

주변압기실의 소음저감 및 소음기 개발에 관한 연구

(A Study on the Development of a Silencer and Noise Reduce for M.Tr Room)

김영달*

(Young-Dal Kim)

요 약

도심지 주택밀집지역에 설치운전중인 옥내변전소 주변압기실에서 발생되고 있는 소음은 변압기 전원주파수 2배 성분을 기저 주파수로 하는 하모닉 성분의 소음을 발생시킨다. 이로 인하여 변전소 인근주민들의 변압기 소음으로 인한 민원이 발생하고 있으며 변전소의 신설이나 기존변전소의 변압기 증설 등으로 민원발생은 점차 증가될 추세에 있다. 본 연구에서는 주변압기실에서 공기풍도나 셔터를 투과하여 실외로 전달되는 소음을 효과적으로 저감시키는 방법론에 대해 고찰하였으며 주변압기실 셔터부분에는 흡/차음셔터를, 지하 공기풍도에는 변압기 소음주파수에 맞는 공명기를 적용하는 방법을 현장에 시범 적용하여 그 효과를 입증하였다.

Abstract

Relatively high noise emitted from Transformers of in-door-substation in urban area has become the target of public complaints and the frequency is on the rise in these days due to an extension of transformer installations and new establishment of substations. The noise consist of harmonics of a specific frequency of the twice of the electricity frequency(60[Hz]), which is hard to control by using the general sound proofing techniques. In this work, several effective methods were discussed for reducing the noise from a transformer, which is transmitted through explosion preventing shutter and air tunnels. By applying to the actual site, the effects of the methods were verified.

Key Words : in-door substation, electricity frequency

1. 서 론

변전소의 주변압기 실에서 발생되고 있는 소음은 전원 주파수(60[Hz])의 2배 성분을 기저주파수

(120[Hz])로 하는 하모닉 성분을 가진다[1-2]. 기존 변전소의 흡·차음설비는 변압기의 이러한 소음특성들 고려하지 않은 채 유리섬유와 같은 재료를 사용한 일반적인 흡·차음 처리만 되어있어 소음감소 효과가 미흡한 실정이다. 특히 일반적인 흡음재의 흡음성능이 500[Hz] 이상의 대역에서 효과가 큼을 고려하면, 변압기에서 발생한 소음이 기저 주파수인 120[Hz]에서 가장 클 때에는 이 주파수 대역에서 일

* 주저자 : 한밭대학교 전기공학과 교수
Tel : 042-821-1753, Fax : 042-824-1753
E-mail : zeromoon@hanbat.ac.kr
접수일자 : 2005년 11월 9일
1차심사 : 2005년 11월 15일
심사완료 : 2005년 11월 25일

주변압기실의 소음저감 및 소음기 개발에 관한 연구

반 흡음재의 두께 대비 흡·차음 성능이 상당히 떨어져 이에 대한 대책이 필요하다.

또한 변전소의 대형 변압기는 전기를 공급하는 핵심 기기임에도 불구하고 고 소음을 유발하는 특성 때문에 변전소 주변 거주자들에 의한 민원제기의 대상이 되고 있어 효과적인 전력공급 차질은 물론 변전소 종사자의 업무 손실이 발생되고 있는 실정이다. 이러한 현상은 도심이 점점 확장되면서 거주지가 변전소 인근까지 접근하는 경우가 생기며, 도심에 새로운 변전소들이 신설되면서 더욱 악화되고 있다. 따라서 운전 중인 변압기용 밀폐장치 개발은 변전소 운영 측면 및 환경소음 저감 측면에서 매우 중요하다 할 수 있다.

실내에 설치된 변압기에 의해서 외부로 전달되는 소음을 저감하기 위해서 변압기 실 내부의 벽면을 흡음 처리하여 실 내부의 소음레벨을 낮추고, 실 내·외부를 통과하는 소음 취약부분의 흡·차음 성능을 높이는 것이 일반적이다. 변압기실에서 소음 취약부분은 기기 반출입구, 환기 및 온도상승방지용 공기풍도로서 기기 반출입구는 개폐 특성 때문에 건물 벽면에 비해서 두께가 얇고 흡음재를 부착하기 곤란할 뿐만 아니라 이 곳에서 음이 증폭되는 특성 때문에 소음에 취약할 수밖에 없다.

