

# 발전소 변압기 소음저감 대책의 유효성

\*김연환\*, 김희수\*, 배용채\*, 이현\*, 김성휘\*

## The effectiveness of noise reduction devices for transformer noise control of Power Plants

Yeon-Whan Kim, Hee-Soo Kim, Yong-Chae Bae, Hyun Lee, Sung-Hwi Kim

### Abstract

Power transformers, air-intakes, stacks in a combined thermal power plant are the main noise sources. Power transformer noise among them has been get a target of public complaint due to 480Hz component of its pure tone. The source is mainly magnetostrictive vibration of the transformer core. The first countermeasures was installing sound barrier on the front of transformer. However, 500Hz, center of the frequency, is not reduced. This paper includes the measurements of noise level at the near resident apartment, the identification of noise transfer and the countermeasures for noise sources. Cavity resonance type of noise reduction devices was installed on enclosing wall of transformers. As a result, the noise level from transformer is reduced about 3dB

### 1. 서론

소음은 인구증가, 도시집중, 생활양식의 변화 및 공업화 등으로 인간이 생활하는 곳이면 시간과 공간의 제약 없이 발생하고 있다. 소음은 신체적, 심리적으로 악영향을 미치며 정신적, 정서적으로 불안감을 조성하고 대화방해, 작업능률의 저하를 초래할 수 있다.

발전소에는 각종 회전체, 공기흡입기(air intake), 안전변, 변압기, 연돌(stack) 등 다수의 소음 유발기기들로 구성되어 있다. 특히, 도심지에 위치한 복합화력은 발전소 부지 경계선 가까이 아파트, 주택 등이 들어서 있어 민원사태가 종종 발생되었다. 대형공동주택인 아파트는 각기 성격이 다른 주민들로 구성되어 있어 민원요청도 다양한 실정이다. 이러한 현상은 생활의 질이 높아지고 있는 형편을 고려해볼 때 점점 증가될 것으로 보이며, 향후 소음관련규제도 강화될 전망이다.

발전소에서 발전소 주변에 가장 크게 영향을 주고 있는 주변압기들은 다른 옥외 소음원인 공기흡입기, 연돌 등에 비하여 주변환경에 영향이 큰 것으로 평가되었다.

이미 해당 변압기들에는 밀폐장치 및 차음벽이 설치되어 있음에도 불구하고 500Hz를 중심으로 하는 옥타브 특성이 아파트에 영향을 주고 있어 변압기 밀폐장치 내에 공명형 소음저감장치를 개발하여 소음을 저감하였다.



그림 1. 복합화력발전소 전경

### 2. 발전소 지역특성

그림 2는 도심에 위치한 복합화력발전소의 배치도이다. 그림에서 P1은 아파트 옥상, B1은 부지경계의 도로변의 소음 측정지점을 나타낸다. 발전소 주 소음원인 변압기, 공기흡입기 및 연돌의 영향에 노출된 주거지역은 아파트(13층)로서 도로변에 위치하여 24시간 자동차 소음에 노출되

\* 정회원 한전 전력연구원

어 있는 상태이다. 따라서, 대상 주거지역에 적용되는 환경평가기준은 낮의 경우 65dBA, 밤에는 55dBA으로 정하고 있다.

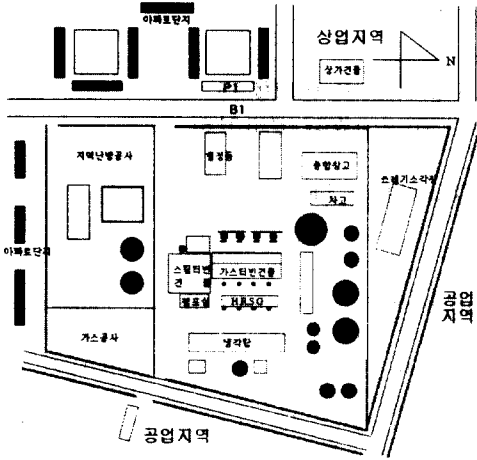


그림 2. 발전소 주변지역 배치도

대상발전소는 지역난방 열을 공급하는 목적으로 주거밀집지역인 신도시 중심부에 위치하고 있다. 건설 시부터 소음의 영향을 최소화하여 소음민원을 방지할 수 있도록 대상 기기별 소음저감 시설을 설치하였으며 상시 소음영향을 모니터링하고 있다. 그 결과 발전소의 주요 대상 기기별 소음저감은 변압기가 7dB, 주연돌이 7dB, 냉각탑이 2.4~22.3dB 등을 달성하였다.

