

공동주택 승강기 운행소음·진동 실태 및 저감설계

° 김명준* · 김하근* · 김홍식**

Research on the Elevator-operating Noise and Vibration in Apartment Buildings

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

ABSTRACT

In accordance with the tendency to construct high-rise apartment buildings, the transporting elevators tend to speed up to 90~105m/min and to drive more frequently. So, the problem of noise produced by the elevator operation has been treated as an important subject.

In this research, the actual conditions of noise and vibration which generated and transmitted by the elevator operation in apartment buildings were measured and analysed. And the several noise and vibration control design which helps reduce noise were examined.

1. 서론

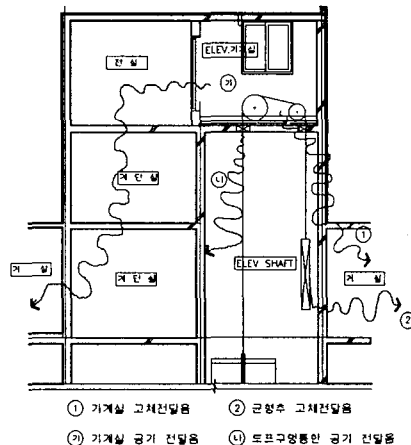
국내의 승강기 수는 최근 계단실형 공동주택의 보편화와 함께 급격히 증가하여 전국에 약 17만대에 이르게 되었다. 승강기 1대당 이용세대수를 30세대로 가정한다고 해도 약 510만 세대 정도가 승강기를 이용하고 있다고 할 수 있다.

건축적으로는 인동간격 확보, 건물 스페이스의 이용 확대 등의 이유로 승강기 기계실 및 승강로에 근접하여 거실 또는 침실을 설계하는 경우가 많고, 이와 함께 건물 (초)고층화에 따른 승강기 운행속도 및 운행빈도의 증가로 소음·진동 문제의 발생 가능성이 높아지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 승강기 운행에 따른 소음·진동 발생 및 전달 실태를 현장 실측을 통해 파악하고, 전달경로 분석결과 등을 종합하여 소음진동 저감을 위한 설계방안을 검토하였다.

2. 소음·진동 전달경로

[그림1]은 현재 일반적인 승강기 구성의 예로서 주거공간으로의 소음·진동 전달경로를 나타낸 것이다. 발생원은 각기 고체음과 공기음의 형태로 전달되며 기계실에서는 전동기, 기어, 제동기 등의 작동에 따른 소음진동이, 승강로에서는 카 및 균형추 승강에 따라 레일로부터 발생하는 소음진동이



[그림1] 승강기 운행소음·진동 전달경로

* 정희원, 대한주택공사 선임연구원
E-mail: mjkim@knhc.co.kr, (031)738-4738/9
** 정희원, 대한주택공사 수석연구원

주 원인이 되고 있다. 소음의 주요 전달경로를 요약하여 나타내면 다음과 같다.

1) 고체음

- ① 기기 → 방진재 → 기계대받 → 기계실슬래브 → 승강로벽체 → 세대
- ② 가이드슈 → 레일 → 브라켓 → 승강로벽체 → 세대

2) 공기음

- ㉗ 기계실 → 로프구멍 → 승강로벽체 → 세대
- ㉘ 기계실 → 기계실출입문 → 계단실 → 세대

2. 소음·진동 설계목표치(안)

현재 국내외에서 엘리베이터 소음에 대한 법규는 제정되어 있지 않으나, 일본건축학회에서는 소음레벨을 N곡선 또는 인간의 청감과 비슷한 dB(A)에 의해 평가하고 있다. 대한주택공사에서 렉기개발로부터 수탁 받아 연구한 “공동주택 내부소음 저감방안 연구”(1989)에서는 엘리베이터 소음의 설계목표치를 35dB(A)로 제안한 바 있다. 적정 실내소음도에 대한 국내외 기준사례는 <표1>과 같다.

