

6.6kV XLPE Cable의 잔류 전압 특성

이창훈, 오재형, 오광영, 박대희
원광대학교 전기전자공학부

The residual voltage properties of 6.6kV XLPE Cable

Chang-Hoon Lee, Jae-Hyung Oh, Guangning Wu, Dae-Hee Park
School of Electrical and Electronic Engineering, Wonkwang University

Abstract - In this paper, the study of influence of DC voltage and AC voltage on residual voltage of XLPE Cable was presented. In the former case, when the DC voltage of -10.0[kV] was applied to XLPE Cable for 0, 600, 1200, 1800[sec], time constants were 2139, 1416, 939, 488[sec] and resistivities were 930, 615.65, 408.26, 212.17[Ω·m] respectively. In the latter case, when the AC voltage of 4 and 6[kV] was applied to the same Cable for 600[sec] after applying DC voltage of -5.0[kV] for 600[sec], time constants were 215, 275[sec] and resistivities were 93.48, 119.57[Ω·m] respectively. In this experiments, measurement voltage, charging time and measurement time were -8.0[kV], 30[sec], 600[sec] respectively.

1. 서 론

최근 전력수요의 증가와 함께 정보화 시대에는 전력 기기의 높은 신뢰성을 요구하고 있고, 전력을 전송하는 케이블에 있어서도 장기 신뢰성의 향상에 대한 기대가 높아지고 있다. 케이블에 있어서도 신뢰성이 높은 XLPE 케이블이 사용되고 있고, 송·배전선로의 지중화와 함께 비약적으로 확대되고 있다. 그러나 전력케이블은 장시간동안 사용됨에 따라 절연체 등의 결합 등에 의해서 조금씩 열화되어진다. 이와 같이 장시간동안 사용된 전력케이블의 절연성능을 파악하고 수명을 예측하며 적절한 보수를 통하여 설비의 신뢰성을 향상시키는 것은 무엇보다 중요하다.

케이블 절연성능의 저하요인은 절연체중의 내적 결합과 외적인 영향으로 구분할 수 있다. 그리고 열화 형태는 절연체중의 보이드나 이물 혹은 내외도 반도전층과 절연체 사이의 계면에 존재하는 돌기에 고전계가 집중되어 전기 트리가 진전되어 단시간 내에 절연 파괴를 일으킨다. 또한 케이블은 장시간 사용되면서 외적인 열화 요인에 의해 열화되어진다.

XLPE 케이블의 열화 진전은 케이블 자체가 갖는 결합의 정도, 운전 조건, 사용 환경에 의해 크게 영향을 받는다. 특히, 환경 요인의 경우에는 수분의 영향이 매우 크고, 케이블이 흡습 상태에서 사용되는 경우에는 수분과 폴리에틸렌의 물리·화학적인 작용에 의해서 수트리가 발생하고, 이러한 수트리는 6.6, 22kV급 전력케이블이 갖는 절연열화의 주요 원인으로 알려져 있으며, 내외부 반도전층의 결합부에서 절연체로 향하여 진전하

는 Vented 트리와 절연체 중의 이물질이나 보이드를 기점으로 양쪽으로 진전되는 Bow-Tie 트리로 분류되어지고 이러한 열화는 전하형성을 일으키는 것으로 보고되고 있다. 즉 이러한 트리가 발생된 케이블의 수명은 정상조건하에서 사용되어진 케이블과 비교해 볼 때 상당히 단축되고 전하형성의 양도 차이가 나타나며 잔류 전압 특성에 큰 기여를 하게 된다.

본 논문에서는 XLPE 케이블에 직류 전압의 인가 시간을 각각 다르게 하여 인가 시간별로 잔류 전압을 측정하였고, 또한 직류 전압 인가하고 나서 교류 전압을 인가했을 때의 잔류 전압을 측정하여 케이블의 절연성능이 교류 전압에 따라 어떻게 변화되어지는가를 시정수와 저항률을 통해서 비교·평가하였다.

