

소음분석을 통한 건식 변압기의 고장형태에 관한 연구

박문동\*, 이영수, 이간운, 차재만  
한전기공(주) 원자력기술연구소

A Study of the dry type transformer's failures from the noise & vibration analysis

MD Park\*, YS Lee, GW Lee, JM Cha,  
Nuclear Technology Training Center, Korea Plant Service Engineering Co.

1. 서 론

자동차의 엔진 소음을 측정 분석한 엔진진단기술, 운전 중인 전동기나 펌프에서 발생하는 소음을 측정 분석한 회전기기 진단기술 등 이러한 소음의 특성을 이용한 설비나 회전기기의 진단이 산업계에서는 많이 연구되고 실용화되고 있다. 그러나 정지기기인 변압기에서 발생하는 소음이나 진동을 이용한 변압기 진단기술에 대한 구체적인 연구결과는 아직도 나오지 않고 있다.

본 논문은 운전중에 나타날 수 있는 건식 변압기의 고장 상태에 따라 변압기에서 발생하는 소음과 진동 주파수를 측정하여 이를 LabVIEW 프로그램으로 분석하여 변압기의 고장 형태에 따른 소음과 이에 수반되어 측정되는 진동 주파수의 형태를 측정 분석하여 건식용 변압기에서 발생하는 소음과 관련된 내부 고장의 특징을 제시하고자 한다.

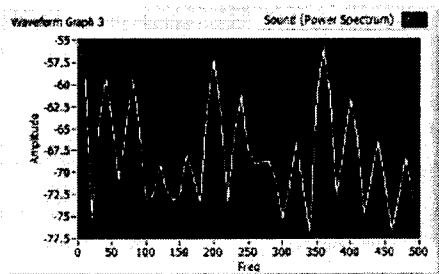
2. 본 론

2.1 소음과 진동 특성

2.1.1 소음의 특성

소음이란 인간이 원하지 않는 소리(Unwanted sound) 또는 정상적인 상태를 벗어난 소리로서, 물리적인 현상은 음악의 파형과 같이 복잡하긴 하지만 규칙적인 형태로 변화한다. 소리에 따라서 음압의 크기와 주파수는 우리가 듣지 못하는 낮은 영역에서 고통의 원인으로 작용하는 아주 높은 영역까지 다양하며, 그 크기는 "폰" 또는 dB(A)이라는 단위를 사용하여 나타내고 있다.

본 시험에서는 3상 60KVA 건식용 변압기를 시험용 변압기로 선정하고, 변압기에서 발생하는 소음을 측정하여 분석한 결과 [그림1]과 같이55dB에서 75dB 사이의 크기와 120Hz 주파수를 포함한 고주파의 소음이 불규칙적으로 발생함을 알 수 있었다.



[그림1] FFT (dB)로 분석한 건식변압기의 소음

소리가 전달되기 위해서는 매질이 존재하고 탄성이 있어야 하며, 음파의 전달은 공기라는 매질을 통한 소밀파의 전달을 의미한다. 음파에 의하여 전달되는 소밀파는 속도와 주파수 및 파장을 가지는 운동 에너지이기 때문에 이 음파(Sound wave)를 측정하여 그 크기와 주파수

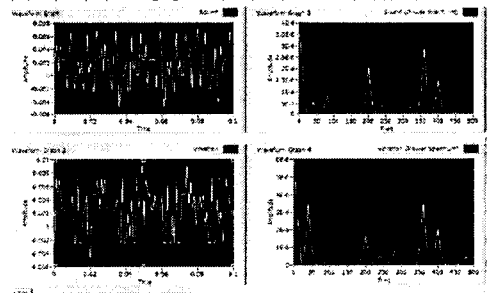
를 측정하여 비교 분석함으로써 음파의 변화 상태를 파악할 수 있다.

