한국소음진동공학회 '94춘계학술대회논문집 pp. 94-99

엘리베이터 소음및 진동의 원인에 관한 연구

° 이 성 춘*, 김 준 호*, 김 두 훈*

(A Study on the Cause of Noise and Vibration of an Elevator)

(Seong-Choon Lee, Joon-Ho Kim, Doo-Hoon Kim)

1. 서론

최근 인구의 과밀화와 이에 따른 지가의 상승 등으로 대표적인 주거용 빌딩인 아파트의 고층화가 급속하게 진행되고 있고 아파트에 설치되는 엘리베이터도 점차 대형화, 고속화 되고 있다. 실례로 15층 아파트의 경우 11인승, 60 m/min의 엘리베이터가 일반적으로 사용되는 반면, 20층 아파트의 경우 17인승, 90 m/min이 주로 사용된다.

이와 같이 엘리베이트의 용량과 운행 속도가 증가함에 따라 필연적으로 소음 및 진동 문제가 발생하게 된다. 특히 아파트의 경우 침실, 공부방 등 고도의 정숙을 요하는 생활공간이 많고, 내부 공간의 활용도를 높이기 위하여 이들 방들이 엘리베이터 기계실 또는 운행 통로와 직접 접하여 있는 경우도 있어 이 경우 소음, 진동 문제는 아주 심각한 문제로 대두된다.

본연구소가 측정한 바에 의하면 S신도시 L아파트의 경우 아파트 최상층 방에서 실내 소음도가 46dB(A), 벽의 진동가속도가 3.4 mm/s^2(RMS)으로 나타났다. 진동의 경우 생활에 직접적인 악영향을 미칠 수준은 아니지만 소음의 경우 ASHRAE 권장 주택소음 기준치가 35dB(A) 이하임을 감안하면 주거에 곤란한 수준이다.

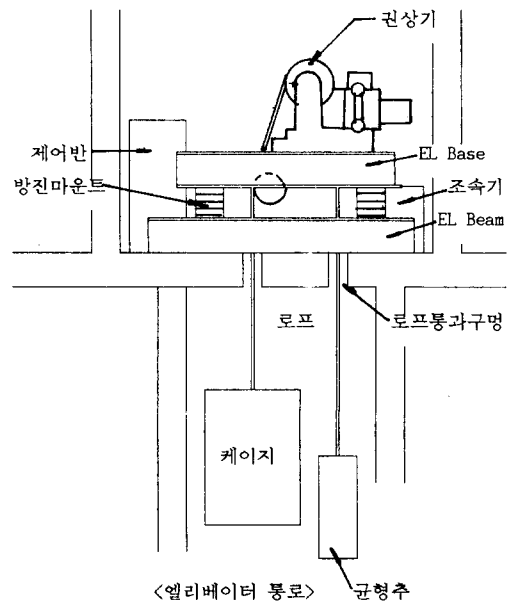
수년전, 고층 아파트가 보급될 초기에는 아파트에 엘리베이터가 설치되어있다는 그 자체만으로 충분한 장점이 되어 다소의 소음, 진동문제는 큰 불만거리가 되지 않았지만 엘리베이터가 보편화된 지금에는 엘리베이터의 편리성만으로는 점점더 크게 요구되는 정숙성이 보상되지 않는다. 따라서 전반적인 아파트의 소음,진동 문제에 큰비중을 차지하는 엘리베이터에 의한 소음,진동에 관하여 체계적인 연구가 필요하다. 이에 본고에서는 엘리베이터에 의한 아파트의 소음 및 진동에 관하여 그 현황, 원인 그리고 대책에 관하여 논하고자 한다.

* 유니슨산업(주) 유니슨기술연구소, 정회원

2. 엘리베이터 기본구조 및 소음,진동의 발생 및 전파 기구

2.1 엘리베이터의 기본구조

아파트에는 주로 로프식 승용 엘리베이터가 설치되며 그 기본 구조는 Fig.1에 보인 바와 같이 권상기, 캐이지(Cage), 균형추(Balance weight),제어반(Control Box), 그리고 조속기로 구성된다. 권상기는 구동 모터, 브레이크 장치, 감속기, 로프 풀리 및 몸체 구 조물로 구성되어 캐이지를 상승, 하강 또는 정지 시키는 역할을 담당하며 제어반은 구동 모터 동력의 단속, 브레이크 구동, 도어 개폐 등의 역할을 한다. 그리고 조속기는 캐이지 또는 균형추와 연결되어 이들의 과속시 안전장치 역할을 한다. 권상기, 제어반 그리고 조속기는 엘리베이터 기계실에 설치되고 이들은 와이어 로프, 케이블 등으로 엘리베이터 통로의 균형추 및 케이지와 연결되어 있다. 엘리베이터 통로 내부에는 케이지와 균형추가 가이드레일을 따라 상승 또는 하강한다.



