

# 공동주택 설비장비의 소음·진동 실태조사

°김명준\*\*, 김홍식\*, 김하근\*\*

## Research on the Noise and Vibration of Mechanical Equipments in Apartment Buildings

Myung-Jun Kim, Heung-Sik Kim, Ha-Geun Kim

### ABSTRACT

A mechanical equipment room with various equipments may be the largest source of noise and vibration. Without sufficient consideration for noise and vibration control in the phase of designing, it causes some problems after completing construction or enormous cost necessary to correct the problems. Therefore, it is essential to consider the method of noise and vibration control, but the systematic guideline of noise and vibration is not provided yet. This study aims to investigate the actual condition of noise and vibration generated from mechanical equipments in apartment buildings, for providing the guideline of its control.

### 1. 서론

각종 설비기계가 밀집되어 있는 설비기계실은 건물 내에서 가장 커다란 소음진동 발생원이라 할 수 있으나, 설계단계에서 건축 및 기계설비적인 측면에서 방음방진에 대한 검토가 미흡하여 시공 후 문제가 발생할 경우 기술적으로 대책이 불가능하거나 막대한 비용을 지출하여야 하는 사례가 발생하게 된다. 설비기기로부터 발생되어 거주자에게 불만을 야기시키는 소음은 공기음 및 고체음의 복합적인 형태로 주거공간 등으로 전달되기 때문에, 차음 및 흡음을 통한 방음대책 뿐 아니라 설비기기를 구조체와 절연시키는 방진대책도 매우 중요하다. 따라서 효율적인 방음방진 대책을 강구하기 위해서는 설비기기로부터 발생·전달되는 소음진동의 특성 파악이 선행되어야 하나, 이에 대한 연구·

검토 자료는 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 설비기기 및 설비기계실의 방음 방진대책 수립을 위한 기초자료로 활용하기 위해, 공동주택에 설치되고 있는 난방설비 및 급수·급탕 설비 등을 중심으로 설비기기로부터 발생·전달되는 소음진동 실태를 평가·제시하고자 한다.

### 2. 측정 개요

#### 2.1 측정대상 단지 및 설비기기

소음진동 실태조사를 위한 측정대상 공동주택은 총 7개 단지를 선정하였으며, 비교적 설비기기가 집중되어 있는 중앙난방지구를 중심으로 하였다. 각 대상 단지는 660~2,400세대로 이루어진 중·대형 규모의 단지이다. 측정대상 주요 설비기기는 크게 보일러 및 송풍기 등 난방 관련 기기와 펌프류(급수, 중온수 및 난방순환펌프)로 구분할 수 있다. 보일러의 경우 노통연관식 보일러(용량: 3.0~4.5 Gcal/hr)로서 열원으로 경유와 가스를 사용하는

