

154kV XLPE 케이블 실선로 부분방전 검출

김충식\* 이진선\* 김종철\* 박창기\*\* 석광현\*\*\* 김원년\*\*\*  
 LG전선\* 한국전력\*\* M-Power\*\*\*

Partial Discharge Measurement for 154kV XLPE Cable Line

C. S. KIM\* J. S. LEE\* J. C. KIM\* C. G. Park\*\* K. H. SEOK\*\*\* W. N. KIM\*\*\*  
 LG Cable\* KEPCO\*\* M-power\*\*\*

**Abstract** HFPD(High Frequency Partial Discharge) measurement has been widely performed to diagnose cable system in the world. Shin-Yeongdeungpo 345kV XLPE line was successfully diagnosed by PD measurement methode last year. Moreover, aged power cable lines which were installed 15 years ago have been tested from this year.

In this paper, the result of PD diagnosis for aged 154kV cable line is reported. The PD pattern from TMJ which was monitored by PD measurement system for several days showed typical void pattern. The joint was replaced and voids between semi-conductor layer and insulating layer in the joint was founded.

용량과 비슷한 것을 사용하여 PD신호가 잘 검출될 수 있도록 한다. 그리고, PD장비는 1MHz이하의 신호를 검출하므로 외부 노이즈를 차단하기 위한 쉴드룸이 필요하다. 따라서 실선로에서 이러한 방식으로 PD를 측정하기 위해서는 케이블 선로와 유사한 용량을 가진 커플링 커패시터와 쉴드룸이 필요하므로 적용이 곤란하다.

실선로에서 PD측정에 사용되고 있는 HFPD측정방법은 부분방전의 측정 주파수 대역을 수 내지 수백 MHz의 고주파 영역에서 측정하는 것을 말한다[3]. 케이블 절연층을 비롯하여 각종 전력기기에서 발생하는 부분방전 전류 펄스는 수백 psec의 펄스 상승시간 및 수십 nsec경도의 펄스 지속시간을 갖는다. 이러한 부분방전 신호의 주파수 스펙트럼을 보면 수백 MHz까지의 주파수 대역에 분포한다. 대부분, 케이블 도체를 통해 유입되는 외부 노이즈의 경우 선로를 따라 진행하면서 고주파 대역의 주파수 성분은 급격히 줄어들므로 접속함에서 고감도의 PD측정이 가능하다.

예를 들어 그림 1과 같이 저주파 대역에서는 노이즈와 PD신호의 구분이 어렵지만 고주파 대역에서는 스펙트럼 크기의 차가 큰 것을 알 수 있다. 따라서 부분방전 신호의 주파수 특성을 이용하여 최대의 S/N비(신호 대 노이즈 크기)를 가지는 주파수를 Tuning하여 부분방전을 측정할 경우 측정 감도를 크게 향상시킬 수 있다. 예를들어, 5MHz대역에서 측정하는 경우 노이즈로 인하여 부분방전 펄스를 구분할 수 없지만 30MHz 대역의 경우 부분방전 펄스를 확연히 구분할 수 있다.

1. 서 론

초고압 케이블 선로의 이상 유무를 진단하기 위한 부분방전 측정방법이 개발 되어 실선로에 대한 진단경험이 축적되고 있다. 작년에 준공된 신영등포 345kV XLPE 선로에 대해서 PD(Partial discharge)시험을 국내 최초로 실시하여 선로의 건전성을 확인하였고, 올해부터 본격적으로 노후 선로에 대한 PD시험을 진행해 왔다[1]. 초고압 케이블 선로에서의 PD 측정은 접속함의 방식층 위에 박전극을 설치하고 고주파 대역의 PD신호를 측정하므로써 외부에서 유입되는 노이즈를 감소시켜 고감도의 PD 검출이 가능하다. 이러한 방법은 기설선로의 PD 시험에 아주 용이하다[1,2].

초고압 XLPE 전력케이블 선로의 사고 유형을 보면 제조 시 보이드 및 이물질 혼입에 의한 절연과피, 시공 불량, 외부 요인(의물접촉, 고장과급, 화재), 경년열화 등으로 나눌 수 있다. 시공 초기의 불량은 준공 후 몇 해 안에 사고를 일으키지만 오래된 노후 선로의 경우는 주로 외적인 요인으로 사고가 발생할 가능성이 높다. 예를 들어, 케이블 선로의 열적, 기계적인 스트레스의 반복으로 접속함 내부의 취약부에 악영향을 주거나 공사 중 작업자의 실수로 선로 외부에 손상을 일으킬 수 있다.

