

가교폴리에틸렌 지중케이블에서 화상계측을 이용한 수트리 열화현상 분석

The Analysis of Water Tree Degradations in Underground Distribution Cables Using Image Measurement.

김덕근*	전남대학교 전기공학과,
임장섭	목포해양대학교 해양전자·통신공학부,
이진	목포대학교 전기공학과,
이준웅	광운대학교 전기공학과,
김태성	전남대학교 전기공학과.

Kim Duck-Keun*	Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University,
Lim Jang-Seob	Faculty of M.E and Commu. Eng., Mokpo National Maritime Uni.,
Lee Jin	Dept. of Electrical Eng. Mokpo National University,
Lee Joon-Ung	Dept. of Electrical Eng. Kwangwoon University,
Kim Tae-Sung	Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University.

<Abstract>

Water tree degradations have been considered as one of the most important causes of failure in underground distribution cables with polymeric insulation. Water tree growth is a preliminary step in the sequence of electrical tree initiation and electrical breakdown of the insulation.

In this paper, needle electrode is made use of the etching methods and the pellet type specimen is made to observe the water tree in succession. In previous methods are able to observe the tree degradations without cutting and dyeing.

The water tree image is recorded on VTR with CCD camera. The tree length of X, Y axis direction and aging area(treeing area) are calculated with image measurement. As a result of this study, water tree is observed by non-destructive method. Electrical tree is initiated from needle electrode tip only but water tree is initiated from total area of water electrode. Electrical tree owing to water treeing is initiated at low electric field and grown with discontinuously. Namely, water tree is shown up a different characteristics of tree growth.

1. 서론

현재 도시화, 산업화의 발달과 더불어 전력량의 사용은 계속적인 증가추세를 보이

고 있으며 배전선로의 지중화가 급속히 진행되고 있다. 이에 따라 지중케이블의 내부 결함이나 열악한 사용환경에 의한 사고가 빈번해지는 등 여러 가지 문제가 발생하고

있다.

이런 문제점들 중에서 현재 운전중인 지중케이블의 주된 사고 원인은 수분에 의한 열화가 발생해 절연파괴에 이르는 수트리 열화현상이다. 이러한 수트리는 1968년 지중케이블에서 발견된 이래 많은 연구들이 진행중이다.

전력케이블 사고는 취약한 결합부분에서 발생하지만 사고가 발생하면 사고원인인 결합부분이 소실되므로 정확한 원인을 규명하기 힘들고, 수트리 열화과정은 수트리가 발생한 케이블을 절단해 메틸렌블루로 착색한 후 관찰하는 방법을 이용하므로 연속적인 관찰이 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 수트리 발생 및 진전과정을 시료의 절단이나 착색을 하지 않고 현미경을 통해 연속적으로 관찰하고, 수트리 열화특성을 연구하기 위해 에칭법을 이용해 직경 170[μ m]의 침전극을 만들고, 필름형태의 얇은 시료를 제작하였으며, 수트리 가속열화를 위해 질산은(AgNO₃)용액을 수전극으로 사용하여 인가전압과 인가시간에 따른 수트리의 성장특성을 연구하였다.

II. 실험방법

2.1 시료제작

수트리의 진전특성을 연속적으로 관측하기 위해서는 시료를 얇은 패럿형태로 만들어야 하는데, 패럿형태의 시료를 만들면 수전극 형성의 어려움이 발생한다. 이런 문제점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 에칭법을 이용해 직경 170[μ m]인 침전극을 새롭게 제작하였다.

이 침전극을 10×10[mm]의 크기로 잘라낸 XLPE 필름(두께 : 150[μ m], 일본 후지쿠라)을 4장 적층한 중간에 삽입한후 시료의 표면과 형태를 유지하기 위해 커버글라스를 상하에 씌우고 5[kg]의 무게로 압착하면서

온도를 170[$^{\circ}$ C]까지 상승시킨 후 1시간 동안 유지시켜 시료를 가교시킨 다음 항온조 내에서 상온까지 서냉한다.

