

변압기 사고 검출을 위한 진동신호 연구

김현식^o, 강창구, 정찬수, 김재철.

승실대학교 전기공학과.

A Study on the Vibration Signal for Detection of Power Transformer Failure

Hyun-Sik Kim^o, Chang-Goo Kang, Chan-Soo Chung, Jae-Chul Kim.
Soong-Sil Univ.

Abstract - Recently, as power transformer capacity is getting larger, vibration noise of transformer would be large and unexpected failure of transformer give enormous economic loses, So we acquire vibration signal, which is maked from transformer windings, core that are airtight out box with in insulation oil, and out box. Also we are fixed rated voltage and changing load current, analyze frequency domain of each vibration signals.

1. 서론

최근 국민 생활의 수준 향상과 청정에너지로서의 전기에너지가 각광 받음에 따라 이에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며, 그에 따른 전력 수급을 위한 전력설비 역시 대용량화 하지 않을 수 없게 되었다. 따라서 전력설비의 핵심을 이루는 변압기 역시 대형화 하는 추세에 있어서 이의 사고 고장시 그 수리비는 물론, 파급되는 손실은 실로 막대한 것이므로 변압기의 초기 고장을 예측하고 확인할 수 있는 방법이 필요하게 되는데, 변압기의 열화상태를 판정하고 사고방지를 위한 관측대상으로 진동, 온도, 유전체손, 유증가스분석 및 부분방전 등을 이용하여 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 관측대상중 진동신호의 분석은 변압기의 2차측 일선지락이나 단락사고 등의 고장진류에 의한 전자력, 과부하에 의한 온도상승, 절연물 열화로 인한 권선지저력 약화, 권선의 변형 및 탈락 등에 의한 신호패턴의 변화를 감지할 수 있으므로 초기고장 탐지에 유용한 관측대상이다.

변압기의 진동원인은 전류, 전압, 및 온도에 의한 변압기의 권선이나 철심의 변형으로, 전류의 전자력에 의한 영향을 가장 많이 받는다. 이 전자력이 각 권선사이에 작용하여 권선을 진동시키고 따라서 기계적으로 결합되어 있는 철심을 진동시킨다.

본 연구에서는 변압기 권선과 철심, 외함의 진동신호를 취득하고 또한 정격 전압상태에서의 부하 변화에 따른 변압기 진동신호의 고조파별 변화 추이를 살펴봄으로써 변압기의 초기고장을 탐지할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

부하 전류에 따른 진동신호의 주파수별 변화 추이를 알아보기 위하여 정격전압이 13200/230[V]이고, 정격용량이 50[KVA]인 내철형 단상 변압기 2대와 정격전압이 1320/230[V] 이고 정격용량이 30[KVA]인 단상 변압기 1대로 반환부하법을 이용하여 설치 하였다.

반환부하법이란 실제의 부하를 걸지 않고 변압기의 손실을 외부에서 공급하여 전력의 소비를 피할 수 있는 방법이다. 실험하려는 2대의 변압기(TR1, TR2)는 특성이 모두 같고 2차측은 병렬로, 1차측은 직렬로 접속하여 IVR1(철손공급)을 조절하면 인가전압이 무전압 상태에서 정격전압까지 조절할 수 있다. 그러면 TR1, TR2의 1차측 유기전압의 크기와 위상이 같으므로 전류가 흐르지 않는다. IVR2(동손공급)를 조절하여 TR3의 1차측에 임피던스 전압의 2배(약70[V])를 인가하면 변압기에 정격 전류가 흘러 전부하를 걸고 운전하고 있는 상태와 같은 효과를 내게 된다. 반환부하법의 장점으로는 실제 부하의 사용없이 철손과 동손을 공급하여 마치 부하가 걸려있는 상태로 만드는 것이므로 전력 소비가 적다.

