

단락시험 전·후의 변압기 진동신호 특성

*강창구°, *김현식, *김영식, *김재철, *정찬수, *곽희로, **주병수
* 숭실대학교 대학원 전기공학과, ** 한국전력 기술연구원

Characteristics of Vibration Signal in the Transformer before & after Short Circuit Test

*Chang-Gu Kang°, *Hyun-Sik Kim, *Young-Sik Kim
*Jae-Chul Kim, *Chan-Soo Chung, *Hee-Ro Kwak, **Byoung-Soo Joo
* Soong Sil Univ, ** KEPCO

Abstract - This paper describes the method of diagnosis for power transformer, using vibration signal analysis. Vibration signal to be made from transformer is the liner combination of load current, applied voltage and internal temperature. This study measured the vibration signal by before and after short circuit test of the transformer. And the signal analysis and comparison was carried out for AR modeling and frequency analysis

1. 서론

최근 산업이 고도화, 고기능화 및 다양화되고 전력시스템의 확장으로 인한 전기에너지의 수요는 날로 증가되어 가고 있다. 이에 따라 전기에너지의 원활한 공급을 위한 전력설비의 증설이 불가피한 실정이다. 전력설비중 많은 비중을 차지하고 있는 변압기는 구조적으로 복잡하고 밀폐되어 있어 이상 발생시 즉각적으로 관측하기가 쉽지않다. 그러므로 전력수급의 신뢰성을 높이기 위해서는 이상 징후를 관측할수 있는 진단기법이 필요하다. 특히 변압기의 2차측에서 일신지락 및 단락사고등의 고장진류에 의한 전자력, 과부하에 의한 온도상승, 절연물 열화등에 의한 권선지력의 약화, 권선의 변형 및 탈락등으로 변압기의 권선 또는 철심에 진동이 변화한다. 측정된 진동신호로부터 변압기 내부의 기계적 구조변화(즉, 변압기의 고장여부)를 판단하기 위해서는 그 변압기의 진동신호를 오랫동안 관찰하면서 진동신호의 특성이 변화하는 경향을 살펴야 한다. 진동신호의 변화를 상시 감시하게 되면 변압기의 초기고장을 탐지할 수 있다.

본 논문에서는 전압은 정적전압의 100%(13200[V]), 전류는 정격전류의 50%를 인가하여 시험용 변압기의 단락시험을 행하기 전·후에 따른 변압기 진동신호를 권선, 철심 및 외함에서 각각 측정하여 진동신호의 주파수 변환에 의한 진동 스펙트럼, AR 모델링 기법에 의한 계수값 등을 계산한 후 파라미터들의 경향을 분석하였다.

2. 실험장치의 구성

실험장치는 시험용 변압기로 단상 50[kVA] (13200/230[V]) 적철심형과 또한, 같은 규격의 기준 변압기(TR1)로 되어 있다. 동손 공급을 위한 변압기(TR3)는 단상 30[kVA] (1320/230[V])가 있고 이 변압기 전원측과 철손 공급을 위한 전원은 단

상 15[kVA](입력:200[V], 출력:0~300[V])인 유도 전압 조정기 2대(IVR1, IVR2)가 그림 1과 같이 연결되어 있다. 고압측 전압을 계측하기 위하여 13200[V]급 PT 2대와 전류 계측을 위하여 CT 3대(200/5[A], 100/5[A], 25/5[A])를 설치하였으며 2차측에는 전압계와 전류계와 더불어 transducer를 설치하였다.

부하는 반환부하법을 이용하여 부하의 조정을 하도록 되어 있다. 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 유효전압의 크기와 위상이 같으므로 전류가 흐르지 않는다. IVR2(동손공급)를 조절하여 TR3의 1차측에 임피던스 전압의 2배(약70[V])를 인가하면 변압기에 정격전류가 흘러 전부하를 걸고 운전하고 있는 상태와 같은 효과를 내게 된다. 반환부하법의 장점으로서는 실제 부하의 사용없이 철손과 동손을 공급하여 마치 부하가 걸려있는 상태로 만드는 것이므로 전력 소비가 적다. 그림 1은 실험장치의 결선도이다.