<표1> 공동주택의 적정 실내소음도

구분	소음도, dB(A)	비고
렉기개발(주) (승강기 소음)	35	“공동주택 내부소음 저감방안 연구”, 1989.6.
대한주택공사 (급배수 설비소음)	40	“공동주택 내부소음 기준 설정 연구(II)”1991.12
ASHRAE, HUD	35~45	낮은 목소리로 2m 이하의 거리에서 양호한 대화 가능
일본건축학회	특급(특별)	30 집중할 경우 들린다.
	1급(표준)	35 신경을 쓰면 신경쓰인다.
	2급(허용)	40 약간 신경 쓰인다.

일반적으로 승강기 소음은 주로 야간에 불편을 호소하는 경우가 많으며, 진동으로부터 발생하는 불규칙적인 비정상음으로 정상적인 소음에 비해 거주자들의 소음 지적율이 높은 실정이다. 우리나라와 정서가 비슷한 일본의 경우도 일본건축학회의 권장 기준치인 1급 35dB(A)를 많은 연구 논문

및 보고서에서 설계목표치로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 승강기 소음에 대한 국내외 연구결과를 토대로 유예적으로 35dB(A)를 승강기 소음의 설계목표치로 하고자 한다.

한편 진동의 경우는 C.M. Harris 등의 연구 결과를 참고하여 진동설계 기준은 54dB(진동가속도 레벨)로 설정하였다.

<표2> 승강기 운행소음·진동 설계목표치(안)

소음 설계기준	진동 설계기준	
	진동가속도레벨 [dB, ref.10 ⁻⁵ m/s ²]	진동가속도 진폭 실효치 [m/s ²]
35dB(A)	54	0.005
* 실용도: 주거공간, * 적용시간: 야간(22:00~06:00)		

3. 승강기 운행소음·진동 실태

3.1 측정개요

승강기 운행에 따른 소음진동 실태를 평가하기 위하여 공동주택 8개 단지를 대상하였다. 측정대상 승강기는 중량이 1,000kg(15인승)인 경우가 가장 많으며, 대부분 인버터 제어방식(KC, KD 단지: 교류환방식)이 적용되고 있으며, 운행속도는 60m/분~105m/분이다.

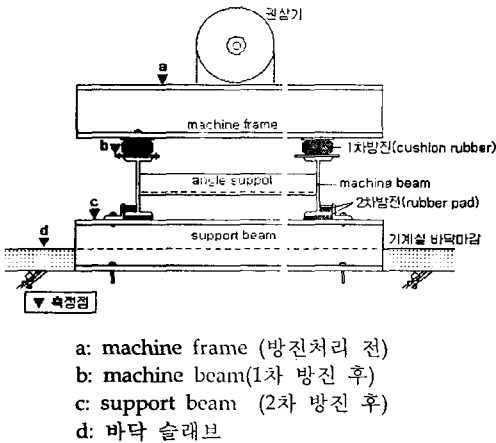
측정대상 승강기의 주요 제원은 <표3>과 같다.

<표3> 측정대상 승강기의 개요

단지 구분	중량,kg (인승)	속도 (m/분)	정격출력 (kW)	정격회전수 (rpm)
KA	1,000(15)	105	16	1450
KB	1,000(15)	90	15	1450
DS	1,000(15)	60	11	1450
HS	1,000(15)	90	15	1775
IS	1,038(15)	60	11	1480
YD1	1,000(15)	105	15	1775
YD2	1,000(15)	105	16	1450
SK	900(13)	60	11	1529
KC	1,150(17)	60	11	1690
KD	750(11)	60	7.5	1690

소음의 측정은 주로 승강기 기계실, 승강기 홀, 세대 내부에서 이루어졌으며, 정밀소음계(RION, NA29)와 테이프레코더(RION, LR-04)를 이용하였다. 정상주행시 소음도는 등가소음레벨을 정지 및 기동시 소음도는 피크소음레벨을 각각 3회 이상 측정하여 평균값으로 산정하였다.

진동의 측정은 진동에 대한 인체 감각특성을 잘 대별하는 것으로 알려진 1Hz~90Hz 주파수대역에 대한 진동레벨 측정을 기본으로 하였으며, 특히 기계실 권상기 등 주요 부위에 대해서는 세부적인 검토를 위해 측정주파수대역을 2kHz까지 확대하여 진동가속도레벨을 함께 측정하였다. 진동레벨 및 가속도레벨은 수직성분의 진동을 측정하였다. [그림2]는 권상기 및 기계실에서의 진동측정점을 나타낸 것이다.