<Fig 1.> 엘리베이터 기본구조

2.2 엘리베이터 소음 및 진동의 발생 및 전파기구

엘리베이터 운행시 발생하는 소음 및 진동 원인으로는 다음 사항을 들 수 있다.

1) 권상기의 모터작동 소음 및 진동
2) 권상기의 감속장치의 웜업 및 웜업기어 작동 소음 및 진동
3) 권상기의 브레이크 작동 소음
4) 제어반의 단자 착탈 소음 및 충격
5) 케이지 및 균형추의 가이드레일 활주 소음 및 진동
6) 기타 (케이지도어 개폐음, 벨소리, 인원 승하차시 발자국소리, 대화음 등)

상기 원인에 의하여 발생한 소음 및 진동은 주로 다음경로를 통하여 아파트 실내로 전달되어 문제를 야기한다.

1) 권상기 작동 소음 -> 로프통과구멍 및 기계실 바닥 투과 -> 엘리베이터 통로 -> 벽 투과 -> 실내 소음
2) 권상기 작동 소음 -> 권상기 방진고무 -> 기계실 바닥 진동 -> 건물 구조 진동 -> 방의 벽 및 천정 진동 -> 소음 방사 -> 실내 소음
3) 제어반 작동 충격 -> 기계실 바닥 진동 -> 건물 구조 진동 -> 방의 벽 및 천정 진동 -> 소음 방사 -> 실내 소음
4) 엘리베이터 케이지 및 균형추의 가이드 레일 활주진동 -> 엘리베이터 통로 벽 진동 -> 건물 구조체 진동 -> 방의 벽, 천정 진동 -> 소음 방사 -> 실내 소음
5) 기타

엘리베이터 소음 및 진동 측정 결과 및 피해 주민과의 대화를 종합해 본 결과 엘리베이터 소음 및 진동 문제의 대부분은 기계실의 권상기 작동시 발생하는 진동 및 소음에 기인한 실내 소음이며 피해 지역 또한 아파트의 최상층 즉, 기계실과 인접한 세대가 대부분인 것으로 파악되었다.

3. 엘리베이터 소음 및 진동현황

엘리베이터의 소음 및 진동 문제는 엘리베이터의 기종(제작사, 용량, 운행 속도), 건물내에서 엘리베이터의 배치, 건물 구조 및 소음,진동 전파 특성 등에 따라 양상이 각각 다를 수가 있다. 본고에서는 당연구소가 접한 엘리베이터중 가장 심각한 소음 문제를 야기하고 있는 S신도시 L아파트의 엘리베이터에 기인한 소음 및 진동 현황을 소개한다.

건물 및 기계실의 제원중 소음 및 진동에 영향을 미치는 인자는 다음과 같다.

1) 건물
- 기계실 바닥 두께 : 150 ㎜
- 엘리베이터 통로 벽 두께 : 150 ㎜
- 콘크리트 강도 : 210 kg/㎠
- 기계실 내부 흡음처리

2) 엘리베이터 기계 (K사 제품)
- 권상기 중량(Motor포함) : 1590 kg
- 케이지 중량 : 1758 kg
- 균형추 중량 : 2333 kg
- 승객 : 17인승 (1150 kg)
- 기타중량(로프, 프레임등) : 513 kg
- 운행속도 : 90 m/min
- Motor 회전수 : 1261 rpm
- 제어방식 : 인버터 제어
- 제어반 중량 : 220 kg

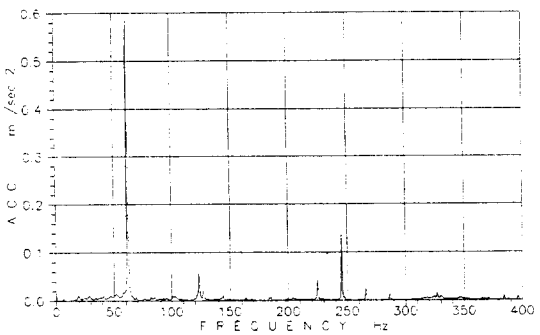
상기 조건에서 별도의 방음.방진대책 수립전 엘리베이터 주요부위 진동은 <Table.1>과 같다.