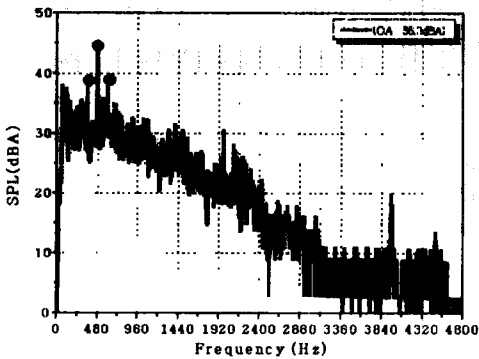


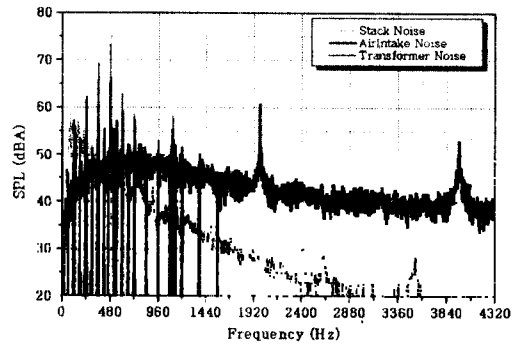
그림 3. P1 지점에서의 소음분포특성

그림 2에서 알 수 있는 것처럼 주거지역은 발전소 옥외 소음중 음향파워가 가장 큰 변압기, 공기흡입기, 연돌에 영향을 받고 있어 P1(아파트 옥상)에서 소음을 측정 평가한 결과 그림 3과 같이 나타났으며 변압기 소음특성이 옥타브 중심주-

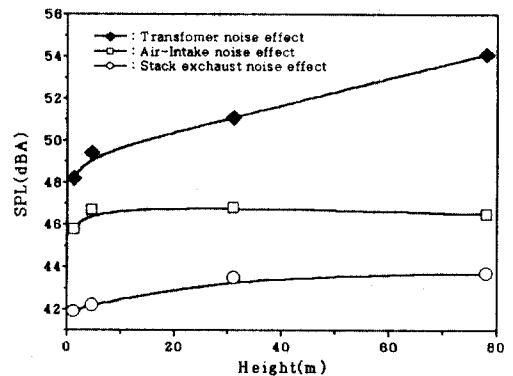
파수 500Hz에 기여하는 360, 480, 600Hz 등이 명확하게 나타나고 있음을 알 수 있었으며 그 중에서도 480Hz 성분이 45dBA로 가장 크게 나타났다. P1 지점에서의 소음레벨은 발전소 소음 뿐 아니라 자동차 주행소음, 항공기 소음과 생활환경소음이 포함되어 전체레벨이 55~65dBA 였다.

### 3. 주 소음원의 소음 영향

그림 4는 연돌, 공기흡입기 및 변압기의 소음 특성을 보여준다. 소음은 대상 기기로부터 약 1m 떨어진 위치에서 측정한 결과이며 그 중 변압기와 공기흡입기는 P1 지점인 주거지역 쪽으로 지향성을 갖는다. P1 지점기준으로 소음원의 최단 거리는 변압기가 160m, 공기흡입기는 195m, 연돌은 250m정도 떨어져 있으며 변압기와 공기 흡입기 특성이 사람의 귀로 분명히 구별될 수 있었다.



(a) 발전소 옥외 기기의 방사소음 특성



(b) "P1"지점의 높이에 따른 소음원별 소음영향

그림 4. 주요 기기 음향특성 및 영향

그림 4(a)는 소음원 특성으로서 변압기의 480 Hz의 순음성분이 가장 크게 기여하였으며, 그림

4(b)는 각 소음원의 소음기여레벨을 '발전소 환경소음 해석 프로그램'을 사용하여 대상지역의 지상 1.2m를 비롯한 78m 상공에 이르는 소음분포를 보여준다. 아파트 옥상 중앙부에서 약 51dBA로 예측되어 이에 대한 소음대책의 필요성이 제기되었다.

