

XLPE의 전기트리 열화에 따른 전기적특성의 변화

강 동식*, 류 희석*, 선 종호*, 최 선도*, 이 호진**
*한국전기연구소, ** (주)태광

Change of electrical properties of XLPE with electrical-tree degradation

D. S. kang, H. S. Ryoo, J. H. Sun, S. D. Choi, H. J. Lee

*KERI, **Tae-kwang Co.

Abstract

In this study, we describe the change of electrical properties of XLPE with electrical-tree degradation. XLPE insulation was used as specimen which was cut off from 22.9kV XLPE insulated cable and made in a type of block. The applying voltages are 8kV, 10kV, 12kV and frequency is 60Hz Ogra needles having tip radius of 10 μ m were inserted in blocks. PD quantity and $\tan \delta$ and DC current were measured from inception of tree to breakdown and their characteristics were analyzed

1. 서 론

XLPE는 1960년대에 개발된 이래 과거 수십년동안 플라식틱 절연케이블의 주절연체로 사용되어 왔다. XLPE케이블은 제조공정중 재료관리서부터 이물이 관리되고, 제조중에서도 이물 및 보이드가 발생하지 않도록 관리된다. 그러나 제조공정의 주의에도 불구하고 케이블의 절연체 내에는 규정치이하의 이물 및 제조불량으로 큰 이물 및 보이드가 존재할 수 있다. 이러한 보이드 및 이물에 큰 전계강도 가해지면 XLPE 절연체 내에는 전기트리가 발생하게 되며, 최종적으로 전극간 절연파괴를 일으키게 된다.

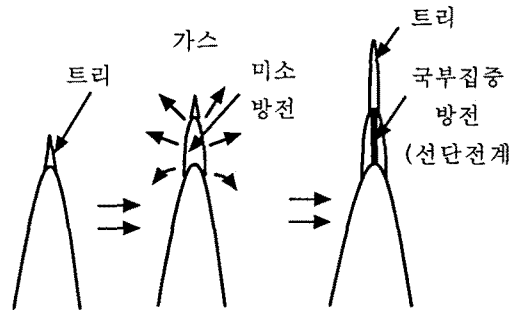
전기트리의 검출을 위해서 부분방전측정, 유전정접법 등 여러 가지의 측정법에 의한 진단장치가 개발되어 사용되고 있지만 현재까지 사용되고 있는 진단장치는 대부분이 한가지 진단법에 의하여 측정을 행하고 판정을 하는 방법을 사용하여 왔다. 전기트리는 인가전계의 크기에 따라 부시형트리, 가지형트리 등 여러 가지 형태로 분류되며 진전속도도 다른 것으로 알려져 있다. 이러한 트리종류에 따라서 트리성장에 따른 전기적특성의 변화는 다른

것으로 알려져 있다. 그러므로 여러 가지 진단법을 사용하여 트리에 대한 특성치 변화경향을 분석하여 최적의 진단법을 찾아내는 것은 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 실제 22.9kV 케이블에서 사용되고 있는 XLPE를 일정형태로 만든 다음 침전극을 삽입하여 전압의 크기를 변화시켜 여러 가지 형태의 전기트리들을 제작하였으며, 트리가 성장하여 절연이 파괴될 때까지 부분방전 크기 및 유전정접크기, 누설전류 및 성극지수의 변화특성을 관찰하였다.

2. 전기트리특성

트리는 고체절연체중에서 발생하는 수지상의 절연파괴부분을 말한다. 트리는 주로 두꺼운 고체절연물에서 보여지며, 국부 고전계에 의해서 절연층에 형성되는 두께 수 μ m정도의 미세한 채널이다. 트리진전모델을 그림 1과 같이 생각할 수 있다.



