

직류내전압 시험이 전력케이블(CV) 절연체에 미치는 영향연구

A Study on the DC Voltage Withstand test for the Ageing of XLPE Power Cable

이 준⁰, 임용배^{*}, 김종서^{*}
(Jun Lee, yong-Bae Lim, Jong-Seo Kim)
^{*}전기안전시험연구원(ESLRI)

abstract

Polyethylene[PE] in polymer insulation materials of used power cable have carried out in abundance of experiment and study for electrical conduction, insulation breakdown, dielectric character and so on. when apply to field for power cable to make PE, application of DC withstand test to put in practice for inspection is get to effect accumulated space charge.

In this paper, to make use of Pulsed Electro-Acoustic(PEA), It is analysis to take shape space charge under AC and DC, clear up the point at issue for DC withstand test impressing

Key Word(중요단어) : Power cable(전력용 케이블), DC withstand test(직류내전압시험), PEA(펄스정전응력법)

1. 서 론

산업사회의 발달 및 문화생활의 향상과 함께 전력을 전송하는 전력용 케이블에 대한 신뢰성 향상에 기대가 점차 높아지고 있다. 이와 함께 전력케이블 포설 이후 보수·유지에 따른 시험방법 등 많은 문제점이 제기되고 있다.

일반적으로 고분자 절연재료는 주로 고전계에서 사용되며, 이들을 현장 적용시 검사를 위해 실시하는 직류 내전압의 적용은 고분자 내에 공간전하를 축적시켜 큰 영향을 미치고 있다. 이 공간전하는 절연재료의 결합과 첨가제, 가교잔사물 등과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 전극-절연체, 계면전극 및 내부 전계를 왜곡시켜 전기전도 특성을 변화시키고, 국부적으로는 고전계를 유발하여 절연내력 및 파괴강도에 영향을 미친다고 보고되고 있다⁽⁸⁾. 그러므로 고분자 절연체에서 공간전하 특성 분석을 통해 직류 내전압인가시 절연체에 미치는 영향을 규명할 수 있다고 분석된다.

최근에 두꺼운 고체 절연재료에서 공간전하 분포를 측정할 수 있도록 개발된 2가지의 비파괴 방법이 있는데 각각 Pressure Wave Propagation(PWP) 법과 Pulsed Electro-Acoustic(PEA) 방법이다. 이 중 PEA(펄스정전응력법)방법은 시스템의 크기가 작으며, 우수한 측정능력, 간단한 구조와 높은 재현용

성을 가지고 있다^(4,6,7,8).

본 논문에서는 펄스정전응력법(PEA)을 이용한 공간전하 측정기를 제작⁽⁸⁾하여, 실케이블을 강제열화시켜 직류 전압인가에 의해 형성되는 절연체중의 공간전하 분포를 측정하고 이 특성을 분석하였으며, 교류 인가상태에서도 공간전하 분포를 측정하여 직류인가시와 비교하였다. 또한 케이블의 열화단계별로 부분방전량을 측정하여 공간전하 축적량과의 상관관계도 분석하였다.

2. 측정 방법

공간전하 특성분석을 위해 파형이 다른 두 종류(DC[최대 -60kV], AC)의 전압을 시료에 인가하였다. 6.6kV 시료케이블에 직류를 최대 -27kV, 교류는 최대 13.2kV까지 인가하였고, 측정펄스 전압범위는 0~10kV이며, 30ns의 진폭을 가지는 펄스를 발생시킨다. 신호를 검출하는 센서부는 고분자 필름 압전소자(PVDF-9 μ m)를 사용하여 외부로 알루미늄으로 금형하였다. 교류 측정의 경우 위상 0° 부터 360° 사이를 45° 로 구분하여 측정하였으며, 노이즈 처리를 위해 1,024회의 평균화 처리를 하였다. 시료케이블의 열화단계별로 부분방전량을 측정하여 열화정도를 판단하였다. 다음 그림 1, 2, 3은 실케이블에 적용된 공간전하 측정원리 및 측정장치이다.

