

부분방전 측정을 위한 음향방출센서의 교정방법에 관하여

김광화, 이상화, 선종호, 한상보, 김민규
한국전기연구원

Calibration Method of Acoustic Emission Sensors for Measurement of Partial Discharge

Kwang Hwa Kim, Sang Hwa Yi, Jong HO Sun, Sang Bo Han, Min Kyu Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper was described about the calibration method and setup of calibration system. This method and system were based on ISO 12713 and 12714. This system consisted of a conical type reference sensor, test block, glass capillary source and measuring oscilloscope. The waves of reference sensor and tested sensor was shown and these wave was analyzed with ISO method.

적은 180mm 길이 방향으로 직경 400mm인 원통을 포함해야 하고 양면은 0.12mm(±0.06mm)이내로 평탄해야 한다.

1. 서 론

전력기기의 절연상태의 진단에 사용되는 부분방전의 측정은 매우 중요하여 많은 기술개발이 이루어졌다. 부분방전의 측정법은 여러 가지가 있지만, 가장 많이 개발되어 사용되는 방법은 전기적인 측정법과 음향적인 측정법이다. 전기적인 측정법은 정량 측정에서 유리하지만, 잡음제거가 어려운 단점이 있어 이를 제거하는 데 비용과 시간이 많이 소요되므로 이의 보완 방법으로 음향적인 진동센서인 음향방출센서와 가속도 센서를 이용하여 부분방전 측정의 기술을 개발하고 있다. 이 중에서 음향방출의 센서가 사용주파수와 감도에서 우수함으로 많이 사용하고 있다. 그렇지만 이들 센서는 기계적인 진동을 전기적인 신호로 바꾸는 압전물질을 사용함으로 정량화 및 표준화가 쉽지 않고 열화하는 특성을 가지고 있으므로 교정이 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 음향 방출센서를 교정하기 위하여 ISO규격[1,2]을 바탕으로 2차 교정용 기준센서[3,4], 측정용 블록, 음원발생원 및 평가 방법 등에 관하여 소개하고자 한다.

2. 교정용 장치의 구축과 평가 방법

2.1 교정장치의 구성

교정장치는 ISO 12713(1차) 및 12714(2차)에 의하면 기준센서, 측정용 블록, 음원발생원, 파형 기록장치로 구성되며, ISO 12714(2차)에 의하면 다음과 같은 특성을 가지고 있어야 한다.

2.1.1 기준센서[3,4]

상기의 규격에 의하면 2차 교정시스템에서 기준센서는 NBS 코니컬 트랜듀서로 하는 것으로 한다. 일반적으로 기준센서는 1차 교정에 의해 결정된 것과 같이 100μ에서 1㎍ 주파수 범위에서 속도 또는 변위에 대해서 20dB 이내의 평평한 주파수 특성을 가져야 한다.

본 연구에서는 다음 그림1과 같이 센서를 설계하고 제작하였다.

2.1.2 측정용 블록

시험블록은 철로 만든다. 철 시험블록에 대해서 두께가 적어도 180mm인 평행한 면을 가져야 한다. 블록의 체

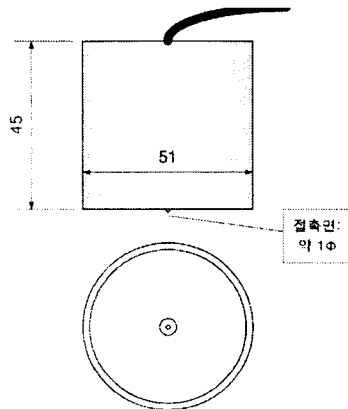


그림 1 코니컬형 기준센서

철 블록에서 블록의 상부 표면(측정면)은 거칠음이 RMS 1μ이내이어야 하고 블록의 중심영역에서 적어도 3곳의 형상추적으로 결정해야 한다. 블록의 하부 표면은 거칠음이 RMS 4μ이내 이어야 한다. 블록은 2㎍에서 5㎍사이의 주파수의 종파 초음파로 흡집을 조사를 해야 한다. ASTM E 114에 따른 절차에 따라야 한다. 블록은 첫 번째 벽 반사파의 12%보다 더 큰 반사파를 주는 흡집은 없어야 한다.

