

지하기계실에서 발생한 아파트 및 인접거주지역의 소음 발생 원인 분석 및 해결 사례

° 김현식*, 손성완**, 김한준*

Trouble Shooting of Environment Noise Problem for Apartment and Residence Place adjacent to Underground Machinery Room

Hyun Shik -Kim*, Sung-Wan Son**, Han-Joon Kim*

ABSTRACT

Apartment and large residence buildings are necessary to ensure a comfortable noise/vibration environment. So, it must be performed a anti-vibration/noise evaluation at early design stage, such as utility room arrangement, machinery installation method and so on.

In this paper, environment noise status on problem areas, which was issued by resident, was investigated to understand the noise transmission property generated from underground machinery room and to device a optimized countermeasure in order to enhance noise environment. Also, the measured noise levels before and after modification works are compared to confirm the effectiveness of proposed countermeasure.

1. 개요

아파트와 같은 대단위 주민 거주지의 경우, 주민들의 일상 생활에 불편을 주지 않는 수준의 안락한 소음/진동 환경의 확보가 필수적이며 각 거주 환경에 따라 환경 소음/진동 허용치가 제시되어 있다. 이러한 수준의 소음/진동 환경의 확보를 위해서는 아파트와 같은 대단위 거주지의 경우는 초기설계 단계에서 소음원이 되는 각종 유틸리티들의 공기음 및 고체음 전달 특성을 고려한 방음/방진 설계를 바탕으로 유틸리티가 장착되는 기계실의 배치 및 대형 기계의 방진 설치 등이 이루어져야 한다. 이러한 설계가 이루어지지 않는 경우, 시공후에 각종 소음원 및 그 전파 경로 근처에 위치한 주민 거주 지역에서의 소음 민원 사례가 빈번히 보고되고 있다.

본 논문에서는 시공후 지하 기계실에서 발생하는 소음으로 인해 민원이 제기된 아파트 단지 내 및 인근 거주지역의 환경 소음 문제를 해결한 사례를 정리하였다. 먼저, 문제 발생지역의 실태조사를 통하여 설계 기준이 되는 소음/진동 허용치를 제시하였으며, 소음 진동 계측 및 분석을 통하여 소음원 및 전파 특성을 파악하고 이를 바탕으로 제시된 소음 허용 규제치를 만족할 수 있는 대책안을 수립하였다. 그리고 저감 대책 시공후의 소음 저감 효과를 확인하기 위하여 시공후 민원 발생 지역을 중심으로 소음 계측을 수행하였다.

2. 소음/진동허용규제치의 결정

아파트와 같은 미소한 진동과 낮은 소음허용규제치를 다룰 경우, 구조 진동과 방사 소음 사이의 규명이 필요하다. 진동에 의한 소음의 방사 식에는 여러 가지 조건에 의하여 결정되지만 일반적으로 v 의 속도로 진동하는 벽체나 패널에서 SPL(sound pressure level) 값은 아래의 식(L. Cremer, M. Heckl, Structure-Borne Sound, pp 459~482 참조)을 따른다. 이때, 조건은 방사 면적이 관심 음향 주파수 보다 유의할 정도로 큰 경우에 사용되는 식이다.

$$SPL = L_v + 10 \log \sigma + 10 \log \frac{4S}{A}$$

여기서, $L_v = 20 \log \frac{v_{rms}}{v_0}$, $v_0 = 5 \times 10^{-8} m/sec$

σ : radiation efficiency (produces in a reverberation room)

A: room 흡음력 (Sa)

S: structure vibration surface area

상기 식은 벽체의 진동 속도 레벨에서 실내의 소음 레벨이 결정되는 식이다. 여기서 문제가 되는 것은 방사계수 (σ : radiation efficiency)가 주파수의 함수라는 것이다. 만일, 강체 벽체에 의하여 음이 방사될 경우에는 방사계수가 1이 된다. 그리고 4S/A가 아파트의 내실(흡음율:0.2)일 경우, 아파트의 내실 구조체가 인체가 감지할 수 없는 진동 0.2mm/sec[rms]로 강체 진동시 소음레벨은 85dB로 방사된다. 일반적으로 구조체 진동이 16Hz 이하일 경우는 소음으로서 문제가 되지 않지만, 콘크리트 내부를 통과하여 전달되는 진동이 100~200Hz에서 피크치를 가지는 경우에 청감 보정을 할 경우는 71.8dB(A)(중심주파수 160Hz, A 특성 청감보정: -13.2dB)가 된다. 만일, 아파트 내부의 안방이나 거실의 진동허용규제치를 0.2mm/sec로 하고 소음허용규제치를 ASHRAE의 개인주택의 35dB(A)로 결정했을 경우, 구조체의 진동에 기인하는 소음이 71.8dB(A)로 기준값을 약 37dB를 초과한다. 이것은 아파트 벽체와

