

초음파 기법을 이용한 변압기내 부분방전 패턴분석에 관한 연구

이양진, 김재철, 조성민, 김광화*
 숭실대학교, 전기연구원*

A Study on Pattern Analysis of Partial Discharge for Transformer by Acoustic Emission Technique.

Yang-Jin Lee, Jae-Chul Kim, Sung-Min Cho, Kwang-Hwa Kim*
 Soongsil University*, KERI*

Abstract - This paper analyzes partial discharge pattern using Rogowski coil and acoustic emission sensor to power transformer. Therefore, the location of partial discharge and pattern is deduced as obtaining reliable data to establish core structure in transformer.

1. 서 론

변압기의 중대사고 요인인 내부절연 이상은 대부분 부분방전을 수반하므로, 부분방전과 절연수명은 깊은 상관관계가 있다고 인정되어왔다. 또한 부분방전은 이상상태 발생시 가스 등 다른 징후보다 응답이 빠른 특성을 지니고 있으므로 부분방전을 지속적으로 관찰하면 변압기 사고를 미연에 방지하거나 감소시킬 수 있는 유효한 방식이다. 변압기 내에서 발생하는 부분방전을 검출할 수 있는 방법으로는 부분방전에 의한 전류 펄스를 검출하는 전기적인 방법과, 변압기 외곽에 초음파 센서를 설치하여 초음파 신호를 검출하는 음향적인 방법들이 있다.

변압기 진단방법중 하나인 초음파 진단방법은 변압기 내부에서 부분방전이 발생하였을 때 위치추정이 가능하고 내부 이상의 초기진단이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 초음파 측정 방법을 이용한 부분방전 측정법에 있어서 중요한 parameter는 초음파 신호의 펄스수와 진폭의 증가경향이다. 그러나 부분방전이 단일 소스가 아닌 다중 부분방전일 경우, 각각의 결합에 의해 발생하는 초음파 상호간의 간섭현상 때문에 초음파 신호의 변화 경향을 판단하는데 문제점을 야기 시킬 수 있다.[1] 따라서 본 논문에서는 침대 평판 시료에 고압을 인가하여 방전을 발생시킨 후 AE(Acoustic Emission) 센서를 부착하여 단일 부분방전 파형을 측정하였고 다중 부분방전은 압전소자와 펄스발생기로 구성된 초음파 발생장치로 모의 하였고 초음파 신호의 파형을 측정하고 특성을 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 초음파(AE: Acoustic Emission) 기법

변압기 내부에서 부분방전 또는 아크가 발생하면 그 부위에는 국부적인 열발이 동반되며 그 발생열에 의해 주변의 매질이 급격한 압축을 받아 충격파로 변압기 내부를 통해 전파되는 펄스형태의 AE(Acoustic Emission) 신호가 수반된다. 이 AE 신호는 변압기 내의 매질을 통해서 방사형으로 퍼져나가게 되며 이 신호는 변압기 외벽에 부착한 AE 센서에 의해 검출되고, 검출된 신호는 전기적인 신호로 변환, AE 신호 측정시스템으로 전송되어 측정, 분석된다. AE측정 기법을 사용한 변압기 상태 진단의 장점으로는 센서를 변압기 내부가 아닌 외벽에 부착하여 쉽게 설치할 수 있고 실시간으로 빠른 진단이 가능하며 변압기 내부 부분방전의 위치를 파악할 수 있다는 점이다.

AE 측정 기법을 사용하여 변압기를 진단할 경우 중요한 것은 부분방전에 의한 신호와 noise를 구분할 수 있는 알고리즘이다. 이 경우 가장 알고리즘의 기본적인 factor는 측정된 AE 신호인 경우 특정한 dominant frequency를 갖는다. 일반적으로 알려진 변압기 부분방전에 의해 발생한 AE 신호의 dominant frequency는 150[kHz] 대역으로 알려져 있으며, 실제 광대역 AE 센서를 모의 변압기에 부착하여 측정해 본 결과 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

1차적으로 이러한 dominant frequency 대역을 정확하게 파악하여 적절한 아날로그 밴드패스 필터를 사용, 그 외의 주파수 대역의 신호는 모두 제거하게 된다. 일반적으로 변압기 코어 진동 등에 의한 noise 신호는 주파수 대역이 낮아 필터만을 사용해도 제거할 수 있다.

2차적으로는 signal processor를 적용하여 필터를 거친 후 신호를 재분석, 신호의 크기, 길이, 펄스 수 등을 특성(Fig.1.)을 분석하여 최종적으로 실제 부분방전에 의한 신호와 noise를 구분하게 된다.

