'94 대한전기학회 하계학술대회 논문집(1994, 7, 21~ 23)

Electrolyte 가 Bow-tie 형 수트리에 미치는 영향

강태오°, 양우영, 김관성, 전찬오
대한전선(주) 기술연구소

Effect of electrolyte on Bow-tie Water tree

T.O. Kang, W.Y.Yang, K.S.Kim, C.O.Chun
R&D center, Taihan Electric wire Co., Ltd.

Abstract

In order to investigate the effect of electrolyte solutions on the activities of bow-tie water trees in XLPE insulated power cable, we have tried to observe the characteristics on water treeing (bow-tie type) using several electrolyte solutions such as CH_3COOH, $MgCl_2$, HCl and NaCl solution and tap water.

Bow-tie tree density in CH_3COOH and $MgCl_2$ solution was higher than in any other solution, and the growth of tree was stimulated in NaCl and CH_3COOH solution, and diffusion of bow-tie trees into insulation in $MgCl_2$, HCl and NaCl solutions was faster than in CH_3COOH solution and water.

Also, although the increase of applied voltage caused bow-tie tree density to be high, it didn't affect the growth of tree maximum length noticeably.

1. 서 론

플라스틱 절연 전력케이블에 있어서 절연열화의 한가지 유형인 수트리는 전계와 수분의 공존하에서 발생한다는 것과 그 유해성에 관해서는 이미 잘 알려져 있다. 경제성장에 따른 지중배전화의 증대와 전기적, 열적특성이 우수하고 유지·보수 등이 용이한 XLPE 가 절연재료로써 높은 비중을 점해가고 있는 가운데, 전력케이블 신뢰성 확보의 측면에서 수트리에 관한 관심은 고조되고 있고 또한 이를 방지하기 위한 노력이 계속되고 있다.

수트리는 대체로 vented tree 와 bow-tie tree 의 두가지 유형으로 구분된다. 반도전층 계면의 결함을 기점으로 생성되어 절연체로 진전하는 특성을 갖는 vented tree 는 케이블 성능에 매우 유해한 것으로 인식되고 있고 따라서 주 연구대상이 되어왔다. 그러나 절연체내의 보이드, 이물등의 결함에서 발생하는 bow-tie tree (이하 B/T 트리) 는 vented tree에 비해 상대적으로 유해정도가 덜한 것으로 인식되어 이에 대한 연구사례는 적었다. 한편, 폴리머내에서의 수트리 진전 메카니즘은 아직 완전히 규명되지 못한 가운데, 인가전압 및 전원주파수, 열화시간,온도, 전해질(이온), 절연재료 등은 수트리 성장에 영향을 미치는 인자인 것으로 여러 연구결과에서 확인되어왔다[1),2)]. 특히, 전해질은 대개의 MV 케이블의 구조상의 취약으로 인해 케이블 외부의 주변환경으로 부터 유입될수 있고, 또한 케이블 구성요소로 부터 생성될 수 있어서 케이블 설계와 제료 선택에 있어서 고려대상이 되고 있다.

본 연구에서는 B/T 수트리의 발생 및 진전에 미치는 전해질의 영향에 촛점을 두며, 전해질로는 폴리머재료 가공시 경우에 따라 열분해로 인하여 생성될 수 있는 CH_3COOH, HCl, $MgCl_2$ 와 비교대상으로 유해성이 널리 알려진 NaCl 을 대상으로 한다. 실험에는 짧은 길이의 XLPE 케이블을 시료로 하여 전해질의 종류에 따른 B/T 수트리의 발생밀도, 최대길이, 확산거리 등의 시간변화 특성, 그리고 전계의존성을 함께 검토한다.

2. 실 험

2.1 시료 및 전극구성

본 실험에서는 실제 케이블 절연체에서의 특성을 조사하기 위해 상용의 XLPE (밀도=0.92) 를 절연체를 사용한 절연두께 7mm의 케이블을 대상으로 하였다. 실험의 용이성,경제성을 고려한 가운데 실험실 규모로 동일한 조건하에서 동시에 실험이 가능하도록 케이블의 길이는 20 Cm 로 하였다. 전극구성은 그림 1 과 같으며, 케이블 쉬스와 절연체 사이의 외부반도전층, 중성선, 부직포 tape 등을 제거해 절연체가 직접 전해질 수용액에 직접 노출되도록 함으로써 단시간에 수트리를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 전해질의 효과파악이 용이토록 하였다.

2.2 실험전압 및 전해액

B/T 수트리의 발생밀도, 최대길이, 그리고 트리확산 거리에 대한 시간변화 특성을 검토하기 위해서 60 Hz의 AC 전압을 각각 50, 170, 320, 413hr 동안 인가하였다. 이 때의 인가전압은 23kV, 30kV 두가지로 하여 전계의존성도 함께 조사하였다. 수용액으로는 1N 농도의 $MgCl_2$, CH_3COOH, HCl, NaCl 의 전해액과 수돗물을 사용하였다.

