

대형 변압기의 밀폐장치용 소음기 개발

Development of a Silencer for an Acoustic Enclosure of a Large Transformer

이준신*, 이욱륜**, 이대성***
Jun-shin Lee, Wook-Ryun Lee, Tae-sung Lee

Key Words : Acoustic Enclosure (밀폐장치), Sound Resonator(음향 공명기), Noise Reduction(소음저감), Transformer(변압기)

ABSTRACT

An acoustic total or partial enclosure is widely used to reduce the sound pressure level propagating from a noise source. However, the performance of the acoustic enclosure is decreased by its inherent limitations such as temperature rise or acoustic pressure build-up inside the enclosed acoustic field. In general, a silencer is installed to overcome these limitations, for large amount of air can be exchanged through the silencers. In this reason, a parallel baffle-type duct silencer with acoustic resonators is studied to reduce the transmitted noise from a transformer. In this silencer, the high-frequency components of the transmitted noise over 360Hz are effectively absorbed by the parallel baffles and the other ones, 120 and 240 Hz, are reduced due to the presence of Helmholtz resonators. Large sound-attenuation is achieved by applying the sound-resonating barrier to the large transformers in a substation.

1. 서 론

변전소의 대형 변압기는 전기를 공급하는 핵심 기기임에도 불구하고 고소음 유발 특성 때문에 변전소 주변 거주자들에 의한 민원제기 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 변압기용 밀폐장치 개발은 변전소 운영측면 및 환경소음 저감 측면에서 매우 중요하다 할 수 있다.

부분 또는 완전 밀폐장치는 소음원을 효과적으로 차단하는 장치로서 널리 사용되고 있다. 소음 제어용 밀폐장치는 기기의 특성에 따라 여러 가지의 단점 및 장점을 가지게 된다. 예를 들어 변압기의 폭발시에 밀폐장치는 파편방지용 안전벽 역할을 하지만 공기유동을 제한하여 변압기의 온도 상승을 유발하게 된다. 또한 밀폐장치에 의해 생성된 내부의 음장은 음이 증폭되게 된다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 변압기용 밀폐장치에는

소음기가 부착된 공기풍도를 두게 되며, 본 연구의 목적은 공기의 흐름을 원활이 하면서 소음전달 특성을 최대로 억제하는 풍도용 소음기를 개발하는 데 있다.

소음기는 여러 종류의 기계장치에서 발생하는 소음을 음의 팽창, 간섭, 공명 및 흡수의 원리로 소음을 감소 시키는 기구이다. 소음기의 저주파수 영역에서의 일반적인 소음저감 성능은 음파진행 단면의 기하학적 형상을 이용한 음의 팽창, 간섭 및 공명의 효과를 이용한다. 반면, 소음기의 고주파수 영역에서는 음을 흡수하는 원리를 이용하는 것이 일반적이다.

변압기는 전원 주파수(60Hz)의 2 배 성분을 저주파수로 하는 하모닉 성분(120Hz 의 배수)의 소음을 발생시킨다. 이때 50mm의 흡음체의 흡음 성능을 기준으로 240 Hz 이하의 변압기 소음을 저주파수 영역으로 그 이상을 고주파수 영역으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 변압기의 소음을 효과적으로 차단하기 위해 저주파수 영역에서는 음향 공명기를, 고주파수 대역에 대한 전달소음은 흡수 원리를 적용한 소음기를 개발하였다. 또한, 개발된 소음기를 현장에 적용하여 그 성능을 확인

하였다.

2. 변압기의 밀폐장치용 소음기

변압기는 전원 주파수(60Hz)의 2 배 성분을 기저주파수로 하는 하모닉 성분(120Hz 의 배수)의 소음을 발생시킨다. Fig.1 은 154 kV 급 변압기에 대해 전방 1m 위치에서 계측한 소음레벨 스펙트럼으로 주소음 성분이 120 Hz 의 하모닉 성분으로 되어 있음을 보여준다. 변압기의 소음은 측정위치에 따라 스펙트럼 성분의 크기에 약간의 변화가 있지만 대체적으로 Fig. 1 과 같은 스펙트럼 형태를 가지게 된다.

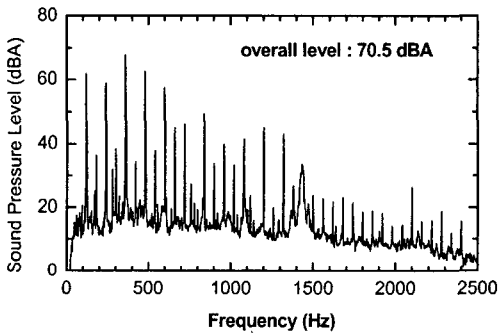


Fig. 1. Typical noise spectrum of a large transformer in a substation

변압기용 밀폐장치는 Fig. 2 과 같은 형태를 가지게 되며, 현장 사정에 따라 완전 밀폐 또는 부분 밀폐에 의해 변압기 소음의 전달을 차단하게 된다. 부분밀폐는 변압기 설치 후 소음민원이 야기 됨에 따라 밀폐장치가 추후에 설치되고 설치 공간의 제한에 따라 의해 라디에이터가 밀폐장치 내부로 들어가는 경우에 주로 사용되게 된다.