한편 소음제어용 부분 또는 완전 밀폐장치는 소음원을 효과적으로 차단하는 장치로서 널리 사용되고 있으며, 전력기기의 특성에 따라 여러 가지의 단점 및 장점을 가지게 된다. 예를 들어 변압기 폭발 시에 밀폐장치는 파편방지용 안전벽 역할을 하지만 공기유동을 제한하여 변압기의 온도상승을 유발할 수도 있게 된다. 또한 밀폐장치에 의해 생성된 내부의 음장은 음이 증폭되게 되므로 이와 같은 단점을 보완하기 위해 변압기용 밀폐장치에는 소음기가 부착된 공기풍도를 두게 되며, 이는 원활한 공기유동을 가능케 하여 변압기의 온도상승을 억제하는 역할을 하게 된다.

따라서 본 연구의 목적은 주변압기실의 개폐출입구인 셔터를 투과하거나 지하 공기풍도를 통해 실외로 전달되는 소음을 효과적으로 저감시키는 방법론과, 운전 중 변압기의 소음제어용 밀폐장치에서 공기의 흐름을 원활하게 하면서 소음전달 특성을 최대

로 억제하는 풍도용 소음기에 대해 고찰해보고, 이를 실제 운용중인 변전소에 적용하여 그 효과를 검증해보고자 한다. 한편 그 결과를 통해 기존에 적용되었던 소음저감장치와 비교하여 개선효과도 살펴보고자 한다.

2. 본 문

2.1 옥내변전소의 소음저감방식

주 변압기실의 개폐출입구인 셔터를 투과하거나 지하 공기풍도를 통해 실외로 전달되는 소음을 효과적으로 저감시키기 위해서 적용된 옥내변전소의 주변압기 실 내부구조를 살펴보면 그림 1과 같다. 그림 1 (a)에서 알 수 있는 바와 같이 변압기의 반·출입 및 유지보수를 위해서 셔터가 구비되어 있고 변압기 온도상승방지를 위한 상하부 풍도가 설치되어 있으나 변압기에서 발생하는 소음은 흡·차음성능이 상대적으로 취약한 셔터 및 공기풍도를 통해서 실외로 전달되게 되면서 변전소 인근 주변에 환경소음 문제를 야기 시켜 그로 인한 민원이 유발되고 있다. 이에 대해 그림 1 (b)와 같이 상하부 풍도에 풍도용 소음기를 적용하였고 방폭 셔터 전면에는 흡음장치를 설치하여 이와 같은 소음의 외부 전달을 차단하였다. 각 적용 대책의 효과는 다음 절에서 상세히 살펴보기로 한다.

2.2 주변압기실 셔터 투과 소음저감

그림 2는 흡·차음용 셔터의 한 모듈을 간략하게 그린 것으로 공명기 부분에서는 120[Hz] 성분을 흡수하며, 소실형 흡음재(Fiberglass)는 240[Hz] 이상의 소음을 흡수하게 된다. 흡음재 뒤에는 그림 2와 같은 공기층을 두어 소음저감성을 극대화시킨다. 여기서 공명기는 헬름홀츠의 공명이론을 응용한 것으로 비교적 넓은 주파수 대역에서 효과가 있는 소실형 흡음재와 달리 특정 주파수만을 흡음시키는 장치로 변압기와 같이 특정주파수 성분을 갖는 소음원에 적용하기에 적합한 장치라 할 수 있다.

