

## AgNO<sub>3</sub>을 이용한 수트리의 실시간 열화계측

### The Aging Measurement of Water Tree Using AgNO<sub>3</sub> Solution

\*김덕근<sup>1</sup>, \*오수홍<sup>2</sup>, \*\*이진<sup>3</sup>, \*\*\*이은학<sup>4</sup>, \*김태성<sup>5</sup>

\* 전남대학교 전기공학과

\*\* 목포대학교 정보공학부

\*\*\* 한라공과대학 전기공학과

\*Duck-Keun Kim<sup>1</sup>, \*Soo-Hong Ooh<sup>2</sup>, \*\*Jin Lee<sup>3</sup>, \*\*\*Eun-Hak Lee<sup>4</sup>, \*Tae-Sung Kim<sup>5</sup>

\* Dept. of Electrical Eng., Chonnam National University

\*\* The Major in Electrical Eng., Faculty of Information Engineering, Mokpo National University

\*\*\* Dept. of Electrical Eng., Halla Institute of Technology

#### <Abstract>

The phenomenon of water tree degradation of underground distribution power cables is taking place in polymeric insulation materials under the existence of water and application of electric stress, but water tree is not easy to observe, so water tree features in power cables are shown after cutting and dying with methyleneblue.

In previous method, it is impossible to acquire continuous treeing data, and when the insulation material has been cut, the micro crack(water tree) has been damaged.

In this paper, to overcome these defects, the etching method is made use of making needle electrode about 170[ $\mu$ m] diameter, and AgNO<sub>3</sub>(silver nitrate) solution is used as liquid electrode to accelerate the growth of water trees.

As a result of this study, water tree is observed in real-time with microscope. Electrical tree owing to water treeing is initiated at low electric field and grown with discontinuous. Namely, water tree is shown up a different characteristics of tree growth.

#### 1. 서론

도시화의 발달과 더불어 현재 사용되는 전력량은 지속적인 증가추세를 보이고 있으며 배전선로의 지중화가 급속히 진행되고 있다. 이에 따라 지중케이블의 사고가 확대되는 등 여러 가지 문제가 발생하고 있다. 가교폴리에틸렌을 절연층으로 사용하는 지중배전용 전력케이블은 고분자의 특성상 경년에 따라 열화되는 성질을 갖고 있으므로 열화에 의한 사고는 불가피하다.

전력케이블의 사고원인은 시공불량, 제조결함, 자연열화 등으로 구분할 수 있는데, 이런 운

제점들 중에서 현재 운전중인 케이블의 주된 사고 원인은 수트리에 의해 열화가 발생해 절연과피에 이르는 수트리 열화현상이다. 이러한 수트리는 1968년 지중케이블에서 발견된 이래 많은 연구들이 진행중이다.

그러나, 전력케이블의 사고는 취약한 결함부분에서 발생하지만 사고가 발생하면 사고원인인 결함부분이 소실되므로 정확한 원인을 규명하기 힘들고, 수트리 열화과정은 수트리가 발생한 케이블을 절단해 메틸렌블루로 착색을 해 관찰하

기 때문에 연속적인 관찰이 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 수트리 발생 및 진전 과정을 시료의 절단이나 착색을 하지 않고 현미경을 통해 연속적으로 관찰하고 열화의 진행과정을 설명하기 위해 시료를 얇은 패럿상으로 제작하고, 수트리 가속열화를 위해 질산은(AgNO<sub>3</sub>)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 전해연마법을 이용해 침전극의 직경이 약 170[ $\mu$ m]인 전극을 새롭게 제작하였다.

이 침전극을 10×10[mm]의 크기로 잘라낸 XLPE 필름(두께 : 150[ $\mu$ m], 일본 후지쿠라)을 4장 적층한 중간에 삽입한후 시료의 표면과 형태를 유지하기 위해 커버글라스를 상하에 씌우고 5[kg]의 무게로 압착하면서 항온조내에서 온도를 170[ $^{\circ}$ C]까지 상승시킨 후 1시간 30분 동안 유지시켜 시료를 가교시킨 다음 항온조내에서 상온까지 서냉한다.

수전극을 형성하기 위하여 삽입되어 있는 침전극을 약 1.5[mm]정도 빼낸 후 0.13[M]의 AgNO<sub>3</sub>의 용액이 담긴 비이커에 시료를 넣는다. 이 비이커를 진공오븐에서 3시간 유지해 침전극이 빠져 형성된 침전극 형태의 보이드에 용액이 완전히 충전되어 수전극이 형성된 것을 현미경으로 확인한 후, 수전극에서 1.5[mm]의 거리에 은페인트를 도포해 평판전극을 형성한다. Fig. 1.은 시료제작 공정을 블록다이어그램으로 나타냈다.

