

# 운전 중인 전력용 변압기(154kV)의 부하용량과 경년이 진동에 미치는 영향

논문

58P-2-13

## Effect on Vibration According to the Load Capability and Elapsed Year of Power Transformer(154kV) in Operation

김영달<sup>†</sup> · 김성중\*  
(Young-Dal Kim · Sung-Joong Kim)

**Abstract** - Most of the causes of the failures of power transformers in operations are mechanical defects due to vibration. To identify these causes, the vibration phenomenon was measured from the power transformers in operation in the substations under the Daejeon power transmission district office of KEPCO.

The measurement was performed in a 6x4 structure on one side of the transformer. The vibration of the measured points was presented in 2D and 3D, and analyzed. The results according to the period in use of the transformer and the load applied to the transformer were analyzed.

These results will be used as basic data to establish the vibration standard for the power transformer. In addition, with a load capability and vibration phenomenon correlation and regression analysis to identify by way of function was reached. And the vibration phenomenon pass a years with changes and to analyze correlation, was estimated to bring in the function. And then through the analysis of power transformers to set standards based on vibration data was used to.

**Key Words** : Transformer, Vibration, Correlation Coefficient, Regression Analysis, Load Capability, Elapsed Year

### 1. 서 론

전력용 변압기는 발전소에서 생산된 전력을 수용가에 공급하는 중요한 전력기기로 높은 신뢰성이 요구되고 있으나 고장으로 인하여 운전 중 정지를 유발하는 사례가 있어 이에 대한 원인을 분석한 결과, 전기적인 원인 외에 기계적인 문제로 인한 고장이 발생하는 것으로 보고되고 있다[1-5].

전력용 변압기의 여러 고장 중 진동을 측정/분석한 결과 부분적인 공진 현상이 발견되었으며, 이로 인해 변압기의 진동진폭이 커지는 것을 확인할 수 있다. 변압기의 설계와 제작 시 진동으로 야기되는 문제에 대한 기술적 대책 미흡으로 인해 변압기 사용 경년 변화에 따라 기계적인 파손에 의한 고장이 줄어들지 않고 있는 실정이다[5].

현재 변압기의 건전성 판단 기준은 권선의 전기적인 절연 특성 및 절연유의 화학적 평가에만 의존하고 있을 뿐 변압기에서 자주 발생되고 있는 기계적 파손과 고장 현상에 대한 원인규명 및 근본적인 대책이 매우 미흡한 실정이었다[6-9].

국내의 경우 변압기는 회전기와 달리 운전 중 기계적인 동작 부위가 없어 고장 원인을 규명하기가 매우 어려운 점이 있을 뿐만 아니라 기계적인 건전성에 대한 국내 연구기관의 연구 실적은 거의 전무한 상태이다. 현재 변압기의 기

계적 건전성 평가 기술은 제작사 별로 제작과정에서 구조해석 및 내진 등의 과정을 통해 시행되고 있으나 설비운영 측면에서 중요한 진동에 대해서는 구체적인 기술기준 및 절차가 없어 제품설계, 제작 및 운영 중에 평가를 수행하지 못하고 있는 상태이다.

국외의 경우 변압기에서 발생하는 진동신호를 이용하여 변압기의 철심 및 권선의 조임 상태의 이완 등을 사전 탐지하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있는 중이지만, 전력용 변압기에 대한 기계적 건전성 평가기술은 국외에도 아직 정립되지 않고 있는 실정에 있다[10,11].

따라서 본 연구에서는 현재 한전에서 운영하는 변전소 중 대전전력관리처 산하 변전소를 순회하면서 운전 중인 전력용 변압기(154 kV)에 대하여 부하용량과 경년 변화에 따른 진동 현상을 변압기의 한 면에 대하여 6×4로 24부분을 측정하고자 한다. 부하용량과 진동현상과의 상관관계를 회귀분석법으로 규명하여 추정함수를 도출하고자 하며, 경년변화에 따른 진동현상과의 상관관계를 분석하여 추정함수를 도출하고자 한다[12]. 차 후 본 논문을 통해 수집된 분석 결과를 활용하여 전력용 변압기의 진동 기준을 정립하는 기초자료로 사용하고자 한다.