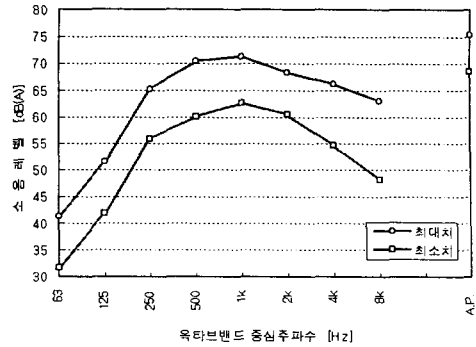


[그림2] 권상기 및 기계실에서의 진동 측정지점

3.2 소음실태 측정결과

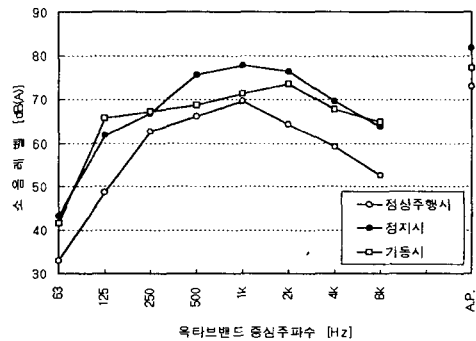
1) 승강기 기계실

[그림3]은 정상주행시 대상단지 승강기 기계실 내에서 측정된 소음레벨을 최소 및 최대치로 정리한 것으로, 총합소음레벨은 67.8~75.1dB(A)로 평가되었다. 주파수특성은 500Hz~2kHz대역에서 소음레벨이 가장 크게 나타나고 있었으며, 권상기 구동을 위한 전동모터의 회전소음이 주류를 이루고 있는 것으로 판단된다.



[그림3] 기계실 내의 소음레벨 분포 (정상주행시)

[그림4]는 DS단지에서 측정된 승강기 운행조건별 기계실 내에서의 소음레벨 측정결과를 예로 함께 나타낸 것으로, 기동 및 정지시의 소음레벨이 각각 77.2dB(A), 81.7dB(A)로 정상주행시의 소음도보다 4~9dB(A) 크다. 측정대상 승강기에 따라 차이가 있을 수 있으나 전반적으로 제어반 콘택터 및 스위치 작동음과 함께 기동시에는 가속에 따른 전동기 이상음이, 정지시에는 제동기 작동음, 감속기어 마찰음 및 감속기 불균형 소음이 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 따라서 이와 같이 승강기 기동 및 정지시 짧은 시간동안 급격히 높아지는 소음의 제어를 위해서는 우선적으로 주기적인 점검을 통한 유지관리가 필수적인 것으로 사료된다.