<그림 1> 트리진전모델

그림에서 트리가 발생하면 부분방전이 일어나고 트리 채널 내부를 침식시킨다. 이 때 방전에 의한 분해가스압력에 의해서 방전이 정지하는 경우도 있지만 가스확산에 의해서 다시 방전이 일어난다. 트리 채널이 어느 정도 두꺼

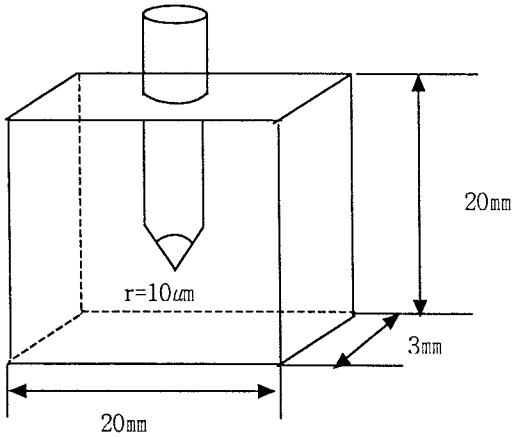
위지면 국부집중방전이 일어나면서 트리가 진전한다. 이와 같이 방전은 진전하지만 트리채널내의 기압의 상태나 채널내벽의 방진부산물 등에 의해서 방전이 억제되어 트리의 진전이 정지하는 경우도 있다.

일반적으로 전기트리에 관련된 실험법으로서 CIGRE에 의해 제안된 방법에 의하면 침전극을 이용하여 트리를 발생시키도록 되어 있으며, 트리의 발생기준은 부분방전의 발생을 기준으로 하고 있다.

3. 실험

3-1. 시료제작

진단파라메타 도출을 위한 실험은 실제의 전력케이블을 사용하는 것이 가장 바람직하지만 단시간 내에 많은 실험을 수행할 수가 없고, 거기에 따른 진단파라메타도출이 불가능하여 다음과 같이 전기트리 시료를 제작 실험을 수행하였다. 전기트리의 시료는 실제 사용되는 22.9kV급 XLPE 케이블의 절연체를 그림 2와 같은 형태로 잘라내어 사용하였으며, 침전극으로서는 전기트리시험용으로 많이 사용되고 있는 오그라사 바늘을 사용하였다. 바늘의 곡률반경은 10 μ m, 침각도는 30도, 침 끝에서 대향전극까지의 길이는 3mm이다.



<그림 2> 전기트리용 바늘의 구조

3-2. 실험방법

3-2-1. 부분방전시험

부분방전은 최대부분방전량을 부분방전측정기로 측정하였으며, 인가전압은 8kV, 10kV, 12kV로 하였다. 부분방전 측정전압은 인가전압으로 하였으며, 트리가 개시하여 절연이 파괴될 때까지 부분방전량의 변화를 측정하였다. 또한 트리의 진전형태를 분석하기 위한 관측시스템을 구성하였으며, 전압인가시 시료주위의 연면방전을 억제하기 위하여 실리콘유 속에서 실험을 실시하였다.

3-2-2. 유전정접측정 ($\tan \delta$) 시험

유전정접은 브릿지회로를 사용한 유전정접측정기로서

측정하였으며, 인가전압은 8kV, 10kV, 12kV로 하였다. 유전정접측정전압은 인가전압으로 하였으며, 트리가 개시하여 절연이 파괴될 때까지 유전정접의 변화를 측정하였다.

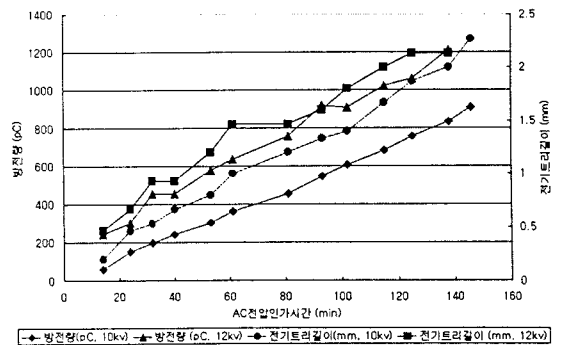
3-2-3. 직류전류측정시험

먼저 트리의 성장을 위하여 교류 8kV, 10kV, 12kV의 전압을 각각 인가하였으며, 트리가 일정한 크기로 성장하였을 때 교류전원을 제거하고 직류 5kV의 전압을 인가하여 직류전압발생기와 RS232C로 연결된 컴퓨터로서 1분치에 해당하는 직류누설전류와 10분치누설전류에 대한 1분치 누설전류치의 비인 성극지수(PI)를 측정한 후 다시 교류전압을 인가하였다.