### 2. 회귀분석

여러 변수 사이의 함수적 관계를 조사하고자할 때 개념적으로 아주 간단하고 분명한 방법을 제시하기 때문에 여러 요인에 관한 자료를 분석할 경우 가장 널리 쓰이는 통계적 수단의 하나로 회귀분석( regression analysis) 법을 변수간의 관계를 규명하는 분석방법으로 정의할 수 있다[12].

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 한밭대학교 전기공학과 교수 · 공박

E-mail : zeromoon@hanbat.ac.kr

\* 준 회원 : 한밭대학교 전기공학과 석사과정

접수일자 : 2009년 1월 15일

최종완료 : 2009년 2월 27일

회귀분석법이란 독립변수와 종속변수의 모집단간의 관계를 규명할 목적으로 표본을 사용하여 그 관계에 대한 추정치를 계산한 후 그 추정치를 통하여 모집단간의 관계를 나타내는 파라미터를 통계적으로 추리하는 분석방법이며, 회귀분석의 목적은 회귀모형의 정립과 평가과정을 거쳐 최적회귀모형을 선택하는 데 있다. 또한 회귀모형은 여러 용도와 목적으로 사용될 수 있다.

각 독립변수에 대한 중요도를 평가함은 물론이고 독립변수들의 수준변화를 포함하는 방침변경에 대한 효과분석이나 변수간의 함수관계와 독립변수들의 집합이 주어질 때, 독립변수 값을 추정하거나 예측하는 데 유용하게 쓰이게 된다.

2.1 상관분석

회귀분석이란 한 변수 혹은 여러 변수가 다른 변수에 미치는 영향력의 크기를 회귀방정식이라고 불리는 수학적 관계식으로 추정하고 분석하는 통계적 분석방법을 말하며 상관분석(correlation analysis)이란 두 변수간의 관계를 나타내는 수학적 관계식보다는 두 변수가 관련된 정도를 밝히는 것이다.

두 확률변수 X와 Y의 선형관계를 측정하는 지표로 상관계수(correlation coefficient)가 있는데 상관계수는 다음과 같이 정의되며 상관계수는 -1과 +1 사이의 값을 갖는다.

$$\rho_{XY} = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \tag{1}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

상관계수의 부호와 크기를 이용한 선형관계의 판정은 상관계수가 +1인 경우는 완전한 비례관계를 의미하며, 상관계수가 0인 경우 두 변수가 서로 선형적인 관계가 없음을 의미한다. 또한 상관계수가 -1인 경우는 두 변수가 완전한 반비례관계를 의미한다. 즉, 두 변수가 완전한 직선관계이고 기울기가 (-)인 경우이다. 그리고 상관계수가 ±1에 가까울수록 두 변수 사이의 관계가 높아짐을 의미한다.

일반적으로 상관계수의 크기의 해석은 다음 표 1 과 같으며, 이것은 일반적인 것으로 변수의 성격에 따라 그 해석을 달리한다.

표 1 상관계수의 해석  
Table 1 Analysis of correlation coefficient

상관계수	해 석
0.9 ~ 1.0	아주 높다
0.7 ~ 0.9	높다
0.4 ~ 0.7	다소 높다
0.2 ~ 0.4	낮다
0.0 ~ 0.2	거의 없다

2.2 단순회귀분석

단순회귀분석(simple linear regression analysis)은 실제

관측치를 이용하여 하나의 종속변수(Y)와 하나의 독립변수(X)의 관계를 1차방정식 또는 그 밖의 방정식으로 분석하는 것을 말한다.

1) 단순선형회귀모형

단순선형회귀모형은 다음 식(2)와 같이 나타낸다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + u_i \tag{2}$$

여기서,  $Y_i$ 는 종속변수,  $X_i$ 는 독립변수,  $\beta_0, \beta_1$ 는 회귀계수,  $u_i$ 는 교란항 또는 오차항이며, 이 식을 해석하기 위해서 추정되어야 할 parameter는 회귀계수, 회귀계수의 분산 및 오차항의 분산 등이 있다.

