

## 6.6kV XLPE Cable에 있어서 직류전압 특성에 관한 연구

이창훈, 유문규, \*조두연, \*정성용, 박대희  
원광대학교, \*(주)한일전선

### A Study on D.C Voltage Properties in 6.6kV XLPE Cable

Chang-Hoon Lee, Moon-Gyu Yoo, \*Doo-Yeon Cho, \*Sung-Yong Chung, Dae-Hee Park  
Wonkwang Univ, \*Hanil Cable Co

**Abstract** - 본 논문은 전력케이블의 열화진단을 위한 기초연구로서 6.6kV XLPE 케이블에 직류전압을 인가한 후에 절연 저항, 직류 누설 전류, 잔류 전압 비율, 킥 현상, 성극 지수 등을 각각 측정하였다.

본 논문은 전력케이블의 열화 현상을 파악하고, 예방진단을 위한 기초적인 Data를 얻기 위하여 직류 누설 전류의 특성을 파악하였다. Virgin케이블에 있어서 절연성능은 절연 저항의 특성은 거의  $\infty$ 를 나타내지만 잔류 전압의 특성은 케이블의 길이와 인가되는 전압에 따라서 큰 변화를 나타내고 있다. 이같은 잔류 전압의 특성은 케이블내의 공간전하의 형성과 크기에 따라서 의존되는 것으로 판단되며, 반면에 측정의 분위기에 많은 영향을 받는다.

이와같은 측정결과를 기초로 하여 계속적으로 Virgin케이블을 흡습시키면서 각 절연특성의 변화를 평가할 계획에 있다.

#### 1. 서 론

최근의 전력수요의 증가와 정보화 시대는 전력기에 높은 신뢰성을 요구하고 있으며, 전력설비에 있어서 전력을 전송하는 케이블에 대해서도 신뢰성, 특히 장기 신뢰성의 향상에 대한 기대가 점점 높아지고 있다. 따라서 케이블에 있어서는 신뢰성이 높은 XLPE전력케이블이 사용되어져, 송배전선로의 지중화와 함께 비약적으로 확대되고 있다. 그러나 전력케이블이 장기적으로 운전되어지고, 절연체중의 결합등에 의해서 서서히 열화되어진다. 이와같이 장기적으로 운전되어진 전력케이블의 성능을 파악하여 수명을 예측하고, 적절한 보수를 통하여 설비의 신뢰성을 향상시키는 것이 중요하다.

XLPE전력케이블의 절연성능의 저하요인과 열화형태는 내적인 절연체중에 결합과 외적인 영향으로 구분할 수 있다. 절연체중의 보이드나 이물 혹은

내외도의 반도전층과 절연체의 계면의 돌기에 의한 고전계 집중에 의한 전기트리의 진전에 의해서 단시간내에 절연파괴를 일으킨다. 또한 케이블은 장기간 사용되면서 외적인 많은 열화요인에 의해서 열화되어진다. XLPE케이블의 열화의 진전은 케이블 자체가 갖는 결합의 정도, 운전조건 및 사용환경에 크게 좌우된다.<sup>(1),(2)</sup>

특히 환경요인중에서 사용되어지는 경우에는 수분의 영향이 매우 크고, 케이블이 흡습상태에서 사용되어지는 경우에는 수분과 폴리에틸렌의 물리화학적 작용에 의해서 슈트리가 발생한다. 이와같은 슈트리는 6.6,22kV급 전력케이블의 절연열화의 주요 원인으로 알려져 있으며, 내부 혹은 외부 반도전층의 결합부에서 절연체를 향하여 진전되는 슈트리와 절연체 중의 이물이나 보이드를 기점으로 하여 양측으로 진전되는 Bow-Tie트리로 분류되어진다. 내외반도전층의 슈트리나 내외반도전층내에서의 Bow-Tie트리는 전하의 공급이나 수분의 공급이 용이하므로 활성화되어져 시간과 함께 진전되어 절연파괴를 일으키기 쉬운 것으로 밝혀지고 있다. 즉 이들의 트리가 발생된 케이블의 수명은 정상조건하에서 사용되어져 열화된 케이블의 수명에 비하여 상당히 단축된다.<sup>(3),(4)</sup>