이번 시험에서 건식 변압기의 이상상태에 따라 변화되는 소음을 측정하여 폰(dB) 모드로 분석한 결과 변화상태가 불규칙적이고 변화되는 주파수 크기를 비교 분석하기가 어려워 각 주파수에 따라 크기가 비교적 선명하게 구분되어지는 FFT-Linear 모드로 소음 주파수를 비교 분석하였다.

2.1.2 진동의 특성

변압기에서 발생하는 진동은 대부분이 전자력에 의하여 지속적으로 발생하는 자왜진동으로 강제진동에 가까우며, 진동의 크기 및 감쇠가 선형적으로 거동하는 선형진동에 가깝다.

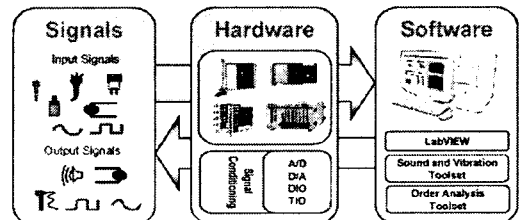
이번 시험에서는 소음에 의하여 발생하는 음파와 함께 발생하는 진동을 [그림2]와 같이 소음원에서 가장 가까운 변압기의 구조물에서 동시에 측정하여 음파가 진동 주파수에 미치는 영향도 함께 비교 분석하였다.



[그림2] 소음 및 진동 주파수 및 스펙트럼 (Linear)

2.2 시스템 구성

변압기에서 발생하는 소음 및 진동을 측정 분석하기 위한 장비는 [그림3]과 같이 데이터를 수집하는 신호 센서부분과 수집된 데이터를 증폭 처리하는 하드웨어 및 측정된 데이터와 이를 분석한 결과를 스펙트럼으로 나타내 보이는 소프트웨어로 구성하였다.



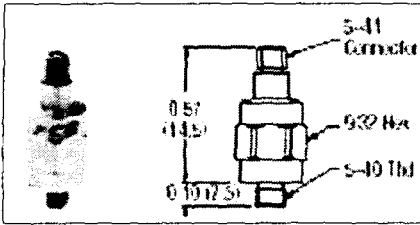
[그림3] 변압기 소음 및 진동 측정/진단 시스템

2.2.1 진동 및 소음 측정 센서

2.2.1.1 진동 측정 센서

변압기에서 발생하는 진동을 측정하기 위한 진동센서는

[그림4]와 같이 저진폭, 고주파수의 진동 측정이 가능하고, 소형의 가벼운 것으로 좋은 공간에서도 사용이 가능한 것으로 택하였다.



[그림4] ICP 세라믹 진동 센서 (Model 352C66)

### 2.2.1.2 소음 측정 센서

소음측정 센서는 [그림5]와 같이 공기중의 미세한 압력의 변화를 측정할 수 있으며, 음파의 경우 속삭이는 정도의 소리인 30dB에서 귀에 고통을 느끼는 120dB까지 폰 측정이 가능하며, 가청 주파수 20Hz에서 20kHz까지 광범위하게 측정이 가능한 것으로 선정하였다.



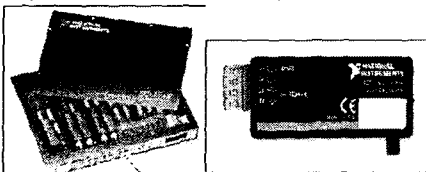
[그림5] PCB 세라믹 소음 센서 (Model 130D20)

## 2.2.2 하드웨어의 구성

### 2.2.2.1 신호처리장치 SC-2345

신호처리장치(Signal Conditioning with Configurable Connector: SCC)는 현장의 센서로부터 수집된 데이터를 DAQ 카드에서 처리하기 쉽도록 노이즈를 제거하고 신호를 증폭하는 곳으로 전원공급 장치, 신호를 증폭 처리하는 SCC 모듈로 구성되어 있다.

[그림6]은 신호처리장치인 SC-2345로서 내부에 가속도 신호처리장치(Accelerometer)인 SCC-ACC01 모듈이 설치되어 있다. 이 가속도 신호처리장치는 진동 및 소음 센서로부터 취득된 데이터를 컴퓨터에서 사용할 수 있는 신호로 처리하는 것으로, 하나의 센서당 1개의 채널이 구성되며 최대 20개까지의 채널을 구성할 수 있다.