2) 회귀계수의 추정

회귀계수를 구하는 가장 좋은 방법은 관측치에 가장 적합한 식을 구하는 것이다. 적합도가 가장 큰 식이란 잔차(=실제치-예측치)의 합계가 최소가 되도록 하는 식이라고 할 수 있으므로 잔차의 제곱의 합이 최소가 되게 하는 회귀식을 추정하는 방법이며 이를 보통최소자승법(method of ordinary least squares(OLS))이라 한다.

보통최소자승법으로 추정하면 회귀계수는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \bar{X} \sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \bar{X} \sum_{i=1}^n X_i} = \frac{cov(X, Y)}{var(X)} \tag{3}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}$$

여기서, 모형은  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$ 이며, 추정된 회귀선은  $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i$ 이고, 잔차는  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ 이다.

3. 진동 실험

본 연구는 운전 중인 전력용 변압기의 진동레벨을 KS A 0603(진동레벨 측정 방법; 1998) 규격과 KS B 0714(기계적 진동 및 충격-가속도계의 기계적인 설치; 2001) 규격에 준하여 측정하였다.

연구 대상으로 삼은 전력용 변압기는 대전 전력관리처 산하에 있는 변전소 9개소 32대이며, 그 중 운전 중인 154 kV급 전력용 변압기 60 MVA 31대와 40 MVA 1대로 YY결선인 전압비는 154/23 kV이며 사용연수는 10년 미만 15대, 10년 이상 20년 미만 12대, 20년 이상 30년 미만 5대로 분류되었다.

각 변전소의 호기별로 변압기 타입과 제작사가 다르며 3상 일체형 변압기가 아닌 분리형 변압기는 3상중 A상을 기준으로 하였다. 또한 측정은 접근이 가능한 부위만 하였으며 당시의 운전 및 설치조건과 부하용량을 조사하여 자료를 분석하는데 활용하였다. 그림 1 에 운전 중인 변압기의 진동측정 개략도를 나타내었다.

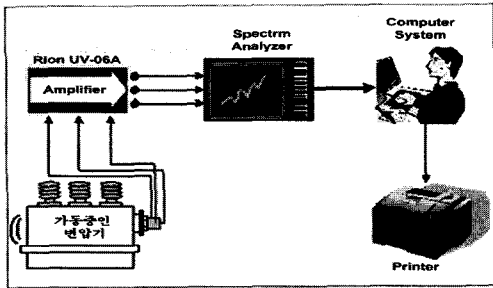


그림 1 진동측정 및 분석시스템 개략도  
 Fig. 1 Block diagram for Vibration measurement and analysis system

3.1 측정 장비

본 연구에서 사용한 진동 측정 장비는 RION PV-95 가속도계와 RION의 UV-06A Charge Amplifier 및 B&K 3039 Pulse 장비와 컴퓨터를 사용하여 데이터 취득/분석 장치로 활용하였다. 측정 주파수 대역은 0~3.2 kHz(주파수 간격 = 1 Hz)로 설정하였다.

3.2 측정대상 변압기

본 연구에서 진동측정 대상 변압기의 사양을 표 2 에 나타내었다. 변전소명을 지칭할 수 없어 A, B, C, D, E, F, G,

표 2 변압기의 사양  
 Table 2 Specific of Transformer

NO	변전소 (변압기)	부하용량 (MVA)	진동값 (평균)	제작 업체	제작년	Phase
1	A-1	10	1.35E-06	A사	2006	3상
2	A-2	10	1.29E-06	A사	2006	3상
3	B-1	31	1.45E-06	A사	1992	1상
4	B-2	36	1.98E-06	A사	1992	1상
5	B-3	35	1.94E-06	B사	1996	1상
6	B-4	25	1.70E-06	B사	1998	1상
7	C-1	28	1.75E-06	C사	1984	3상
8	C-2	29	1.07E-06	C사	1987	3상
9	D-1	25.3	1.30E-06	A사	2002	1상
10	D-2	15	1.12E-06	B사	1990	3상
11	D-3	23	8.24E-07	A사	2005	1상
12	D-4	6.4	2.55E-06	C사	1984	3상
13	E-1	34.6	3.27E-06	C사	1983	3상
14	E-2	31.8	3.50E-06	C사	1983	3상
15	E-3	33.6	1.07E-06	C사	1990	3상
16	E-4	34.5	1.15E-03	A사	1991	3상
17	F-1	16.3	1.11E-06	A사	2001	1상
18	F-2	23.3	1.40E-06	A사	2001	1상
19	F-3	17.8	1.42E-06	B사	1996	1상
20	F-4	21.9	1.15E-03	C사	2003	1상
21	G-1	24.6	1.53E-06	B사	1990	3상
22	G-2	33.8	1.10E-06	B사	1993	3상
23	G-3	33.3	7.81E-07	C사	1995	1상
24	G-4	33.8	8.39E-07	C사	2004	1상
25	H-1	37	1.14E-06	A사	2001	1상
26	H-2	34	1.11E-06	A사	2001	1상
27	H-3	37	1.29E-06	A사	2004	1상
28	H-4	38	1.14E-06	C사	2003	1상
29	I-1	32	1.11E-06	C사	1988	3상
30	I-2	39	1.50E-06	A사	1996	1상
31	I-3	39	1.19E-06	B사	2007	1상
32	I-4	38	1.92E-06	B사	2007	1상