수전극을 형성하기 위하여 침전극을 약 1.5[mm]정도 빼낸 후 0.13[M]의 AgNO₃의 수용액이 담긴 비이커에 시료를 넣고 진공 오븐에서 3시간 유지해 침전극이 빠져 형성된 침전극 형태의 보이드에 질산은 수용액이 완전히 증발되어 수전극이 형성된 것을 현미경으로 확인한 후, 수전극에서 1.5[mm]의 거리에 은페인트를 도포해 평판전극을 형성한다. Fig. 1.은 위와 같은 방법을 이용해 제작한 시료의 형태이다.

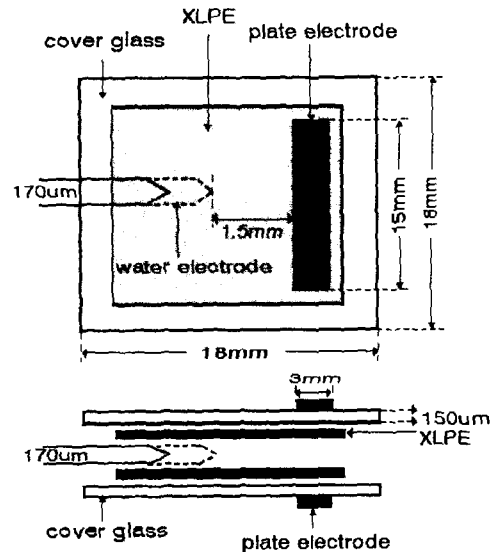


Fig. 1. The specimen.

2.2 수트리 진전특성 관측

Fig. 1.과 같이 제작된 패럿상의 시료에 교류전압 5-8[kV]를 인가해 트리의 개시에 서부터 인가시간에 따른 수트리의 성장을 연속적으로 관측하였다. 모든 실험은 연면 방전을 방지하기 위해 실리콘 오일중에서 실시하였다.

시료에 전계가 인가되면 수전극과 전계의 복합작용으로 인하여 절연체에 열화가 발생하여 열화의 흔적으로서 미소크랙

(micro crack)이 발생하는 수트리가 성장하게 된다. 이러한 수트리 진전과정은 현미경(일본, olympus SZH10)과 CCD카메라를 이용해 시각적 관측을 하고, VTR로 녹화해 화상을 화상처리보드를 통해 컴퓨터로 입력받아 이진화 처리를 한다. 이진화 처리된 화상을 이용해 트리의 X, Y축 길이와 열화면적을 정량적으로 계산하였다.

수전극만의 화상입력을 위하여 최초 1분간은 전압을 인가하지 않았고, 승압속도 500[V/sec]로 목적인 전압까지 상승시켰다.

화상처리보드의 화소수는 256×256이며 256단계의 흑백정보를 가지고 있다.

Fig. 2.는 수트리 진전특성을 관측하기 위한 화상처리 시스템의 개략도이다.

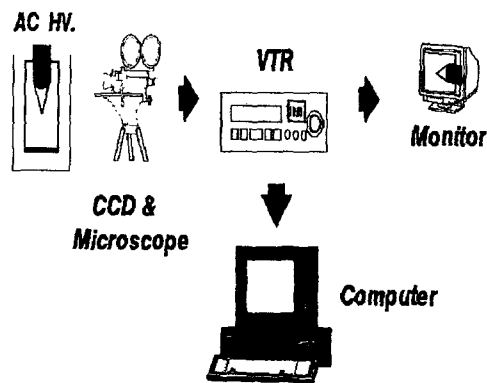


Fig. 2. The image processing system.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 3.은 패럿형태의 시료를 제작해 수트리가 발생한 시료를 절단하거나 착색하지 않고 현미경을 통한 시각적 관측과 화상처리를 이용한 정량적 해석을 통하여 수트리의 진전상태를 분석한 결과이다.