\* 정희원, 대한주택공사 수석연구원  
\*\* 정희원, 대한주택공사 선임연구원

표 1 측정대상 단지 및 설비기기의 개요

구 분	단지개요	측정대상 주요 설비기기
K1지구	-세대수: 660 -난방방식: 중앙난방 -입주일 : '97.7	-보일러(노통연관식, 가스, capacity: 3.0Gcal/hr) 송풍기(draft fan, capacity: 90CMM, 20HP) -중온수순환펌프(single stage volute, capacity: 1,310LPM, 15HP)
K4지구	-세대수: 863 -난방방식: 중앙난방 -입주일 : '97.8	-보일러(노통연관식, 가스, capacity: 3.0Gcal/hr) 송풍기(draft fan, capacity: 90CMM, 20HP) -급수펌프(multi stage volute, capacity: 740LPM, 40HP) -중온수순환펌프(single stage volute, capacity: 1,310LPM, 15HP) -난방순환펌프(single stage volute, capacity: 1,160LPM, 10HP)
D1지구	-세대수: 1,491 -난방방식: 중앙난방 -입주일 : '93.7	-보일러(노통연관식, 경유, capacity: 4.0Gcal/hr) 송풍기(draft fan, capacity: 130CMM, 25HP) -급수펌프(multi stage volute, capacity: 1,400LPM, 50HP) -중온수순환펌프(single stage volute, capacity: 1,750LPM, 20HP) -난방순환펌프(single stage volute, capacity: 790LPM, 7.5HP)
D3지구	-세대수: 1,403 -난방방식: 중앙난방 -입주일 : '93.8	-보일러(노통연관식, 경유, capacity: 4.0Gcal/hr) 송풍기(draft fan, capacity: 130CMM, 25HP) -중온수순환펌프(single stage volute, capacity: 1,750LPM, 20HP) -난방순환펌프(single stage volute, capacity: 790LPM, 7.5HP)
P 지구	-세대수: 2,415 -난방방식: 중앙난방 -입주일 : '92.8	-보일러(노통연관식, 경유, capacity: 4.5Gcal/hr) 송풍기(draft fan, capacity: 140CMM, 25HP) -급수펌프(multi stage volute, capacity: 1,200LPM, 40HP) -중온수순환펌프(single stage volute, capacity: 2,200LPM, 25HP) -난방순환펌프(single stage volute, capacity: 860LPM, 7.5HP)
H 지구	-세대수: 1,420 -난방방식: 지역난방 -입주일 : '95.3	-급수펌프(multi stage volute, capacity: 990LPM, 40HP)

기종을 모두 측정하였다. 측정대상 기기 중 펌프류는 급수펌프의 경우 다단벌류트형(multi stage volute, 740~1,400 LPM), 중온수 및 난방순환펌프의 경우 단단벌류트형(single stage volute, 790~2,200LPM)을 대상으로 하였다.

측정대상 단지 및 설비기기의 개요는 표 1과 같다.

## 2.2 측정항목 및 방법

보일러 및 송풍기, 각종 펌프류로부터 발생·전달되는 소음진동량을 측정하기 위하여, 설비기기를 정상적으로 가동한 상태에서 진동가속도레벨과 소

음레벨을 각각 측정하였다.

진동가속도레벨은 전달경로상 기기의 방진장치 설치 전후면을 기본으로 측정점을 선정하였으며, 진동전달양상을 파악하기 위하여 중앙난방지구의 경우 기계실이 위치하고 있는 건물(주민복지관) 내부와 건물주변에 대해서도 진동을 계측하였다.

펌프류의 경우 그림 1에서와 같이 1차가대와 콘크리트 방진가대(concrete bases), 기초부 및 건물 바닥슬래브 등 4개 지점에서 측정하였다. 1차 가대는 설비기기를 방진가대(또는 방진재)에 연결하기 위하여 주로 철재로 이루어진 빔(beam)으로 구성되어 있다. 보일러의 경우에는 별도의 방진장치

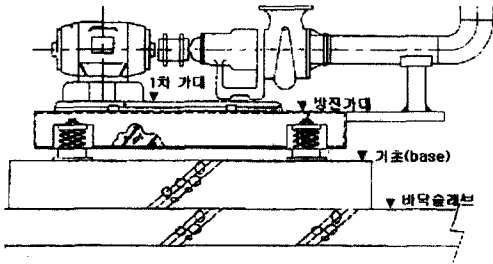


그림 1 진동가속도레벨 측정위치 (펌프류의 경우)

가 없이 기초에 직접 설치하고 있어 기초 및 건물 바닥슬래브에서 진동가속도레벨을 측정하였으며, 송풍기의 경우는 1차 가대, 기초, 바닥슬래브에서 측정하였다.

진동가속도레벨은 3축방향 진동계(vibration level meter, RION VM-52)와 휴대용 진동분석계(vibration analyzer, RION VA-10)를 사용하였으며, 수직방향 진동을 중점적으로 측정·분석하였다.