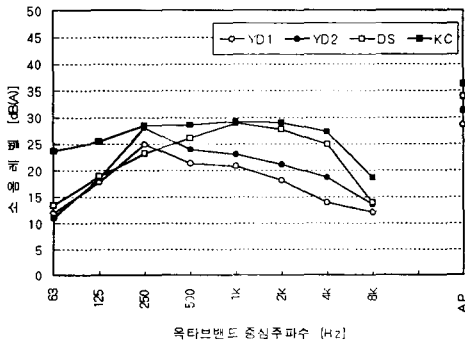


[그림4] 운행조건에 따른 기계실 내 소음레벨

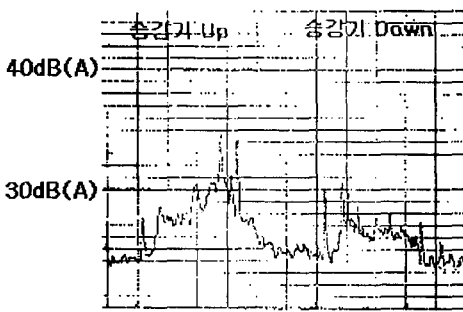
2) 세대 내부

[그림5]는 승강기 기계실과 상대적으로 인접해

있는 최상층 세대 내에서의 소음레벨 측정결과를 나타낸 것으로, 총합(overall)소음레벨이 28.6dB(A) ~36.2dB(A)로 나타났다. 승강기 소음설계목표치(안)인 35dB(A)와 비교할 때 KC단지는 설계목표치를 1.2dB(A) 초과하고 있으나, 나머지 단지에서는 설계목표치를 만족하는 것으로 평가되었다. 세대 내 소음레벨의 특성을 결정하는 지배적인 주파수 대역은 측정대상 단지에 따라 250Hz~4kHz의 넓은 범위로 분포하고 있으며, 기계실 소음의 주파수 특성이 세대 내에서도 유사하게 반영되고 있는 것으로 분석되었다.



[그림5] 세대 내에서의 소음레벨 (최상층)



측정점	승강로 인접 최상층(23층) 침실
운영조건	-승강기 Up : 9층 → 23층 -승강기 Down: 23층 → 9층

[그림6] 승강로 인접실의 소음레벨 시간특성 예 (YD1단지, 최상층 침실)

[그림6]은 레벨레코더를 이용하여 승강기 운행시

승강로와 인접한 침실에서 측정된 소음레벨의 시간특성 예를 나타낸 것이다. 소음레벨은 기계실에서 경우와 마찬가지로 기동 및 정지시 짧은 시간 동안 피크 파형을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 승강기가 측정점 부근을 통과할 때 소음레벨이 커지며 측정점으로부터 멀어질수록 소음레벨이 작아지는 양상을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 승강로와 인접한 세대에서의 소음레벨은 주로 주행 레일로부터 전달되는 고체음이 크게 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

3) 계단실을 통한 소음레벨 변화

공기음 전달경로중 하나인 계단실을 통한 소음레벨의 변화특성을 검토하였다. 기계실 내부에서의 소음도를 기준으로 각 측정점별로 총합소음레벨 감쇠량을 나타내면 <표4>와 같으며, 소음레벨의 주파수특성 예(SK단지)는 [그림7]과 같다.

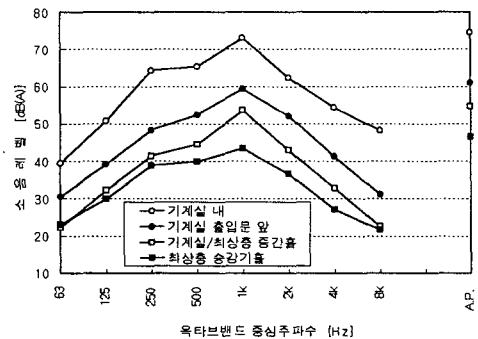
<표3> 측정점별 기계실 소음레벨의 감쇠량

[단위: dB(A)]

구분	단지명	KA	KB	DS	SK
기계실 내 소음레벨		73.0	72.1	72.9	74.6
감쇠량	기계실 출입문 앞 (출입문 닫은 상태)	-	5.2	17.0	13.6
	기계실과 최상층 세대 사이의 계단실	13.6	-	-	19.9
	최상층 세대 승강기 홀 (세대 출입문 앞)	20.9	23.6	28.0	28.1

주1) 감쇠량은 기계실 내 소음레벨과의 차이를 의미함.

주2) KA, KB 단지의 경우 기계실 출입문이 환기그릴형임.



[그림7] 측정점별 승강기 소음레벨 예 (SK단지)

기계실 내 소음이 기계실 출입문 및 계단실을 통하여 최상층 세대 앞에 도달되는 과정에서 약 21~28dB(A) 정도의 감쇠되는 것으로 평가되었다. 특히 일정이상의 환기면적 확보를 위해 기계실 출입문을 그릴형으로 사용한 KA, KB단지의 경우에는 상대적으로 소음이 용이하게 세대 입구까지 전달되므로 설계시 유의할 필요가 있다고 사료된다.