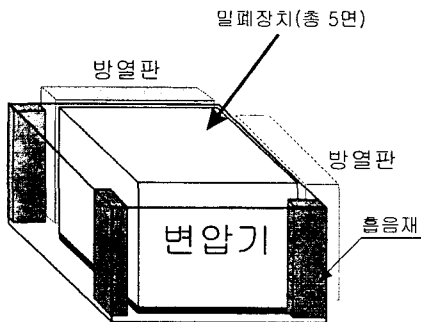


Fig. 2. Schematic diagram of enclosure

변압기 밀폐장치용 소음기는 다음 3 가지 역할을 하게 된다. 첫번째로 공기흐름을 원활히 하여 변압기로부터 발생된 열의 배출을 돕는다. 두번째로 완전 밀폐시 발생될 수 있는 저주파수 공진을 해소한다. 대형변압기의 체적진동량은 초당 수십리터에 상당하기 때문에 완전 밀폐시 저주파수에서 밀폐장치 구조와 내부음장과의 연성에 의한 공명현상이 발생될 확률이 농후하다. 이를 회피하기 위해 밀폐장치 구조를 보강하는 것 보다 공기 통로를 확보하는 것이 경제적이다. 마지막으로 부분 밀폐시 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, Fig. 3 은 밀폐장치용 소음기에 대한 모식도를 보여준다. 실제로 현장에 적용되는 소음기는 각 모듈들을 전후, 좌우 및 상하로 적층하여 사용한다.

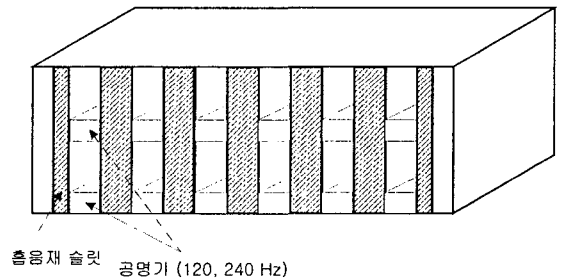


Fig. 3. Schematic diagram of a silencer

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

공명기 모듈은 Fig. 3 에 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

소음기 삽입손실을 측정은 Fig. 4 와 같은 방법으로 수행한다. 삽입손실 측정용 덕트의 단면은 450 mm x 450 mm 의 크기를 가지며 한쪽 면에는 음원용 스피커가 위치하고 반대면에는 측정을 위

한 모음기 모듈이 장착된다. 소음기의 삽입손실은 소음기 중심에서 45° 방향으로 1.5 m 떨어진 지점에서 소음기가 있을 때와 없을 때의 소음레벨을 각각 측정하여 구한다.

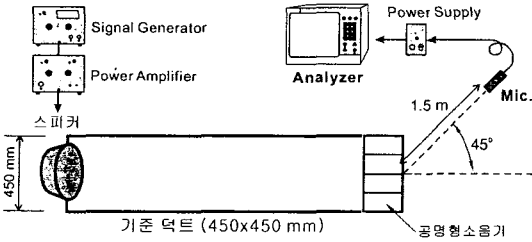
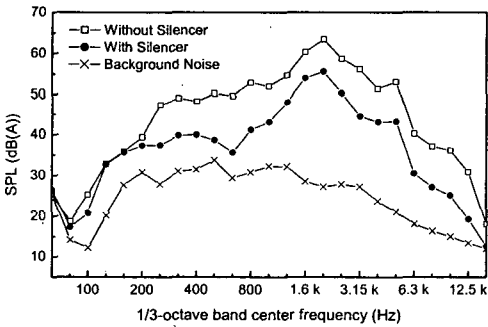
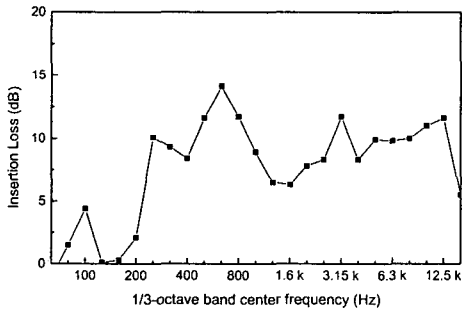


Fig. 4. Schematic diagram of testing apparatus

Fig. 5는 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 좌우면에 장착된 흡음재에 의한 음의 흡수 효과가 200Hz 이상에서 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있다.



(a) Experimental results of sound pressure level



(b) Experimental results of insertion loss

Fig. 5. Experimental results

3. 현장 적용

Fig. 6은 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 100m 가까이 떨어져 있어 어느 정도 소음전달 여유도가 있지만 4번 변압기는 50m 안쪽의 이격거리만이 존재하여 이 아파트에 고소음을 유발하고 있었다.

