Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.12, pp. 47~55 December 2008 논문 22-12-6

전력용 변압기 소음저감을 위한 차음판 기술에 관한 연구

(A Study on the Soundproofing Plate Techniques for Noise Reduction of Power Transformers)

권동진* · 구교선 · 김정찬 · 김 진
(Dong-Jin Kweon · Kyo-Sun Koo · Jung-Chan Kim · Jin Kim)

요 약

전력수요의 증가와 도심지역의 확대로 주거지역에 새로운 변전소를 건설하거나, 기존 변전소에 변압기 증설이 필요하다. 그러나 변전소의 변압기 소음으로 인한 불만이 증가하고 있다. 지금까지 한전에서는 변압기의 소음전달을 차단하기 위하여 옥외 변전소의 경우에는 방진패드 설치, 다양한 방음벽 설치, 변압기 본체 밀폐 등을 시행하여 왔으며, 옥내 변전소의 경우에는 방음문, 방음셔터 및 풍도형 방음장치 설치 등을 시행하여 왔다. 그러나 현재의 소음 저감대책은 만족할 정도에 이르지 못하는 실정이다. 따라서 변압기 자체의 소음발생 억제에 대한 근본적인 대책이 요구되고 있다. 본 연구에서는 변압기 외함의 보강제 사이를 강판으로 막아 변압기 외함에서 방출되는 소음을 차단하기 위한 차음판 기술을 개발하였다. 차음판을 변압기 외함에 적용하기 위하여 변압기 외함의 진동 특성과 차음판의 적용에 따른 음의 감쇄를 해석하고, 실변압기에 차음판을 적용하여 소음의 저감효과를 측정하여 약 11[dB]의 소음저감 효과를 확인하였다.

Abstract

According to the increase of power demand and expansion of downtown, it is necessary to install transformers additionally in operating substations and construct substations in residential area. But the public complaint has been increased due to the transformer noise of the substation. KEPCO has used a vibration preventing pad, various soundproof walls and an enclosure to transformers in outdoor substations, and a soundproof door, shutter and wind-path soundproof equipment in indoor substations to block the sound propagation from the transformers. But these noise reduction methods are not satisfied. It should be considered to reduce transformer noise itself. To shut out sound emitted from transformers, we developed a soundproof technology that wall up reinforcing bar by steel sheet. For the practical application of it, we analyzed the vibration characteristics of a transformer tank and reduction of noise according to soundproof plate. As a result, it is confirmed that the technology can reduce 11 [dB] of transformer noise.

Key Words : Transformer, Noise reduction, Soundproof panel, Transmission loss

* 주저자 : 한전전력연구원 책임연구원
Tel : 042-865-5862, Fax : 042-865-5804, E-mail : djkweon@kepri.re.kr
접수일자 : 2008년 7월 4일, 1차심사 : 2008년 7월 7일, 심사완료 : 2008년 7월 16일

1. 서 론

최근 도심지의 개발에 따라 변전소에 인접하여 민가 또는 아파트 단지가 근접하여 건설되는 경우가 많고, 생활수준이 높아짐에 따라 변압기의 소음으로 인한 민원이 발생하고 있다. 특히 대규모 부하지역인 도심지에 건설되는 154[kV] 변전소는 필연적으로 소음문제를 초래하게 된다. 변압기의 소음은 주거지에서 심야(22:00~06:00) 시간에는 45[dBA], 평상시간에는 55[dBA]로 규제하고 있다[1]. 그러나 154[kV] 전력용 변압기의 제작시 소음레벨 기준치는 79[dBA]로 되어 있고[2], 35개 변압기의 소음을 측정한 결과, 평균 70.9[dBA], 최대 77.8[dBA], 최소 64.0[dBA]를 나타내어 소음 허용기준에 크게 미달하는 실정이다.

지금까지 변압기의 소음저감 대책으로 옥외 변전소의 경우에는 방진패드 설치, 방음벽 설치, 본체 탱크의 밀폐 등을 시행하여 왔으며, 옥내 변전소의 경우에는 방음문, 방음 보조 셔터 및 풍도형 방음장치 설치 등의 외부대책을 시행하여 왔다[3]. 그러나 현재의 소음 저감대책은 운전 중인 변압기에 적용하고 있으므로, 근본적인 소음 저감대책을 적용하기 곤란하고, 그 효과도 만족할 정도에 이르지 못하는 실정이다[4]. 국민소득이 증가하고, 생활환경 보전에 대한 요구가 지속적으로 증가될 것으로 예상됨에 따라, 변압기에서 발생하는 소음에 따른 민원은 지속적으로 증가할 것으로 예상되므로 민원의 원천적 차단하고, 환경정책기본법과 소음·진동규제법의 소음배출 허용기준을 만족할 수 있도록 변압기의 소음발생 저감 및 차음대책 기술의 개발이 필요하다.