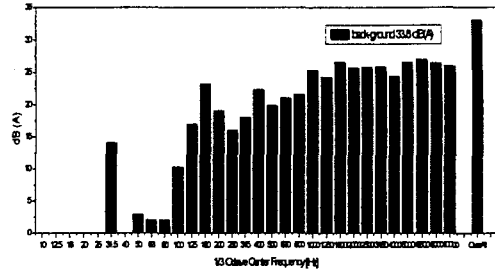
* 유니슨 이엔지(주)

** 알엠에스 테크놀로지(주)

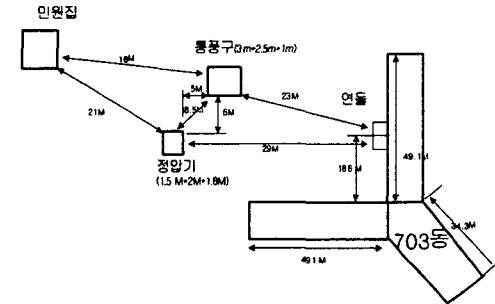
슬라브에서 구조진동이 0.0027mm/s[rms]이하가 되어야만이 소음허용규제치 35dB(A)를 만족할 것으로 예상된다. 소음과 진동허용규제치는 ASHRAE와 ISO규격 및 인간 인식 진동수준을 기초하여 아래의 표1과 같이 결정하였다.

[표 1] 아파트 및 인접 거주지역 소음/진동허용규제치

구분	소음/진동허용규제치	관련 규격 및 내용
아파트 거실 및 내실 소음허용규제치	35dB(A)	※ 미국 공조, 냉동, 냉방 기술자 협회(ASHRAE) : 개인주택
인접 거주지역 환경 소음허용규제치	40dB(A)[Leq, 야간] 50dB(A)[Leq, 주간]	※ 환경기준(환경정책 기본법 시행령 제 2조) - 환경처 : 전용 주거지역
아파트 거실 및 내실 진동허용규제치	0.8gal, 0.125mm/s [무감, 0-peak]	※ JMA(Japan Meteorological Agency), DIN4150
아파트 거실 및 내실 구조소음 관련 진동허용규제치	0.0027mm/s[rms, 구조소음(160Hz, peak) 35dB(A)]	※ L. Cremer, M. Heckl, Structure-Borne Sound,



[그림 1] 112호 거실 암소음



[그림 2] 소음 발생원 위치

3. 소음/진동 측정 분석 및 평가

3.1 측정 목적

서울 동작구 소재 00 아파트 및 인근 주민 거주지에서 발생된 소음/진동 민원에 대한 실태조사 및 효율적인 방음/방진 대책을 수립하기 위하여 정밀 소음/진동 측정을 수행하였다. 소음/진동 계측은 현장 조사를 바탕으로 민원이 발생된 지역을 중심으로 아파트 기계실 및 옥내외에 대하여 진동/소음원 및 전파 경로에 대하여 2차례에 걸쳐 3일간 수행되었다.