진동신호 취득을 위한 가속도계는 Wilcoxon Research 사의 증폭 앰프 내장형 압전 가속도계이고, 감도는 25[°C]에서 $\pm 5\%$ 이고 주파수 대역은 3~10,000[Hz]이다. 가속도계의 부착 방법은 가속도계를 지지 할 수 있는 지지대를 설계, 제작하여 변압기 권선 중앙에 고정 시켰고 스프링을 설치하여 일정한 크기의 힘을 주도록 하였다. 또 철심 진동을 알아 보기 위하여 변압기 철심 상부에 자석으로 가속도계를 부착 시켰다. 그리고, 변압기 외함의 진동을 위해 변압기의 외함에 자석으로 가속도계를 부착 시켰다. 측정된 진동신호는 매우 미약한 신호이므로 이를 증폭하여 A/D변환기의 입력레벨까지 증폭(40[dB])하기 위한 프리앰프(Pre-Amp)를 사용하고 전압변성기 및 전류변성기의 출력은 각각 100[V] 및 5[A]에 해당하므로 A/D변환기의 레벨까지 낮추기 위하여 전압 Transducer 및 전류 Transducer를 사용하였다. 프리앰프(Pre-Amp) 및 각종 Transducer로 부터의 출력신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 A/D보드를 사용하였다. A/D보드에서 디지털화된 각종 신호들을 처리하고 운영자와

의 인터페이스를 위하여 IBM PC 호환기종을 사용하였다. 그림 1은 실험장치 결선도이다.

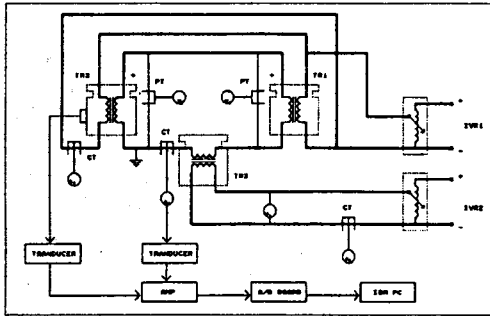


그림 1 실험 장치의 결선도

전압은 정격전압의 100%(13200[V])로 인가하며 전류는 정격 전류의 25%, 50%, 75%, 100%로 가변시켜 인가하여 진동 신호를 측정하였고 또한 정격부하상태에서 전압을 변동하였을 때의 진동신호를 측정하여 고조파별 변화추이를 살펴보았다.

표 1 인가부하(%)당 2차측전류

인가 전류 [%]	2차측 전류[A]
25 [%]	6.25
50 [%]	11.5
75 [%]	16.87
100 [%]	22.5

3. 실험결과 및 고찰

3-1 부하변동시 진동신호의 고조파성분의 크기 변화

변압기에 정격전압을 인가하여 부하전류를 변화시켜 가속도 센서로부터 취득된 신호를 가지고 고조파 분석을 위해 FFT 방법을 사용하였다. 그림 2 (a)는 권선진동신호의 고조파별 크기를 나타낸 것이다. 진동의 기본 주파수인 120[Hz]가 25%의 부하에서 -80.49[dB], 100% 부하에서 -60.22[dB]를 나타내므로 약 20[dB]정도의 차이를 보이므로 120[Hz]성분이 부하변화에 따라 가장 큰 변화를 나타내었다. 이외에 240[Hz]에서는 1~2[dB] 차이의 변화를 보였고, 360[Hz]에서는 거의 변화가 없었으며 480[Hz]성분의 경우 2~7[dB]정도의 변화를 보이지만 기본 주파수인 120[Hz]보다 변화폭은 상당히 작은 편이므로 부하변화에 따른 변압기 권선의 진동은 기본주파수 120[Hz]가 가장 많은 영향을 받음을 알 수 있다. 그림 2 (b)는 철심진동신호의 각 고조파 크기를 나타낸 것이며 그림 2 (c)는 외함에서 측정된 진동신호의 고조파 크기를 나타낸 것이다. 철심과 외함진동신호의 고조파 크기 역시 약 3~4[dB]의 차이는 존재하지만 일정한 변화형태를 보이고 있다. 이는 전류에 의해 발생하는 변압기의 진동이 권선에 의해서 가장 크게 영향을 받는다고 할 수 있으며 또한 주파수 대역중 기본파인 120[Hz]가 가장 큰 영향을 받

는다고 할 수 있다.