이와같은 XLPE전력케이블의 열화 진단은 On-Line, Off-Line으로 구분하고 있으며, 아직도 기술적으로 미확립 되어진 분야로서 많은 연구가 요구되고 있다. 본 연구에서는 Off-Line상태하에서 전력케이블의 열화진단을 직류전압에 의한 평가법을 확립하고, 절연열화 판정기준을 설정하고자 한다.

본 시험의 계획은 XLPE전력케이블을 시료로 하고, 인가전압에 따라서 절연 저항, 직류 누설 전류, 잔류 전압 비율, 킥 현상, 성극 지수 등을 측정하여, 초기의 케이블의 절연 상태를 측정하였다. 또한 흡습상태에 따라서 직류 전압 특성의 변화를 측정하고, 절연 열화 상태를 판정하고자 한다.

또한 직류 전압 특성의 케이블 길이의 의존성 등을 각각 측정하고자 하며, 궁극적으로 절연 열화의 기준을 설정하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험

시료는 Virgin 6.6kV급의 3중 압출되어진 내도와 외도의 반도체층을 갖는 XLPE전력케이블(150mm<sup>2</sup>)이며, 케이블의 양단단말은 그림 1과 같이 조립형 종단 접속재를 사용하였다.

또한 케이블의 직류특성에 대한 길이 의존성을 측정하기 위하여 각 5m, 10m, 20m로 준비하였으며, 각 케이블을 종단 접속재로 단말 처리하여, 종단부의 표면누설전류에 의한 오차를 제거하였다. 이들의 각 시료는 직류인가전압에 따라서 누설전류, 잔류전압, 잔류전압비율, 성극지수, Kick 현상을 측정 한 후에 각각의 현상과 케이블의 조장에 따라서 이같은 시험을 하고, 길이의 의존성을 고찰하고자 한다.

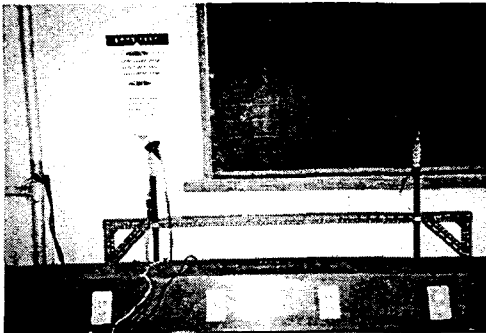


그림 1 시험용 케이블의 종단 접속부

측정장치(日, MUSASHI 電氣計器製作所, PI-10X)는 직류전압을 10kV까지 발생시킬 수 있는 그림 2와 같은 시험기이다. 본 장치의 측정항목은 절연저항, 직류 누설 전류, 잔류 전압 비율, Kick 현상, 성극 지수 등을 계측할 수 있으며, 계측기에서 얻어진 측정 Data는 PC로 자동입력 되어져 결과가 얻어진다.

본 측정장치에 있어서 직류 누설 전류 시험은 일정한 직류전압을 케이블의 도체와 차폐층간에 인가하고, 절연체의 열화 및 불량에의 정도에 따라서 미약한 전류가 흐르게 된다. 이때의 인가전압과 누설 전류의 시간적 변화로부터 전력케이블의 절연열화 상태를 판정한다. 잔류 전압 시험은 직류전압을 케이블의 도체와 차폐층간에 인가하고 전력케이블이 완전하게 충전이 되고난 후에 전압인가를 중지하면, 충전전하는 케이블의 절연저항을 개입시켜 방전시킨다. 이때의 전하의 방전속도는 케이블의 절

연상태에 따라서 변하고, 절연저항에 반비례하기 때문에 케이블의 절연상태를 판정한다.