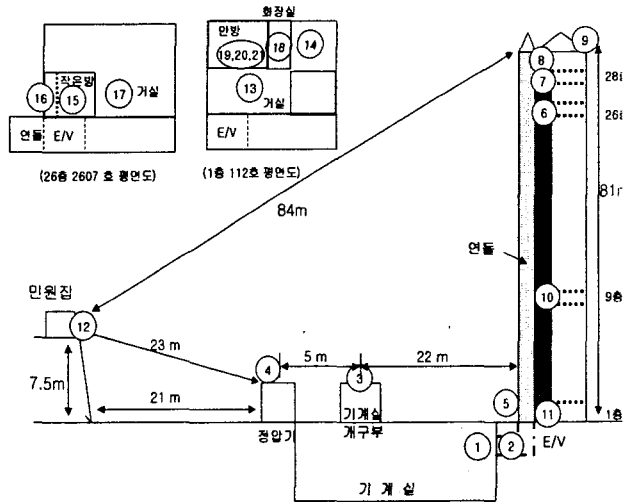
3.2 측정일시

- 1차 소음/진동 계측 : 20001년 2월 23일 - 2월 24일(2일간)
- 2차 소음/진동 계측 : 20001년 3월 2일

3.3 아파트 소음 환경 및 측정 위치

703동 지하 기계실에서 보일러가 가동 될 때 민원 발생지역인 아파트 1층 및 26층 그리고 인근 민가 지역에 영향을 줄 수 있는 소음원은 크게 3가지 정도로 추정된다. 우선, 기계실 내의 연도를 통하여 아파트 외벽을 타고 설치되어 있는 연도에서 1/1 옥타브밴드 중심주파수로 63Hz에 해당하는 저주파 성분의 소음이 강하게 분출되고 있었다. 또한, 정압기에서는 밸브에서 발생하는 2k~4kHz의 고주파 성분의 기류소음이 매우 높게 발생되고 있었으며, 기계실에서 발생한 소음이 기계실 통풍구를 통하여 외부로 발생되고 있었다. 이상의 소음은 아파트 단지 내부뿐만 아니라 지역 민가에도 영향을 미치고 있는 것으로 측정되었으며, 민원 유발의 요인으로 작용하고 있었다. [그림 1]에 703동 1층 112호에 암소음 계측결과를 나타내었다. 보일러가 가동하지 않는 상태에서 암소음은 약 34dB(A) 정도의 수준을 보이고 있다.

소음원들의 소음 특성과 민원지역에서의 소음 수준을 파악하기 위해 2차례에 걸쳐 총 21군데에 대하여 소음 측정이 이루어졌다. [그림 2]에 주 소음원으로 판단되는 발생원들의 평면상의 위치를 나타내었으며 [그림 3]에 소음측정 위치를 나타내었다.



[그림 3] 소음 측정 위치 및 개념도

3.4 소음 측정 결과

[표 2] 소음 계속 측정 결과

계측 조건	계측 지점	계측 위치	주요 주파수 성분		Overall Value
			중심 주파수 (Hz)	Level	
Boiler 기동	1	기계실 연도 입구	630	85.7	92.2
	2	기계실 연도 비트 내	630	74.0	82.8
	3	기계실 지상 토출구	2.5K	68.4	61.4
	4	정압기 입구 소음	2.5K	52.4	73.7
	5	지상 1층 연도앞	2.5K	48.1	53.4
	6	26층 엘리베이터 내부	80	39.1	45.4
	7	28층 엘리베이터 내부	63	42.6	48.2
	8	29층 내부 공동구 소음	80	41.2	46.2
	9	옥상 외부 소음 (연도 7m)	80	62.7	65.3
	10	9층 엘리베이터 내부	80	35.3	40.8
	11	1층 엘리베이터 내부	80	37.1	42.9
	12	연덕 민가지역	2.5K	48.5	54.0
	13	112호 거실중앙	1.25K	28.2	37.2
	14	112호 주방	4K	26.7	36.7
	15	26층 2607호 작은방	63	30.9	37.2
	16	26층 2607호 작은방 창문밖	1K	39.5	46.9
	17	26층 2607호 거실	80	27.4	33.6
Pump 작동 (703 예비, 703 저층, 701/2 고층, 701/2 고층)	18	112호 화장실	160	27.6	37.1
	19	112호 안방	160	32.8	38.6
701/702 고층 난방 Pump	20	112호 안방	160	36.6	40.1
701/702 저층 난방 Pump	21	112호 안방	160	25.2	36.2

계측결과에서 알 수 있듯이 보일러 가동시에 아파트 내부 민원발생 지역인 26층에서 약 37 dB(A) 수준의 높지 않은 소음수준을 보였으나, 주성분이 63-80 Hz의 낮은 주파수 대역이므로 심야에 거북한 소음이 들릴 소지가 있다. 아파트 인근 연덕 민가에서는 54 dB(A)의 전용주거지역 주간 허용치 보다 다소 초과하고 있음을 알 수 있다. 지하 기계실의 난방펌프가 작동하면 1층 아파트 내부에서의 소음이 최대 40 dB(A) 정도로 증가하고 있다.