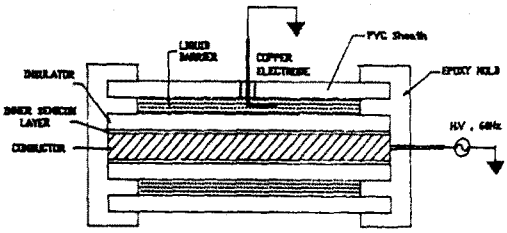

그림 1. 전극구성

2.3 트리관찰 방법

실험 종료후 케이블 가운데 부분에서 절취하여 얻은 절연체를 microtome 을 이용하여 케이블 radial 방향으로 slice cut 하였다. 이때의 시료두께는 60 ㎛ 정도였고, 관찰시료는 이들 중 두께가 균일한 것을 무작위로 6 매를 채취하여 methylene blue 로 염색하였다. B/T 수트리의 발생갯수, 최대 트리길이, 트리 확산거리등은 광학현미경을 이용하여 200배의 배율로 조사하였다. Tree count에는 X,Y축이 각기 20 column 인 mesh 형 scale 을 접안렌즈에 장착하여 사용 (× 200 경우 1 column: 25 ㎛) 함으로써 count시 중복을 방지 할수 있었다. 이때 트리 발생밀도는 각각 6매의 시료에 대한 평균값을 결과 data 로 한다. 트리 관찰시료의 개략도를 그림 2 에 나타내었다.

트리 관찰 기준

1) B/T 수트리 발생밀도 : 현미경에 장착한 mesh형 scale 내에서 관찰 가능한 모든 B/T 수트리의 갯수를 count 한후 이를 mesh의 종, 횡축 길이와 시료의 두께를 곱한 체적으로 나눔.
2) B/T 수트리최대길이:조사대상시료중 가장 긴 트리의 길이.
3) B/T 수트리확산거리 :조사대상 시료중 수용액과 접하였던 절연체 경계면으로 부터 도체방향으로 가장 깊게 발생한 트리의 발생원까지의 거리.

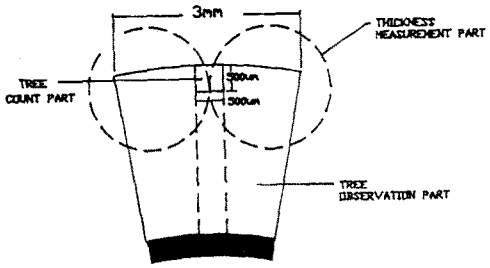

그림 2. 트리관찰시료

3. 결과 및 고찰

그림 3 은 수용액과 인접부의 절연체에서 각각의 전해질에 대한 B/T 수트리의 발생밀도를 나타낸다. 여기서 트리 count 범위를 수용액과 접한 경계면으로 부터 500 ㎛ 까지로 제한한 이유는 전압인가 시간이 짧아서 트리다발 범위가 협소했기 때문이다. 이 지역에서의 발생밀도 특성을 살펴보면, 전압인가 초기 (50 hr) 에는 $MgCl_2$ 수용액에서 가장 높고, CH_3COOH 수용액은 열화시간이 경과함에 따라 그 발생수가 점차 증가하여 413 hr 경과 후 160개/mm^3 로 가장 높은 발생밀도 특성을 보인다. 그 이외의 전해질 수용액에서 발생한 트리수는 초기와 비슷한 수준으로 포화의 경향을 보인다. 트리발생밀도는 CH_3COOH > $MgCl_2$ > HCl ≒ NaCl ≒ Water 등의 순서를 나타냈다. 위의 결과들로 부터 CH_3COOH, $MgCl_2$ 전해질은 B/T 수트리의 발생을 촉진시킴을 알 수 있다.

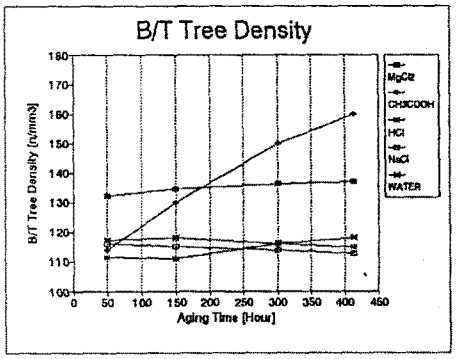

그림 3. 1N 전해질 수용액에서 시간경과에 따른 B/T 수트리 밀도의 변화특성

그림 4 는 B/T 수트리의 최대길이가 열화시간 경과에 따라 어떻게 변화하는 지 그 측정결과를 나타내고 있다. 열화 50 hr 후 수트리 최대길이는 각 전해질 수용액 마다 큰 차이는 없으며, 413 hr 이 지나자 그 크기는 NaCl > CH_3COOH > $MgCl_2$ > HCl ≒Water 의 순서를 나타냈다. 특히, NaCl 수용액에서 트리성장 속도가 가장 빨랐으며, 열화 413 hr 경과후 트리최대길이는 150 ㎛ 였다. 위의 그래프로부터 NaCl, CH_3COOH, $MgCl_2$