[그림6] 신호처리장치 SC-2345 & SCC-ACC01

### 2.2.2.2 데이터 수집하드웨어 DAQ Card

데이터 수집 하드웨어 DAQ(Data Acquisition) 카드는 신호처리장치 SC-2345에서 전달된 아날로그 신호를 컴퓨터에서 사용할 수 있는 디지털 신호로 변환하는 장치로, 컴퓨터에서 처리된 디지털 신호를 현장에서 필요한 아날로그 신호로 역 변환하는 기능도 가지고 있다.

## 2.2.3 소프트웨어(Operating Program)

### 2.2.3.1 MAX 프로그램

MAX는 Measurement & Automation Explorer의 약어로 DAQ 하드웨어의 설정과 시험은 물론 데이터 수집, GPIB 통신의 제어, 가상 계측제어 시스템의 변환 및 현장에 설정된 각종의 계측제어 시스템을 제어하는 기능을 가진 종합적인 계측지원 프로그램이다.

### 2.2.3.2 LabVIEW 프로그램

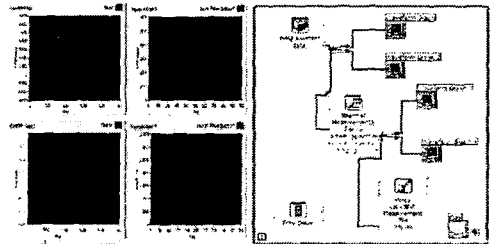
LabVIEW 프로그램은 그래픽한 아이콘을 이용하여 사

용자의 목적에 따라 적합한 계측제어용 프로그램을 만드는 일종의 컴퓨터용 언어로 National Instrument에서 개발하여 전 세계적으로 보급하고 있는 가상 계측제어용 프로그램이다.

LabVIEW 프로그램은 그래픽 아이콘을 이용하여 사용자가 원하는 컨트롤러, 지시계 및 측정결과를 분석하여 그래프나 표로 나타낼 수 있는 "Front Panel(창)"과 Front panel의 각 구성요소를 연결하고 각종 함수를 부여할 수 있는 "Block Diagram"으로 구성되어 있다.

## 2.3 프로그램 구성

이번 시험에서는 건식용 변압기에서 발생하는 소음 및 진동 데이터를 수집하여 이를 FFT 스펙트럼으로 분석하는 비교적 간단한 방법으로 프로그램을 구성하였다. Front panel에서는 변압기에서 발생하는 소음 및 진동 주파수를 동시에 보면서 이를 FFT(Linear)로 분석하여 2개의 소스와 분석결과를 동시에 비교 분석 가능하게 하였다. [그림7]은 변압기의 소음 진동 측정 프로그램의 Front panel과 Block diagram을 나타낸 것이다.