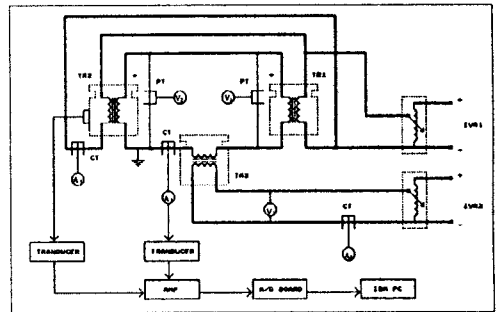


그림 1 실험 장치의 결선도

변압기 진동을 계측하기 위하여 진동신호 측정용 가속도 센서는 Wilcoxon Research 사의 100 [mV/g]의 고감도 앰프내장형 가속도 센서를 이용하였다. 가속도 센서는 속도의 변화량을 측정하는 센서로써, 이것을 변압기 권선, 철심, 외함에 각각 부착하여 진동신호를 측정하였다. 철심과 외함에서는 자석을 이용하여 부착하였으며, 권선에서는 절연을 고려하여 가속도 센서를

지시킬 수 있는 지지대를 설계 제작하여 권선중앙에 고정시키는 방법을 사용하였다. 또한 센서 지지대에는 스프링을 설치하여 항상 일정한 크기의 힘으로 센서를 밀어주도록 하였다.

진동신호는 매우 미약한 신호이므로 이를 증폭하여 A/D변환기의 입력레벨까지 증폭(40dB)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 운영자와의 인터페이스를 위하여 IBM PC 호환기종을 사용하였다. 그림 2는 데이터 취득 장치의 구성도이다.

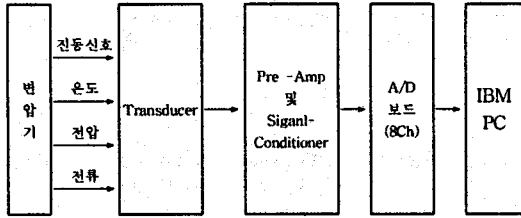


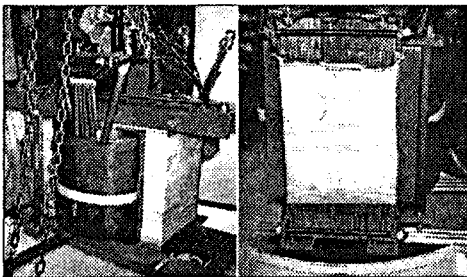
그림 2 데이터 취득 장치의 구성도

3. 단락시험

고장전류에 의한 충격으로 변압기의 철심과 권선의 구조 변화가 생겼을 때 그 전·후에 진동신호의 차이점을 확인 하고자 단락시험을 행하였다. 단락시험은 변압기에 큰 전류를 흘려서 권선과 철심등의 비틀림등을 유발시켜서 사고로 인한 변압기의 고장을 모의하기 위하여 시행하였다. 표 1은 변압기의 단락 시험 결과를 정리한 것이다. 단락 시험에서는 임피던스의 변화가 무려 22.3[Ω]이나 발생하였다. 단락 시험 결과를 종합하면 단락 시험으로 인하여 변압기(TR2)의 기계적 구조 변화가 많이 발생했음을 알 수 있으며, 그림 3의 변압기 내부 모습에서 확인할 수 있었다.

표1 단락장도 시험 결과(TR2)

시험번호	시험전압 측정지점[cycle]	시험전압 [kV]	시험전류 [A]	임피던스 변화
45014	1.5	13.1	108.7	7.8
	13.5	13.3	100.0	
45015	1.5	13.3	96.0	22.3
	13.5	13.3	82.7	



(a) 단락시험 전 (b) 단락시험 후
그림 3 단락시험 전·후의 변압기 내부 모습

4. 실험방법

일반적으로 모형화 대상을 블래크스로 보고 그 입력과 출력만으로 시스템을 모형화 하는 ARX(Auto-Regressive External) 모델링 기법을 생각할 수 있다. 그러나 변압기 진동의 원인은 전압, 전류 및 온도변화, 기계적 구조변형 등 여러가지 요소에 의해 복합적으로 나타나므로 어느 하나만을 입력으로하여 시스템을 모형화 하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 입력을 고려하지 않고 출력만으로 시스템을 모형화 하는 AR(Auto-Regressive)모델링 기법을 사용하였다. 이 방법은 센서의 수를 줄여 실험장치를 간략화 시킬 수 있으며, ARX 모델과 같은 결과를 얻을 수 있다. 시스템 차수는 $a_1 \sim a_{16}$ 까지 16차로 선정하였다.