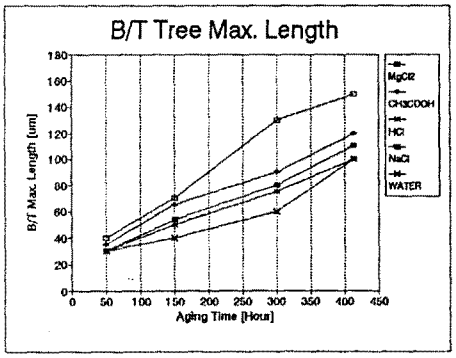

그림 4. 1N 전해질 수용액에서 시간경과에 따른 B/T 수트리 최대길이의 변화특성

등의 전해질은 수돗물에 비해 수트리의 성장을 촉진시키는 것을 알수 있다.

전해질 수용액에 있어서 B/T 수트리의 절연체내로의 확산거리를 그림 5 에 나타내고 있다. B/T 수트리 초기 확산거리는 수용액별로 큰 차이를 보이지 않으나, 413 hr 후 $MgCl_2$, NaCl, HCl 전해질 수용액에서의 확산거리는 약 3.5㎜ 로 CH_3COOH, Water 의 3㎜ 보다 약간 길었다. 수트리 침투길이가 길다는 것은 전해질 수용액이 그 만큼 빠르개 절연체내로 확산됨을 의미한다.

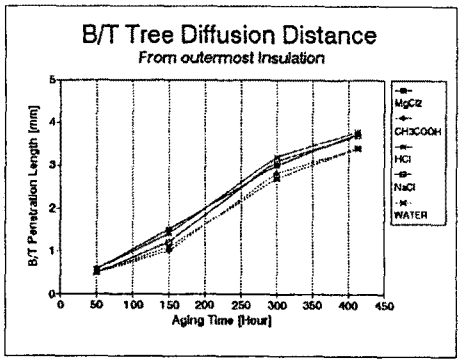

그림 5. 1N 전해질 수용액에서 시간경과에 따른 B/T 확산거리의 변화특성

그림 6 와 그림 7 은 B/T 수트리의 발생밀도와 트리최대길이가 전계의 영향에 따라 어떻개 변화하는 지를 나타내고 있는 그래프로 413 hr 동안 열화된 시료의 경우, 절연체에 걸리는 전압이 높은 쪽에서 트리발생밀도는 증가하고 있으며, 트리최대길이는 그다지 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이러한 결과는 전계의 세기가 미소트리의 수를 증가시키기는 하지만 수트리의 진전에는 별 영향을 미치지 않는다는 보고 [3),4)] 와 같은 경향을 보이고 있다.

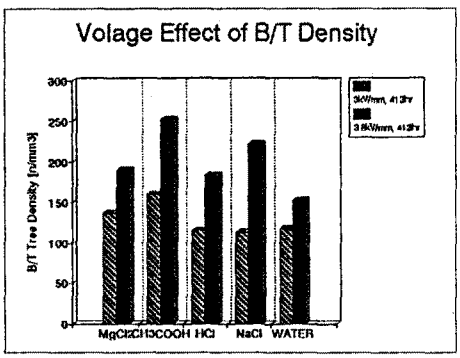

그림 6. B/T 수트리 발생밀도의 전압의존성

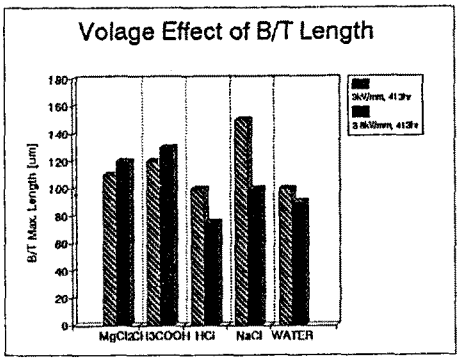

그림 7. B/T 수트리 최대길이의 전압의존성

5. 결 론

본 연구에서 1N 수용액으로 전해질이 water treeing (bow-tie type) 에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1) 전해질은 가속인자로 작용함을 확인하였다.
   - 수돗물에 비해 CH_3COOH, $MgCl_2$ 수용액은 트리발생을, NaCl, CH_3COOH, $MgCl_2$ 수용액은 트리성장을 촉진시켰다.
   - 트리는 $MgCl_2$, NaCl, HCl 수용액에서 비교적 빠르게 확산되었다.
2) 전계의 효과는 트리발생과 관계가 있으나, 트리성장에는 크게 기여하지 못하는 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1) M.T. Shaw, S.H. Shaw, " Water Treeing in Solid Dielectrics ", IEEE Trans., Vol.EI-19 No.5, 1984

2] E.F. Steennis, F.H. Kreuger, " Water Treeing in Polyethylene Cables", IEEE Trans., Vol.EI-25 No.5, 1990

3] 山田他 : 絶緣材料研究會 (日), EIM-78-21, 1978

4] 花井他 : 絶緣材料研究會 (日), EIM-75-45