

발전소 사무실의 소음제어 연구

김연환*, *이준신** (전력 연구원 기계공학 연구소)

A study on the Noise Control of office room in a Power Plant

Yeon-Whan Kim, Jun-Shin Lee

1. 서론

경제적인 여유와 삶의 질의 향상으로 소음에 대한 국내외의 규제는 점점 강화되고 있다. 발전소 플랜트는 펌프, 터빈 및 팬 등의 회전체와 배관과 변압기 등의 소음 유발 기기류들로 구성되어 있어 건물 내외로 많은 소음이 발생하고 있다. 이로 인해 발전소 주변 주민들의 민원 사례가 빈발함은 물론 장기 근무자의 청각 능력 저하 및 직원들의 현장 근무 기피현상이 나타나고 있다. 이러한 현상은 생활의 질이 높아지고 있는 형편을 고려해 볼 때 점점 심화될 것으로 보인다. 하지만, 소음 규제가 현장 작업자와 환경 보호 측면에 주로 적용되고 있어, 레벨은 작지만 긴 시간 소음에 노출되어 있는 사무실 근무자들에게는 상대적으로 관심이 미미한 편이다. 이런 이유로, 사무실 소음에 대해서는 규제보다는 확회나 특정 제품을 생산하는 단체의 권장 소음치와 설계 목표치만이 존재하는 형편이다.

발전소에는 업무 효율을 위해 터빈과 같은 주요 발전기기에 인접한 사무실들이 많으며, 공기나 지반을 통해 직접-간접적으로 소음이 전달된다. 소음제어 측면에서 이들의 전달경로를 정확히 파악하는 것이 정해진 순서이나, 이미 지어진 발전소에 지반 진동을 차단하는 방법을 적용한다는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 다행스럽게도 공기와 지반을 통해 소음이 전달되는 주파수 대역이 각각 틀려, 공기음을 차단하는 것만으로도 어느 정도의 소음제어 효과를 기대할 수 있다. 반면, 발전소의 사무실들은 소음에 대한 인식이 현재와 같지 않았을 때 지어진 것이 대부분이라 소음을 충분히 고려하지 않은 경우가 많으며, 상대적으로 소음에 취약한 유리창으로 둘러싸여 있는 경우가

대부분이다. 여기에 유리창을 작업 효율 측면에서 투명하지 않은 재질로 바꿀 수 없는 한계성 때문에, 본 연구같은 초기단계 연구는 창문 구조나 두께를 처리하는 수준으로 만족할 수 밖에 없다.

본 연구에서는 사무실 근무자 보호 측면에서 소음제어를 하였으며, 당시의 현실과 여러 단체의 권장 소음치를 참조하여 제어 목표치를 설정하였다. 대상으로는 주변에 소음 유발 기기가 많아 소음 레벨이 열악한 태안화력 1, 2호기 사이의 사무실을 제어 대상으로 하였다. 여러 형태의 유리창에 대한 투과 손실을 이론적으로 예측하였으며, 기존 형태를 대체하여 현장에 적용시의 삽입 손실을 추정하였다.

2. 본론

2.1. 차음벽의 특성

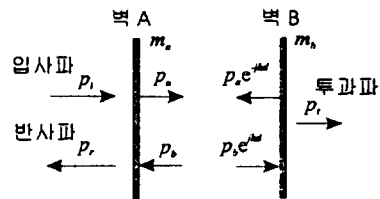


Fig. 1. 이중벽 모식도

음파가 수직 입사할 때의 2중벽에 의한 투과 손실은 다음과 같다:

$$TL = 10 \log \left[1 + (kd)^2 \bar{M}^2 (\cos kd - 0.5kd\bar{M} \sin kd)^2 \right] \quad (1)$$

여기서, 무차원수 kd 는 헬름홀츠 수로 벽 사이의 거리에 대한 물리량 변화를 쉽게 파악할 수 있게 하며, $\bar{M} = m / \rho d$ 는 공기와 차음재료와의 질량비를 나타낸다. Fig. 2는 이중벽에 대한 투과손실을 나타낸 것이다.

