2015년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2015. 7. 15 - 17

저소음 변압기 설계를 위한 삼상 변압기의 자왜 특성 측정

엄두종, 조현진, 임정혁, 고창섭
충북대학교

Measurement of Magnetostriction of 3phase Transformer for Design of the low noise transformer

Doo-Jong Um, Hyun-Jin Cho, Jeong-Hyeok Lim, Chang-Seop Koh
Dept. of Electrical Eng. Chungbuk National University*

Abstract - 이번 연구에서는 변압기의 소음의 주원인 중 하나인 자왜를 실제 변압기의 시험 모델을 통하여 자왜를 측정하고, 이에 대하여 저소음 변압기 설계를 위해 어떻게 해야 할지를 생각해본다.

1. 서 론

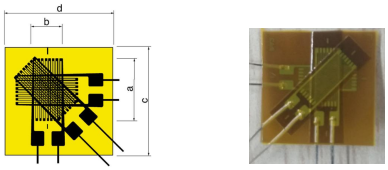
최근 변압기가 옥내화 되면서 진동으로 인한 소음과 고장이 문제가 되고 있다. 주원인 중 하나는 변압기에 사용되는 전기강판의 자왜 현상으로 전기강판이 자화되면서 생기는 작은 기계적 변형을 말한다.[1] 변압기의 자왜 예측을 위해서 변압기 철심 재료인 이방성 강판의 자왜 측정이 선행 되어야 한다. 표준규격이 있는 측정시스템은 Epstein과 JIS 규격의 1차원 single sheet tester가 있으나 변압기의 T 조인트나 꺾이는 부분에서 발생되는 회전자계와 임의의 방향의 자계에서의 특성을 측정 할 수 없기 때문에 표준규격은 없지만 2차원 single sheet tester로 측정을 많이 한다. 결과를 보면 rolling direction(RD)의 교번자계에서는 자왜현상이 매우 작으나 RD를 벗어나 transverse direction(TD)에 가까울수록 큰 자왜가 측정 된다. 또한 같은 방향에서도 회전자계에서는 RD에서 조차도 큰 자왜가 측정이 된다.[2],[3] 따라서 변압기에서 자왜가 잘 일어나는 부분은 T조인트와 꺾이는 부분에서 클 것이고, 그 외의 부분에서는 작게 나타날 것이다. 이번 연구에서는 실제 변압기의 시험 모델에서 자왜를 여러 지점에서 측정해보고 특히 크게 일어날 곳으로 예상 되는 부분의 자왜는 좀 더 조밀하게 포인트를 나누어 측정한다. 이를 통해서 실제로 자왜가 크게 나타나는 곳과 그 크기를 알아보고, 변압기 설계를 어떻게 해야 할 지를 생각해본다.

2. 본 론

2.1 자왜 측정 시스템

2.1.1 스트레인 게이지와 자왜계산

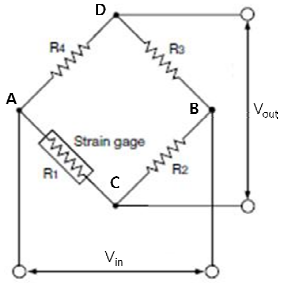
스트레인 게이지는 저항으로 이루어진 센서로 변압기 표면에 부착하게 되는데 임의의 자계에 의해서 변압기 철심의 기계적 변형이 일어나면 게이지 센서 또한 변형이 일어나게 된다. 이렇게 변형이 되면 저항값이 달라지게 되고 휘스톤 브릿지를 통해 전압신호로 바뀌게 되는데 변형 정도에 따라 이 전압값이 달라지므로 달라진 값정도를 통하여 자왜를 계산하게 된다. 스트레인 게이지는 그림 1에 나타난 CAS사의 3축 스트레인 게이지(AP-11-R50N-120-EL)를 이용하였고, 축과 축 사이는 45° 기본 저항은 120Ω이다.



