변압기용 고효율 차음판의 진동 및 소음 비교

Comparison of vibration and noise characteristic of high efficiency Insulation Panel for Transformer

정재환*·장용석*·임동수**·김진**·최병근†

J. H. Jeong, Y. S. Jang, D. S. Lim, J. Kim, and B. K. Choi

Key Words : Existing insulation panel(기존 차음판), High efficiency insulation panel(고효율 차음판), Attached material(접합재료), Transformer(변압기)

ABSTRACT

The high efficiency insulation panel for transformer construction is needed in residential area because the making noise from transformer substation in side of city is appeared a lost of problem by increasing to conserve the living environment. Therefor in this paper, first the vibration and noise characteristic of existing insulation panel is analyzed according to attached material, cork and sponge-type. Second the insulation of sound performance is compared between the existing insulation panel. And high efficiency insulation panel that is proposal in this paper.

1. 서 론

최근 환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 환경문제는 오늘날의 산업에서 빼 놓을 수 없는 중요한 문제이다.

산업의 성격에 따라서 환경적 심각성에는 차이가 있을 수 있으나 환경 보전이나 환경복구를 위한 산업은 환경 문제로부터 자유스럽지 못하다는 것은 사실이다.

현재 우리가 사용하고 있는 전기 에너지를 생산, 공급하는 전력 산업 또한 환경문제 측면에서 자유롭지 못한 실정이다. 발전소에서 발생하는 매연, 분진, 소음 등이 그러하며 변전 시설의 전자파 유해성 논란, 시설입지에 대한 환경단체와의 마찰 등 경우에 따라서는 심각한 사회 문제가 되고 있다.

전력수요의 증가와 도심지역의 확대로 도심지의 기존 변전소에 변압기를 증설하거나, 주거지역에 새로운 변전소의 건설이 필요하다. 그러나 도심지 변전소는 부지확보의 어려움도 있지만, 주민들의 반대에 의해 변전소 건설이 원활하지 않은 실정이다. 특히 도심지의 변압기에서 발생하는 소음은 생활환경 보전요구의 증대로 최근에 많은 문제점을 제기되고 있다.

따라서 본 논문에서는 변압기에서 방출되는 진동과 소음을 효과적으로 감소시킬 수 있는 변압기용 차음판의 코르크타입과 스펀지타입의 진동 및 소음특성 결과[(1)]를 바탕으로, 기존에 적용 되고 있는 차음판과 고효율 차음판의 소음저감을 위해 개발된 진동 및 소음저감 특성을 비교분석 하였다.

2. 변압기의 개요

변압기란 전자세력을 매개로 전자유도 작용에 의하여 한쪽의 권선에 공급한 교류 전기를 다른 쪽의 권선에 동일주파수의 교류전기로 전압을 변환하는 정지 유도기기로서 적어도 2개 이상의 전기회로를 구성하는 권선들과 한 개의 공통된 자기

† 국립 경상대학교 기계항공공학부
E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr
Tel : (055) 640-3059, Fax : (055) 640-3188

* 국립 경상대학교 정밀기계공학과

** (주)효성중공업 연구소

회로를 이루는 철심 및 절연유 등의 절연물로 구성된다.

변압기는 사용 장소에 따라 증폭기 등에 사용되는 소형변압기, 배전선로 전주 위에 설치되는 주상변압기 및 발전소, 또는 변전소 등에 설치되는 전력용변압기 등으로 나눌 수 있으며, 그 외에도 사용목적에 따라 시험용 변압기, 접지변압기, 정류기용변압기, 전기로용변압기, 방폭형변압기 등이 있다.

변압기에서 발생되는 소음은 거의 대부분이 코어에서의 자기 변형적(magnetostrictive) 진동에 의해발생 된다. 변압기 철심(core)에서 유기되어지는 교번유도자계에 의하여 철심의 규소강판이 진동하게 되고 이 진동으로 인해 발생한 소음이 변압기 내의 절연유(차단유)를 통해 대기로 방출된다. 이 소음의 주된 주파수 성분이 120Hz로 알려져 있다.[(2)]

3. 차음판의 수치해석

Fig. 1 Transformer for test

Fig. 1은 실험에 사용한 변압기이다. Fig. 1의 차음판은 기존 차음판과 고효율 차음판 각각 총 4판이며 A, B, C, D라고 표기 하였다.

Table 1은 기존 차음판과 고효율 차음판의 재질 및 두께와 길이를 나타낸 것이다. 기존 차음판의 경우 동일한 두께에 3개의 사이즈로 이루어져 있고, 고효율 차음판 동일한 두께 2개의 재질이 각각 두께가 동일하며 3개의 사이즈와 강철판 가장 자리를 빔이 추가된 형상으로 이루어 졌다.