전압은 정격전압의 100%(13200[V]), 전류는 정격전류의 50[%]로 인가하여 단락시험 전·후에 변압기 진동신호를 가속도 센서를 통하여 권선, 철심과 외함에서 측정하였다.

5. 실험결과 및 고찰

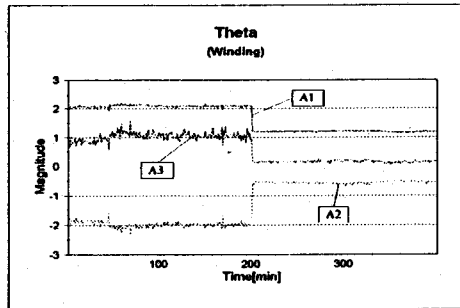
5-1 진동신호의 AR 모델링 계수 변화 경향

그림 4(a)는 변압기 권선에 부착된 가속도 센서의 신호중 단락시험 전·후의 AR 모델링 계수를 구하여 그 경향을 비교한 실험결과이다. 이 그림은 정상변압기(단락시험전, 정상상태)의 진동신호로부터 AR 모델링을 하여 그 계수를 0~200분 까지 도시하고(편의상 16개의 계수중 a_1, a_2, a_3 만 도시함) 단락시험 후의 변압기를 같은 조건(전압 100[%], 전류 50[%])으로 운전하면서 얻은 진동신호로부터 AR 모델링을 하여 그 계수를 201~400분 까지 도시하였다. 그림 4의 (b)와 (c)는 철심 및 외함의 진동신호에 대하여 단락시험 전·후의 AR 모델링의 계수를 도시한 것으로 단락시험 전·후가 뚜렷이 다른 점을 쉽게 알 수 있다.

변압기에서 기계적 구조 변화가 발생하지 않아도 AR 모델링의 계수가 시시각각으로 변화하고 있지만 그 변화폭은 어떤 평균치를 갖고 있다. 그러나 변압기에 기계적 구조변화가 발생했을 때에는 이 평균치가 크게 변화한다. 즉 평균치의 값이 크게 변화하면 기계적 구조변형이 발생했다고 진단할 수 있다.

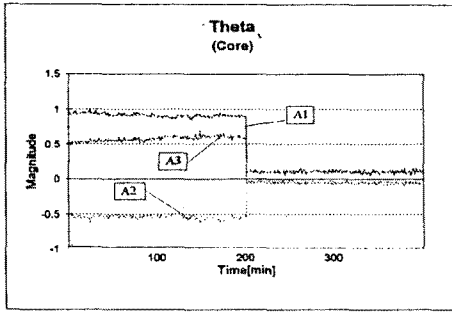
5-2 진동신호의 주파수 특성 변화 경향

변압기의 진동신호는 여러개의 고조파가 합성된 복잡한 신호이다. 본 논문에서는 진동신호를 주파수 영역에서 분석하기 위해 FFT방법을 사용해서 주파수 특성 변화를 알아보았다. 진동신호의 기본 주파수는 상용 주파수의 2배인 120[Hz]이므로 이것의 배수 대역인 240, 480, 600[Hz]에서 스펙트럼을 관찰하였다.

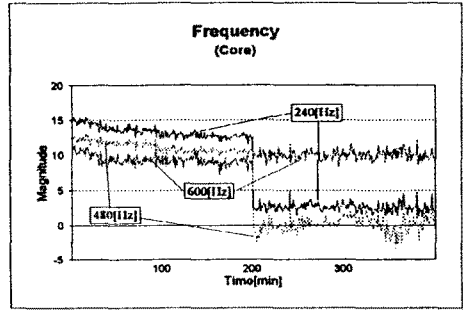


(a) 권선

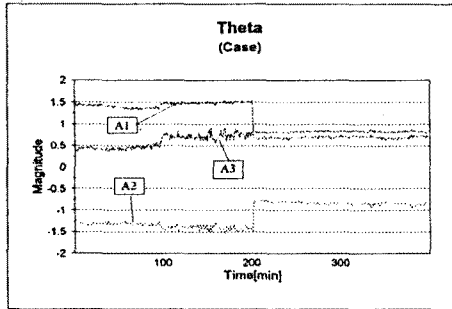
그림 4 단락시험 전·후의 AR 모델링의 계수 a_1, a_2, a_3 의 경향