변압기에서 발생되는 소음의 대부분은 철심에서의 자기적 변형에 의한 진동으로, 전원 주파수(60[Hz])의 2배 성분과 하모닉 성분(240, 360, 480[Hz] 등)을 가진다. 따라서 변압기의 소음을 저감시키기 위한 기술은 철심을 대상으로 고배향성 방향성 규소강판 적용, 철심 자속밀도 저감, Step-lap 철심적층 기법 적용, 철심 결합기술(Binding 추가, 클램프 개선, 밴드 고정구 채용) 개선, 철심 진동전달 저감재(고무 댐퍼) 적용 등이 있다. 또한 변압기의 소음을 차단시키기 위한 조립식 철판 차음실 적용 등의 2차적인 대책이 있다[5].

본 연구에서는 변압기 외함의 보강제 사이를 강판으로 막아 변압기 외함에서 방출되는 소음을 차단하기 위한 차음판 기술을 개발하였다. 차음판을 변압기 외함에 적용하기 위하여 변압기 외함의 진동 특성과 차음판의 적용에 따른 음의 감쇄를 검토하였다. 또한 음향해석 기법을 이용하여 차음판 두께의 효과, 변압기 외함과 차음판 사이의 공기층의 두께의 효과 및 부가질량의 효과 등을 해석하였다. 이상의 연구결과를 토대로 차음판을 변압기에 적용하여 소음저감 효과를 확인하였다.

2. 본 론

2.1 변압기 외함의 진동 특성

그림 1과 같이 변압기 내부에서 외부로 방출되는 소음은 공기를 통해 외부로 방출되는 소음(air-borne noise)과, 지지하는 구조물을 통하여 전달되는 소음(structure-borne noise)으로 나눌 수가 있다. 차음판은 변압기 외함에서 공기를 통해 외부로 방출되는 소음을 차단하기 위한 방법이다.

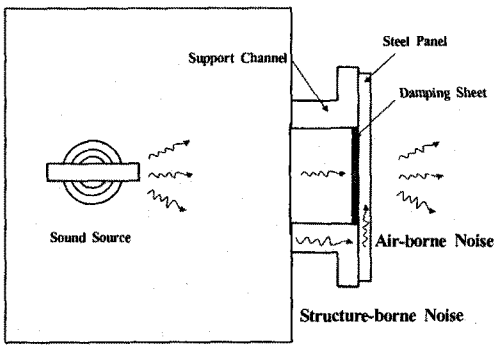


그림 1. 변압기 소음의 전달
Fig. 1. Transmissions of the transformer noise

차음은 기본적으로 입사되는 음향 에너지를 반사시켜 투과되는 음향 에너지를 작게 하려는 것이다. 이때 반사되는 에너지의 양은 매질의 임피던스와 관계되므로 가장 효과적인 방법은 임피던스 차이를 크

게 하는 것이다.

그림 2와 같이 충분히 넓은 면에 음파가 입사할 때 입사음의 세기를 I_i, 투과음의 세기를 I_t라 하면, 벽의 투과율 τ는 식 (1)과 같이 표시된다.

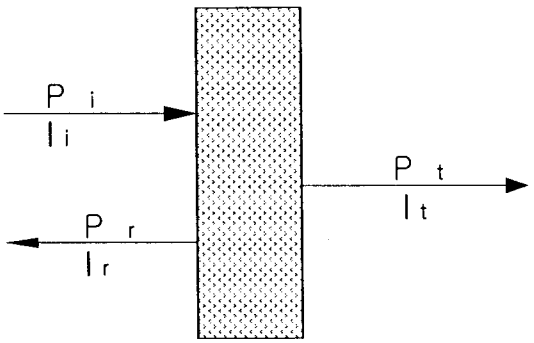


그림 2. 벽에서의 음의 변화
Fig. 2. Sound variation through the wall

$$\tau = \frac{I_t}{I_i} \tag{1}$$

차음은 투과율 τ를 작게 하는 것이 목적이고, 에너지 양으로 표시하는 것이 일반적이므로 차음의 성능을 나타내는 투과손실(transmission loss(TL))은 식 (2)와 같이 나타난다.

$$TL = 10\log(\frac{1}{\tau})[\mathrm{dB}] \tag{2}$$

음파가 벽면에 수직으로 입사할 때의 투과손실은 식 (3)과 같이 나타난다.

$$TL = 10\log[1+(\frac{\omega m}{2\rho c})^2][\mathrm{dB}] \tag{3}$$

여기서 ρ는 공기의 밀도(0[℃]때 1.293[kg/m^3]), c는 공기중 음속(m/s), m은 벽체의 면밀도([kg/m^2]), f는 입사되는 음의 주파수([Hz])이다.