4. 실험결과

4-1. 부분방전실험결과

부분방전실험에서는 인가전압 8, 10, 12kV에서의 전기트리성장길이나 부분방전변화량의 관계를 고찰하였으며 그림 3은 인가전압 10kV와 12kV에서의 트리길이와 부분방전량과의 관계를 보여주고 있다. 여기에서 나타난 결과는 트리가 성장함에 따라 부분방전량도 유사한 증가경향을 보이고 있다. 전압이 제일 작은 8kV에서의 결과는 여기에 나타나지 않았지만, 트리가 성장함에도 부분방전량은 일정한 증가경향을 보이지 않고, 트리가 점지전극에 도달하여도 절연파괴가 일어나지 않았다. 이러한 것은 인가전압이 높아서 충분히 에너지가 크면 트리길이에 해당하는 방전이 일어나서 부분방전량과 트리길이가 비례하는 반면 인가전압이 낮아서 에너지가 작으면 트리길이에 해당되는 부분방전이 계속 일어나지 못하고 간헐적으로 일어나며 트리채널중 부분적으로 작은 방전이 일어나기 때문인 것으로 생각된다. 또한 트리가 대향전극에 도달하여도 절연이 파괴되지 않는 것은 방전에너지가 적어서 본 시험용변압기의 차단부를 동작시키지 못하기 때문인 것으로 생각된다. 한편 최종 부분방전량 측정 후 절연파괴는 8kV에서 93분 후, 10kV에서 30초 후, 12kV에서 7분 후에 발생하였다.

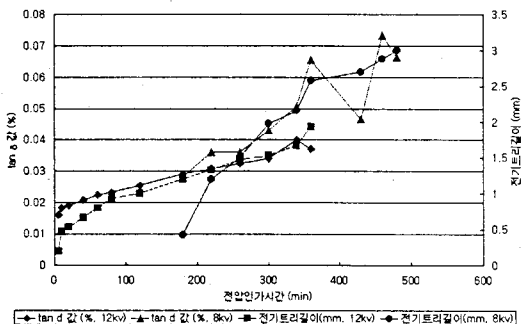


<그림 3> 트리성장길이나 부분방전량과의 관계

이상과 같은 트리시험결과에서 방전에너지가 충분히 크면 부분방전량 측정에 의하여 전기트리길이에 의한 절연파괴위험정도를 알 수 있으나 방전에너지가 작으면 부분방전량에 의한 전기트리성장경향을 알 수 없음을 알 수 있다.