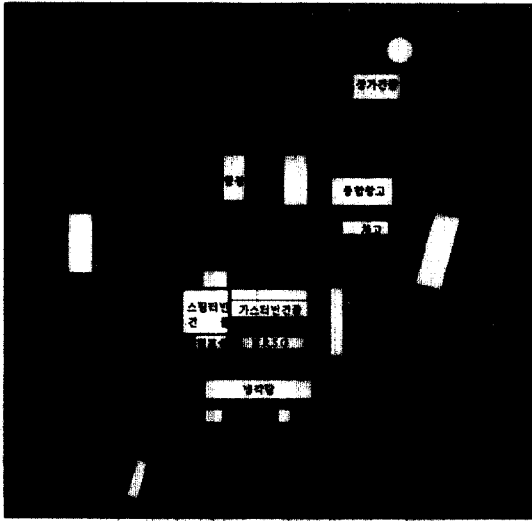


그림 5. 대책 전 변압기에 의한 소음영향해석

표 1은 각 소음원에 의한 영향을 측정하고 해석한 결과로서 발전소가 아파트 옥상에 주는 영향은 약 53dBA정도였다. 그 중 변압기만의 영향이 51.7dBA 정도를 나타냈고 480Hz 성분이 45dBA를 초과하여 소음저감 대상으로 평가되었다.

표 1. 대책 전 P1 지점의 발전소 영향

| 항 목 | Stack  | Intake | Trans. | OA   | 비고  |
|-----|--------|--------|--------|------|-----|
| 측정치 | <43.0> | 47.1   | 51.7   | 53.4 | dBA |
| 해석치 | 43.0   | 46.8   | 51.1   | 53.0 | "   |

표 2는 발전소 기준 1.2m 높이에서 B1지점의 소음영향을 평가한 결과로서 부지경계선에서 소음방출 규제치를 1.7dB정도 초과되었다.

표 2. 대책 전 B1 지점의 발전소 영향

| 항 목 | Stack | Intake | Trans. | OA   | 비고  |
|-----|-------|--------|--------|------|-----|
| 측정치 | 42.5  | 46.6   | 49.2   | 51.7 | dBA |

#### 4. 변압기 소음특성 및 원인

주거지 옥상에 가장 크게 영향을 주는 순음성 소음원은 변압기로부터 방사되어 전달된 것으로 확인되었다.

변압기 소음은 권선 및 철심 진동이 표면을 통하여 방사되어 나타난다. 권선 진동은 누설자속과 권선 사이 또는 권선 묶음의 느슨한 부위를 흐르는 전류의 주기적인 상호작용으로 발생되며 변압기 철심의 음향소음은 주기적인 전자기력에 의해 구조강판의 판과 판사이의 공극에 유기되어 발생되거나 철심재료가 자화되어 생기는 자기변형에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다.

그림 6은 변압기소음 방사를 저감코자 기 설치된 밀폐장치와 변압기의 설치상태이다.

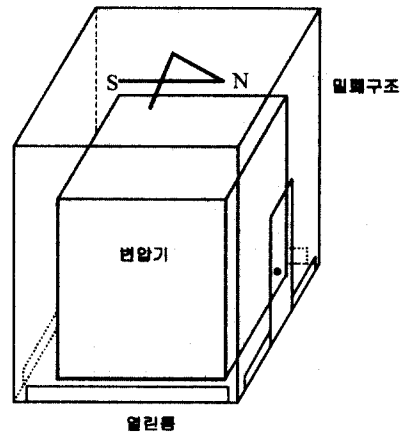


그림 6. 가스터빈 변압기 밀폐장치 개략도

그림 7은 변압기 밀폐장치 내·외에서의 소음특성을 나타낸다. 내부공간에서 나타나는 소음은 주로 철심의 진동에 의하여 발생하는 120Hz의 고조파 소음특성들과 권선에 의해 나타나는 60Hz의 고조파 특성들로 구성되어 있음을 알 수 있다. 밀폐장치 외부에서 나타나는 성분들은 주로 소음파워가 강한 120Hz의 고조파들이 현저히 나타난다.

