

공간전하 및 전도전류가 수트리 억제에 미치는 영향

권 윤혁, 황보 승, 신 두성, 김 속철, 한 민구
서울대학교 전기공학부 전기재료 및 소자 실험실

Effect of Space Charge and Conduction Current on Water Tree Retardation

Y. H. Kwon, S. Hwangbo, D. S. Shin, S. C. Kim, M. K. Han
Electrical Material and Device Laboratory in Seoul National University

Abstract - 절연재료로서 널리 쓰이는 XLPE (Crosslinked Polyethylene)의 경우, 내부에 발생하는 수트리에 의해 절연체로서의 성능 및 내구성이 많은 영향을 받게 된다. 이에 대한 연구가 진행되어 왔지만 수트리 발생과 진행에 관한 메커니즘은 아직까지 정확하게 알려지지 않은 상태이다. 이 논문에서는 몇 가지의 수트리 억제 컴파운드를 선정하여 시간과 온도에 따른 수트리 발생을 관찰하고, 컴파운드 내의 공간전하 및 전도전류가 수트리 억제에 미치는 영향을 조사하였다. 수트리가속을 위하여 주파수가속열화 방법을 사용하고 온도와 시간에 따른 발생 및 진전을 관찰하였다. 실험에서는 압축성형된 평판형 시편을 사용하였으며 상부전극으로는 $AgNO_3$ 수용액을, 하부전극으로는 금속전극을 사용하였다. 그리고 컴파운드 내부의 공간전하 분포 및 전도전류 측정을 하기위해 PEA(Pulsed Electro Acoustic) 방법을 이용하였다.

도 불구하고 장기간 운전 및 뇌썩어지나 개폐썩어지와 같은 과도전압의 인가에 따라 절연층에서의 절연파괴가 발생되며 절연파괴에 이르기 전단계에서 나무가지가 성장하는 모양의 열화현상이 발생하는 트리(tree) 현상에 의하여 케이블 절연체에 치명적인 사고가 발생하게 된다. 전력케이블의 절연에 치명적 영향을 미치는 트리현상은 크게 두가지로 분류되는데 단순히 전기적 스트레스에 의하여 발생하는 것을 전기적 트리라고 하며 수분과 전기의 상호작용에 의한 것을 수트리(water tree)라고 한다. 전기적 트리의 경우는 비교적 오랫동안 연구가 되어 발생 원인과 성장 원인 등에도 상당한 연구가 진행되고 있고 효과적 억제방법 등도 많은 진전을 보이고 있다. 그러나 수트리의 경우 그 발생과 진행에 관한 메커니즘은 아직까지 정확하게 알려지지 않다.

1. 서 론

지중전력케이블은 사용하는 절연체에 따라 유침케이블과 압출절연케이블로 분류가 되며 압출절연케이블의 경우 에틸렌프로필렌 고무(EPR)유와 폴리에틸렌(PE)유로 분류가 되고 있으나 EPR 종류는 유전손이 크고 절연파괴 강도가 낮아 최근에는 PE계통의 XLPE를 사용하고 있다.

XLPE는 1953년 미국의 GE사에서 전력용케이블의 절연체로 채택한 후 전기적 및 기계적 특성이 뛰어나 지중케이블에서 가장 널리 쓰이고 있으며 일본의 경우 1959년부터 6kV급에 사용된 이래 85% 이상이 XLPE를 사용하고 있다. 우리나라의 경우 1973년 22kV급 비접지계통에 도입된 이래 1980년대 말에는 지중화된 배전선로의 76%를 점하고 있다. 따라서 우리나라는 물론 선진국에서도 배전선로에의 XLPE의 사용은 계속 증대될 전망이다.

그러나 XLPE의 탁월한 전기적, 기계적 특성과 유지보수의 용이성 및 경제성등 여러 가지 장점에

이 논문에서는 몇 가지의 수트리 억제 컴파운드를 선정하여 수트리의 발생 및 성장을 관찰하고 절연체의 성능과 관련하여 내부의 공간전하 및 전도전류의 분석을 행하였으며, 마지막으로 이 두가지의 인자와 수트리 발생 및 진전과의 관계를 분석하였다.

2. 본 론

수트리열화를 위하여 각종 인자들을 조사한 결과 주파수 가속 효과가 가장 적합한 열화방법으로 설정되었으며 그 외의 주요 열화인자로서 전압인자 시간과 온도를 변화시키며 수트리 발생과 성장을 관찰하였다. 그리고, 각 시료내부의 공간전하와 전도전류를 개선된 PEA 방법을 사용하여 측정하여 수트리 진전과의 관계를 분석하였다.

