전력케이블 절연재료의 내부결함에 따른 전기적 특성

최상기, 김탁용*, 김왕곤, 홍진웅*,
서울산업대학교 전기공학과, * 광운대학교 전기공학과

Electrical Characteristics due to Inner Defect of Insulating Materials for Power Cable.

Sang-Gi Choi, Tag-Yong Kim*, Wang-Kon Kim, Jin-Woong Hong*
Dept., of Electrical Engineering, Seoul National Univ. of Technology
* Dept., of Electrical Engineering, Kwangwoon Univ.

Abstract

Recently, on power system, it is used to high voltage of transmission and distribution due to safe power supply and have high quality and insulation in order to satisfy excellent insulator. Thus, according to underground of high voltage cable, is occurred break down by ground short. Therefore, it is used to high quality XLPE power cable to interrupt instantaneous voltage drop. If it appear inner defect for cable whose have high quality and insulation, it is reduced rapidly due to concentration of electrical field. After assemble to manufacture, in order to inspect cable condition, it is decided much inspection standard. In this paper, In inner defect of assembling cable at manufacture, for measure the variation of insulation condition by void. it tested the variation of insulating characteristics, using $\phi - q - n$ distribution variation in partial discharge experiment.

Key Words : insulator, XLPE, instantaneous voltage drop, partial discharge

1. 서 론

송전전압의 초고압화로 절연재료의 절연성능 향상을 위해 수많은 연구가 진행 되고 있다. 또한 산업의 발전과 건축물의 고층화로 인해 지중케이블의 사용이 증가 되고 있다. 이에 선로의 시공성, 유지 보수의 용이성 및 환경 친화성이 우수한 절연재료로 cross-linked poly ethylene (XLPE)의 사용이 급증하고 있으며, 또한 분자구조의 개선이나 합성에 의해 전기적인 특성을 향상시킨 XLPE 재료의 개발로 새로운 고압케이블 사용이 시도되고 있다.

그러나 케이블 제조 공정 시 내부 이물질, 열 변형 및 내부 보이드의 발생으로 절연성능이 급격히 감소하여 이를 실무에 적용 할 경우 송전 사고를 유발할 수 있다. 이에 본 논문에서는 154[kV] 전력케이블의 절연층을 커팅하여 인공 보이드를 제작한 후 전압변화에 따른 전기적 특성 변화를 알아보
기 위해 $\phi - q - n$특성을 조사 하였으며, 방전전류 특성의 변화를 측정하였다.

2. 실 험

2.1 시료

본 실험에서 사용한 시료는 실제 154[kV] 케이블

절연층 XLPE를 800[㎛]로 얇게 슬라이스 하여 크기 60×70[㎜] 3층으로 적층하여 실험하였다. 또한 내부 보이드 특성을 조사하기 위하여 시료 중심에 지름 2[㎜] 공기 보이드를 중심에 삽입하였다.

그림 1은 시편의 형상 및 전극구조를 나타내고 있다.

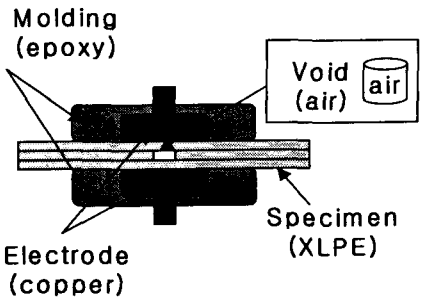


그림 1. 전극의 형상

Fig. 1. Shape of electrode

2.2 실험장치

본 실험에서는 AVO co.에서 제작된 부분방전 측정장치를 사용하였고, 인가전압은 60[Hz] 3~10 [kV]를 step 인가법으로 하였다. 또한 전압인가 후 즉시 10초(600 사이클)동안 발생한 전하량 및 빈도수를 위상별로 검출한 데이터를 acquisition 하였으며, 이들 데이터를 한 주기에 적층하고, $\phi-q-n$ 데이터를 3차원 그래프로 작성하였다.

