

전극간 표면누설에 의한 탄화도전로의 생성과 방향성

송길목*, 한운기*, 이기연*, 곽희로**
*전기안전연구원, **충실대학교

The direction and formation of carbonized conductive path according to surface leakage between electrodes

Kil-Mok Shong*, Woon-Ki Han*, Ki-Yoen Lee*, Hee-Ro Kwak**
*KESCO-ESRI, **Soongsil Univ.

Abstract - Electrical current always travels through the minimum resistance path. In this paper, we are studied on the direction and formation of carbonized conductive path according to surface leakage between electrodes. The analysis of characteristics of the arc discharge as surface is broken down between exposed live parts. Using the HSIS(high speed imaging system, 100,000fps, redlake ltd., USA), it took photographs by arc growth mechanism occurred in on/off surge, ground fault and discharge between electrodes. Therefore, It recommended for results of technology development and application security such as theoretic verification of an arc direction and economic security according to a technology about connecting arc generation in surfaces of insulators. Hereafter, it expected effects that application of energy utility technology through the arc control.

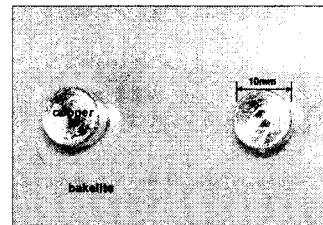
성되고 확장되는 형태를 나타낸 것으로 전류에 의한 전자의 이동으로 열에너지가 발생하여 수분이 증발하고 표면의 온도가 상승한다. [3]은 전극 주변에 탄화도전로가 형성되고 미소불꽃방전이 진행된다. 이로 인해 전극사이의 절연이격거리는 탄화도전로가 형성되어 좁아지는 과정을 갖는다. [4]는 전극과 전극사이에 탄화도전로가 형성된 것을 나타낸 것으로 연면방전에 의해 전류가 탄화도전로에 의한 자국을 남기며 진행된 형태를 알 수 있다[6]. 일반적으로, 전류는 항상 작은 저항로에 의해 이동된다. 이러한 과정을 통해 절연재료의 탄화가 진행되는 데 과정에서 탄화도전로가 형성된다[7].

1. 서 론

국내 환경에 있어서 삼면이 바다로 둘러 싸여 염해가 심하며, 황사현상과 같은 자연현상이 주기적으로 발생하고 있고, 일부 도시의 경우 심각한 공해문제 등을 안고 있다. 따라서 전기설비의 유지보수와 관리적 측면은 매우 열악한 실정이다. 염해, 황사, 공해먼지 등의 공통점은 전기설비의 표면에 장시간에 걸쳐 열화를 진전시키는 것으로 절연재료의 표면을 따라 누설전류가 흐르면 일정시간이 지나 불꽃방전과 건조대를 반복하면서 절연과피가 발생한다. 따라서 절연과피에 의해 전극과 전극사이의 절연재료가 도전성을 가진 물질로 변하게 된다. 이는 절연재료의 탄화도전로가 형성되어 일종의 트랙(track)을 형성하는 것으로 전극과 전극사이에 전류가 쉽게 이동할 수 있도록 도전로를 만들어 낸다[1],[2].

2.2 실험방법

직경 10mm의 봉전극 형태를 제작하여 절연재료에 7mm, 15mm, 25mm, 40mm의 일정한격으로 실험하였다. 그림 2는 전극을 고정된 상태를 촬영한 것이다. 이때 이용된 절연재료는 저전압 또는 고전압에서 패널로 많이 이용되는 페놀수지의 베이클라이트(bakelite)를 이용하였다.



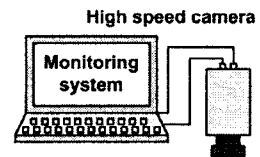
〈그림 2〉 전극을 설치한 절연재료의 외형

IEC에서도 이에 대한 실험기준에 대해 명확히 설명하고 있다. 특히, IEC 50687과 IEC 60112의 경우에는 절연재료를 평가하는 기준으로 이용되고 있으며, 이를 기준으로 한 다양한 응용실험들이 발표되고 있다[3].

실험순서는 5wt%의 NaCl 수용액을 표면에 약 1mm의 두께로 도포한 후 전원을 공급하였다. 전원은 교류 220V의 전원을 이용하였으며, 회로의 단락을 방지하기 위한 안전저항을 가변하도록 구성하였다.

