

변압기용 차음판의 진동 소음 특성 분석 The vibration and noise characteristics analysis of Sound Insulation Panel for Transformer

정한얼·김효중·구동식·최병근

Han. E. Joeng, H. J. Kim, D. S. Gu and B. K. Choi

Key Words : Insulation Panel(차음판), Transformer(변압기), Sound Power(음력), Transmissibility(전달률), Sound Pressure(음압), Damping Sheet(제진제)

Abstract : Recently, The demands for the reduction of noise generated by transformers have been increasing. Almost all of the noise generated by transformers is a result of magnetostrictive vibration in the core. The noise radiates into the atmosphere from the tank through the insulation oil. As the noise of transformer irritates residents, needs for decreasing the noise of transformer have been arised.

One method of reduction such a noise is to build a free-standing enclosure of concrete and steel plates around the transformer. However, this method has some disadvantages. Another method of noise reduction is to mount a close-fitting sound insulation panel on the side of a transformer tank. Side plate vibrations of transformer are transmitted to such a sound insulation panel along two paths. In one case, they are transmitted through air by sound pressure and in the other through supporting structures.

In the paper, the vibration and noise effect which is transferred from reinforce channel to insulation panel generated by transformer have been identified for the several kinds of insulation panel and damping sheet analytically and experimetally.

1. 서 론

최근 변압기가 주택지역 부근에 설치 되므로 인해 변압기가 전기를 공급하는 핵심 기기임에도 불구하고 방출되는 소음이 변압기 주위의 주거자들에게 불쾌감을 주어 민원제기의 대상이 되고 있다. 따라서 변압기에서 발생하는 소음의 감소가 필요하게 되었다.

변압기는 자기 변형적(magnetostrictive)진동에 의해 소음이 발생한다. 소음은 절연유(차단유)를 통해 대기에 방출된다. 이 소음의 주 주파수는 120Hz이며, 100~500Hz 사이의 주파수 범위에서 주로 영향을 미친다.

이러한 소음을 줄이는 한 방법으로서 변압기 주

위를 콘크리트나 강철판으로 둘러싸는 방법이 있다.⁽¹⁾ 또한, 공명형 방음벽을 설치하는 방법과^(2,3) 능동 소음 제어 시스템을 이용하여 변압기의 소음을 저감하는 방법이 있다.⁽⁴⁾

그러나, 이러한 방법은 장치를 설치하기 위해 필요한 면적이나 시간이 많이 들고 설치비용 또한 높다는 단점이 있다.

변압기의 소음을 줄이는 또 다른 방법으로는, 변압기 측면에 알맞은 차음판을 붙이는 방법이다.^(5,6) 변압기의 측면 진동은 두 가지 방식으로 차음판에 전달된다. 하나는, 공기를 통해 전달되는 air born noise이고 다른 하나는 지지하는 구조물을 통해서 전달되는 structure born noise이다.

본 연구에서는 변압기에서 방출되는 소음을 대상으로 차음판의 투과 손실률을 줄이기 위한 기초 자료를 수립하기 위해 잔향실의 보강빔으로부터 차음판으로 전달되는 진동과 소음을 차음판의 두께 및 제진제의 종류, 단일판과 이중판에 대해 보강빔으로부터 차음판으로 전달되는 진동과 소음의 특성을 해석 및 실험을 통해 조사하였다.

접수일 : 2006년 9월 14일, 채택확정 : 2006년 9월 30일

최병근(책임저자) : 국립 경상대학교 기계항공학부
해양산업연구소

E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr Tel:(055)640-3059

정한얼, 김효중, 구동식 : 국립 경상대학교 대학원
정밀기계공학과

2. 변압기 개요

변압기란 여러개의 권선과 공통의 철심으로 구성되어 그중 전원측에 접속되는 권선을 1차권선이라 하며 부하측에 접속되는 권선을 2차권선이라 한다. 1차권선에 교류전압을 인가하면 전자유도 현상에 의해 2차권선에 권수비에 비례하는 전압을 유기하는 전압변환장치이다. 또한 전압과 전류를 변화시켜 전력의 생산지에서 소비지까지 에너지의 손실이 거의 없이 전력을 공급할 목적으로 송배전 계통에 설치되는 전력 전송기기이며, 그 중에서 전력용 변압기는 대용량의 전력을 생산지에서 소비지로 전송 시 필요한 핵심적인 역할을 하는 기기이다.