전극으로는 CIGRE Method법을 이용한 전극을 사용하였으며, 방전전하량, 빈도수 및 위상 검출을 위해 MATLAB으로 프로그래밍 하여 검출하였다.

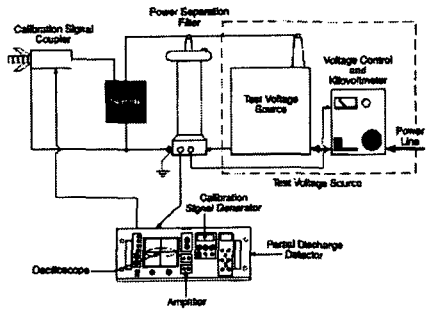
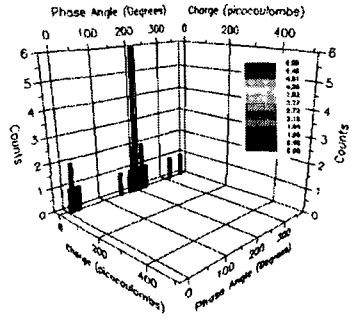


그림 2. 부분방전검출회로

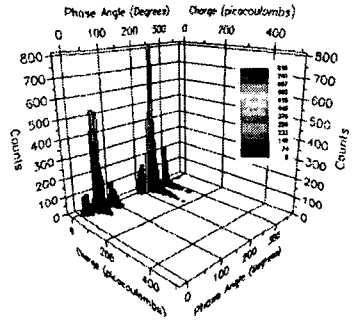
Fig. 2. Detection circuit for PD

3. 결과 및 고찰

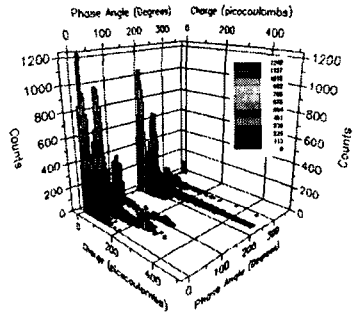
3.1 무보이드에서 $\phi-q-n$ 분포



(a)3[kV]



(b) 7[kV]



(c) 10[kV]

그림 3. 무보이드의 전압의존성

Fig. 3. Voltage dependence of no void

그림 3은 인가전압에 따른 전력케이블 절연재료의 $\phi-q-n$ 특성을 나타낸 것이다.

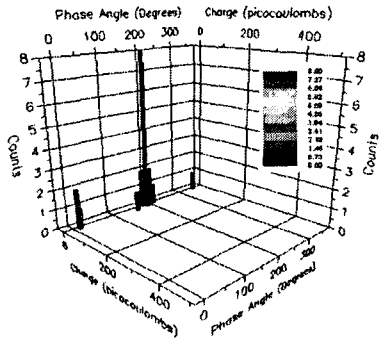
그림 3(a)는 무보이드 시편에 3[kV]를 인가한 경우를 나타내고 있다. 그림에서 보면 정극성에서는

전압인가 초기에 미소한 방전전하량이 나타나며, 부극성 에서는 210°영역에서 최대빈도수를 나타내지만 그 크기는 아주 작은 값을 나타냄을 볼 수 있다. 그림 (b)는 동일조건에서 7[kV]를 인가한 경우인데, 정극성에서 50°영역에서 가장 높은 빈도수를 나타내며, 전체 방전전하량은 143,940[pC]의 값을 나타내며, 부극성에서 260°영역에서 최대 빈도수를 나타내며, 전체 방전전하량은 228,840[pC]의 값으로 정극성보다 약 1.5배의 값을 확인할 수 있었다. 그림 (c)는 10[kV]를 인가한 그래프이며, 그림에서 방전전하가 정극성에서 0-120°, 부극성에서 190°- 300°로 넓은 영역으로 확산됨을 볼 수 있었으며, 최대 빈도수도 7[kV]와는 달리 정극성 1,200으로 부극성보다 더 큰 값을 나타남을 볼 수 있었다. 그러나 전체 발생빈도수는 정극성에 32,966 , 부극성에서 37,262로 부극성이 높았으며, 전하량도 정극성에서 1.5854×10^{6}[pC], 부극성에서 2.3781×10^{6}[pC]으로 부극성에서 더 높은 값이 나타낸다. 따라서 전압의 증가에 따라 정극성의 최대 빈도수는 증가하였으며, 전체 빈도수는 부극성이 정극성에 비해 계속 높아지는 것을 볼 수 있었다. 또한 전압 증가에 따라 방전전하량의 발생 위상이 점점 넓은 영역으로 퍼짐을 볼 수 있었다.

