

전극형상에 의한 초고압 CV케이블 절연체의 부분방전 특성

Partial Discharge Characteristics of Ultra-High Voltage CV Cable Insulators by Electrode Shape

김 균 식 김 병 현 정 현 기 차 광 석
Kim, Gyun-Sig Kim, Byung-Hyun Jeong, Hyeon-Ki Cha, Kwang-Seok

ABSTRACT

In this thesis, it is investigated that the effect of the cross linked polyethylene(XLPE) insulator do to breakdown phenomenon by the insertion of the needle and bar electrode into XLPE which is used of electric power cable for the ultra-high voltage. The result of the partial discharge properties in the specimen showed that in case of the insertion of needle or bar electrode into XLPE, the effect of the inner discharge become large when the air void is bigger then the clearance of the electrode of the specimen. The closer the distance between the insulator and needle electrode, it takes less time to the insulation breakdown.

1. 서 론

21세기에 접어들어서 전력케이블의 대용량화 초고압화가 빠르게 진행되고 있으며, 초고전압 분야에서 마이크로 전자공학분야에 이르기까지 넓은 범위에 걸쳐서 안정된 전력 전송을 위한 절연시스템의 고 신뢰성이 요구되고 있다^[1,2,3]. 이러한 전력기기는 시간의 경과에 따라 절연재료의 기능이 떨어지는데 이러한 현상은 기기의 기능을 저하시켜 사고를 유발하므로 안정된 시스템을 구축하기 위해서 우수한 절연재료의 개발과 성능개선이 필요하며, 전력기기의 대용량화, 고전압화 하는데 있어 매우 중요한 과제라 생각된다^[4,5,6]. 고분자(XLPE) 절연재료의 전기전도 특성을 파악하기 위해 고분자 절연재료를 파괴될 때까지 측정하였는데, 전계 인가 시 전도 특성은 고분자 특유의 복잡한 고체구조나 제조과정에 혼입되는 불순물 영향과 산화 또는 여러 종류 첨가제의 영향을 크게 받으므로 불분명한 부분이 많이 발생한다^[7,1]. 본 실험에서는 케이블 내에서 중요한 위치를 차지하는 CV 케이블 절연체 내부의 부분방전 전류특성을 조사하기 위해 침 전극 및 봉 전극을 침투시켜 내부 보이드에 따른 방전 특성을 연구 분석하여 점차 중요시 되고 있는 전기철도 송·수전 선로 케이블 내의 성능 및 수명예측에 기여하고자 하였다.

2. 실 험

2.1 시 료

시료는 현재 CV Cable 절연체중 전기적 특성이 가장 우수한 XLPE(Cross linked polyethylene)을 사용 하였고, 시료의 형태는 그림 2의 (a)와 같다.

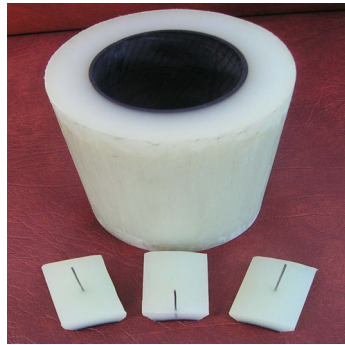
김균식 : 서울지하철공사 선임, 광운대학교 공학석사, 비회원

김병현 : 서울지하철공사 변전과장, 비회원

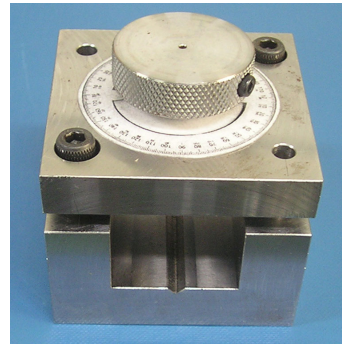
정현기 : 서울지하철공사 전력팀장, 비회원

차광석 : 서울지하철공사 전기처장, 종신회원

시료의 규격은 16×40×30[mm]으로 제작하였으며, 침 전극의 제작은 직경 1[mmφ]인 텅스텐 재질의 바늘을 에칭법에 의해 침 선단 곡률반경 30~60[μm]로 하였다. 시료의 제작 장치는 그림 1 처럼 케이블 절연체인 XLPE를 전극삽입 장치에 들어갈 수 있게 시료를 제작하였고 침 및 전극봉의 형태는 그림 2의 (a)와 같이 절연체 내부에 보이드의 크기를 나타내었으며, 표 1의 시료의 조건에서 N1~N12은 침 전극(Needle Electrode)이고 B1~B2는 봉 전극(Bar Electrode)을 의미한다. 다음에 나오는 시료의 조건은 표 1에 따른다.