<Table.1> 엘리베이터 주요부위 진동

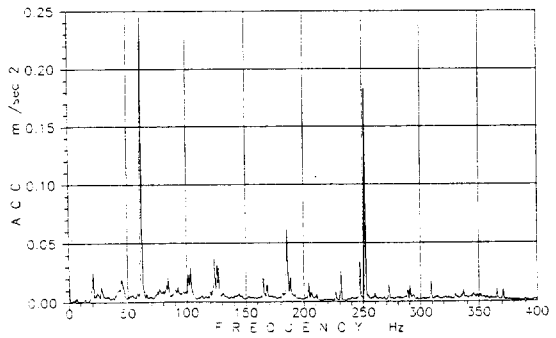
(단위 : m/s^2)

순번	위 치	탁 월 주 파 수 (Hz)						Total	비고
		60	125	165	185	250	370		
1	EL. 모타	0.58	0.05	-	-	0.14	-	0.7	Fig.2
2	권상기 몸체	0.24	0.03	-	0.06	0.18	-	0.4	Fig.3
3	EL. BASE	0.1	0.09	-	0.14	0.55	0.14	0.7	Fig.4
4	EL. BEAM	0.09	0.08	-	0.03	0.2	0.06	0.3	Fig.5
5	실내 벽	1.3m	0.9m	0.9m	-	3.4m	-	6m	Fig.6

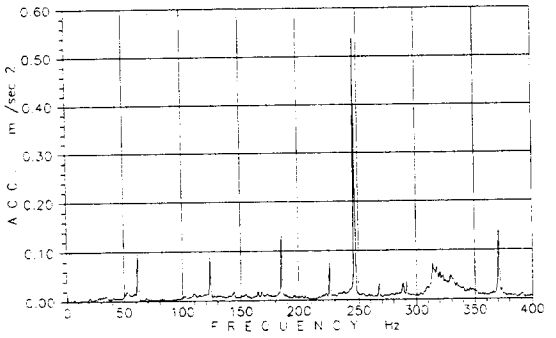
* 순번 1,2,3,4는 지면에 수직방향 측정값
** 순번 5는 벽에 수직방향 측정값
*** 측정번호 5의 m은 1/1000을 나타냄



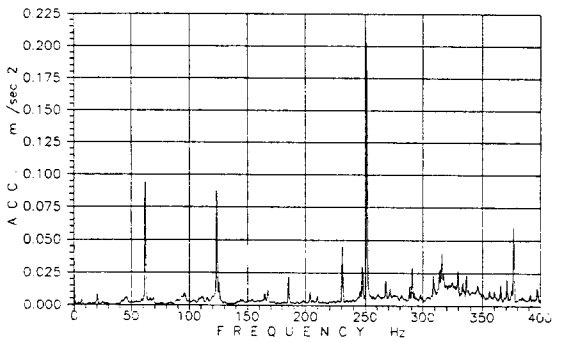
<Fig. 2> 권상기 모타 진동



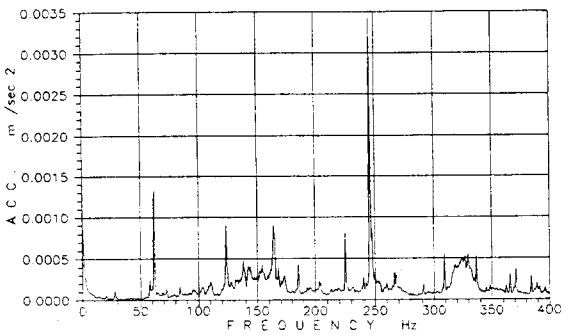
<Fig. 3> 권상기 몸체 진동



<Fig. 4> Elevator Base 진동



<Fig. 5> Elevator Beam 진동



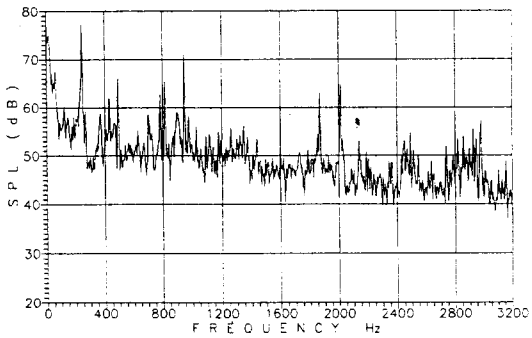
<Fig. 6> 실내 벽진동

기계실 및 문제의 실내소음의 주요성분은 <Table.2>와 같다.