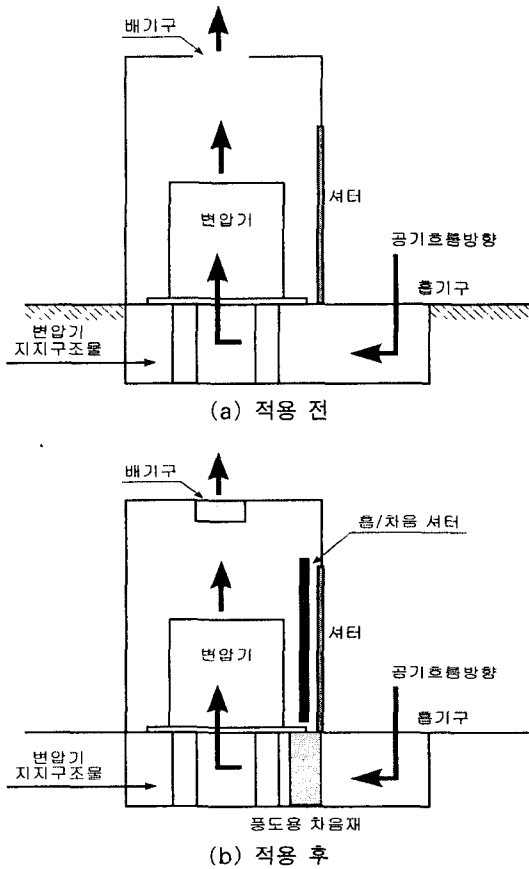


그림 1. 변압기실의 소음저감대책
Fig. 1. Noise reducing techniques for transformer room

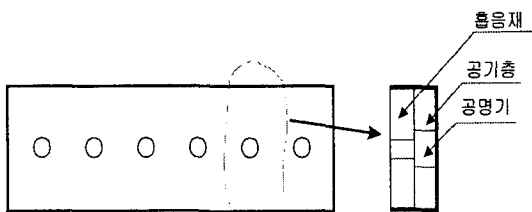


그림 2. 흡·차음 셔터모듈 개략도
Fig. 2. Conceptual diagram for sound-proofing shutter module

그러므로 변압기실 안쪽에 설치된 흡·차음셔터는 셔터 측에 생기는 음의 증폭 현상을 방지하기 때문에 이 부분에서는 5[dB]정도 소음레벨이 감소하게 되고, 또한 셔터를 투과하여 외부로 전달되는 소음

을 5[dB]정도 차단하게 되어 차음효과로 변압기실 내·외부의 소음 저감은 10[dB]이상으로 볼 수 있다. 이를 그림 3에 나타내었다.

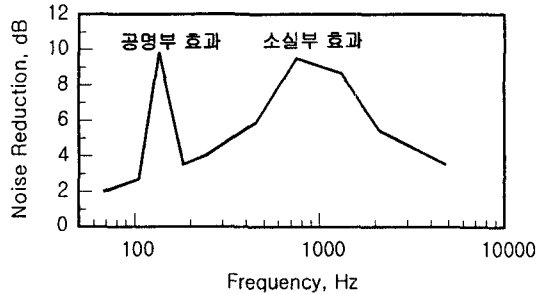


그림 3. 흡·차음 셔터의 소음저감효과
Fig. 3. Measured result of noise reduction using sound-proofing shutter

2.3 공기 층도 소음저감

그림 4는 공기층도를 통해 외부로 전달되는 소음을 제어하기 위한 장치 모듈의 개략도로서 그림에 표시된 공기 유입구(굵은실선) 주위에 하모닉 성분 120, 240, 360, 480[Hz]을 흡수하기 위한 공명기가 위치하도록 설계하였다. 변압기에서 발생하는 소음은 공기유입방향과 반대로 진행하는데 이 구조를 통과 하면서 많은 소음성분들이 제거된다. 변압기 1대당 4개의 지하층도가 있어 차음장치 모듈이 총 4개가 설치되었다.

4각 덕트 형태에서 공명주파수는 다음과 같다[3].

$$f_n = \frac{(2n-1)c}{4l} \quad (1)$$

여기서 c 는 음의 전달속도, l 은 덕트의 길이, n 은 양의정수로서 공명기의 성능은 n 이 1인 첫 번째 공명주파수를 사용하는 것이 효과적이다.

그러므로 120[Hz]용 공명기는 약 70[cm]의 길이를 가지게 되며, 만약 길이의 제약을 받는 곳에서는 그림 5와 같은 공명기 구조를 이용하면 될 것이다.

공명기의 포집부에 의해 포집되는 소음은 안내관을 거쳐 팽창실에서 팽창되어 저감되는 구조로서 설치공간이 정해지면 각 형상변수를 매개로 공명형 흡음관의 포집 성능과 공명주파수를 설정하여 최적의

주변압기실의 소음저감 및 소음기 개발에 관한 연구

음향장치를 설계할 수 있게 된다. 소실형 흡음재는 모든 주파수에 걸친 소음성능을 공명주파수에만 집중시키기 때문에 변압기 또는 펌프와 같이 소음에너지가 특정 주파수들에 집중되어 있는 기기들의 소음을 저감하는데 매우 효과적인 것으로 보여 진다[4].