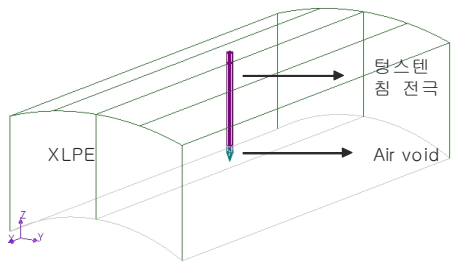


(a) XLPE 케이블

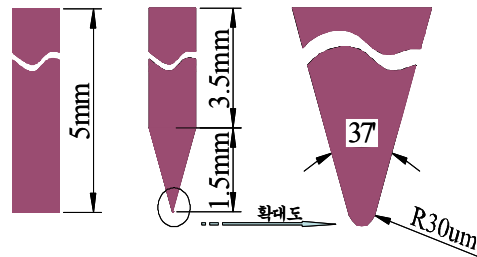


(a) 전극 삽입장치

그림1. 자체 제작한 시료 및 장치



(a) 시료의 내부 투시도



(b) 침 및 봉 전극의 형상

그림2. 시료 와 전극의 형상

표 1. 시편의 종류.

시료 명	전극 형태	(XLPE) 두께	공기 보이드	침 전극과 내부 반도체층간 거리	시료 명	전극 형태	(XLPE) 두께	공기 보이드	침 전극과 내부 반도체층간 거리
N1	Needle	1.0 [mm]	-	1.0 [mm]	B1	Bar	1.0 [mm]	-	1.0 [mm]
N2	Needle	2.0 [mm]	-	2.0 [mm]	B2	Bar	2.0 [mm]	-	2.0 [mm]
N3	Needle	3.0 [mm]	-	3.0 [mm]	B3	Bar	3.0 [mm]	-	3.0 [mm]
N4	Needle	1.0 [mm]	0.5 [mm]	1.5 [mm]	B4	Bar	1.0 [mm]	0.5 [mm]	1.5 [mm]
N5			1.0 [mm]	2.0 [mm]	B5			1.0 [mm]	2.0 [mm]
N6			1.5 [mm]	2.5 [mm]	B6			1.5 [mm]	2.5 [mm]
N7	Needle	2.0 [mm]	0.5 [mm]	1.5 [mm]	B7	Bar	2.0 [mm]	0.5 [mm]	1.5 [mm]
N8			1.0 [mm]	2.0 [mm]	B8			1.0 [mm]	2.0 [mm]
N9			1.5 [mm]	2.5 [mm]	B9			1.5 [mm]	2.5 [mm]
N10	Needle	3.0 [mm]	0.5 [mm]	1.5 [mm]	B10	Bar	3.0 [mm]	0.5 [mm]	1.5 [mm]
N11			1.0 [mm]	2.0 [mm]	B11			1.0 [mm]	2.0 [mm]
N12			1.5 [mm]	2.5 [mm]	B12			1.5 [mm]	2.5 [mm]

2.2 실험장치

2.2.1 절연파괴시험

XLPE 시료의 절연성을 평가하기 위해 N2시료 로 10회에 걸쳐 절연파괴 실험을 수행하였다. 파괴실험에서 인가전압은 3[kV]~25[kV]까지 Step법에 의해 분당 1[kV]씩 인가하였으며, 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘 오일 내에서 시행하였으며, 실험용 유조(Silicon Oil Tank)외부를 0.3[mm]의 동판으로 감싸고 이것을 접지시켜 최대한 노이즈를 제거하였다.



(b) 13 [kV]



(a) 14 [kV]

그림3. 침 전극의 트리현상

2.2.2 부분방전시험

본 실험에서는 avo co.에서 제작된 부분방전 측정 장치를 사용하였고, 인가전압은 60[Hz] 3-20[kV] stop 인가법 으로 하였다. 또한 전압인가후 즉시 10초(600사이클) 동안 발생한 전하량 및 빈도수를 위상별로 검출한 데이터를 얻었으며, 이들 데이터를 한 주기에 적축하고, θ -q-n 데이터를 3차원 그래프로 작성하였다. 전극으로는 텅스텐으로 제작된 침 및 봉 형태로 만든 전극을 에칭한후 사용하였으며, 방전전하량, 빈도수, 위상검출을 위해 MATLAB 으로 프로그래밍 하여 검출하였다.