### 2.2 수트리 진전특성 관측

위와 같은 방법으로 만들어진 패럿상의 시료에 교류전압 5-8[kV]를 인가해 트리의 개시에서

부터 인가시간에 따른 트리의 성장을 연속적으로 관측한다. 연면방전을 방지하기 위해 실리콘 오일중에서 실시하였다.

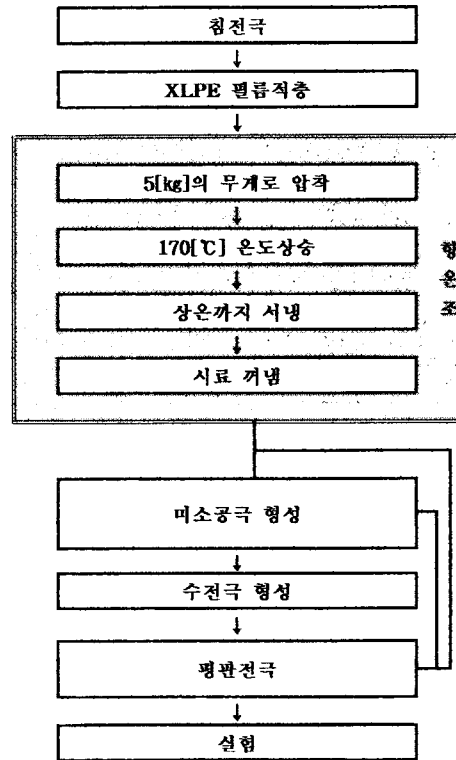


Fig. 1. The block diagram of specimen manufacture process.

시료에 전계가 인가되면 수전극과 전계의 복합작용으로 인하여 절연체에 열화가 발생하여 열화의 흔적으로서 미소크랙(micro crack)이 발생하는 수트리가 성장하게 된다. 이러한 수트리 진전과정은 현미경과 CCD 카메라를 이용해 시각적 관측을 하고, VTR로 녹화해 화상을 화상처리보드를 통해 컴퓨터로 입력받아 이진화 처리를 거친 다음 필요한 화상처리 프로그래밍을 실시해 트리의 진전특성을 정량적으로 계산해 출력하였다.

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

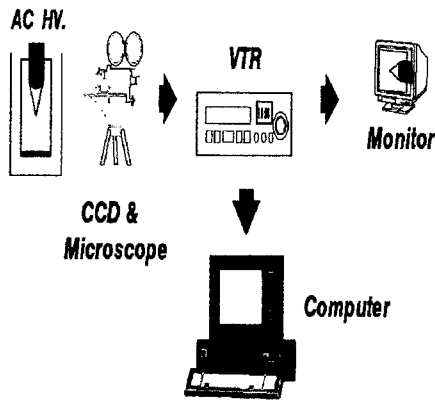


Fig. 2. The image processing system.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 AgNO<sub>3</sub>을 사용한 수트리 진전특성

수전극에 교류전압을 인가하면 절연체에 수트리 열화현상이 발생한다. Fig. 3.과 같이 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.

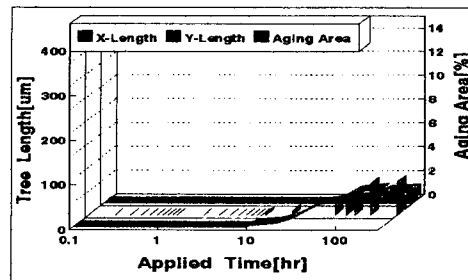
수트리의 성장은 인가시간에 따라 서서히 커지다가 인가전압에 비례해 어느 정도 성장하게 되면 수트리의 성장이 거의 멈추게 된다. 이때는 수트리에서 전기트리로 전이하는 과정이 된다. 즉, 수트리가 연속적으로 성장을 하지 않고 불연속적으로 성장하는 것이 나타난다.

Fig. 4.는 증류수와 AgNO<sub>3</sub>용액을 수전극으로 사용했을 때 인가전압 6[kV]에서 수트리의 진전특성을 비교한 그래프이다. AgNO<sub>3</sub>용액을 수전극으로 사용하면 증류수보다 트리 개시시간이 짧아지고 트리성장도 급격히 이루어진다.

