

부하변화에 대한 변압기 진동 분석

Transformer Vibration Analysis for a variation of Load

강창구*	송실대학교 전기공학과
곽희로	송실대학교 전기공학과
정찬수	송실대학교 전기공학과
조국희	송실대학교 전기공학과
권혁승	송실대학교 전기공학과

Abstract

This paper describes the modeling of winding vibration for a variation of load and temperature. The structural changes in transformer windings due to heat cause the change of vibration patterns. The vibration signals were detected by the accelerometer on the transformer windings. The real values were compared with estimated value using least-squares method, vibration model was established and with this model, error compared with original signal was less than -50[dB]. These results could be applied to diagnosis of incipient failures of the power transformers.

1. 서 론

대형 전력 설비는 전력계통에서 중요한 요소이며, 특히 변압기의 예측치 못한 고장은 수용가와 공급

자 양측에 커다란 피해를 초래하며, 복구시 막대한 비용이 소요된다. 그러므로, 변압기 초기고장을 예측하고 확인할 수 있는 방법에 대한 연구가 매우 활발하다. 변압기의 고장 진행의 복잡성과 변압기 내부에서 발생하는 상호작용때문에 운전중의 변압기 진단은 단일 데이터나 파라미터만으로는 해석하기가 곤란하다. 각각의 변압기특성은 고유하기 때문에 그 변압기의 운전특성을 알고 해석하기 위해서는 보다 신뢰성이 있는 진단기법, 단기 및 장기 변압기 운전 상태 또는 파라미터 변화동과 연관되어 있는 다량의 반복 감지된 데이터량에 의해서만 가능하다.<sup>[1]</sup>

변압기에 인가되는 이상단락 전차력, 과부하에 의한 온도상승 그리고 절연물 열화등에 의한 권선지력 변화, 권선의 탈락등으로 인한 변압기 권선 또는 철심의 진동의 변화를 검출,분석을 온라인화 하면 변압기 사고의 예측 보전이 가능하다.

본 연구에서는 변압기 권선에 변형이 발생하면 변압기의 진동모델이 변화하는 성질을 이용하여 변압기의 주위 온도를 40[°C]와 70[°C] 에서 부하전류를 변화시켜 변압기의 진동을 분석하고, 실측치와 예측치를

비교, 분석하여 보다 정교한 진동기구의 모델을 정립하여 변압기의 예방진단을 위한 신뢰도를 높이고자 한다.

### 2. 실험장치의 구성

그림 1은 특정온도에서 부하의 변화에 따른 진동을 측정하기 위한 실험장치의 구성이다. 변압기에서의 진동은 동력학적 과정의 부수작용으로 발생하는 것이다. 변압기에 부하가 증가될수록 이에 따른 진동도 커지게 된다. 즉, 변압기의 권선에 전류의 흐름이 많을수록 진동이 커지게 된다. 변압기의 진동은 변압기 내부권선에서 대부분 발생한다. 따라서, 권선부위에 가속도계를 부착하였다. 변압기내의 진동의 검출 방법은 가속도계로 부터 진동을 감지하고, 증폭기로 신호를 증폭한 후 오실로스코프로 파형을 관찰하였다.

신호를 이산신호로 변화시켜 Turbo-c Program으로 Least Square 프로그램 및 FFT를 할 수 있게 구성하였다. 그리고 프로그램에서 출력된 계수에 유한 예측 신호 및 실제신호, FFT의 파형을 모니터에서 Display할 수 있게 했다.<sup>[2][6]</sup> 부하는 전동부하를 이용하여 무부하에서 정격부하까지 부하진류를 변화시켰다. 변압기의 권선의 진동을 측정하기 위한 가속도계(Model No 762T)와 Transducer(Model No P703B)는 Wilcoxon Research Co. 것을 사용하였다. 변압기 주위 온도를 40[°C]와 70[°C]로 일정하게 유지시키기 위해 전기오븐은 Taba! Espec Co. 것을 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

변압기의 주위 온도를 70[°C]를 유지하면서 정격 부하의 60[%] 부하를 인가하고 진동신호를 측정하였

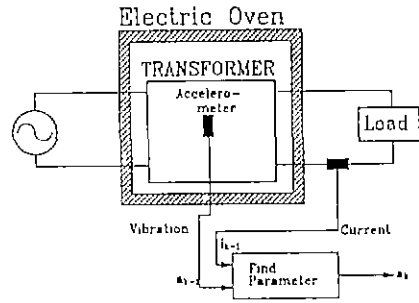


그림 1. 실험장치의 구성도

다. 측정된 진동신호는 진동의 입력으로 고주파 신호가 섞여 들어오므로, 모델의 정확도를 높이기 위하여 차단 주파수가 약 1.5[kHz]인 저역통과필터로 필터링을 했다.<sup>[6]</sup> 이렇게 처리된 신호를 ARX (Auto-regressive external) 모형으로 modeling 하였다. 이때 모형의 계수는 off-line으로 구했으며 LS(least square)알고리즘을 사용하였다.