소음레벨은 KS B 6360(펌프의 소음레벨 측정방법), KS B 6361(송풍기·압축기의 소음레벨 측정방법)에 의거하여 중앙기계실 및 펌프실 내에 설치되어 있는 설비기기 주변에서 소음발생량을 측정하였으며, 소음전달양상을 검토하기 위해 중앙난방지구의 경우 기계실 인접 사무공간과 기계실 환기구 부근의 옥외등에서 소음레벨을 측정하였다.

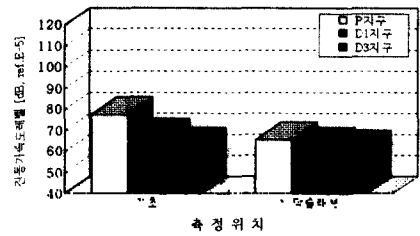
소음레벨은 정밀소음계(precision sound level meter, RION NA-29E)를 사용하였다.

### 3. 측정결과 분석 및 고찰

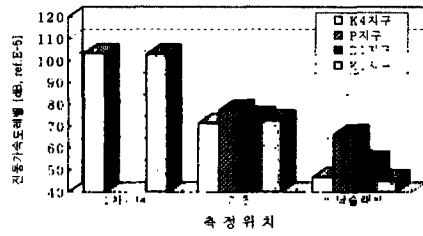
#### 3.1 진동가속도레벨

그림 2는 주요 설비기기별 진동가속도레벨 측정결과를 나타낸 예로서, 측정점별 진동가속도레벨은 전주파수대역의 총합(over all)레벨로 나타낸 것이다. 바닥슬래브의 측정결과는 설비기기가 위치한 기계실 바닥으로 기초 부근 3개점 이상에서 측정한 평균값으로 산정하였다.

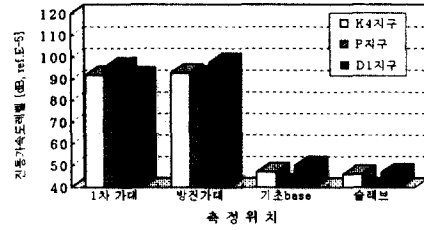
별도의 방진장치 없이 기초 위에 설치되어 있는 보일러의 경우 기초 및 바닥슬래브에서 진동가속



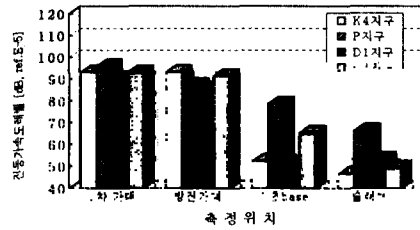
a) 보일러



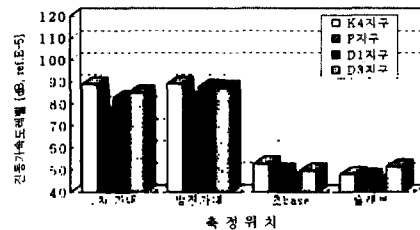
b) 송풍기



c) 급수펌프



d) 증온순환펌프



e) 난방순환펌프

그림 2 주요 설비기기의 진동가속도레벨 발생실태

도레벨은 각각 63~77dB(평균: 69dB), 61~66dB(평균: 63dB) 정도인 것으로 측정되어, 바닥슬래브로 전달된 진동량이 다른 설비기기에 비해 비교적 큰 것으로 분석되었다. 송풍기 및 펌프류의 경우 방진스프링 및 방진고무 등의 방진장치에 의해 진동기초 및 바닥슬래브에 도달하는 동안 상당한 저감효과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 송풍기는 1차가대에서 103dB의 매우 큰 진동이 발생하고 있으나 바닥슬래브에서 평균 53dB로 저감되는 것으로 평가되었다. 또한 펌프류의 경우 진동 전달경로상 방진 전 단계인 1차 및 방진가대에서는 85~94dB인 것으로 나타났으나 방진스프링의 방진효과에 의해 바닥슬래브에서는 47~52dB로 저감된 것으로 평가되었다. 따라서 방진장치를 기준으로 전달경로상 방진 전후면의 진동가속도레벨의 차는 30~50dB 정도인 것으로 분석되었다.