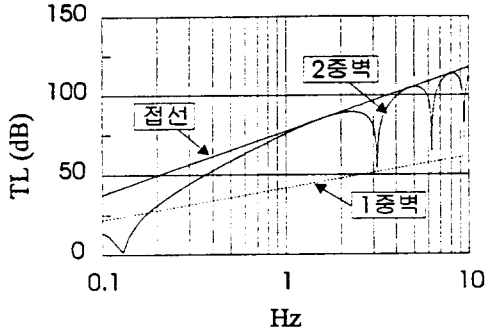


Fig. 2. 이중벽 투과손실 예

2.2. 소음제어 대상 사무실

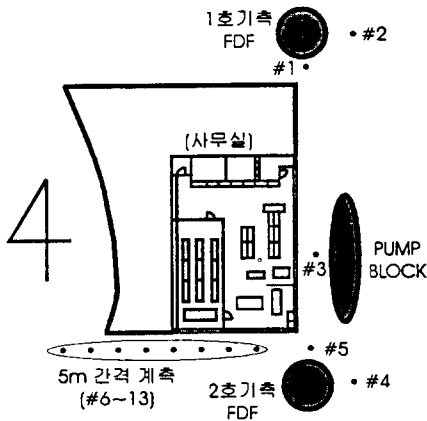


Fig. 3. 태안화력 사무실 개략도

태안화력 사무실은 Fig. 3 과 같이 1, 2 호기 사이에 위치하며, 주변에 강제 송풍팬 (forced draft fan, FDF), 석탄 공급용 분쇄 송풍팬(pulverizing draft fan, PDF) 및 펌프 블럭 (pump block)이 있기 때문에 팬들의 소음특성이 주로 나타나게 된다. 사무실에서의 소음레벨도 60 dB 를 상회하고 있어 목표치 55 dB 와 비교하여 5dB 이상의 저감이 필요한 실정이다. 본 조사는 태안화력 1, 2 호기 사이의 사무실 소음에 대한 원인분석 및 대책 수립을 위해 수행되었다. 소음계를 이용하여 사무실의 소음레벨을 측정하고 대책 수립시 활용을 위해 각 소음신호에 대한 주파수 분석 및 옥타브(octave) 분석을 수행했다.

2.3. 소음원 규명

Fig. 4는 Fig. 3에 표시된 #1~5 점에서의 소음과 진동을 계측한 결과로서 238Hz와 330Hz 성분이 주 소음원임을 알 수 있다. 소음원으로 생각할 수 있는 강제 송풍팬 및 석탄 공급용 분쇄 송풍팬의 소음 주파수는 날개수에 회전 주파수를 곱한 것으로 계산될 수 있으며, 표 1이 이를 정리한 것이다. 두 결과를 비교해 보면 238Hz 성분은 사무실 방향으로 위치한 강제 송풍팬에 의한 것이며, 330Hz 성분은 사무실에서 상대적으로 멀리 떨어진 송풍팬에 의한 것으로 판단할 수 있다. 이 특성들은 장소에 따라 약간의 차이가 있지만 주 소음원의 역할을 하게 된다.