H, I 로 기호화하였다. 또 각 변전소별로 1, 2호기 또는 1, 2, 3, 4호기 변압기 32대이며, 이는 숫자로 표기하였다. 예를 들어 A-2는 A변전소 #2 변압기를 의미하고 있다.

상(phase) 구분은 대부분 단상 변압기이나 일부는 3상 변압기이다. 제작사는 세 업체이기 때문에 A社, B社, C社로 구분하여 나타내었으며, 제작년도는 1983년부터 2007년도까지 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 부하용량은 진동측정 시 변압기에 걸린 부하용량을 측정된 값이다.

3.3 진동 측정

그림 2 는 운전 중인 전력용 변압기의 진동 측정은 최적의 상태를 유지하고 오차가 적게 하여야 하므로 한 면을 6×4로 등분하여 가속도계를 부착하여 진동을 측정하는 사진이다 [13]. 그림 3 에는 변압기에 부착한 가속도계의 위치의 예를 그림으로 나타내었다.

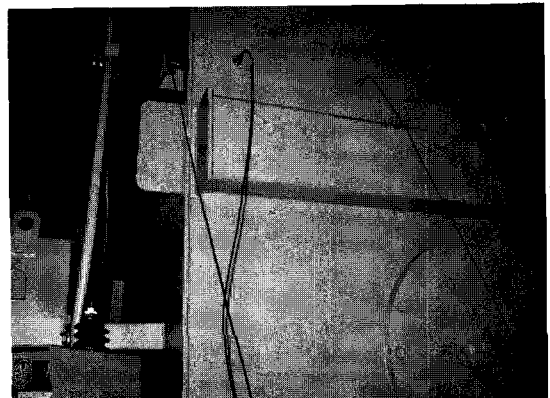


그림 2 변압기의 진동측정 사진  
 Fig. 2 Photo for vibration measurement of Transformer

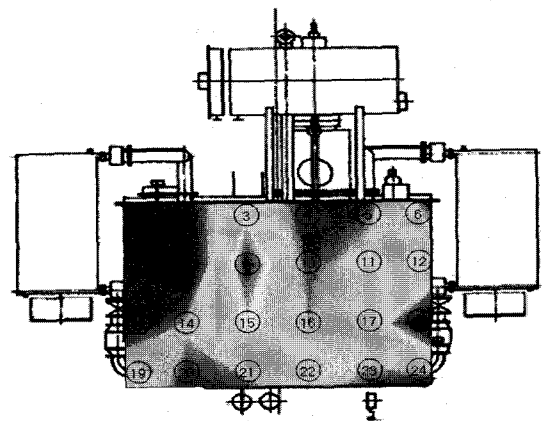


그림 3 변압기의 진동측정 포인트  
 Fig. 3 Point for vibration measurement of Transformer

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 결과

본 연구에서 실험 대상인 32대의 변압기에 대한 진동을 측정하였으며, 그 중 단상변압기의 부하용량에 대한 진동측정 결과를 표 3 에, 삼상변압기에 대한 측정 결과는 표 4 에 나타내었다.