$\omega m \gg 2\rho c$이면

$$TL = 20\log(m\ f) - 43[\mathrm{dB}] \tag{4}$$

또한, 음파가 벽면에 사선으로 입사할 때 벽의 법선에 대한 음파의 입사각을 θ라 하면

$$TL_\theta = 10\log[1+(\frac{\omega m\cos\theta}{2\rho c})^2][\mathrm{dB}] \tag{5}$$

주로 입사각 $\theta = 0 \sim 75$[°]가 실용적으로 적용되며 TL_θ의 평균치 TL_α는 다음과 같은 실험식을 적용한다.

$$TL_\alpha = 18\log(m\ f) - 44[\mathrm{dB}] \tag{6}$$

이와 같이 투과손실은 매질의 밀도에 의존하게 되며, 투과손실을 크게 하려면 밀도를 크게 하거나 판 두께를 두껍게 하여야 한다. 일반적으로 벽의 면밀도를 두 배로 증가시키면 투과손실은 최대 2배가 되어 소음은 5~6[dB] 저감된다. 그러나 차음의 질량법칙에 의하면 벽의 두께를 2배로 하는 것보다 벽을 분리하여 중공 이중벽으로 하면 벽 사이에 공기층이 존재하므로 2배 이상의 투과손실 효과를 기대할 수 있다. 따라서 높은 차음효과를 위해서는 단일 벽 구조보다는 이중 벽 구조가 보다 효과적이라 할 수 있다.

이중 벽 구조란 두 개의 벽 사이에 거리를 두고 그 사이에 일반적으로 공기만 남겨두면 음파가 그 이중벽을 통과하면서 에너지를 감소시키게 하는 것이다.

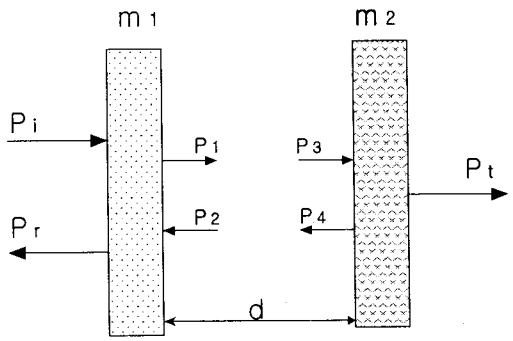


그림 3. 이중 벽에서의 음의 감쇄
Fig. 3. Sound attenuation through the double wall

그림 3은 거리가 d만큼 떨어진 두 개의 벽을 지난 음원의 감쇄를 나타낸 것이다. 그림 3의 두 벽은 각각 질량이 m_1, m_2이고 입사음의 음압(P_i)이 입력되어 반사음압(P_r)과 투과음압(P_t)으로 나뉘는 것을 나타내고 있다. 여기서 거리 d만큼 사이의 이중 벽

사이에는 공간을 만들어 음원의 감쇄를 유발시킨다.

중공 이중 벽일 때의 투과손실 TL은

$$TL = 10\log[1+(\frac{\omega m}{\rho c})^2(\cos kd - \frac{1}{2}\frac{\omega m}{\rho c}\sin kd)^2][\mathrm{dB}] \quad (7)$$

식 (7)에서 $TL=0$, 즉 공명이 되기 위해

$$\cos kd - \frac{1}{2}\frac{\omega m}{\rho c}\sin kd = 0$$

즉 $\tan kd = \frac{2\rho c}{\omega m}$

저음역에서는 파장 λ는 공기층 d보다 아주 크므로

$$kd = \frac{\omega d}{c} = \frac{2\pi d}{\lambda} \fallingdotseq 0$$

여기서, d는 공기층 두께(m), k는 파수($2\pi f/c$)이다.

그러므로 $\tan kd = kd$가 되며

$\frac{2\rho c}{\omega m} = \frac{wd}{c}$이 되며

저음역의 공명주파수 f_{rl}은

$$f_{rl} = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{2\rho}{md}}[\mathrm{Hz}] \quad (8)$$

식 (8)에서 투과손실 TL이 최대가 되기 위해 $\cos kd = 0$, $\sin kd = 1$일 때, 즉 $kd = (2n-1)\frac{\pi}{2}$일 때이며 n은 정수이다.

그러므로 $d = \frac{(2n-1)\cdot\lambda}{4}$ 이며

그 때의 주파수 f는

$$f = \frac{(2n-1)}{4}\frac{c}{d}[\mathrm{Hz}] \quad (9)$$

최대 투과손실 TL_m은

$$TL_m = 10\log[1+\frac{1}{4}(\frac{\omega m}{\rho c})^4][\mathrm{dB}] \quad (10)$$

예로 벽을 통해 음의 강도가 절반으로 감쇄되었다면 τ의 값은 2가 되고 투과손실은 3.01이 된다. 이는 물리적으로 3.01[dB]만큼 소음이 감소되었음을 의미한다. 위 식에서 공기층이 없다고 가정하면 단일 벽 구조에서 벽의 두께를 2배한 투과손실이다.