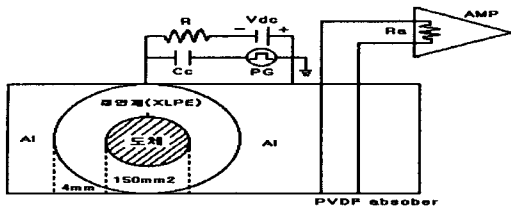


그림 1. PEA법에 의한 공간전하 측정원리

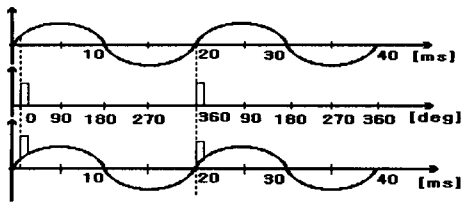


그림 2. 교류인가시 공간전하 분포 위상분해 측정



그림 3. 실 케이블에 적용된 공간전하 측정장치

3. 시험 시료

시료케이블은 6.6kV, 150mm를 1m간격으로 절단하고, 외피 및 시스층을 제거하며, 시료 케이블의 중앙부위 20cm를 남기고 반도체층을 제거하였다. 시료는 모두 신(新) 케이블이며 시료는 전압 및 열 열화로 나누어 각 30개씩 실험하였으며, 이 중 표본으로 각 3개씩을 선정하였다(표1).

이 시료를 위의 그림 3의 공간전하 측정장치에 적용하였다. 열 인가방법은 수조에 물을 채워넣고 이것을 80℃까지 가열시키며, 이 수조속에 케이블을 침수시켰다. 또한 침수시킨 케이블에 정격전압을 인가하여 현장조건과 유사하게 하였다. 전압열화 방법은 공기중에 시료 케이블을 띄워놓은 상태에서 전압만 인가하였다. 이들 시료는 각각 침 결함 및 칼집 결함을 인위적으로 만들어 각 케이블의 조건을 다르게 하였다.

전압과 열 열화를 위한 수명계산은 Arrhenius식⁽⁵⁾을 이용하였으며, 식 (1), (2)는 전압 및 열 열화 산

출식으로 다음과 같다.

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{-n} \quad (1)$$

$$\frac{L}{L_0} = 2^{-\frac{t-t_0}{\Delta t}} \quad (2)$$

여기서, L은 전압(인가전압)과 온도 t(구하고자 하는 온도)에 있어서의 수명이고, L₀는 전압V₀(정격전압)와 온도 t₀(1년간 최고 평균온도 : 25[℃])에 있어서의 수명, Δt는 7~8[℃](수명 반감에 상당한 온도차), n은 수명가속 지수(9).

표 1. 시료 케이블 조건

구분	시료	열화시간	비고
전압열화	시료 1	30년	
	시료 2	30년	
	시료 3	30년	
열열화	시료 1	30년	
	시료 2	30년	
	시료 3	30년	

4. 측정 결과

가속열화 실험장치에는 전압열화를 위한 고전압 발생장치(0~100kV, 1Φ, 60Hz)를 이용하였으며, 열 발생장치는 온도지시기와 마그네틱스위치를 이용 설정온도와 시간을 자동으로 조절할 수 있도록 하였다. 전력케이블의 평균사용기간을 30년으로 설정하여 열화시켰다. 또한 각 열화단계별로 부분방전량을 측정하여 케이블의 열화정도를 판정하고, 공간전하 분포와 비교하였다. 그림 4는 가속열화 실험장치 및 열화측정 모습이다.

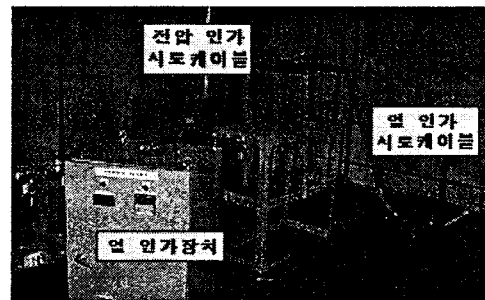


그림 4. 강제열화 및 부분방전량 측정

4.1 직류인가시의 공간전하 실험

실험은 실내온도(20℃)에서 실시하였으며, 다음

표 2에 나타내고 있는 것과 같은 공간전하분포 측정은 다음과 같이 실시하였다.

① 최대 27kV 까지, 3kV, 10단계로 가압하였으며, 각 단계별로 10분동안 직류전압을 인가한 후 공간전하 분포량을 측정하였다.

② 각 시료는 3년씩 총 10단계로 실험하였으며, 마지막 단계인 30년의 측정값을 데이터로 나타내었다.

