

## 현장실측에 의한 몰드변압기 진동 분석

김종민, 송길목, 방선배, 김영석, 최명일  
한국전기안전공사 전기안전연구원

### Analysis of Mold Transformer Vibration in Field Test

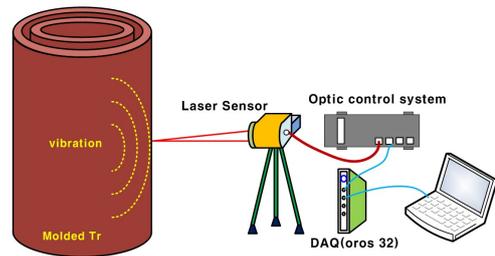
Chong-Min Kim, Kil-Mok Shong, Sun-Bae Bang, Young-Seok Kim, Myeong-il Choi  
Electrical Safety Research Institute KESCO

**Abstract** - 본 연구에서는 몰드변압기의 다양한 진단방법 연구를 위해 몰드변압기의 진동을 측정 분석하였다. 현장에서 사용되어지고 있는 3상 몰드변압기를 용량별로 진동수를 측정하고 FFT 분석을 실시하였다. 현장실측을 통해 몰드변압기의 상태진단을 진동으로 확인할 수 있었다. 진동주파수만을 측정하여 판단하는 것은 어려움이 있었으며, 단, 삼상변압기의 각 상에 대한 비교평가는 가능한 것으로 확인되었다.

/s/v인 비접촉식 진동속도계(LV110D, EM4SYS사)를 사용하였다. 사고가 제일 많이 발생하는 몰드변압기 1 차측(외측)을 비접촉식 진동측정기를 통해 측정하고 FFT 분석을 통해 진동분석을 실시한다.

### 1. 서 론

변압기는 1차측에 유입된 교류전력을 받아 전자기유도작용에 의해서 전압 및 전류를 변성하여 2차측에 공급하는 정지형 전기기기이다. 산업의 발전과 수요의 급격한 증가는 대용량 전기시설을 요구하고 있으며 변압기 역시 고압화, 대용량화 및 전력설비의 소형, 경량화가 이루어지고 있다. 이와 같은 요구에 따라 절연유를 넣어 절연시키는 유입변압기를 대신하여 최근에는 몰드변압기의 사용이 증가되고 있다. 몰드변압기를 사용하는 이유는 설치 환경 특성상 발화 가능성이 적고, 기계적 강도가 크며, 진공상태에서 주형 몰딩함으로써 흡습에 의한 절연 열화가 거의 없기 때문이다. 또한 코일의 이완이 발생하지 않아 보수 및 점검이 간단, 정상적인 제품인 경우 부분방전 개시 전압이 높아 초기 운전상태에서 부분방전에 의한 변압기의 파손 위험이 줄어들고, 이에 따라 소형화 및 경량화가 가능하기 때문이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 최근에는 몰드변압기가 내부 또는 외부 트러블 요인에 의해 소손되고 전기화재 이어지는 경우가 다수 발생하고 있다.