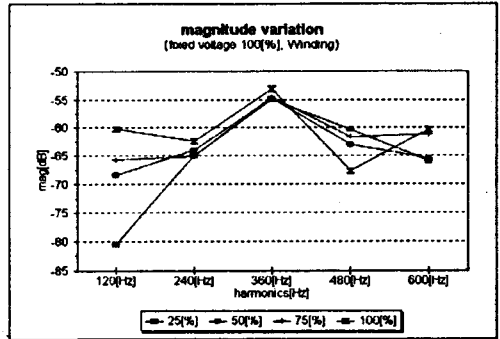


그림 2 (a) 권선진동신호의 고조파 크기 (부하변동)

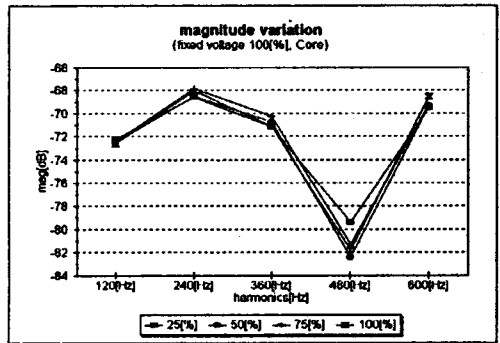


그림 2 (b) 철심진동신호의 고조파 크기 (부하변동)

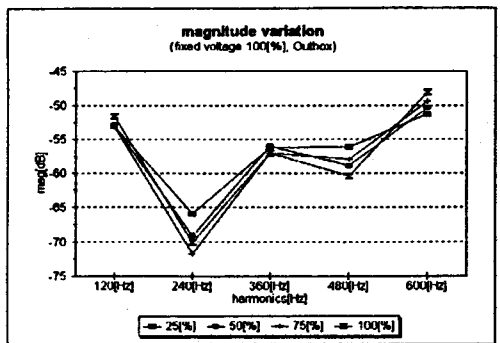


그림 2 (c) 외함진동신호의 고조파 크기 (부하변동)

3-2 전압변동시 진동신호의 고조파성분의 크기 변화

그림 3 (a)는 전압변동시의 권선진동신호의 고조파성분의 크기를 나타낸 것이다. 부하변동시와 마찬가지로 120[Hz]를 기본 주파수로 하여 다른 고조파와의 크기를 비교 하였다. 전압을 25%에서 75%까지 변동시켰을때의 각 고조파 크기를 살펴보면 360[Hz]성분의 경우 25% 전압인가시 -109[dB], 50%의

전압인가시 $-102[\text{dB}]$, $75[\%]$ 의 전압인가시 $-98.77[\text{dB}]$ 를 보이며 각각 수 $[\text{dB}]$ 의 차이가 있었으나 이외의 다른 고조파 성분은 전체적으로 볼 때 일정한 값을 나타냈다. 그러나 정격전압(100 $[\%]$)이상을 인가했을 경우 120 $[\text{Hz}]$ 성분의 크기를 제외한 나머지 주파수 성분의 크기는 큰 폭으로 변화됨을 볼 수 있다. 그림 2 (b)는 철심진동신호의 크기를 나타낸 것으로 그림 2 (a)의 권선전동의 크기 변화와는 약간 다른 모습의 변화를 보이고 있으나 75 $[\%]$ 의 전압이상을 인가했을 경우의 전체적 변화 경향은 권선의 변화 경향과 유사하다. 그림 3 (c)는 외함진동신호의 고조파별 크기 변동을 나타낸 것이다. 이 역시 75 $[\%]$ 이상의 전압을 인가했을 때 나타나는 변화는 권선, 철심과 같은 모습을 보이고 있다.