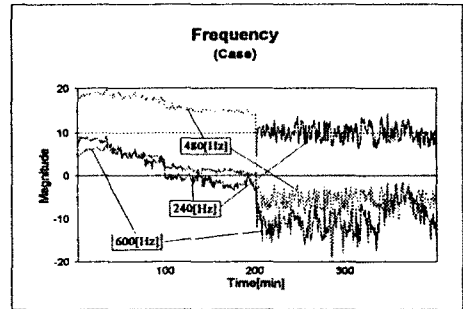
(b) 철심
 그림 4 단락시험 전·후의 AR 모델링의 계수 a_1, a_2, a_3 의 경향



(b) 철심
 그림 5 단락시험 전·후 진동신호의 고조파 성분 변화모습



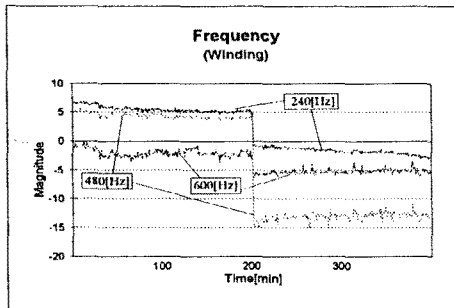
(c) 외함
 그림 4 단락시험 전·후의 AR 모델링의 계수 a_1, a_2, a_3 의 경향



(c) 외함
 그림 5 단락시험 전·후 진동신호의 고조파 성분 변화모습

그림 5는 단락시험 전·후의 변압기 권선, 철심, 외함에 부착된 가속도 센서에서 검출된 진동신호를 주파수 분석하여 240 [Hz], 480 [Hz], 600 [Hz] 성분의 경향을 보인 것으로 0~200분까지는 정상상태 조건(단락시험 전)에서 진동신호의 주파수 분석 결과이고 201~400분까지는 단락시험 후의 주파수 분석 결과이다. 600 [Hz]성분의 경우에는 단락시험 전·후의 변화가 비교적 적으나 240 [Hz]와 480 [Hz]성분의 경우에는 단락시험 전·후의 주파수 특성이 뚜렷이 다름을 볼 수 있다.

변압기의 상태에 이상이 없을 때에도 진폭변화가 있으며, AR 모델링의 계수보다 그 변화폭이 크지만, 단락시험 전·후의 변화에 비하면 작은 값이다. 이 방법으로도 변압기 내부의 기계적 구조변화를 탐지할 수 있음이 확인되었다.



(a) 권선
 그림 5 단락시험 전·후 진동신호의 고조파 성분 변화모습

6. 결론

본 논문에서는 시험용 변압기(TR2)를 단락시험을 통해 기계적 구조 변형을 일으켜서 진동신호의 특성변화에 대하여 연구하였다. 측정된 진동신호를 주파수 변환에 의한 진동 스펙트럼과 AR 모델링 기법에 의한 계수값을 비교 분석한 결과 같은 조건하에서(진압은 정격진압의 100[%], 진류는 정격진류의 50 [%]) 단락시험 전·후의 변압기의 진동 스펙트럼과 AR 모델링의 계수값이 변화함으로써 기계적 구조변화를 탐지할 수 있었다.

이것으로 변압기내부에 변화가 생기면 진동 스펙트럼과 AR 모델 계수값이 변화함을 이용하여 변압기의 진동신호를 계속해서 취득, 분석함으로써 그 경향을 비교한다면 변압기 예방진단의 자료로 활용할 수 있다. 향후 전압, 전류 및 온도에 대한 정확한 보정이 이루어지고 실시간 데이터 측정 및 보다 우수한 경향 분석 기법이 마련된다면 실 변압기에의 적용도 가능하리라 판단된다.

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] 정찬수, 김재철 외 "부하전류 변화에 대한 변압기 권선의 진동분석에 관한 연구" 대한 전기학회 방전 및 고전압 연구회 논문집, pp.54~57, 1994. 5.
- [3] 정찬수, 김재철, 정상진 외 "변압기 권선고장 검출을 위한 진동분석 시스템 개발 연구", 한국전력공사 기술연구원, 1994. 12.
- [4] 정찬수, 김재철 외 "변압기의 기계적 구조변형에 따른 진동신호 특성변화," 대한 전기학회 전력계통 연구회 논문집, pp. 39~42, 1995. 5.