변압기에서 발생하는 소음은 거의 대부분이 코어에서의 자기 변형적(magnetostrictive) 진동에 의해서다. 변압기 철심(core)에서 유기되어지는 교변유도자계에 의하여 철심의 규소강판이 진동하게 되고 이 진동으로 인해 발생한 소음이 변압기내의 절연유(차단유)를 통해 대기로 방출된다. 이 소음의 주된 주파수 성분이 120Hz로 알려져 있다. Fig. 1은 고압 대용량 변압기의 내부 개략도를 나타낸다.

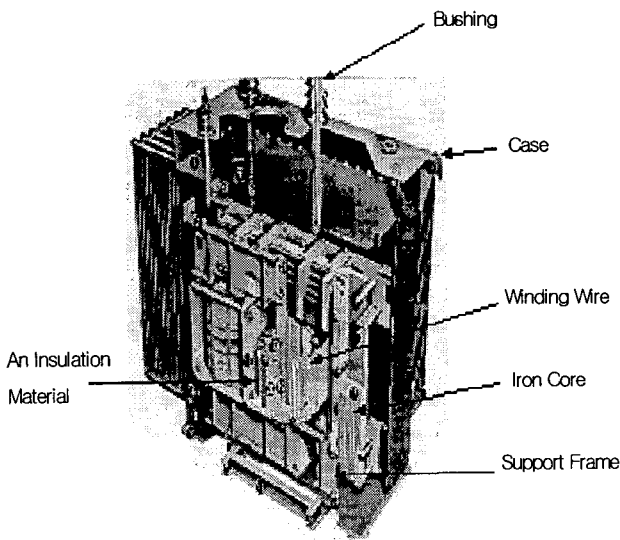


Fig. 1 Inner part of the Transformer.

3. 해석 및 해석 결과

상용 프로그램인 Sysnoise를 사용하여 단일판의 투과 손실률과 공진 주파수를 분석하였으며, 이중판인 경우는 차음판의 두께와 Air Area의 두께에 따른 이중 차음판의 투과 손실률과 공진 주파수를 분

석하여 보았다. Fig. 2는 이중 차음판의 두께에 대한 투과 손실률의 해석 결과이다.

단일판의 경우는 해석결과 차음판의 강성과 감쇠의 영향은 적었으며 질량 법칙에 의해 차음판의 질량이 무거워 질수록 음의 투과 손실률과 공진 주파수 영역이 낮아짐을 알 수 있었다.^(7,8)

이중판의 경우는 단일판과 마찬가지로 질량 법칙에 적용되었으며, 차음판의 두께가 두꺼워 질수록 변압기의 주가진원인 120Hz의 공진 주파수 영역에서 회피하여 낮은 주파수로 이동하였으며 투과 손실률이 낮아짐을 알 수 있었다. 또한, 동일한 두께의 이중판에 대한 air area의 두께를 달리한 해석에서는 air area의 두께가 두꺼워 질수록 공진 주파수 영역이 낮아짐과 동시에 투과 손실률이 낮아짐을 확인 할 수 있었다.

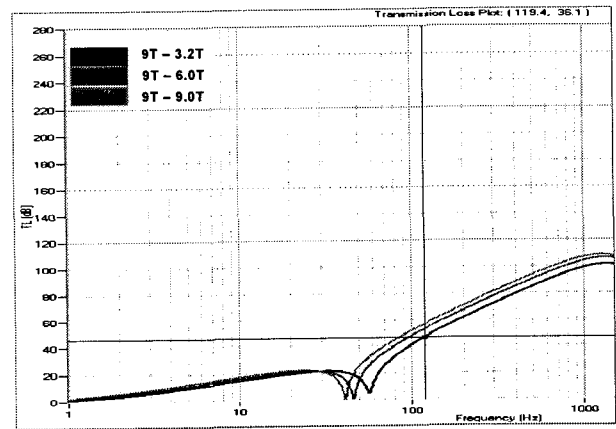


Fig. 2 Sysnoise analysis result

4. 실험 장치

본 논문에서는 진동과 소음을 차단하기 위해 차음판으로 현장에서 쉽게 사용가능한 강철판과 제진강판의 경우를 비교하였으며, 제진 효과가 있는 제진제를 차음판의 뒷면에 부착한 후의 특성을 비교하였다. 제진강판과 제진제는 국내에서 비교적 구하기 쉬운 종류를 구하여 실험하였으며, Table 1은 차음판과 제진제의 종류를 나타낸다.

