

몰드변압기 철심과 권선 진동 특성분석

(Analysis on Characteristics of Core and Winding Vibration in Cast Resin Transformer)

김종민* · 최명일 · 김영석 · 방선배 · 송길목**

(Chong-Min Kim · Myung-Il Choi · Young-Seog Kim · Sun-Bae Bang · Kil-Mok Shong)

Abstract

In this paper, The cast resin transformer's vibration is measured using noncontact raser vibrometer(LV110D). The vibration characteristics of transformer windings and core are analyzed for relation between vibration magnitude and cause. Using the analysis results, the technique is presented to diagnose cast resin transformer, which is able to diagnose transformer' deformation in winding and core geometry. The magnetostriction and electromagnetic force act on the core and windings, causing them to vibrate. The vibration from windings and core penetrates into transformer cast resin and reaches the outside walls. The fundamental frequency of the core and windings vibration signal is twice that of the power frequency(120Hz). The results show that the magnitude of core vibration is linear to driving voltage amplitude and magnitude of windings vibration is increased to loading current under the some level and then stabilized.

Key Words : Vibration Velocity, Vibration Frequency, Cast Resin Transformer, Magnetostriction, Load Type

1. 서 론

현대 사회는 정보화, 복잡화 되어 사회활동을 근간으로 하는 전력공급에 대한 신뢰성 요구가 더욱 높아지고 있다. 따라서 정전은 물론 순간의 전압강하도 허

용되는 않는 상황이 일반화 되고 있다. 변압기는 전력공급의 중요한 요소로서, 변압기의 상태를 정확히 파악하여 열화로 인한 전력공급 장애를 미연에 방지하지 않으면 안된다. 몰드변압기는 철심 및 권선이 절연유 중에 함침 되어 있지 않고, 권선의 전 표면에 에폭시 등의 합성수지로 주형 교체화한 변압기이다. 전기적 절연성 및 기계적 특성의 우수성과 더불어 난연성 및 내습성 등에서 뛰어난 특징을 갖고 있어서 화재에 대한 안전성을 요구하는 옥내용 수변전 설비를 대상으로 1980년부터 한전의 소내변압기를 비롯한 철도, 빌딩, 아파트 및 대용량 수용가 등의 22.9kV 급 변압기에 광범위하게 사용되고 있다. 변압기의 수명을 30년으로 추정한다면, 1980년대부터 운전되기 시작한 몰드

* 주저자 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 진단기술연구팀
** 교신저자 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 진단기술연구팀
* Main author : KESCO Electrical Safety Research Institute

** Corresponding author : KESCO Electrical Safety Research Institute

Tel : 031-580-3063, Fax : 031-580-3111

E-mail : cmkim@kesco.or.kr

접수일자 : 2012년 7월 11일

1차심사 : 2012년 7월 13일, 2차심사 : 2012년 8월 20일

심사완료 : 2012년 9월 11일

변압기가 현 시점에서 보아, 한계수명에 근접하고 있다. 그러나 몰드변압기는 육안점검에 의해 외형을 점검하고, 먼지 등의 이물질질을 청소하는 유지보수 방법만이 시행되고 있으며 고장 또는 사고를 예방하기 위한 몰드변압기의 진단방법은 많지 않아 수명에 근접한 몰드변압기의 고장 또는 사고 위험성이 상존해 있는 실정이다.

몰드변압기의 철심과 권선은 변압기 설치 및 이동시 충격에 의해 철심을 고정시켜 주는 클램프의 압력이 헐거워지기도 하고 기계적 변형이 발생되기도 한다[1]. 또한 반복되는 열적 충격과 절연물의 열화에 의해 절연성능이 저하되고 개폐서지와 같은 이상전압에 의해 절연과파가 발생되어 변압기의 사고로 이어지기도 한다. 이와 같은 성능저하는 변압기 내부에서 부분방전을 발생시켜 최후에는 변압기의 화재와 같이 사고로 이어진다. 따라서 변압기의 철심과 권선의 건전상태를 수시로 체크하는 것이 중요하며 이를 위해서는 건전상태의 몰드변압기의 철심과 권선의 진동특성에 대한 분석이 필요하다[2].

본 논문에서는 레이저를 이용한 비접촉 진동측정장비를 이용하여 몰드변압기의 진동을 인가전압과 부하량 변동에 따라 측정하였다.