본 논문에서는 준공 후 17년이 지난 154kV XLPE 200mm<sup>2</sup> 초고압 선로를 PD 시험한 결과에 대해 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 초고압 선로에서 부분방전 측정 기술

초고압 케이블이 공장에서 출하되기 전 품질검사의 한 방법으로 실시되는 PD 측정방법은 IEC규정에 따라 케이블과 병렬로 커플링 커패시터(Coupling capacitor)를 사용하여 PD를 측정한다. 커플링 커패시터는 가능한 케이블 정전

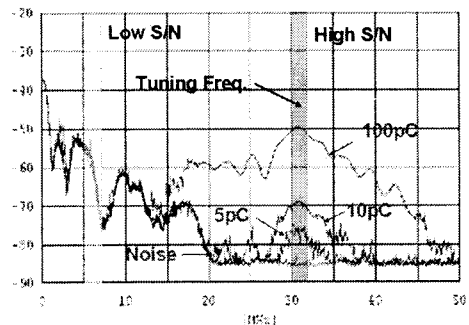


그림 1. 백그라운드 노이즈와 PD펄스의 주파수 스펙트럼

2.2 측정방법

그림 2은 PD 모니터링 시스템 구성도이다. 접속함 표면에 박전극을 설치하여 접속함 내부에서 발생한 PD신호를 검출한다[1]. 이러한 형태의 센서를 CIGRE WG 보고서에

서는 Sheath Interruption Sensor[4]이라고 분류하고 있으며 통상적으로 박전극 센서라고 부른다. 그림 2과 같이 절연접속함의 절연통 양쪽에 금속 박전극을 설치하고, 입피던스 Zd를 통해 검출된 펄스 신호는 앰프를 통해 측정기 본체에 입력된다[1,2]. 측정은 S/N비가 좋은 고주파 대역의 PD신호를 검출한다. 검출된 PD펄스의 크기와 그순간의 신호 전압위상 정보를 일정시간 동안 축적하여 횡축이 위상( $\phi$ ), 종축이 방전량(q) 그리고 발생빈도수(n)를 나타내는  $\phi$ -q-n 패턴이 된다. 이러한 PD패턴은 부분방전 메커니즘과 열화 정도에 따라 다양한 형상과 변화를 나타내기 때문에 절연진단에 주요한 요소로서 인식되어 많은 연구가 이루어지고 있다[5].

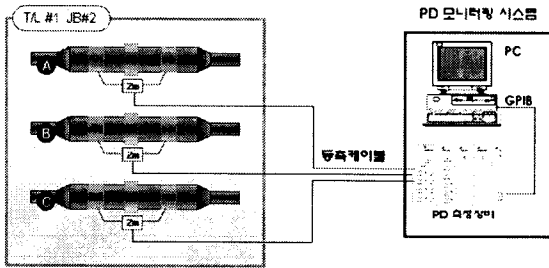


그림 2. 부분방전 모니터링 시스템 구성도

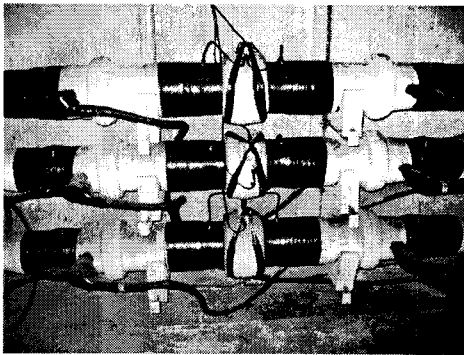


그림 3. 접속함 위 박전극 설치 모습

## 2.3 지중 송전 선로 진단 사례

### 2.3.1 선로개요 및 진단방법

진단대상 선로는 17년전 준공 완료된 154kV XLPE 200mm<sup>2</sup> 초고압선로로서 전장이 5km이고 TMJ(Tape Molded Joint)형 접속함이 사용된 노후선로이다.

이 선로는 휴대용 PD장비를 이용하여 열화진단하던 중, 이상신호가 불규칙하게 검출되어 정확한 진단을 위하여 일정 기간동안 모니터링을 실시하였다. 시스템 구성은 그림 2와 같다. PD 센서는 그림 2, 3과 같이 절연접속함(IJ)의 PVC 방식층 표면에 절연통을 좌우로 하여 한 쌍의 금속 박전극을 설치하고, 금속 박전극과 보호동관 사이에 형성되는 커패시턴스로서 내부 부분방전을 커플링(Coupling)하는 원리이다. 접속함 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 절연통을 경계로 반대편 케이블이 커플링 커패시터 역할을 하게 된다. 이때 박전극을 통해 PD펄스 전류의 경로를 만들고 Zd에서 부분방전이 검출된다[1].

측정방법은 10분 간격으로 1분간 측정하여 한 상당 약 3일간씩 지속적으로 데이터를 저장하였다.