3.5 기계실 Pump 진동 측정, 분석 및 평가

현장 조사 결과, 아파트 난방을 위해 703동 지하 기계실에 위치한 난방 펌프 배관이 기계실 비트를 지나서 아파트 1층 하부로 통과하고 있으며 난방 펌프가 가동시 인접한 1층의 소음 수준이 증가되고 있으므로 난방 펌프 및 배관에서의 진동과 소음의 연관성을 조사하기 위해 난방 펌프 주위에서의 진동계측이 수행되었으며 그 결과를 표 3에 정리하였다.

[표 3] 기계실 난방 펌프 주위의 진동 계측 결과

계측 조건	계측 지점	계측 위치	주요 주파수 성분		Overall Value (gal)
			중심 주파수 (Hz)	Level (gal)	
Pump 작동 (703 예비, 703 저층, 701/2 고층)	1	701/702 저층 난방 P/P Fdn	443.75	48.0	82.1
	2	701/702 고층 난방 P/P Fdn	147.5	38.8	82.1
	3	701/702 저층 난방 P/P 직선배관 Flexible Joint 하부	147.5	166.0	259.0
		701/702 저층 난방 P/P 직선배관 Flexible Joint 상부	30.0	11.5	36.5
	5	701/702 저층 난방 P/P 곡선배관 Flexible Joint 하부	147.5	46.9	101.0
		701/702 저층 난방 P/P 곡선배관 Flexible Joint 상부	147.5	11.1	38.0
	7	701/702 고층 난방 P/P 직선배관 Flexible Joint 하부	147.5	435.0	608.0
		701/702 고층 난방 P/P 직선배관 Flexible Joint 상부	52.5	6.82	27.2
	9	701/702 고층 난방 P/P 곡선배관 Flexible Joint 하부	120	193.0	277.0
		701/702 고층 난방 P/P 곡선배관 Flexible Joint 상부	30	16.2	33.7
	11	기계실 비트내 배관 가대	147.5	58.5	81.0
	12	기계실 비트내 슬라브 바닥	147.5	0.053	0.14
	13	기계실 비트내 배관	93.75	0.13	1.07

기계실 난방 펌프 주위의 계측결과 계측 위치에 따라 다소 차이를 나타내지만 대부분의 위치에서 펌프의 1차 날개수 주파수 성분인 147.5 Hz에서 주성분을 가지는 계측 결과를 나타내고 있으며 이것은 아파트 1층에서 1/3 Octave Band로 계측된 소음의 중심 주파수 160Hz와 일치하는 것을 확인 할 수 있었다.

4. 소음 저감 대책

예상 소음원 및 문제 발생 지역의 소음 계측 및 분석을 통하여 기계실이 위치한 인근 민간 지역 및 아파트 내부의 소음을 저감시키기 위해서 각 소음원에 대한 소음 저감 대책이 아래와 같이 수립되었다.

4.1 연돌 소음 저감대책

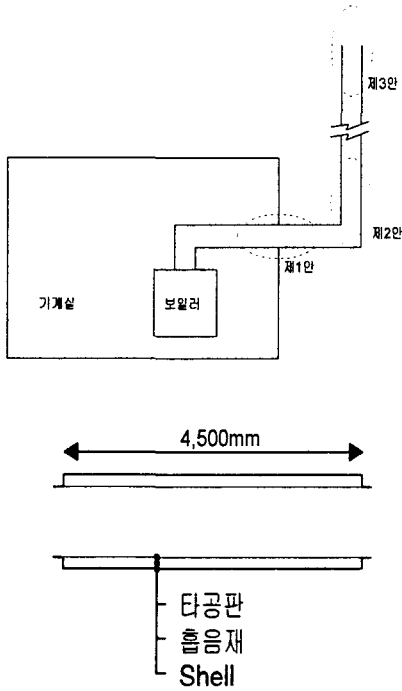
보일러에서 발생한 연소 소음 대책으로는 필연적으로 고온용 소음기가 필요하다. 소음기의 설치 위치는 그림4와 같이 크게 3곳에 설치 가능하고 각각의 경우에 대한 견적이나 시공상의 편리한 것으로 소음기의 사양을 결정하면 된다.

제 1안은 보일러 5대 중에서 마지막 보일러의 배관을 타 보일러와 같은 형태로 배관을 변경하고 연돌 출구 측의 벽체 통해 소음기를 삽입하는 방법으로, 이것은 공간적으로는 충분하며 소음측면에서도 매우 유효한 위치로 판단된다.

제 2안은 연돌이 수직으로 환한 부분으로써 조적으로 구성된 벽체와 300mm 정도 여유가 있어 수직으로 소음기를 설치하는 것을 고려할 수 있다.