그림 3은 진동원과 인접한 공간에서의 진동특성을 검토하기 위하여 D1, D3지구를 대상으로 건

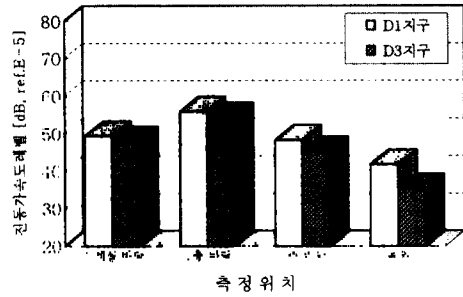
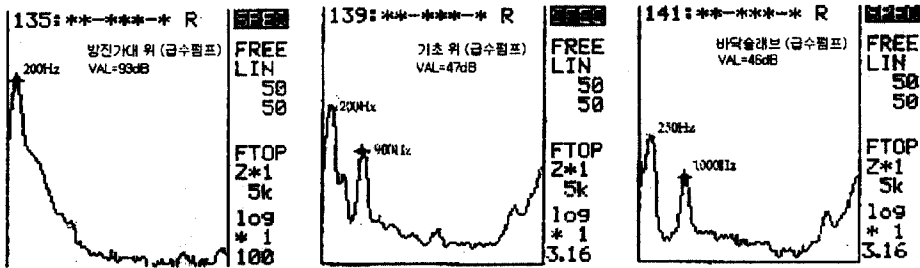
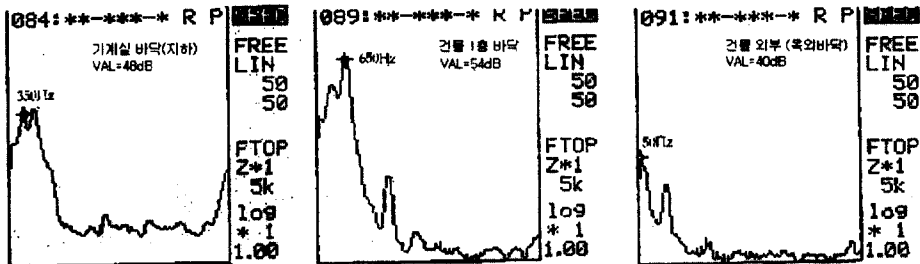


그림 3 건물 내 층별 바닥면 진동가속도레벨

물(주민복지관) 내 층별 진동가속도레벨과 건물 주변 옥외공간(건물과 4m이격된 지반)에서의 진동가속도레벨 측정결과를 나타낸 것이다. 중앙기계실은 건물 지하층에 위치하고 있으며, 바닥면의 진동량은 6개지점의 평균치로 산정한 것이다. 진동가속도레벨 측정결과 기계실 바닥, 1층 및 2층 바닥에서의 진동가속도레벨은 각각 평균 49dB, 55dB, 47dB인 것으로 분석되었다. 진동원인 설비기기가 위치한 기계실 바닥면에 비해 기계실 직상부 지점인



a) 급수펌프 가동시 측정점별 주파수응답 특성



b) 중앙기계실 건물 내에서의 주파수응답 특성

그림 4 진동가속도레벨의 주파수응답 특성 실측 예

건물 1층 바닥슬래브에서 측정된 진동가속도레벨이 오히려 높은 것으로 나타났다. 이는 1층 바닥슬래브의 경우 슬래브 하부에 각종 기계실 배관이 연결되어 있어, 이를 통하여 전달된 진동이 크게 영향을 미치고 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 방음방진 계획수립시 배관에 대한 대책도 면밀히 검토되어야 할 것으로 사료된다. 또한 옥외 지면에서 측정된 진동가속도레벨은 38dB로 나타나, 기계실이 주거동과 떨어져 있는 경우 지반을 통한 진동전달의 영향은 크지 않을 것으로 분석된다.

