

초음파 기술을 이용한 변압기 이상상태 진단

정재기, 윤시영, 강창익, 진영은
한빛EDS(주)

Fault Diagnosis of M.tr using Acoustic Sensor Technique

Jae-ki Jeong, Si-young Yoon, Chang-ik Kang, Young-eun Jin
HanbitEDS. co., Ltd

Abstract - 변압기를 진단하는 분석 요소 중 흔히 사용하는 방법으로 유증가스분석을 이용하는 방식을 많이 사용하고 있다. 유증가스 분석은 변압기 내 Oil이 열과 Arc등에 의해 화학적으로 변화된 것을 측정하여 열화 정도를 추정하는 방식이지만 신속한 검출 및 위치추정이 불가능하다는 단점이 있다. 신속한 검출이 되지 않으면 신속한 보고가 이루어질 수 없으므로 변압기 교체시점을 맞추지 못하여 사고로 인한 막대한 피해보상이 발생한다. 이런 단점을 보완하기 위해 변압기내 부분방전 및 Arc에 의해 발생하는 부분방전신호를 초음파 대역에서 검출하여 열화 및 위치를 추정할 수 있는 초음파 분석이 필요하게 되었고 실험을 통해 변압기에 대한 분석, 진단을 시행하였다.

1. 서 론

현재 변압기의 진단방법으로 사용하는 방식은 절연유 유증가스 진단, 절연유 누설전류 진단, 변압기 온도 진단 등이 있다. 하지만 이런 방식들은 변압기의 열화가 상당히 진행된 상태에서 진단이 가능하며 조기진단 및 추후관리가 없다는 점과 검출센서를 변압기에 내장해야 하는 단점이 있고 휴전절차를 동반한다. 현재에는 이런 진단의 단점을 보완하기 위해 변압기 부상탑 또는 접지선에서 발생하는 부분방전을 검출하는 전기적인 방법과 변압기 외함에 센서를 설치하여 내부 부분방전 및 Arc에 의한 초음파 신호를 검출하는 음향적인 방법이 연구되어 왔다. 여기서, 변압기의 운전 중 발생하는 절연유 불량에 의한 부분방전 신호와 전기적, 기계적인 Noise를 구분하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 기존의 논문 및 비파괴 검사 연구 자료를 바탕으로 변압기 내부의 부분방전신호 검출을 초음파로 진단하는 방법을 선택하였고 이에 따른 초음파 검출 센서와 신호처리를 위한 DAS를 새로 개발, 제작하였다.

2. 본 론

2.1 노이즈 대해서

운전 중인 변압기에서 발생될 수 있는 초음파 노이즈는 기계적인 노이즈, 전자파 노이즈 및 전기적 노이즈로 구분하고 있다. 기계적인 노이즈는 철심여자에 의한 진동음, 절연유 냉각 펌프와 팬에 의한 진동음, 부하시 탭 절환기의 동작에 따른 진동음, 개폐장치의 동작음 등을 말하고 있다. 하지만 이런 기계적인 노이즈는 초음파 대역과 분리될 수 있다. 즉, 철심여자에 의한 진동음은 120Hz의 전력주파수에 진동하므로 주파수 대역에서 볼 때 음파대역에 있으며 초음파신호 검출과는 구별이 되고, 냉각펌프와 팬에 의한 진동음은 사람이 들을 수 있는 가청주파수 대역의 Noise로 초음파 신호검출과는 구별이 된다. 또한 개폐장치의 동작음은 간헐적으로 조작되므로 변압기 내부의 부분방전과는 구별할 수 있다. 실제 변압기 외벽에 초음파센서를 부착하였을 때 기계적인 노이즈에 의한 신호는 초음파대역에서 검출되지 않는다.