표2, 표3에서 최대 -27kV 인가시의 마지막 단계인 30년에서 절연체에 축적되는 전하를 보여주고 있으며, 전하는 면적당 축적되는 전하에 의하여 반도체층 전극에 유도되고, 여기서 Cc 및 Ca는 각각 절연체의 외부 및 내부 반도체층 전극에 유도되는 전하를 나타낸다. (+)전하의 크기는 내도측에서 관찰되고, (-)전하의 크기는 외도측에서 관찰되는데 이것은 시간과 함께 증가한다

표 2. 직류에서 열 열화시의 공간전하 분포

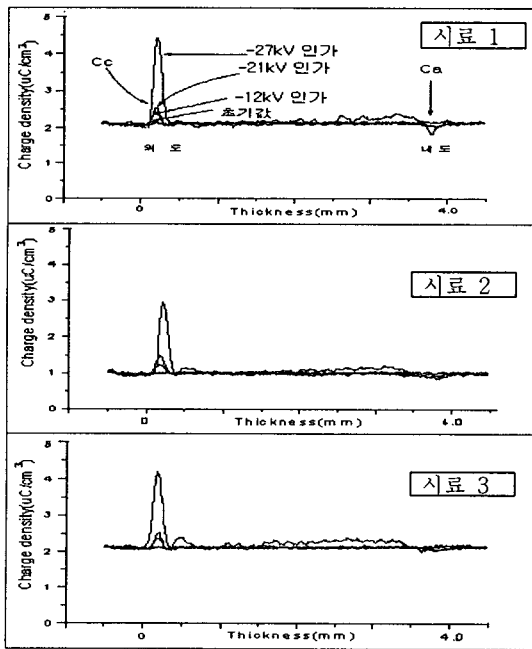
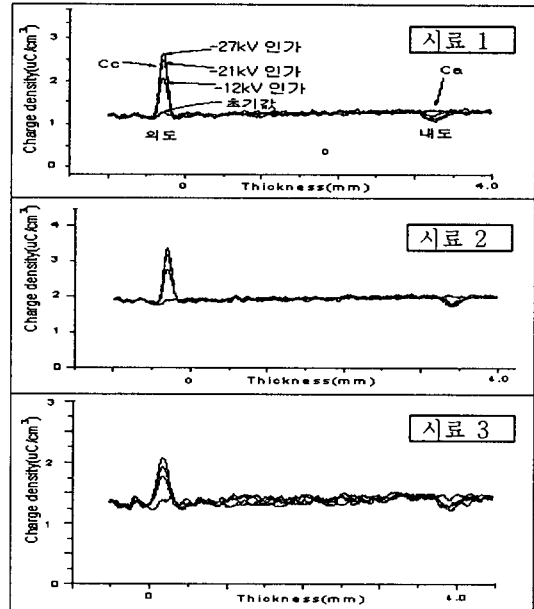


표2, 표3은 상온에서 직류 최대 -27kV를 인가한 후의 공간전하분포의 측정결과이다. 열 열화의 경우를 보면 외도측이나 내도측에서 공간전하분포가 관찰되지만 전압열화의 경우에는 관찰되지 않는다.

시료의 조건상 열 열화의 경우 수분의 영향을 받아 열화가 빨리 진행된 것으로 분석된다.

표 3. 직류에서 전압 열화시의 공간전하 분포



4.2 교류인가시의 공간전하 실험

교류인가시 직류와의 주파수에 의한 공간전하 형성 차이를 조사하기 위해 교류전압 60Hz에서 최대 공간전하분포를 측정하였다. 교류 인가시의 전하밀도 측정은 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 360° 에서 실시하였다. 측정은 초기값, 6kV, 12kV에서 실시하였다.

표 4. 교류에서 열 열화시의 공간전하 분포

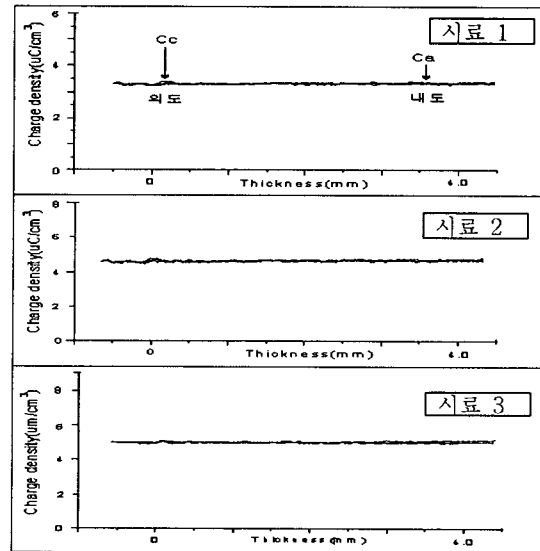


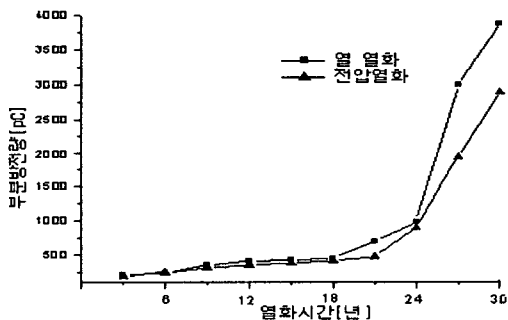
표 4에 열 인가시의 공간전하 분포를 나타내었다. 전압인가시는 거의 신호가 검출되지 않아 데이터를 생략하였다. 표 4에서 외도층에 약간의 표면유도전하만 관찰되고 있다. 앞질의 직류인가시 공간전하 축적 분포와 비교해 보면 교류에서 현저하게 공간전하 분포량이 적거나 거의 없는 것을 알 수 있었다. 즉 주파수가 높으면 공간전하의 축적이 거의 되지 않는다는 것을 알 수 있었다.