2. 본 론

2.1 연구배경 및 이론

변압기에서 발생하는 진동의 발생원은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 철심진동으로서 자화에 의한 여기와 공극에서 발생하는 여기이고, 다른 하나는 누설 자속과 권선 전류의 상호작용에 의해 발생하는 전자력에 의한 권선의 진동이다.

변압기에 일정한 주파수의 교류가 인가되면 변압기 철심에 자기장이 형성되며 자기장의 변화에 따라 진동이 발생한다. 진동의 원인은 자왜현상(magnetostriction) 때문인데 자기장에 의해 기계적 변형이 일어나며 한 번의 교류 주기 동안 자기장의 크기가 두 번 최대가 되므로 자왜현상에 의한 진동은 교류주파수의 두 배의 주파수로 발생한다[3-4]. 변압기

철심에서 유기되어지는 교번자계에 의하여 철심의 규소강판이 진동하게 되고 이 진동은 철심의 지지물과 절연물을 통해 변압기 외벽으로 전달되어 진다. 변압기의 경우 내부 철심의 자왜현상에 의해 발생하는 전기주파수는 120Hz의 배수 조합이 변압기 외벽을 통하여 외부로 방출하게 된다.

몰드변압기기의 권선배치는 절연성능을 극대화시키고 비용을 줄이기 위해 철심에 가까운 쪽에 저압권선을 배치하고 저압권선의 바깥쪽에 고압권선을 배치하는 방법을 주로 채택한다. 도체에 전류가 흐르게 되면 도체 주변에 자계가 형성되고, 전류가 흐르는 도체가 가까이 다른 도체가 놓이게 되면 이 두 개의 도체 주위의 자계는 각 자계의 백터 합이 된다. 두 전류가 반대 방향으로 흐르게 되면 도체 사이의 공간에서 자속밀도는 증가하고 이들 두 도체 사이에는 로렌츠의 법칙에 따라 반발력이 발생한다[5]. 이로 인해 두 도체는 멀어지게 된다. 또한 두 전류가 같은 방향으로 흐르게 되면 도체의 외부공간에서 자속밀도가 증가하고 코일 층간에서 흡인력이 작용하게 된다. 변압기의 권선에서 발생하는 전자력은 축(axial)방향과 방사(radial)방향의 힘으로 계산될 수 있다. 누설자속에 의하여 발생하는 축방향의 전자력은 바깥쪽 권선은 바깥쪽으로 안쪽 권선은 안쪽으로 발생된다. 변압기에서 전류밀도와 누설자속이 시간함수에 귀속되는 부하전류의 선형함수로 표현 될 수 있으며, 권선에 작용하는 힘은 부하전류의 제곱에 비례하는 함수가 된다. 즉 권선에 작용하는 힘은 직류성분과 부하전류 주파수의 두 배의 주파수를 갖는 교류성분을 지니게 된다. 따라서 권선에 의한 진동도 철심 진동과 같이 기본 주파수에 60Hz에 배수배를 갖는 120Hz주파수 성분이 기본 주파수로 작용한다.

2.2 실험 장치구성

본 연구에서는 몰드변압기의 운전시의 진동을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 반환부하법을 이용하였다. 실험장치는 표 1과 같은 시험용 몰드변압기 단상 30kVA (22,900/220V) 2대(Mold TR1, Mold TR2)와 변압기 전원공급을 위해 단상 30kVA(입력 : 220V, 출

력 : 0~300V) 유도전압 조정기(IVR) 1대, 동손 공급을 위한 단상 30kVA(입력 : 220V, 출력 : 0~10V) 전압주파수 조정기(VVVF) 1대, 건식 변압기(TRc) 단상 30kVA(입력 : 10V, 출력 : 0~1,500V)로 구성하였다.