2.2 변압기 차음판의 소음 해석

이중 벽에 대한 소음저감 효과를 확인하기 위하여 음향해석 기법을 이용하여 투과손실을 해석하였다. 음향해석은 유한요소 기반의 방사소음해석이 가능한 MSC사의 Patran과 Natran, Actran을 사용하였다. Patran은 Pre/Pro Processing을 위하여 사용하였으며, Actran은 음향해석의 solver로 사용하였고, Nastran은 구조해석의 solver로 사용하였다. 차음성능 평가는 소음이 벽에 입사하기 전의 음향파워와 벽을 투과한 후의 음향파워의 대수차로 계산하였다. 유한요소 모델링은 변압기 외함과 차음판의 크기와 두께를 결정하여 Solid로 모델링하고, 그 사이에 공기층을 모델링하였다. 그리고 변압기 외함의 아래쪽 부분과 차음판 위쪽 부분은 자유음장으로 모델링하고, 변압기 외함 부분에 음원을 모델링하여 외함과 차음판에서 음향파워를 계산하였다. 일반적으로 음원은 Plan wave나 Point source를 많이 사용하며, 본 연구에서의 음향해석은 Point source로 음원을 모델링하였다.

그림 4는 단일 차음구조와 이중 차음구조에 대하여 Actran를 이용하여 투과손실을 계산한 음향해석이다. 가로축은 주파수이고 세로축은 투과손실이다. 여기서 투과손실이 클수록 차음성능이 좋다는 것을 의미한다. 단일 차음구조보다는 이중 차음구조가 전 주파수 영역에 소음저감 효과가 우수함을 알 수가 있다.

변압기의 차음판 구조의 설계에서 고려하여야 할 사항은 외함의 벽면과 차음판 사이의 공기층 두께, 판재의 강성, 판재의 밀도, 판재의 두께, 그리고 판재를 지지하는 구조를 고려하여야만 한다.

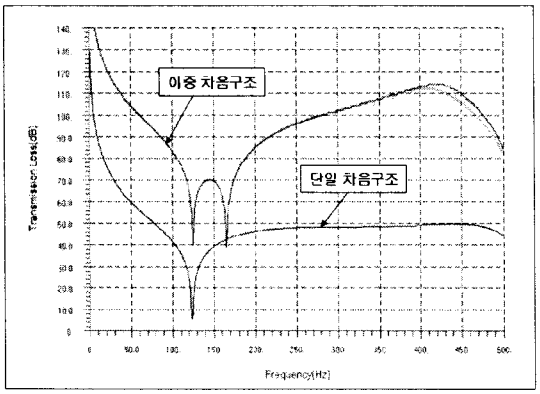


그림 4. 음향해석 결과
Fig. 4. Result of the sound analysis

변압기 외함에 부착될 차음판의 사양을 결정하기 위하여 차음판 표준 크기를 세로 550[mm], 가로 660[mm]로 기준으로, 차음판의 두께, 외함과 차음판 사이의 공기층 두께, 부가질량에 의한 소음저감 효과를 해석하였다.

본 연구에서의 차음판 재질은 외함의 제작에 사용된 것과 동일한 일반구조용 압연강을 이용하였다.

가. 차음판 두께의 효과

변압기 외함의 두께를 9[mm]로 고정하고, 외함에 부착할 차음판을 3.2[mm], 6[mm], 9[mm]로 두께를 변화시키면서 음의 투과손실을 500[Hz]까지 계산하였다.

그림 5의 가로축은 주파수이고, 세로축은 투과손실 값을 나타낸다.

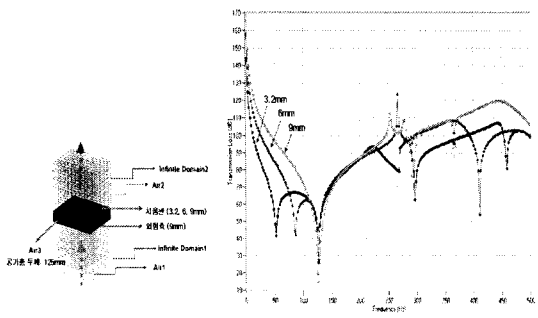


그림 5. 차음판 두께에 따른 투과손실
Fig. 5. Transmission loss with thickness of the soundproof panel

그림 5와 같이 차음판의 두께가 증가하면 차음효과도 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 9[mm] 이상의 차음판을 사용하면 더 좋은 차음 효과가 나타날 것이다. 그러나 과도하게 두꺼운 차음판은 변압기 중량의 증가와 원가상승의 요인이 되므로 너무 두꺼운 차음판을 적용할 필요는 없다.