Fig. 3은 실험장치의 개략도를 나타낸다. 차음판을 잔향실의 앞부분에 고정하기 위해 clamp를 사용하여 잔향실의 지지대에 고정시켜 실험하였다. 그리고 변압기의 소음을 대신해서 잔향실의 한 모서리에 음원인 스피크를 설치하였으며 모든 주파수 대역에 대해 측정할 수 있도록 white noise로 설정하여 실험하였다. 스피커의 음압에 의해 발생된 음파

는 잔향실의 지지대를 통해 차음판에 전달되는 structure born noise와 잔향실 내의 공기를 통해 전달되는 air born noise를 B&K Pluse 장비와 연결한 가속도 센서, 마이크로폰, Intensity 장비를 사용하여 가속도와 Sound Pressure, Sound Power를 측정하였다.

Table 1 Kind of Insulation Panel and Damping sheet

차음판	강판	3.2T
		4.8T
		6T
	제진강판	1.65T
		2T
제진제	ADS (아스팔트 펄프계열)	2T
	PDS (페놀수지 계열)	3T
		4T

잔향실 성능 평가 및 차음판의 특성을 비교하기 위해 다음의 실험을 수행하였다.

- ① 잔향실의 성능 실험 (Sound Pressure)
- ② 차음판에서의 가속도 값
- ③ 차음판에서의 Sound Power

또한, 차음판을 단일판, 이중판으로 나누어 차음판의 특성을 알아보았으며, 강철판의 뒷면에 제진제를 부착한 실험에서는 제진제가 강철판에 미치는 제진효과를 알아보고 그 특성을 비교하였다.

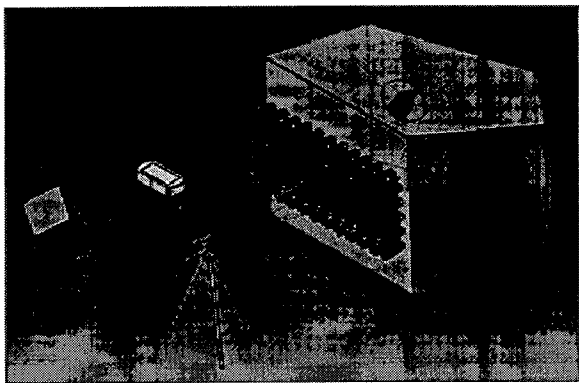


Fig. 3 Measurement System

5. 실험 결과

5.1 잔향실 성능 분석(Sound Pressure)⁽⁹⁾

잔향실의 성능을 알아보기 위해 잔향실의 내부와

외부에 B&K Pluse 장비와 마이크로폰을 사용하여 Sound Pressure를 측정하였다.

잔향실의 내부는 바닥에서 0.75m의 높이에 마이크로폰을 설치하여 4 point를 측정하였으며, 외부는 4 방향별로 가운데를 기준으로 하여 1 point를 측정하였다. 측정 결과 Table 2에서 보는 것같이 내부의 Overall값은 109dB로 동일하게 나왔으며, 외부는 약 78dB로 나왔다. 변압기 소음의 주 주파수인 120Hz 경우도 내부가 약 7.8dB, 외부가 약 5dB 정도로 일정하게 나와 잔향실의 성능은 우수한 것으로 사료되어 본 실험을 진행하였다.