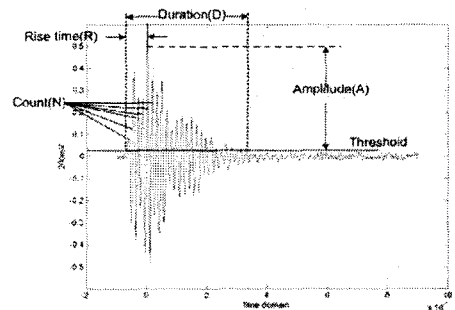


Fig.1. AE(Acoustic Emission) 신호의 특성분석

또한 AE 측정 기법이 갖는 다른 부분방전 측정 기법과 비교하여 가장 큰 장점은 다수의 AE 센서를 사용할 경우 내부 부분방전의 발생 위치를 추정할 수 있다는 점이다. 변압기에 적용되는 위치추정 기법은 다음과 같이 크게 2가지로 구분된다.

1. Zonal Location
2. Multi-Channel Location

위의 Zonal Location은 신호의 크기가 작아 1개의 센서 혹은 근접해 있는 소수의 센서에서만 신호가 검출되었을 경우 부분방전의 위치를 대략적으로 추정하는 기법이다. 이 기법은 소수의 AE 센서를 사용하여 변압기를 진단할 경우 주로 사용된다. 변압기는 부착시킨 AE센서의 개수, 위치에 따라 다수의 구획으로 분할되며, 신호검

출 결과에 따라 부분방전이 발생되고 있는 구획을 사용자에게 알려준다. 검출 결과에 따라 AE 센서의 부착 위치를 신호가 검출된 구획으로 이동시켜가며 측정을 반복할 경우 좀 더 세부적인 위치를 파악 할 수 있다.

아래의 Multi-Channel Location은 변압기 외벽에 다수의 AE 센서를 부착하여 동시에 다수의 센서에서 신호가 검출된 경우 각 센서에서 검출된 신호들 간의 도달시간 차이를 비교, 변압기 매질에 따른 음속을 계산하여, 결합의 위치를 추정하게 되며 보다 세부적인 위치 추정이 가능하다. [2].[3].[4].

2.2 실험장치 설치 및 조건

2.2.1 부분방전 측정 시스템 구성

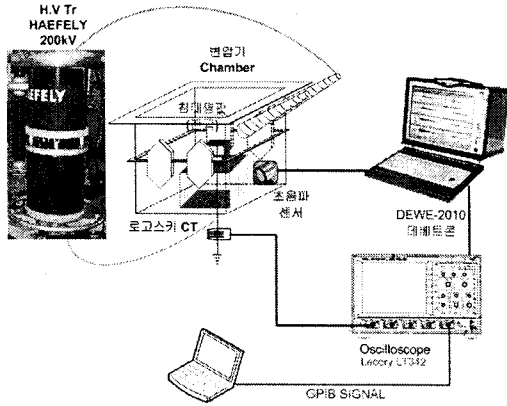


Fig.2. 부분방전 시험설비

본 논문에서는 전력설비의 부분방전에 의해 발생하는 초음파 특성을 연구하기 위하여, 실험실 내에서 모의 전극을 사용하여 부분방전을 발생시켰다. 모의 변압기 내에 침대 평판 전극에 전압을 인가하여 AE(Acoustic Emission)센서에서 측정되는 초음파, 전극의 접지부에 설치된 로고스키코일에 의해 측정되는 전기신호를 각각 측정하였으며, 여기에서 측정되는 파형은 각각 데베트론 DEWE-2010 및 오실로스코프를 사용하여 분석하였다. 본 실험의 구성으로는 고전압 발생장치와 모의 변압기내 전극과 측정부로 나눌 수 있다. 고전압 발생장치는 HAEFELY를 사용하였다. 이 장치는 AC 고전압을 최대 200[kV]까지 인가시킬 수 있다. 부분방전 측정 장치는 데베트론 DEWE-2010을 사용하였으며, 이 장치는 부분방전이 발생할 경우 부분방전에 의한 AE신호의 파형, 주파수 분석결과(FFT), 부분방전의 발생 빈도 및 추세 등을 그래프를 통해 검색할 수 있다. 또한 오실로스코프는 Lecory LT342를 사용하였으며 500[MHz]/500[MS/s] 까지 측정가능하며 GPIB 인터페이스를 통하여 노트북으로 데이터를 그림파일로 저장할 수 있었다. 실험장치구성은 위의 Fig.2에 나타내었다. 오실로스코프 및 데베트론은 측정부(조음파센서, 로고스키코일)의 저항을 등가시키기 위하여 50[Ω]을 설정하였다.