표 1. 송풍팬의 소음 사양

송풍팬	회전수, rpm	날개수, 개	음주파수, Hz
FDF	870	16	238
PDF	1800	11	330

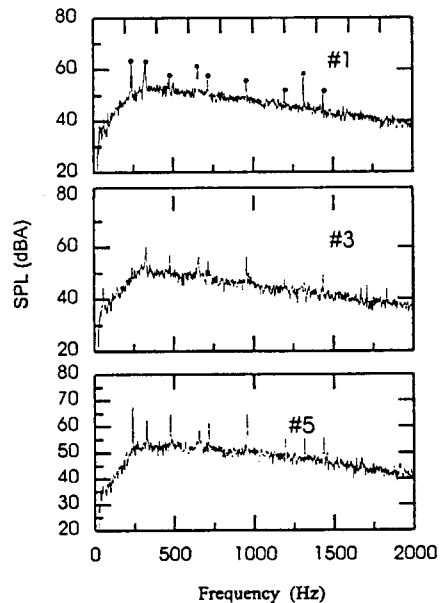


Fig. 4. 각 계측점에서의 소음 주파수 분석

이제까지 사무실 소음에 대한 원인을 주파수 분석을 통해 규명해 보았으며, 특히 238 (검은 원으로 표시), 330Hz (검은 사각형으로 표시) 성분들이 주로 제어되어야 할 주파수임을 판단할 수 있었다. 각 측정점에서의 소음레벨을 정리하면 다음과 같다:

표 2. 각 측정점에서의 소음레벨

측정점	1	2	3	4	5
소음레벨(dBA)	94.5	92	91	93	95

표 3. 팬 블럭으로부터 5m 간격으로 측정한 소음레벨

측정점	6	7	8	9	10	11
소음레벨,dBA	93	94	92.5	90	87	86.5

표 2로 부터 관심부문의 소음이 전체적으로 90dBA를 넘는 높은 소음레벨을 보이며, 표 3으로 부터 팬 블럭에서 멀어질수록 소음이 줄어드는 것으로 보아 소음원이 송풍팬 및 펌프 블럭이란 것을 알 수 있다.

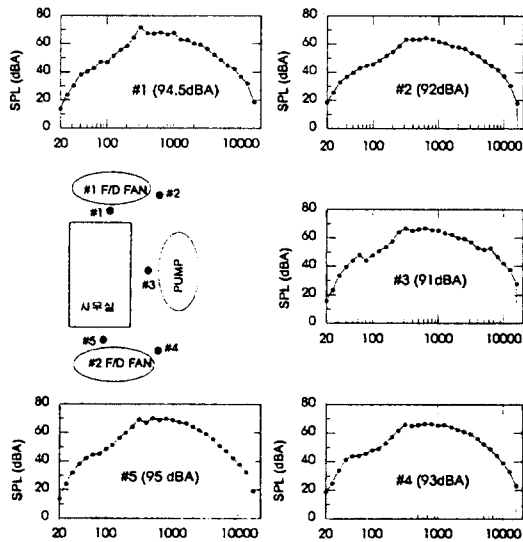
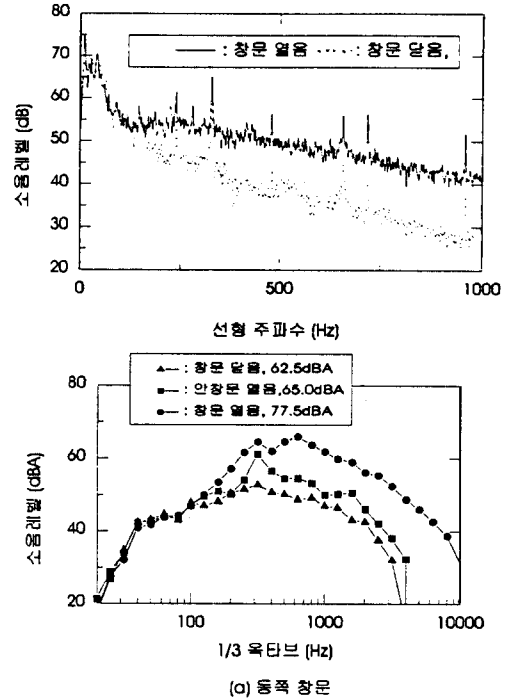
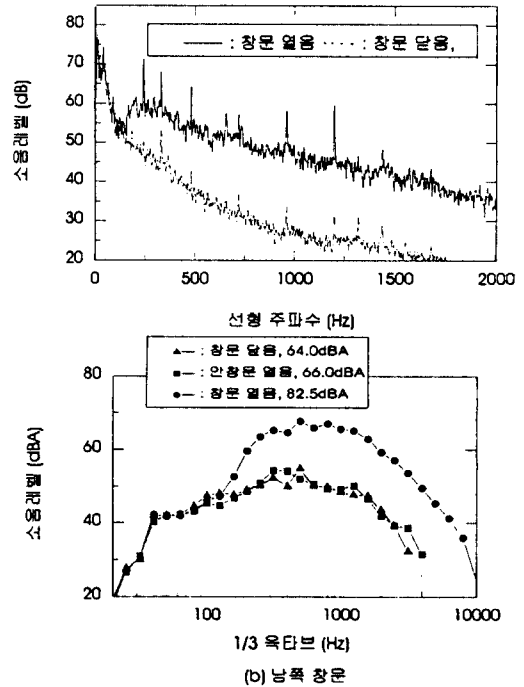


