

## 가교폴리에틸렌의 수트리 성장특성에 관한 연구

### A Study on Growth Characteristics of Water Tree in XLPE

김덕근\*, 임장섭, 김철운, 류경우, 김태성

전남대학교 전기공학과

Duck-Keun Kim\*, Jang-Seob Lim, cheol-Woon Kim, Kyung-Woo Ryu, Tae-Sung Kim

Dept. of electrical Engineering, Chonnam National University

#### Abstract

It is well known that water treeing is one of the main cause of breakdown in underground power cables, but water tree is not easy to observe. This aging phenomenon was resulted in effect of water and electric field and so on.

In this paper, Distilled water was used as water electrode to observe the water treeing in XLPE(cross-linked polyethylene). To observe easily, sample was made of pallet types so water tree was able to show by microscope. As a result, electrical tree appears at middle electrode tip which was concentrated electric field, but water tree was shown up different types that were appeared in total area of water electrode as well as water electrode tip.

#### 1. 서 론

현재 사용되어지는 전력량은 증가 추세에 있고 전력계통의 고전압화와 병행하여 관련된 케이블, 전기기기 등의 고전압화, 소형화, 신뢰성의 향상 및 사용환경의 복잡화를 극복해야 하므로 절연재료의 역할은 매우 중요하다.

전기절연재료의 파괴를 일으키는 방전에는 절연재료중의 partial discharge, treeing, tracking 등이 있다. water tree는 시간의 경과와 함께 물을 함유하고 있는 폴리머에 전압을 인가했을 경우 생성되는 열화흔적이다. 특히, 지중시설(직매, 관로등)이나 해저 케이블에 있어서는 여러 가지 원인들로 인해 케이블에 누수가 발생하게 되고, 이런 수분과 고전계의 작용으로 인해 생성된 water tree에 의한 케이블 사고가 많이 발생한다. 그러나 케이블의 궁극적인 절연파괴는 water tree가 성장한 후 발생하는 전

기트리에 의해서 이루어지게 된다. 이러한 water tree는 장기간 사용한 케이블에서 발견되고 물과 전계, 도전체 등의 복합작용으로 발생한다. 그러나 고압케이블에서 발생한 water tree는 시각적으로 관찰이 어렵기 때문에 케이블 사고가 발생하기 전까지는 water tree의 생성여부를 감지하기가 곤란하다. 절연파괴 후 케이블을 절단해 열화흔적을 부분적으로 관찰하는 방법으로는 water tree의 전반적인 데이터를 알아내기 힘들고 절단시 데이터가 손실될 경우도 있다.

따라서 본 연구에서는 패럿상으로 시료를 제작하여 tree의 관찰을 용이하게 하고 인가전압의 차이에 따른 water tree의 발생시간과 진전 특성 및 절연파괴, water tree 발생전 XLPE의 형태가 물과 전계 등의 작용에 의해 어떻게 변화하는가를 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료제작

XLPE를 두께 100[ $\mu\text{m}$ ], 크기 10[ $\mu\text{m}$ ] $\times$ 10[ $\mu\text{m}$ ]인 필름으로 제작하여 4장씩 겹치고 중앙에 전해 연마법으로 만든 곡률반경 1~2[ $\mu\text{m}$ ], 직경 110[ $\mu\text{m}$ ]인 침전극을 삽입했다.

이렇게 침전극이 삽입되어진 XLPE 필름상에 cover glass(18[mm] $\times$ 18[mm])를 씌우고 항온조에 넣어 5[kg]의 무게로 압착하면서 XLPE를 가교시키기 위해 200[ $^{\circ}\text{C}$ ]까지 온도를 상승시켜 XLPE를 용융시켰다.

시료를 70~80[ $^{\circ}\text{C}$ ]에서 꺼낸 후 시인성을 향상시키기 위해 수중에서 급냉한 시료를 사용하였다. 수전극을 제작하기 위해 시료에서 침전극을 2[mm]정도 뽑아내 침전극 끝부분에 미소 공극을 만들었다. 이 미소공극에 증류수를 넣고 증류수가 공극에 충전된 것을 현미경을 통해 확인한 후, 수전극의 끝부분에서 1.5[mm]거리에 은페인트를 바르고 이것을 평판전극으로 하였다. 이렇게 제작한 시료를 그림 1에 나타내었다.

