

몰드변압기 소음저감을 위한 진동특성 파악

The vibration characteristics for noise reduction of mold transformer

김기원*·김양한**
Ki-Won Kim, Yang-Hann Kim

Key Words : Transformer(변압기), Natural Frequency(고유진동수), Mode Shape(모드형상)

ABSTRACT

This study deals a way to reduce the transformer noises. The first step is to identify the source of the transformer noises. The second step is obtaining the vibration characteristics of transformer; its natural frequencies and mode shapes. Based on these information, an method to reduce the vibration of transformer can be found. The cause of transformer noises is mainly due to the magnetostrictive vibration of a core which is made of ferromagnetic substances. It is well known that the magnetostrictive vibration of a core is unavoidable, and a way to reduce the transformer noise by structural design is needed. It requires understanding the vibration characteristics. The natural frequencies and the mode shapes of transformer are analyzed by performing the modal testing.

1. 서론

변압기 소음은 변압기의 진동에 의해 발생되며, 이는 인가되는 교류전류의 배가 되는 주파수 성분으로 알려져 있다. 또한 그 파장의 길이가 소음원의 크기에 비하여 큰 저주파 소음의 특성을 가진다. 절연방식에 따라 절연유를 이용한 유입식 변압기와 공기를 이용한 건식 변압기로 분류되는데, 몰드변압기는 건식 변압기의 일종으로 권선을 고체 절연화한 것이다. 이는 유입식 변압기에 비해 화재의 위험이 없고, 부피가 작고 유지 및 보수가 편리하여 옥내용으로 사용하기에 적합하다는 장점이 있지만, 발생하는 소음이 공기 중으로 그대로 방사되는 단점을 가지고 있다. 더욱이 최근 도시의 발달 및 도시 인구 증가로 인하여 주거 지역과 인접하여 변전 시설이 설치되고 있는 추세이며, 변압기 소음 문제와 관련하여 잦은 민원이 발생하고 있다. 이러한 변압기 소음과 관련하여, KS 규격(KS C 4312)^[1]에 따르면 변압기 자체의 소음레벨이 변압기 성능을 평가하는 기준이 되며, 변압기 자체의 소음 저감 방안이 필요하다.

소음 발생의 직접적인 원인이 되는 철심의 자왜 진동에 의한 변압기의 진동을 구조적 개선을 통해 저감시키기 위해서는 모드 해석을 통한 몰드 변압기의 고유 진동수 및 모드형상을 파악이 필요하다.

2. 변압기 소음원

2.1 자왜 진동(Magnetostrictive Vibration)^[2-4]

자왜 진동이란, 교류전류에 의해 자계가 주기적으로 변할 때, 그 주파수의 2 배로 재료의 형상이 변하는 현상을 의미한다. 이러한 자왜 진동은 탄성변형률 ϵ 로 표현가능하며, 교류신호를 정현파로 가정할 때, 식 (1)과 같은 관계를 가진다.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = CB^2 \sin^2 \omega t \quad (1)$$

이 때, C는 비례 상수이며, B는 교류전류에 의해 생성되는 자기장의 세기, ω 는 인가되는 전류의 주파수, l은 재료의 길이, 그리고 Δl 은 변형량을 뜻한다.

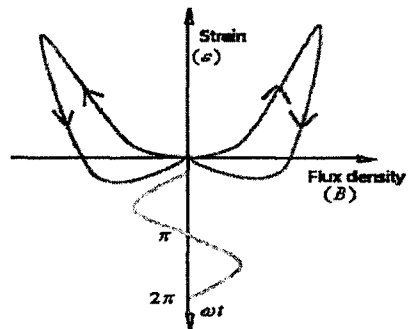


Fig. 1 Magnetostriction curve of core under a sinusoidal flux density variation^[4]

* 한국과학기술원 기계공학과
E-mail : kkw5581@kaist.ac.kr
Tel : (042) 350-3065, Fax : (042) 350-8220
.. 한국과학기술원 기계공학과