Fig. 5. 사무실 주변 소음의 1/3 옥타브 분석 결과



(a) 동쪽 창문



(b) 남쪽 창문

Fig. 6. 창문에 의한 소음감소 추이

Fig. 6은 동쪽과 남쪽 창문의 개폐에 따라 소음이 줄어드는 현상을 계측한 것으로 대략 150Hz 이하의 저주파수에서는 창문의 열고 닫음이 소음레벨에 거의 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다. 이 영역의 주파수는 지반을 통하여 전달되기 때문으로 판단된다. 이외의 주파수 영역에서는 창문의 열고 닫음이 소음레벨에 영향을 주며, 2중창 구조를 가지고 있기 때문에 창 모두를 닫았을 때 소음 감소분이 큰 것을 알 수 있다. 계측점은 창문의 효과가 줄어들지 않게 하기 위해 창문으로부터 1m 떨어지고 1m 높이에서 계측하였으며, Fig. 4의 외부 계측결과와 같이 238Hz 근방이 내부에서도 주소음임을 알 수 있다. 위 결과에서 관심 주파수 영역에서 많은 양의 소음이 공기를 통해 전달되는 것으로 판단된다. 특히, 벽에 비하여 창문이 음향학적으로 약하기 때문에 소음의 투과는 창문을 어떻게 설계하느냐에 달려있다 할 수 있다.

Fig. 7은 창문개폐에 대한 삽입 손실치 (insertion loss)로서 창문에 의해 소음이 주파수 별로 얼마나 감소하는지 보여준다. 외측창문에 의한 삽입손실은 창문이 없을 때 소음레벨에서 외측창문이 닫혀 있을 때의 소음레벨을 빼주어 구하였고, 내측창문에 의한 삽입손실은 외측창문만 닫혀 있을 때의 소음레벨에서 내외측 모두 닫혀있을 때의 소음레벨을 빼주어 구하였다. 이 결과들은 수학적으로 정확히 구해지는 것은 아니지만, 고주파수에서는 차음벽이 존재할 때의 다음과 같은 질량법칙을 그대로 따르고 있는 것을 알 수 있다.

$$TL = 18 \log(m \times f) - 44 \quad (2)$$

여기서 m 은 면질량 (kg/m^2) 이며 f 는 주파수 (Hz)를 나타낸다. 따라서 면질량이 두배가 되면 소음레벨이 감소효과가 나타남을 알 수 있다. 이와는 반대로 주파수가 낮은 부근에서는 지반을 통한 진동전달 등에 의한 소음이 주가 되기 때문에 차음효과 나타나지 않을 수가 있으며, 이런 현상 때문에 Fig. 6에서 100Hz 미만의 주파수에서 소음저감 효과가 없는 이유를 설명할 수 있다.

