

## 부분방전 측정 시험을 위한 기준 신호 검출

이용성, 이경용, 최용성, 이창수, 박대희  
원광대학교, (주) 엠파워\*

### The Detection of Calibration Signal for Test of the Partial Discharge Measurement

Yong-Sung Lee, Kyoung-Yong Lee, Yong-Sung Choi, Chang-Su Lee and Dae-Hee Park  
Wonkwang University, M Power\*

**Abstract** 본 논문은 부분방전검출 시험 전에 수행하는 Calibration 신호 주입 및 검출 방법에 대한 연구이다. 사용된 시료는 활선상의 배전용 XLPE 케이블이다. 실험방법은 50kV 내전압기 (750-2CTS, Hipotronics)로부터 공급된 Calibration 신호를 Lemke (LDP-5, LDIC), 오실로스코프 (TDS-3012, Tektronix)와 주파수 분석기 (8563E, HP)를 사용하여 측정하였다. 마지막으로 시험에 사용된 센서는 안테나 특성의 UHF 센서와 고주파 특성의 HFCT 센서이다. 실험결과, Calibration 신호 주입 시 시험 환경 및 센서에 따라 Calibration 신호와 주입방법의 차이가 발생하였다. 따라서 신호의 형태와 인가 전하량에 따른 Calibration 파형과 전하량 변화를 알 수 있었다.

#### 1. 서론

XLPE 절연재료를 사용한 지중송전 케이블은 실험실과 현장에서 부분방전에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다. XLPE 케이블의 절연성능 향상을 위해 절연재료의 컴파운드 공정은 이물질 (impurity)을 차단한 조건에서 압출 내부 반도체층, 절연층 및 압출 외부 반도체층이 동시에 한 개의 크로스헤드를 이용하여 압출하는 3중 동시 압출 방식을 채택하고 있다. 이로 인해 반도체층과 절연층 사이의 경계면에서의 이물질 혼입과 돌기를 억제할 수 있다.

그러나 제조공정의 향상에도 불구하고 절연체 내에서는 규정치 이하의 이물질 및 제조 불량으로 인한 이물과 보이드가 존재할 수 있으며 반도체층 경계면에서는 보이드와 공극 등의 발생도 나타난다. 이들은 높은 전계강도가 가해지면 XLPE 절연체내에는 부분방전 (Partial Discharge)이 발생하게 되어 전기트리 (Electrical tree)로 열화가 시작하며 장시간의 열화 현상이 지속될 경우 절연과피를 일으키게 된다. 전기 트리 발생에 대해서는 국부적이고 전계에 의한 진성과피 발생설과 국부장전에 의한 이온충격 발생 원인설이 있다 [1, 2].

부분방전 시험에서 방전 전하량을 pC으로 나타내

는데 실험실이나 현장에서 주로 사용되고 있는 측정 장비의 주 신호검출은 방전주파수와 방전전압으로 센서 및 측정부의 전기적 등가회로를 연산하여 전하량을 얻어내고 있다.

검출 시험에서 주요 변수로는 방전신호의 위상, 회수, 외부 노이즈 등이 있다. 부분방전 시험에 있어서 검출된 전하량의 정량적인 검출을 비교분석하기 위해 선행되는 Calibration 신호 주입 및 검출 방법을 연구하였다. 부분방전 시험은 동일 조건에서 서로 다른 검출 장비를 이용한 진단에서 검출량의 변화가 큰 차이가 있는데 해당 장비의 Calibration 방법이나 정량적 검출법의 차이가 있음을 알 수 있었다.