2.2 변압기 진동의 주파수 특성

측정에 사용된 변압기 시편으로는 1000KVA 용량의 몰드변압기(Fig.2)이다. 실험 시에는 2 차 단자에 380V 삼상 전압을 인가시킨 후, 무부하 상태에서 LDV(Laser Doppler Vibrometer)를 이용하여 변압기 시편의 철심 부분의 진동속도 신호를 측정하여 보았다. 그 결과, 120Hz 배음성분에서 피크가 나타났으며, 이는 인가된 교류 주파수의 2 배가 되는 주파수를 기본주파수로 하는 자왜 진동으로 인한 것이며, 변압기 소음의 주원인이 변압기 철심의 자왜 진동임을 확인할 수 있었다. 또한, 120Hz, 240Hz, 360Hz 에서 다른 주파수에 비해 20dB 이상 높은 수치가 나타났다(Fig.3). 이를 통해 120Hz, 240Hz, 360Hz 에서의 진동 저감이 필요하다는 사실을 알 수 있다.

철심의 자왜 진동은 강자성 재료의 성질이므로 불가피하며, 구조적 개선을 통한 진동 저감이 필요하다. 이를 위해 모드 해석을 통한 변압기 시편의 진동 특성을 파악할 필요가 있다.

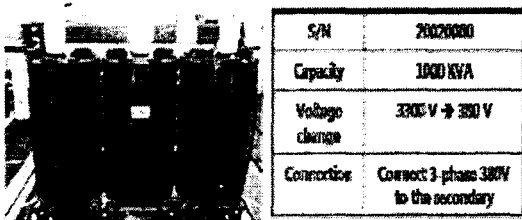


Fig. 2 Mold transformer specimen used in experiment

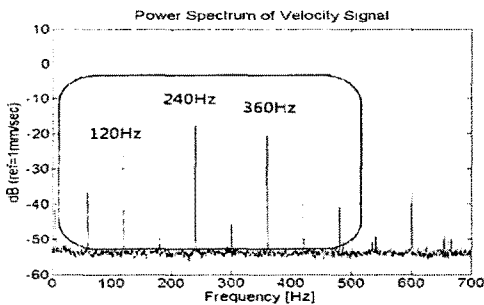


Fig. 3 Auto power spectrum of velocity signal of the mold transformer

3. 변압기 모드 해석

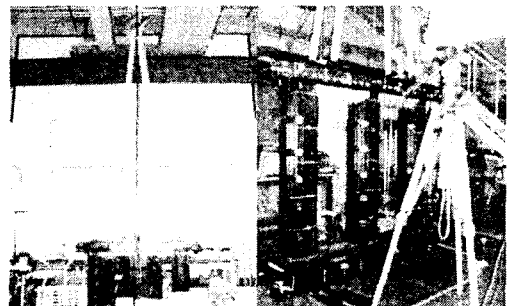
3.1 실험시편

변압기가 완성되어 있는 상태에서는 코일 내부의 철심의 거동을 측정하기가 어렵다. 따라서 변

압기시편의 모드해석을 위해 변압기를 철심과 코일로 분해하였다. 먼저 철심의 경우, 자유경계조건을 구현시키기 위해 변압기 상단을 Fig.4(a)와 같이 호이스트에 매달았으며, 56 개의 측정지점으로 나누었다. 코일의 경우, 실제 철심과 코일의 결합시 지지대로 쓰이는 고무 재질의 지지대를 이용하여 Fig.4(d)와 같이 3 개의 지점에서 지지하였으며, 72 개의 측정지점으로 나누었다.

3.2 실험장치 및 측정

모드해석 실험을 위해 Fig.5 와 같이 실험장비를 구성하였다. 가진기(Shaker)를 이용하여 변압기의 철심과 코일을 가진 하였으며, 가진 신호는 랜덤 신호생성기의 백색음을 이용하여 가진 하였다. 또한 철심과 코일의 진동을 가속도계와 LDV 를 이용하여 측정하였다. 또한 Fig.3 에서 알 수 있듯이, LDV 로 측정된 변압기의 진동 속도에서 120Hz, 240Hz, 360Hz 주파수 성분이 주요하기 때문에 진동 저감을 위한 관심영역을 0~500Hz 로 선정하였다.