변압기 부하시험시 실부하 시험은 비용면과 제어면에서 실행하기가 어렵다. 따라서 변압기에 철손과 동손만을 따로 공급하여 실부하 시험과 같은 효과를 내는 허부하 시험을 사용하는데 이를 반환부하법이라고 한다. 즉 정격이 같은 두 변압기가 있을 때 이 두 변압기를 같은 전원에 연결하면 두 변압기는 서로서로가 부하가 되므로 변압기 시험을 할 수 있다. 저압권선을 병렬연결하고 두 변압기의 고압권선을 같은 극성으로 서로 연결하면 유기전압은 서로 크기가 같고 방향이 반대가 되어 고압권선에서는 순환전류가 흐르지 않는다. 저압권선은 전원에서 자화전류를 공급받으며 전원에서 받은 전력은 두 변압기의 철손에 해당한다. 이 평형은 고압회로에 임피던스전압에 해당하는 교류전원전압을 다른 변압기를 통하여 공급하므로써 깨어진다. 공급된 교류전원전압의 변동은 고압권선에 흐르는 순환전류를 변화시켜 저압권선에서 이에 비례하는 전류를 흐르게 한다. 이와 같은 방법으로 두 변압기 내에서 소비되는 손실만을 외부로부터 공급하므로써 실부하를 가한 것과 같은 상태가 되도록 하여 실부하를 모의할 수 있도록 하는 시험방법이다[6-7].

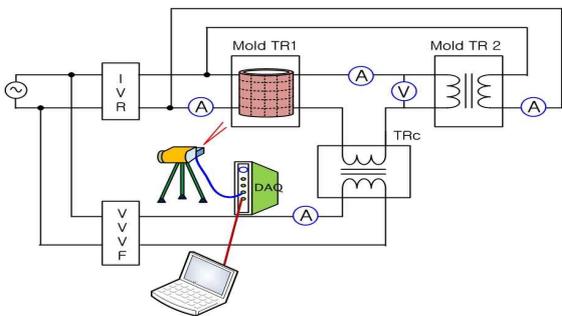


그림 1. 반환부하법을 이용한 몰드변압기 진동측정시스템
Fig. 1. Measurement system of cast resin transformer vibration using loading back method

몰드변압기의 진동을 측정하기 위한 레이저를 이용한 비접촉 진동측정 장치로는 Velocity output

sensitivity 15mm/s/v, 측정범위 0.1Hz~40kHz인 비접촉식 진동속도계(LV110D, EM4SYS사)를 이용하였다. 장치구성은 그림 2와 같이 구성되며 실제로 구축되어진 시험설비는 그림 3과 같다.

표 1. 시험용 변압기 사양
Table 1. Specification of the model transformer

분류	내 용
정격용량	30kVA, 60Hz
정격전압	22,900/220V
정격전류	1.31A/136.4A
상수	단상
%임피던스	3.56
극성	감극성