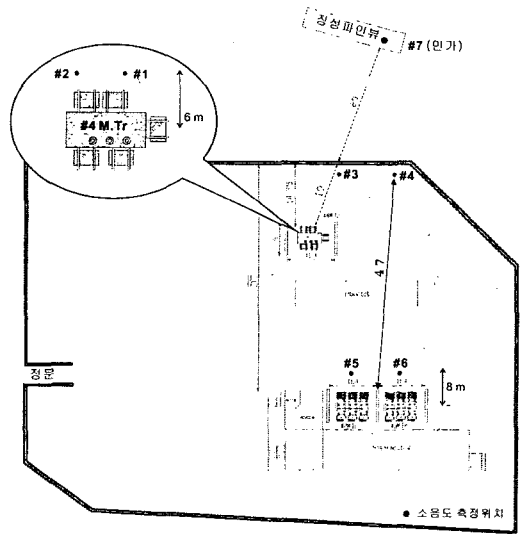


Fig. 6 Layout of a substation

기여도 분석 결과 민가에서 법정허용치 45dBA를 만족하기 위해서는 4번 변압기 전달소음을 12dB 이상으로 줄여야 했다. 이를 위해 밀폐장치를 설계하게 되었으며, 현장 여건상 변압기와 방열판 사이의 이격거리에 여유가 없어 Fig. 7과 같은 부분밀폐장치를 채택하게 되었다. 부분밀폐장치의 열려진 부분은 인근 아파트와 반대 방향으로 하고 아파트 방향으로는 그림에서 보이듯이 소음기를 배치하여 공기 흐름을 원활하게 한다.

Fig. 8은 소음기를 구비한 밀폐장치 설치 후의 밀폐장치 내부와 밀폐장치 외부(측정점 #1)에서의 소음레벨을 비교한 것으로 약 16dB 정도의 차음 효과가 발생됨을 알 수 있다. 이 결과에서 보면 소음기는 충분히 제 역할을 하다고 판단되었다.

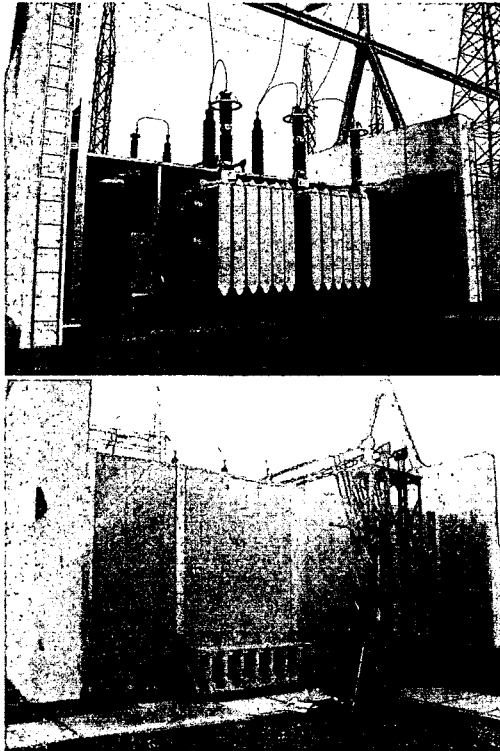


Fig. 7 Installation of Partial enclosure

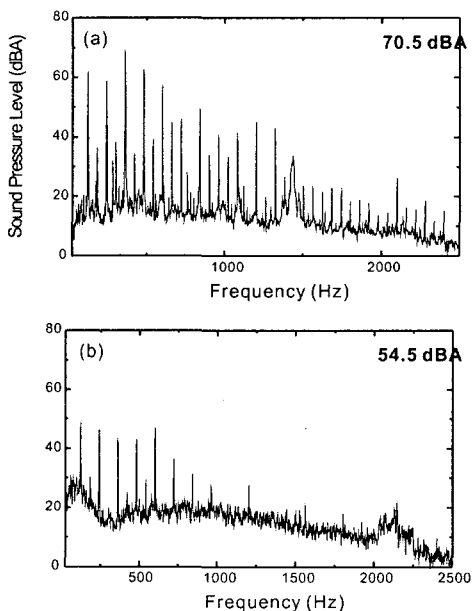


Fig. 8 Comparison of noise level before and after acoustic enclosure

4. 결론

변압기 소음저감을 위한 부분 또는 완전밀폐 장치의 단점인 변압기 온도상승 등을 보완하기 위해 소음기가 개발되었다. 이 소음기는 음향공명기와 슬릿형 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.

참고문헌

- (1) "Drown out Transformer Noise", IEEE Transaction on Power Delivery, pp 83-85.
- (2) "Transformer Noise Abatement using Tuned Sound Enclosure Panels", IEEE/PES, pp 184-191, 1997.
- (3) "Application of the Intensity Technique to the Characterization of Transformers Noise(Canada)," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.3, No.4, pp.1802-1808, October, 1988.
- (4) "The Sound-Field Characteristics of a Power Transformer," Applied Acoustics 60, pp.257-272, 1998.
- (5) Morse, P. M., and Ingard, K. U., 1968, *Theoretical Acoustics: chapter 7*, McGraw-Hill, New York.