차음판의 두께에 따른 소음저감을 확인하기 위하여 그림 6과 같이 모델 실험장치를 이용하여 소음저감 효과를 측정하였다.

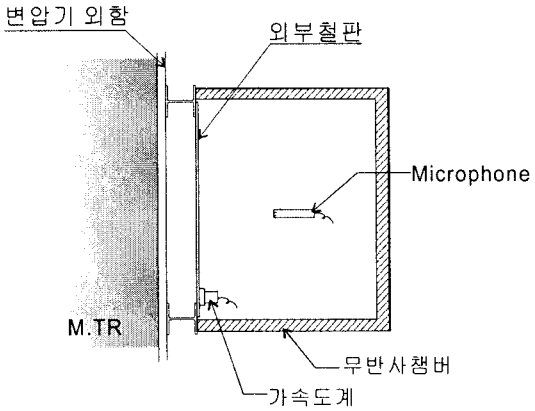


그림 6. 차음판 두께에 따른 소음저감 실험장치
Fig. 6. Experimental apparatus for noise reduction effect with thickness of the soundproof panel

표 1. 차음판 두께에 따른 소음저감 효과
Table 1. Noise reduction effect with thickness of the soundproof panel

차음판 두께	3T	5T	9T
소음저감 효과([dB])	3.7	5.5	5.7

표 1과 같이 모델 실험장치의 차음판 두께가 증가함에 따라 소음저감 효과가 증가하였다. 따라서 본 연구에서는 변압기 외함의 두께와 동일한 9[mm]의 차음판을 적용하였다.

나. 공기층 두께의 효과

변압기 외함과 차음판 사이의 공기층은 차음판 두께만 증가시켰을 경우보다 차음의 정도가 높으므로, 본 연구에서는 변압기 외함과 차음판 사이의 공기층

두께를 변화시키면서 투과손실을 계산하였다. 차음판의 두께를 9[mm]로 고정하고, 변압기 외함과 차음판 사이의 공기층 두께를 60~480[mm]까지 변화하면서 소음저감 효과를 계산하였다. 그림 7은 공기층 두께에 따른 투과손실을 나타낸 것이다.

그림 7과 같이 공기층의 두께를 증가시키면 투과손실은 증가하고, 1/4 파장 길이의 공기층인 경우에 120[Hz] 주파수의 투과손실을 증가시키기 위해서는 공기층의 두께가 708[mm] 이상이 되어야 한다. 그러나 공기층의 두께를 708[mm]까지 설계하는 것은 변압기의 부피증가를 야기하므로 현실적으로 어렵다. 또한 240[mm], 480[mm] 이상의 경우는 고주파 영역에서 오히려 투과손실이 낮아지는 경향이 있다. 따라서 공기층의 두께는 변압기 보강 빔의 높이에 맞추어 설계하는 것이 타당할 것이다. 따라서 본 연구에서는 변압기 외함과 차음판 사이의 공기층 두께는 200[mm]로 결정하였다.

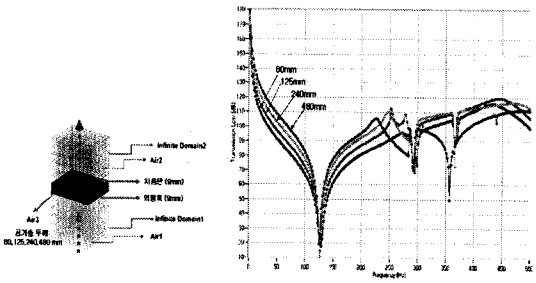


그림 7. 공기층 두께에 따른 투과손실
Fig. 7. Transmission loss with thickness of the air

다. 부가질량의 효과

음향해석에서 공진주파수는 차음판 구조물의 구조적 공진주파수와 관련이 있으므로, 차음판에 질량을 부가하면 구조적 공진주파수가 낮아지는 효과가 있다. 또한 차음판의 강성을 보강하기 위하여 보강 빔을 부착하면 구조적 공진주파수를 높일 수 있다.

그림 8과 같이 차음판 중간에 부가질량을 각각 6.4, 12.7[kg]을 부착하여 투과손실을 해석하였다. 부가질량을 추가함에 따라 투과손실의 특성은 그림 8과 같이 변경됨을 알 수 있다.