잔류 전압 비율은 잔류 전압 시험에 있어서 인가 전압을 정지한 직후의 전압과 일정시간 경과후의 잔류 전압의 비율로서 케이블의 절연열화 상태에 따라서 변한다. 절연 저항 비율은 케이블에 인가한 전압과 흐르는 미약한 전류로부터 케이블의 절연저항을 구하며, 본 장치는 케이블의 길이로부터 절연 저항 비율을 환산하고, 정량적인 열화판정을 한다. 성극 지수의 측정은 통상적으로 케이블에 직류전압을 인가하면 그때에 케이블에 흐르는 전류는 시간과 함께 감소한다. 그런데 여러 가지의 원인에 의해서 케이블의 열화가 진전되어 오면, 전류는 감소하지 않고 증가하는 경향을 나타내거나, 불안정한 변화를 일으킨다. 이와같은 전류의 시간적 변화를 계측하는 것에 의해서 케이블의 열화판정을 하는 경우에 이 지수를 성극 지수라 한다. 성극지수 = (전압인가된 초기시간의 전류값)/(전압인가된 시험시간의 전류값)으로 계산한다. 케이블에서의 Kick 측정은 직류 누설 전류 시험에 있어서 누설 전류의 시간변화중에서 갑자기 전류가 변하는(펄스방전) 현상으로 케이블의 절연체의 열화 및 보이드 등에 의한 현상으로 판정을 한다. 이같은 각 측정은 각 시료에 인가전압을 -2.0kV, -4.0kV, -6.0kV, -8.0kV, -10.0kV로 하였으며, 절연 저항 시험시에 인가시간은 60초이며, 누설 전류 측정시는 600초 동안 인가하였다. 또한 잔류 전압 측정시 케이블의 직류 전압 인가시간은 30초로 하였고, 충전된 전압을 60초 단위로 600초 동안 방전시키면서 잔류 전압 및 비율을 각각 측정하였다.

본 시험에서 케이블에 충전된 전하를 방전시키기 위하여 방전시간을 각 시험마다 각 10분씩 하여 측정의 오차를 줄이도록 하였다.

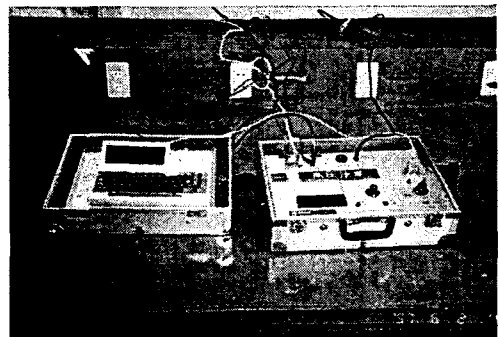


그림 2 측정장치

### 2.2 결 과

본 시험에 사용된 시료는 Virgin으로서 각 인가 전압 및 케이블의 길이에 의존치 않고, 표 1에 나타난 바와 같이 누설전류의 값이 모두  $\infty(\mu A)$ 이며,

케이블의 절연 저항은 모두  $\infty$ 를 나타냈으나, 중단부의 상태에 따라서 약간의 변화가 있었다. 또한 각 인가전압 및 케이블의 길이에 따른 누설 전류 시험과 동시에 절연 저항 비율, Kick 현상, 성극 지수를 측정된 결과 모두 양호한 상태로 얻어졌으며, 이와같은 결과와 향후에 케이블을 흡습시킨후의 결과와 비교할 계획에 있다.

인가 전압[-kV]	케이블 길이[m]	절연 저항[MΩ]
2.0	5	$\infty$
	10	
	20	
4.0	5	$\infty$
	10	
	20	
6.0	5	$\infty$
	10	
	20	
8.0	5	$\infty$
	10	
	20	
10.0	5	$\infty$
	10	
	20	

표 1 인가전압에 따른 각 케이블의 절연 저항값

그림 3은 인가 전압과 케이블의 길이에 따른 잔류전압의 시간의존성에 대한 결과를 나타낸 것이다. 이 결과로부터 잔류 전압은 케이블의 길이가 짧을수록 저하가 급격하게 나타나며, 또한 인가 전압이 높아질수록 현저하게 저하된다. 또한 케이블의 길이가 20m의 경우에는 인가 전압이 높을수록 잔류 전압의 저하가 현저하게 저하되는 것을 나타내고 있다. 이와같이 Virgin케이블의 잔류 전압의 변화는 누설 전류 측정에서 나타나지 않았던 성능 변화를 확인할 수 있었다.