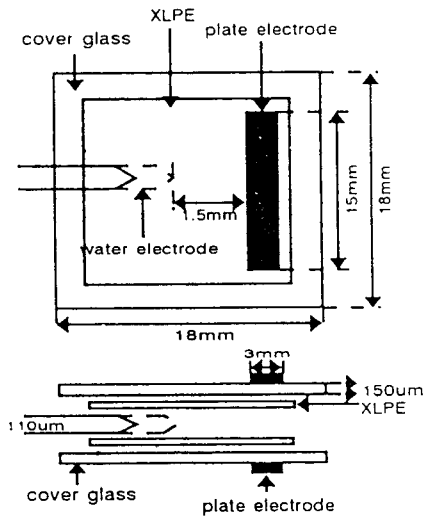


그림 1 시료의 형태

Fig.1 The type of specimen

### 2.2 실험방법

전기트리와 water tree의 특성을 비교하기 위해 전극 끝부분에 공극을 만들지 않은 침전극만의 시료와 침전극 끝부분에 tip type void를

만든 시료, 공극에 증류수를 넣어 수전극을 만든 시료를 제작하여 이 각각의 시료에 0~6[kV]의 교류전압을 인가해 트리발생 후 현미경을 통해 트리의 특성을 관찰하였고, 또한 water tree의 진전특성을 관찰하기위해 water tree실험을 한 시료는 메틸렌블루로 착색을 하고 이를 현미경으로 관찰하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 침전극과 tip type void에서의 트리

침전극의 경우에는 끝부분에 전계가 집중되므로 침전극의 끝부분에서 전기트리가 발생하여 평판전극쪽으로 성장해 나가는 것을 그림 2에 나타내었다. Tip type void가 있는 경우에도 침전극만의 경우와 마찬가지로 void의 끝부분에 전계가 집중되어 전기트리가 발생하고 이 tree는 평판전극쪽으로 진전해 가는 것을 그림 3에 나타냈다.

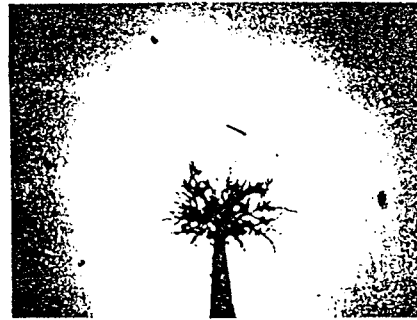


그림 2 침전극에서 전기트리

Fig. 2 Electrical tree in middle electrode

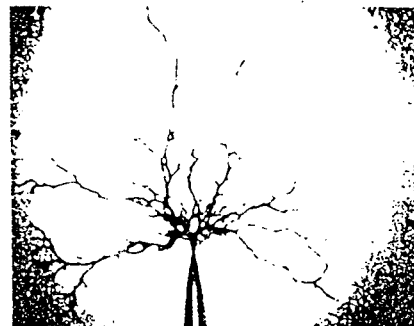


그림 3 Tip type void에서 전기트리

Fig. 3 Electrical tree in tip type void

### 3.2 수전극에서의 water tree

침전극의 끝부분에 증류수를 넣어 수전극을 만들고 water tree 실험을 한 결과 침전극만의 경우와 tip type void의 경우와는 전혀 다른 결과를 얻을 수 있었다.

즉, 전기트리의 경우에는 전계가 집중된 곳에서 트리가 발생하지만 water tree는 수전극의 끝부분에서 뿐만 아니라 전극의 전부분에서 트리가 발생하기도 하고, 수전극의 끝부분에 트리가 발생하지 않고 수전극의 측면에서 트리가 발생한다.

Water tree가 발생하기 전 XLPE의 형태변화를 관찰할 수 있는데 이것은 수전극의 물과 고전계의 작용으로 생성되는 것으로 추측된다. 이런 작용으로 수분이 증발하며 XLPE의 조직에 물방울 모양들이 운상(雲狀)으로 배열되는 조직변화를 water tree가 발생하기 전에 관찰할 수 있다. XLPE조직변화는 수전극 전부분에서 발생할 수도 있고 일부분에서 발생하기도 한다. 따라서 Water tree는 조직변화가 있는 연후에 발생한다.

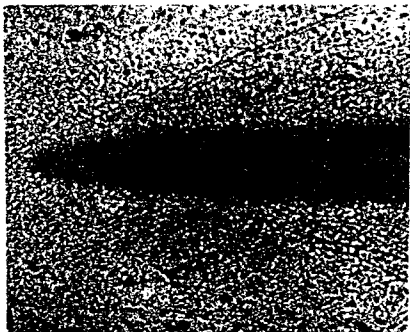


그림 4 XLPE조직의 변화

Fig. 4 The change of XLPE morphology

water tree가 수전극의 끝부분에서 뿐만 아니라 측면에서도 발생하는 이유는 물과 전계의 작용으로 인한 조직의 변화와 더불어 변화된 조직내부의 물이 또다른 준전극 역할을 하는 것으로 생각된다. 물이 포함되어 있는 침전극에 고전계가 인가되므로 동선이 고전계와 반응해 수전극 내부에 침전물이 쌓이게 되는데 이런 침전물이 있는 곳에서는 트리가 더욱 빨리 진전한다. 전기트리의 경우에는 트리의 뿌리가 전극과 떨어져 공중에 떠 있는 것은 나타나지 않

지만 아주 잘 발달한 water tree는 트리의 뿌리가 공중에 떠 있는 것이 관찰된다.