(a) (b)



(c)

Fig. 4 Core and coil of mold transformer for modal testing: (a) the transformer core suspended on a hoist, (b) measurement of core's vibration by using LDV, (c) transformer coil supported on three points

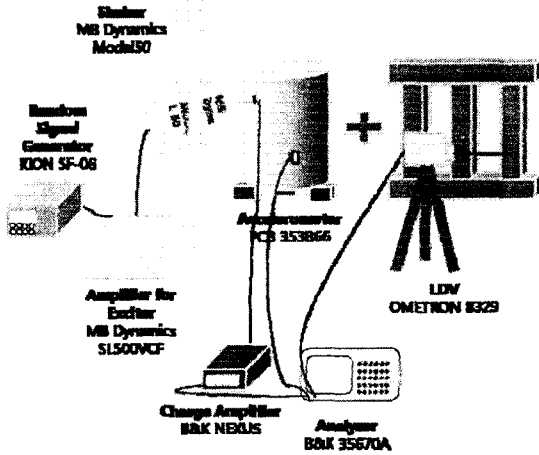


Fig. 5 Equipment for modal testing

4. 실험결과

4.1 철심의 고유진동수 및 모드형상

56 개의 지점에서 측정된 주파수 응답함수(FRF)로부터 관심영역(0~500Hz) 내 존재하는 고유진동수 및 모드 형상을 구하였다. 아래 Fig.6로부터 얻어진 철심의 고유진동수는 Table 1 과 같다.

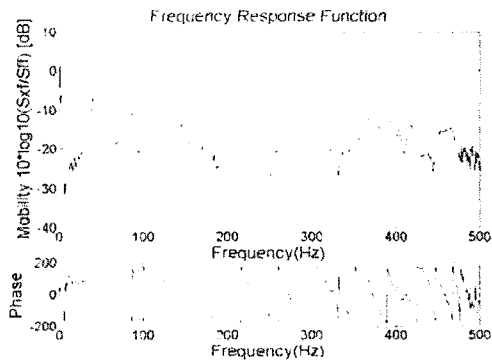
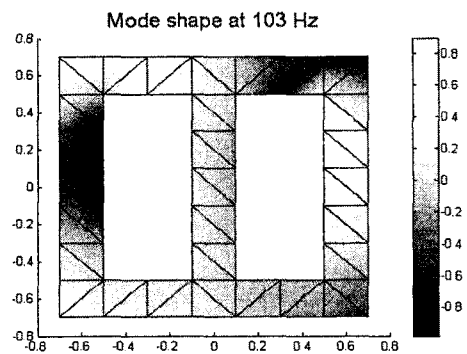
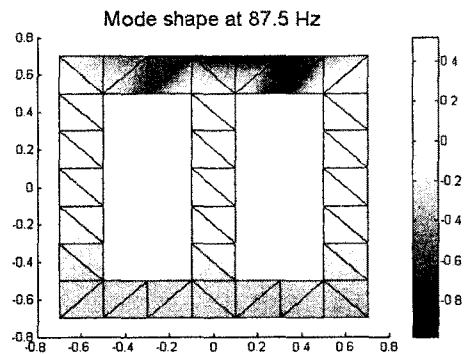
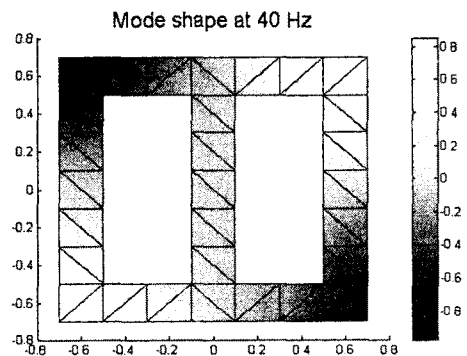
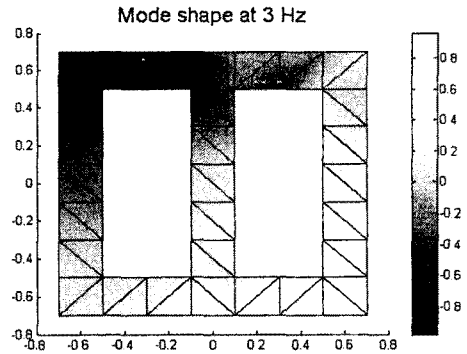