〈그림 1〉 몰드변압기 진동측정방법

### 2.2 몰드변압기 현장실측 및 분석

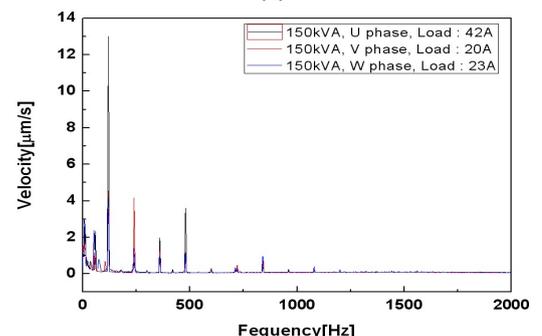
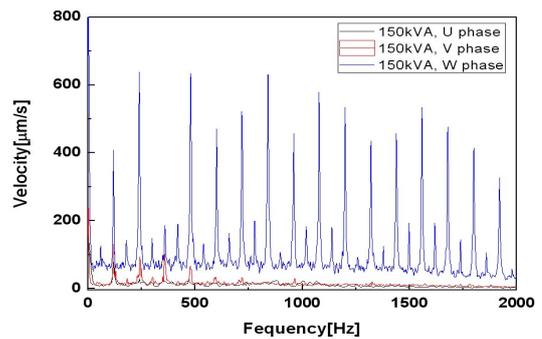
변압기 진동신호의 경향을 분석하기 위한 수단으로 진동신호를 주파수 분석하여 고조파성분과 크기를 계산하였다. 변압기의 측정된 진동신호로부터 내부의 기계적 구조변화를 판단하기 위해서는 그 변압기의 진동신호를 오랫동안 측정하면서 진동신호의 특성이 변화하는 경향을 살펴야 한다. 그런데 운전중인 변압기는 수시로 그 운전조건이 변화되므로 그 경향성을 찾기는 쉽지않다. 전압은 정격전압의 100±5 %에서 변화되며 어떤 순간에는 이보다 큰 변동폭을 보일 수도 있다. 부하전류는 보통 정격부하의 30~60%에서 운전되지만 그 밖의 상태에 따라서 변화되고 더욱이 계절의 영향도 크게 받는다[5].

### 2. 본 론

#### 2.1 몰드변압기의 진동측정 방법

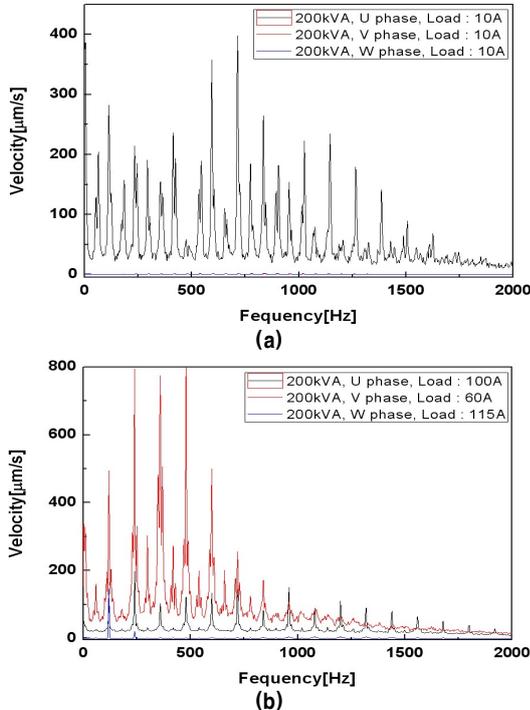
변압기의 경우 내부 철심의 자왜현상에 의해 발생하는 전기주파수는 120Hz의 배수 조합이 변압기 외벽을 통하여 외부로 방출하게 된다. 이때 변압기 외벽이 가지는 고유진동에 대한 변압기 내부 자장인 자왜현상의 진동수와 같은 주파수에 의해 공진현상이 발생이 크게 증가하게 될 것이다[4]. 고유 진동수란 “계의 자유 진동의 주파수이다. 1자유도인 비감쇠계에서의 주파수는 정지 위치로부터 순간마다의 변위에 따라 변동할 것이다.” 라고 정의하고 있다. 또한 다 자유도계에서는 고유 진동수들은 진동의 정상적인 Mode들의 주파수들이다. 모든 기계와 모든 구조물들은 여러 개의 고유 진동수들을 가지고 있다. 하나 또는 그이상의 고유 진동수에서 진동하도록 힘이 가해지면 고유 진동수 보다 낮거나 높은 주파수에서 동일한 힘이 가해질 때보다 10배 내지 100배의 동적 응력이 더 발생된다. 그러나 기계가 많은 고유 진동수를 가지고 있다고 해서 반드시 문제가 되는 것은 아니다. 이들이 가진될때만 문제가 된다. 공진이란 가진 주파수들이 하나 이상의 고유 진동수들과 실제로 일치할 때 발생하는 상태이다.