저전압에서는 열가소성수지(thermoplasticity resin)에 대한 내트래킹성이 강한 반면 열이나 자외선 등에 의해 장시간 노출되면, 경화되는 단점을 가지고 있다. 최근에는 충전제(filler)의 개발로 많은 부분 트래킹에 대한 우수한 재료가 등장하였으나, 기존의 설비 또는 온도, 습도, 자외선, 화학적 영향, 공해, 먼지 등의 외부 영향에 의한 재료의 변질이 나타나고 있다. 선진외국의 연구에서는 방전메커니즘과 더불어 재료의 특성변화 등을 분석하기에 의해 해석하여 재료 평가에 이용되는 경우가 많다[4],[5].

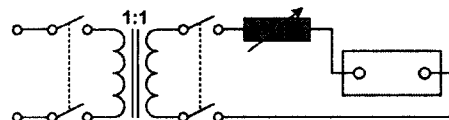
그림 3은 회로와 자료 수집을 위한 고속카메라가 설치된 형태의 실험 구성에 대한 개략도를 나타낸 것이다.



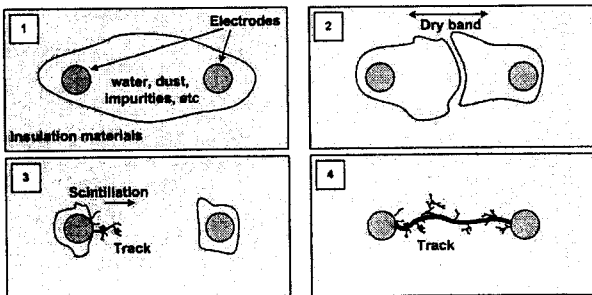
2. 본 론

2.1 연면방전과정

본 연구는 절연재료의 표면이 방전이 될 수 있도록 구성하여 탄화도전로를 형성하고 있는 아크 메커니즘과 거동에 대한 고찰로서 아크에 의한 탄화도전로 형성 메커니즘을 보면 그림 1과 같다.



〈그림 3〉 연면방전을 위한 실험 개략도



〈그림 1〉 탄화도전로 형성과정

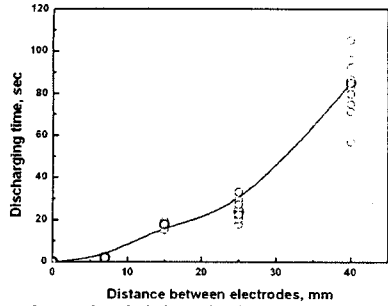
실험을 통해 고속카메라를 이용하여 방전까지의 과정을 이미지로 촬영하였고, 탄화도전로가 형성되어 완전단락에 이르는 시간 측정, 극간 거리에 따른 방전과정과 탄화도전로의 형성, 탄화형태 등을 분석하였다. 실험은 동일조건에서 10회 반복하여 최고치와 최저치를 제외한 평균자료를 이용하였다.

2.3 실험결과 및 분석

2.3.1 전극의 이격거리에 따른 방전시간 및 아크과정

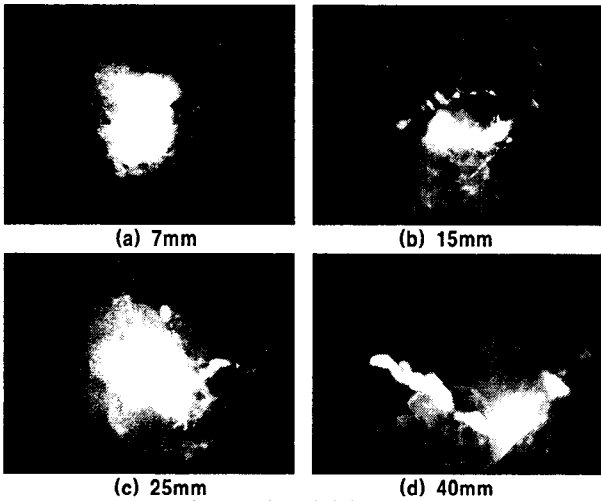
전극의 이격을 7mm, 15mm, 25mm, 40mm의 길이로 각각 실험하여 그림 4와 같은 결과를 알 수 있었다. 그림에서 알 수 있듯이 전극의 길이가 멀어질수록 방전시간이 2차원적으로 증가하였다. 또한 방전거리에 멀어지면 방전시간은 일정하지 않은 것을 알 수 있었다. 또한, 극간거리에 따른 연면방전의 특성에 있어서 고속카메라에 의해 촬영된 연면방전을 보면, 탄화도전로를 형성하는 위치가 다음을 확인할 수 있다.