3.3 진동실태 측정결과

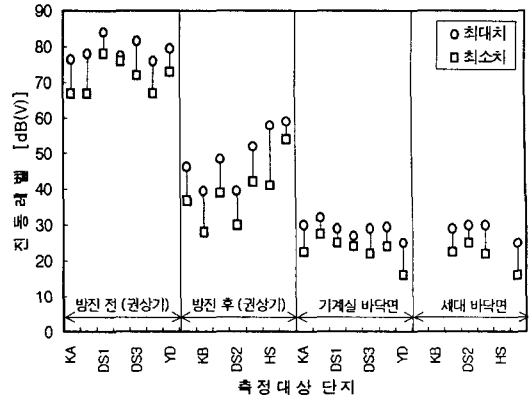
4개 단지 총 7종의 승강기를 대상으로 승강기 운행에 따른 진동량 실측결과를 종합하여 나타내면 [그림8]과 같다.

권상기를 지지하고 있는 machine frame(방진처리 전)에서의 진동레벨은 67.0dB(V)에서 최고 81.5dB(V)인 것으로 측정되었으며, 1차 및 2차 방진처리 후에는 진동레벨이 28.0dB(V)에서 최고 58.0dB(V)로 나타났다. 또한 기계실 바닥면에서의 진동레벨은 최고 30dB(V) 전후인 것으로 나타났으며, 진동가속도레벨로는 41~54dB정도인 것으로 측정되었다¹⁾. 권상기에서 발생된 진동에너지는 방진재의 효과와 기계대 연결부위에서의 진동손실 등의 영향으로 방진후의 측정점에서 진동량이 급격히 저하되고 있으며, 또한 중량물인 기계실 바닥에 이르는 동안 진동에너지의 저감이 대부분 이루어져 기계실 바닥면과 세대내 바닥면에서의 진동량은 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

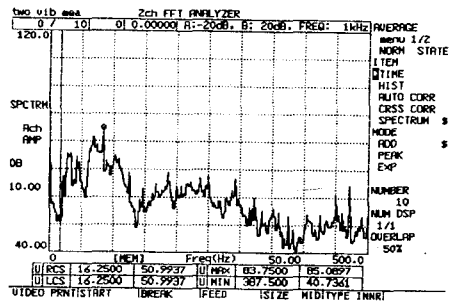
따라서 진동 자체만으로 평가할 경우 인간이 진동을 느끼기 시작한다는 최소 진동가속도레벨이 55dB 정도임을 감안한다면, 승강기 운행시 기계실 등으로부터 전달되는 진동이 거주자에게 영향을 미치는 경우는 아주 작을 것으로 판단된다. 다만 고체음은 감각역치 이하의 진동에서도 발생할 수 있으므로 별도의 검토가 필요하다.

[그림9]는 KA단지 기계실에서 측정한 진동가속도레벨의 스펙트럼 특성의 예를 나타낸 것이다.

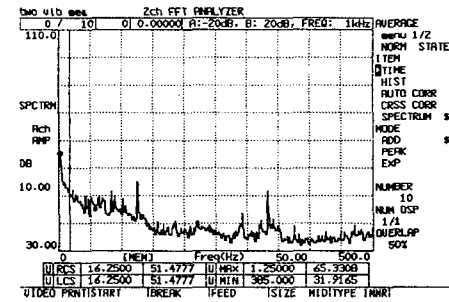
1) 진동레벨(y) 측정이 함께 측정된 진동가속도레벨(x)과의 상관식(y)은 $y=1.03x-17.04$ ($R^2=0.9749$)로 분석되었다.



[그림8] 측정점별 진동레벨 분포



△ 방진처리 전



△ 2차 방진 후

[그림9] 진동가속도레벨 스펙트럼 특성 예 (KA)

권상기 방진처리 이전의 진동가속도레벨은 84Hz에서 최고치(85.1dB)를 보이고 있으며, 50Hz~100Hz 주파수범위에서 진동에너지가 가장 많이 분포하고 있었다. 또한 2차 방진처리가 이루어진 권상기 기계대에서 거의 전 주파수영역에서 진동가속도레벨이 크게 저하됨을 알 수 있었다.

4. 소음·진동을 고려한 설계방안 검토

승강기 소음·진동에 대한 최적설계방안을 모색하기 위해, 주택설계자 측면에서 본 연구에서 검토한 결과를 간략히 소개하고자 한다.