조직변화 후 발생한 water tree는 계속 성장을 해 전기트리로 진전하고 결국에는 절연파괴에 도달하게 된다.

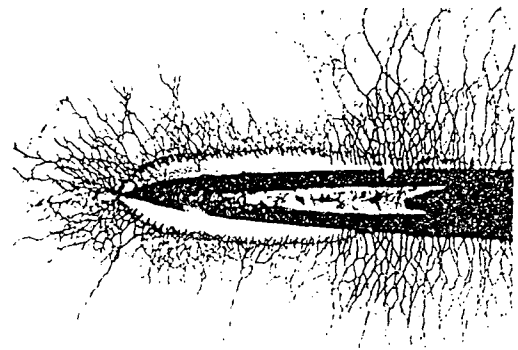


그림 5 Water tree

Fig. 5 Water tree

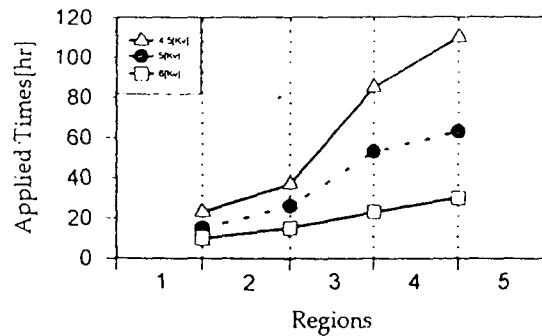


그림 6 Water tree의 성장 특성

Fig. 6 Growth characteristics of water tree

그림 6은 시간에 따른 water tree의 진전특성을 나타낸 것이다. 영역 1은 가해진 전압에 대해 어떠한 변화도 관찰되지 않는 영역이다. 영역 2는 XLPE의 조직에 물방울 모양들이 운상(雲狀)으로 배열되며 조직변화를 일으키는 영역이며, 영역 3에서는 지속적인 XLPE의 조직변화와 함께 water tree가 발생해서 XLPE의 조직변화가 이루어지는 쪽으로 water tree가

성장해 나가는 영역이다. 영역 4는 water tree가 전기트리로 진전해 계속 성장하게 되고, 절연파괴에 발생하는 영역 5에 이르게 된다.

이처럼 water tree는 그 자체만으로 절연파괴에 이르지 않고 XLPE 조직변화를 계속 거쳐 water tree가 충분히 성장한 다음 전기트리로 이어져 절연파괴를 초래한다. 그러나 water tree가 어떤 모양으로 어느정도 성장을 해야 전기트리가 발생하는가 하는 것은 계속 연구중이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 XLPE를 패럿상으로 제작해 트리의 관찰을 용이하게 함으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 침전극과 Tip type void에서는 전계가 집중되는 전극의 끝부분에서 전기트리가 발생한다.
- (2) 수전극에서는 전계집중에 의한 물리적 현상과 물, 고전계와 침전극의 반응에 의한 화학적 현상이 동반되어 트리가 발생한다.
- (3) Water tree 발생전에 XLPE조직의 형태변화가 발생한다.
- (4) Water tree는 수전극의 끝부분뿐만 아니라 수전극의 측면에서도 발생한다.
- (5) Water tree가 전기트리로 진전하면 절연파괴에 이른다.

#### 참고문헌

1. Fan Zong-Huai, Noboru Yoshimura, "Silver Tree", IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation. Vol. 3 No. 1, pp.131-135, February 1996.
2. H. M. Li, R. A. Fouracre, B. H. Crichton, "Transient Current Measurement for the Detection of Water Tree Groth in Polymeric Power Cable", IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation. Vol. 2 No. 5, pp. 707-714, October 1995.
3. G. Yianakopoulos, J. Vanderschueren, J. Niezette, A. Thielen, "INfluence of Physical Aging Processes on Electrical 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 Transactions on Dielectric and Electrical Insulation. Vol. 3 No. 4, pp. 515-522, August 1996.
5. Christian Robertson, Michael R. Wertheimer, "Study on the Morphology of XLPE Power Cable by Means of Automatic Force Microscopy", IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation. Vol. 3 No. 2, pp. 283-288, April 1996.
6. 李福熙 譯, "高電壓大電流工學", 청문각, pp. 80-95, 1996
7. 전춘생, "방전·고전압공학", 동명사, pp. 247-314, 1995