제 3안은 연돌의 최상부에 설치하는 것으로 민가나 아파트 세대로 전파되는 소음을 차단할 수 있다. 하지만, 높이가 80m 이상이어서 설치 공사나 지지 방법에 있어서는 다소 문제가 있을 것으로 생각된다.

상기 방법 중에서 최적의 방안은 제 1안으로써 소음을 소음원으로 부터 근접한 위치에서 제어할 수 있어 지상 1층 혹은 연돌 벽체를 통해 전파되는 소음을 초기에 차단할 수 있다. 소음기의 길이는 4.5m인 흡음형 소음기를 설치하고, 보일러의 높은 온도에 견딜 수 있는 구조로 제작되었다. 실제 시공시에는 현장여건을 고려하여 1안과 3안이 혼합하여 채택되었다.



[그림 4] 연돌 소음 저감을 위한 소음기 대책
[* 필요 감음량 : 15dB 이상]

4.2 기계실 지상 토출구 소음 저감대책

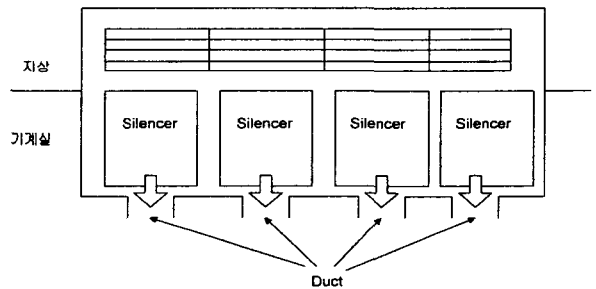
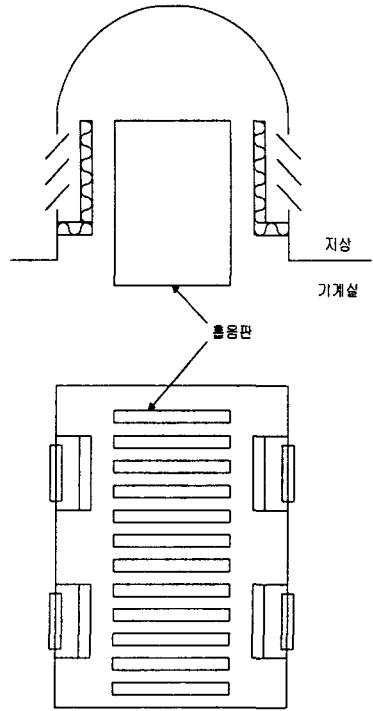
기계실 지상의 토출구에서 발생하는 소음을 저감하기 위해서는 그림과 같이 흡음판을 기계실 내부의 상부(천정)에 일렬로 시공하는 방안을 검토할 수 있다. 또한, 소음저감 효과를 증대시키기 위해 기계실 상부의 토출구 전단에 흡음판을 추가 시공하였다.

그리고, 기계실 내부의 덕트 내로 유입되는 소음 및 팬소음을 저감하기 위해서 덕트 전단에 흡음형 소음기가 설치되었다.

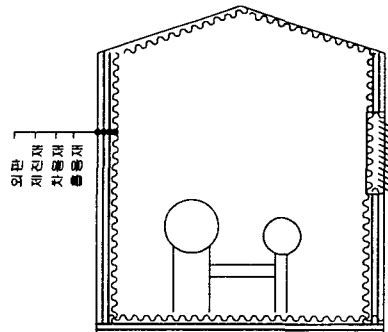
4.3 정압기 소음 저감대책

정압기에서 발생하는 소음은 2k~4kHz의 주파수대역에서 최고값을 보이며, 73.7dB(A)의 높은 소음도를 나타내어 매우 심각한 소음원으로 작용하고 있다. 그러나, 현재 설치되어 있는 정압실 내·외부 구조가 충분한 차음성능을 얻기에 어려운 구조로 되어 있다.

따라서, 정압기 소음을 저감하기 위해서는 충분한 차음 및 흡음구조로 설계되어야 하며, 얇은 철판 구조의 떨림으로 인한 2차 발생 소음을 제거하기 위해 제진재를 부착하였다. 또한, 내부 발열로 인한 온도 상승을 방지하기 위해 통풍구를 설치하는 구조로 제작되었으며 그림6에서 적용된 방음대책의 개략적인 구조를 제시하였다.