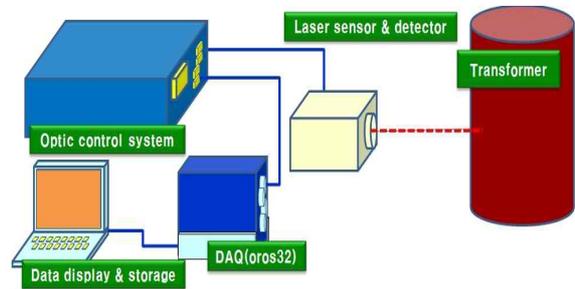


그림 2. 진동측정을 위한 장치 구성도
Fig. 2. Experiment scheme for vibration measurement



그림 3. 진동측정을 위한 시험설비
Fig. 3. Experiment facility in the laboratory

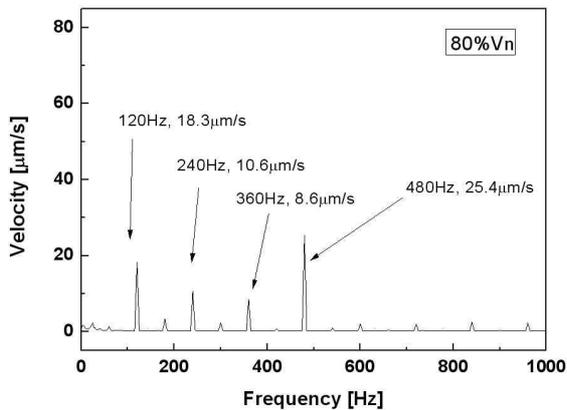
2.3 변압기 진동측정 및 결과

변압기에서 진동을 발생시키는 철심진동과 권선진

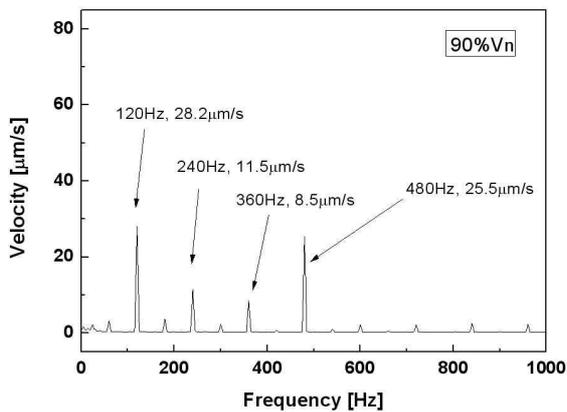
동의 각각의 특성을 파악하기 위해 먼저 철심에 의한 진동특성을 시험할 때에는 변압기의 2차 단자를 개방시켜 부하전류가 흐르지 않도록 하는 개방시험을 실시하였다. 인가전압은 정격전압의 80%, 90%, 100%, 110%, 120%를 인가하면서 그때의 진동신호를 주파수 분석을 실시하여 각각의 특성을 파악하였다. 또한 변압기의 권선에 전류가 흐를때에 진동특성을 파악하기 위해서는 단락시험 방법을 이용하여 전류의 변화에 따른 변압기의 권선에 의한 진동특성을 측정 분석하였다.

2.3.1 철심 진동

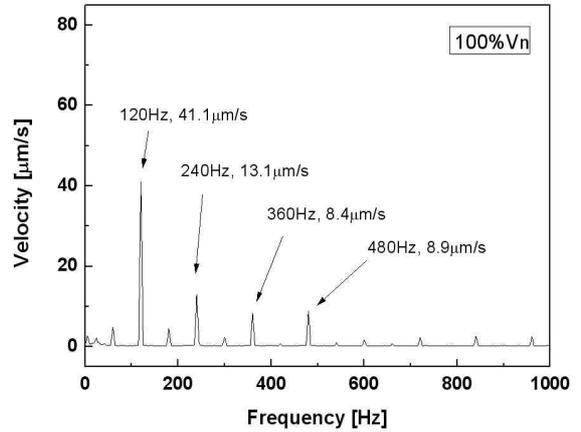
철심에 의한 진동만을 측정하기 위해서 권선에 의한 진동이 발생되지 않도록 TRc에 전압이 인가되지 않



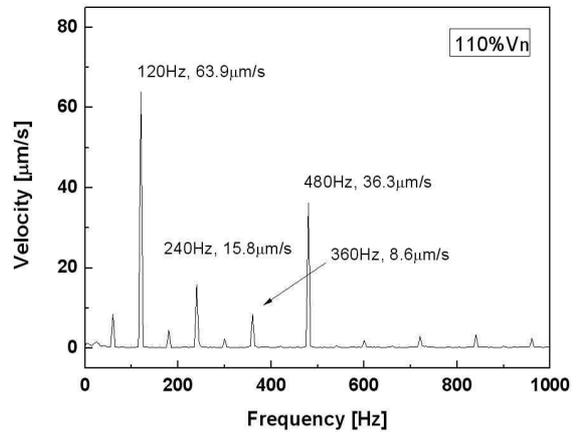
(a) 80% Vn



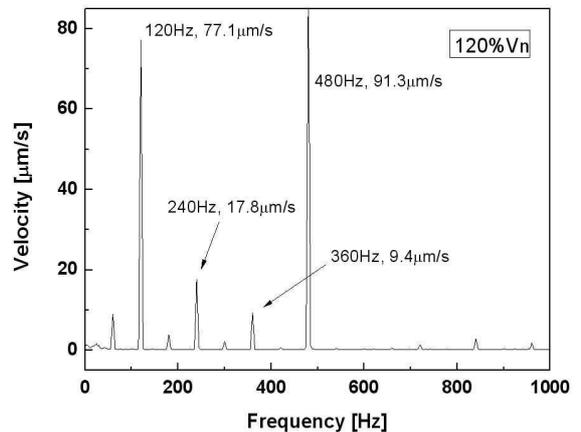
(b) 90% Vn



(c) 100% Vn



(d) 110% Vn



(e) 120% Vn

그림 4. 철심 진동 진동주파수 분석
Fig. 4. Core vibration signal(frequency domain)

도록 하여 변압기 개방시험을 실시하였다. 인가전압은 유도전압조정기(IVR)을 이용하여 정격전압의 80%, 90%, 100%, 110%, 120%를 인가하였으며, 그 때 발생하는 고압 측 외벽의 진동을 측정하여 진동주파수를 FFT(Fast Fourier Transform)분석을 실시하였다. 철심에 의한 진동의 크기는 인가전압에 비례하여 진동이 증가하며 고체절연물인 에폭시를 통해 외벽으로 진동이 그대로 전달되어지고 있음을 알 수 있다.

