

침 전극 인가전압에 따른 XLPE의 전계분포와 부분방전특성

박희두¹, 이강원², 이혁진², 김탁용², 박하용¹, 홍진웅²

¹강원대학교 삼척캠퍼스 방재기술대학원, ²광운대학교 전기공학과

The PD Characteristics and E-field of XLPE according to the Needle Electrode of Applying Voltage

Hee-Doo Park¹, Kang-Won Lee², HYUK-JIN LEE², TAG-YONG KIM², Ha-Young Park¹, JIN-WOONG HONG²

¹The Professional Graduate School of Disaster Prevention Technology, Kangwon National University Samcheok Campus,

²Dept. of electrical engineering, Kwangwoon University

Abstract - 본 논문에서는 초고압 케이블에서 절연체로 사용되고 있는 가교폴리에틸렌(Cross-Linked Polyethylene; XLPE)에 침전극의 기울기와 인가전압의 변화에 따른 전계분포와 방전특성을 경계요소법에 의한 3차원 시뮬레이션과 부분방전장치를 통하여 해석하여, 기울기가 45에서 전계가 집중되는 현상을 확인하였다.

1. 서 론

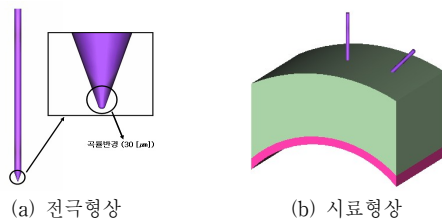
폴리에틸렌은 전기적 성결과 낮은 가격 때문에 전력케이블의 절연 및 외피 재료로 많이 사용되고 있다. 그러나 저밀도 폴리에틸렌은 절연체에 수분 등의 침투에 의한 장시간 스트레스로 인하여 크랙이 발생하는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 저밀도 폴리에틸렌(Low-density Polyethylene :LDPE)에 가교제(DCP)를 혼합하여 우수한 열적 특성 및 전기적인 특성을 갖는 XLPE가 만들어졌다.

본 논문에서는 초고압 케이블의 절연체로 쓰이는 XLPE에 대한 침전극의 기울기와 인가전압의 변화에 따른 전계분포 및 부분방전특성과 경계요소법을 이용한 3차원 시뮬레이션 프로그램인 IES(Integrated Engineering Software)사의 'Coulomb'을 사용하여 XLPE 내부의 전계 집중 및 전계 분포도를 해석함으로써 절연케이블 설계, 진단 및 내부 결함에 절연내력 강하 등에 대한 기본자료 확보를 하고자 한다.

2. 실 험

2.1 시료

시료의 전계분포를 조사하기 위하여 모델링한 시료의 모습으로 그림 1(a)은 30[μm]의 곡률반경을 가진 지름 1 [mmφ]의 텅스텐 침 전극을 나타낸다. 그림 1(b)은 모델링한 시료에 침 전극을 삽입한 모형으로 시뮬레이션 형상과 부분방전 실험을 위한 시료의 형상은 동일한 모양으로, 절연층 두께는 2 [mm], 보이드 길이는 1 [mm]로 고정하고 기울기를 0, 45°로 변화시켰다. 표 1은 시료의 종류를 나타낸 것으로 침 전극의 기울기에 따른 인가전압을 나타내고 있다.



<그림 1> 침 전극 및 시료형상

<표 1> 시료의 종류

Specimens	Angle	Inception Voltage [kV]	Break down Voltage [kV]
Slope A	0	1	13
Slope B	45	4	21

2.2 부분방전실험

본 실험에서는 AVO co.에서 제작된 부분방전 측정 장치를 사용하여 step 인가법을 이용, 1 [kV]부터 절연과파가 발생할 때 까지 인가전압을 승압하고 최대 인가전압을 40 [kV]으로 설정하였으며, 전압인가 후 10초

동안 발생한 전하량을 위상별로 검출하였으며, 방전전하량, 위상 검출을 위해 MATLAB을 이용하였고 실리콘 오일 내에서 실험을 함으로서 코로나 방전을 억제하고 실험용 유조(Silicon Oil tank) 외부를 0.3 [mm]의 동판을 이용하여 둘러싸고 이것을 접지시켜 노이즈를 제거하였다.

2.3 시뮬레이션

시뮬레이션은 경계요소법을 이용한 3차원 시뮬레이션 프로그램인 IES사의 'Coulomb'을 이용하여 XLPE 내부에서의 전계 분포도를 확인하였고, 시뮬레이션 조건은 표 2에서와 같이 시료에 대한 물성을 주고 이산화 개수는 3,000개로 하였으며, 내부 보이드는 공기가 존재하게 설정하였다.