그림 4는 급수펌프 가동시 측정점별 진동 주파수 응답 특성과 기계실이 위치한 건물 내에서의 진동 주파수 응답 특성의 예를 나타낸 것이다. 급수펌프의 경우 방진 전후면에서 진폭의 크기만 다를 뿐 200Hz 부근의 주파수영역에서 모두 1차 피크치를 보이고 있는 것으로 나타났다. 중앙기계실이 위치한 건물 내에서의 주파수 응답 특성은 기계실 바닥면에서는 350Hz 부근에서 피크치를 보이고 있으나 1층 바닥면에서는 650Hz에서, 옥외 지면에서는 50Hz에서 피크치를 보이는 것으로 나타나 전달경로면에 따라 피크 주파수영역이 다른 양상을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

### 3.2 소음레벨

그림 5는 K4지구에서 측정된 보일러 및 송풍기 가동에 따른 소음레벨을 대표적으로 나타낸 것으로, 보일러 2대 가동시 버너 및 송풍기측으로부터 1.2m 떨어진 지점에서 측정된 소음레벨을 함께 나타낸 것이다. 버너측 및 송풍기측에서 측정된 소음(over all)레벨은 각각 82.9dB(A), 91.0dB(A)로 나타나, 보일러 가동시 송풍기로부터 발생하는 소음레벨이 지배적임을 알 수 있다. 또한 소음레벨의 주파수특성은 1kHz 대역에서 피크치를 나타내는 산형(山形)분포를 보이는 것으로 나타났으며, 대부분의 측정대상 단지에서 공통적인 양상을 보이는 것으로 분석되었다.

그림 6은 급수펌프 가동시 소음레벨 측정사례를 나타낸 것이다.

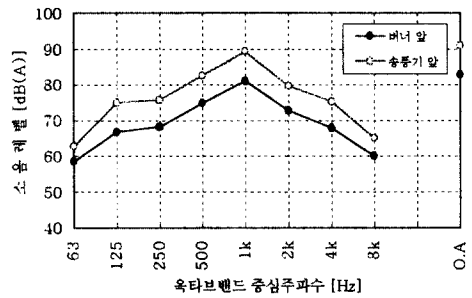
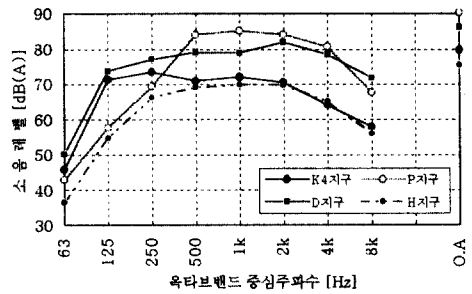
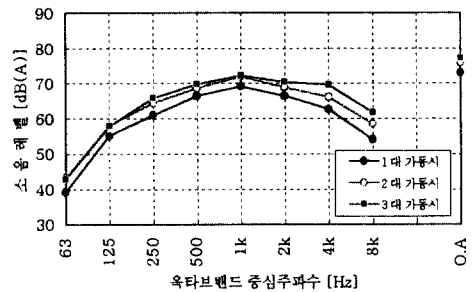


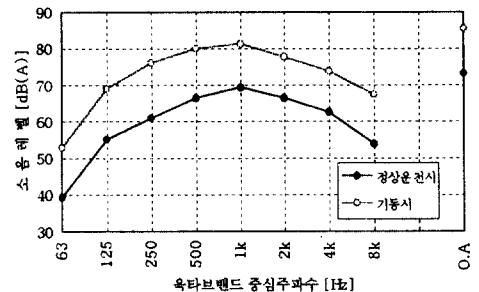
그림 5 보일러 가동시 소음레벨 (K4지구)



a) 급수펌프 1대 가동시 단지별 소음레벨



b) 급수펌프 가동대수별 소음레벨 (H지구)



c) 급수펌프 가동상태별 소음레벨 (H지구)