이상과 같은 조건을 만족할 수 있도록 하여 다음 그림 2와 같이 블록의 직경과 높이를 420mm, 200mm 로 설계하고 제작하였다.

2.1.3 음원 발생원

2차 교정시스템에 적용된 발생원은 유리 모세관 깨뜨림이다. 모세관은 0.1mm에서 0.25mm의 직경을 갖는 6mm길이의 파이렉스 튜브를 준비해야 한다. 발생은 4mm 직경의 유리막대로 그림 3과 같이 설치하여 시험블록쪽으로 압력을 가하여 발생시킨다.

일반적으로 2차 교정 발생원은 100μ에서 1㎍의 범위내의 모든 주파수에서 교정측정을 편리하게 할 수 있는 충분한 에너지를 제공할 수 있는 매우 작은 직경의 모세관으로 해야 한다. 교정기술에 따라서 발생원은 유리 깨뜨림 기기, 스파크기기, 펄스구동 트랜듀서 또는 음파 파열 발생기에 의해 구동되는 NBS 코니컬 트랜듀서와 같은 것이 될 수 있다. 발생원이 2% 이내의 편차로 반복이 가능하다면 기준센서와 시험센서는 동시가 아닌 순차적인 방식으로 시험을 할 수 있다.

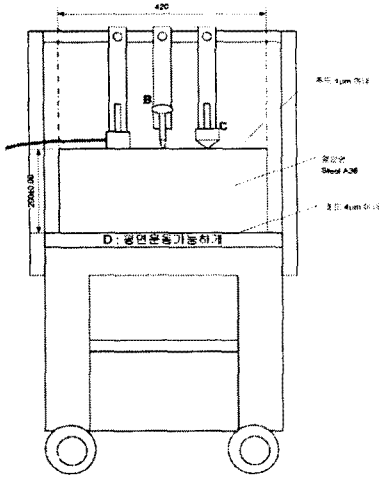


그림 2 측정용 블록

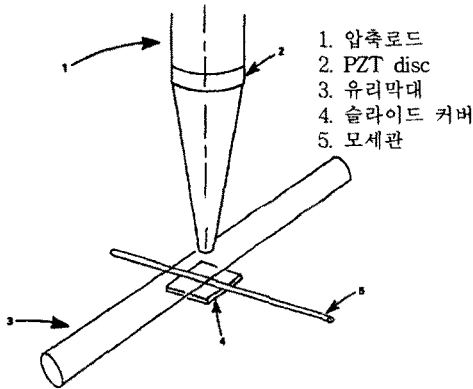


그림 3 음원발생원 구성도

2.1.4 파형 기록장치

과도 발생원을 사용하는 방법에 대해서 계측은 하나의 컴퓨터와 2개의 동기된 과도 기록기 하나는 기준센서 채널용 다른 하나는 시험센서 채널용이다. 과도기록기는 적어도 8bit의 정확성과 200의 샘플링이거나 적어도 10bit의 정확성과 10의 샘플링은 되어야 한다. 이들은 적어도 55μs의 데이터 저장능력을 가져야 한다. 데이터는 처리를 위해서 컴퓨터를 전달되고 영구기인 플로피 디스크와 같은 영구저장장치에 저장되어야 한다.