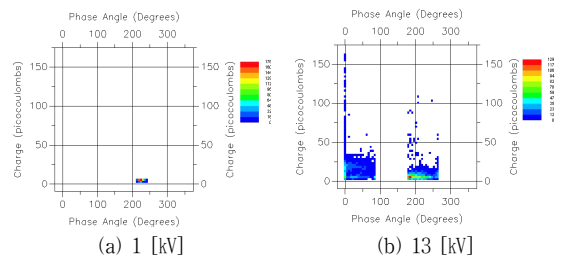
<표 2> 시뮬레이션 물성

Materials	Relative permittivity	Conductivity [S/m]
Semiconducting layer	2.782	5.8×10^{-15}
XLPE	2.4	1×10^{-16}
Air	1.006	5×10^{-17}
Tungsten	1	1.8×10^7

3. 결과 및 고찰

3.1 부분방전특성

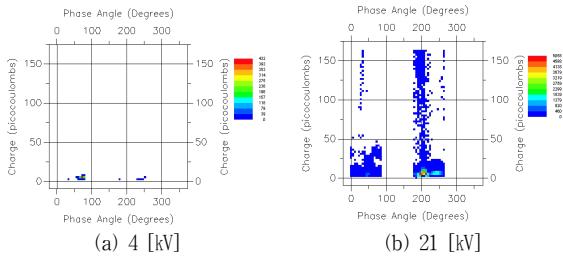
그림 2는 침전극의 기울기가 0°인 시료의 부분방전 패턴을 나타낸 것으로, 그림 2(a)는 전압 1 [kV]인가 시 방전분포이다. 정극성(0~180°) 영역에서는 부분방전이 발생하지 않았으며 부극성(180~360°) 영역에서는 4,388 [pC]의 방전전하량을 발생함을 확인할 수 있었다. 그림 2(b)는 인가전압이 13 [kV]인 경우로 0°부근에서 최대 방전전하량을 나타내고 있으며 정극성 영역에서는 0~90°에서 방전전하량 42,014 [pC], 부극성 영역에서는 180~270°에서 방전전하량 25,051 [pC]이 나타났다. 이는 전자주입이 용이한 부극성에서 방전이 개시되고 공기보이드의 존재로 인해 방전개시전압이 감소하며 절연과파전압에 이르러서는 공기보이드의 존재로 인하여 급격한 방전전하량이 증가하여 절연과파 됨을 알 수 있다.



<그림 2> 기울기 0° 에서 부분방전 전압특성

그림 3은 침전극의 기울기가 45°인 시료의 부분방전 패턴을 나타낸 것으로 그림 3(a)는 전압 4 [kV]인가 시 방전분포이다. 정극성 영역에서는 35~90°에서 6,713 [pC]이, 부극성 영역에서는 180~250°에서 75 [pC]의 방전전하량을 확인하였다. 공기보이드와 침 전극 기울기가 40°이상 증가하면서 전자주입이 정극성 영역에서도 용이하게 발생됨으로 인하여 부극성 영역에서 보다 정극성 영역에서 방전 전하량이 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3(b)는 인가전압이 21[kV]인 경우로 정극성 영역 0~90°에서 방전전하량 105,780 [pC]이 발생하였고, 부극성 영역에서는 180~270°에서 방전전하량 727,220 [pC]가 발생하였으며, 최대 방전전하량

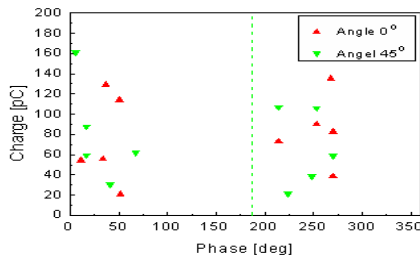
이 발생하는 영역이 무보이드 시료와 유사한 영역에서 발생하면서 절연 파괴에 이르렀다.



〈그림 3〉 기율기 45° 에서 부분방전 전압특성

3.3 K-means 해석

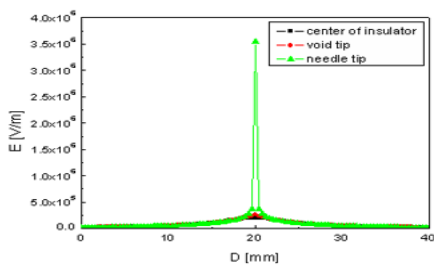
그림 4는 절연과피전압에서 침 전극의 기율기 0°, 45°에서의 발생한 방전의 위상-전하량 분포를 군집화 한 것으로 정극성 위상과 부극성 위상에서 각각 5개씩 군집화 시켰다. 그림에서 보면 각도의 증가는 정극성 영역에서 낮은 위상에서 centroid가 집중됨을 확인할 수 있었으며, 부극성 영역에서는 각도의 증가에 따라 centroid가 넓게 분포됨을 확인할 수 있었다. 이것은 기율어진 침 전극으로 인해 전계의 집중이 침 선단에서만 집중되지 않고 전계의 확산현상으로 다양한 위상에 방전이 발생되기 때문이라고 생각되어진다.