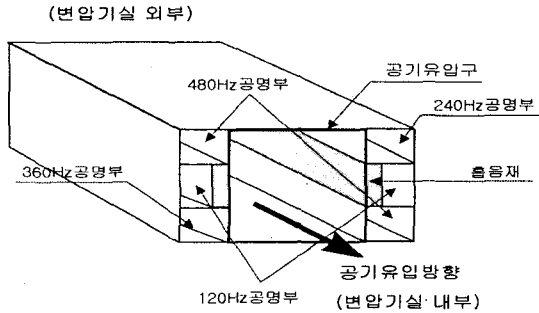


그림 4. 풍도용 공명장치 모듈 모식도
Fig. 4. Schematic diagram of resonators for air-inlet

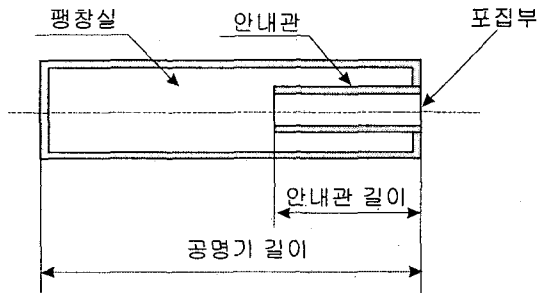


그림 5. 공명기 개략도
Fig. 5. Conceptual diagram of a resonator

2.4 변압기의 밀폐장치용 소음기

소음 저감방지를 위한 소음기는 여러 종류의 기계 장치에서 발생되는 소음을 음의 팽창, 간섭, 공명 및 흡수의 원리로 소음을 감소시키는 기구이다. 소음기의 저주파수 영역에서의 일반적인 소음저감 성능은 음파진행 단면의 기하학적 형상을 이용한 음의 팽창, 간섭 및 공명의 효과를 이용하는 반면, 소음기의 고주파수 영역에서는 음을 흡수하는 원리를 이용하는 것이 일반적이다.

운전 중 변압기는 전원 주파수의 2배 성분을 기저 주파수로 하는 하모닉 성분의 소음을 발생시키며,

이때 50[mm]의 흡음체의 흡음 성능을 기준으로 240[Hz] 이하의 변압기 소음을 저주파수 영역으로 설정하고, 그 이상의 주파수를 고주파수 영역으로 나눌 수 있다.

그림 6은 154[kV]급 60[MVA] 단상 변압기에 대해 전방 1[m] 위치에서 측정한 소음레벨 스펙트럼으로 주소음 성분이 120[Hz]의 하모닉 성분으로 되어 있음을 보여준다. 변압기의 소음은 측정위치에 따라 스펙트럼 성분의 크기에 약간의 변화가 있지만 대체적으로 그림 6과 같은 스펙트럼 형태를 가지게 된다.

변압기용 밀폐장치는 그림 7과 같은 형태를 가지게 되며, 현장 사정에 따라 완전 밀폐 또는 부분 밀폐에 의해 변압기 소음의 전달을 차단하게 된다. 부분밀폐는 변압기 설치 후 소음민원이 야기됨에 따라 밀폐장치가 추후에 설치되고 설치 공간의 제한에 따라 의해 라디에이터가 밀폐장치 내부로 들어가는 경우에 주로 사용되게 된다. 또한 변압기의 부분 정비를 위해 빈번한 접근이 필요할 경우 밀폐장치의 일부분을 개방한 부분밀폐장치를 적용하게 된다.

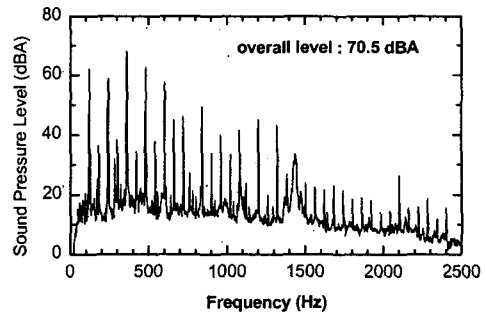


그림 6 .154[kV]변압기 발생 소음의 주파수 스펙트럼
Fig. 6. Typical noise spectrum of 154[kV] transformer in a substation