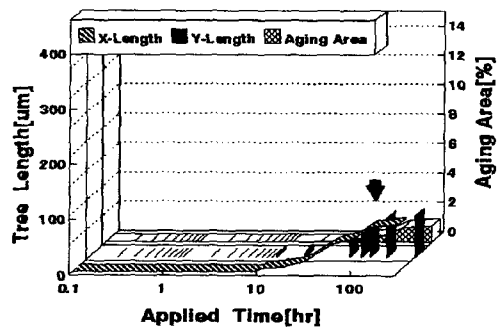
Fig. 3.(a)와 같이 5[kV]정도의 저전압이 인가된 경우에는 수트리 개시시간이 길며 트리의 성장도 느리며, 열화면적도 작게 나타난다. 그러나, 인가전압이 상승함에 따라

수트리의 개시시간이 짧아지며, 수트리의 성장도 급격하게 되고 열화면적이 아주 넓어지게 된다.

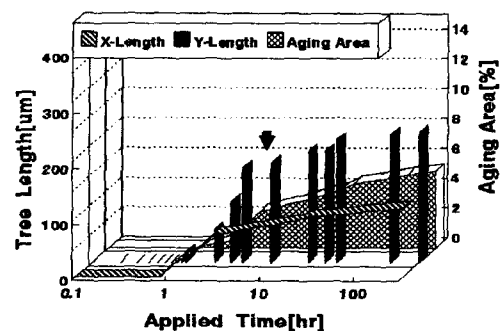
수트리의 성장은 인가시간에 따라 서서히 커지다가 인가전압에 비례해 어느 정도 성장하게 되면 수트리의 성장이 거의 멈추게 된다. 이때는 수트리에서 전기트리로 전이하는 과정이 된다. 즉, 수트리가 연속적으로 성장을 하지 않고 불연속적으로 성장하는 것이 나타난다.

Fig. 3.에서 (↓)로 표시된 부분이 수트리에서 전기트리로 전이되는 단계이다.

본 연구에서 사용된 시료에 수전극을 형성하지 않고 전기트리 실험을 한 결과 전기트리는 9[kV] 이하의 전압에서는 발생하지 않았다. 그러나 수전극이 형성된 시료에서는 모든 실험전압에서 전기트리가 발생하였다.

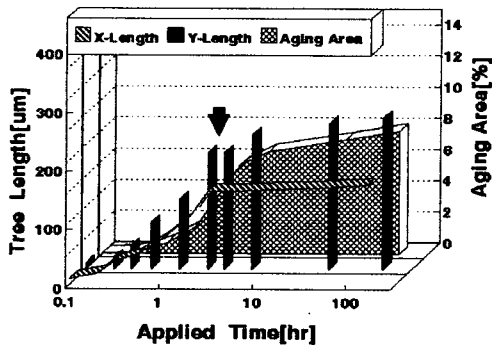


(a)



(b)

이처럼 수분이 존재하면 저전압에서도 전기트리가 발생하는 이유는 절연체 내부에 수분이 존재할 경우 절연성을 저하시키고, 수트리가 발생해 저전압에서도 전기트리가 발생할 수 있는 도전로가 형성되기 때문이라고 생각된다.



(c)
Fig. 3. The growth characteristics of water tree using AgNO₃ solution.
(a) 5[kV] (b) 6[kV] (c) 7[kV]

Fig. 4.는 증류수와 AgNO₃용액을 수전극으로 사용했을 때 인가전압 6[kV]에서 수트리의 진전특성을 비교한 그래프이다. AgNO₃용액을 수전극으로 사용하면 증류수보다 트리 개시시간이 짧아지고 트리성장도 급격히 이루어진다.

이런 이유는 AgNO₃용액내에 있는 금속성 Ag⁺이온이 전계의 작용으로 절연체의 열화를 가속시키기 때문으로 생각된다. 그러므로 금속성 이온이 수분에 혼합되어 절연체 내부에 흡입되면 이온의 작용으로 인해 열화가 가속되고, 사고의 확률도 높아짐을 의미한다.