Table 2 Noise of Insulation Panel(Unit: dB)

	overall		120Hz	
	내부	외부	내부	외부
1	109	77.7	7.894	4.93
2	109	77.9	7.861	4.584
3	109	78	7.819	5.751
4	109	78.9	7.895	5.18

5.2 진동 전달비(R)

차음판의 보강빔 뒤쪽과 차음판의 측정값을 이용하여 진동전달비(R)를 계산하기 위하여 다음의 공식을 이용하였다.

$$\overline{\alpha_s^2} = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} \alpha_{si}^2}{N_s} \quad (1)$$

여기서,

$\overline{\alpha_s^2}$ = 차음판 지지부의 가속도 값의 평균

α_{si} = 차음판 지지부의 가속도 값

N_s = 차음판 지지부에서의 측정 포인트의 전체 개수

$$\overline{\alpha^2} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i^2}{N} \quad (2)$$

여기서,

$\overline{\alpha^2}$ = 차음판의 가속도 값의 평균

α_i = 차음판의 가속도 값

N = 차음판의 측정 포인트의 전체 개수

차음판 보강빔의 진동에 대한 차음판의 면적평균 전달비(R)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = 10 \log \frac{\alpha^2}{\alpha_s^2} \quad (3)$$

5.3 차음판의 가속도 측정 결과

잔향실에서 측정된 단일판(강철판, 제진강판)과 이중판의 차음판 가속도와 보강빔 가속도를 측정하였으며 진동 전달비(R)를 계산하였다. 또한 이중판의 경우 air area의 두께는 0.1m로 동일하게 하여 차음판의 두께에 따른 진동 전달비(R)를 비교하여 보았다. Fig. 4는 단일판과 이중판의 차음판 가속도와 보강빔 가속도 측정 결과를 나타낸다.

단일판의 경우 Fig. 4에서 보는 것처럼 보강빔의 가속도는 일정하게 나타난 반면, 차음판의 가속도는 질량법칙에 적용되어 두께가 두꺼워 질수록 가속도가 작아져서 전체적으로 차음판의 두께가 두꺼워 질수록 진동 전달비(R)가 작아지는 경향을 확인할 수 있었다.

이중판의 경우 보강빔의 가속도값과 차음판의 가속도의 편차가 대부분 일정하여 진동 전달비(R)의 변화가 크지 않았다. 하지만 4.8T+DS2T와 6T+6T의 경우 보강빔의 가속도와 차음판의 가속도의 차이에 의해 진동 전달비(R)의 차이가 나타났다.

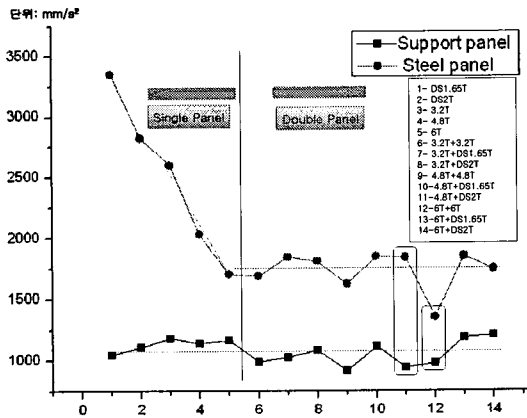


Fig. 4 Acceleration of Insulation Panel and Support Channel

5.4 차음판의 Sound Power 측정 결과

잔향실 내에서 차음판으로 투과되는 투과 손실률을 알아보기 위해 단일판(강철판, 제진강판)과 강철판의 뒷면에 제진제(ADS2T, PDS3T, PDS4T)를 부착한 차음판의 Intensity를 측정하여 Sound Power를 구해 보았으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 단일판(강철판, 제진강판)의 경우 가속도 측정 실험 결과와 동일하게 질량 법

칙에 적용받아 두께가 두꺼워 질수록 Sound Power의 투과 손실률은 작아지는 경향을 알 수 있었다. 하지만, 강철판의 뒤쪽에 제진제(ADS) 2T, PDS 3T, PDS 4T)를 붙여 측정한 차음판의 경우에는 차음판의 두께에 따른 Sound Power 측정 결과 제진의 효과는 있었지만 차음판의 투과 손실에는 효과가 미미하게 나왔다.

따라서 차음판의 두께가 두꺼워 질수록 투과 손실률이 작아지는 경향을 알 수 있었으나 투과손실률에 대한 제진제의 방음효과는 그다지 크지 않는 것을 알 수 있었다.