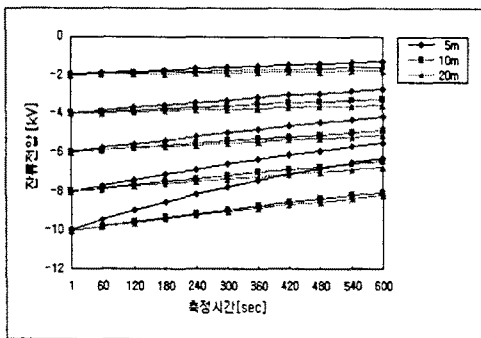


그림 3 측정시간에 따른 잔류 전압

다음에는 케이블의 잔류 전압 비율을 인가 전압 별로 각각 측정하였다. 그림 4는 -10.0kV를 인가한 후에 10분후의 각 길이별 잔류 전압 비율을 나타낸 대표적인 각각의 결과이다. 5m, 10m, 20m

에 있어서 각 케이블의 잔류 전압 비율은 67.04%, 80.07%, 85.86%로 나타났다. 이와같은 결과는 가능하면 측정시에 외부의 영향을 배제하였으나, 인가 시간과 접지 시간에 따라서 크게 의존된다.

일반적인 잔류 전압 비율의 판정기준은 60%가 넘으면 양호, 40~60%이면 주의, 40%미만이면 불량으로 구분하고 있으나, 주변의 분위기에 크게 의존되는 것으로 측정환경의 설정이 중요할 것으로 사료된다. 이와같은 측정결과를 기초로하여 각 시료를 흡습·열화시킨 후에 각 특성의 변화를 평가할 계획에 있다.

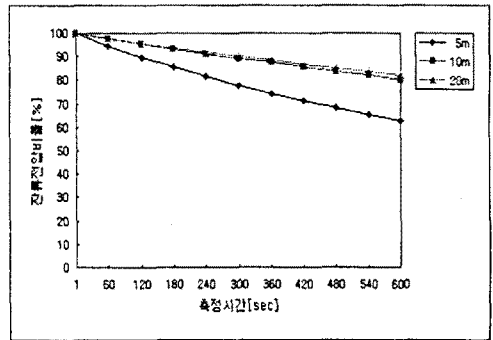


그림 4 -10.0(kV)에서 각 케이블의 잔류전압비율

### 3. 결 론

6.6kV급 Virgin XLPE 전력케이블의 직류전압에 의한 절연성능의 평가를 통하여 다음과 같은 결과가 얻어졌다. 케이블의 직류 누설 전류가  $0(\mu A)$ 으로 측정되어 절연 저항이  $\infty$ 가 되어도, 잔류 전압에 의한 평가는 가능하였다. 케이블의 잔류 전압 특성은 케이블의 길이 및 인가 전압에 따라서 크게 의존하나, 측정의 분위기에 많은 영향을 받는다. 이와같은 측정방법을 통하여 Virgin케이블을 흡습 가속시켜 절연성능의 변화를 계속적으로 평가할 계획에 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 電氣協同研究會, "特別高壓CV Cableの絶縁測定", 電氣協同研究, 第36卷, 4号(1980)
- [2] 電氣學會技術報告書(Ⅱ部), "絶縁劣化試験方法(定格電壓3.3kVおよび6.6kVの回轉機およびCableについて)"第182号(1984)
- [3] 福田, 他, "絶縁劣化要因とその評價法" 電氣評論, 929(1978)
- [4] 電氣學會技術報告(Ⅱ部), "特別高壓CV Cableの設備實態と絶縁診断技術の動向", 第266号(1987)