2.2 평가방법

교정시스템에서 2개의 채널로 동시에 각 채널마다 파형을 2,048개의 10 bit 데이터를 Δt=0.05μs 간격으로 샘플링하여 기록한다. 파형의 각 기록에서 반사파가 발생하기 전인 55μs 이후의 파형을 제거하고 55μs 이전의 기록에서 10개의 값을 모두 평균화한다. FFT를 사용하여 기준센서와 교정될 센서의 복소 스펙트라 S(f_m)과 U(f_m)을 다음 식(1)과 식(2)와 같이 구한다.

$$S(f_m) = \sum_{j=0}^{n-1} s_j \exp(i2\pi m j/n) \dots\dots\dots(1)$$

$$U(f_m) = \sum_{j=0}^{n-1} u_j \exp(i2\pi m j/n) \dots\dots\dots(2)$$

여기에서 f_m = m/T [m차 주파수(MHz)], s_j = 기준센서

에서 j 번째 샘플, u_j = 교정될 센서에서 j 번째 샘플, m = 0, 1, 2,....., n/2-1, n = 2,048, j = 0,1,2,3,....., n-1이다. 주파수 간격은 1/T = 9.76 kHz이고, 교정에서 전치 증폭기와 파형기록의 이득을 고려하여 s_j, u_j를 전압(V)으로 바꿀 수 있다. 교정될 센서의 응답은 다음 식(3)과 같다.

$$D(f_m) = \frac{U(f_m)S_0(f_m)}{S(f_m)} \dots\dots\dots(3)$$

여기에서 S₀(f_m)은 주파수 f_m에서 V/m로 기준센서의 응답으로 1차 교정(ISO 12713)에서 도출된다. D(f_m)의 크기를 나타낸다.

r_m과 위상 φ_m은 통상적인 방법으로 D(f_m)으로부터 식(4)와 식(5)와 같이 도출된다.

$$r_m = |D(f_m)| \dots\dots\dots(4)$$

$$\omega_m = \arctan \frac{I_z[D(f_m)]}{R_z[D(f_m)]} \dots\dots\dots(5)$$

여기에서 I_z는 복소요소 z에서 허수부분, R_z는 복소요소 z에서 실수부분, 데이터의 크기 교정 w_m은 아래 식(6)과 같이 dB로 나타낸다.

$$w_m = 20 \cdot \log_{10}(r_m) \dots\dots\dots(6)$$

ω_m과 w_m주파수에 대한 특성으로 나타낸다.

3. 교정시험 결과

3.1 측정방법

그림 2의 측정용 블록에 기준센서와 피시험센서를 설치하고 그림 3의 방법에 따라 모세관(0.7mm)을 사용하여 음원을 발생시키고 센서에 연결된 오실로스코프(Lecroy Wave Pro940)로 출력파형을 측정하였다.

3.2 기준센서의 측정결과

3.1의 측정방법에 의해서 기준센서에서 측정된 파형은 그림 4와 같다. 피크의 크기는 7μV 정도이며, 급준한 임펄스 형태이다.

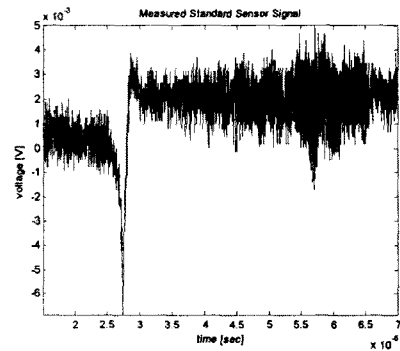


그림 4 기준센서에서 측정된 파형

3.3 피시험센서의 측정결과

3.1항의 측정방법에 의해서 피시험센서에서 측정된 파형은 그림 5와 같고 피크 값은 600μV로 매우 크고 진동의 공진특성을 갖는 진동의 형태를 보여준다.

3.3 시험결과의 평가 및 분석

그림 4와 그림 5의 결과로부터 식(1)에서 식(4)를 적용하여 주파수특성을 나타내면 각각 그림6과 그림7이다. 그림6의 결과는 주파수에 대한 단위화 하여 나타낸 것으로 직류분이 크게 나타났고, 10 주파수 대역까지 주파수

가 높을 경우 감소하는 형태로 보여준다.

그림 7의 결과는 2200이하의 주파수 대역에 큰 값을 갖는 것으로 분석되었다.

