

전력용 XLPE Cable의 부분방전과 방사전자파 특성

Characteristics of Radiated Electromagnetic Wave and Partial Discharge in Power XLPE(Crosslinkable Polyethylene) cable

이 현철*, 박 광서, 윤 대희, 이 상훈, 김 충년, 박 원주, 이 광식
 (H C . LEE , K S . PARK , D H . YOON , S H . LEE , C N . KIM , W J . PARK , K S . LEE)
 영남대학교 전자정보 공학부

Abstract

XLPE(Crosslinkable Polyethylene) 케이블은 절연성이 우수하여 전력용으로 많이 사용되고 있다. 그러나, 시설된 지 오래된 케이블의 노후화와 지중 매설 케이블의 시공시 및 포설이후 외부손상 등으로 인해 정전사고가 많이 발생하고 있는 추세이다. 본 논문은 케이블의 외부 손상에 의해 발생하는 부분방전에 의해 공간으로 전파되는 전자파를 측정하는 UHF법을 통해 주파수 스펙트럼을 측정하고 측정된 데이터 처리를 통해 방전진전에 따른 스펙트럼의 특성을 분석하였다.^{[1][3][6]}

1. 서 론

전기 에너지의 원활한 공급을 위해 전력계통은 고전압·대용량화가 이루어 지고 있다. 전력계통이 확대됨에 따라 절연과피에 의한 사고시 그 파급효과는 매우 크다. 전력기기 및 전력케이블에 많이 사용되는 XLPE 고체 절연재료는 절연내력이 우수하고 성형이 용이하지만 성형시 보이드나 크랙 같은 결함이 발생할 수 있으며 케이블을 지중에 매설시 외부손상이나 지하수에 의해 결함이 발생한다. 발생한 결함에 의해서 절연물의 절연내력이 상대적으로 약해져 그 부분에서의 전계집중으로 인한 부분 방전발생으로 부분적인 열화가 진행되고 결국 전로 파괴에 이르게 된다.

본 논문에서는 UHF법을 이용해 케이블의 외부 손상에 의해 발생하는 부분방전시 방사되는 방사전자파의 스펙트럼을 측정하여 데이터 처리를 통해 방전진전에 따른 스펙트럼을 특성을 분석하였다.

2. 스펙트럼의 데이터 처리법

그림 1은 본 논문에서 절연진단을 위해 이용한 데이터 처리 방법이다^{[1],[2]}. 스펙트럼 아날라이저에서 주파수대역별로 얻어진 500개의 데이터는 텍스트 형식의 파일로 저장되어지며 신호처리를 위한 프로그램에 입력되어 진다. 먼저 전압을 인가하지 않은 상태에서 얻어진 데이터를 기본으로 하

여 그 데이터의 평균값을 선정하고, 각 전압을 인가한 후 얻어진 데이터 값에서 이 평균값을 빼준다. 이렇게 처리된 데이터에서 '0'이하의 값에 대해서는 그 값을 '0'으로 처리하고, 각 데이터를 평균하여 그 값을 그래프로 표시한다.

이상의 과정을 거치게 되면 배경잡음과 방전이 진전되어 가는 과정에서 얻어지는 데이터와의 차이를 통해 절연 진단에 이용할 수 있게 된다. 즉 배경잡음과 전압인가시 스펙트럼차를 가시적인 도표로 나타낼수 있게 된다.

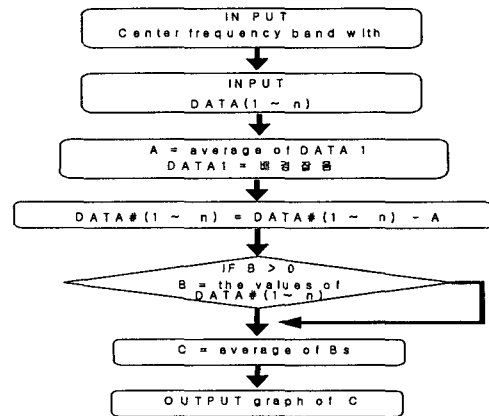


그림 1. 신호처리를 위한 프로그램의 플로우 차트

3. 실험 방법 및 장치

그림 2는 XLPE 고체케이블에 외부 손상으로 인

한 부분방전을 모의하기 위해 전력용 Cable(단심, 38[mm])을 시료로 사용하였다. 케이블 내의 부분방전현상을 관찰하기 위해 외피를 제거하였으며, 절연체 표면과 중심 도체사이의 두께는 7.2[mm]이다.

케이블 표면에 침 전극(스테인레스 재질)을 3 [mm] 삽입 하였으며, 침 전극과 절연체 사이에 1 [mm]의 보이드를 만들었다. 삽입한 침전극의 선단 각도는 약 30도이며 선단 곡률 반경은 20[μm]이다.