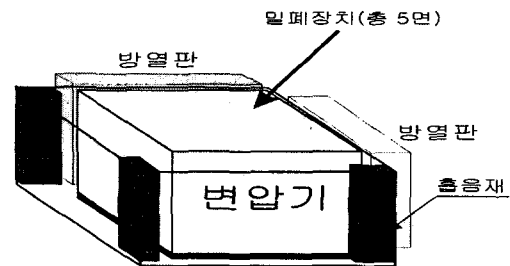


그림 7. 변압기 차음덮개의 개념도
Fig. 7. Schematic diagram of enclosure

변압기밀폐장치용 소음기는 다음 3가지 역할을 하게 된다. 첫째로 공기흐름을 원활히 하여 변압기로부터 발생된 열의 배출을 돕는다. 두 번째로 완전 밀폐 시 발생할 수 있는 저주파수 공진을 해소한다. 대형변압기의 체적진동량은 초당 수십 리터에 상당하기 때문에 완전 밀폐 시 저주파수에서 밀폐장치 구조와 내부음장과의 연성에 의한 공명현상이 발생할 확률이 농후하다. 이를 회피하기 위해 밀폐장치 구조를 보강하는 것 보다 공기 통로를 확보하는 것이 경제적이다. 마지막으로 부분 밀폐 시 공기 통로가 확보되지 않으면 태풍과 같은 강풍에 의해 밀폐장치에 양력이 발생되어 큰 사고로 이어질 수가 있다.

위와 같은 이유에 의해 변압기 밀폐장치에는 소음기가 부착되게 되며, 그림 8은 밀폐장치용 소음기에 대한 모식도를 보여준다. 실제로 현장에 적용되는 소음기는 각 모듈들을 전후, 좌우 및 상하로 적층하여 사용한다.

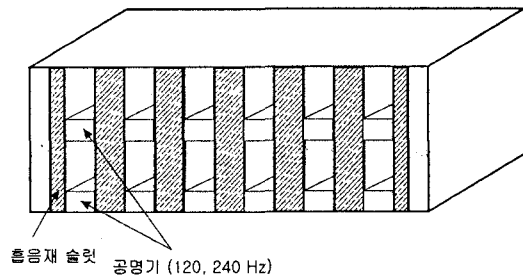
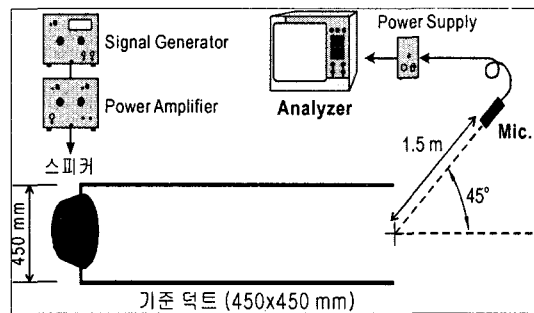


그림 8. 공명형 소음기의 개략도
Fig. 8. Schematic diagram of a silencer

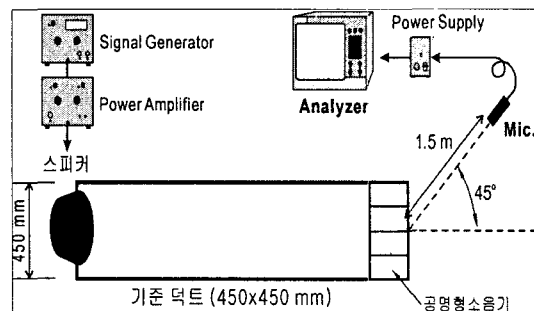
개발된 소음기 모듈은 공기 풍도를 둘러싸는 3면에 흡음재와 공명기를 배치하여 소음전달을 차단한다. 변압기는 특정주파수 성분만을 배출하기 때문에 공기풍도의 하부 면에는 120 및 240[Hz] 소음저감용 공명기를 배치하여 소음저감 성능을 배가시킨다. 공기풍도 좌우 면에는 흡음재를 부착하여 360[Hz] 이상의 소음을 흡수한다.

공명기 모듈은 그림 5에 보이는 바와 같이 헬름홀츠 공명기 형태를 가진다. 공명기의 경우 저주파수로 갈수록 주변 음장 및 구조와의 연성이 일어날 확률이 높기 때문에 실험을 통해 공명주파수 및 소음저감 성능을 확인하는 것이 바람직하다.

이러한 공명형 소음기의 음향성능은 일반적으로 삽입손실(IL; Insertion Loss(dB))로 나타내는데[5], 소음기가 있을 경우와 없을 경우 수음 점에서의 음압레벨 차이로 표현된다. 삽입손실의 측정은 그림 9와 같은 방법으로 수행한다[6]. 삽입손실 측정용 덕트의 단면은 450×450[mm]의 크기를 가지며, 한쪽 면에는 음원용 스피커가 위치하고 반대 면에는 측정을 위한 소음기 모듈이 장착된다. 소음기의 삽입손실은 소음기 중심에서 45°방향으로 1.5[m] 떨어진 지점에서 소음기가 있을 때와 없을 때의 소음레벨을 각각 측정하여 구한다.