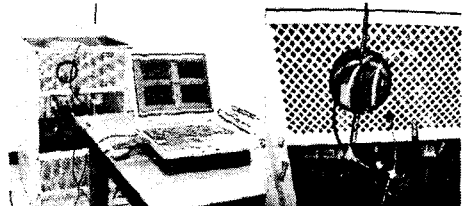


[그림7] 변압기의 소음/진동 측정용 Front Panel & Block Diagram

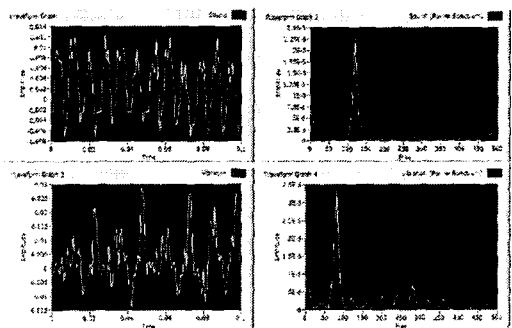
## 2.4 데이터 수집 및 분석

### 2.4.1 데이터 수집

2.4.1.1 변압기 정상상태에서의 소음, 진동 데이터  
변압기에서 발생하는 소음 및 진동을 측정하기 위하여 [그림8]과 같이 장비를 설치하고 프로그램 설정은 Input Signal Task Timing 모드에서 100 samples to read, 1000 Rate(Hz), FFT Linear 모드로 설정하고, 소음 및 진동 소자의 위치를 옮겨가며 각 위치에서의 진동 및 소음 주파수의 크기를 측정 분석하였다.



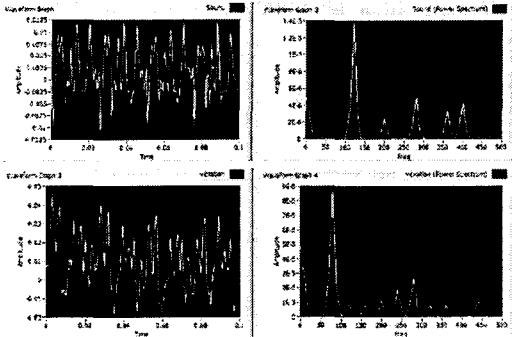
[그림8] 소음/진동 측정장비 및 센서 설치 모습



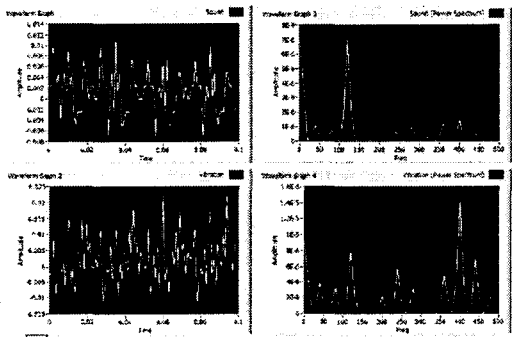
[그림9] 변압기 내부에서 측정된 소음,진동 주파수

[그림9]는 변압기 내부에서 측정한 소음 및 진동 주파수를 FFT-Linear 모드로 분석한 것으로, 소음은 120Hz의 주파수대에서 진폭이 크게 측정되었으며, 진동의 경우 약 70Hz 주파수대의 진폭이 크게 측정되었다.

[그림10]은 변압기의 외함 상부에서 측정한 소음 진동 주파수이며, [그림11]은 하부에서 측정한 소음 진동 주파수로, 하부에서 비교적 진폭이 적고 고주파가 포함된 진동이 측정되었다.



[그림10] TR 외함(상부)에서 측정한 소음,진동 주파수

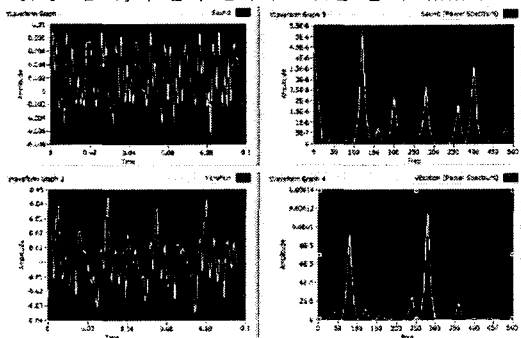


[그림11] TR 외함(하부)에서 측정한 소음 진동 주파수

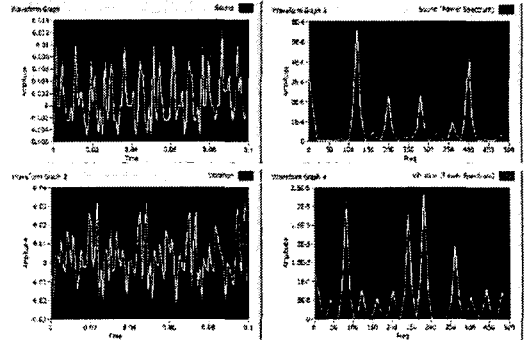
### 2.4.1 변압기 비정상 상태

변압기 비정상상태에서 발생하는 소음 및 진동을 측정하기 위하여 2가지의 시험을 하였다. 하나는 이물질의 삽입에 의한 소음의 변화를 시험하였으며, 다른 하나는 내부 철심을 고정하는 볼트의 이완에 의한 소음의 변화를 시험하였다.