변압기 차음판의 경우 Plate가 크면 다자유도계

Table 1 Size and Type of Insulation Panel

	Plate	A&B	C	D
existing insulation panel	steel plate	9T (936*560)	9T (897*650)	9T (936*650)
high efficiency insulation panel	thin plate	1T (936*560)	1T (897*650)	1T (936*650)
	steel plate	9T (636*260)	9T (598*350)	9T (498*430)
	added mass	beam (12*20)	beam (12*15)	beam (12*20)

Table 2 Analysis result of Natural frequency (existing insulation panel)

Mode	Plate A&B	Plate C	Plate D
1	129Hz	82Hz	107Hz
2	237Hz	119Hz	278Hz
3	338Hz	298Hz	317Hz
4	359Hz	349Hz	479hZ
5	555Hz	557Hz	540Hz
6	737Hz	768Hz	723Hz

Table 3 Analysis result of Natural frequency (high efficiency insulation panel)

Mode	Plate A&B	Plate C	Plate D
1	24Hz	25Hz	20Hz
2	35Hz	39Hz	41Hz
3	49Hz	47Hz	44Hz
4	204Hz	165Hz	154hZ
5	220Hz	216Hz	209Hz
6	391Hz	371Hz	252Hz

에 가까워 plate의 고유진동수의 개수가 조밀하게 많아지게 되며, 120Hz 가진원의 조화 성분들을 회피하기 어려워지게 되므로 가급적 plate의 size를 작게 하는 것이 공진 회피설계에 유리하다.

실제 plate의 경우 유연한 개스킷 위에서 볼트로 체결될 것이므로, 해석에서 얻은 결과 값보다는 plate의 실제 고유진동수 값이 낮아질 것이다.

따라서 가진 소음원의 주파수를 기준으로 +20~-10Hz 이내이면 공진가능성이 높은 것으로 판단하고 다음 Table 2와 3 에서 보는 것처럼 고유진동수의 개수를 나타내었다.

Table 2의 경우 A&B, C, D판에서의 고유진동수 값이 변압기 전원주파수(120Hz)의 공진영역 안에 속해 있는 것을 알 수 있다. 이는 실험을 할 때 공진에 의해 진동과 소음이 증가 할수 있음을 나타낸다. 그러나 Table 3 의 경우에는 A&B, C, D판 모두 고유 진동수 값이 120Hz대를 회피 하고 있어

고효율 차음판의 소음 및 진동이 기존 차음판 보다 낮을 것으로 사료 된다.

4. 실험 장치

4.1 실험 장치

본 실험에서는 정반위에 변압기를 두고 변압기 내부에 스피커를 설치하여 실험을 실시하였다. 실험 대상으로는 변압기에 기존차음판과 고효율 차음판을 각각 부착 후 소음 및 진동을 비교 하였으며 차음판 고정부의 탄성재료는 선행연구결과[(1)]에 의한 소음 저감성능이 탁월한 코르크를 부착하여 실험하였다.

A~D까지 4개의 차음판을 대상으로 각 차음판마다 실험을 반복적으로 수행하였으며 차음판에서의 Modal Test 및 가속도 값과 Sound Power를 측정하였다.

4.2 측정 방법

변압기의 각 차음판의 성능을 알아보기 위해 다음의 실험을 수행 하였다.

① 차음판의 고유진동수
(Impact Hammering Test)
② 차음판에서의 가속도 값
③ 차음판에서의 Sound Power

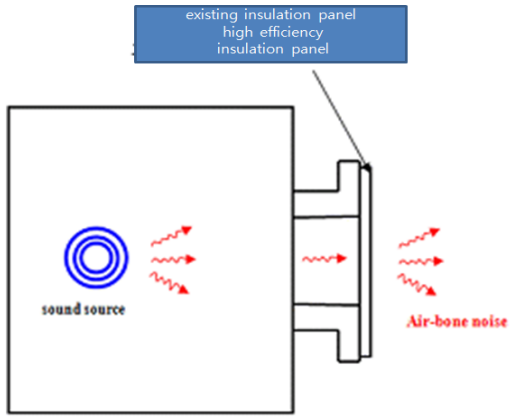

Fig. 2 Measurement System

또한 Fig. 2에서와 같이 변압기 내부에 마이크로폰을 설치, 내부 음압의 변화를 체크 하였고, 각 차음판과 변압기가 접합하는 부분에 선행연구결과[(1)]를 토대로 코르크를 붙여 기존차음판과 고효율 차음판중 어느 타입이 진동 및 소음 저감 성능이 탁월한지 비교 분석하였다.

5. 실험 결과

5.1 Impact Hammering Test

Table 4와 Table 5는 각 차음판(A~D)의 Modal Test결과를 나타낸 것이다. A와 B판의 경우 18 Point, C판은 15 Point D판은18 Point로 설정하고 Modal Test하였다.