기준센서를 기준하여 시험된 센서의 주파수 특성을 분석하면 그림 8과 같다. 여기에서는 피시험센서의 1000이하 성분이 상대적으로 작아지는 것을 보여 주고 있다.

이상과 같은 교정절차에 따라 시험한 결과 기준센서는 광대역 특성을 보여주고 있으며 2000이하의 낮은 영역의 주파수 특성을 보여 주고 있다.

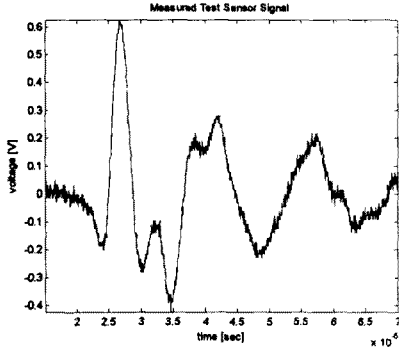


그림 5 피시험센서에서 측정된 파형

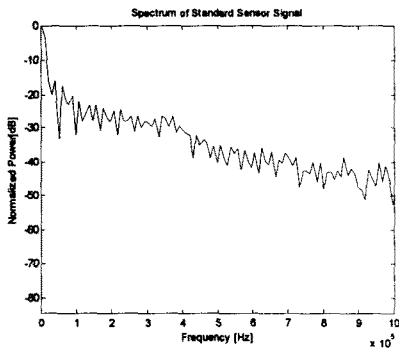


그림 6 기준센서의 FFT 특성

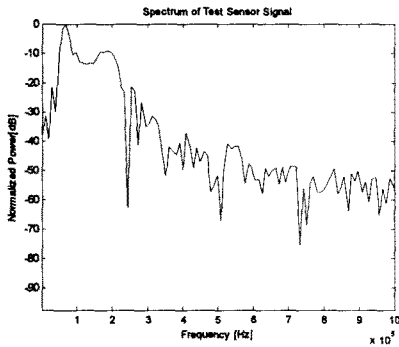


그림 7 피시험 센서의 FFT 특성

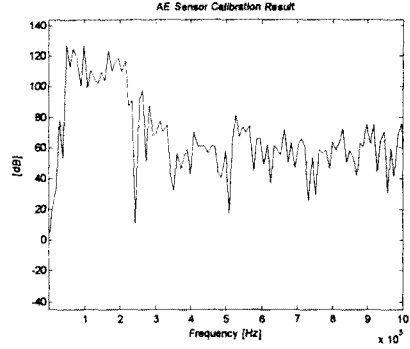


그림 8 기준센서에 대한 피시험센서의 FFT 특성

3. 결 론

이상과 같은 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가. ISO 기준에 따라 음향방출 2차 교정시스템을 구축하였다.

나. 상기 규격에 따라 제작된 코니컬 형 기준센서는 FFT 분석에서 1000에서 1M대역까지 신호가 분포하고 약 20dB 이내로 감쇠하고 있어 규격에 만족함을 알 수 있었다.

다. 피시험센서의 주파수 특성의 분석에서 자체신호에 대한 것과 기준센서에 대한 값으로 분석하는 방법의 적용이 가능하였다.

라. 그러므로 부분방전 측정을 위한 음향방출센서의 2차 교정시스템을 구축하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] ISO 12713, "Non-destructive testing - Acoustic emission inspection - Primary calibration of transducers, 1998"
- [2] ISO 12714, "Non-destructive testing - Acoustic emission inspection - Secondary calibration of acoustic emission sensors"
- [3] Martin Greenspan, "The NBS conical transducer: Analysis, J. Acoust. Soc. Am. 81권 1호, pp173- 183, Jan. 1987"
- [4] Yung-Chun Lee, Shi Hoa Kuo, "Minature conical transducer realized by eximer laser micro-machining technique" Sensors and Actuators A93, pp57-62, 2001