그림 1은 몰드변압기의 진동을 측정하기 위한 개략도를 나타낸다. 몰드변압기의 진동을 측정하기 위하여 Velocity output sensitivity 15mm



〈그림 2〉 150kVA 3상 몰드변압기 진동측정

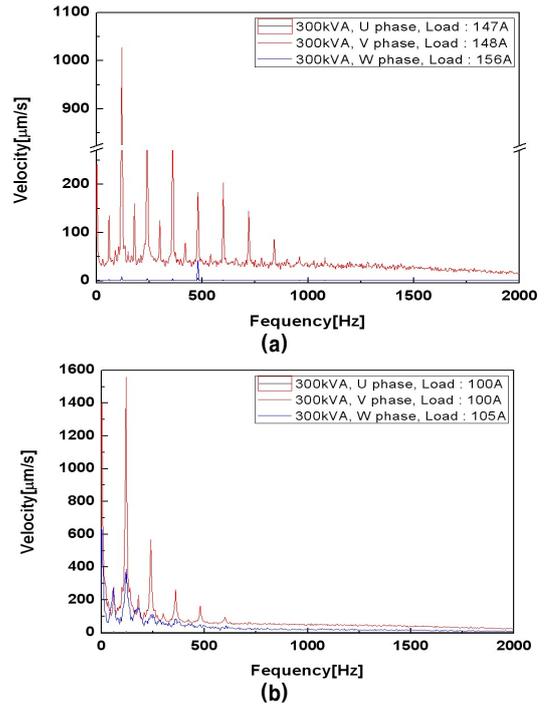
그림 2(a)는 3상 150kVA로 운전중인 변압기의 U, V, W상의 각각의 진동을 측정하고 FFT 주파수 분석을 실시한 것이다. 3상의 변압기는 각각의 부하조건에 따라 진동형태가 다르며 또한 W상의 진동이 다른상에 비해 크며 높은 주파수 성분에서도 진동폭이 큰 것을 확인할 수 있다. 이처럼 하나의 철심으로 연결되어 사용되어지고 있는 3상의 변압기는 각각의 상의 진동이 다른 형태로 지속되고 있으면 진동에 따라 권선 부분의 탭 조임, 상결선 조임, 볼트의 풀림현상이 발생되고, 또한 몰드변압기의 가지는 고유의 진동주파수와와의 공진이 발생할 확률이 높아져 사고로 진전될 수도 있을 것으로 사료된다. 그림 2의 (b)는 그 기본주파수가 120Hz이고 그 고조파 성분이 섞인 정현파이며 그 크기가 미약하므로 분석 대상으로는 삼지 않았다.



<그림 3> 200kVA 3상 몰드변압기 진동측정

그림 3(a)는 200 kVA 용량의 3상 몰드변압기에서 진동분석결과이다. U상에서의 진동주파수를 보면 115Hz, 595Hz, 715Hz, 835Hz 등에서 나타나는 것으로 볼 수 있다. 본 변압기의 경우에는 3상에서 고르게 부하를 사용하는 경우로서 각 부하의 조건이 3상에 고르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 U상의 경우에만 진동주파수가 다수 발생하는 것으로 보아 U상에서의 단상부하에서 전기전자시스템에 의한 고조파의 영향이 있는 것으로 추정하여 그 결과를 확인하였다. 따라서 그 영향은 진폭에서 크게 나타나 V, W상에서 나타난 결과와 비교하여 100배 정도의 차이가 있음을 볼 수 있다. 반면, V, W상의 진동패턴은 거의 유사한 것으로 나타났다. 이는 몰드변압기의 누적피로에 대한 영향을 분석하는 데 매우 효과적인 것으로 판단된다. 그림 3(b)는 그림에서 알 수 있듯이 일반적으로 60Hz의 정현파에서 발생하는 영향이 고체절연체를 통해 진동으로 나타난 일반적인 형태를 확인할 수 있다. 진동주파수 옆으로 발생하는 side band는 3상 변압기에서 일반적으로 발생하는 현상이다. 그러나 side band가 커지면 몰드변압기의 고유진동주파수와 일치할 수 있는 가능성이 있으므로 이에 대한 대비책이 필요하다. 대비책의 하나로는 볼트와 너트의 조임상태 확인이나 구조물의 변경 등을 들 수 있다. V상의 경우에는 부하는 U상보다 작으나 진동에 의한 진폭이 큰 것으로 나타났다. 또한, side band의 영향이 클 것으로 예상된다. V상의 변압기는 U상과 W상의 영향에 의한 진동변화도 고려해야 한다. 따라서 부하의 분담에 있어서 중앙에 위치한 V상보다는 U상 또는 W상에 단상부하의 가중을 높이는 것이 바람직한 것으로 판단된다. W상은 부하가 가장 높으나 진동에 의한 진폭은 낮은 것을 확인할 수 있으며, U상의 경우와 매우 유사한 진동패턴을 가지고 있다. 따라서 본 계속 결과에 의해서는 중앙에 위치한 V상의 변압기에서 진동에 의한 영향이 큰 것으로 비교 평가 될 수 있다.