Table 4에서 A와 B판의 경우 기존 차음판(코르크)이 변압기 가진 주파수인 120Hz 공진영역에 속하므로 진동 및 소음이 커질 것으로 사료된다.

Table 5에서 C와 D판의 경우 고효율 차음판(코르크)이 120Hz의 조화가진 주파수인 240Hz, 360Hz, 480Hz에서 공진 영역에 속한다. C판의 경우 기존 차음판이 120Hz 공진영역에 속하지만 공진 영역 가장자리에 존재하므로 진동에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 사료 된다.

Table 4 Result of modal test about existing insulation panel

	1st mode	2nd mode	3th mode	4th mode
A&B	115(95.8%)	318	531	712
C	99(82%)	321	522	764
D	93	297	462	516

Table 5 Result of modal test about high efficiency insulation panel

	1st mode	2nd mode	3th mode	4th mode
A&B	40	189	220	473
C	39	146	213	249
D	43	171	370	472

5.1 강제 진동시 차음판 내부의 가속도 값

Table 6은 각 차음판 (A~D) 내부 가속도 측정값을 나타낸 것이다. A, B판의 경우 91Point, C판은 77point, D판은 91Point로 각각 측정 하였고 평균하여 나타내었다.

A, B판의 가속도 값을 보면 공진 회피설계에 의하여 120Hz에서 고효율 차음판의 값이 기존 차음판의 값보다 매우 낮은 것을 알 수 있다.
240, 360, 480Hz에서 가속도 값이 0.5m/s^{2}를 넘는 경우도 있지만 B판의 경우 120Hz의 값이 다른 주파수 성분에 비해 매우 커 다른 가진 주파수의 가

Table 6 Measurement result of Acceleration

		high efficiency insulation panel	existing insulation panel
	force freq.	inside	
A	120Hz	0.0093	0.1263
	240Hz	0.0901	0.0278
	360Hz	0.7674	0.0345
	480Hz	0.0638	0.5104
B	120Hz	0.0194	1.2036
	240Hz	0.6949	0.0308
	360Hz	0.6552	0.1924
	480Hz	0.1169	0.2421
C	120Hz	0.0444	0.3939
	240Hz	1.4965	0.2305
	360Hz	4.3510	0.0362
	480Hz	0.7615	0.1358
D	120Hz	0.0311	0.0639
	240Hz	0.7025	0.1426
	360Hz	0.3021	0.0463
	480Hz	0.3939	0.1199

속도 값이 차음판의 전체 가속도에 미치는 영향은 작을 것으로 사료 된다. 그러나 C, D판의 경우 Modal Test 결과에서 알 수 있듯이 고효율 차음판이 240, 360, 480Hz에서 가속도 값이 0.5m/s^2 가 넘는 경우가 많고 기존 차음판보다 가속도 값이 더 큰 것을 알 수 있다. 따라서 C, D판의 경우 진동에 의한 소음의 증가가 있을 것으로 사료된다.

5.3 Sound Power

Table 7은 차음판 A~D를 15Point로 나누어 Sound Power를 합성하여 주파수 별로 나타낸 것이다.

Modal Test값과 가속도 값에서 알 수 있듯이 240Hz에서 고효율 차음판의 파워 값이 기존 차음판의 파워 값보다 높은 것을 알 수 있다. 하지만 그 외 120Hz를 비롯한 다른 주파수에서는 전부 고효율 차음판의 파워 값이 낮음을 알 수 있다. 또한 고효율 차음판의 경우 120~480Hz 모두 비교적 일정한 값을 나타내고 있으나 기존 차음판의 경우 120Hz에서의 파워 값이 다른 주파수에서의 파워 값에 비해 현저히 높고 120Hz 성분이 미치는 영향이 가장 큰 것으로 사료된다.

Fig. 3은 고효율 차음판과 기존 차음판의 Sound Power값을 판 위치에 대해 나타낸 것이다.

고효율 차음판과 기존 차음판의 경우 가속도의 결과와 마찬가지로 A, B판의 경우 고효율 차음판의 값이 낮은 것을 알 수 있다.