[1]은 절연재료의 표면에 있는 전극사이에 오염물질이 있거나, 외부 요인에 의해 누설전류가 흐를 수 있는 조건을 나타낸 것이다. [2]는 건조대가 형



〈그림 4〉 전극사이의 거리 대 방전시간 상관곡선

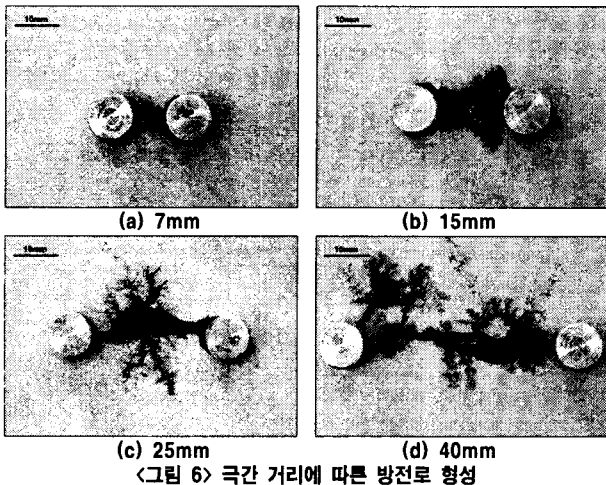
그림 5는 극간 거리에 따른 각각의 방전형태를 고속카메라로 촬영한 것이다. (a)는 방전거리가 7mm일 때의 촬영한 것으로 극간거리가 짧고, 에너지의 방출량이 많아 불꽃이 커진 것을 확인하였다. 도전로가 형성된 시간은 평균 2.1sec 동안 진행되었다. (b)는 방전거리가 15mm에서 방전된 것으로 주방전로 외에 주위로 다른 탄화도전로가 형성되고 있음을 확인할 수 있다. (c)는 25mm의 극간거리에서 방전된 것으로 절연저항이 전기에너지의 흐름에 의해 줄열에 의한 탄화도전로가 형성되면서 저항이 급격히 낮아지고 이로 인한 전기에너지의 흐름이 폭주하여 열에너지로 전환되는 반복과정을 나타냈다. (d)는 40mm의 극간거리에서 탄화도전로가 형성되면서 방전된 것으로 탄화도전로가 전극사이를 가깝게 하여 전체적으로는 절연저항이 낮아지는 과정에서 전자사태에 의한 열에너지의 폭주가 발생하였다.



〈그림 5〉 극간 거리에서의 방전특성

2.3.2 탄화도전로의 거동 분석

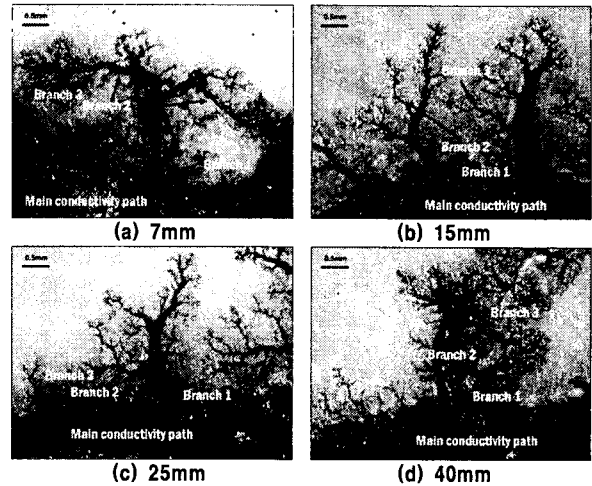
그림 6은 극간 거리에 따른 탄화도전로를 확대한 것으로 극간 주방전로를 중심으로 분기된 도전로가 극간 거리가 길어질수록 많아지는 경향을 보였다. 절연저항은 약 3.2Ω에서 55Ω까지 나타났으나, 일정하지 않았다.