표 3 단상변압기의 부하용량에 따른진동측정 결과  
Table 3 Result for load capability vs. vibration measurement of single phase transformer (mm/s)

변전소명	제조사	제작년	부하용량	진동레벨
F1	A사	2001	16.3	1.1E-06
F3	B사	1996	17.8	1.3E-06
F4	C사	2003	21.9	1.4E-06
D3	A사	2005	23.0	9.4E-07
F2	A사	2001	23.3	1.4E-06
B4	B사	1998	25.0	1.5E-06
D1	A사	2002	25.3	1.3E-06
B1	A사	1992	31.0	1.4E-06
G3	C사	1995	33.3	1.1E-06
G4	C사	2004	33.8	1.0E-06
H2	A사	2001	34.0	1.1E-06
B3	B사	1996	35.0	1.7E-06
B2	A사	1992	36.0	1.8E-06
H1	A사	2001	37.0	1.2E-06
H3	A사	2004	37.0	1.3E-06
H4	C사	2003	38.0	1.3E-06
I4	B사	2007	38.0	1.7E-06
I2	A사	1996	39.0	1.5E-06
I3	B사	2007	39.0	1.3E-06

표 4 3상변압기의 부하용량에 따른 진동측정 결과  
Table 4 Result for load capability vs. vibration measurement of three phase transformer (mm/s)

변전소명	제조사	제작년	부하용량	진동레벨
D4	C사	1984	6.4	1.7E-06
A1	A사	2006	10.0	1.3E-06
A2	A사	2006	10.0	1.3E-06
D2	B사	1990	15.0	1.1E-06
G1	B사	1990	24.6	1.5E-06
C1	C사	1984	28.0	1.8E-06
C2	C사	1987	29.0	1.1E-06
E2	C사	1983	31.8	1.9E-06
I1	C사	1988	32.0	1.3E-06
E3	C사	1990	33.6	1.5E-06
G2	B사	1993	33.8	1.3E-06
E4	A사	1991	34.5	1.9E-06
E1	C사	1983	34.6	2.9E-06

4.2 결과 분석

(1) 부하용량이 진동에 미치는 영향

변압기의 부하용량에 따른 진동 값을 그림으로 나타내었다.

그림 4 는 단상변압기의 부하용량에 따른 진동 값을 나타내었고, 진동 값을 회귀분석하여 부하용량 변화에 따른 진동 값의 경향을 분석하여 선형회귀모형의 추정함수식을 도출하였다. 회귀분석을 하기 위하여 linear fit를 시켰다. 이 결과로 추정함수식은 다음 식(4)와 같으며, 이때 상관계수 값은 0.26으로 표 1 에 의하여 상관관계의 정도는 낮은 것으로 분석되었다.

$$y = (8.3e^{-9})x + 1.1e^{-6} \tag{4}$$

그림 5 는 3상변압기의 부하용량에 따른 진동 값을 나타내었고, 진동 값을 회귀분석하여 부하용량 변화에 따른 진동 값의 경향을 분석하여 선형회귀모형의 추정함수식을 도출하였다. 회귀분석을 하기 위하여 단상변압기의 경우와 동일하

게 linear fit를 시켰다. 이 결과로 다음 식(5)와 같은 추정함수 식을 얻었으며, 이때 상관계수 값은 0.39로 표 1 에 의하여 상관관계의 정도는 경계점으로 보아 낮거나 다소 높은 범위 상태로 해석할 수 있었다.

$$y = (1.7e^{-8})x + 1.2e^{-6} \tag{5}$$

그러므로 단상변압기나 3상변압기의 경우 부하용량에 따른 진동 값의 변화 경향은 linear fit 방법을 이용하여 회귀 분석할 경우 양호한 상태의 신뢰성을 얻지는 못한 것으로 사료되었기 때문에 또 다른 방법이나 보다 정확한 측정 기준을 가지고 실험을 하여야 할 것이다. 따라서 운전 중인 변압기의 진동현상을 측정하기 위해서는 정확한 측정기준을 정립할 필요성이 있어야 할 것이다.

단상변압기와 3상변압기가 부하량이 진동에 미치는 영향을 확인한 결과 두 변압기 모두 부하가 증가할수록 진동 현상이 커짐을 알 수 있었으며, 단상과 3상 모두 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다.