그림4. 부분방전 장치

3. 결과 및 고찰

그림 5는 봉 전극에 비해 침전극의 방전개시 및 트립 전압은 13[kV]~18.5[kV]이며 봉전극의 경우는 3[kV]~16[kV]로 침 전극에 비해 낮은 전압에서부터 방전개시전압이 나타났으며, 특히 침 전극에서 낮은 전압에서는 부분방전 특성이 나타나지 않다가 방전개시 후 갑자기 트립 방전전류 (50[nA])가 나타났으며 1[mm]절연층 에서는 트립과 동시에 파괴에 이르기도 하였다. 2,3[mm]절연 층도 방전개시 전압만 높아졌을 뿐 방전전류 및 절연과괴 되는 경향은 1[mm]와 같았다.

그림 6은 절연체 내부에서 전극과 내부 반도체층에 1[mm] 간격을 두고 침 및 봉 전극에서 절연체 내부 전극에 의한 보이드가 형성된 상태의 방전전류 특성을 나타낸 것이며 무보이드에 비해 낮은 전압 에서 방전특성이 나타나기 한다.

봉 전극은 침 전극에 비해 방전특성곡선이 완만하고 침 전극은 봉 전극에 비해 방전전류특성이 높 음을 확인하였다. 보이드가 형성된 시료는 낮은 전압에서 방전이 시작되며 무보이드 에서처럼 파 괴에는 이르지 않았다.

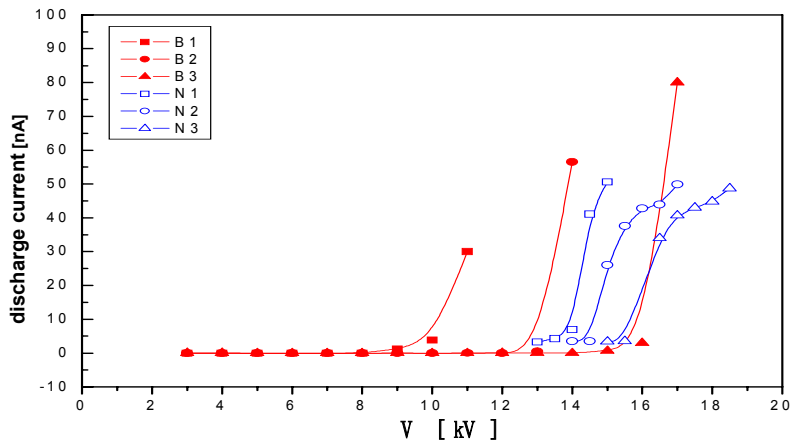


그림5. 절연체 두께에 따른 방전전류

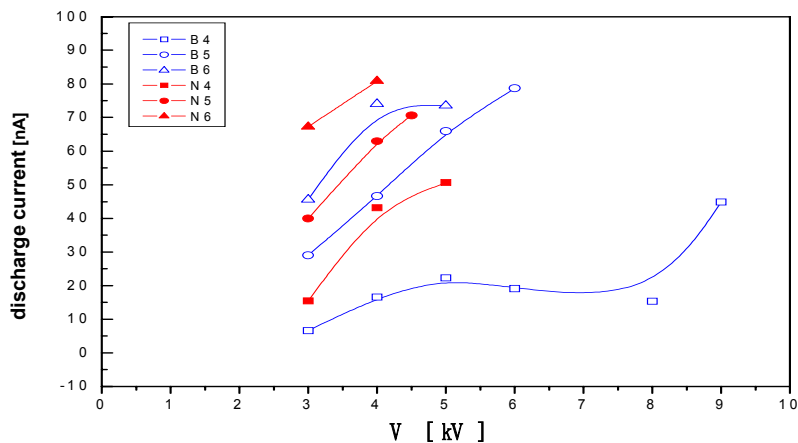


그림6. 보이드 변화에 따른 방전전류(1[mm])

그림 7은 그림 6보다 침전극과 봉전극의 변화의 폭이 커짐을 확인하였으며 이는 보이드의 영향 이 절연체 두께의 영향보다 더 큼을 알 수 있다.