<그림 1> 스트레인 게이지

그림 2는 휘스톤 브릿지와 스트레인 게이지가 휘스톤 브릿지에 연결 된 회로도로 R_1은 스트레인 게이지 저항이고, R_2, R_3, R_4는 휘스톤 브릿지의 저항으로 모두 120Ω이다. V_{in}는 고정 입력 전압으로 2V가 인가 되고, V_{out}는 출력전압으로 식(1) 같이 계산 된다. $R_1R_3 = R_2R_4$ 인 경우 평형 상태로 V_{out}는 0이 된다.[3]

$$V_{out} = V_{in}\frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)} \quad (1)$$



<그림 2> 휘스톤 브릿지와 회로도

V_{in}과 V_{out}은 식(2)를 통해서 각 축의 스트레인을 계산한다. ϵ는 스트레인이고, 값이 아주 작기 때문에 마이크로미터 단위를 쓴다. GF는 Gauge Factor로 스트레인 게이지에 따라 정해져 있는데 이 게이지의 GF는 2.1 이다.

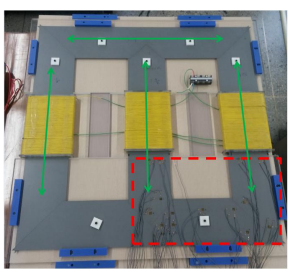
$$\epsilon = \frac{V_{out}}{GF \cdot V_{in}}\ [\mu m] \quad (2)$$

식 (3)은 식(2)에서 구한 게이지의 각 축에서 구한 스트레인에서 x방향의 스트레인 값인 ε_x와 y의 방향의 스트레인 값인 ε_y 그리고 비틀림의 스트레인 값인 γ_{xy} 을 계산한다. θ_a,θ_b,θ_c는 x축과 스트레인 게이지 센서의 각 축의 사이 각을 나타내고, $\epsilon(\theta_a)$는 각 θ_a에서의 스트레인 값을 나타낸다. 여기서 x방향은 RD를 나타내고, y방향은 TD를 나타낸다.

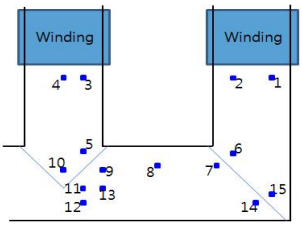
$$\begin{pmatrix}\epsilon(\theta_a)\\ \epsilon(\theta_b)\\ \epsilon(\theta_c)\end{pmatrix} = \begin{bmatrix}\cos^2\theta_a & \sin^2\theta_a & \sin\theta_a\cos\theta_a\\ \cos^2\theta_b & \sin^2\theta_b & \sin\theta_b\cos\theta_b\\ \cos^2\theta_c & \sin^2\theta_c & \sin\theta_c\cos\theta_c\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\epsilon_x\\ \epsilon_y\\ \gamma_{xy}\end{pmatrix} \quad (3)$$

2.1.2 측정모델과 영역

측정모델은 그림 3의 실제변압기의 시험 모델로 철심 재료가 이방성 전기강판 30PH105인 3상 변압기 이다. 점선으로 표시된 부분은 측정영역이고, 화살표는 각 부분에서 RD를 나타낸다. 그림 4는 측정 포인트를 나타낸 것으로 자왜가 크게 일어날 것으로 예상되는 T 조인트와 꺾이는 부분에 포인트를 좀 더 설정하여 총 15 포인트에서 측정을 하였다.