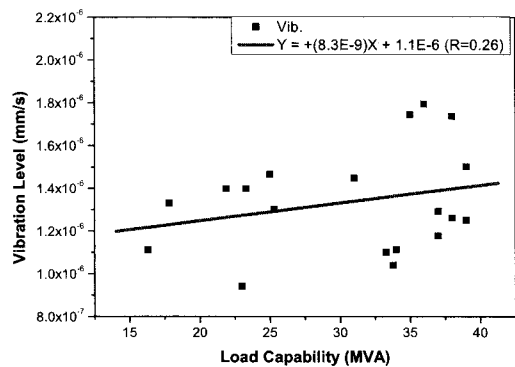


그림 4 단상변압기의 부하용량에 따른 진동 값의 회귀분석 결과

Fig. 4 Result of aggressive analysis for load capability vs. vibration value of single phase transformer

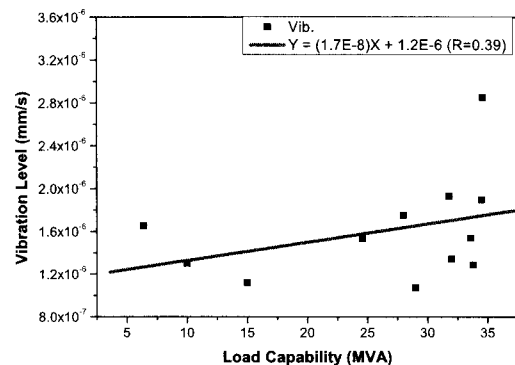


그림 5 3상변압기의 부하용량에 따른 진동 값의 회귀분석 결과

Fig. 5 Result of aggressive analysis for load capability vs. vibration value of three phase transformer

(2) 경년 변화가 진동에 미치는 영향

경년에 따른 진동레벨을 분석하였다. 그림 6 은 단상변압기의 경우로 경년이 많을수록 진동레벨이 크다는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상을 회귀분석을 통하여 상세하게 경향을 분석하였다. 이에 대한 결과로 추정함수 식을 식(6)에 나타내었으며, 이때 상관계수 값은 -0.39로 표 1 에 의하여 상관관계의 정도가 낮거나 다소 높다고 볼 수 있겠다.

$$y = -(2.0e^{-8})x + 4.1e^{-5} \quad (6)$$

그림 7 은 3상변압기의 경우로 경년에 따른 진동 값과 회귀분석 결과를 나타내었다. 상관계수 값은 -0.47로 표 1 에 의하여 상관관계의 정도가 다소 높음을 알 수 있었다.

$$y = -(2.9e^{-8})x + 5.9e^{-5} \quad (7)$$

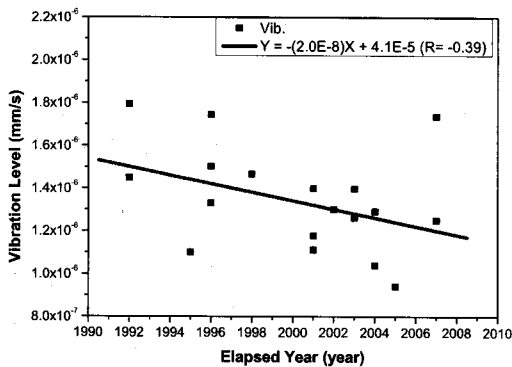


그림 6 단상변압기의 경년에 따른 진동 값의 회귀분석 결과  
Fig. 6 Result of aggressive analysis for elapsed year vs. vibration value of single phase transformer

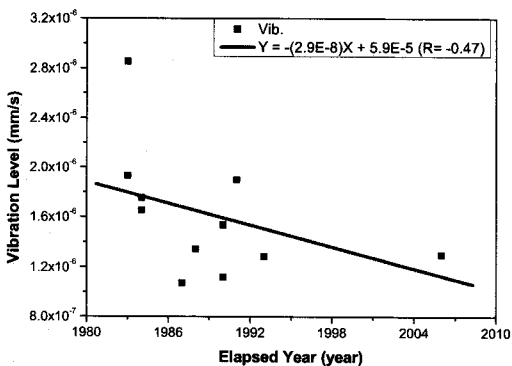


그림 7 3상변압기의 경년에 따른 진동 값의 회귀분석 결과  
Fig. 7 Result of aggressive analysis for elapsed year vs. vibration value of three phase transformer

단상변압기와 3상변압기의 사용 연수가 진동에 미치는 영향을 확인한 결과 두 변압기 모두 경년이 오래될수록 진동 현상이 커짐을 알 수 있었으며, 단상과 3상 모두 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 대전·충남지역 9개 변전소의 32대 전력용 변압기(154 kVA)를 대상으로 운전 중인 상태에서 부하용량에 따라 변화되는 진동현상과 변압기의 경년변화에 따른 진동현상을 측정하여 분석하였다.