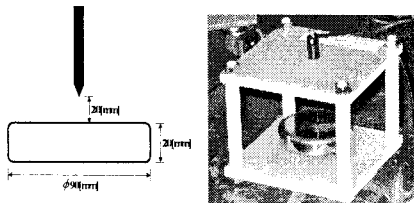


Fig.3. 실험에 사용된 모의 전극

실험실에서 단일 부분방전원의 발생부위는 모의 전극을 만들어서 사용하였다. Fig.3은 전력설비에서 발생할 수 있는 대표적인 형태의 결합을 모의하기 위하여 제작된 침대 평판 모의 전극이다. 이 전극은 전력설비의 제작공급조립시에 발생할 수 있는 돌출부 결합 및 차단기 접촉부위, Mold 변압기 탭, COS등의 개폐기 접촉부위 등에서 발생할 수 있는 코로나 방전을 모의하기 위한 전극이며 여기서는 변압기 절연유 내부 부분방전을 모의하기 위해 사용하였다.

2.2.2 실험시행 조건 및 절차

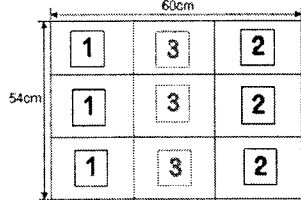
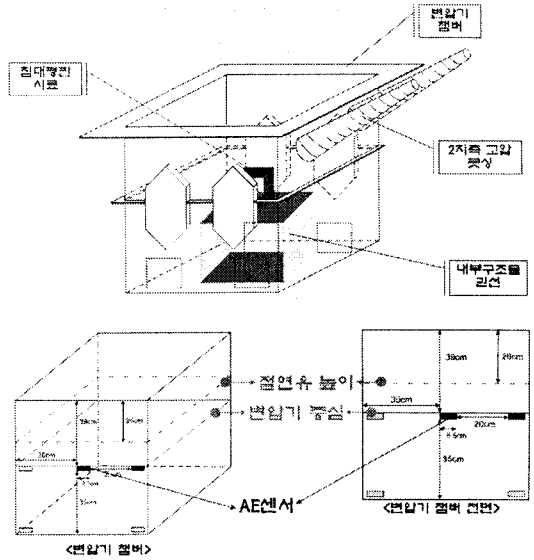


Fig.4. 시료위치 및 센서부착법

단일 부분방전원에 의한 실험을 하기위해서 변압기 외함에 3개의 AE센서를 부착하여 부분방전 신호를 수집하였다. 이 때 로고스키코일을 침대 평판 시료 접지부에 연결하여 전기신호를 동시에 측정하였다. 맑고 적정 습도에서 실험을 하였을 시 부분방전 시료에 38[kV]인가시 부분방전이 발생하였으며 40[kV]이상이면 시료에서 소리가 나며 아크가 발생하였다.

위의 Fig.4는 변압기 챔버내의 시료의 위치를 변화하여 부분방전원의 위치를 변화시키는 것과 실험 시 센서의 부착위치를 변화하는 방법을 나타낸다. 실제 챔버에 구조상 절연유를 가득 채울 수 없었기 때문에 가로 54[cm] 세로 60[cm]의 챔버를 9등분하여 센서를 부착하였다. 위의 그림에서 나타나는 숫자 1, 2, 3은 센서를 나타내며 1번 센서와 2번 센서는 변압기 전면부에 3번 센서는 후면부에 부착하여 부분방전을 측정하였으며 전면의 센서 1과 2는 수평선상에 놓지 않았다. 이러한 배치는 부분방전 신호원으로부터 각 센서에 도달하는 시간차를 이용하여 거리를 구하고 위치를 추정하기 위해서 이다.

2.3 실험 결과

2.3.1 단일 부분방전원에 의한 결과

우선 변압기 챔버 중앙에 AE센서 2개를 같이 부착하고 30~50[kV] 사이의 고전압을 인가하여 데베트론 DEWE-2010과 오실로스코프를 이용하여 측정된 파형이 같은지 시험을 해 보았다.

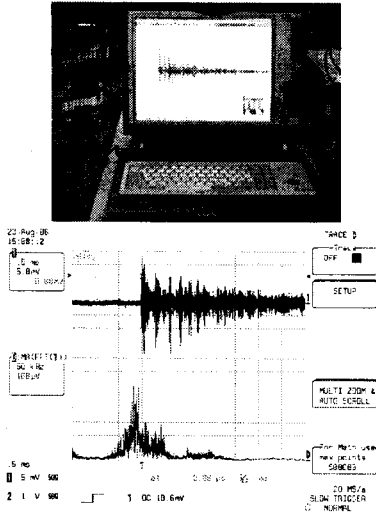


Fig.5. 부분방전 발생시 장비 시험 결과
위:DEWE-2010 아래: Oscilloscope

Fig.5.에서 보여주듯이 위쪽은 데베트론 장비를 이용하여 부분방전 신호를 측정하고 아래쪽은 LT342 오실로스코프를 사용하여 측정된 부분방전 신호와 FFT (fast Fourier transform)결과이다. 두 신호가 거의 같은 모양을 하고 있으며 부분방전 여부 판단은 FFT결과가 150[kHz] 주파수 대역에서 신호가 커지는 것을 확인함으로써 알 수 있다.