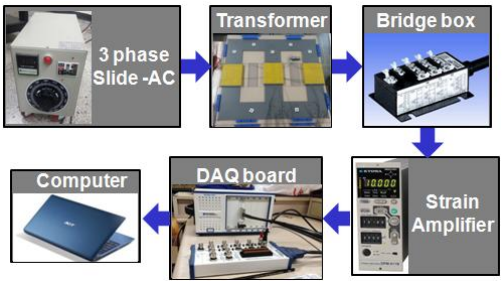
<그림 3> 3상 변압기 시험 모델



<그림 4> 측정 포인트

2.1.2 측정시스템

그림 5는 측정시스템의 구성도를 나타낸 것으로 3상 슬라이닥스는



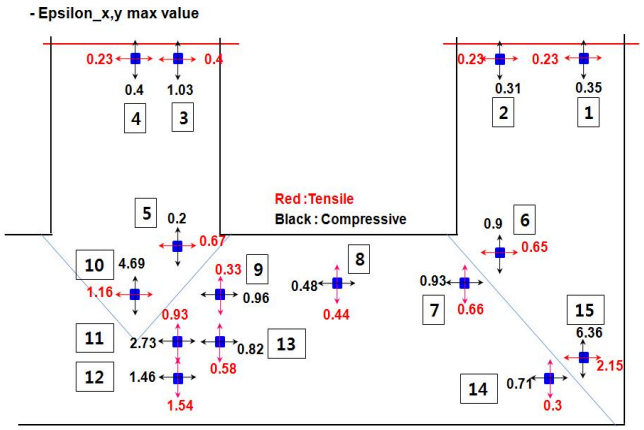
〈그림 5〉 측정시스템 구성도

3상 전압의 크기를 조절하여 변압기에 인가하는데 보통 자속밀도가 1.7T이므로 1.6T~1.8T 범위의 자속밀도가 되도록 전압범위를 95~110V_{rms} 로 하여 측정하였다. 측정된 스트레인 신호는 휘스톤 브릿지를 통해 전압신호로 바뀌고 그 크기가 아주 작기 때문에 스트레인 증폭기를 통해 신호를 증폭 시켜 DAQ보드를 통해 컴퓨터로 들어와 LabView 기반의 자체 프로그램을 통하여 스트레인 값을 계산한다.

2.1.3 온도보상

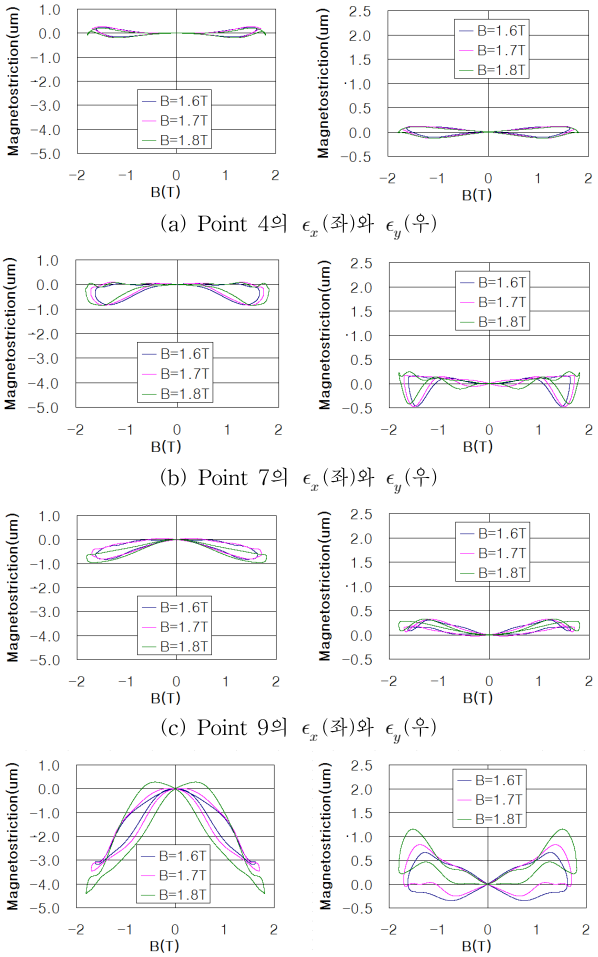
스트레인 게이지의 아주 얇은 금속 박막으로 되어 있다. 이로 인해서 온도에 의해서 게이지의 저항이 바뀔 수 있기 때문에 정확한 측정이 이루어질 수 없다. 이를 보상하기 위한 방법으로 먼저 전압을 인가하여 스트레인을 한번 측정하고, 그 다음에는 전압을 차단하여 입력이 없는 상태에서 스트레인을 측정한다. 그 후에 전압이 인가된 상태에서 측정된 스트레인 값에서 전압이 없을 때의 값을 빼어 온도 보상을 한다.