그림 4(a)는 300kVA 용량의 3상 몰드변압기에서 진동분석결과이다. U상은 외부의 영향이 거의 없고 전기적 신호에 의한 영향이 그래프에 나타난 것을 볼 수 있다. 부하율에서 알 수 있듯이 경부하 상태로 이로 인한 영향이 미미한 것으로 판단된다. V상의 진동진폭은 U상에 비해 큰 것으로 확인되었다. 약 100배의 진폭차이가 나타나는 것으로 보아 부하의 분배는 일정하나 부하의 특성이 매우 다른 것으로 확인된다.



<그림 4> 300kVA 3상 몰드변압기 진동측정

그림 4(b)는 U상의 부하율이 타 상에 비해 약간 낮은 것으로 확인되며, 진동주파수의 검출에 있어서도 낮은 것으로 확인할 수 있다. 주파수는 60Hz, 120Hz, 360Hz 등이며, 부하에 의해 거의 진동이 없는 것으로 나타났다. V상은 U상과 달리 진동진폭의 크기가 매우 큰 것으로 나타났으며, 향후 전력분석을 통해 부하의 특성을 정의할 필요가 있다. 본 3상 몰드변압기는 각 부하분담을 통해 단상으로 사용되는 경우로써 각 부하에 따른 특성이 몰드변압기의 진동에 영향을 미치는 결과가 다르다는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 몰드변압기의 현장에서 사용되어지고 있는 3상 몰드변압기를 용량별로 진동수를 측정하고 비교 분석하여 보았다. 현장실측을 통해 몰드변압기의 상태진단을 진동으로 확인할 수 있었다. 진동주파수만을 측정하여 판단하는 것은 어려움이 있었으며, 단, 삼상변압기의 각 상에 대한 비교평가는 가능한 것으로 확인되었다. 또한 부하의 불평형률이나 부하의 특이성에 의해 변압기의 피로도가 매우 다른 것을 확인할 있었으며, 이 결과를 통해 부하의 특이성을 분석하는 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 부하가 낮더라도 진동의 진폭이 큰 경우에는 진동실측자료의 주파수 분석에 의해 다양한 주파수가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 진동의 영향이 크게 미치는 것으로 파악되었다. 부하량이 많아지면 대체적으로 진동의 진폭이 커지는 것을 볼 수 있으나 부하의 특이성에 비해 낮은 것을 확인하였다. 추후 계속되는 연구에서는 몰드변압기의 다양한 부하환경에 따른 고유진동 주파수에 대한 matching에 대한 영향성 분석을 위해 3<sup>rd</sup>, 5<sup>th</sup> harmonics에 대한 진동주파수의 변화, 부하의 크기 변화에 따라 진동 주파수 shifting, 부하특성에 따른 영향성 분석을 수행할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2008년도 지식경제부 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. 2010T100100327)

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김영달, "운전 중인 전력용 변압기(154kV)의 부하용량과 경년이 진동에 미치는 영향", 대한전기학회지, 58P, No. 2, p172~177, 2009
- [2] 이상우, "초음파를 이용한 예폭시 몰드변압기의 열화진단", 한국조명·전기학회지, No. 13, pp.73~81, 1999
- [3] 박찬용, "몰드변압기에서 부분방전 검출방법의 비교분석", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp.301~306, 2008
- [4] 김기원, 김양한, "몰드변압기 소음저감을 위한 진동특성파악", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp.49~53, 2008
- [5] 이도훈, "배전용변압기의 소음저감을 위한 진동주파수의 스펙트럼 분석", 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집, pp.346~348, 2002