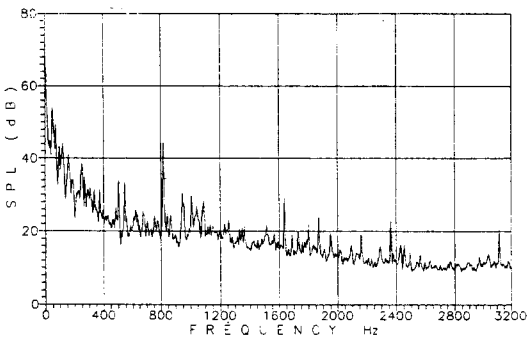
<Table.2> 엘리베이터 소음의 주요성분

순번	위 치	주 요 주 파 수 성 분 (Hz)	비 고
1	기계실	60, 250, 500, 670, 825, 950, 1860, 2000	Fig.7
2	실 내	60, 120, 170, 250, 500, 550, 825, 950, 1000, 1100, 1350, 1650 1860, 2250, 3100	Fig.8

* 실내소음중 550, 825, 950, 1000, 1100, 1350, 2250, 3100Hz 성분은 녹음 레코더 작동소음 주파수 성분과 일치하므로 레코드 소음일 것으로 추정됨.

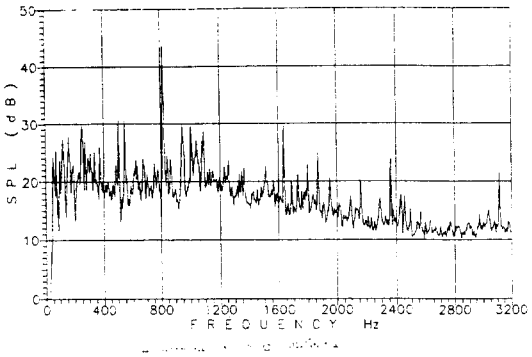


<Fig. 7> 기계실 소음



<Fig. 8> 실내소음

문제의 실내소음을 사람의 청감과 밀접한 A특성 곡선으로 보정하면 <Fig9>와 같다.



<Fig. 9> 실내소음 A 특성 보정값

<Fig.9>의 그래프에서 확연이 보이듯이 가장 문제가 되는 소음은 825Hz 성분의 소음이며 250, 500, 950, 1650Hz 등의 소음 성분은 기계실에서 발생하는 소음 및 진동이 건물로 전달되어 발생하는 소음으로 추정된다.

이상에서 언급한 엘리베이터에 의한 실내소음의 원인을 살펴보면 대부분 다음 두 가지의 전파 경로를 따라 기계실의 진동 및 소음이 실내로 전파되는 것으로 추정된다.

1) 기계작동진동 -> 건물진동 -> 실내벽진동 -> 소음방사
2) 기계작동소음 -> 기계실 바닥투과 -> 엘리베이터 통로 -> 벽투과 -> 실내소음

일반적으로 1)항의 전파 경로를 따라 전파되는 소음을 구조전달음 (Structure Borne Noise)라 칭하고, 2)항의 전파 경로를 따라 전파되는 소음을 공기전달음(Air Borne Noise)라 칭한다.

4. 엘리베이터 소음의 원인 분석

4.1 구조전달음

물체의 진동에 의한 소음의 방사량은 다음식으로 계산된다.

$$W = k W_0 = k \frac{1}{2} \rho Ve^2 S$$

여기서
- ρ : 공기밀도
- Ve : 진동 속도 실효치
- S : 방사면적

k는 소음방사 계수로서 다음과 같이 표현된다.

$$k = \frac{1}{\sqrt{1-C/C_B}} = \frac{1}{\sqrt{1-f_c/f}} \quad (f_c < f)$$

$= 0 \quad (f_c > f)$

C : 공기중 음속

C_B: 구조물의 굴곡파 (Bending Wave) 전파속도

f_c: 방사한계 주파수 ($C=C_B$ 인 주파수)

f : 벽의 진동주파수

건축 구조물의 경우 구조전달음과 관계하는 진동은 주로 벽 또는 바닥의 굴곡파 진동으로 추정되고 이 굴곡파의 전파속도는 다음과 같이 표현된다.