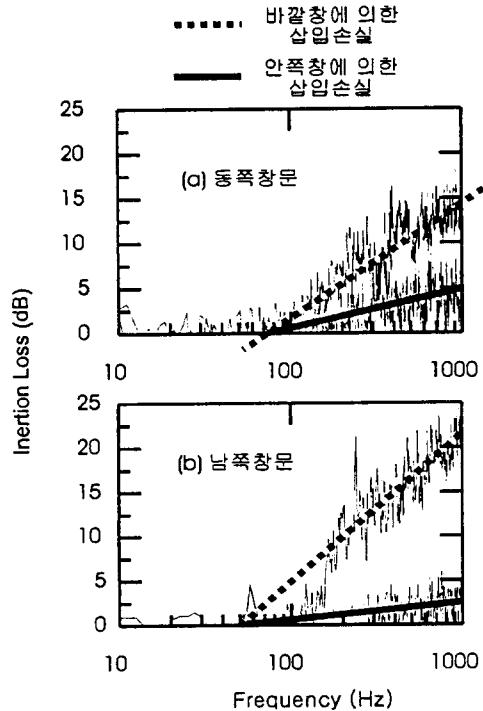


Fig. 7. 창문에 의한 삽입손실

3. 결론

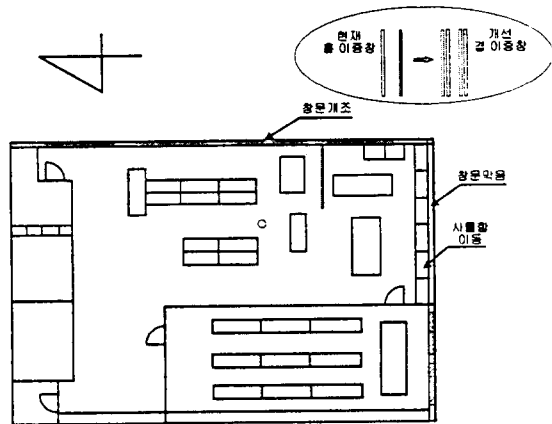


Fig. 8. 사무실 소음제어 개선 사항

사무실의 소음제어 개선책(Fig. 8 참조)은 유리창을 통해 투과되는 소음 에너지를 줄이는 것으로 창문 갯수를

줄여 투과면적을 줄이는 방법과 창문을 두꺼운 경유리 (유리 + 얇은 공기층 + 유리)를 사용하는 것을 생각할 수 있다.

1. 전자의 경우 소음에너지가 창문 면적에 비례하기 때문에 환기나 일조량에 관계없는 창문을 벽면과 같이 만들면 소음제어 측면에 큰 효과를 거둘 수 있다. 다행히 사무실 창문중 2 호기측 (북쪽)은 위에 언급한 바와같이 창으로서 큰 역할을 하지않기 때문에 벽과 같이 만들고 사물함을 위치시킨다면 소음을 줄이는 데 주요 역할을 할 것이다.
2. 두 번째로 투과소음 제어량은 대략적으로 투과 물체 질량에 비례하기 때문에 유리의 두께를 늘려야 하며 같은 질량이라도 내부에 공기층이 있으면 효과가 배가된다.
3. 그러나, 틈새가 조금이라도 있으면 다른 모든 처리가 효과를 거두지 못하게 되므로 완벽한

실행이 요구된다.

4. 부가적으로 벽면으로 투과 되는 소음을 차단하기 위해 기존 사무실 벽 재료 사이에 다공질 흡음재료를 삽입하면 소음효과가 배가되리라 사료된다.

참고문헌

1. Lawrence E. K., "Fundamentals of Acoustics", Willey third edition, 1982.
2. John E. K., "Sound analysis and Noise Control", Van Nostrand Reinhold, 1990.
3. Lewis H. B., "Industrial Noise Control Fundamentals and Applications", Marcell Dekker, 1982.
4. Eldred, K. M., "Standards and Criteria for Noise Control", Proceedings of Inter-Noise Conference, 1978.