이렇게 만든 시료는 연면 방전을 방지하기 위해 절연유에 함침 시켰다. 절연유는 비중이 0.91이고 절연파괴 전압이 2.5[mm]당 30[kV]이상인 1종 2호의 천연광유를 사용했다.

전압인가는 상용주파수 교류전압을 약 1.0[kV/s]의 속도로 인가하였고, 최초 방전개시 전압부터는 2[kV]씩 증가시켜 실험하였다. 침 선단 보이드에서의 부분방전에 의한 열화를 고려하기 위해 전압을 일정시간 동안 유지하였다.

실험에 사용한 장치로는 교류 고전압장치(일본, matsunaga.co. ltd, 입력 : AC 200[V] 50/60[Hz], 출력 : 60[kV]), High Voltage divider (Pulse Electronic Engineering, EP-300K, 10000:1)를 사용하였으며, 방전시 발생되는 방사전자파는 바이코 니칼 안테나 (EMCO-3142), Spectrum analyzer (Advantest-R3131A)를 이용하여 측정하였다.

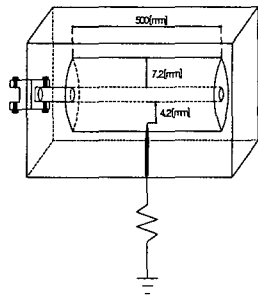


그림 2. 케이블 외부손상을 모의한 시료

4. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 실험실 주변의 배경잡음으로 본 실험에 들어가기 전 모든 측정 장비를 켜둔 상태에서의 주파수 스펙트럼이다. 배경잡음 중에서 주파수 90~120[MHz], 180~200[MHz]대역에서 측정장치 및 방송 주파수대역이다. 부분방전 초기부터 절연 파괴 직전까지의 측정된 방전신호의 전계강도를 검토해본 결과 변화가 많은 500[MHz]이하 대역을

선정하였다.

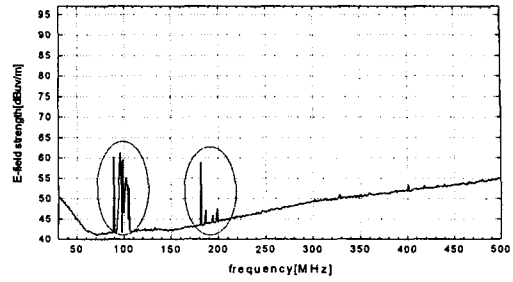


그림 3. 배경잡음

그림 4는 8[kV]인가시 방사전자파의 스펙트럼 분포이고, 8[kV]에서 방전 전류가 처음으로 측정되었다. 55[MHz]와 65[MHz], 80[MHz]대역 부근에서 5[dB]이상의 전계강도가 증가한 데이터가 검출되었다. 그림 5는 인가전압 10[kV] 때의 방사전자파의 스펙트럼 분포이다. 55[MHz]대역에서 12[dB], 65[MHz], 80[MHz]대역에서 10[dB] 이상 전계강도가 증가한 데이터가 검출되었다.

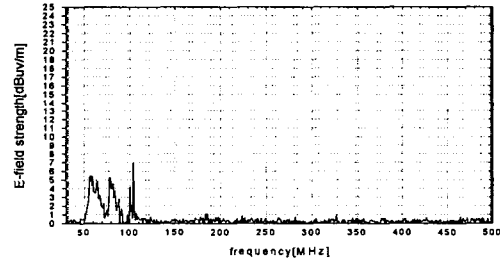


그림 4. 8[kV]인가시 측정된 방사전자파.

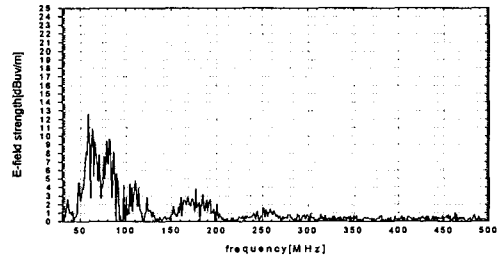


그림 5. 10[kV]인가시 측정된 방사전자파.

그림 6은 16[kV]인가시 측정된 방사전자파의 스펙트럼 분포이다. 55[MHz]대역에 18[dB], 65[MHz]대역에서 15[dB] 이상, 80[MHz]대역에서 18[dB],

170[MHz]대역에서 5[dB] 증가한 데이터가 검출되었다. 250[MHz]대역 부근에서 전계강도가 2[dB] 이상 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 방전 전류를 통하여 침 선단과 절연체 사이에 부분방전 발생 빈도의 증가를 확인하였다.