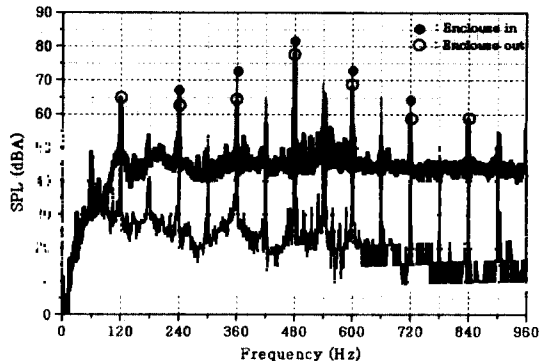


그림 7. 변압기 밀폐상자 내·외 소음특성

특이할 사항은 480Hz는 그 레벨이 약화되지 않고 거의 투과되는 것으로 나타났다. 240Hz 성분은 그 레벨은 낮지만 증폭되는 현상을 보였다. 변압기 소음은 기저 주파수인 120Hz 성분이 가장 커야하나 변압기와 밀폐장치사이의 음장이 480Hz 성분에 대한 임피던스를 최소화하여 나타나는 현상으로 판단되었다. 따라서 그 원인을 규명하고자 스피크를 사용하여 밀폐장치 내부의 음장을 가진하여 마이크로폰으로 그 응답을 확인하는 가진실험을 수행하였다.

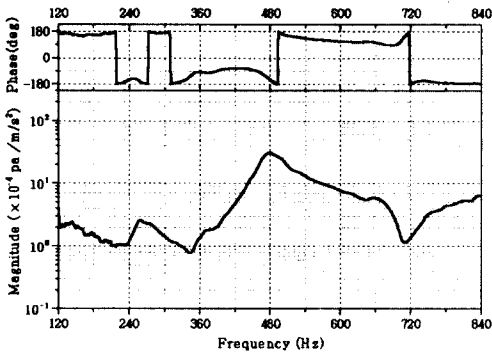


그림 8. 변압기 밀폐장치의 내부 음장 특성

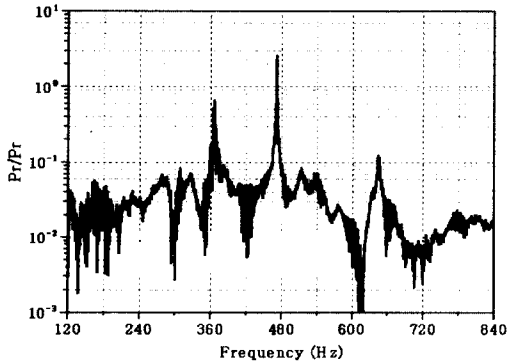


그림 9. 밀폐장치 음장 투과시험 결과

그 결과 그림 8과 같이 480Hz에서 명확한 공명 모드가 존재하고 있음을 규명할 수 있었다. 이 공명 모드는 매우 넓은 영역 특히 600Hz 주파수 특성에 까지도 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 그림 9의 가진에 대한 응답을 보면 480Hz 성분이 명확히 투과됨을 알 수 있었다.

## 5. 소음 저감 방안

기존에 설치된 밀폐구조에 의해 변압기와 밀폐장치 벽면과의 거리가 정해져 있기 때문에 소음 레벨을 저감하기 위해서는 내부 벽면의 음향특성

을 적절히 변경시켜 480Hz 성분의 소음이 개구부를 통해 외부로 전달되지 못하도록 하기 위하여 밀폐구조 내부 벽면을 소음제어용으로 널리 쓰이고 있는 헬름홀츠 공명기 구조로 만들어 공명 주파수를 480Hz로 맞추므로써 480Hz 성분의 소음이 내부 벽면에서 소멸되어 외부로 방출되지 못하도록 하였다.

그림 10은 헬름홀츠 공명기의 일반적인 형태로서 입구부로 유도된 음을 팽창실에서 팽창시키는 구조로 되어 있으며, 입구부의 체적에 의한 질량 효과와 팽창실에 의한 스프링 효과에 의해 저주파수에서 공명이 일어나게 된다.