(a) without silencer



(b) with silencer

그림 9. 소음기 음향성능 평가 절차
Fig. 9. Schematic diagram of testing apparatus

그림 10과 11은 측정된 소음레벨 및 소음기의 삽입손실을 구한 것이다. 삽입손실 결과에서 보면 공명기에 의한 소음차단효과가 120[Hz]와 240[Hz]에서 발생하고 있는 것을 알 수 있으며, 소음기 좌우 면에 장착된 흡음재에 의한 음의 흡수 효과가 200[Hz] 이상에서 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

주변압기실의 소음저감 및 소음기 개발에 관한 연구

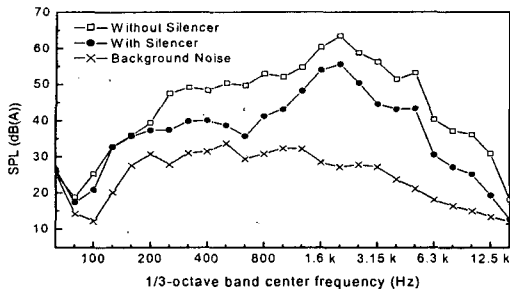


그림 10. 소음기 끝단 배기소음의 스펙트럼 측정결과
Fig. 10. Experimental results of sound pressure level

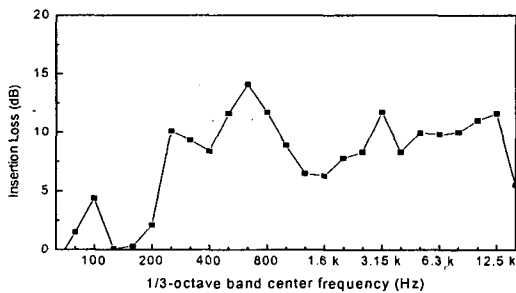


그림 11. 공명형 소음기의 삽입손실 측정결과
Fig. 11. Experimental results of insertion loss

3. 적용 및 효과측정

3.1 공명기의 현장 적용

소음 저감장치인 공명기의 효과를 측정하기 위한 현장적용으로 그림 12와 같이 4대의 변압기가 각각의 독립된 실에 설치되어 운용중인 옥내형 변전소에 소음저감장치를 시범적용 한 후에 측정된 결과를 그림 13에 나타내었으며, 변압기실 내부가 5[dB] 정도 실외부가 10[dB] 정도 저감됨을 표 1에 정리하여 나타내었다.

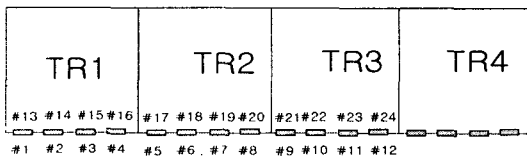


그림 12. 주변압기 소음측정위치
Fig. 12. Sound pressure measurement position for an in-door sub-station

적용 전 방폭 셔터에 의한 소음감쇠는 측정점 #5와 #17을 비교하였을 때 약 11[dB]이었으나, 공명기 등의 소음저감장치를 적용한 결과 그 차이는 약 19[dB]로 증가하였다. 따라서 약 8[dB]의 추가적인 소음저감을 얻을 수 있었고, 이는 공명기 등의 소음저감장치 효과로 볼 수 있다.

표 1. 각 측정에서의 소음레벨((dBA))
Table 1. Measured sound pressure level((dBA)) at each measurement position

측정점	개선전	개선후	측정점	개선전	개선후
#5	68.0	58.5	#17	79.0	77.0
#6	70.0	60.0	#18	80.5	75.5
#7	70.0	60.5	#19	80.0	75.0