분석 방법으로는 회귀분석 방법을 이용하였고, 이 방법으로 상관관계 값을 얻었으며, 추정함수 식을 도출하여 식(4)~(7)에 나타내었다.

단상변압기와 3상변압기가 부하 량이 진동에 미치는 영향을 확인한 결과 두 변압기 모두 부하가 증가할수록 진동 현상이 커짐을 알 수 있었으며, 단상과 3상 모두 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다.

또한 변압기의 사용 연수가 진동에 미치는 영향을 확인한 결과 두 변압기 모두 경년이 오래될수록 진동 현상이 커짐을 알 수 있었으며, 단상과 3상 모두 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다.

따라서 이와 같은 실험의 결과로 부하용량과 경년변화에 따른 진동레벨의 추정함수를 이용하여 미지 상태의 경우에 대한 진동레벨을 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

전력용변압기의 건전성 평가를 위한 진단방법은 여러 가지가 있을 것이나 여기서는 추정함수에 의한 건전성 평가를 진단하는 의미로 평가하였다. 국내에서 처음 시도한 연구로 차 후 진행해야할 부분들이 많이 있다고 판단된다. 측정기준과 분석 방법 등이 정립된다면 이러한 결과들을 이용하여 전력용 변압기의 진동 기준을 정립하는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2007-2-057) 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

- [1] Mou, Gang "Modeling and Control of a Magnetostrictive System for High Precision Actuation at a Particular Frequency", pp4 ~ 5, 2002.
- [2] R. V. Dukkipati, J. Srinivas, "Advanced Mechanical Vibration", pp. 99 - 103, 2007.
- [3] "Acceptance code for gears - part 2 : Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing", ISO Code 8579 - 2.
- [4] "Acoustics - Characterization of sources of structure-bone sound with respect to sound radiation from connected structures-Measurement of velocity at the contact points of machinery when resiliently mounted", ISO Code 9611.
- [5] "Mechanical vibration of non-reciprocating machines-Measurements on rotating shafts and evaluation criteria", ISO Code 7919 - 1.
- [6] "Mechanical vibration and shock-Mechanical mounting of accelerometer ", ISO Code 5848.
- [7] "Acceptance code for gears - part 1 : Determination of

air bone sound power levels emitted by gear units", ISO Code 8579 - 1.

- [8] David Jiles, "Introduction to magnetism and magnetic materials", Chapman and Hall, pp. 89 - 106, 1991.
- [9] M.J. Dapino, R.C. Smith, A.B. Flatau "An active and structural strain model for magnetostrictive transducers", SPIE symposium on Smart Structures and Materials, pp.#3329 - 24, 1998.
- [10] Ji Shengchang; Luo Yongfen; Li Yanming "Research on extraction technique of transformer core fundamental frequency vibration based on OLCM" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 21, No4, pp. 1981 - 1988, 2006 .
- [11] Ji Shengchang; Shan Ping, Li Yanming, Xu Dake; Cao Junling "The vibration measuring system for monitoring core and winding condition of power transformer" Proceedings of 2001 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM 2001), pp. 849 - 852.
- [12] 정충영, 최이규, "SPSSWIN을 이용한 통계분석", 3rd-Edition, 무역경영사, 1996
- [13] KS B 0714, 2001.

## 저 자 소 개



김 영 달 (金 榮 達)

1957년 11월 5일생 1986년 대전공업대학 전기공학과 졸업(공학사). 1990년 충북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1999년 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한밭대학교 전기공학과 교수

Tel : 042-821-1753

E-mail : zeromoon@hanbat.ac.kr



김 성 중 (金 成 中)

1957년 11월 5일생 2007년 한밭대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2009년 동 대학원 졸업(공학석사)

Tel : 042-821-1625

E-mail : kdangs@paran.com