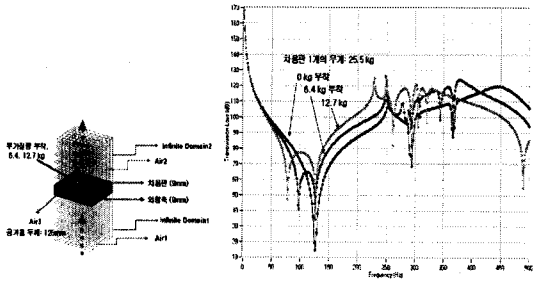


그림 8. 부가질량에 따른 투과손실
Fig. 8. Transmission loss with additional mass

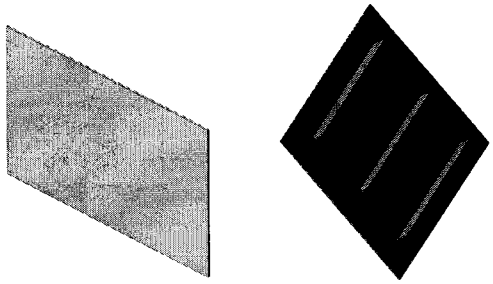
차음판을 변압기에 취부하여 소음을 측정한 결과 변압기 외함과 차음판 사이에서 120[Hz]와 배수의 주파수 대역에서 공진이 발생하였다. 공진이 발생하는 주파수 대역의 해석치와 실측치를 표 2에 나타내었다.

표 2. 변압기 외함의 진동 주파수
Table 2. Vibration frequency of the transformer tank

진동 주파수[Hz]	
해석 결과	측정 결과
51.1	47.0
73.6	71.0
131.0	127.0
140.1	169.0
245.11	238.0

진동 해석에 의해 공진이 발생하는 주파수 대역은 131[Hz]와 245[Hz]로 나타났으며, 측정에 의한 공진 주파수 대역은 127[Hz]와 238[Hz]로 나타나, 해석치와 실측치와 비슷하게 나타남을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 부가질량 대신에 차음판에 보강 빔을 설치하여 차음판의 강성을 증가시켜 공진을 피할 수 있도록 차음판을 설계하였다. 그림 9는 차음판의 강성을 증가시키기 위해 보강 빔을 설치하기 전후의 그림이며, 표 3은 차음판에 보강 빔을 설치하기 전후의 공진 주파수를 나타낸 것이다.



(a) 보강 전 (b) 보강 후

그림 9. 차음판의 강성 증가
Fig. 9. Hardness increase of the soundproof panel

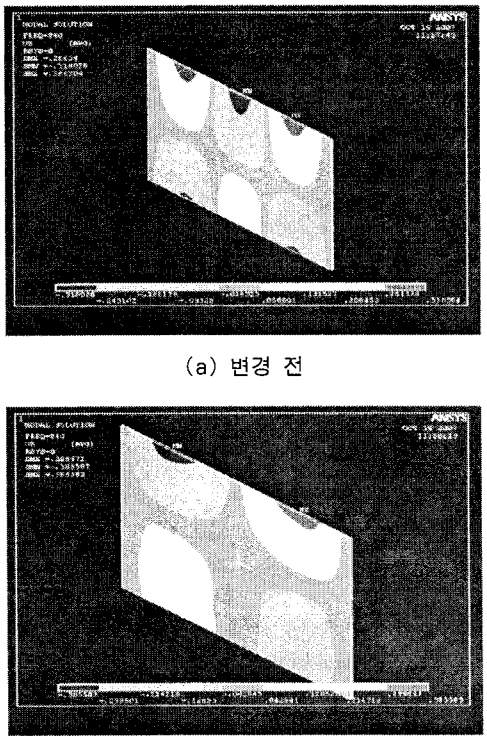
표 3과 같이 차음판에 보강 빔을 설치하기 이전에 발생한 공진 주파수대가 보강 빔을 설치한 후에는 공진 주파수 대역에서 벗어나는 것으로 나타났다.

표 3. 차음판 강성 증가에 따른 진동주파수
Table 3. Vibration frequency with hardness increase of the soundproof panel

순번	변경 전	변경 후	증가율([%])
1	51.09	68.58	34.2[%]
2	73.64	83.16	12.9[%]
3	131.03	140.13	6.9[%]
4	140.70	171.69	22.0[%]
5	245.11	265.24	8.2[%]

강성 증가에 따른 소음저감 효과를 진동해석을 통해 검증하였다. 그림 10은 차음판의 진동 중에서 대표적으로 240[Hz] 주파수에서 차음판에 보강 빔을 설치하기 전후의 해석 결과이다. 차음판에 보강 빔을 설치하기 전후의 최대 진동속도가 4.04[[mm]/s]에서 1.45[[mm]/s]로 35.9[%]가 감소하였고, 이는 음향 방사 파워로 약 4.45[dB]의 소음저감 효과가 있다.