2. 본 론

2.1 관계이론

잔류 전압법이란 케이블에 일정시간동안 직류고전압을 인가하였다가 제거한 후 케이블에 충전된 전하가 케이블의 절연재료를 통해 방전되는 것을 관찰하여 케이블의 절연 상태를 판정하는 방법으로, 측정이 간단하고 짧은 시간으로 열화판정이 가능하며 또한 측정량이 전압이므로 외부 잡음신호나 유도 장애를 비교적 적게 받는다는 장점이 있다. 그림 1은 단심케이블의 단면이고, 그림 2는 단심케이블의 등가회로이다. 케이블은 저항 성분 R과 콘덴서 성분 C의 직·병렬 회로로 등가화 할 수 있으며 더욱 간단하게 R과 C의 병렬회로로 볼 수 있다. 만약 케이블의 열화가 심해지면 그림 2에서 저항 R'가 병렬로 연결되는 효과가 나타난다. 그리고 C에 충전된 전하는 R과 R'를 통해 방전하게 된다.

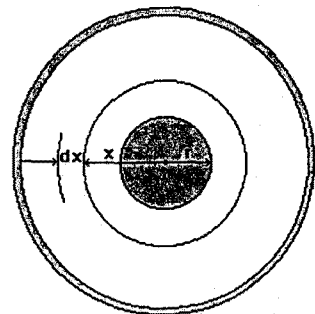


Fig 1. 단심 케이블의 단면도

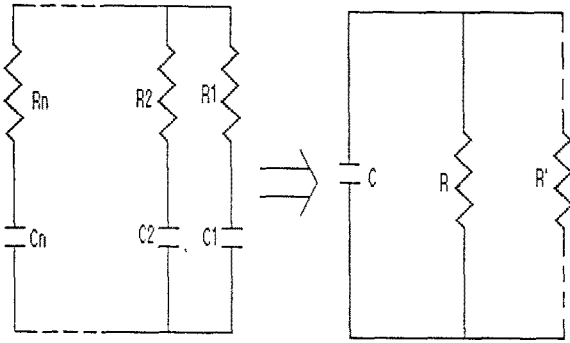


Fig 2. 케이블의 등가 회로

케이블에 인가된 충전전압을 V_0 라고 하면 시간에 따른 전압 V 의 변화식은 다음과 같다.

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

시정수 τ 가 클수록 전압감소는 완만하고 절연이 양호하다고 할 수 있다. 그림 (1)과 같은 단심케이블의 경우 도체 표면에 단위 길이당 전하 Q 가 충전되었을 때, 중심으로부터 x 지점의 전기장 E 는

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon x} \text{ [V/m]} \quad (2)$$

따라서 도체의 외부 차폐층 사이의 전위차 V 는

$$V = \int_r^D E dx = \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln(D/r) \quad (3)$$

그리고, 케이블의 단위 길이당 정전 용량 C 는

$$C = Q/V = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(D/r)} \text{ [F/m]} \quad (4)$$

또한 절연체의 저항률을 ρ 라 하면, 단위 길이당 저항 R 은

$$R = \int_r^D \frac{\rho}{2\pi x} dx = \frac{\rho}{2\pi} \ln(D/r) \text{ [\Omega \cdot m]} \quad (5)$$

그러므로 식 (4), (5)로부터 시정수 τ 는 다음과 같다.

$$\tau = R \times C = \epsilon \cdot \rho \quad (6)$$

위 식에서 알 수 있듯이 시정수 τ 는 케이블의 크기나 길이에 무관하고, 절연물의 고유 특성인 유전상수 ϵ 과 저항률 ρ 만의 함수이다. 이 점이 케이블의 크기나 길이에 영향을 많이 받는 다른 시험법에 비해 잔류 전압법이 가지고 있는 장점이라고 할 수 있다.

2.2 실험방법

본 논문에서 사용된 케이블은 3.7mm의 절연층, 0.75mm의 내외도 반도체층을 갖고, 1년 동안 직류전압으로 열화과정을 거친 길이 20m의 6.6kV XLPE Cable(150mm)이다. 케이블의 양단은 표면누설전류의 흐름을 억제하기 위해 조립형 중단 접속재를 사용하여 단말처리하였다. 인가 전압, 인가 시간, 접지시간은 각각 DC -10.0[kV], 0, 600, 1200, 1800[sec], 600[sec]로 하여 순차적으로 시행하였고, 측정 전압을 통해 잔류 전압을 측정하였다. 또한 DC -5.0[kV]를 600[sec]동안 인가한 후 600[sec]동안 접지시키고 즉시 AC 4.6[kV]를 각각 600[sec]동안 인가한 후 동일한 측정 전압으로 잔류 전압을 측정하였다. 이때 측정