특히 B판의 경우 가속도 값이 120Hz에서 현저히 높게 나타나 그로 인해 Sound Power값에서도

Table 7 Measurement result of Sound Power (According to force freq.)

force freq.	existing insulation panel	high efficiency insulation panel
120Hz	77	66
240Hz	59	66
360Hz	65	61
480Hz	61	61

Table 8 Measurement result of Sound Power (According to average freq.)

high efficiency insulation panel	existing insulation panel
64	73

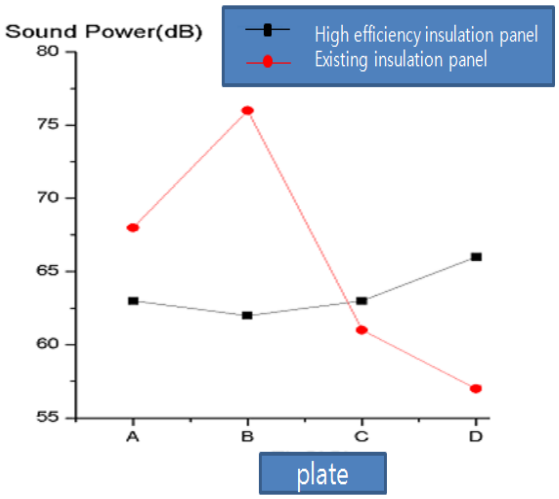

Fig. 3 Measurement result of Sound Power

높게 나타나는 것으로 사료된다. 그리고 C, D판의 경우 역시 가속도 결과에서 알 수 있듯이 고효율 차음판의 가속도 값이 240Hz, 360Hz, 480Hz에서 기존 차음판보다 높아서 Sound Power값이 크게 나타나는 것으로 사료된다. Table 8은 Table 7의 주파수별 Sound Power 결과를 모두 합성하여 나타낸 것이다. 즉 변압기 한 면에서 발생하는 음의 Power를 비교한 것이다. Table 8에 따르면 변압기에서 발생하는 음의 Power가 기존 차음판보다 고효율 차음판에서 약 9dB정도 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

이것으로 보아 한면을 기준으로 차음성능을 비교해본 결과 기존 차음판 보다는 고효율 차음판의 차음성능이 더 뛰어난 것으로 사료된다.

6. 결론

본 논문에서는 변압기에서 발생하는 진동 및 소음을 저감하기 위하여 선행연구결과를 바탕으로 변압기차음판의 접합부가 코르크타입인경우의 기존 차음판과 고효율 차음판을 비교 실험하였다.

실험결과 Modal Test값을 보면 기존 차음판의 경우 변압기 가진 주파수인 120Hz에 A&B, C판이 공진 영역에 들어가지만 고효율 차음판의 경우 120Hz 공진영역을 모두 회피한 것을 확인 하였다.

가속도 값을 보면 공진 회피설계결과로 120Hz에서 고효율 차음판의 값이 기존 차음판의 값보다 현저히 낮은 것을 확 인 하였다. 240, 360, 480Hz에서 가속도 값이 0.5m/s^{2}를 넘는 경우도 있지만 B판의 경우 120Hz의 값이 다른 주파수 성분에 비해 매우 커 다른 가진 주파수의 가속도 값이 차음판의 전체 가속도에 미치는 영향은 작을 것으로 사료 된다.

Sound Power값을 주파수별로 합성한 경우 240Hz에서 고효율 차음판의 파워 값이 기존 차음판의 파워 값보다 높은 것을 확인 하였다. 하지만 그 외 120Hz를 비롯한 다른 주파수에서는 전부 고효율 차음판의 파워 값이 낮음을 알 수 있다.

판 위치에 따른 Sound Power값의 경우 A, B판 모두 고효율 차음판의 값이 낮음을 확인 하였다. 특히 B판의 경우 가속도 값이 120Hz에서 현저히 높게 나타나 Sound Power값에서도 높게 나타나는 것으로 사료된다.

단면 즉, 차음판 부착 면 전체의 경우 고효율 차음판의 Sound Power값이 기존 차음판의 Sound Power값보다 약 9dB정도 낮게 측정되는 것으로 보아 고효율 차음판의 차음성능이 더 우수한 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2단계 두뇌한국21(2nd BK21)과 지방대혁신 역량 강화산업(NURI), 지역혁신인력양성사업의 지원을 받았습니다.

참 고 문 헌

(1) J. H. Jeong, 2007, "Comparison of vibration and noise of higher utility factor Insulation Panel for Transformer", KSNVE

(2) Harris, C. M, 1957, Hand book of noise control, McGraw-Hill, New York.

(3) Harris, C. M, and Crede, C. E. Shock and Vibration Hand book, McGraw-Hill, New York.

(4) Minoru, K. Yasuro, H., Masaaki, M. and Toshimitsu., 1983, IEEE

(5) Edward F. Ellingson, Allis-chalmers Corporation, Milwaukee, Wisconsin, 1979, "Transformer noise abatement using tuned sound enclosure panels", IEEE, pp.184-191.

(6) H. E. Jeong 2006, "Comparison of Performance of Sound Insulation Panel for Transformer", KSNVE pp.1302-1305

(7) 이건복, 임병덕, 정태건, 황재혁, 2002, 최신기계진동학, 피어슨 에듀케이션 코리아, 2장.