측정된 진동 주파수는 120Hz, 240Hz, 360Hz, 480Hz로 120Hz의 배수 조합 고조파로 측정되었다. 진동고조파 성분은 주파수가 1kHz에 가까워지면서 거의 0에 가깝게 작아진다. 120Hz를 기본주파수라고 할 때 4고조파에 해당되는 480Hz의 주파수에서는 그 크기가 앞선 차수의 고조파 성분에 비해 비선형적을 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 시험용 변압기가 가지는 고유진동 주파수가 480Hz 대역으로 공진이 발생되어 특이하게 그 진동크기가 증가하는 것으로 판단된다[1]. 고조파 성분의 크기는 인가전압이 증가하면 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 인가전압에 따른 철심진동의 관계를 진동 주파수 분석을 통해 진동고조파(120Hz, 240Hz, 360Hz, 480Hz) 성분별로 나타낸 것이다.

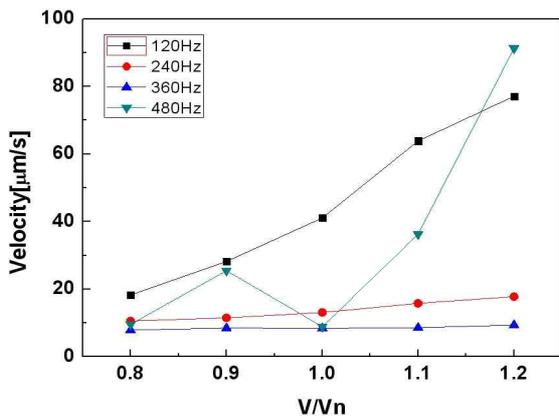


그림 5. 인가전압과 철심진동 관계
Fig. 5. Relation between core vibration and applied voltage

2.3.2 권선진동

권선에 의한 진동을 측정하기 위해서 IVR에

80%, 90%, 100% 정격전압을 인가하고 VVVF를 이용하여 2차 측에 순환전류가 발생하도록 하여 실험을 실시하였으며 그때 발생하는 고압 측 외벽의 진동을 측정하여 진동주파수를 FFT분석을 실시하였다.

그림 6은 80% 정격전압에서는 부하전류 16.0%, 40.4%, 47.8%, 60.0%, 77.2%일 때의 고압측 외벽을 통해 전달되어지는 변압기의 진동을 측정된 결과이다. 고압측 외벽을 통해 측정되어지는 진동은 120Hz를 기본으로 240Hz, 360Hz, 480Hz의 고조파 진동을 가지며 그 크기는 고조파 차수가 증가할수록 작아진다. 하지만 철심에 의한 진동측정에서처럼 480Hz에서는 그 크기가 증가함을 알 수 있다. 이는 철심의 진동 측정시 사용되어진 동일한 시험용 변압기이므로 변압기가 가지는 고유진동주파수 성분이 동일하여 480Hz 대역에서의 공진이 발생되어 그 크기가 증가되는 것으로 판단된다. 80% 정격전압에서의 부하전류가 증가할수록 누설자속과 권선전류에 의한 전자력이 증가되어 권선의 진동은 증가되고 있음을 보여준다. 시험결과 일정 부하율 미만에서는 부하전류가 증가할수록 진동값의 증가폭은 커지지만 그 이상에서는 그 진동값의 증가폭이 둔해지는 것을 알 수 있다. 부하전류가 증가할수록 변압기의 권선진동이 증가하여 철심진동시 발생하는 고조파 진동성분을 상대적으로 작아진다.