따라서, 본 논문에서는 Calibration 신호와 주입 센서의 임피던스 관계와 삽입손실로 인한 신호 검출의 오차 등을 연구하여 부분방전 측정의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

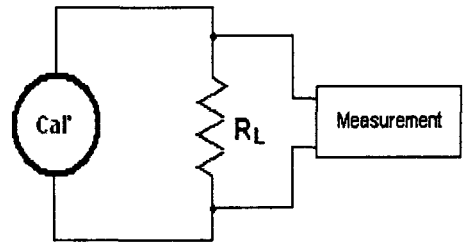
## 2. 실험 방법

### 2.1 개요

부분방전 신호는 pC 단위의 방전량으로 나타난다. UHF Calibrator를 사용하여 10 pC ~ 250 pC의 Calibration 신호를 인가한 후 UHF 센서에서 검출된 신호를 오실로스코프와 주파수 분석기를 사용하여 측정하였다. 오실로스코프에서 측정된 신호의 크기는 전압 (V)으로 나타나고 측정된 전압과 검출센서의 임피던스를 환산하여 부분방전 전하량을 알 수 있다 [3]. 부분방전 신호의 주파수 분석을 하기 위해 센서에서 검출된 신호를 스펙트럼 아날라이저를 사용하여 분석하였다.

### 2.2 실험 장치

부분방전의 크기는 pC 단위로 나타내어지는데 Calibration 신호의 크기를 분석시험하기 위한 장비로 오실로스코프를 사용하였다. 오실로스코프는 전압신호를 시간차로 분석할 수 있는 장비로 직접 전류분석을 할 수 없다. 그림 1은 고정 임피던스 조건을 맞추기 위해서 자기특성과 전하특성이 거의 없는 금속피막저항에 Calibrator의 신호를 인가하여 양단 신호를 검출하는 등가회로이다 [4]. 금속피막저항은 주파수특성 변화가 거의 나타나지 않기 때문에 Calibration 신호를 검출이 가능하다.



Cal' : Calibrator  
 $R_L$  : 금속피막저항  
 Measurement : 시험 계측기

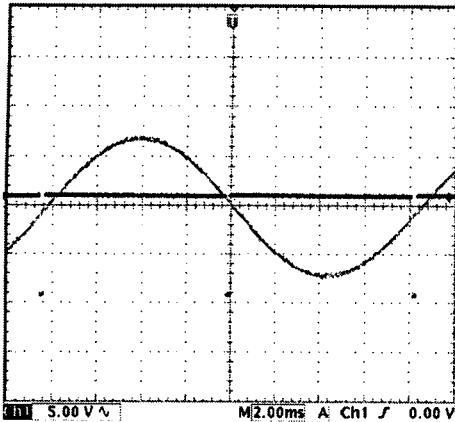
그림 1 Calibrator 신호분석

$R_L$ 의 저항값을 1k $\Omega$ , 5k $\Omega$ , 10k $\Omega$  및 100k $\Omega$ 로 변경하여 Calibration 신호를 인가하여 검출하였다. 또한 Calibration 신호 주입량도 변화를 주어 방전 펄스크기를 분석하였다. 프로브의 합성 임피던스는 한계 주파수까지는 고 임피던스를 가지고 있기 때문에 프로브의 한계주파수인 500MHz까지는 신호 검출시 영향을 주지 않는다. 따라서, 높은 범위의 주파수 특성으로  $R_L$ 과의 합성 임피던스에서 큰 변화를 주지 못하였다. LCR 측정기에 의해 오차가 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다.

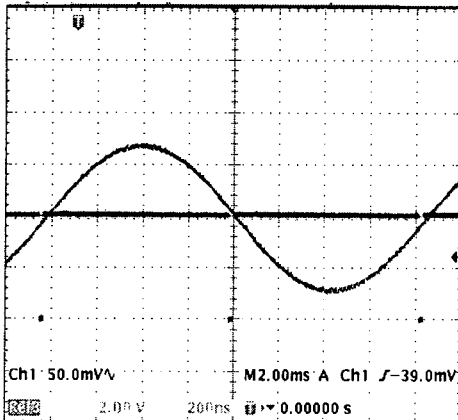
## 3. 결과 및 검토

그림 2 (a)는 오실로스코프를 사용하여 Calibration 신호를 검출한 것이다. 부분방전 신호는 60Hz 주기에서 1/4분면 및 3/4분면에서 발생하지만 Calibration 신호는 해당 위상에서 동작하지는 않으므로 나타난 위상은 중요하지 않다.

