파괴 원인 중 절연재료의 표면에 수분이나 이물질이 쌓여 누설전류가 발생하게 되고 도체상호간에 누설전류가 흐르면 도체 사이의 절연층이 미소방전(scintillation)에 의하여 탄화되어 탄화도전로(track)가 형성되고, 이 탄화도전로를 따라서 누설전류가 흐르게 되면 줄열의 발생으로 절연파괴로 이어지는 tracking 현상이 있다.²⁾

본 연구는 절연재료의 절연성능에 나쁜 영향을 미치는 tracking으로 인한 열화현상을 고찰하고 절연재료의 tracking현상 발생 시험을 통하여 동일 절연재료 상에서 오염물질과의 관계에 대한 특성을 알아보하고자 한다.

2. Tracking에 의한 절연파괴 과정

트래킹은 전기적 스트레스와 오염물의 복합적인 요인으로 발생하며 트래킹에 의한 절연파괴의 과정은 다음과 같은 세 단계로 구분된다.³⁻⁴⁾

제1단계 : 표면의 오염에 의한 도전로의 형성

절연재료 표면의 침식은 습기와 해안지방의 염분, 무기질, 섬유질 및 침적성, 가스 분위기 등 여러 가지 침식 인자들에 의해 표면이 침식되어 도전로가 형성되는 과정이다.

제2단계 : 도전로의 분단과 미소발광방전의 발생

침식된 표면, 즉 도전로를 통하여 누설전류가 흐르고 이 때 발생하는 줄 열로 건조대가 형성되어 도전로가 분단된다. 분단된 도전로 사이의 전위차로 인하여 미소발광 방전이 발생한다. 이 시점은 방전에 의한 도전성 잔여물의 형성 과정이다.

제3단계 : 방전에 의한 표면의 탄화개시 및 트랙의 형성

도전로의 분단점에서 미소발광방전이 반복되면 방전의 열에너지에 의해 재료 표면이 탄화되거나 열화됨으로서 도전성 트랙이 생성된다.

이 시점은 도전성 잔여물의 축적에 의한 성장과정이며 도전로 트랙이 발생하면 이곳에 전류가 집중되므로 그 주변에서 다시 도전로의 트랙이 발생하면 이곳에 전류가 집중되므로 그 주변에서 다시 도전로의 분단이 생기고 방전이 발생하여 도전성 잔여물이 계

속 축적되어 트랙을 형성하며, 최종적으로는 전극간이 단락되어 트래킹에 의한 절연파괴가 발생한다.

3. 실험방법

실험에 사용되는 절연재료는 현재 우리나라에서 옥내배선용으로 주로 사용되고 있는 IV(600[V] Grade Polyvinyl Chloride Insulated Wires), HIV(600[V] Heat-Resistant PVC Insulated Wires)로 하였으며, 시료는 전선의 피복재료를 sheet상으로 제작후 가로 6cm 세로 5cm 두께 2mm 시료로 만들어 실험을 하였다.

본 실험의 실험장치는 IEC Publ. 112법을 참고하여 구성하였으며, 그림 2와 같이 전극을 제작하여 사용하였다. 실험에 사용된 전압은 교류 380[V]이며, 오손액은 3%의 염수를 사용하였다. 낙수장치는 30±5초 간격으로 오손액을 방울로 젖게 하였고 높이는 40mm 높이에서 두 전극사이에 떨어지도록 조정하였다.