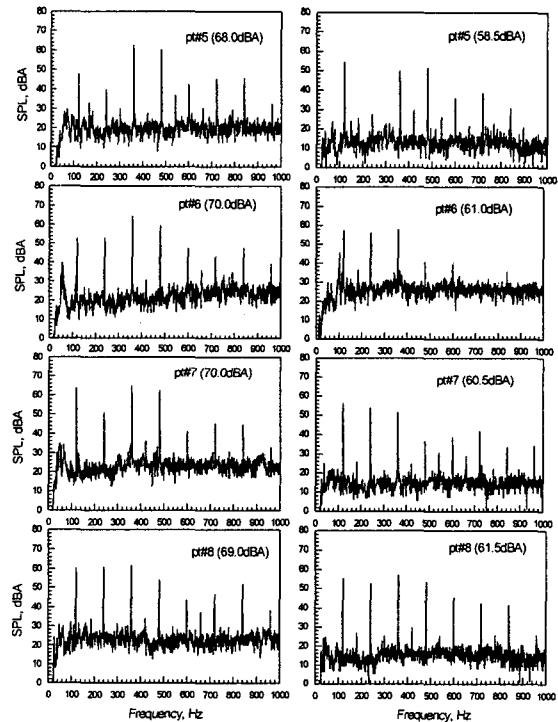


그림 13. 소음개선 전/후 주파수 분석 결과 비교
Fig. 13. Comparison of sound pressure spectrums before and after the application of sound reducing technique

3.2 소음기의 현장 적용

그림 14는 옥외형 변전소의 개략적인 배치도로서

변전소 내부에는 4대의 변압기가 운전되었으나 1대가 해체되어 총 3대의 변압기만이 현재 운전되고 있다. 최근에 운전 중인 변전소의 주변에 아파트가 완공되어 주민이 입주하게 되었으며, 입주민에 의해 소음민원이 제기된 상태였다. 아파트의 위치는 2, 3번 변압기와는 100[m] 가까이 떨어져 있어 어느 정도 소음전달 여유도가 있지만 4번 변압기는 50[m] 안쪽의 이격거리 만이 존재하여 이 아파트에 고소음을 유발하고 있었다.

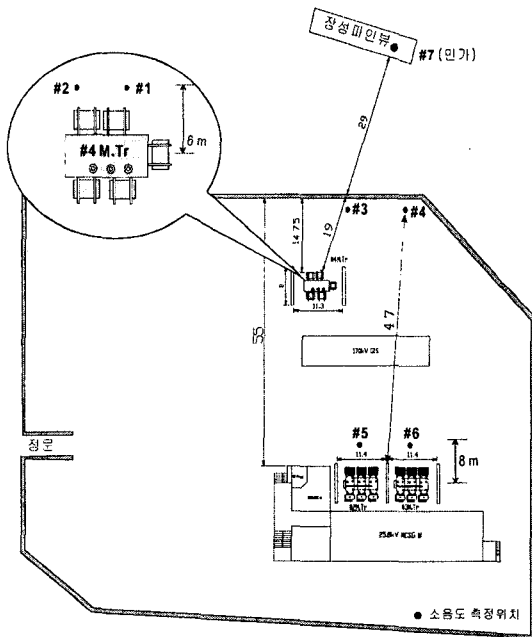
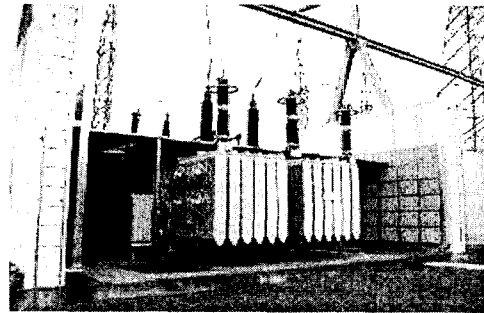


그림 14. 변전소의 배치개략도
Fig. 14. Layout of a substation

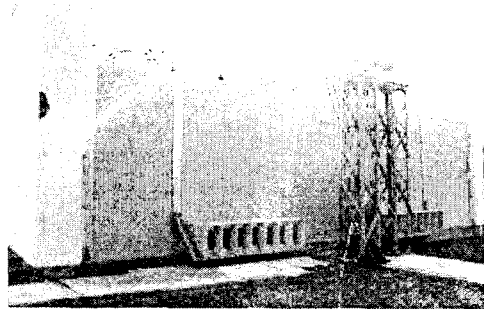
기여도 분석 결과 민가에서 법정허용치 45[dBA]를 만족하기 위해서는 민가에 근접한 4번 변압기 전달소음을 12[dB] 이상으로 줄여야 했다. 이를 위해 밀폐장치를 설계하게 되었으며, 현장 여건상 변압기와 방열판 사이의 이격거리에 여유가 없어 그림 15와 같은 부분밀폐장치를 채택하게 되었다. 부분밀폐장치의 열려진 부분은 인근 아파트와 반대 방향으로 하고 아파트 방향으로는 그림에서 보이듯이 밀폐장치 하단부에 소음기를 배치하여 공기 흐름을 원활하게 한다.