그림 2 (b)의 Calibration 신호는  $R_L$ 의 저항의 변화를 주어 비교 검출하였다. 해당 Calibration 신호를 센서 주입 전 방전 전하량을 시험하기 위한 방법으로 주파수 특성에 임피던스 변화가 발생하지 않도록 100k $\Omega$  저항에 신호 주입 후 검출하였다. 그림 2 (a), (b) 및 (c)는 Pulse 신호를 그림 1에 적용하여 방전량을 비교하기 위한 검출 신호이다. 그림 3은 검출된 Calibration 신호를 확대하여 방전량을 계산하기 적합하도록 신호의 크기를 조정하였다.



(a)  $R_L = 100\text{ k}\Omega$



(b)  $R_L = 1\text{ k}\Omega$

그림 2 Calibration 신호검출

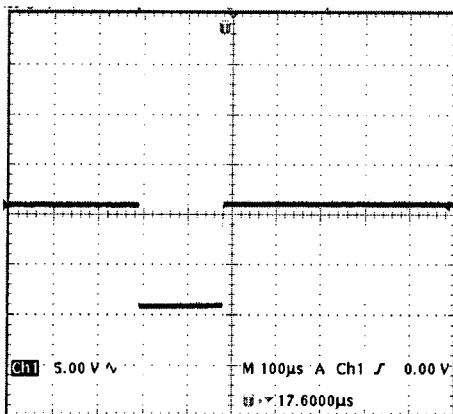


그림 3 Calibration 신호의 펄스크기확대

#### 4. 결론

본 연구에서는 지중케이블 선로 및 XLPE 시료의 부분방전 진단 시험 전에 선행되는 Calibration 신호를 분석하여 부분방전 측정의 신뢰성을 향상시키고자 하였다. Calibration 신호는 부분 방전량과 유사 신호를 발생시키므로 펄스신호로 검출되었다. 방전량을 검출하기 위한 측정 장비로는 오실로스코프로서, 방전량의 크기를 전압과 시간으로 나타내었으나, 시료와 센서의 등가회로로서 임피던스에 흐르는 방전전류가 검출된 것이다. 이상의 실험 결과에 의해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 지중케이블 및 시료에 Calibration 신호를 주입 후 검출센서와 시료사이에서 구성되어진 등가회로 즉 임피던스가 변화를 하게 되면 부분방전 신호를 검출하더라도 검출된 전하량 (오실로스코프상의 전압의 크기)은 신뢰성을 잃게 된다.
2. Calibration 신호를 주입할 대상물의 임피던스가 매우 높거나 반대로 매우 낮을 경우 Calibration 신호가 왜곡될 수 있음을 알 수 있었다.
3. Calibration 신호의 주파수보다 벗어난 부분방전 신호 검출시 임피던스 변화로 인해 펄스 전압의 크기만으로 수치해석은 방전량의 많은 오차가 발생하게 된다.

#### 참고 문헌

- [1] 이 전선, "HFPD 부분방전 검출을 이용한 XLPE 전력 케이블 시스템 진단기술 개발 연구", 한양대학교 박사학위논문, 2003.
- [2] R. Plath, T. Sterehl, W. Kalkener, "Oscillating Voltages for On-site Partial Discharge Detection and High Voltage Testing of Extruded Power Cables", 8th, ISH, 1993.
- [3] Kreuger, Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment.
- [4] E. Pultrum, E.F. Steennis, and M.J.M. Vanreit, "Test after Laying, Diagnostic Testing Using Partial Discharge Testion at Site", CIGRE session 15/21/33-12, 1996.