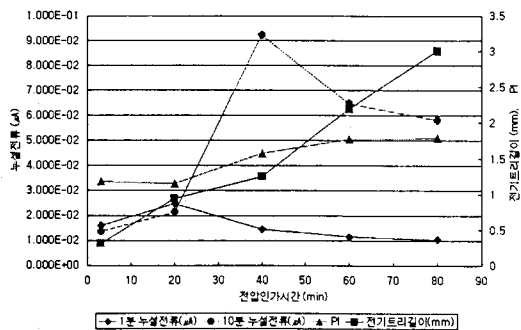
4-2. 유전정접 (tan δ) 실험결과

부분방전실험에서는 인가전압 8, 10, 12kV에서의 전기트리성장길이와 유전정접 변화량의 관계를 고찰하였다. 그림 4는 인가전압 8kV와 12kV에서의 결과를 보여주고 있으며, 유전정접값은 트리개시시점부터 측정하였다. 각 그룹에서 알 수 있듯이 트리가 처음 성장할 때는 트리길이가 증가할수록 유전정접도 증가하고 있지만 어느정도 증가하면 포화하는 경향을 보이다가 절연파괴되기 전에는 오히려 유전정접값이 진동을 하거나 줄어드는 경향을 보이고 있다. 이러한 것은 트리발생 초기에는 트리가 왕성하게 생성 혹은 진전하여 방전전류의 값이 증가하지만 어느 정도 트리가 진전하면 더 이상 트리의 진전은 보이지 않고 방전전류량이 감소하다가 절연파괴에 도달하게 된다. 이러한 이유 때문에 절연파괴직전에는 유전정접이 감소하는 것으로 생각된다.



〈그림 4〉 트리성장길이와 유전정접과의 관계

4-3. 직류전류측정시험결과



〈그림 5〉 트리성장길이와 직류전류특성

직류전류측정실험에서도 인가전압 8, 10, 12kV에서의 전기트리성장길이와 직류전류변화량과의 관계를 고찰하였으며

그림 5는 10kV에서의 트리길이와 직류전류특성 관계의 결과를 보여주고 있다. 측정항목으로는 일반적으로 절연저항을 의미하는 1분치 누설전류와 10분치 누설전류에 대한 1분치 누설전류의 비인 성극지수(PI)로 하였다.

그림 5에서 10kV의 경우 전기트리는 계속 성장하였으며, 1분치 누설전류는 증가한 반면, 10분치누설전류는 증가하다가 인가전압 40분경에서 감소하였고 PI는 전기트리가 증가할수록 증가경향을 보였다. 실제 직류전류시험이 전기트리에 의한 열화에 민감한 특성을 보인다면 트리의 길이가 증가할수록 누설전류크기는 증가해야하고, PI는 감소경향을 보여야 하지만 실제 10kV의 실험결과에서는 그러한 경향을 보이지 않고 있다. 또한 8kV와 12kV에서는 전기트리 길이가 증가하여도 10분치누설전류치가 본 계측기의 측정한계인 10pA이하의 특성을 보여서 10분치 누설전류는 측정할 수 없었으며, 1분치 누설전류도 증가경향을 보이지 않고 진동을 하는 경향을 보이고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 XLPE의 진단 파라메타도출을 위하여 침전극을 삽입한 모델시료를 제작하고 특성실험으로서 부분방전측정시험, 유전정접측정시험, 직류누설전류측정시험을 실시한 후, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부분방전 실험에서 인가전압 10kV와 12kV에서는 부분방전량이 전기트리길이에 비례하지만 8kV에서는 비례하지 않는 경향을 보여주었다.
2. 유전정접 실험에서 유전정접 값은 전반적으로 전기트리의 길이에 비례하여 증가하는 경향을 보였지만 절연파괴 직전에는 감소하는 경향을 보였다.
3. 직류전류 측정에서는 전기트리의 길이는 직류전류특성에 대하여 일정한 경향을 보이지 않았다.

참고문헌

- [1] A. Garton et. al., "Ionic Impurities in Crosslinked Polyethylene Cable Insulation", IEEE EI Vol 25, No. 2 pp 427-434 1990. 4
- [2] 特別高壓回轉機・ケーブルの絶縁劣化診断技術調査委員會, "特別高壓回轉機・ケーブルの絶縁劣化診断技術", 日本電氣學會技術報告 第2部 267号, pp51-103, 1988. 3
- [3] 速水敏行, "CVケーブル", コロナ社, 1986
- [4] N. Hozumi et. al., "The Influence of Space Charge on the Growth of an Initial Electrical Tree in Polyethylene", T. IEE Japan, Vol. 111-A No.4, 1991
- [5] 이광우 외, "부시형 전기트리에 수반되는 부분방전의 특성분석", 대한전기학회춘계 학술발표연구회 논문집, pp124-128, 1999