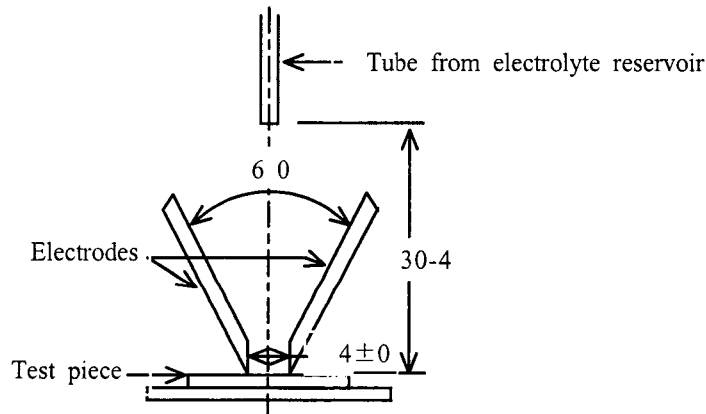


그림 1. CTI의 전극 구성도

오염물질과의 관계를 알아보기 위한 실험으로 오염상태와 비슷한 조건을 주기 위해서 KS C 3004 의 20 내유 실험을 응용하여 시료를 오염물질(물, 10% 소금물, 절삭유, 윤활유)에 오염 및 침유 시킨다. 침유 시간 및 온도는 KS C 3004 의 20의 6의 A(70℃, 4시간)에 따른다.

4. 실험결과 및 고찰

트래킹 현상에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 절연재료의 오염 여부를 변수로 하여 건전시료와 오염된 절연재료의 트래킹 형성과정 및 트래킹 형태를 관찰하여 트래킹의 특성을 비교 고찰하였다.

1) 최초 탄화흔 형성시간

표 1. 오염된 IV의 최초탄화흔 형성 시간

구분	일 반	물	소금물	절삭유	윤활유
1	23분 45초	7분 32초	3분 12초	12분 36초	18분 27초
2	26분 47초	7분 09초	4분 16초	13분 16초	17분 52초
3	23분 27초	8분 12초	3분 39초	12분 53초	19분 32초
AVE	24분 06초	7분 06초	3분 07초	12분 09초	18분 06초

표 1은 IV의 오염물질별 최초 탄화흔이 형성된 시간을 나타낸 것으로서, 소금물에 오염된 시료가 탄화흔의 형성이 가장 빠르며, 물, 절삭유, 윤활유 등의 순으로 형성되었다.

오염이 되지 않은 시료와의 시간차이가 윤활유를 제외하고는 상당히 시간이 단축된 것을 알 수 있다.

표 2. 오염된 HIV의 최초탄화흔 형성 시간

구분	일 반	물	소금물	절삭유	윤활유
1	31분 17초	8분 56초	5분 25초	6분 14초	27분 32초
2	34분 05초	9분 12초	6분 13초	5분 52초	28분 10초
3	32분 25초	9분 43초	5분 56초	6분 38초	27분 54초
AVE	32분 05초	9분 02초	5분 08초	6분 02초	27분 08초

표 2는 HIV의 최초탄화 형성시간을 나타낸 것으로서 IV와 거의 동일한 결과가 나왔으나 절삭유의 경우 소금물과 거의 같은 시간에 탄화흔이 발생된 것으로 나타났는데, 이것은 시료의 침유과정에서 HIV시료와 절삭유 사이의 화학적 반응으로 인한 것으로 보인다.

2) 트래킹의 진행 형태

건전 시료의 트래킹 진행형태는 오염물질의 부착, 전류의 누설, 발열 및 미소 발광 방전(scintillation) 등의 반복에 의해 이루어짐을 알 수 있었다. 그림 2는 전극 사이의 미소 발광 방전의 형태를 나타낸 것이다.

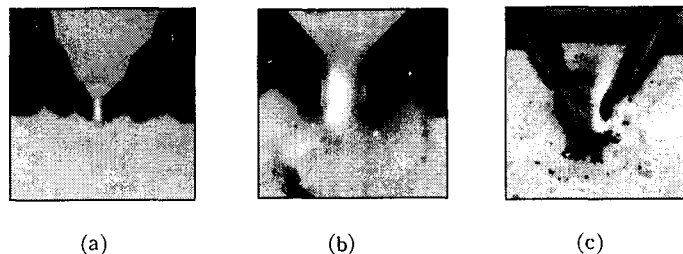


그림 2. 건전 시료의 미소 발광 방전(IV 건전시료 380[V])

반면 오염된 시료의 경우 발광 방전의 형태가 나타나지 않았다. 그림 3은 오염된 물질의 트래킹의 진행 형태를 나타낸 것이다. 그림 3에 보듯이 방전 불꽃은 나타나지 않고, 그림 3의 (a)에서 (d)의 진행을 반복하다가 어느 순간 건조대가 형성됨과 동시에 탄화흔이 발생하였다.