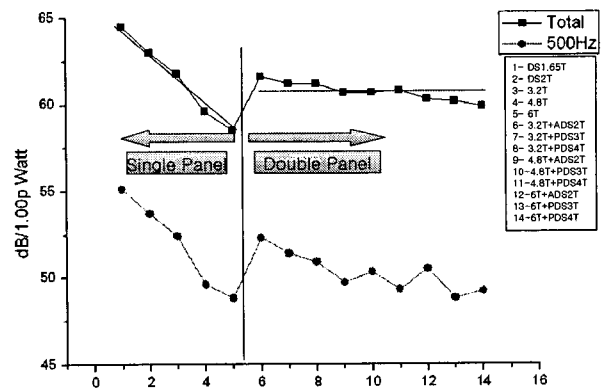


Fig. 5 Measurement of Sound Power

6. 결 론

본 연구에서는 변압기에서 방출되는 소음을 대상으로 차음판의 투과 손실률을 줄이기 위한 기초 자료를 수립하기 위해 잔향실의 보강빔으로부터 차음판에 전달되는 진동과 소음을 차음판의 두께 및 제진제의 종류, 단일판과 이중판의 진동과 소음의 특성을 해석 및 실험을 통해 조사하였다.

Synnoise 해석 결과 단일판 및 이중판의 두께와 Air Area의 두께가 두꺼워 질수록 질량 법칙에 적용되어 음의 투과 손실률과 공진 주파수 영역이 낮은 주파수로 이동함을 알 수 있었다.

차음판의 가속도 측정 실험에서는 단일판의 경우 차음판의 두께가 두꺼워 질수록 전달비가 작아짐을 알 수 있었으며, 이중판의 경우 보강빔의 측정값이 일정할 경우 대부분이 질량 법칙에 적용되었지만, 그 효과는 미비하였다.

Sound Power 측정 결과 단일판의 경우 진동 측정 결과와 동일하게 질량 법칙이 적용되어 측정판의 두께가 두꺼워 질수록 Sound Power의 측정값이 작아짐을 알 수 있었다. 그리고 단일판에 제진제를

불일 경우 제진의 효과는 있었지만 차음판의 투과 손실에 대한 방음의 효과가 미비하였다.

또한, 차후에 이중판에서의 제진제를 부착한 경우와 삼중판에 대한 성능 실험을 통해 정확한 차음판의 성능을 비교하여 차음판의 기초 자료를 수립한 후에 실제 변압기에 차음판을 부착하여 그 성능을 알아보려고 한다.

후 기

이 논문은 2006년도 2단계 BK21과 지방대학 혁신역량 강화산업(NURI)에 의하여 지원 되었습니다.

참고 문헌

1. Harris, C. M, 1957, Hand book of noise control, McGraw-Hill, New York.
2. 이준신, 김태룡, 2002, “음향공명 방음벽 연구”, 한국소음진동공학회논문집, 제12권, 제6호, pp. 413- 419.
3. 이우섭, 정성우, 서상준, 2000, “간섭형 방음벽의 음향특성”, 한국소음진동공학회지, Vol.10(3), pp. 517-522.
4. 이혁재, 박영철, 윤대회, 차일환, 1999, “변압기 소음제어를 위한 다중채널 능동소음제어 시스템”, 한국소음진동공학회지, 제9권, 제6호, pp. 1137- 1144.
5. Edward F. Ellingson, Allis-chalmers Corporation, Milwaukee, Wisconsin, 1979, "Transformer noise abatement using tuned sound enclosure panels", IEEE, pp. 184-191.
6. Minoru, K., Yasuro, H., Masaaki, M. and Toshimitsu., 1983, "Transformer noise reduction with new sound insulation panel", IEEE. pp. 1-8.
7. 김의간, 1989, “차음판의 음향투과손실에 관한 이론적 고찰 및 측정법”, 한국박용기관학회지, 제13권, 1호, pp. 45-56.
8. Harris, C. M, and Crede, C. E., Shock and Vibration Hand book, McGraw-Hill, New York.
9. 강대준, 이우석, 이제원, 홍준기, 조윤희, 2006, “흡음재의 시험조건에 따른 흡음성능 특성”, 한국소음진동학회논문집, 제16권, 제7호, pp. 683-689.