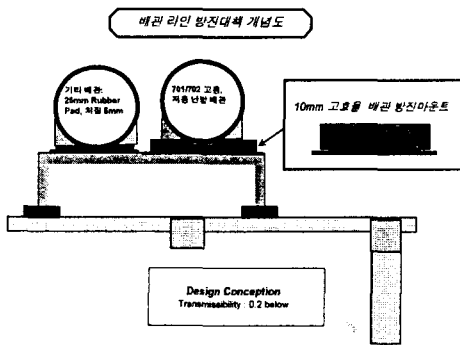
[그림 5] 기계실 지상 토출구 소음 저감 대책
[* 필요 감음량 20 dB 이상]



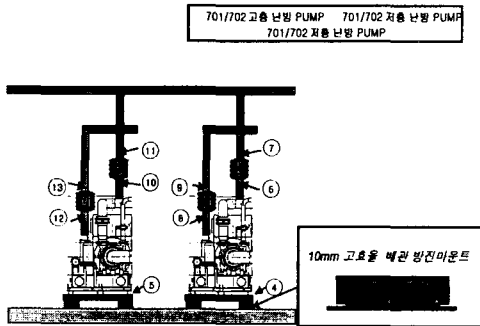
[그림 6] 정압기 소음 저감 대책
[* 필요 감음량 25 dB 이상]

4.4 기계실 난방 펌프 방진 대책

아파트 1층에서의 소음허용규제치를 만족시켜 주기 위해서는 기계실 난방 펌프 작동시의 구조소음에 대한 대책이 필요하다. 구조소음과 배관의 진동이 147.5Hz에서 일치하고 있으며 약 15dB 이상의 진동저감대책이 필요하다. 701/702 저고층 난방 펌프의 Rubber Flexible Joint의 상부 배관에서 일반적인 배관 라인에 비하여 최대 40gal(over all) 수준의 높은 진동이 측정되고 있기 때문에 토입출구 배관에 Rubber Flexible Joint를 하나 추가로 설치하여 2개를 직렬로 연결함으로써 펌프의 진동이 배관을 통하여 전달되는 것을 최소화 하기위해 아래그림과 같이 펌프 Foundation 및 배관에 방진대책을 수립하였다.



[그림 7] 배관 라인 방진 개념도



[그림 8] 펌프시스템 방진 개념도

5. 대책후 소음 계측 결과

5.1 측정 위치 및 조건

실태조사를 거쳐 시행된 방음/방진 대책후의 소음 계측결과의 정량적인 비교 평가 및 민원지역의 소음 환경 평가를 위해 703동 지하 기계실에서 난방 펌프 및 보일러가 가동 될 때 민원 발생지역인 아파트 1층 및 26층의 아파트 내부 및 인근 민가 지역에서 계측이 수행되었으며 연돌 토출구에서의 소음저감 효과를 비교하기 위해 아파트 옥상을 포함한 총 6곳에서의 소음 계측이 수행되었다.

소음 측정시 대책 전의 민원 발생 조건을 고려하여 지하 기계실에 있는 4대의 난방 Pump와 보일러가 가동되는 조건에서 계측을 수행하였다.

5.2 소음 측정 결과

민원 발생지를 중심으로 계측된 6곳의 방음대책 전후의 소음계측 결과를 표4에 비교하였으며 1/3 Octave Band로 계측된 주파수 분석 결과를 그림 9에서 그림 14에 각각 나타내었다.

계측 지점	계측 위치	소음계측결과[Overall, dB(A)]		소음저감량 [dB(A)]
		대책 시공 전	대책 시공 후	
1	옥상 외부 소음 (연도 7m)	65.3	52.0	13.3
2	26층 2607호 작은방	37.2	33.4	3.8
3	26층 2607호 거실	33.7	32.5	1.2
4	1층 112호 안방	40.1	34.3	5.8
5	1층 112호 거실	37.2	33.6	3.6
6	언덕 민가 지역	54.0	44.8	9.2

[표 4] 00 아파트 방음 대책 전/후의 소음 계측 결과

6. 고찰 및 결론

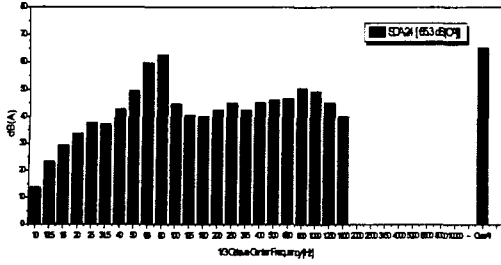
민원 대상 지역인 아파트 내부의 경우 최소 1.2 dB에서 최대 5.8 dB까지 소음 저감이 이루어졌으며 언덕 민가 지역인 경우 약 9 dB 정도의 소음이 감소 되었다.