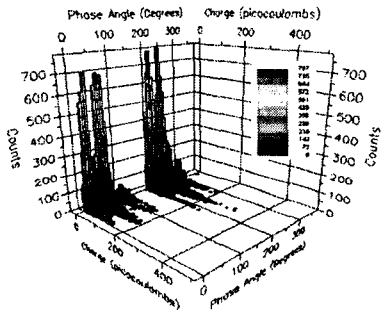
3.2 보이드에서 $\phi-q-n$분포

그림 4는 원통 보이드에서 전압에 따른 $\phi-q-n$ 특성 그래프이다. 그림 4 (a)는 원통 보이드 시편에 3[kV]를 인가한 그래프로 정극성에서는 거의 방전이 나타나지 않고, 부극성에서만 190°-220° 영역에서 총발생빈도 17, 발생전하량 269.22[pC]의 값을 나타내고 있다. 그림 (b)는 동일조건에서 7[kV]를 인가한 경우로, 방전전하 발생빈도수 및 발생위상각 분포는 비슷하게 나타나지만, 부극성에서 정극성보다 큰 전하량을 가지는 방전으로 정극성 347,770[pC], 부극성 432,040[pC]으로 전체 전하량이 부극성에서 더 높은 값을 가진다. 또한 10[kV]를 인가한 경우 그림 (c)에서 보는 바와 같이 최대빈도수는 정극성에서 1,400으로 부극성에 비해 높은 값을 나타나지만, 최대 방전전하량이 정극성에서 2.4082×10^{6}[pC], 부극성에서 3.7616×10^{6} [pC]로 큰 방전전하가 나타나며, 전체전하량은 부극성이 정극성의 1.5배 이상임을 볼 수 있다.

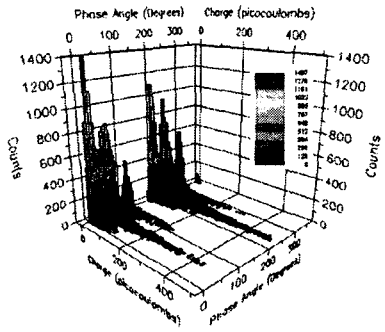
본 실험으로 보이드 존재하는 경우 전압의 증가에 따라 정극성 및 부극성의 최고 빈도수는 거의 비슷하게 나타났으나, 방전전하량은 무보이드와 같이 부극성에서 더 높은 값을 나타냈다.



(a) 3[kV]



(b) 7[kV]



(c) 10[kV]

그림 4. 보이드의 전압의존성

Fig. 4. Voltage dependence of void

표 1은 무보이드에서 발생하는 방전전하량의 총 빈도수 및 방전전하량을 정 및 부극성으로 구분하여 표현하였다. 표 2는 원통 보이드에서 방전빈도

수 및 방전 전하량을 극성별로 나타낸 것이다.