그림 10과 같이 240[Hz] 하모닉의 공진 모드 형상이 강성증가로 인하여 감소됨을 알 수 있다. 따라서 차음판의 강성을 증가시킨 차음판을 통해서 소음저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 변경 전

(b) 변경 후

그림 10. 차음판 강성 증가에 따른 진동분포(240[Hz])
Fig. 10. Vibration distribution with hardness increase of the soundproof panel(240[Hz])

2.3 차음판의 소음저감 시험

차음판의 소음저감 효과를 확인하기 위하여, 기존 변압기와 차음판을 적용한 변압기 외함 내부에 소음발생원(sound generator)을 설치하고, 120[Hz]와 고조파 성분(240[Hz], 360[Hz], 480[Hz], 600[Hz])에 대한 소음을 측정하였다. 이때 외함만의 방사소음 특성을 평가하기 위하여 부싱, 방열기 등의 부속물품은 조립하기 이전의 상태이며, 외함의 상부 커버 플레이트와 방열기, 맨홀 등은 막음작업을 실시하였다.

그림 11에 소음 측정 시스템의 개략도를 나타내었다. 모든 방향으로 고른 크기의 음을 발생시키기 위하여 구 형태의 음원발생기(Omnipower 4296, B&K)와 Power amplifier(Type 2176C, B&K)를 사용하였다. 소음의 측정은 마이크로폰(Type 4189, 4190, B&K)을 사용하였으며, FFT 분석기(Pulse series,

B&K)를 이용하여 측정된 소음의 주파수를 분석하였다.

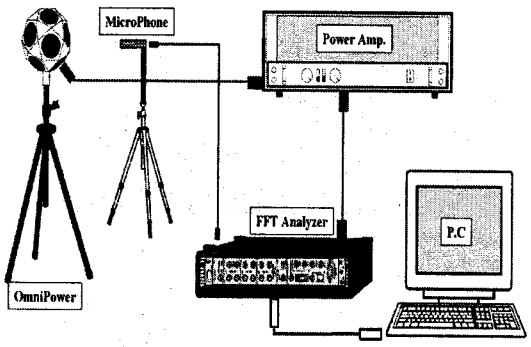


그림 11. 소음 측정 시스템
Fig. 11. Noise measurement system

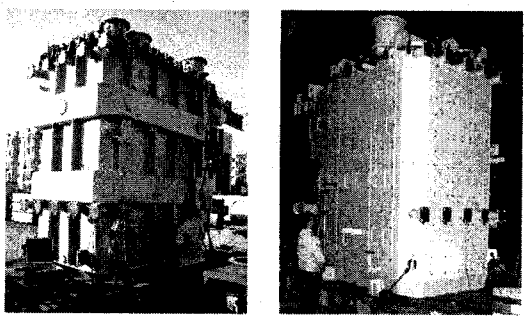
소음 측정방법은 기존 변압기 외함과 차음판을 부착한 저소음 변압기 외함 내부에 음원발생기를 동일한 위치에 설치하여 소음을 일정하게 발생시키고, 외함 높이 1/3, 2/3 지점에서 음압을 측정하여 1/3 옥타브 밴드 및 협대역 주파수 분석을 실시하였다. 소음측정 결과는 표 4와 같다.

표 4와 같이 기존 변압기 외함의 경우 240[Hz] 성분의 소음이 가장 지배적으로 나타났으며, 차음판을 부착한 외함에서는 이 성분의 크기가 약 78[%] 감소되어 약 13[dB]의 소음저감 효과를 나타냈다. 또한 가장 큰 폭의 감소를 보이는 주파수 성분은 360[Hz] 성분으로서 약 80[%]의 감소율을 보였다. 변압기 소음의 기저주파수인 120[Hz] 성분은 약 78.2[%]의 감소율을 나타내었으며, 이는 약 13.2[dB]에 해당되는 값이다. 차음판의 영향으로 전체적으로 120[Hz], 240[Hz], 360[Hz]의 성분에서 78.2~79.9[%]의 감소율을 보이며, 음압레벨로는 각각 13.2[dB], 13.3[dB], 14[dB]의 소음감소를 나타내었다. 표 10에서 480[Hz] 성분의 경우는 소음이 오히려 106[%]로 증가되었는데, 이는 OLTC측 맨홀 부위의 차음판에서 공진이 발생한 것으로 판단된다. 본체와 부싱, 방열기, 컨서베이터 등의 부속물을 부착한 소음시험에서는 이 위치에서의 공진은 없어진 것으로 나타났는데, 이는 방열기와 컨서베이터의 부착에 따라 차음판의 고유진동수가 변화된 것으로 판단된다. 120[Hz] 소음성분과 고조파 성분의 크기가 모두 동일하다면, 전체적으로 약 73[%]인 약 11[dB]의 소음저감 효과를 기대할 수 있다.

표 4. 차음판 강성 증가에 따른 진동주파수
Table 4. Vibration Frequency with hardness increase of the soundproof panel

Frequency ([Hz])	기존 변압기(Pa)	차음판을 적용한 외함 (Pa)	Reduction ([%])	Reduction ([dB])
120	0.110	0.024	78.2[%]	13.2
240	0.220	0.047	78.4[%]	13.3
360	0.059	0.012	79.9[%]	14.0
480	0.019	0.039	-106.7[%]	-6.3
600	0.025	0.009	62.3[%]	8.5
Overall	0.207	0.056	73.1[%]	11.4

이상의 연구결과를 토대로 그림 12와 같이 변압기에 차음판을 적용하였다. 그림 12 (a)는 차음판을 설치하지 않은 상태의 외함 형상이며, 그림 12 (b)는 차음판을 설치한 외함 형상이다.