좀 더 자세히 고찰해 보면, 아파트 703동 26층에서 제기되었던 소음은 연돌에서 발생되는 63-80 Hz의 저주파 소음이 주요한 영향을 끼치고 있었으며 이 소음은 연돌입구에서 소음기 설치에 의해 충분한 감음 효과를 보이고 있음을 알 수 있다. 연돌 소음을 직접적으로 계측할 수 있는 옥상에서의 계측결과는 그림 1에서 볼 수 있듯이 문제가 되었던 저주파수 대역의 소음이 저감됨에 따라 전체 소음레벨이 약 13dB(A) 정도의 감소 효과를 보이고 있으며 26층 아파트 내부 역시 저주파수 대역의 소음이 줄어들어 따라 주민의 민원의 원인이 되었던 거북했던 소음이 제거되었다. 26층 거실에서 약 1 dB의 가장 낮은 저감효과를 보인 것은 대책전의 소음수준이 거의 아파트 자체의 암소음 수준에 가까운 낮은 Overall 값을 보였기 때문으로 판단된다.

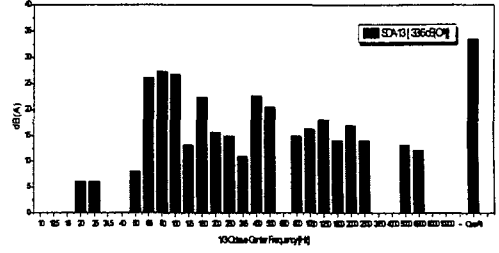
703동 기계실과 가장 인접한 위치에 있는 1층 112호의 주요 소음 성분은 기계실에서 작동하는 난방 펌프에서 발생한 진동에 기인한 구조소음으로 조사되었으며 난방펌프 및 1층 하부를 통과하는 배관을 방진지지 함으로써 최대 약 6 dB 정도의 높은 저감 효과를 얻을 수 있었다.

또 다른 민원지역인 언덕 위의 민가의 경우는 아파트 대지위에 위치한 토출구 및 정압기 그리고 연돌에서 발생하는 소음이 직접 또는 간접적으로 영향을 주고 있었으며 각 소음원에 대한 방음 대책을 수립함으로써 약 9 dB 정도의 진동 저감 효과를 볼 수 있었다.

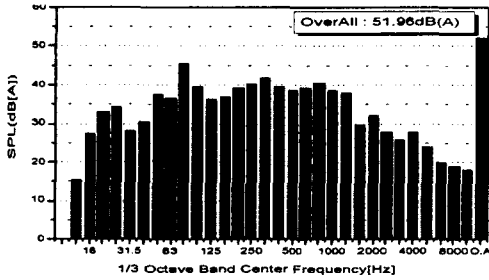
따라서 적절한 방음/방진 대책이 수립됨으로써 아파트 내부 및 인근 민가에서 대책 수립시 설정된 허용 기준치 이하의 소음 수준을 보이고 있으므로 주거 환경에 불편을 주지 않을 것으로 판단된다.



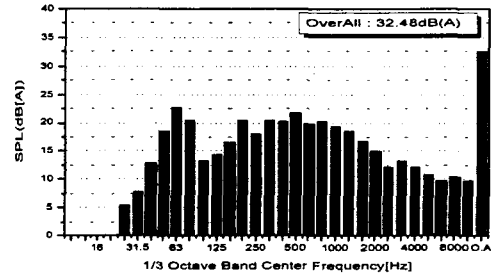
(a) 방음 대책 전



(a) 방음 대책 전



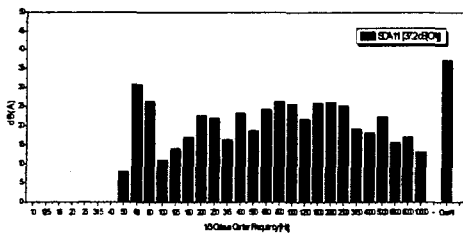
(b) 방음 대책 후



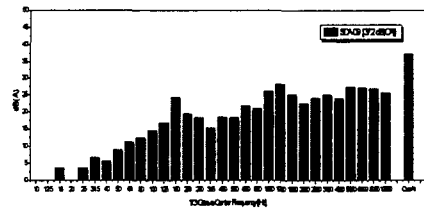
(b) 방음 대책 후

[그림 9] 옥상 외부 소음 계측 결과 (1/3 Octave Band)