초기 탄화흔이 발생이후부터 급속하게 무염 연소의 형태로 탄화가 진행이 되는 것을 볼 수 있었다.

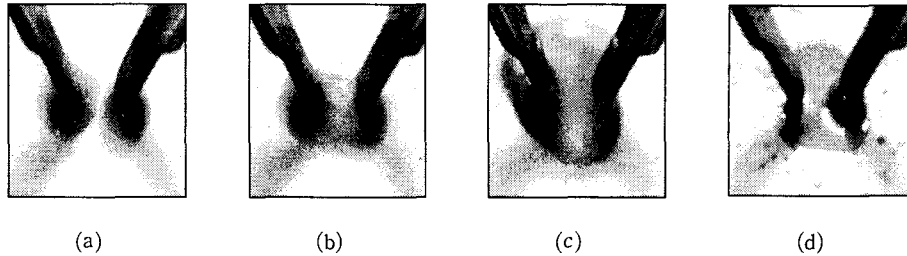


그림 3. 오염된 시료의 트래킹 진행 형태 (오염된 시료, 380[V])

두 시료의 트래킹 진행 형태를 비교하여 보면 가장 큰 차이는 건조대의 형성과 방전 불꽃의 발생 여부이다. 건전시료의 경우 건조대가 형성되고, 이 건조대 사이에서 방전불꽃이 발생하여 이 진행을 반복하면서 일정한 시간이 경과후에 탄화흔이 발생하였으나 오염된 시료의 경우 방전불꽃을 발견 할 수 없었으며 그림 3의 진행을 반복하다 미소면적의 건조대가 형성됨과 동시에 탄화가 바로 시작이 되는 것이다..

이것은 오염된 시료의 경우 아주 적은 소량이지만 오염물이 시료에 침유되어 건전 시료보다 절연저항이 저하되어 흐르는 전류의 양이 증가하였기 때문이고, 이 전류의 흐름으로 인해 시료표면의 온도가 상승으로 인한 것이다.

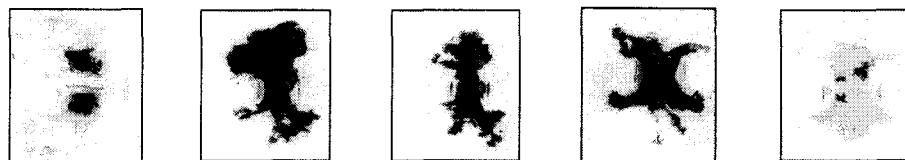
3) 탄화흔의 형성 형태

각 시료의 탄화흔 형성 형태를 보면 오염되지 않은 시료의 경우 탄화흔 외에 중앙부분에 깊게 파인 홈을 발견할 수 있으며, 홈이 있는 부분은 탄화흔이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 탄화가 되기 전에 시료의 표면이 기화가 되는 것임을 알 수 있다.

오염된 시료의 경우 윤활유를 제외한 나머지 시료는 진행 정도의 차이는 있으나 모두 비슷한 형태로 탄화가 진행되었음을 알 수 있었고, 윤활유의 경우는 건전 시료와 오염된 시료의 특성을 모두 가지고 있었다.

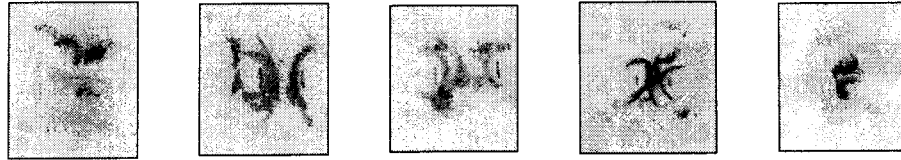
그림 (e)를 보면 전극 사이에 파인 흔적과 주변에 오염물질의 형태와 같은 표면이 광범위하게 탄화흔이 있음을 알 수 있다.

IV, HIV 모두 시간적 차이는 있으나 트래킹의 형성 형태는 유사하다. 그림 4는 IV의 오염물질별 탄화흔의 형태이고, 그림 5는 HIV의 오염물질별 탄화흔의 형태를 나타낸 것이다.