Fig. 6 FRF between velocity signal and exciting force signal of the core

Table 1 Natural frequencies of the core

	Natural frequency
1 st	3 Hz
2 nd	40 Hz
3 rd	87.5 Hz
4 th	103 Hz
5 th	215 Hz

각각의 고유진동수에서 철심의 모드형상은 아래 Fig.7 과 같다.



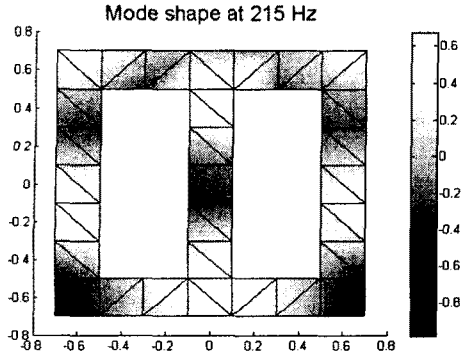
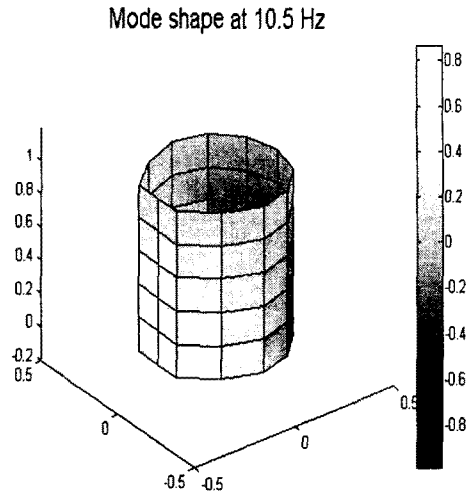


Fig. 7 Mode shapes of the core (3Hz, 40Hz, 87.5Hz, 103Hz, 215Hz)



4.2 코일의 고유진동수 및 모드형상

코일 표면의 72 개의 지점에서 측정된 FRF로부터 고유진동수 및 모드 형상을 구하였다. Fig.8로부터 얻어진 철심의 고유진동수는 표 2 과 같다.

또한, 진동속도 응답신호와 가진신호 사이의 FRF로부터 구해진 각각의 고유진동수에서의 모드형상은 Fig.9 과 같다.

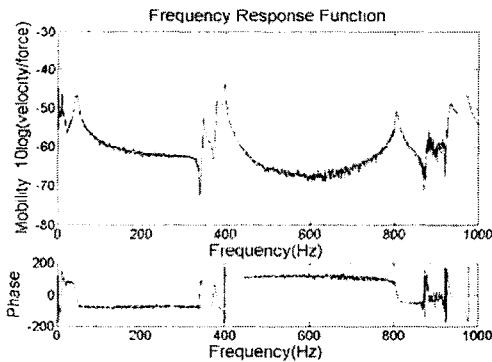
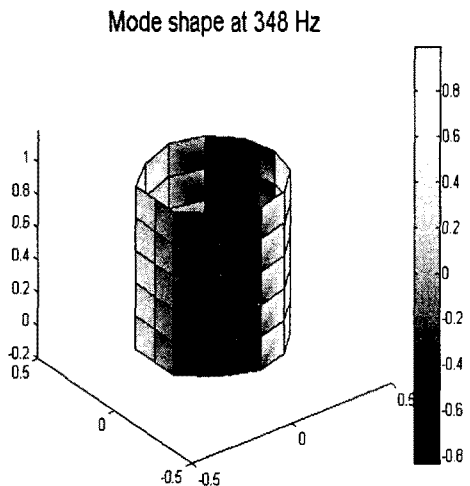
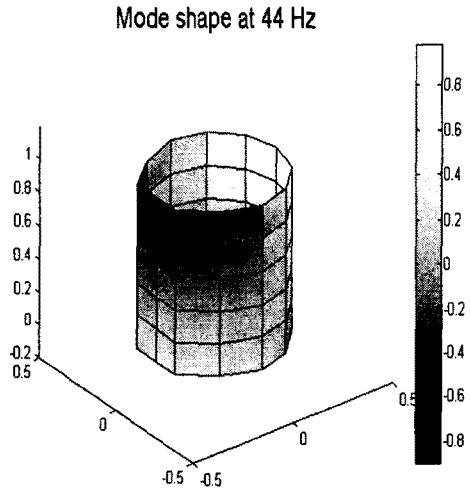