그림 2는 권선 진동의 실측치와 위에서 구한 모델을 예측한 예측치를 나타낸 것이며, 그림 3은 두 신호의 오차이며, 그림 4는 오차를 FFT한 것이다. 그

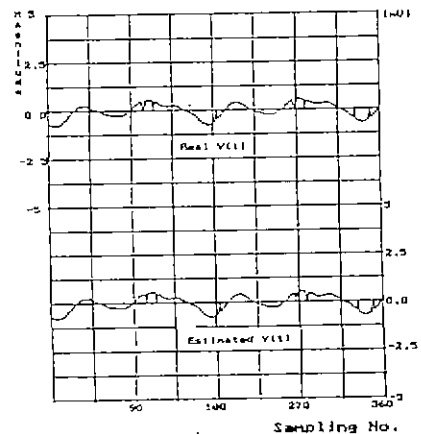


그림 2. 70[°C], 60[%] 부하에서의 권선 진동의 실측치 와 예측치

림에서 보듯이 그 오차가 1[%]이내이므로 실측치는 예측치와 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

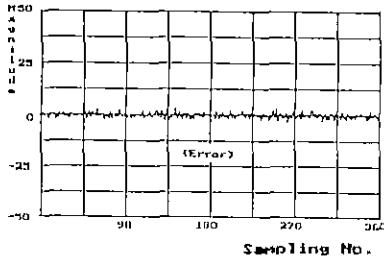


그림 3. 70[°C], 60[%] 부하에서 권선 진동의 실측치와 예측치의 오차

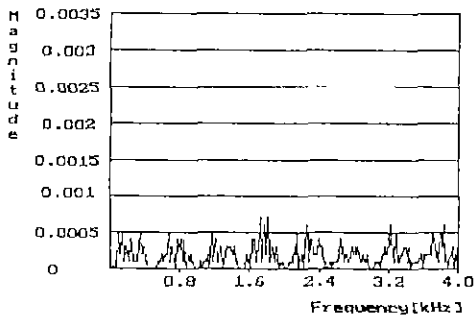


그림 4. 70[°C], 60[%] 부하에서 권선 진동의 실측치와 예측치 오차의 FFT

이번에는 변압기 주위 온도를 70[°C]로 두고 변압기의 부하를 정격부하의 80[%]로 하고 진동신호를 측정하였다. 그림 5는 이 때의 실측치와 예측치를 나타내며, 그림 6은 실측치와 예측치의 오차이며, 그림 7은 오차를 FFT 한 것이다. 이때의 오차도 1[%]이내이므로 실측치는 예측치와 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