전압은 DC -8.0[kV]로 하였고, 충전 시간은 30(sec), 측정 시간은 600(sec)로 하여 60초마다 잔류 전압의 변화를 측정하였다. 또한 측정 전압이 각 시험 때마다 약간의 변화가 있었으므로 식(1)을 이용하여 잔류 전압을 시정수로 바꿔 측정 전압의 동일성을 기했다. 또한 식(1)을 이용하여 구한 시정수와 식(6)을 이용하여 각 시험에서의 저항률을 계산하였다. 또한 일반적으로 고전압 측정의 실험에 있어서 주변의 환경조건(온도, 습도 등)이 결과에 무관하지 않은 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문에 본 실험에서는 습도가 20%이하의 건조한 상태에서 실험을 행하였다.

2.3 결과 및 고찰

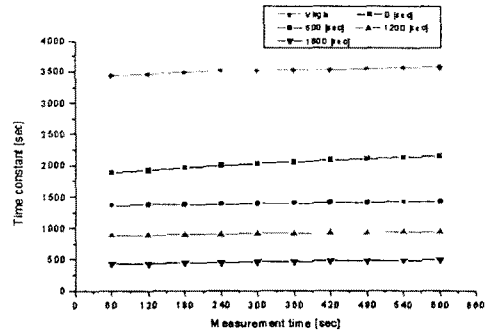


Fig 3. 인가 전압에 따른 시정수의 비교

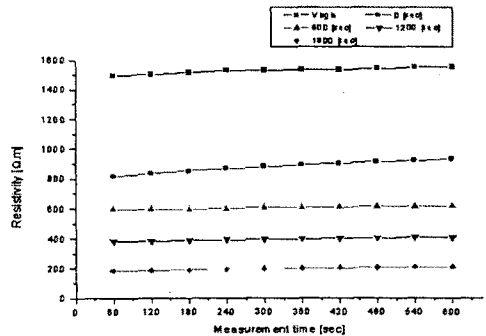


Fig 4. 인가 전압에 따른 저항률의 비교

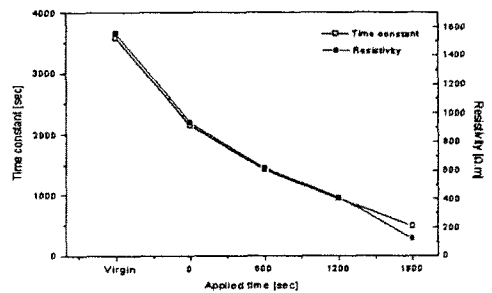


Fig 5. 600초에서 인가 전압에 따른 시정수와 저항률의 변화

그림 3.4는 직류 전압 인가 시간에 따른 시정수와 저항률의 변화를 나타낸 것이다. 또, 그림 5는 측정 시간이 600초 일 때 각 인가 전압에 따른 시정수와 저항률을 비교하여 나타낸 것이다. 위의 그림에서 보는 바와 같이 측정 시간이 길어질수록 시정수와 저항률의 값은 증가하는 경향을 보이고 있고, 인가 전압의 시간이 길어짐에 따라 시정수와 저항률의 값은 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있다.