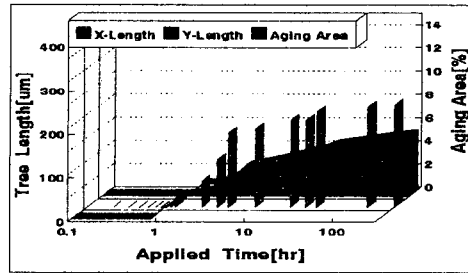
이런 이유는 AgNO<sub>3</sub>용액내에 있는 금속성 Ag<sup>+</sup> 이온이 전체의 작용으로 절연체의 열화를 가속시키기 때문으로 생각된다. 그러므로 금속성 이온이 수분에 혼합되어 절연체 내부에 흡입되면

이온의 작용으로 인해 열화가 가속되고, 사고의 확률도 높아짐을 의미한다.

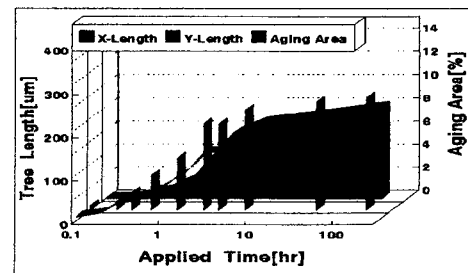
지중케이블이나 해저케이블의 경우 수분 이외에 다른 금속성 이온들이 혼합될 수 있는 환경에 노출되기 쉽기 때문에 케이블에서 이러한 금속성 이온에 의한 수트리 열화가 더욱 문제시될 수 있다고 생각된다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. The growth characteristics of water tree using AgNO<sub>3</sub> solution.

(a) 5[kV] (b) 6[kV] (c) 7[kV]

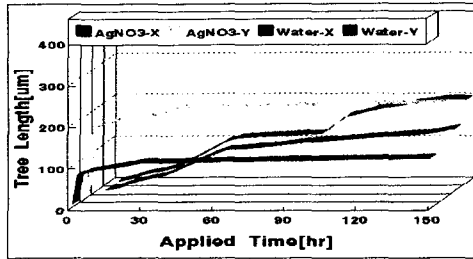
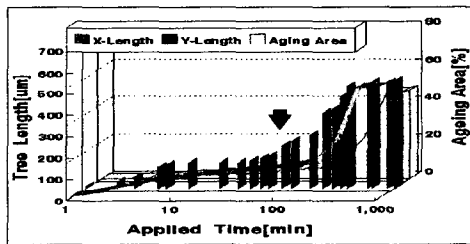


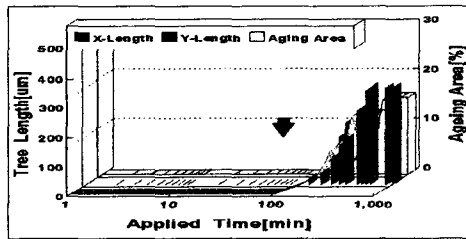
Fig. 4. The growth characteristics of water tree using distilled water and  $\text{AgNO}_3$  solution.

### 3.2 수트리에서 발생하는 전기트리의 진전특성

수트리가 발생하면 낮은 전압에서도 전기트리가 발생하게 된다. 본 실험에서는 인가전압 5-8[kV]에서 모두 수트리가 성장한 후 전기트리가 성장하였다.



(a)



(b)

Fig. 5. The growth characteristics of water tree using  $\text{AgNO}_3$  solution  
(a) water tree (b) electrical tree

Fig. 5는 인가전압 8[kV]에서 수트리가 발생한 후 전기트리의 진전과정을 인가시간에 대해

나타낸 것이다. “↓”로 표시된 부분이 수트리에  
서 전기트리가 발생하는 시점이며, 전기트리는  
수트리에 의해 열화된 부분까지 진전하게 되며,  
이때 다시 수트리가 성장하는 특성을 나타낸다.  
이것은 수트리가 전기트리의 도전로를 형성해주  
고 전기트리는 다시 수트리가 성장할 수 있는  
준전극 역할을 한다고 생각된다.

## IV. 결 론

본 연구에서는 수트리를 연속적으로 관측하  
기 위하여 새롭게 침전극을 제작해 시료를 패럿  
형태로 만들고,  $\text{AgNO}_3$ 용액을 사용해 가속실험  
을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수트리와 수트리에 의하여 발생한 전기트리는 불연속적인 성장을 한다.
2. 수트리가 발생하면 낮은 전압에서도 전기트리가 발생하므로 수분이 절연체 열화를 가속시킨다.
3. 증류수를 사용한 경우보다  $\text{AgNO}_3$ 용액을 사용한 경우에 수트리의 진전이 가속된다. 그러므로 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. D. L. Dorris, M. O. Pace, T. V. Blalock, I. Alexeff, "Current Pulses During Watre Treeing," IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul. Vol. 3, pp. 515-522, 1996