그림 6 급수펌프 가동시 소음레벨

a)는 급수펌프 1대 가동시 펌프주변 1m지점에서 측정된 소음레벨을 평균하여 나타낸 것으로, 측정 대상단지에 따라 소음레벨이 75.5 ~90.3dB(A)인 것으로 분석되었다. 소음레벨의 주파수 특성은 측정 단지에 따라 다소 차이가 있으나 대체로 특정주파수에서 피크치를 보이기 보다는 125Hz~4kHz에서 전반적으로 높은 레벨을 나타내는 평탄한 특성을 보이는 것으로 분석되었다. 그러나 펌프실의 크기 및 흡음력, 펌프의 설치위치 등 소음에 영향을 미치는 각종 조건이 서로 상이하기 때문에 펌프용량에 따른 소음레벨 특성을 세부적으로 분석하는 데는 한계가 있었다.

b)는 나란히 놓여진 급수펌프를 1~3대까지 증가시켜 가면서 가동대수별 급수펌프 발생소음을 측정된 사례(H지구)를 나타낸 것이다. 가동대수가 1대일 경우에 비해 2대 및 3대로 늘어남에 따라 소음레벨은 각각 2.8dB(A), 4.1dB(A) 증가하는 것으로 나타나, 파워원의 대수 증가에 따른 소음증가량 산정식<sup>1)</sup>과 비교적 잘 일치하는 결과를 보이고 있었다. 또한 가동대수 증가에 따른 주파수특성은 유사한 것으로 평가되었다.

c)는 급수펌프 최초 기동(起動)시와 정상운전시의 소음레벨을 비교하여 나타낸 예로서, 옥상물탱크의 수위에 따라 빈번하게 기동과 정지를 반복하는 급수펌프는 기동시의 소음레벨이 정상운전시의 소음레벨 보다 약 12dB(A) 큰 것으로 분석되었다.

그림 7과 그림 8은 각각 중온수 및 난방순환펌프로부터 발생되는 소음레벨 측정결과이다. K1지구와 K4지구에서 측정된 중온수순환펌프 가동시 소음레벨은 모두 75.4dB(A)로 나타났으며, K4지구와 P지구에서 측정된 난방순환펌프 가동시 소음레벨은 각각 75.0dB(A) 및 74.8dB(A)로 유사한 것으로 평가되었다.