〈그림 6〉 극간 거리에 따른 방전로 형성

그림 7은 광학현미경을 이용하여 탄화도전로 일부를 확대한 것으로 전극사이의 거리가 7mm인 (a)의 경우 주 도전로를 중심으로 1차 가지는 약 90°의 각도로 성장하였고, 2차 가지에서 분기된 것은 각각의 전극 방향으로 형성되었다. 3차 가지는 2차 가지를 중심으로 약 45°의 일정한 각도로 생성

되었다. (b)는 15mm의 전극 거리에서의 탄화도전로를 확대한 것으로 주 방전로를 중심으로 분기 가지가 형성된 것을 확인할 수 있다. 분기된 도전로의 성장은 성장각도가 기울어진 형태를 확인할 수 있으며, 2차 가지에서는 대부분 1차 가지가 기울어진 방향으로 생성하여 성장하는 것을 확인할 수 있다. 3차 가지에서는 일정한 각도의 균형을 가지고 나타나는 것을 확인하였다. 이는 주방전로를 중심으로 나타난 분기가 1차 가지의 기울어진 각도에 의해 2차 가지의 생성과 성장을 지배하고 있으며, 가지가 분기될수록 이러한 영향은 적은 것으로 판단된다. (c)는 25mm의 전극거리를 유지하여 방전시킨 후의 탄화도전로를 확대한 것이다. 1차 가지는 타원 형태로 성장하였는데 방향은 전극의 위치에서 가까운 방향으로 진행된 것을 확인하였다. 이는 1차 가지의 기울어짐에 따라 성장하는 방향이 결정되어 있음을 알 수 있다. (d)는 40mm의 전극거리를 유지한 채 방전되어 탄화도전로를 형성하였다. 주 방전로를 중심으로 1차 가지의 경우 거의 수직인 형태로 성장하였으나 우측으로 약간의 기울어진 상태를 보이며 이로 인해 2차 가지의 성장은 대부분 우측으로 성장하였다. 3차 가지는 2차 가지를 중심으로 방사 형태로 성장하였다.



〈그림 7〉 광학현미경을 이용하여 탄화도전로 일부를 확대

3. 결 론

본 연구에서는 아크 방전 성장 메커니즘 해석 및 검증을 하기 위해 연면 방전의 특성에 대한 실험하여 다음과 같이 요약하였다.

- (1) 탄화도전로가 개시하여 완전 형성되는 시간은 전극의 거리에 따라 다르게 나타났으며, 7mm는 2.1sec, 15mm는 17.9sec, 25mm는 23.7sec, 40mm는 85.1sec인 것으로 나타났다.
- (2) 탄화도전로의 절연저항을 측정된 결과, 약 3.2Ω에서 55Ω까지 다양하게 나타났으며, 절연저항이 매우 낮아진 것을 확인하였다.
- (3) 분기가지의 성장방향은 1차 가지와 2차 가지에서 뚜렷한 방향성을 가지고 있는 것을 확인하였고, 1차 가지는 전극이 가까운 위치에서 먼 쪽의 방향으로 성장하였으며, 2차 가지는 1차 가지의 기울어진 방향으로 대부분 성장하였다.
- (4) 성장 방향성은 극간 거리가 가까울수록 방향성이 일정하였으며, 극간 거리가 멀수록 2차 가지에서 방향성을 가지는 것으로 나타났다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력산업연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. Davy, Elements of Chemical Philosophy, Vol.1, Smith and Elder, London, p152, 1812
- [2] M. Steenbeck, Untersuchungen am Luftlichtbogen in Schwerefreien Raum, Z. Tech Phys. 33:593, 1937
- [3] G. Busz-Peuchetr and W. Finkelnburg, Die Abhangigkeit der Anodenfaller von Stromstarke und Bogenlange bei Hochtemperaturbogen, Z. Phys. 140, pp540-546, 1966
- [4] W. R. Wilson, High-Current Arc Erosion of Electric contact Material, AIEE Trans. 74(Part III), pp657-664, 1955
- [5] J. V. R. Heberlein and E Pfender, Investigation of the Anode Boundary Layer of an Atmospheric Pressure Argon Arco, IEEE Trans. Plasma Sci. PS-8, p252, 1980
- [6] D. H. Chen and E. Pfender, Modelling of the Anode Contraction Region of High Intensity Arcs, IEEE Trans, Plasma Sci. PS-8, p252, 1980
- [7] M. Hosokawa, Eine Prutung der Minimumprinixides, Wiss. Verott., Siemens 19, pp59-67, 1940
- [8] H. A. Dinulescu and E Pfender, Analysis of the Anode Boundary Layer of High Intensity Arcs, J. Appl. 51, p3149, 1980