4.3 강제열화에 따른 부분방전량

절연물중의 결함 및 이물질 흡입등 국부적 섬락이 원인이 되어 발생하는 부분방전을 정량적인 방법으로 절연체의 열화상태를 진단하기 위해 부분방전량을 측정하였다.

측정은 전체 평균값을 전압 및 열열화로 나누어 나타냈으며, 3년을 주기로 10단계로 나누어 측정하였다. 이 측정값은 열화 단계별로 열화정도를 분석하기 위해 측정된 것이다.

표 5. 부분방전량의 경년 변화추이(전압열화, 열열화)



5. 검토

지금까지 검토한 시료 케이블의 공간전하 분포 및 부분방전량의 특징을 기술하면 다음과 같다.

- ① 전압열화한 것보다 열 열화(물에 침수시켜 열화시킨것)한 시료에서 공간전하량이 많이 분포하였다
- ② 인가전압의 주파수가 높으면 공간전하의 분포량이 작아진다, 즉 직류 인가시보다 교류 인가시에 공간전하의 감소가 현저하게 나타났다. 또한 인가전압이 증가함에 따라 공간전하의 분포량이 거의 비례적으로 증가하였다.
- ③ 열화가 진행 될수록 부분방전량이 증가하였으며 마지막 단계에서는 급격하게 증가하였다. 또한 공간전하 분포와 비교한 결과 전력케이블이 열화되었음을 알 수 있다. 즉 현장 적용시 공간전하의

영향으로 전력용 케이블이 절연파괴 될 수 있음을 추정할 수 있었다.

이들 공간전하의 발생은 결함과 건전부 양자의 유전을 차이에 기인한 계면분극에 의해서 발생하는 것이라고 알려져 있다.

6. 결론

실 케이블에 대한 공간전하 측정이 가능하고, 양호한 PEA법을 이용하여 강제 열화시킨 전력케이블에 대한 직류 및 교류에서 공간전하 분포를 측정하였다. 또한 각 열화단계마다 부분방전량을 측정하여 케이블의 열화정도를 판단하였다.

그 결과 직류 인가시 교류 인가시보다 전력용 케이블에서 공간전하가 현저하게 축적되는 것을 확인할 수 있었다. 시험기간동안 공간전하 영향에 의한 케이블의 절연파괴는 나타나지 않았다. 그러나 DC 과전에 의해 형성된 공간전하에 의한 전계왜곡 효과는 교류전압 하에서도 그 영향이 지속되어 장시간 교류절연 특성에 치명적일 것으로 분석된다.

참 고 문 헌

- [1] 建二 外3人, "500kV케이블의直流耐壓試驗に於ける檢査,日新電機技報",T.IEE Japan,Vol 117-B, No.1,'97
- [2] 寺島一希外 4人, "直流CV케이블의絶縁設計手法に於ける考察", T.IEE Japan, Vol. 119-B, No.2,'99
- [3] 天井 二郎外 6人, "水トリ-劣化架橋ポリエチレンの古調波電流と非線型電氣伝導", 電學論A, 119卷 3号, 平成11年
- [4] 李英外 5人, "水トリ-劣化架橋ポリエチレンにおける空間電荷の舉動", T.IEE Japan, Vol. 116-A, No.9, '96
- [5] "特別高壓CV케이블絶縁劣化形態と絶縁診断技術の動向", 特別高壓CV케이블絶縁診断技術調査専門委員會, 1998
- [6] Takashi Maeno, "Calibration of the pulsed electroacoustic method", T.IEE, Vol.119-A, No.8/9,'99
- [7] Rongsheng Liut beside two persons, "Pulsed electro-acoustic method for measurement of space charge distribution in power cables under both DC and AC electric fields" IOP publishing Lid, 1993
- [8] 황보승, "펄스정전용력법의 개선에 의한 고분자 절연재료에서 공간전하가 전도 및 부분방전에 미치는 영향에 관한 연구", 박사학위논문, 1998