Fig. 8 FRF between velocity signal and exciting force signal of the coil

Table 2 Natural frequencies of the coil

	Natural frequency
1	10.5 Hz
2	44 Hz
3	348 Hz
4	379 Hz
5	403.5 Hz



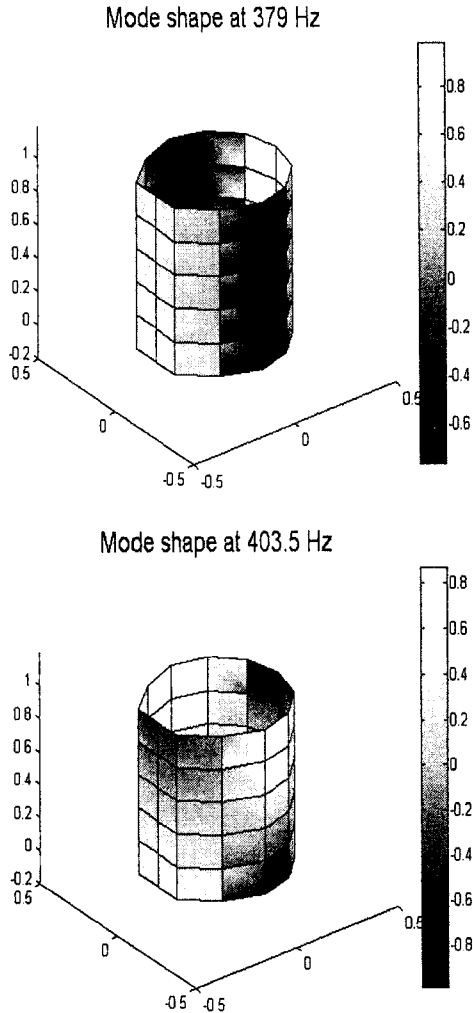


Fig. 9 Mode shapes of coil (10.5Hz, 44Hz, 348Hz, 379Hz, 403.5Hz)

5. 결론 및 향후계획

변압기 시편의 진동신호 측정을 통해 변압기 소음의 주원인이 철심의 자왜 진동을 확인할 수 있었다. 강자성 재료의 자왜 진동은 불가피하며, 이에 구조적 설계를 통해 변압기의 진동을 저감시킴으로써 소음을 저감하는 방법을 구축하기 위해 변압기의 진동특성을 파악하였다. 그리고 모드해석을 통해 철심과 코일의 고유진동수 및 모드형상을 파악할 수 있었으며, 향후 부분구조합성법(modal synthesis)을 통하여 변압기 소음저감을

위하여 필요한 철심과 코일의 결합 구조를 밝혀려 한다.

6. 후기

연구는 LS 산전과 진행하는 연구과제 “공학적 접근 방법을 통한 전력기기 소음 저감 연구(GB10190)”의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- (1) KS C 4312-2002, “ 변압기의 소음레벨 측정방법” .
- (2) P. L. Timar, A. Fazekas, and J. Kiss. 1989, “ Noise and Vibration of Electrical Machines ” , Elsevier Science Publishing Company, Inc.
- (3) R. L. Bean, 1992, “ Transformer for the Electric Power Industry” , WECO
- (4) 최원호, 김진, 석호일, 2005, “ 구조 공진회피에 의한 변압기 소음저감” , KIEE. Vol. 54C, No. 12, DEC
- (5) N. M. M. Maia and J. M. M. e Silva, 1998, “ Theoretical and Experimental Modal Analysis” , Research Studies Press Ltd.