그림 7은 18[kV]인가시 측정된 방사전자파의 스펙트럼 분포이다. 55[MHz]대역에서 21[dB], 65[MHz]대역에서 15[dB]이상, 80[MHz]대역에서 16[dB], 170[MHz]대역에서 7[dB] 증가한 데이터의 검출되었다. 250[MHz]대역에서 전계강도가 3[dB]이상 증가된 데이터가 검출되고, 300[MHz]에서 2[dB] 이상 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 부분 방

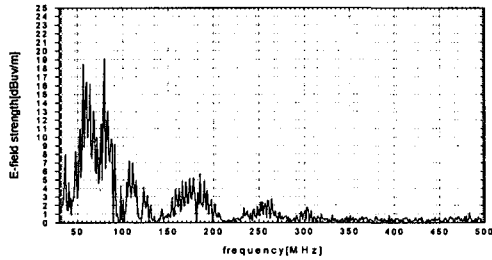


그림 6. 16[kV]인가시 측정된 방사전자파.

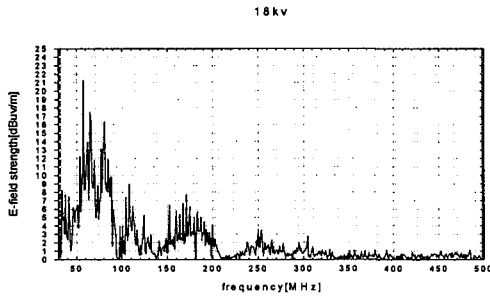


그림 7. 18[kV]인가시 측정된 방사전자파.

그림 8은 24[kV]인가시 측정된 방사전자파의 스펙트럼 분포이다. 55[MHz]에서 17[dB]이상, 65[MHz]에서 10[dB]이상, 80[MHz]에서 15[dB]이상, 170[MHz], 250[MHz], 300[MHz]에서 5[dB]이상 전계 강도가 증가한 데이터가 검출되었다. 부분방전은 연속적으로 계속 유지되기 시작하였다. 이전 전압까지 나타나지 않았던 350[MHz]~500[MHz]이후 대역에서 2[dB]이상 증가된 데이터가 검출되었다.

그림 9는 28[kV]인가시 측정된 방사전자파의 스펙트럼 분포이다. 55[MHz]대역에서 15[dB], 65[MHz]대역에서 20[dB]이상, 80[MHz]대역에서 15[dB], 170, 250[MHz], 대역에서 10[dB] 증가한 데이터의 검출되었으며, 300[MHz]에서 5[dB] 이상, 350[MHz]~500[MHz]대역에서 3[dB]이

상 증가한 데이터가 검출되었다. 부분방전은 휴지기간 없이 연속적으로 더욱 강하게 발생하며, 트리의 성장이 급속히 진전되어 나가는 것이 관찰되었다.

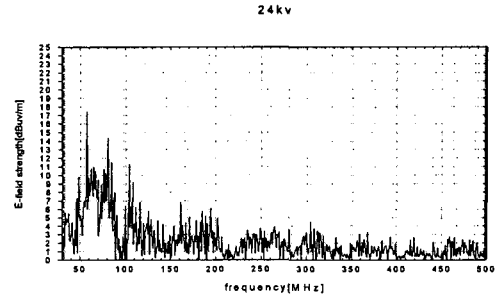


그림 8. 24[kV]인가시 측정된 방사전자파.

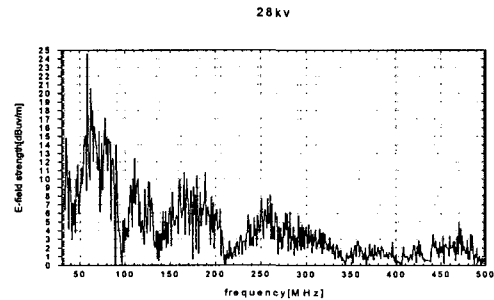


그림 9. 28[kV]인가시 측정된 방사전자파.

침 전극 선단에 코로나가 발생하여 고체내에 열화가 시작되는 8[kV]~10[kV]에서는 55, 65, 80[MHz]대역에서 전계 강도가 5~10[dB]이상 증가한 데이터가 검출되었으며, 침 선단과 절연체사이에 부분방전이 발생하여 트리가 진전해 가는 16[kV]~18[kV]에서는 55, 65, 80[MHz]대역에서 전계 강도가 10~15[dB]이상 증가한 데이터가 검출되었고, 170[MHz]대역에서 5[dB], 250[MHz]대역에서 3[dB]이상 증가된 데이터가 검출되기 시작하였다. 침선단과 절연체 사이에 부분방전이 연속적으로 발생해 트리의 성장이 급속도로 진전해 가는 24[kV]~28[kV]에서는 55, 65, 80[MHz]대역에서 전계 강도가 10~15[dB]이상 증가, 170[MHz], 250[MHz]대역에서 5~10[dB]이상 증가된 데이터가 검출되었고, 300[MHz]대역에서 5[dB], 350~500[MHz]대역에서 3[dB]증가한 데이터가 검출되기 시작하였다.