120Hz의 기본 진동주파수 성분은 부하전류 크기변화와 진동의 크기는 식 (1)과 같은 추세선(regression line)으로 상관 함수관계를 나타 낼 수 있으며 상관계수는 0.929이다. 상관계수가 1인 경우 모든 측정점들은 추세선과 완전히 일치함을 나타낸다. 수식 (1)에서 x=0일때 즉, 전류값이 0인 경우 진동속도의 크기는 18.16μm/s이다. 이 결과값은 그림 5의 (a) 철심진동 시험결과에서 120Hz의 18.3μm/s와 거의 일치하는 값이다.

$$y = 23.81x + 18.16 \tag{1}$$

그림 7은 90% 정격전압에서의 부하전류에 따른 진동변화는 진동주파수의 상대적인 크기가 증가할 뿐

80% 정격전압에서의 부하전류에 따른 진동변화와 거의 유사한 특성을 보여준다.

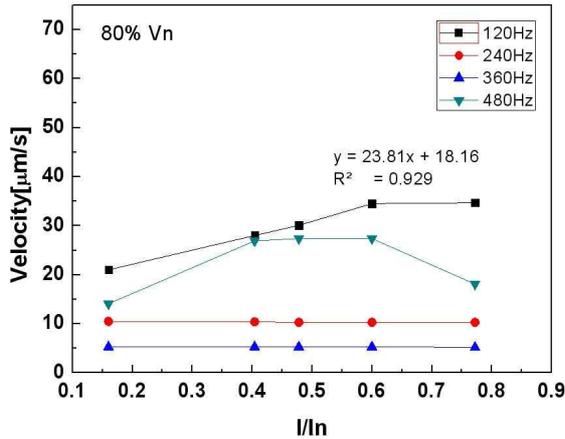


그림 6. 부하전류와 진동 관계(80%Vn)
Fig. 6. Relation between winding vibration and Load current at 80%Vn

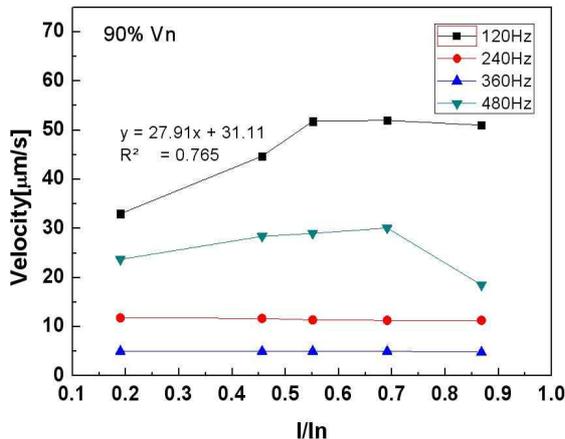


그림 7. 부하전류와 진동 관계(90%Vn)
Fig. 7. Relation between winding vibration and Load current at 90%Vn

부하전류 70%까지는 120Hz, 성분과 480Hz성분의 크기는 증가하지만 부하전류가 증가하면 선형부하에 의한 권선진동에 의해 상대적으로 철심에 의한 자외진동 현상이 줄어들어 전체적으로 변압기 진동값이 일정해지는 것을 알 수 있다. 120Hz의 진동주파수 성분은 부하전류 크기변화와 진동의 크기변화는 식 (2)와 같은 상관 함수관계를 가지면 상관계수는 0.756이다. 수식 (2)에서

$x=0$ 일때 즉, 전류값이 0인 경우 진동속도의 크기는 $31.11\mu\text{m/s}$ 이다. 이 결과값은 그림 5의 (b) 철심진동 시험 결과에서 120Hz의 $28.2\mu\text{m/s}$ 와 거의 일치하는 값이다.

$$y = 27.91x + 31.11 \quad (2)$$

그림 8은 100% 정격전압에서 부하전류에 따른 진동은 앞선 시험과 거의 유사한 특성을 보여준다. 시험용 변압기는 100% 정격전압에서의 운전조건에서의 설계 조건으로 설계 제작되어진 변압기이므로 정격전압에서는 상대적으로 480Hz 성분의 고조파 진동이 작아지는 것으로 판단된다. 120Hz, 480Hz 주파수 성분의 진동은 부하율이 100%에 가까워지면서 그 진동값이 줄어들면 240Hz, 360Hz성분의 진동은 그 크기의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 또한 앞선 실험과 달리 480Hz 성분의 진동크기가 작음을 알 수 있다. 120Hz의 진동 주파수 성분은 부하전류 크기변화와 진동의 크기변화는 식 (3)과 같은 상관 함수관계를 가지면 상관계수는 0.761이다. 수식 (3)에서 $x=0$ 일때 즉, 전류값이 0인 경우 진동속도의 크기는 $44.51\mu\text{m/s}$ 이다. 이 결과값은 그림 5의 (c) 철심진동 시험결과에서 120Hz의 $41.1\mu\text{m/s}$ 와 거의 일치하는 값이다.