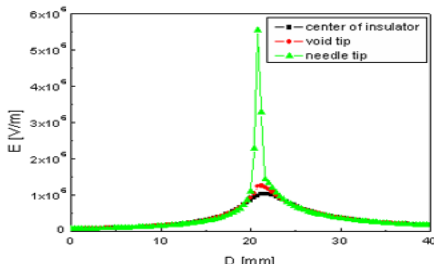
〈그림 4〉 기율기에 따른 군집화

3.2 시뮬레이션

그림 5는 방전개시전압의 수평전계 분포를 나타낸 것으로 그림 5(a)는 침 전극의 기율기가 0°에서 1 [kV]의 전압 인가 시, 절연체 중앙, 보이드 선단, 침 전극 선단에서의 전계분포를 그래프로 나타내었다. 전계 집중도는 침 전극 선단에서 3.54×10^6 [V/m]로 가장 높았고, 절연체 중앙에서 2.06×10^5 [V/m]로 가장 낮은 전계 집중을 보였다.



(a) Slope A

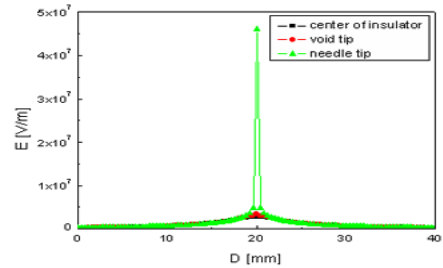


(b) Slope B

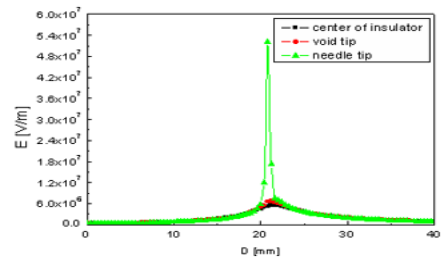
〈그림 4〉 방전개시전압의 수평전계 분포도

그림 5(b)는 침 전극의 기율기가 45°에서 4 [kV]의 전압 인가 시, 절연체 중앙, 보이드 선단, 침 전극 선단에서의 전계분포를 나타낸 것으로 전계는 침 전극 선단에서 5.54×10^6 [V/m]로 가장 높았고, 절연체 중앙에서 1.03×10^6 [V/m]로 가장 낮은 전계 집중을 보였으며 최대전계 값은 0°와 달리 전극기 기율어진 오른쪽으로 이동한 것을 알 수 있다.

그림 6은 절연과피전압의 수평전계 분포를 나타낸 것으로 그림 6(a)은 침 전극의 기율기가 0°에서 13 [kV]의 전압 인가 시, 절연체 중앙, 보이드 선단, 침 전극 선단에서의 전계분포를 그래프로 나타낸 것으로 전계는 침 전극 선단에서 4.6×10^7 [V/m]로 가장 높았고, 절연체 중앙에서 2.67×10^6 [V/m]로 가장 낮은 전계 집중을 보였다. 그림 6(b)는 침 전극의 기율기가 45°에서 21 [kV]의 전압 인가 시, 절연체 중앙, 보이드 선단, 침 전극 선단에서의 전계분포를 나타낸 것으로 전계는 침 전극 선단에서 5.21×10^7 [V/m]로 가장 높았고, 절연체 중앙에서 2.61×10^6 [V/m]로 가장 낮은 전계 집중을 보였으며, 방전개시전압 때와 마찬가지로 최대전계 값이 오른쪽으로 이동함을 알 수 있다.



(a) Slope A



(b) Slope B

〈그림 6〉 절연과피전압의 수평전계 분포도

모든 시료가 침 전극 선단에서 전계가 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 이것은 유전율이 낮은 공기보이드 층에서 전계의 집중이 유발되고, 이로 인해 절연체의 중앙이나 보이드 선단 보다 침 전극 선단에서 더 높은 전계분포를 형성하게 된다고 생각된다.

4. 결 론

침 전극 인가전압에 따른 초고압 절연체 XLPE의 전계분포 실험과 부분방전 실험 결과 침전극의 기율기가 45° 일 때, 방전전하량이 급속하게 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 부분방전 개시 전압은 기율기 각도에 비례하여 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 그리고 K-means 해석을 통하여 침 전극의 기율기로 인해 전계의 집중이 침 선단에서만 집중되지 않고 전계의 확산현상으로 다양한 위상에 방전이 발생할 수 있었고, 공기보이드에 의한 전계집중이 침 전극의 기율기 변화에 의한 전계 집중보다 더 지배적임을 확인하였다. 그리고 시뮬레이션에서 전계 집중은 침 전극의 기율기가 증가할수록 높은 전계 집중을 보였으며 부분방전 실험에서도 이와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Banerjee, P.K., and R. Butterfield: Boundary Element Methods in Engineering Science, McGraw-Hill, pp. 15-30, 1981
- [2] Guanshan Yu, Leen-Kiat Soh, A.Bond, "K-means Cluster with Multiresolution Peak Detection", Electro Information Technology, 2005 IEEE International Conference, pp.1~6, 2005
- [3] Tag-Yong Kim, "The Analysis of Partial Discharge using K-means on Ignition Coil", CMD 2006, p160, 2006
- [4] Tag-Yong Kim, "Analysis of Partial Discharge using Non-Linear Clustering Algorithm", ICMAT 2006, Vol2, pp.502~505, 2006