이물질에 삽입에 의한 소음의 변화를 시험하기 위하여 변압기의 철심 상부에 약 10g, 50g, 100g 정도의 철편을 놓고 소음 주파수의 변화를 측정하였으나 주파수의 변화가 거의 없었다. 그러나 내부 철심을 고정하는 상부 볼트를 풀면서 소음과 진동의 변화를 측정한 결과 [그림 12], [그림13]과 같이 변화되는 것을 알 수 있었다.



[그림12] 상부볼트 1개가 느슨할 경우 소음 진동 변화



[그림13] 상부볼트 2개가 느슨할 경우 소음 진동 변화

### 2.4.2 데이터 분석

정상상태의 변압기에서 발생하는 소음 및 진동 주파수를 FFT로 분석한 결과, 소음의 경우 측정 위치에 관계 없이 120Hz 주파수대의 자왜진동에 소음이 대부분을 차지하였으며, 진동의 경우 변압기의 하부 외함에서 측정된 진동 주파수의 진폭이 상부보다 낮게 측정되었으며, 400Hz대의 고주파가 비교적 크게 측정되었다.

변압기의 내부에 이물질 침입에 의한 시험을 위하여 철심 상부에 CS계의 철편을 올려놓고 시험한 결과 소음의 변화는 시험장비의 그래프 상으로 감지되지 않았으나 철심이 자화되면서 발생하는 히스테리시스 손실에 의하여 철편이 단시간내에 뜨거워지는 것으로 확인되어, 변압기 내부에 CS계의 이물질이 투입될 경우 열에 의하여 절연체가 먼저 파손될 것으로 예상된다.

2번째 시험인 철심의 고정 볼트를 풀면서 시험한 결과 철심의 고정 볼트가 느슨해질수록 고조파의 소음과 진동이 증가함을 그래프 상으로 알 수 있었으며, 철심의 상부 양쪽 고정 볼트를 느슨하게 한 결과 [그림13]과 같이 소음 및 진동 주파수에 고주파수대의 진동이 증가함을 알 수 있었다. 따라서 장기 사용에 의한 변압기의 고정 볼트가 조금씩 풀릴 경우 변압기의 소음 및 진동이 증가하는 것을 알 수 있다.

## 3. 결 론

조명용 저압 건식변압기를 이용한 소음 및 진동 시험을 통한 변압기 고장진단 시험에서 정상상태의 변압기에서 발생하는 소음의 대부분이 주파수가 120Hz대인 철심의 자왜진동에 소음임을 알 수 있었으며, 철심의 조임 볼트가 느슨해질수록 고주파대의 소음이 증가함을 알 수 있었다.

그러나 건식 변압기의 2차 부하를 변화(가변)시키지 못하고 거의 경부하 상태(경력의 약 1/4 부하)에서만 시험하여 무부하시와 전부하시의 소음과 진동의 변화를 비교하지 못하였다.

따라서 소음 및 진동을 이용한 변압기 진단을 수행하기 위해서는 부하의 가변(변화)과 함께 여러 가지 변압기에 대한 다양한 시험과 많은 시험을 통하여 데이터를 취득하고 분석하였을 때 소음에 의한 변압기의 고장진단 기준을 얻을 수 있다고 생각한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 기계진동학, 반도출판사, 1992년 3월 발행
- [2] 소음진동기사, 도서출판 세움, 1996년 발행
- [3] The Measurement & Automation catalog, NI, 2003
- [4] 컴퓨터 기반의 제어와 계측 솔루션 LabVIEW, 오름사, 2002년
- [5] LabVIEW Express(교과), 오름사, 2003년