$$y = 22.3x + 44.51 \quad (3)$$

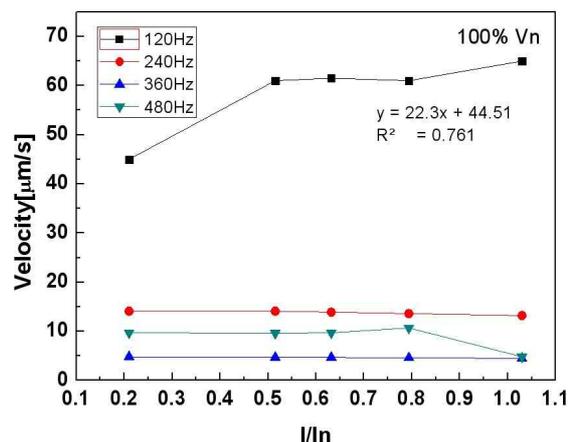


그림 8. 부하전류와 진동 관계(100%Vn)
Fig. 8. Relation between winding vibration and Load current at 100%Vn

변압기의 진동원인 중에 철심에 의한 자왜진동의 영향을 배제하고 순수하게 권선의 전자력에 의한 진동값을 측정하여야 권선에 의한 변압기 진동특성을 파악할 수 있다. 하지만 변압기의 원리상 1차측에 전압을 인가시켜 변압기 철심을 여기시켜야 동작하므로 변압기의 철심에 의한 진동영향을 변압기 전체 진동에서 배제시킬 수는 없다. 하지만 실험결과를 분석해보면 1차측의 전압을 일정하게 하고 부하전류를 변화시켜 부하전류와 변압기 진동에 대한 상관관계를 알면 철심에 의한 변압기의 기본 진동값을 변압기의 개방시험을 하지 않고서도 알 수 있다. 이와 같은 원리를 이용하면 변압기의 단락시험만으로 철심에 의한 기본 진동값을 개방시험을 하지 않고서도 유추할 수 있으며, 일정한 전압에서의 철심에 의한 변압기 진동값과 권선진동 값을 분리할 수 있을 것으로 파악된다. [8-9]의 연구결과에 따르면 건전한 변압기 철심의 기본진동값에 대해 20%이상의 변동이 발생되었을 경우에는 변압기의 철심에 심각한 문제가 발생한 가능성이 높다고 연구되어져 있다. 본 연구결과를 이용하면 변압기 철심에 구조적 변형이 생겨 잠재적 사고의 원인이 된다면 이와 같은 철심의 구조적 변형을 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 역으로 변압기 철심에 문제가 없고, 변압기의 인가전압이 일정한데 부하전류에 의한 증가폭 변화가 매우 심하면 변압기 권선에 잠재적 사고원인이 발생 하였다는 것을 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결 론