국내에서 할당된 주파수 대역은 라디오 AM 대역부터 수GHz 대역에 분포되어 있다. 이런 방송파(라디오, TV 대역)와 무선주파수는 송전선에 침입하거나 측정회로에 유도되어 전자파 노이즈로 작용한다. 하지만, 초음파 주파수 대역을 50kHz~400kHz 로 국한하여 수신하므로 그 외의 신호는 필터링 되어 전자파 노이즈에 대한 신호는 변압기 부분방전신호와 구별될 수 있다.

변전소의 전기적인 노이즈는 가공 송전선로에서의 코로나에 의한 기중방전 펄스 및 회로개폐 조작 시의 방전노이즈 등을 말한다. 이 중 기중방전펄스에 의한 노이즈는 기상조건에 따라 크게 변화한다. 즉, 우천시에는 기중코로나 방전이 다른 기상조건보다 심하다고 볼 수 있다. 계통에 접속된 개폐장치 (차단기, 단로기 등)의 조작 시에 발생하는 개폐서지가 송전선에 전달되어 측정 회로에 유도되는 회로개폐시의 노이즈는 빈도가 적고 단발적인 형태가 많으므로 제거에 큰 문제가 없다.

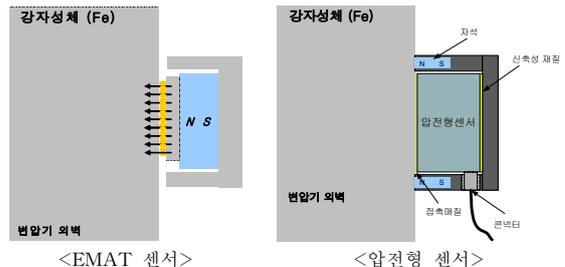
2.2 초음파 센서

변압기 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 일반적으로 그 부위에는 국부적인 발열을 동반하고 그 발열에 의하여 주변의 절연유가 급격한 압축을 받아 충격파로 유중에 전달되는 펄스형태의 음파와 초음파가 발생한다. 이러한 음파들은 변압기 내벽에 도달하면 기계적인 응력파로 변환되어 변압기 벽을 타고 전파한다. 이러한 응력파를 변압기 외부에서 감지하는 것이 초음파 센서 측정법이다.

EPRI(미국 전력연구소)의 연구결과에 의하면, 변압기의 전자력에 의한 초음파 신호는 20kHz~70kHz 대역에서 발생하고, 변압기 내부방전에 의한 초음파 신호는 100kHz~250kHz 대역에서 발생하며, 그 중 약 150kHz에서 최대치를 발생하는 것으로 나타나 있다. 따라서 변압기 진단용 초음파 센서 설계 시 공진대역을 150kHz 대역에 맞추어 설계하는 것이 일반적이다. 하지만 본 연구에서는 변압기 내부 부분방전 및 Arc의 신호검출을 위해 광대역(50kHz~400kHz)으로 설계하였고, 방전원과 동기를 맞추기 위해 외부에서 해당 상전압을 인가하여 발생패턴을 모의하였다.

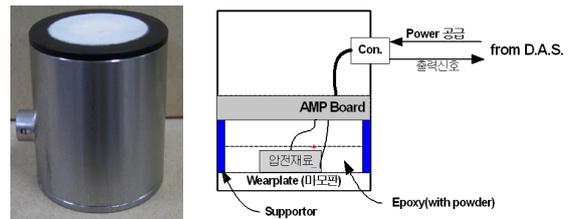
2.2.1 초음파 센서 종류

센서는 변압기 제작 시 변압기 내부에 취부하기 어려우므로 변압기 외벽에 붙일 수 있는 구조이어야 하며, 또한 내부에서 발생하는 방전신호를 외부에서 검출이 가능하도록 설계하여야 한다. EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer) 센서는 자석을 이용하여 제작하므로 변압기 외벽(Fe)에 부착될 수 있지만, 압전형 센서는 변압기 외벽에 부착되지 않으므로 외장케이스를 이용하여 변압기 외벽에 부착할 수 있는 구조로 설계하였다. 본 연구에서는 EMAT 센서가 전기적 에너지의 기계적 진동에너지로의 전환효율이 낮아 자체 개발한 압전형 센서를 사용하였다.