2.1 가속 수트리열화시험

수트리 억제 컴파운드로서 TR-A와 TR-B를 선정하고 일반 XLPE 컴파운드와 함께 가속 수트리지험을 행하였다.

2.1.1 열화시험방법

실험에 사용된 열화셀의 구성은 상부수전극(0.1몰 AgNO₃ 수용액), 하부금속전극 그리고 침형상의 홈이 있는 압축성형된 XLPE로 이루어져있으며 그 구조가 그림 2-1에 개략적으로 나와있다.

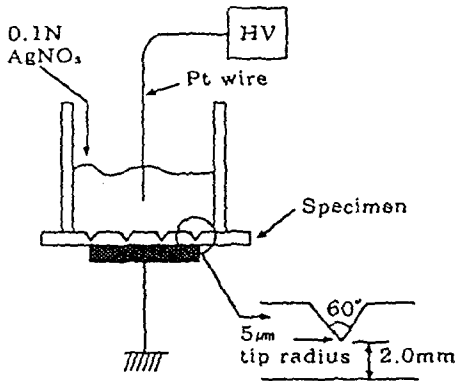


그림 2-1. 열화셀의 구성

수트리가속을 위하여 1kHz, 11kV의 전압을 인가 하였으며 각각 100, 150, 200시간, 그리고 상온 및 70°C에서 수트리성장을 관찰하였다.

2.1.2 수트리발생 및 성장

가속열화된 수트리의 경우 Ag 이온이 착색되어 그 형상을 관찰할 수가 있었다. 좀 더 정확한 관찰을 하기 위해서 열화된 시편을 메틸렌블루 용액으로 염색을 하여 현미경 관찰을 하였다. 관찰된 수트리의 경우 수트리 억제형 컴파운드에서보다 일반 XLPE의 수트리 진전속도 및 발생정도가 높았으며 그 크기에서도 많은 차이를 보였다. 그림 2-2에 온도 및 시간에 따른 각 컴파운드내의 수트리 크기 및 진전속도를 나타내었다.

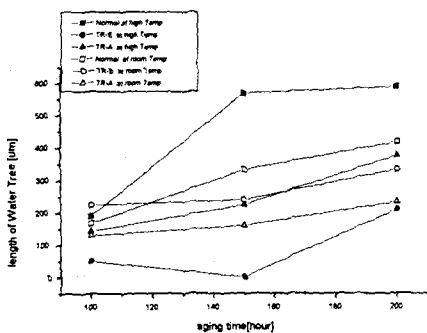
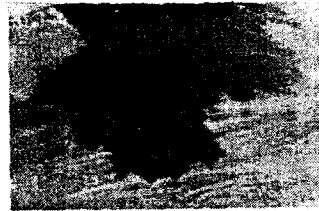


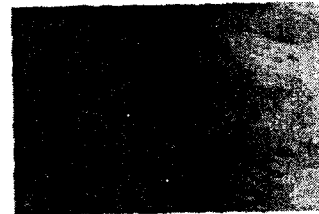
그림 2-2. 열화시간 및 온도에 따른 수트리길이



일반XLPE
(길이: 400 μ m)



TR-A
(길이: 200 μ m)



TR-B
(길이: 150 μ m)

그림 2-3. 수트리 사진측정 예 (150시간, 20°C)

2.2 공간전하 및 전도전류 측정

2.2.1 실험방법

공간전하 및 전도전류는 PEA 방법을 이용하여 측정하였으며, 측정용 셀은 직류전압 하에서 시료의 전기전도 특성과 내부공간전하의 형성을 동시에 측정할 수 있도록 직접 제작한 것을 사용하여 실험을 실시하였다. 그림 2-4는 측정장치의 구성도를 나타낸 것으로 내부공간전하의 측정원리는 PEA 방법, 즉 전기적 입력펄스에 의한 전하의 동요와 시간지연을 동반한 압력파를 하부전극 하단의 압전소자를 사용하여 전기적 신호로 변환한 다음 유전체 내부공간전하량을 측정하는 방법이다. 그리고, 이러한 공간전하 측정용 하부전극에 가드전극을 도입함으로써 전도전류와 동시측정이 가능하도록 하였다. 하부전극의 직경은 3cm로 하였으며, 가드전극과 하부전극의 gap은 2mm로 하였다. 그리고 잡음의 혼입을 방지하기 위하여 측정용 셀을 차폐시켰으며, 공간전하 신호는 오실로스코프를 사용하여 평균화 처리 및 필터링을 실시하였다. 또한 시간변화에 따른 전도전류의 변화 추이를 관찰하기 위하여 측정장치를 GPIB를 사용하여 컴퓨터와 인터페이스 하였고 특히 측정된 공간전하의 분포는 잔존공간전하의 영향을 배제하기 위한 deconvolution 작업으로 신호처리를 하였다.