그림 9는 중앙기계실 내부의 소음실태를 종합적으로 파악하기 위하여 보일러, 중온수 및 난방순환

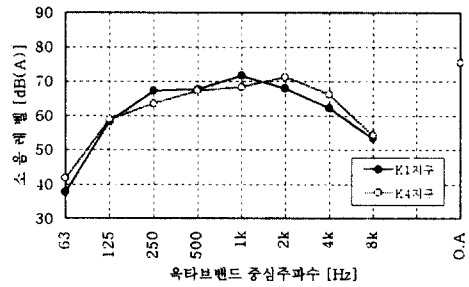


그림 7 중온수순환펌프 가동시 소음레벨

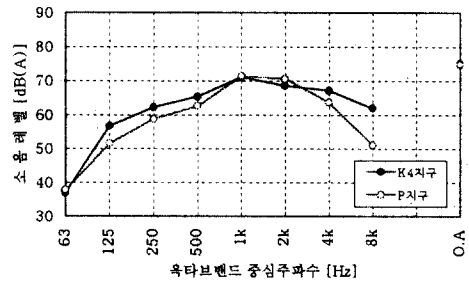


그림 8 난방순환펌프 가동시 소음레벨

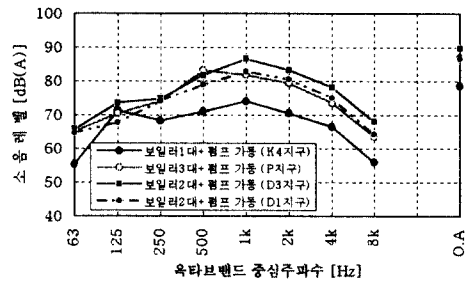


그림 9 중앙기계실(보일러실) 내 소음레벨

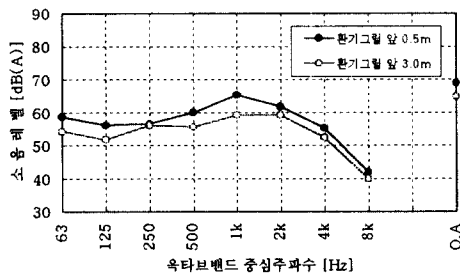
펌프류 등의 설비기기가 정상 가동되고 있는 상태에서 4개 지구에서 측정된 소음레벨 측정결과를 나타낸 것이다. 소음레벨은 중앙기계실 5개지점 이상에서 측정된 소음레벨의 평균치로 산정하였다. 4개 지구에서 측정된 중앙기계실 내 소음레벨은 78.7~89.8dB(A) 정도인 것으로 나타났다. 보일러 1대를 가동한 K4지구의 소음레벨이 78.7dB(A)로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 보일러 2~3대를 동시에 가동한 나머지 3개 지구에서는 소음레벨이 86.6~89.8dB(A)로 매우 높은 것으로 나타났다. 소

1)  $\Delta L = 10 \times \text{Log}(n)$  [dB],

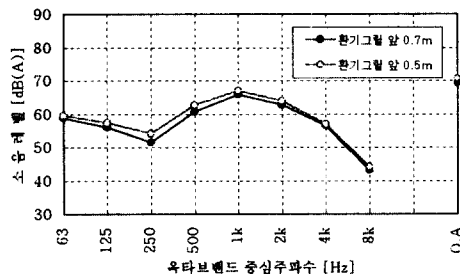
단,  $n$ 은 파워원의 대수,  $\Delta L$ 은 소음증가량

음레벨의 주파수특성은 대체로 1kHz 대역에서 가장 높은 것으로 나타나, 중앙난방지구의 기계실 소음레벨은 주로 보일러 가동시 송풍기로부터 발생되는 소음이 가장 크게 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

그림 10은 중앙기계실로부터 옥외로 전달되는 소음실태를 검토하기 위하여, 중앙기계실 내 설비기기를 정상적으로 가동시킨 후 옥외(환기그릴로부터 0.5~3.0m 이격지점)에서 측정된 소음레벨을 나타낸 것으로, 환기그릴로 연결되는 환기구 창호를 개방한 상태에서 측정을 실시하였다. 옥외에서의 소음레벨은 65~71dB(A)로 나타났으며 1kHz 대역에서 소음레벨이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 중앙난방지구의 경우 기계실 환기구 창호를 개방한 상태에서 보일러를 포함한 각종 설비기기를 가동할 경우 기계실로부터 옥외로 전달되는 소음은 환경기준(55dB(A), 일반지역 낮시간대 기준)을 초과할 수 있는 것으로 평가되었다.



a) D1 지구



b) D3 지구

그림 10 옥외(중앙기계실 환기그릴 부근)에서의 소음레벨

### 3.3 관련 기준과의 비교

설비기기가 집중되어 있는 공동주택 설비기계실 소음·진동 실태를 평가하기 위하여 관련 기준과 비교하였다.

특히 진동의 경우 설비기계실 공간에 대한 허용기준이 명확하게 제시되어 있는 사례가 없기 때문에, 본 연구에서는 작업장(workshop) 및 공장의 허용기준을 준용하였다. 또한 진동과 소음 모두 단일척도에 의한 평가기준을 적용하였다.

진동 허용기준은 진동의 방향(x, y, z) 및 주파수를 가중하여 인체가 느끼는 민감도(sensitivity)를 평가·제시한 C.M. Harris의 기준과 개정작업이 진행중인 ISO의 제안 기준을 토대로 기계실 바닥슬래브에서 측정된 결과와 비교·평가하였다. 또한 소음의 경우 기계실 내 소음레벨 측정결과를 L.F. Yerges가 제안한 건물내 기계실의 소음기준과 비교하였다.

진동 및 소음 실태결과를 평가기준과 비교하여 나타내면 표 2와 같다.