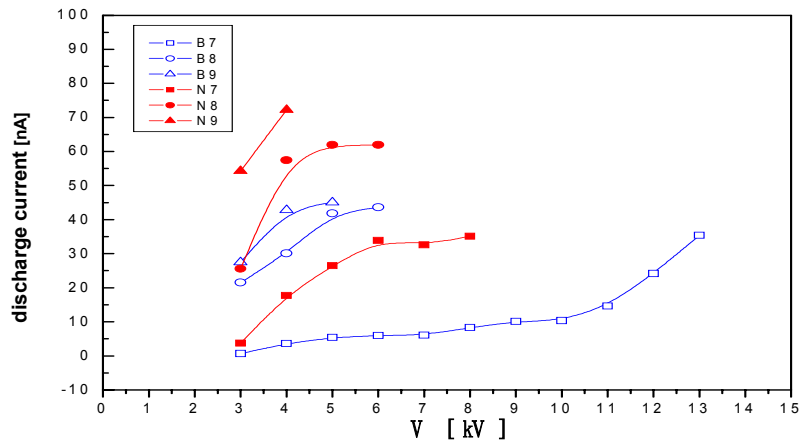


그림7. 보이드 변화에 따른 방전전류(2[mm])

그림 8은 침전극과 봉전극의 변화의 폭이 그림 7과 비슷하며 이는 그림 6과 7에서와 같이 보이드의 영향이 절연체 두께의 영향보다 더 크음을 확인할 수 있었다. 특히 보이드 시료에서 절연체 두께 3[mm]의 경우 트립 직전에 방전 전류값이 떨어지는 경향이 있었다.

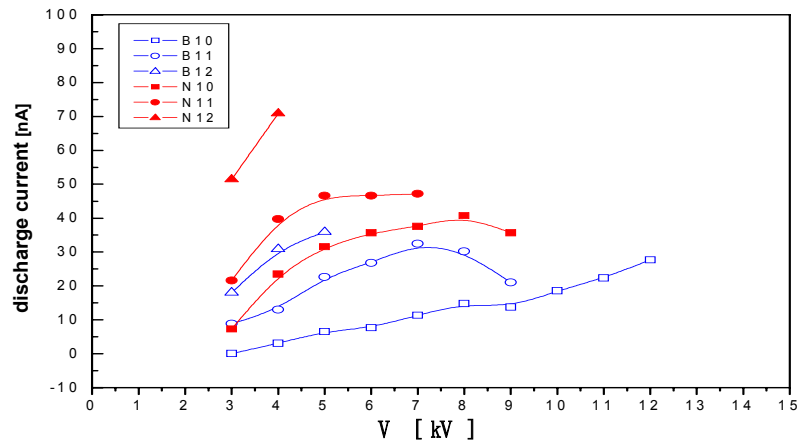


그림8. 보이드 변화에 따른 방전전류(3[mm])

4. 결론

본 논문에서는 전기철도 수·송전선로에 사용되는 전력 케이블 절연체의 파괴시험 및 부분방전 특성을 시험을 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 침-형상 전극에서는 절연파괴 직전에 PD가 검출되었으며 절연층이 증가함에 따라 발생전압이 높아짐을 확인 하였다.
2. 봉-형상 전극에서는 절연층이 증가함에 따라 PD 발생위상영역이 넓어짐을 확인하였다.
3. 침 및 봉-형상 전극에서 보이드의 존재로 초기 PD 발생 전압이 매우 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 두께의존성보다 보이드의 영향이 지배적임을 확인할 수 있었다.

이상의 연구 결과로써 전극형상에 따른 부분방전특성을 파악함으로써 초고압 케이블의 열화진단 및 검출방안을 제시하고자 하였다.

참고 문헌

1. M. R. Wertheimer, L. Paquin, H. P. Schreiber, S. A. Boggs, "Dielectric Permittivity and Breakdown Characteristics of Polime -Mica Composites" IEEE Conference Record of IEEE Symposium on Electrical Insulation, June 1976.
2. R. M. Hill and A. K. Jonscher "The Dielectric Behavior of the Condensed Matter and its Many Body Interpretation" Comtemp. Poly.,24, pp. 77-110, 1983.
3. S. S. Bamji, A. T. Bulinski R. J. Densley "The Role of Polymer Interface During Tree Initiation In LDPE" IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-21, No.4, August 1986.
4. K. S. Suh and C. R. Lee, "지중 배전 전력케이블용 절연재료의 개발동향" Proceedings of KIEE,. Vol. 46, No. 4, pp.34-39, 1997.
5. K. lida, J. S. Kim, S. Nakamura, and G. Sawa ; "Effects of Molecular Structure on Electrical Conduction in Low density Polyethylene above its Melting Point" , IEEE Trans. Electr. Insul, Vol.27, No.2, pp.301-328, 1992
6. 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
7. K. Yahagi : Dielectric Properties and Mophology in Polyethence, IEEE Trans. on Elect. Insul.,EI-15,, 3, pp 241 ~ 250, 1980