레이저를 이용한 비접촉 진동측정장비를 이용하여 몰드변압기의 진동을 측정하고 진동신호를 주파수 영역에서 분석하기 위하여 측정된 신호를 FFT방법을 사용해서 스펙트럼을 구했다. 변압기 철심과 권선은 자왜현상과 전자력에 의해 진동을 발생시키며 120Hz를 기본으로 하는 주파수 성분을 갖는 진동파형을 발생시킨다. 철심에 의한 진동은 인가전압에 선형적으로 증가하며, 권선에 의한 진동은 부하전류의 크기에 선형적으로 증가하지만 일정 부하율 이상에서는 안정화 되는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서는 변압기에서 각 진동의 원인에 따른 진동크기의 상관관계를 분석하였고 몰드변압기의 철심과 권선의 구조적 변형을 진단할 수 있는 방법을 제시하였다. 하지만 이와 같은 진단방법은 실제환경에서 사용되어지고 있는 몰드변압기의 환경과는 많은 차이가 있다. 실제 현장에서 사용되어지고 있는 변압기 진동은 제작방법에 따라 철심의 성분, 설치방법, 부하종류, 온도변화 등에 의해 다양하게 변화될 것이다. 따라서 이에 따른 추가적인 연구가 보완되어지면 몰드변압기의 철심과 권선의 구조적 변형을 진단하여 변압기의 잠재적 사고를 방지할 수 있는 좋은 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Ji Shengchang, "Research on Extraction Technique of Transformer Core Fundamental Frequency Vibration Based on OLCM" IEEE Transactions on power delivery, vol. 21, no. 4, oct, 2006.
- [2] Lavelle, Juan C, "Failure Detection Transformers Using Vibration Analysis" Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, M.I.T., Cambridge, MA, 1986.09.
- [3] S.Y Yoo, J.S Lee, U.K Lee, M.G Noh, "Magnetostriction Modeling for the Analysis of Electromagnetically Induced Vibration of Transformers ", Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 25, No. 1, 2008.01.
- [4] S.H Lee, C.G Kang, J.C Kim, "A study on the modelling of power transformer winding vibration", '94 KIEE summer conf., pp.216-218, 1994.07.
- [5] S.J Kim, W.Y Pa기, S H Lee, Y.D Kim, "A study on the vibration phenomenon of running power transformer(154kV single phase)", 2008 KIEE autumn conf., pp. 144-146, 2008.09.
- [6] Y.K Chung, J.W Jung, J.C Kim, H.R Kwak, "FFT and AR Coefficient Analysis of Vibration Signal in Mold Transformer ", Journal of the Korean institute of illuminating and electrical , Vol. 12, No. 4, pp. 136-145, 1998.
- [7] Y.H Yoon, C.H You, J.C kim, C.S Chung, J.J Lee, "Fault Discrimination of Power Transformers using Vibration Signal Analysis ", Trans. KIEE, Vol. 48A, No. 1, 1999.01.
- [8] V. A. Rusov, "Monitoring clamping forces in windings and cores of large power transformers using their vibration characteristics", (in Russian) transl Electric power plant elektricheskie stanzii, vol. 6. pp. 52~57, 1988.
- [9] Z. Berler, A. Goluber, and V. Rusov et al., "Vibro-acoustic method of transformer clamping pressure monitoring", in Proc. conf. IEEE Int. Symp. electrical Insulation, Anaheim, CA, Apr. 2-5, 2000, pp. 263-256.

◆ 저자소개 ◆



김종민 (金鍾旻)

1972년 7월 18일생. 1998년 2월 전북대학교 공대 전기공학과 졸업. 2001년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 KESCO-ESRI DTR team 주임연구원.

관심분야 : 변압기 진동진단, 아크플래시 검출 시스템 개발

Tel : (031)580-3063

E-mail : cmkim@kesco.or.kr



최명일 (崔明日)

1975년 5월 30일생. 2002년 2월 창원대학교 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 졸업(석사). 2009년 8월 광운대학교 정보통신대학원 졸업(석사). 2012년 2월 숭실대 박사과정 수료. 2006년~현재 KESCO-ESRI DTR team 주임연구원.

관심분야 : PD 알고리즘, 피뢰설비, 무정전 진단

Tel : (031)580-3065

E-mail : ken2003@kesco.or.kr



김영석 (金榮錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 KESCO-ESRI DTR team

선임연구원.

관심분야 : 케이블진단, 코로나 진단시스템 개발

Tel : (031)580-3064

E-mail : athens9@naver.com



방선배 (方善培)

1968년 5월 18일생. 1994년 2월 명지대학교 공대 전기공학과 졸업. 2002년 2월 강원대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년~현재 KESCO-ESRI DTR team 선임연구원.

관심분야 : 아크 발생, 시험 및 검출장치 개발, 축전지 수명계측 및 기준

Tel : (031)580-3062

E-mail : bsb1586@kesco.or.kr



송길목 (宋佶穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대학교 공대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동 대학원 전기전자재료 및 대전력 졸업(석사). 2007년 8월 동대학원 졸업(박사). 1996년 3월~현재 KESCO-ESRI DTR team 책임연구원.

관심분야 : 전기설비진단, 시스템 개발, 전기안전 컨설팅

Tel : (031)580-3061

E-mail : natasder@naver.com, natasder@kesco.or.kr