표 2 설비기계실의 진동·소음 실태평가

구분	실태	허용기준
진동 <sup>1)</sup>	45~66dB	69dB (0.028m/s <sup>4</sup> ) *C.M. Harris *실용도: factories or workshop
		76dB (0.063m/s <sup>4</sup> ) *4th Working Draft ISO 2631-2 *실용도: workshop
소음 <sup>2)</sup>	NC-75~NC-85	NC-70 *L.F. Yerges *실용도: building mechanical equipment room

\*주1) 진동의 허용기준은 가속도실효치(rms)를 진동가속도레벨(ref. 10<sup>-5</sup>m/s<sup>3</sup>)로 환산한 것임.

\*주2) 소음의 실태(NC)는 측정 소음레벨을 역A특성 보정하여 NC값을 산정한 것임.

진동의 경우 측정 진동가속도레벨은 기준치를 모두 만족하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 소음의 경우 NC-70(Noise Criteria)기준을 모두 상회하는 것으로 나타나, 특히 기계실이 주거 및 사무공

간 등과 인접하여 있는 경우 흡음 및 소음원의 차폐대책 등을 통하여 소음을 저감시킬 수 있는 방안의 마련이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

공동주택에 설치되고 있는 난방설비 및 급수·급탕설비 등을 중심으로 설비기로부터 발생·전달되는 소음·진동을 현장측정을 통하여 파악하고, 이들 설비기가 집중되어 있는 설비기계실의 소음·진동 실태를 허용기준과 비교·평가하였다.

본 연구에서 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 설비기기 주변 바닥슬래브에서 측정된 진동가속도레벨은 별도의 방진장치(코일스프링 및 방진고무)가 없는 보일러 버너의 경우가 61~66dB로 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 일반적으로 방진장치를 사용하고 있는 송풍기 및 각종 펌프류의 경우 방진장치 전후면에서의 진동가속도레벨 차가 30~50dB정도인 것으로 나타나 진동저감효과가 큰 것으로 분석되었다.

2) 기계실이 위치한 건물(주민복지관)에서 층별 바닥면 진동을 측정·분석한 결과, 각종 설비기기가 위치한 기계실 바닥면에 비해 기계실 직상부 지점인 1층 바닥면에서의 진동가속도레벨이 오히려 평균 6dB 큰 것으로 나타났다. 이는 각종 기계실 배관이 1층 바닥슬래브 하부에 연결되어 있어 배관을 통한 진동전달이 직접적으로 영향을 미치고 있기 때문인 것으로 판단된다.

3) 각종 설비기로부터 발생하는 소음도를 기기로부터 약 1m 이격된 지점에서 측정된 결과, 보일러 가동시 송풍기로부터 발생하는 소음레벨이 85~99dB(A)로 가장 큰 것으로 평가되었으며, 급수펌프로부터 발생하는 소음레벨도 76~90dB(A)로 비교적 큰 것으로 평가되었다.

4) 기계실에서 발생하는 소음·진동 측정결과를 허용기준과 비교한 결과, 진동가속도레벨은 모두

기준치 이내인 것으로 평가되었으나, 소음레벨의 경우 기준치(NC-70)를 상회하고 있는 것으로 평가되었다. 따라서 특히 기계실이 주거 및 사무공간 등과 인접해 설치되는 경우 소음저감대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 김홍식, 김명준, "공동주택 기계실 설비장비의 방진설계 및 시공", 한국소음진동공학회지, 제9권, 제6호, 1999.12, pp.1065~1071
2. 대한주택공사, 기계설비설계핸드북, 1997
3. 한국소음진동공학회, 소음·진동편람, 1995
4. 대한설비건설협회, 기계설비하자사례 대책집, 1999
5. 田中基八郎 外, 振動をみる, オーム社, 1994
6. ASHRAE, Inc., ASHRAE HANDBOOK - HVAC Application, 1995
7. C.M. Harris, Handbook of Noise Control, 1979
8. L.F. Yerges, Sound, Noise and Vibration Control, 1969