다음은 시간차를 측정하기 위하여 AE센서 3개와 로고스키코일을 사용하여 동시에 측정된 결과이다.

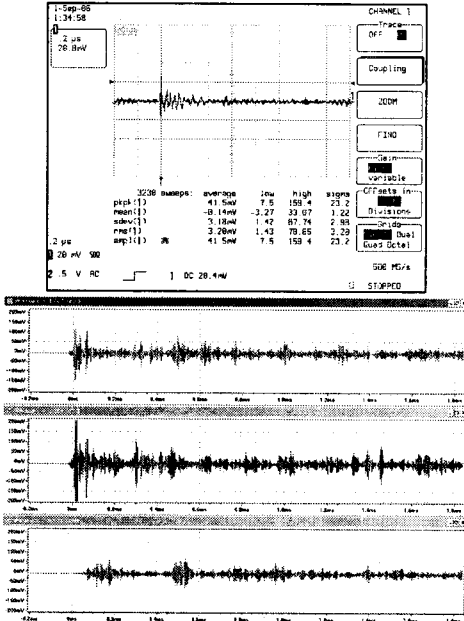


Fig.6. 로고스키코일(위) 3개의 AE센서(아래)에서 측정된 결과

위의 Fig.6.의 실험은 변압기 챔버내 시료의 접지부에 연결된 로고스키코일로 부분방전시 발생하는 전기신호를 3개의 AE센서와 같이 측정하여 부분방전에 의한 신호인지 외부 코로나에 의한 신호인지를 판단하였고 그 결과 파형이다. AE 센서에서 측정된 결과를 보면 첫째신호와 둘째 신호의 크기에 약간의 차이는 있지만 비슷한 패턴을 볼 수 있고 세 번째 신호는 시간 지연이 일어났으며 초음파 전달 경로가 변압기 외함을 거쳐 측정되어 egg shape의 형태를 볼 수 있다. 이러한 데이터를 얻어 부분방전원에서 각 센서에 전달되는 초음파 시간지연을 이용하여 부분방전 위치추정을 할 수 있다.

2.3.2 다수 부분방전원에 의한 결과

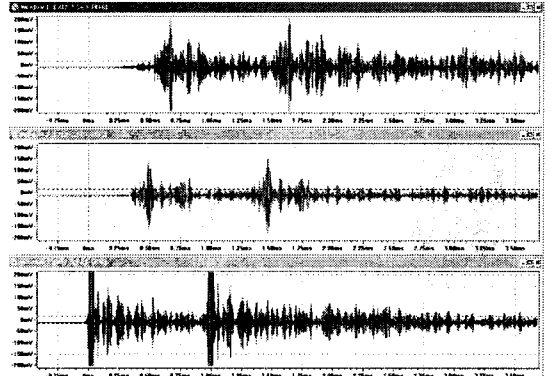


Fig.7. 압전소자를 이용한 2개 부분방전원 측정 결과

Fig.7.의 실험은 2개의 압전소자에 펄스전압을 가하여 다중 부분방전원을 모의하였으며 3개의 AE 센서를 이용하여 측정된 결과이다. 위 그림은 센서와 방전원의 위치에 따른 결과이며 단일 부분방전원과 비교하여 중첩되는 피크 파형이 확연히 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 센서1과 센서2는 방전원로부터 먼 거리에 있었으며 내부 구조물에 의한 영향으로 시간지연과 egg shape의 형태가 나타났다. 센서3 근처에 2개의 방전원이 근거리에 위치한 것을 확인 할 수 있다. 또한 단일 부분방전원과 비교하여 2개의 피크치가 확연히 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결 론

이상의 결과로 변압기 내부 구조물을 고려하여 좀더 실제적으로 단일 및 다수 부분방전 발생 시 나타나는 초음파 신호의 패턴을 분석하였다. 추후 여러 조건에 의해 얻어지는 데이터를 신호처리하여 위치추정을 할 예정이다. 이는 다수 부분방전 진단에 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한국전기연구원의 연구비 지원으로 진행 되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] 김옥동, "변압기내 다수 부분방전에 의한 초음파신호의 중첩에 관한 연구", 숭실대학교 석사학위 논문, 2001.6
- [2] 강길구, 권호영, "초음파탐상 음향방출학 개론", pp235-263, 도서출판 골드, 2003
- [3] 윤동진, "음향방출시험(Acoustic Emission)", 한국표준과학연구원
- [4] Rajani Menon, "Acoustic Emission PD Detection For Condition Assessment Of Power Transformers", CMD, 2006