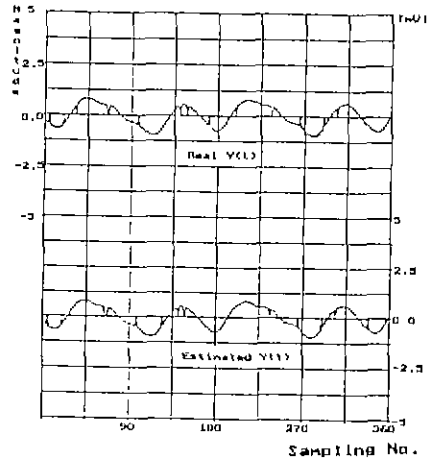


그림 5. 70[°C], 80[%] 부하에서 권선 진동의 실측치와 예측치

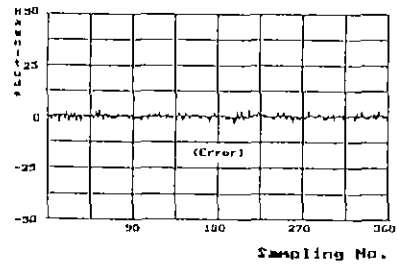


그림 6. 70[°C], 80[%] 부하에서 권선 진동의 실측치와 예측치의 오차

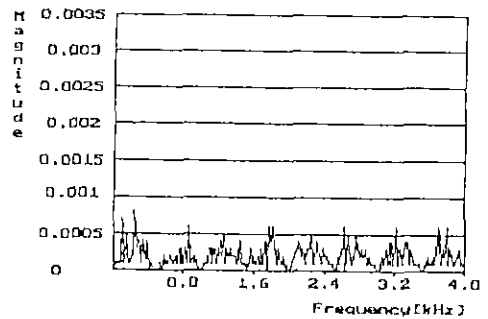


그림 7. 70[°C], 80[%] 부하에서 권선 진동의 실측치와 예측치 오차의 FFT

변압기의 진동파형을 ARX 모형으로 모형화 하는 것이 다당한지를 확인 하기 위하여, 외부 온도는 70[℃]로 유지하고, 부하가 60[%]일 때의 신호로 모형화한 모형으로 부하 80[%]일 때의 신호를 추정하였다. 그림 8은 이때의 오차를 FFT한 것으로, 그 크기가 -50[db]이하로 되어 비교적 잘 추정하고 있다

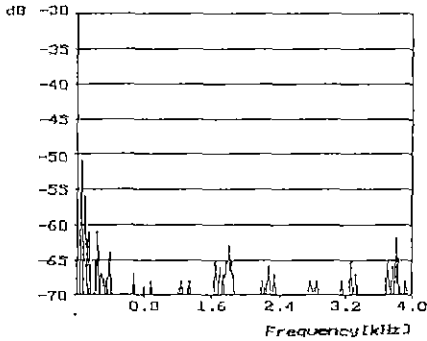


그림 8. 70[℃], 60[%] 부하 기준으로 80[%] 부하를 예측한 파형

네번개의 실험은 같은 부하이나 외부 온도가 변화했을 때의 모형화 오차를 확인 하고자 실행하였다. 그림 9는 부하를 정격부하의 60[%]로 하고 외부온도가 70[℃]일 때의 진동신호를 구한 모델로 40[℃]일 때의 진동신호를 추정하였다. 오차도 0.001이하로 비교적 잘 추정하고 있음을 확인 할 수 있었다.

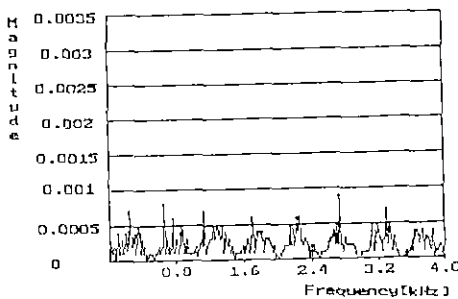


그림 9. 70[℃], 60[%] 부하 기준으로 40[℃], 60[%] 부하를 예측한 파형

#### 4. 결 론

본 연구에서는 가장 진동이 심한 권선에 가속도계를 부착시켜, 변압기 온도 70[℃], 정격부하의 60[%] 및 80[%] 부하에서 진동을 측정하고, 실측치와 예측치를 비교, 분석하였다.

변압기 온도 70[℃], 정격부하의 60[%] 부하상태를 기준으로 모델계수값을 구하여, 그 평균치로 80[%] 부하상태의 진동신호를 예측하였다. 실험에 의한 기준 부하의 평균한 모델계수로 다른 부하의 진동을 추정하더라도 측정치와의 오차가 약 -50[db]이하로 비교적 정확하였다. 그 계수값으로 변압기 온도 가 40[℃]일때, 60[%] 부하에서의 오차도 비교적 작게 잘 추정함을 알았다.

앞으로는 전압과 온도의 영향을 고려한 보다 정교한 변압기의 진동기구의 모델을 만들어 변압기를 진단하는 방법의 신뢰도를 높이고자 한다.

#### 참고문헌

- [1] Wayne H. Hagman, Thomas H. Crowley, "An Adaptive Transformer Monitoring System" Laboratory for Electromagnetic and Electronic Systems M.I.T., Cambridge, MA, 1986
- [2] Lavelle, Juan C., "Failure Detection in Transformers Using Vibration Anaysis", S.M. Thesis, Department of Electrical Eng. and Computer Science, M.I.T., Cambridge, MA, September 1986.
- [3] McCarthy, Daniel J., "An Adaptive Model for Vibrational Monitoring of Power Transformers", S. M. Thesis, Department of Mechanical Eng., M.I.T., Cambridge, MA, May 1987
- [4] Mandel, Jerry M., "Lessons in Digital Estimation Theory," Prentice-Hall, 1987
- [5] 정찬수, 정양용, 권혁중 "변압기 진동의 모형화" 한국음향학회 1993.8
- [6] Grahm C. Goodwin & Kwai Sang Sin, Adaptive Filtering Prediction and Control, Prentive Hall, inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1984