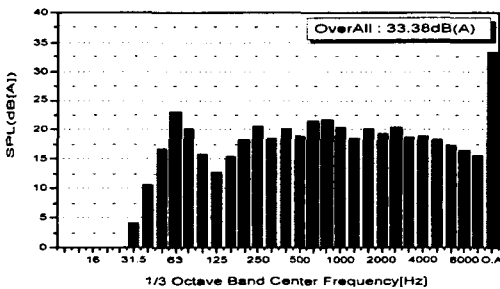
[그림 11] 26층 2607호 거실 소음 계측 결과 (1/3 Octave Band)



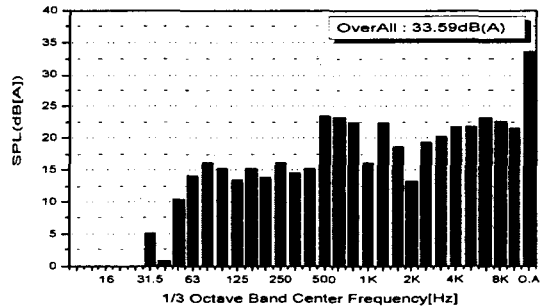
(a) 방음 대책 전



(a) 방음 대책 전



(b) 방음 대책 후



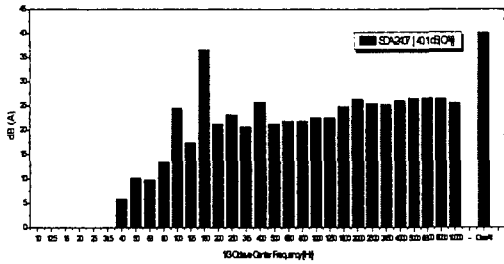
(b) 방음 대책 후

[그림 10] 26층 2607호 작은방 소음 계측결과 (1/3 Octave Band)

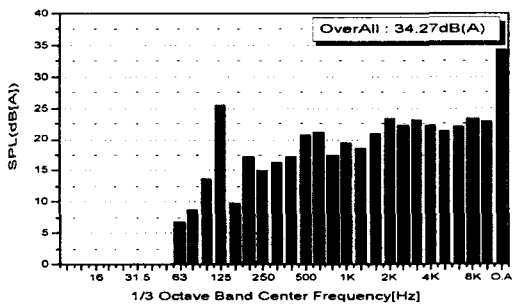
[그림 12] 1층 112호 거실 소음 계측 결과 (1/3 Octave Band)

참고 문헌

- (1) 소음진동공학회, "소음 진동 편람", 1995
- (2) R,H, Warring, " Handbook of noise and vibration control(5th Edition)", Trade&Technical Press LTD, 1983
- (3) Leo L Beranek, Istvan L Ver, " Noise and Vibration Control Engineering", John Wiley, Sons INC., 1992
- (4) 이홍기외, " 국제 전자 센터 인접한 신축 공사에서 발생하는 소음 진동 분석 및 평가 ", 알엠에스 테크놀로지, 2001

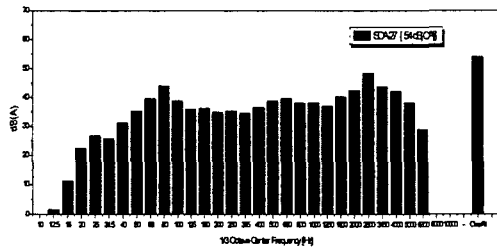


(a) 방음 대책 전

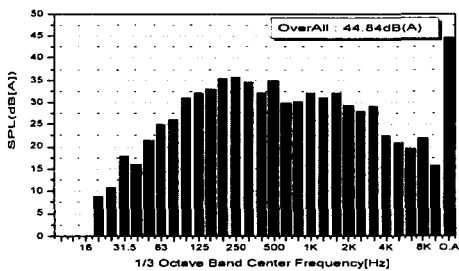


(b) 방음 대책 후

[그림 13] 1층 112호 안방 소음 계측 결과 (1/3 Octave Band)



(a) 방음 대책 전



(b) 방음 대책 후

[그림 14] 언덕 민가 지역 소음 계측 결과 (1/3 Octave Band)