$$C_B = \sqrt{1.8 C_L h f}$$

여기서 h : 벽의 두께
f : 진동 주파수

C_L은 무한 탄성체내에서 음의 전파속도로서 다음과 같이 표현된다.

$$C_L = \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)} \frac{E}{\rho}}$$

여기서
- μ : 재질의 포아손비
- ρ : 재질 밀도
- E : 재질 종탄성 계수

무한히 큰 콘크리트 벽 150mm의 경우 C_L은 μ=0.3, $\rho = 2.3 \times 10^3 kg/m^3$, $E=2.4 \times 10^{10} (N/m^2)$ 이므로 C_L = 3700(m/s)이고 f_c = 116 Hz가 된다. 즉 콘크리트 벽의 경우 그 진동 주파수가 116 Hz 이상의 진동은 구조 소음을 방사할 수 있고 f_c에 가까울 수록 방사율이 높다.

전술한 바와 같이 문제의 방의 소음중 120Hz, 170Hz, 250Hz, 500Hz 등의 소음 성분은 진동 성분과 일치하고 이 주파수 범위에서 소음방사계수가 높으므로 이는 벽 또는 천정의 진동에 의한 구조 소음일 가능성이 높다.

4.2 공기전달음

전술한 바와 같이 공기전달음은 기계실에서 기계실 바닥 및 엘리베이터 통로 벽을 통하여 방으로 전달된다.

복합 차음 기구의 총합 투과손실은 다음 공식으로 계산된다.

$$TL = 10 \log \frac{S}{S_1\tau_1 + S_2\tau_2}$$

여기서
- S : 전체 투과면적

S_1 : 차음재 1의 면적

S_2 : 차음재 2의 면적

τ_1 : 차음재 1의 투과율

τ_2 : 차음재 2의 투과율

기계실 바닥은 두께 150mm, 전체면적 4x5(m^2)가량의 콘크리트로 그 가운데 0.2x0.2(m^2) 가량의 로프 통과 구멍이 2개가 있다. 콘크리트 부위의 투과손실을 질량법칙으로로 구하면 대략 <Table. 3>과 같다.

<Table. 3> 바닥 콘크리트의 투과손실

주 파 수(Hz)	63	125	250	500	평 균
투과손실(dB)	34	39	45	50	42

* TL = 18 log (f m) -44 (dB)

** f : 투과 소음 주파수

*** m : 콘크리트 면밀도 (2300 x 0.15 = 345 Kg/m^2)

투과손실과 투과율과의 관계는

$$\tau = 10^{-(TL/10)}$$

로 주어지므로 콘크리트의 투과율은

$$\tau = 10^{-(TL/10)} = 10^{-(42/10)} = 0.63 \times 10^{-5}$$

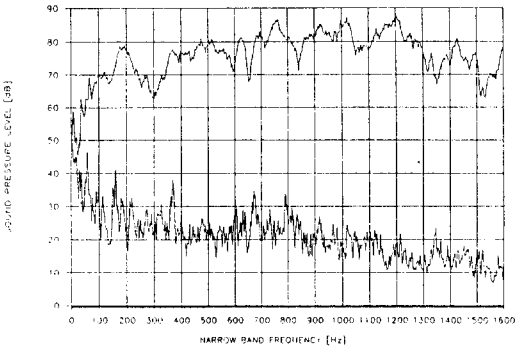
로 계산되고 구멍의 투과율은 1 이므로 총합투과손실은

$$TL = 10\log \frac{4 \times 5}{(4x5-2x0.2^2)x0.63x10^{-5}+2x0.2x1} = 24(dB)$$

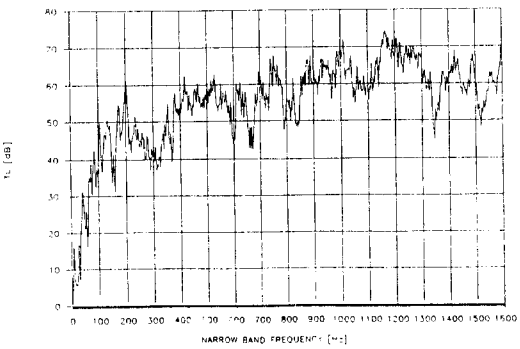
가 된다. 그리고 엘리베이터 통로벽은 기계실 바닥과 동일한 재질이므로 Table. 3에 보인바와 같이 평균 42dB 정도로 예상된다.