지중케이블이나 해저케이블의 경우 수분 이외에 다른 금속성 이온들이 혼합될 수 있는 환경에 노출되기 쉽기 때문에 케이블에서 이러한 금속성 이온에 의한 수트리 열화가 더욱 문제시 될 수 있다고 생각된다.

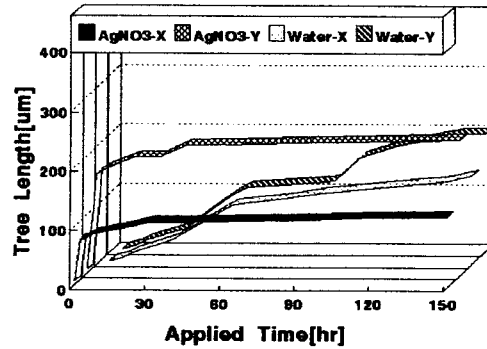


Fig. 4. The growth characteristics of water tree using distilled water and AgNO₃ solution.

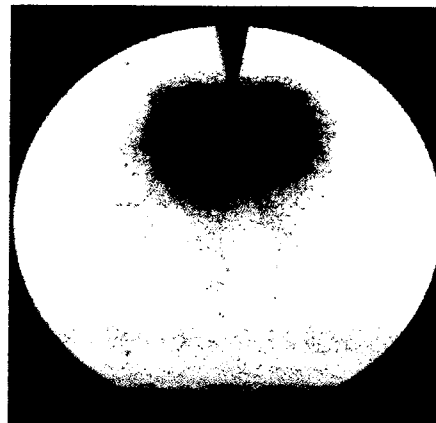


Fig. 5. The electrical tree.(18[kV], ×100)

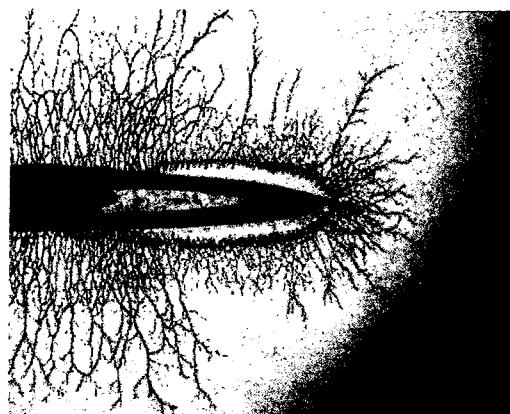


Fig. 6. The water tree.(6[kV], ×200)

IV. 결 론

본 연구에서는 수트리를 연속적으로 관측하기 위하여 에칭법을 이용해 침전극을 제작해 시료를 패럿형태로 만들어 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전기트리는 전계가 집중되는 침전극의 끝부분에서만 트리가 발생하지만 수트리는 수전극의 전부분에서 발생한다.
2. 수트리가 발생하면 낮은 전압에서도 전기트리가 발생하고, 증류수를 사용한 경우보다 AgNO_3 용액을 사용한 경우에 수트리의 진전이 가속된다. 즉, 수분에 다른 불순물이 첨가되면 열화가 가속된다.

V. 참고문헌

1. M. T. Shaw, S. H. Shaw, "Water Treeing in Solid Dielectrics," IEEE Trans. Elect. Insul., Vol. EI-19, pp. 419-452, 1984.
2. Z. H. Fan, N. Yoshimura, "Silver Tree," IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul., Vol. 3, pp. 131-135, 1996.
3. G. Yianakopoulos, J. Vanderschueren, J. Niezette, A. Thielen, "Influence of Physical Aging Processes on Elect. Properties of Amorphous Polymers," IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 25, No. 4, pp. 693-702, August 1990.
4. D. L. Dorris, M. O. Pace, T. V. Blalock, I. Alexeff, "Current Pulses During Water Treeing Detection System," IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 3, No. 4, pp. 515-522, August 1996.