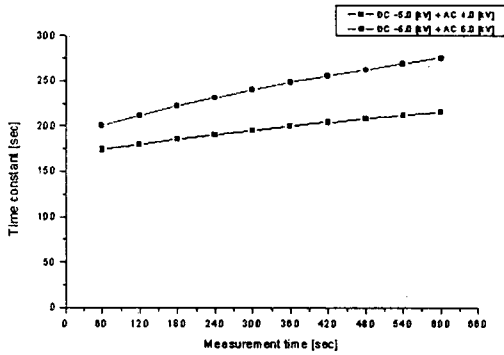


Fig 6. AC 전압 인가에 따른 시정수의 비교

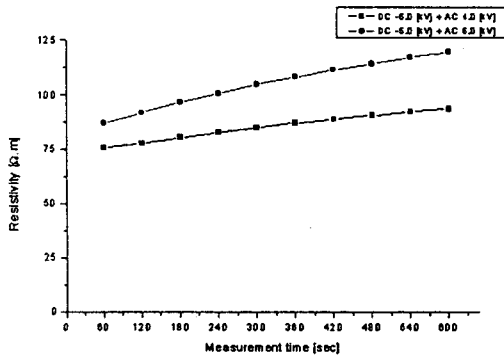


Fig 7. AC 전압 인가에 따른 저항률의 비교

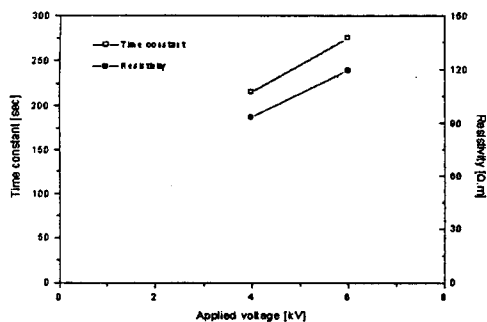


Fig 8. 600초에서 AC 전압 인가에 따른 시정수와 저항률의 변화

그림 6과 7은 직류 전압 -5.0(kV)를 10분간 인가하고 나서 AC 전압 4, 6(kV)를 각각 10분간 인가했을 때 나타난 시정수와 저항률의 변화를 나타낸 것이고, 그림 8은 측정 시간이 600초일 때 AC 전압 인가에 따른 시정수와 저항률의 변화값을 나타낸 것이다. 위의 그림에서 보는 바와 같이 측정 시간이 길어질수록 시정수와 저항률은 커지는 경향을 나타내고 있고, AC 인가 전압이 커질수록 시정수와 저항률의 값이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 본 실험에서는 AC 전압을 높여서 인가하는 중에 절연파괴가 일어났기 때문에 AC 전압의 변화에 따른 시정수와 저항률의 변화값은 더 이상 볼 수 없었다. 절연체에 고전계를 인가함에 따라 절연체가 겪는 물리적 변화는 분극이 발생하고 이온의 이동이 일어나며 전극으로부터 전하가 주입되는 현상이 발생하는데, 이런 물리적 변화에 의해 절연체 내부의 전계 분포가 변화함으로써 절연체 내부에 국부적인 강한 전계가 형성되고 이러한 강한 전계로 인해 절연체의 열화가 진전되거나 절연 파괴가 일어나는 것으로 생각된다. 이러한 열화의 진전이나 절연 파괴는 전계 인가 시간, 고전계와 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

3. 결 론

6.6 XLPE 케이블에 직류 전압을 인가한 후 인가 시간에 따라서 측정된 잔류 전압과 직류 전압 인가후 교류 전압을 인가하고 나서 잔류 전압을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 직류 전압을 인가하는 시간이 길어질수록 절연체에 강한 전계가 형성됨으로써 열화가 더 빠르게 진전됨으로 인해 잔류 전압이 더 작게 나타남을 알 수 있었다.
- (2) 직류 전압을 인가하고 교류 전압을 인가한 결과 인가하는 교류 전압의 크기에 따라 잔류 전압에 차이가 있음을 알 수 있었다.
- (3) 절연체에 강한 전계를 인가할 때 절연체에는 여러 가지 물리적인 현상으로 인해 절연체 내부에 강한 전계가 형성되고 이로 인해 케이블의 절연 파괴가 일어나는 현상을 볼 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 海老沼 康 光 他, "22kV CV 케이블의絶緣劣化測定法の檢討", T.IEE Japan, Vol.114-B, No.3, pp.305~309, 1994
- [2] 電氣協同研究會, "特別高壓CV Cableの絶緣測定", 電氣協同研究, 第36卷, 4号, 1980
- [3] 電氣學會技術報告書(II部), "絶緣劣化試驗方法(測定電壓 3.3kVおよび6.6kVの回轉機およびCableについて)", 第182号, 1984
- [4] 福田, 他, "絶緣劣化要因とその評價法", 電氣評論, pp. 929, 1978
- [5] 電氣學會技術報告書(II部), "特別高壓CV Cableの設備實態と絶緣診斷技術の動向", 第266号, 1987
- [6] 한국전력공사 기술연구원, "배전용 CN-CV 케이블과 접속재의 열화사고 방지대책에 관한 연구(1차년도 보고서)", pp 201~217, 1990