1) 승강기 운행속도 조정에 따른 소음변화

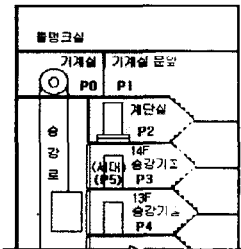
조 건	평가지점	소음저감량
105m/분 → 60m/분	승강기 홀 (22F, 12F, 6F)	2.7~5.4 dB(A)
105m/분 → 90m/분	세대 내부 (22F, 12F, 6F)	0.8~1.5 dB(A)

⇒ 심야시간대(23:00~05:00) 정속운행시스템 채용
105m/분→60m/분: 세대에서 약 2dB(A) 저감 기대

2) 기계실 내부마감재에 의한 흡음효과 분석

- 기계실 내부 흡음팩스($\alpha=15$)시공유무에 따른 소음레벨 저감효과 검토

⇒ 기계실로부터 멀어질수록 흡음처리에 의한 효과는 줄어듦. (세대에서는 거의 차이 없음)



측정지점	저감량
P0	5.9
P1	4.7
P2	9.1
P3	5.1
P4	1.7
P5	0.3

[단위: dB(A)]

△ 소음레벨 측정지점

3) 세대 인접 승강로 벽체구조의 차음성능 평가

구 분	A 구조	B 구조
벽체구조 [단위:mm]	-콘크리트 옹벽 200	-콘크리트 옹벽 200
	-공간층 (C)	-유리면(24k) 50
	(발포폴리스티렌 50)	-폴리에틸렌필름2겹
	-시멘트비둘 (0.5B)	-석고보드 15
	-석고보드 12.5	
소음 최상층	28.0 dB(A)	27.9 dB(A)
레벨 중간층	28.0 dB(A)	26.3 dB(A)

⇒ 철근콘크리트($t=150\sim 200\text{mm}$)로 구성된 일반적인 승강로 벽체는 기본적으로 공기음에 대해서 충분한 차음성능을 확보하고 있음. 따라서 단순한 벽체구조 변경을 통해 추가적인 커다란 차음성능의 향상은 기대하기 어려운 것으로 판단됨.

4) 기계실 출입문 유형에 따른 소음전달

- 기계실 바닥면적의 1/20이상의 환기면적 확보 (승강기 검사기준)⇒ 그릴형 출입문 사용으로 계단실을 통하여 세대로의 소음전달 우려
- 차음성능(기계실 내외부 음압레벨차) 평가결과: 일반철재문: 17~18dB(A), 그릴형: 4~13dB(A)
- 설계단계에서 충분한 환기면적을 확보하고, 그릴형 출입문 사용억제

5) 가이드 레일의 설계시방 개선

- 레일중량 개선: 8kg/m → 13kg/m (카 용) 3kg/m → 5kg/m (균형추 용)
- 레일 가공오차 기준 : $\pm 2\text{mm}/5\text{m}$ 이내
- 레일이음매 단차의 시공오차: $\pm 0.05\text{mm}$ 이내

4. 결론

공동주택 (초)고층화에 따라 수직운송설비인 승강기의 운행속도 및 운행빈도의 증가로 세대 내로 전달되는 소음·진동에 대한 효율적인 저감대책의 수립이 요구되고 있다. 이에 본 고에서는 승강기 운행에 따른 소음·진동 실태와 소음·진동을 고려한 최적의 설계를 도출하기 위해 실무적으로 적용 가능성이 높다고 판단되는 방안의 검토결과를 소개하였다.

승강기 소음·진동은 특히 유지관리 과정에서 문제가 발생하는 경우가 많음을 감안할 때, 향후 그에 따른 체계적인 원인분석과 대응에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- (1) 대한주택공사, “공동주택 승강기 운행소음·진동 저감대책 연구”, 2000.12
- (2) 조관배, “승강기 소음·진동대책”, Elevator·Parking System, 1997.3
- (3) C.M.Harris, Handbook of Noise Control, 1979
- (4) 杉山美樹 外, “エレベーターの振動解析-居室騒音低減への應用”, 三菱電氣技報, 57(6), 1993
- (5) エレベーターハイテク技術, オーム社, 1995