따라서 기계실에서 방으로의 총 투과손실은 기계실 바닥의 투과손실과 통로벽의 투과손실을 합한 66dB 정도로 계산된다. 그러나 통상 콘크리트의 타설 상태에 따라 틈새등이 생기기 때문에 실제 투과손실은 이보다 낮을 것으로 생각된다.

실험적으로 기계실에서 White Noise에 가까운 소음을 발생시키고 문제의 방에서 소음을 측정한 결과는 <Fig.10>과 같다. 이 때 투과손실은 <Fig.11>에 보인바와 같이 100 - 400 Hz 사이에서는 48 dB, 400 - 900 Hz 사이에서는 56 dB, 900 Hz 이상에서는 65 dB 가량으로 나타났다.



<Fig. 10> 기계실 및 방에서의 소음도



<Fig. 11> 기계실 - 방 사이의 총합 투과손실 측정값

5. 결론 및 추후 연구방향

예의 엘리베이터 소음 및 진동을 분석한 결과 다음 결론을 도출할 수 있다.

1) 엘리베이터 소음, 진동과 관련된 문제는 대부분 기계실과 인접한 최상층에서 발생하고 그 원인은 엘리베이터 권상기 작동시 발생하는 소음, 진동 및 제어반의 단자 착탈시 발생하는 충격음이다.
2) 엘리베이터 소음 문제는 구조전달음과 공기전달음으로 나누어 생각할 수 있는데 주로 구조전달음이 큰 비중을 차지하지만 공기전달음도 무시할 수 없다.
3) 구조소음의 경우 콘크리트의 소음방사를 고려할 때 Motor 회전에 기인하는 저주파 진동보다는 위엄과 위엄기어 작동시 발생하는 고주파 진동이 문제가 된다.
4) 진동측정 결과 엘리베이터 권상기의 방진마운트 상부 및 하부 프레임의 진동이 권상기 몸체 진동보다 훨씬 크고 소음과 관련된 250Hz 진동성분이 뚜렷하다. 이는 권상기 지지 프레임이 권상기의 특정 진동원과 공진을 일으킨 것으로 생각되며 이는 직접 구조음의 원인이 되는 것으로 추정된다.

5) 엘리베이터의 권상기 지지 방진마운트의 상하부 진동이 거의 같은 크기임을 보아 방진마운트가 제대로 역할을 하지 못하고 있음을 알 수 있다.
6) 기존 엘리베이터의 기계실 구조는 필연적으로 존재하는 로프 통과 구멍과 더불어 바닥 및 벽의 두께가 얇아 공기전달음을 차단하기에 충분치 못하다.

상기 결론은 소음 및 진동에 관한 충분한 검토가 없이 구조 및 공간적인 측면만 고려하여 건물이 설계, 시공될 경우 흔히 발생할 수 있는 문제이다. 따라서 엘리베이터의 소음 진동 문제를 해결하기 위하여 다음사항의 연구가 수행되고 설계에 반영되어야 할 것으로 생각된다.

1) 엘리베이터 권상기 지지 방진마운트는 권상기의 진동 특성을 면밀히 검토하여 설계되어야 한다.
2) 일반적으로 무시하기 쉬운 제어반의 단자 착탈음을 방지하기 위하여 제어반의 방진 대책도 함께 고려되어야 한다.
3) 엘리베이터 권상기 하부 프레임의 선정도 권상기의 진동 특성을 면밀히 검토하여 선정되어야 한다.
4) 엘리베이터의 기계, 기계실, 인접 건물 구조 등을 진동 측면에서 엄밀히 해석하여 방진마운트, 엘리베이터 지지 프레임 등이 설계되어야 한다.
5) 엘리베이터 기계실과 인접 주거공간의 배치를 감안하여 기계실 바닥 및 엘리베이터 통로 벽이 충분한 차음도를 가지도록 건물 설계시 고려되어야 한다.

참 고 문 헌

(1) 일본음향재료협회, 소음,진동 대책 핸드북

(2) 유니슨기술연구소 구조연구실, '93년 연구결과보고서 UNISON - 93 - 04