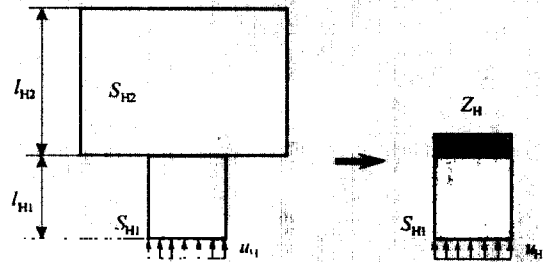


그림 10. 헬름홀츠 공명기 모식도

헬름홀츠 공명기는 단면의 면적이 같으면 똑같은 특성을 가진다. 따라서, 이 원칙과 소음을 저감하고자 하는 설치 환경에 따라 알맞은 모양을 만들어 사용하면 된다.

그림 10의 입구단면에서의 입자속도와 압력과의 관계를 이용하여 정리하면 헬름홀츠 공명기의 공진주파수가 된다.

$$f_1 \approx \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{l_{H1}^e l_{H2} (S_{H2}/S_{H1})}} \quad (1)$$

식 (1)에서 유효길이  $l_{H1}^e$ 는 입구부 길이  $l_{H1}$ 를 보정한 것으로서 파장에 비해 입구부 단면적이 작다면 다음과 같은 보정 관계식을 이용하게 된다:

$$l_{H1}^e = l_{H1} + 0.82d \quad (2)$$

변압기에서 발생하는 480Hz의 소음주파수를 저감시키기 위해서 그림 11과 같은 판넬형 헬름홀츠 공명기가 필요하며 식 (1)을 이용하여 공명기의 공진 주파수를 구하면 478Hz로서 대략 480Hz 근처에 있게 된다.

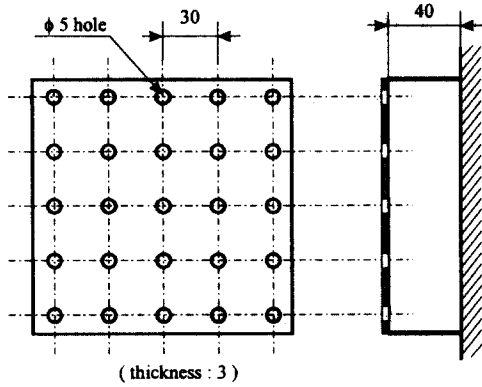
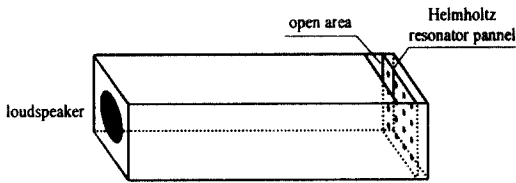


그림 11. 판넬형 헬름홀쯔 공명기

그림 12는 변압기 밀폐구조 모사 실험장치의 그림으로서 한 쪽 면에는 스피커가 위치하여 소음원의 역할을 하며, 다른 면에는 그림과 같이 타공판과 팽창공간을 준다.



(a) 변압기 밀폐구조 모사실험 장치 개략도



(b) 실험 장치

그림 12. 밀폐구조 실험장치(임피던스 튜브관)

그림 13의 실험에 의한 소음 저감량이 모사장치 고유진동수인 480Hz 부근에서 15dB 이상의 효과를 보이고 있다. 전체적인 경향에서 판단하여 보면 헬름홀쯔 공명기가 소음저감을 위해 유용하게 쓰일 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 이를 근거로 하여 소음저감장치를 변압기 밀폐장치 내부에 그림 14와 같이 적용하였다.

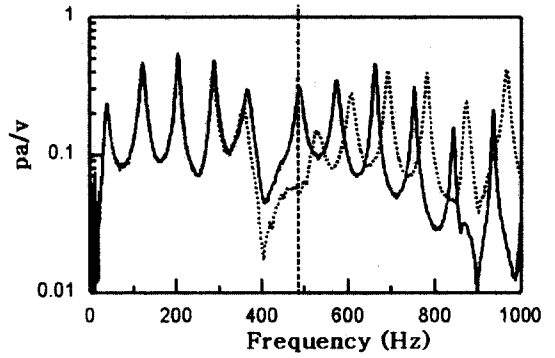


그림 13. 변압기 밀폐구조 모사실험 결과 (실선은 공명기가 부착되지 않은 경우; 점선은 공명기가 부착된 경우)



그림 14. 변압기 밀폐상자 내 공명형 소음저감장치 설치 상태

## 6. 소음 저감 효과

그림 15는 특정운전 조건을 기준으로 변압기 소음저감장치 확대적용 전·후의 데이터를 비교한 것이다.