침 선단 코로나 발생하는 방전 초기에서 부분방전이 연속으로 일어나는 방전 말기까지 방사되는 방사전자파의 스펙트럼의 분포가 고주파수 대역으로 이동하는 것은 부분방전 신호의 Rising-time이

증가하기 때문이며^{[4][6]}, 500[MHz]이후의 대역에서 신호가 검출되지 않는 이유는 방사되는 방사전자파의 고 주파수 대역 성분이 공기보다 유전율이 높은 고체절연물을 통과하면서 감쇠되는 것으로 사료된다.^{[3][5]}

표 1은 전술한 신호처리 기법에 따라 30[MHz]~500[MHz] 대역에서 각 인가 전압에 따른 평균 전계 강도의 증가를 나타냈다. 침 선단에 코로나가 발생하는 10[kV]는 1.2[dB]정도 증가하였으며, 부분방전이 발생되어 트리가 진전하기 시작하는 18[kV]는 2.0[dB]정도 증가하였다. 아크의 발생이 연속적으로 발생하는 24[kV]부터 전계강도가 크게 증가하여 전로파괴 직전인 28[kV]에서는 평균전계강도가 4.1[dB]정도 증가하였다. 표 1을 통하여 인가전압 상승에 따라 주변으로 방사되어지는 전자파의 평균전계강도 증가를 확인하였다.

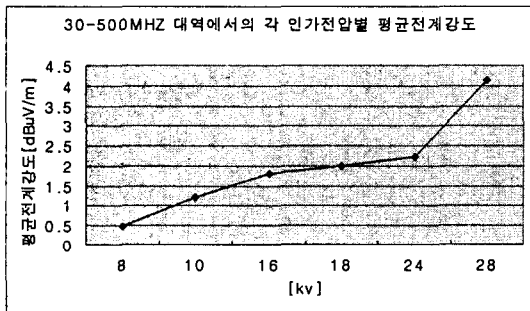


표 1. 30 - 500[MHz] 대역에서의 각 인가전압별 평균전계강도

3. 결론

전력용 XLPE-Cable의 외부손상을 모의하기 위해 케이블 표면에 침 전극을 삽입하고, 인가전압을 점차로 증가시켰을때 증가하는 부분방전에 의해 트리 발생 및 성장시의 방사전자파의 스펙트럼을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 방전초기에는 50~80[MHz] , 방전 중기에는 170[MHz], 방전 말기에는 300~500[MHz] 대역에서 방사전자파 스펙트럼의 발생이 확인 되었으며 이를 통해 방전진전에 따라 특정 주파수 대역의 신호가 증가함을 알 수 있다.
- 2) 신호처리 프로그램을 통해 배경잡음과의 전

계강도를 비교함으로써 부분방전 진전을 판단 할 수 있다.

본 논문은 XLPE(Crosslinkable Polyethylene) Cable 외부결함에 의해 발생하는 부분방전시 방사되는 전자파를 측정 분석한 것으로 향후 절연진단 평가시 유용한 신호처리 기법이 되리라 판단한다.

참 고 문 헌

- (1) 이상훈, "絶縁診斷을 위한 氣中放電과 放射電磁波의 상호관계", 영남대학교, 1999. 2월
- (2) 이상훈 외 6인, "방사전자파 특성을 이용한 부분방전 검출의 기초연구", 대한전기학회 논문지 제49권 제7호 pp.412~417, 2000년 7월30일
- (3) 김기재, 이광식, 이동인, "방사전자파에 의한 미소간극 방전원의 방전 전류 파형 추정", 한국전자파학회 논문지, Vol. 11, No. 1, 2002. 2월.
- (4) 박광서 외 6인, "액체질소중 정극성 직류방전시 방사 전자파의 주파수 스펙트럼 특성", 대한전기학회 논문지 Vol. 48C, No.9, pp.648~655, 1999년 9월1일
- (5) H.Okubo, et, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharge and its Relation to Partial-Discharge Characteristics" ETEP Vol.7, No1. 1997
- (6) Hikita, M, Hoshino, T, Kato, K, Hayakawa, N, Ueda, T, Okubo, H, "Discrimination of partial discharge electromagnetic signal in SF6 gas from external noise using phase gate control method", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Vol,1, pp117~120, 1996

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(과제번호: R01-2000-00245)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.