<그림 1> 초음파 센서

2.2.2 압전형 초음파 센서



<그림 2> 압전형센서와 내부 블록도

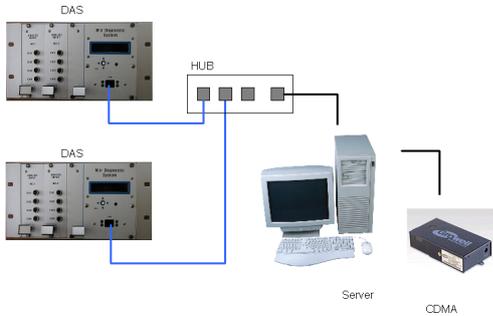
수정으로 된 진동자에 전압을 가하면 초음파가 발생되어 검사체에 송신하게 되고, 수신은 송신과 반대의 과정으로 반사되어 온 초음파가 진동자를 진동시켜 전극간의 전압이 발생된다. 기계적인 에너지를 전기적

인 에너지로 변환시키고 전기적인 에너지를 다시 기계적인 에너지로 변환된다.

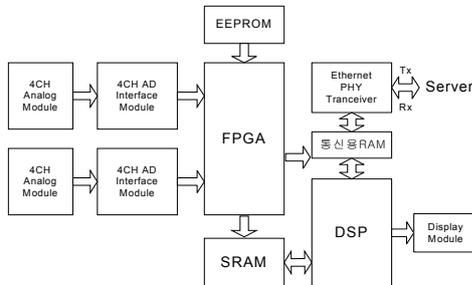
는 정확히 일치한다.

2.3 변압기 진단시스템

본 시스템은 변전소마다 변압기의 수량 및 설치위치에 따라 DAS (Data Acquisition System)의 수량이 다르며, 변압기의 급수와 크기에 따라 8 또는 4 채널 사용이 가능하도록 되어 있다. 모든 데이터는 서버로 전송이 되며, 서버에서는 DB(Data Base)로 저장된다. 또한 무인변전소 및 관리자 부재 시 변압기에서 방전이 발생하면 서버에서 CDMA 매체를 통해 관리자에게 알려주므로 변압기 상시감시가 가능하다.



<그림 3> 시스템 구성도

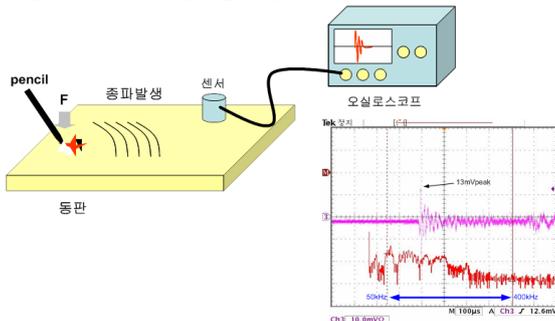


<그림 4> 시스템 내부 블록도

2.4 실험

2.4.1 초음파 센서 출력감도 실험

비파괴 검사기술 방법으로 제시되고 있는 연필심 Broken 실험을 통해 초음파 센서의 출력감도를 측정하였다.