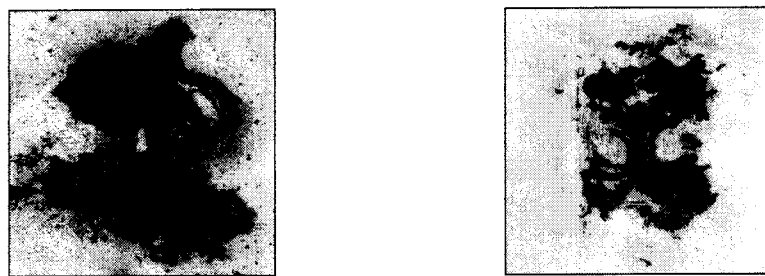
(a) 건전 시료 30분 (b) 물 10분 (c) 소금물 10분 (d) 절삭유 20분 (e) 윤활유 20분

그림 4. IV의 오염물질별 탄화흔 형성



(a) 부오염 30분 (b) 물 10분 (c) 소금물 10분 (d) 절삭유 20분 (e) 윤활유 20분

그림 5. HIV의 오염물별 탄화흔의 형성



(a) 건전시료(IV) 2시간 경과 (b) 오염(절삭유)된 시료(IV) 40분 경과

그림 6. 건전시료 및 오염된 시료의 트래킹 형태 (380[V])

그림 (a)는 건전시료를 전압을 인가후 2시간 경과후의 상태로서 역시 전극 사이의 중앙 부분에 파인 홈을 확인 가능하며 그 외 주변에서도 홈을 찾아 볼 수가 있었고 그리고 탄화의 진행이 tree 형태로 진행되 되는 것을 알 수 있다.

그림 (b)의 오염된 시료의 경우 전압 인가후 40분 경과 후의 모습으로 건전시료의 탄화모습과는 확연히 다른 것을 확인 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 동일한 절연재료를 가지고 트래킹 실험을 진행하여 진전과정 및 트래킹 특성을 관찰하고 오염물질별 트래킹의 진행 형태를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 트래킹에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 건조대의 형성이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- (2) 절연재료의 오염 유무에 따라 트래킹의 진행 형태가 서로 상이하며, 트래킹의 진행시간의 경우 건전 시료 보다 오염된 절연재료가 트래킹의 진행 시간이 오염물질별로 다소 차이는 있으나 대부분이 시간이 단축됨을 알 수 있었다.
- (3) 오염되지 않은 절연재료의 트래킹 진전은 탄화도전로가 오랜 시간에 걸쳐 tree 형상으로 서서히 진행이 되는 반면 오염된 시료의 경우 급격히 진행되며 tree 형상은 찾아볼 수가 없었다.
- (4) 오염되지 않은 절연재료는 건조대의 형성으로 발광방전 불꽃이 발생하지만

오염된 절연재료의 경우 발광방전 불꽃이 발생하지 않으며 건조대가 거의 형성되지 않는 것을 알 수 있었다.

상기의 연구결과는 전기화재의 원인분석과 조사에 기초자료가 될 수 있을 것으로 사료되며, 향후 트레이킹에 영향을 미치는 인자에 관한 연구와 이러한 인자의 변화에 따른 트레이킹 특성의 변화에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이충호, 고체 절연물의 Tracking 발생에 관한 연구 한양대학교 석사학위 논문 (1994)
2. 최태원, 신경회로망을 이용한 옥내배선의 트레이킹 식별에 관한 연구, 경남대학교 석사학위 논문 (1995)
3. 최병화, 유기절연재료 표면의 Tracking 파괴에 관한 연구, 영남대학교 석사학위 논문 (1985)
4. IEC Publ. "Recommended Method for Determining Comparative Tracking Index of Solid Insulating Materials under Moist Conditions", 2nd Ed., 1971
5. ASTM D 3638, "Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials"
6. 최충석, 김형래, 김혁수, 저압설비에 사용되는 누전차단기의 트레이킹 특성에 관한 연구, 한국산업안전학회학술지 (2001. 05)
7. 최충석, 김형래, 송길복, 김향곤, 김동욱, 김동우, 트레이킹에 의해 열화된 누전차단기 외함의 특성분석, 한국화재소방학회학술지 (2002. 11)