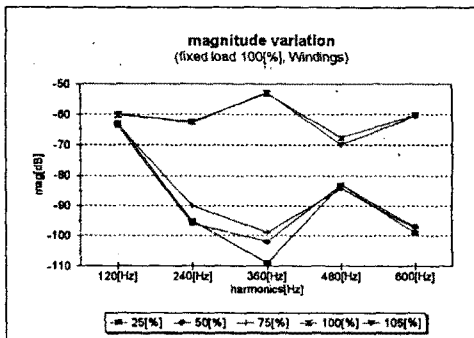


그림 3 (a) 권선진동신호의 고조파 크기 (전압변동)

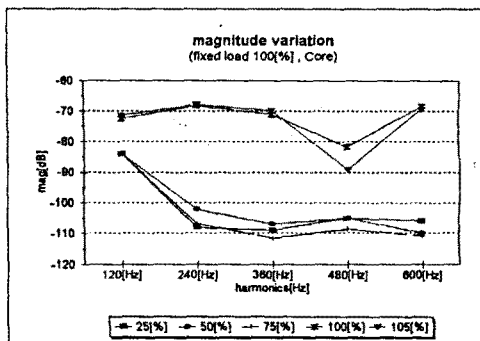


그림 3 (b) 철심진동신호의 고조파 크기 (전압변동)

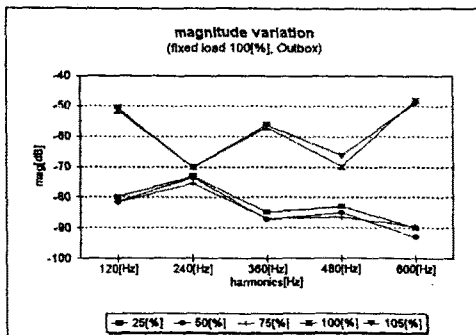


그림 3 (c) 외함진동신호의 고조파 크기 (전압변동)

4. 결론

본 연구에서는 정격전압하에서 부하전류의 변화에 따른 변압기의 권선 및 철심과 외함의 진동신호와 정격전류하에서 부하를 변동시켰을 때 발생하는 진동신호의 고조파의 크기를 관찰하였다. 부하변동시의 진동신호의 고조파 크기는 기본파인 120 $[\text{Hz}]$ 성분의 크기가 두드러진 변화를 나타내었다. 나머지 고조파의 크기는 부하전류의 변화에 관계없이 일정한 크기의 값을 나타냈다. 또한 전압을 변동시켰을 경우는 75 $[\%]$ 이하의 전압을 인가한 경우와 75 $[\%]$ 이상을 인가했을 경우의 변화경향이 모두 유사했다. 이는 변압기에서 발생하는 진동신호는 전류에 의해서 가장 많은 영향을 받는다고 생각할 수 있다. 따라서 기본주파수인 120 $[\text{Hz}]$ 를 토대로 부하변동시 고조파별 크기를 관찰하면 변압기의 이상시에는 그 크기가 크게 변화할 것이므로 변압기의 고장진단을 위해서 정상상태의 변압기 진동신호를 분석하고 반복적인 데이터 수집에 의해 진동의 크기와 신호의 모델계수 등의 그 경향을 파악한다면 변압기의 초기고장 진단의 신뢰도를 높일수 있으리라 사료된다.

5. 참고문헌

- [1] Lavelle, Juan C, "Failure Detection Transformers Using Vibration Analysis," Department of Electrical Eng. and Computer Science, M.I.T., Cambridge, MA, September 1986.
- [2] 라노홍 "진동분석에 의한 변압기 고장진단 연구", 전력저, 8 권4호, 1991.12
- [3] Wayne H.Hagma, Thomas H. Crowley, "An Adaptive Transformer Monitoring System", Laboratory for Electromagnetic and Electronic System M.I.T, 1986
- [4] 정찬수, 김재철 의 "부하전류 변화에 대한 변압기 권선의 진동분석에 관한 연구" 대한 전기학회 방전 및 고전압 연구회는 문집, pp.54~57, 1994. 5.
- [5] 정찬수, 김재철, 정상진 의 "변압기 권선고장 검출을 위한 진동분석 시스템 개발 연구", 한국전력공사 기술연구원, 1994. 12.
- [6] 정찬수, 김재철 의 "변압기의 기계적 구조변형에 따른 진동신호 특성변화," 대한 전기학회 전력계통 연구회 논문집, pp. 39~42, 1995. 5.