### 2.3.2 진단 결과 및 분석

PD 모니터링을 통하여 모두 2종류의 PD패턴이 검출되었다. 그중 한 종류는 코로나 형태의 패턴이었고 다른 한 종류는 그림 4와 같은 보이드형 PD패턴이었다. B상과 C상에서 두 종류의 PD패턴이 나타났는데, 보이드형 PD패턴의 경우 PD발생 빈도수가 약 10% 정도로 간헐적으로 발생하였으며 B상의 최대 방전량은 약 80pC이었고 C상은 10pC 미만이었다. 이런 형태의 PD패턴은 전형적인 보이드형 패턴의 한 예로서 그림 5와 같이 일본 중부전력에서도 보고된 바 있다[6]. 보이드형 PD패턴은 주로 “토끼형”(Rabbit-like pattern)과 “거북이형”(Turtle-like pattern)으로 분류되며 그림 4, 5와 같은 형상은 반도체 계면의 보이드에서 발생한 사례가 있다[5, 6].

보이드형 PD패턴은 절연체를 급속하게 파괴시켜 순식간에 사고를 일으킬 가능성이 크므로 접속함의 신속한 교체작업이 필요하다. 따라서 그림 6과 같이 선로를 정전시켜 B상의 접속함을 교체하였다. 또한, 접속함 해체 중 세밀하게 부분방전의 발생원을 조사하였다. 그림 7은 해체된 접속함 내부의 외도 반도체층 하부에서 발견된 보이드를 나타내고 있다. 크기는 약 5mm×3.5mm정도였으며 그 주위에도 박리된 형태의 조그마한 보이드들이 관찰되었다. 따라서, PD패턴 분석에 의한 PD발생원 예측과 일치하였다. 이러한 결과는 국내 초고압 지중선로에서 최초로 발견된 사례로서 실선로 PD진단 연구에 중요한 자료가 되리라 사료된다.

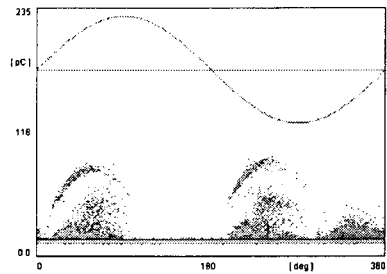


그림 4. B상에서 측정된 보이드형 PD패턴

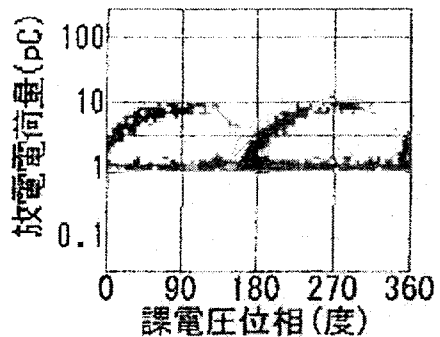


그림 5. 반도체층 계면에서 검출된 PD패턴(참고[6])



그림 6. 접속함 해체 사진

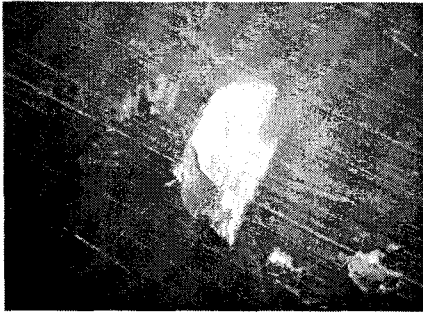


그림 7. 반도체 계면에서 발견된 보이드

### 3. 결 론

HFPD 측정기술로 작년 신설선로인 신영등포 345kV XLPE 선로를 진단하여 선로이상 유무를 확인하였고 또한 올해부터 실시한 노후선로 PD진단을 통하여 접속함 내 결함부를 발견하였다. 이것은 PD진단 기술이 초고압 지중선로의 진단에 유용한 Tool임을 잘 나타내고 있다. 따라서, 국내에는 포설된지 15년 이상 된 초고압 지중선로가 증가하고 있어 노후선로의 안전점검을 위한 종합적인 진단계획이 필요하다고 사료되어 진다.

#### [참고문헌]

1. C.S.Kim, J.S.Lee, C.Y.Lee, W.N.Kim, "On-site PD measurement for after-laying test of 345kV XLPE cable system in Korea", Proceedings of J-K Symposium on ED & HVE, pp. 125-128, Nagasaki, Japan, Nov. 6-7, 2003
2. 신두성, 이창영, 김충식, 전승익, 김동욱, 박완기, "고주파 부분방전 측정에 의한 초고압 접속함 신뢰성 평가기술", 전기학회논문지, 제49권, 제3호, pp.186-195, 2000
3. E.Pultrum, M.J.M.Vanreit, "HF partial discharge detection of HV extruded cable accessories", JICABLE 95 4th international conference on insulated power cables, Paris France, June 25-29, 1995
4. "Partial Discharge Detection in Installed HV Extruded Cable Systems", CIGRE Working Group 21.16
5. C.S.Kim, T.Kondo, T.Mizutani, "Change in PD Pattern with Aging", IEEE DEI, Vol.11, No. 1, pp.13-18, 2004