2.2 결과



〈그림 6〉 B=1.8T에서 ϵ_x와 ϵ_y의 최대값

그림 6은 B=1.8T에서 각 측정 포인트에서의 ϵ_x와 ϵ_y의 최대값을 나타낸 것이다. 파란점은 측정포인트를 나타내고 박스안 숫자는 포인트의 번호를 나타낸다. 검정색 글씨는 ϵ_x인데 x방향이 RD와 같으므로 모든 측정 포인트에서 음의 값을 갖는다. 측 수축한다는 것이고, 수치는 절대값을 나타낸다. 빨간색 글씨는 ϵ_y로 모든 측정포인트에서 양의 값을 갖으며 늘어난다. 가장 변형이 큰 곳은 T 조인트 끝 부분인 10~12번에서 나타났고, 그 다음은 꺽이는 부분의 안쪽인 6번과 7번이고, T 조인트의 꺽이는 부분의 안쪽 5번과 9번은 자속이 경로가 짧은 쪽으로 많이 흐르기 때문에 값이 클 것이라고 생각했지만 작게 나왔고, 변형이 가장 낮은 부분은 RD방향의 중심에 위치해 있는 1,2,3,4,8번이였다. 이 중에서도 8번은 약간 크게 나타나는데 이것은 자속의 경로가 짧은 안쪽이기 때문에 바깥쪽보다 자속밀도가 높기 때문이다. 같은 이유로 임의의 방향의 자계가 나타나 자왜가 크게 측정 될 수 있는 14번 점에서 자왜가 작다. 15번의 자왜가 가장 큰데 이것은 자계의 영향이 아니라 측정 시 생기는 진동의 의한 것으로 논외로 둔다. 그림 7은 변압기의 각 부분별 1.6T, 1.7T, 1.8T에서의 ϵ_x와 ϵ_y의 butterfly loop를 나타낸다. x축은 자속밀도이고, y축은 스트레인 값이다. 전체적으로 수축하는 ϵ_x의 값이 늘어나는 ϵ_y보다 크고, 앞에서 자왜가 크게 나타난 곳에서 loop의 영역 또한 크게 나타난다.



(a) Point 4의 ϵ_x(좌)와 ϵ_y(우)

(b) Point 7의 ϵ_x(좌)와 ϵ_y(우)

(c) Point 9의 ϵ_x(좌)와 ϵ_y(우)

(d) Point 10의 ϵ_x(좌)와 ϵ_y(우)

〈그림 7〉 포인트별 Butterfly loop

3. 결 론

회전자계와 임의의 방향의 자계가 형성되기 쉬운 T 조인트 부분에서 가장 큰 자왜 현상이 일어나고 그 다음으로는 꺽이는 부분의 안쪽 마지막으로 RD의 부분이 가장 작게 나타났다. 특히 T 조인트의 끝부분(11번, 12번)에서 다른 곳보다 4배 이상의 큰 자왜가 발생하였는데 저소음 변압기 설계에 있어서 가장 먼저 고려해야 될 부분이고, 어떻게 할 것인가는 다음 과제이다.

[참 고 문 헌]

[1] B. Weiser, H. Pfutzner and J. Anger, “Relevance of Magnetostriction and Forces for the Generation of Audible Noise of Transformer Cores”,IEEE Trans. Mag, Vol 36, No 5, p3759-3777, 2000

[2] M. Enokizono, S. Kango and G. Shirakawa “Measurement of arbitrary dynamic magnetostriction under alternating and rotating field”, IEEE Trans, Mag, Vol 31, No 6, p3409-3411, 1995

[3] 박찬혁, “Measurement of magnetostriction characteristics of electrical steel sheet using two-dimensional single sheet tester”, 충북대학교대학원, 2014