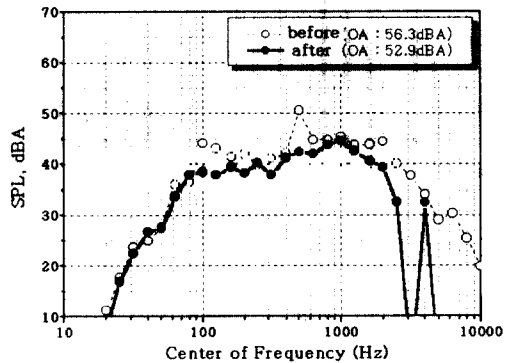
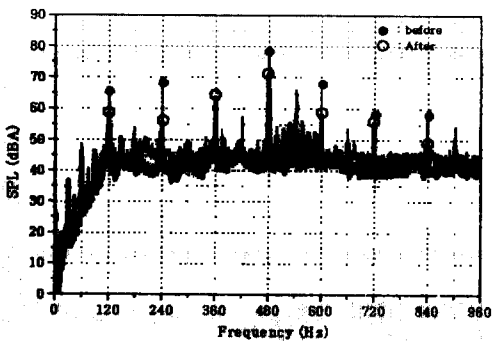


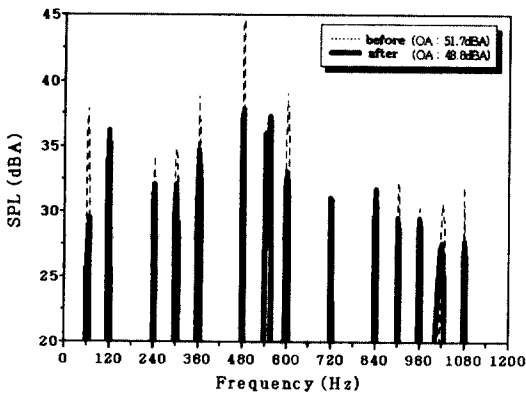
그림 15. 변압기 소음저감 장치 적용 전·후의 주거지 소음특성 비교

그림 16(a)는 소음저감장치 적용 전·후에 변압기 특정면의 소음특성변화를 나타내며, 그림 16(b)는 아파트 옥상(P1)에서의 전체특성 중 변압기 소음성분만을 분리한 것이다. 변압기 영향만을 분리하여 소음저감장치 적용 전·후의 소음레벨을 비교한 것이다. 변압기 소음저감장치를 설치 후 주파수별로 분석하면 480Hz는 6.8dB, 360Hz는 4.1dB, 600Hz는 6dB의 소음 저감을 달성한 것으로 나타났다.

따라서, 부영아파트 옥상에서 변압기 소음레벨이 2.9dB정도 저감하여 아파트 옥상에 미치는 변압기 소음파워가 약50%정도 감소된 것으로 평가된다.



(a) 소음저감장치 설치전후 밀폐장치 표면의 소음특성 변화



(b) 대책 전·후의 변압기 소음영향 변화

그림 16. 변압기 소음의 저감효과

## 7. 결론

변압기 소음저감장치를 확대 적용 후 소음저감 효과는 3dB 정도 감소되어 발전소에 의한 주거 지역에 주는 소음영향을 대폭 감소시켜 민원 재발 방지에 크게 기여하게 되었다.

## 참고문헌

- 1) 전력연구원, “발전소 소음제어 기술 개발” 최종보고서 1998년도.
- 2) 김연환, “도심에 위치한 발전소의 환경소음실태 평가”, 한국소음진동공학회 1998년도 춘계 학술대회 논문집.
- 3) T.J.Hart, 1975, “Acoustic noise analysis of molybdenum permalloy powder core transformers”, in *Rec. 1975 Power Electronics Specialists Conf. (PESC75)*, pp. 330-337.