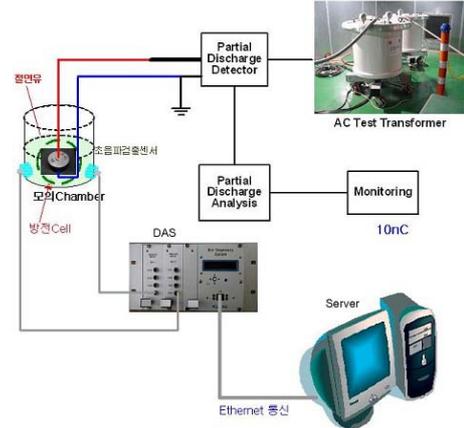


<그림 5> 연필심 Broken 시험

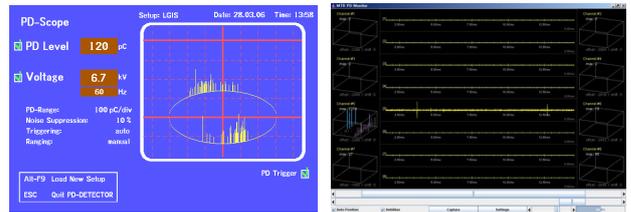
위 과정에서 알 수 있듯이 초음파 센서의 성능은 30pC~120pC 방전 발생시 13mVpeak 이상의 신호가 출력되므로 기준인 100pC 방전 발생시 5mV 이상신호출력에 대해 만족한다고 볼 수 있다. 또한 FFT 분석에 대한 파형을 보면 50kHz~400kHz 대역에서의 주파수 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

2.4.2 코로나 방전실험

모의방전 Cell을 제작하여 <그림 6>과 같이 회로를 구성한 다음, 고전압을 서서히 인가할 때 발생하는 PD량을 Partial Discharge Detector로 읽어 들어 30~120 pC (불규칙적임)이 발생할 때, DAS에서 데이터 취득이 가능한지를 실험하였다. 모의 챔버 안에 코로나 cell을 넣고 PD 발생기를 통해 PD가 발생하도록 하였다. 발생된 PD를 DAS를 통해 취득한 다음 서버로 전송하도록 하였다. <그림 7>은 PD Detector 장치에서 취득한 파형과 DAS에서 취득한 파형을 보여주고 있다. 실험의 결과



<그림 6> 코로나 및 보이드 실험 구성도



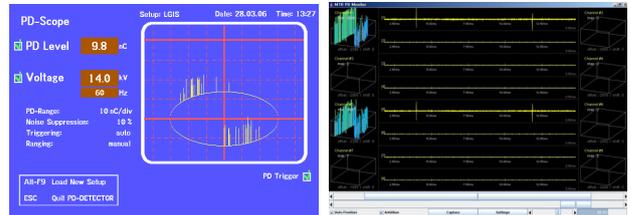
PD Detector에서 읽어 들인 파형

120pC 부분 방전 취득파형

<그림 7> 코로나 방전파형

2.4.3 보이드 방전실험

변압기 내부 절연유의 보이드 모의실험을 위해 14kV 고압 인가 시 10nC 정도의 방전이 일어나도록 하였다. <그림 5>의 초음파 검출센서 안에 코로나 cell 대신 보이드 cell을 이용하였으며 실험구성도는 코로나 실험과 동일하다.



PD Detector에서 읽어 들인 파형

10nC 부분 방전 취득파형

<그림 8> 보이드 방전파형

위 파형은 10nC 부분방전 발생 시 초음파센서를 통해 취득한 신호를 DAS에서 데이터화 하여 서버 HMI로 전송한 후 표현한 것이다. PD detector에서 보이는 것처럼 HMI의 시간축 파형에서 앞에 발생한 짧은 펄스가 뒤에 발생한 펄스보다 크게 나타난다.

3. 결 론

본 연구에서는 자체개발한 변압기 초음파진단장치를 검증하기 위해 코로나와 보이드 방전실험을 하였다. DAS를 통해 부분방전의 파형을 취득할 수 있었으며 이를 확인하기 위해 PD detector를 같이 사용하였다. 이 두 측정데이터가 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 GIS (Gas Insulated Switchgear)에 설치하여 부분방전이 발생하는 것을 측정하여 신뢰성을 더했다. 변압기 초음파진단장치는 네트워크를 이용하여 방전발생 시 방전유무 뿐만 아니라 파형까지 서버로 전송하도록 하여 부분방전에 대한 분석이 가능하며 관리자 부재 시 또는 무인변전소에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 신복현, "초음파를 이용한 전력용변압기의 예방진단에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문, 2000년
- [2] 정계기, "휴대용 GIS 진단장치를 이용한 부분방전 현장조사 결과 분석", 대한전기학회 춘계학술대회, pp128, 2007년