표 1. 무보이드에서 방전특성

Table 1. Characteristic of discharge at no void

V [kV]	N+	N-	$+Q_t$ [pC]	$-Q_t$ [pC]
3.0	7	20	1.0769×10^{2}	3.0768×10^{2}
5.0	44	79	7.3843×10^{2}	1.3615×10^{2}
7.0	5,687	8,100	1.4394×10^{5}	2.2884×10^{5}
9.0	27,673	28,911	9.3210×10^{5}	1.3923×10^{6}
10.0	32,966	37,262	1.5854×10^{6}	2.3781×10^{6}

표 2. 보이드의 방전특성

Table 2. Characteristic of discharge at void

V [kV]	N+	N-	$+Q_t$ [pC]	$-Q_t$ [pC]
3.0	4	17	8.4612×10^{1}	2.6922×10^{2}
5.0	427	600	1.5438×10^{4}	1.7683×10^{4}
7.0	10,199	12,559	3.4777×10^{5}	4.3204×10^{5}
9.0	30,050	31,359	1.0157×10^{6}	1.0756×10^{6}
10.0	41,296	45,499	2.4082×10^{6}	3.7616×10^{6}

3.3 방전전류특성

그림 5은 보이드 유무에 따른 방전전류 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보게 되면 3, 4 [kV]에서는 보이드 유무에 따라 방전전류의 값은 5 [pA]로 그 차이가 매우 미소하였으나, 5 [kV]이후부터 약 3,000 [pA] 정도의 차이를 보이기 시작하였으며, 6 [kV]일 때 무보이드와 보이드 시편의 경우 각각 11,120, 37,310 [pA]으로 10[kV]의 경우 323,000 [pA]

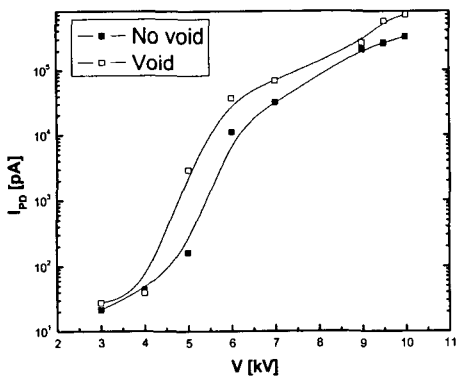


그림 5. 보이드에 따른 방전전류

Fig. 5. Discharge current by void variation

701,000 [pA]으로 전압의 증가에 따라 그 변화폭은 계속적으로 증가함을 볼 수 있었다. 이로부터 보이드의 존재는 전압의 증가에 따라 무보이드에 비해 방전전류의 값이 매우 큰 폭으로 증가됨을 확인할 수 있었다. 이는 보이드의 존재로 절연성이 약한 공기 절연층이 존재하여 전계의 집중을 유도하고, 집중된 전계에 의해 전류량의 증가를 초래한다고 생각된다.

4. 결 론

전력케이블 절연재료의 내부 결함에 따른 전압의존성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 내부결함에 관계없이 인가전압의 증가에 따라 최대 방전전하 발생빈도수가 정극성으로 바뀌어가는 것을 확인 할 수 있었다.

(2) 방전빈도수 및 방전전하량은 보이드에 무관하게 부극성에서 더 높은 값을 가진다.

(3) 내부 결함의 존재는 평균방전전하량의 증가를 나타낸다.

(4) 4[kV]이하에서의 방전전류는 거의 비슷한 수치를 나타내지만, 그 이후부터는 내부결함이 존재하는 시편에서 더 높은 방전 전류값을 나타내며, 진행 폭은 전압의 증가에 따라 내부결함에 따른 증가폭이 비슷함을 볼 수 있었다.

참고 문헌

[1] 家田正之, "高分子の 電氣物性と その 應用", 日本電氣學會, pp. 27-52, 1972.

[2] Suzuki, T., Katakai, S., Kanaoka, M., Sekii, Y., "DC characteristic of cable insulating materials", Proceedings of 3rd Inter. Conf. on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, pp. 66-71, 1989.

[3] 大野, "最近のケーブル技術の動向について", 電學論 B,Vol. 112-B, No.10, 1992.

[4] R. E. James and B. T. Phung, "Development of computer-based measurements and their application to P.D pattern analysis", IEEE Trans. Die. and Elect. Insul. Vol. 2, pp838-856, 1995.