그림 16은 소음기를 구비한 밀폐장치 설치 후의

밀폐장치 내부와 밀폐장치 외부(측정점 #1)에서의 소음레벨을 비교한 것으로 약 16[dB] 정도의 차음효과가 발생됨을 알 수 있다. 이 결과에서 보면 소음기는 충분히 제 역할을 한다고 판단되었다. 또한 일반적인 차음덮개의 소음저감 효과가 약 12[dB] 정도임을 감안할 때, 공명형 소음기를 적용함으로써 4[dB]의 추가적인 소음저감을 얻을 수 있었다.



(a) 설치 전



(b) 설치 후

그림 15. 부분 밀폐형 차음덮개의 설치 사진
Fig. 15. Installation of partial enclosure

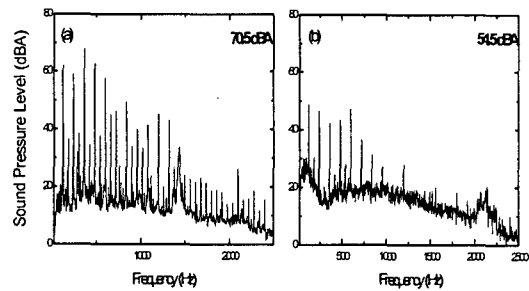


그림 16. 차음덮개 적용 전/후의 음압 스펙트럼 비교
Fig. 16. Comparison of noise level before and after acoustic enclosure

4. 결 론

본 연구에서는 옥내변전소에 설치된 주변압기에서 서터틀 투과하거나 지하 공기풍동을 통해 실외로 전달되는 소음을 효과적으로 저감시키는 방법을 고찰하였다. 기존의 기기 반출입용 서터부분의 흡-차음성능을 개선하기 위한 장치와 지하 공기풍도부분에는 주변압기 주파수에 상응하는 공명기를 적용하는 방법을 개발하였으며, 이 장치는 종래의 공명형 흡음기의 다공판 역할을 하는 흡음관의 전체두께가 확장관으로 이어지는 길이만큼 길어졌기 때문에 동일한 개구율에서는 종래의 공명형 흡음재보다 공명 주파수가 훨씬 낮은 주파수에서 형성됨으로써 저주파수 소음을 저감하기 위해 흡음관의 두께 또는 길이를 증가시키지 않고도 저주파수의 소음을 효과적으로 저감시킬 수 있다.

또한 공기풍도용 소음저감장치는 저주파수 및 순음에 효과적이기 때문에 소실형 흡음재를 사용한 일반 흡음 덕트와 비교해서 매우 효과적인 소음저감 장치이다.

변압기 소음저감을 위한 부분 또는 완전밀폐 장치의 단점인 변압기 온도상승 등을 보완하기 위해 소음기가 개발되었다. 이 소음기는 음향공명기와 슬리트형 소음기를 결합하여 변압기 소음성분 중 120[Hz] 및 240[Hz] 성분은 음의 공명원리에 의해 240[Hz] 이상의 소음 성분은 음의 흡수 원리에 의해 소음전달을 차단하도록 개발되었다. 개발된 소음기는 실험실에서 그 성능을 확인하였으며, 현장에 유용하게 적용할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 소음기는 변전소의 변압기 소음제어 뿐만 아니라 타 분야의 소음제어 요소로서 유용하게 사용되어지리라 기대한다.

References

- (1) IEEE Transaction on Power Delivery, "Drown out Transformer Noise," pp. 83-85, 1997.
- (2) IEEE/PES, "Transformer Noise Abatement using Tuned Sound Enclosure Panels," pp. 184-191, 1997.
- (3) P. M. Morse and K. U. Ingard, Theoretical Acoustics, McGraw-Hill, New York, Chapter 7. 1968.
- (4) L. H. Bell, Industrial Noise Control, Marcel Dekker, Inc, Chapter4, New York, 1982.
- (5) L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sanders, Fundamentals of Acoustics, John Wiley, New York, 3rd ed., Chapter8, 1982.
- (6) A. D. Pierce, Acoustics. An Introduction to Its Physical Principles and Applications, McGraw-Hill, New York, Chapter5, 1981.

◆ 저자소개 ◆

김영달 (金榮達)

1957년 11월 5일생. 1986년 2월 대전공업대학 전기공학과 졸업. 1990년 2월 충북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 2월 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한밭대학교 전기공학과 교수.