(a) 기존 변압기 외함 (b) 차음판을 부착한 외함

그림 12. 변압기 외함의 소음 측정
Fig. 12. Noise measurement of the transformer tank

그림 13은 변압기 주위에서 측정한 위치별 소음의 분포도를 나타낸 것이다. 점선으로 표시한 것이 기존 변압기 외함에 대한 소음분포도이며, 차음판을 부착한 변압기의 소음분포도는 실선으로 나타내었다. 변압기 주위로 10개 측정지점에서 소음을 측정한 결과, 측정지점 1에서 22.3[dB]의 가장 큰 소음저

감을 보였으며, 480[Hz]의 공진문제가 발생된 측정 지점 9에서는 2.6[dB]로 가장 적은 소음저감 효과를 나타내었다.

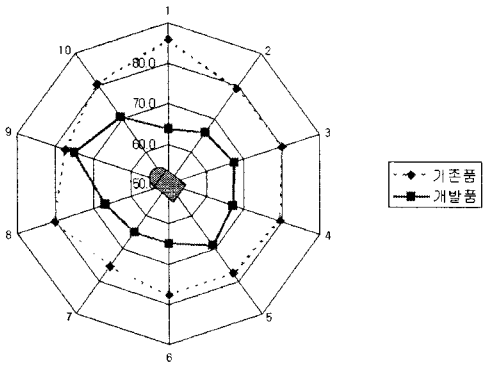


그림 13. 변압기 외함의 소음 분포도
Fig. 13. Noise distribution of the transformer tank

3. 결 론

본 연구에서는 변압기 외함의 보강제 사이를 강판으로 막아 변압기 외함에서 방출되는 소음을 차단하기 위한 차음판 기술을 개발하였다. 차음판을 변압기 외함에 적용하기 위하여 변압기 외함의 진동 특성과 차음판의 적용에 따른 음의 감쇄를 해석하고, 실변압기에 차음판을 적용하여 소음의 저감효과를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

차음판의 재질은 변압기 외함과 동일한 일반구조용 압연강판을 적용하였으며, 차음판의 두께가 증가함에 따라 소음저감 효과가 증가하였으나, 본 연구에서는 변압기에 외함의 두께와 동일한 9[mm]의 차음판을 적용하였다. 또한 변압기 외함과 차음판 사이의 공기층의 두께를 증가시키면 투과손실이 증가하나, 공기층의 두께는 변압기 보강 빔의 높이에 맞추어 200[mm]로 결정하였다. 차음판이 구조적 공진주파수 영역에 존재하면 부가질량을 추가하거나, 보강 빔을 설치하여 차음판의 강성을 증가시켜서 해결할 수 있으므로, 본 연구에서는 차음판에 보강 빔을 설치하여 투과손실을 개선하였다. 이상의 연구결과를 토대로 차음판을 변압기에 적용하여 소음저감 효과를 측정하여 약 11[dB]의 소음저감 효과를 확인하였다.

References

[1] "생활소음 · 진동의 규제," 소음 · 진동규제법 제39조, 1993.
[2] "변압기의 소음레벨 기준치," 한국전력 표준규격(ES 147), 2006.
[3] 이준신, "의정부변전소 소음저감방안 적용연구," 전력연구원, pp. 1~60, 2003.
[4] 권동진, "저소음 변압기 개발을 위한 기초 조사 연구 보고서," 전력연구원, pp. 1~92, 2004.
[5] Hiroyuki Matsuoka, Takao Shimada, "Recent Noise Reduction Techniques for Power Transformers," 環境調和技術, pp. 41~44, 1996.

◇ 저자소개 ◇

권동진 (權東震)
1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 책임연구원.
Tel : (042)865-5862
E-mail : djkweon@kepri.re.kr

구교선 (具敎善)
1974년 9월 27일생. 2001년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2005년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 연구원.
Tel : (042)865-5869
E-mail : kskoo@kepri.re.kr

김정찬 (金正贊)
1974년 2월 11일생. 1998년 서울산업대학교 기계공학과 졸업. 2004년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 2004년~현재 일진전기 변전기술팀.
Tel : (032)770-2219
E-mail : jungchan.kim@iljin.co.kr

김 진 (金 振)
1971년 10월 24일생. 1995년 영남대 기계공학과 졸업. 1997년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1997년~현재 (주)효성 중공업연구소 기반기술팀 근무.
Tel : (055)268-9938
E-mail : jkim@hyosung.com