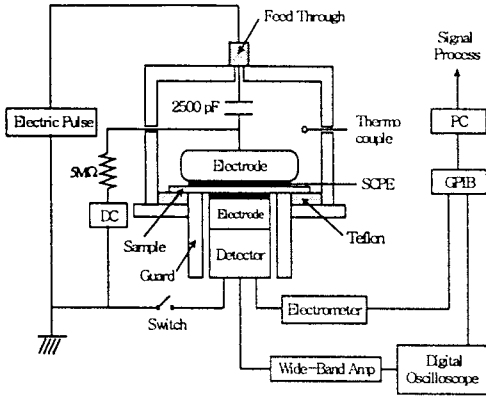


그림 2-4. 공간전하 및 전도도 측정장치

2.2.2 공간전하 및 전도도 측정결과

그림 2-5~7에 각 시료에 대한 공간전하 분포가, 그리고 그림 2-8에 전도도 측정결과를 나타내었다.

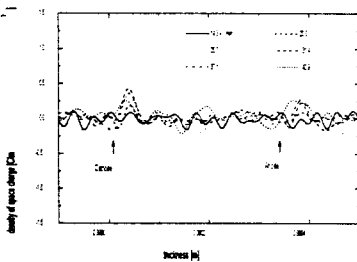


그림 2-5. TR-A 내부의 공간전하분포

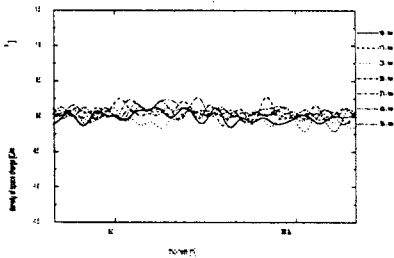


그림 2-6. TR-B 내부의 공간전하분포

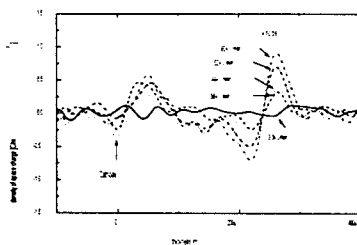


그림 2-7. 일반XLPE 내부의 공간전하분포

그래프에서 알 수 있듯이 일반 XLPE에서의 공간전하 축적이 TR XLPE에서보다도 더 많은 것을 쉽게 알 수 있다. 이것은 내부전하분포의 형성 기구와 수트리 억제와 깊은 연관이 있음을 나타내며, 또한 전도도 그래프에서 보는 바와 같이 전기전도도의 차이와 상관없이 공간전하가 형성되지 않았다는 것은 공간전하의 형성과 전기전도도 사이에는 큰 연관이 없다는 것을 의미한다. 따라서 공간전하 형성과 수트리 진전기구는 전체적인 도전특성보다는 국부적인 전계 및 에너지 준위 등에 크게 의존하는 것으로 추정된다.

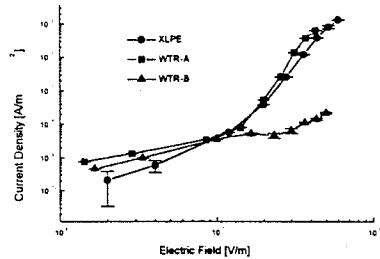


그림 2-8. 전계에 따른 전기전도도

3. 결 론

앞에서 설명한 바와 같이 수트리가속열화시험의 결과, 실제 사용되는 일반 XLPE에 비하여 수트리 억제형 컴파운드에서의 수트리 발생정도가 낮으며 그 진전속도도 느림을 알 수가 있었다. 그리고, 이러한 수트리 진전의 억제가 내부공간전하 축적에 따른 국부적 전계효과와 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 이 이외에도 수트리 진전기구로 설명될 수 있는 다른 효과들이 있다는 것은 잘 알려진 바이다. 다시 말하면, 수트리 진전이 한두 가지의 열화메커니즘이 아닌 여러 다른 열화인자들간의 복합적 작용이며, 어느 한 가지의 결정적 요인에 의해 수트리가 진전된다고 말할 수는 없다. 그러나 실험 결과에서 주지한 바와 같이 내부 공간전하의 분포, 그리고 이로 인한 국부적 전계의 변화에 의한 수트리억제는 케이블 재료로서의 절연재료 개발 및 케이블 예방진단의 방향을 결정할 수 있는 자료가 됨을 확인할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. J. O'Dwyer, "The theory of electrical conduction and breakdown in solid dielectrics", Oxford University Press, Oxford, 1973
- [2] E. J. McMahon, "A Tree Growth Inhibiting Insulation for Power Cable", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. 24, pp. 83-89, 1989