

建築物 Elevator의 騒音·振動 低減 方案

The Countermeasure which reduces the Noise and Vibration of the building Elevator

전 의 식* 조 병 후**
Jeon, Euy-Sik Cho, Byoung-Hoo

Abstract

The interest about noise and vibration which occurs in buildings is increasing by a living level elevation recently. Particularly, the noise and vibration which occurs from the elevator of the building is possibility of damage to the users of the building continuously. So, the objective of this research is to investigate the noise and vibration of the elevator and propose the method which reduces of it gained thorough this study.

키워드 : 엘리베이터, 소음·진동, 저감 방안

Keywords : elevator, noise and vibration, countermeasure to reduce

1. 서 론

최근 생활수준 향상으로 환경에 대한 인식이 높아지면 서 건축물에서 발생하는 소음·진동에 대한 관심이 고조되고 있다.

특히, 건축물 엘리베이터의 경우에는 생활 소음·진동과는 달리 운행시마다 고정적으로 발생하는 소음·진동이 사용자의 인체에 직접적인 피해를 줄 뿐 아니라, 늦은 시간이나 새벽에는 인접한 생활공간의 거주자에게 상당한 피해를 줄 수가 있다.

기존의 연구에서는, 기존 건축물에 설치되어 있는 엘리베이터를 대상으로, 운행 중 엘리베이터 케이지(cage)에서 발생하는 진동을 측정후 분석하였다.¹⁾

본 연구에서는 엘리베이터의 운행 중 발생하는 소음에 대해 측정 및 분석한 후 이를 기존의 진동에 대한 연구자료와¹⁾ 종합 분석함으로써, 건축물 엘리베이터의 효율적인 소음·진동 저감 방안을 제시하고자 한다.

2. 소음·진동이 인체에 미치는 영향

2.1 소음의 영향

소리의 물리적인 강약은 음압에 의해 정해지지만 인간이 어떤 소리를 들었을 때 감각적으로 느껴지는 강약은 음압뿐만 아니라 소리의 주파수에 따라 서로 달라진다. 같은 크기로 느껴지는 순음을 주파수에 따라 구한

곡선은 그림1과 같으며, 이 곡선을 등청감 곡선이라 한다.

그림 중앙에서 점선으로 둘러 쌓인 부분은 보통 회화에서 높은 음성으로 느껴지게 된다. 인간의 귀가 들을 수 있는 음압레벨은 0~120 dB 정도이고 120 dB 이상이 되면 통증을 느끼게 된다. 주파수로서는 건강한 20세 전후의 남녀인 경우 16~20,000 Hz의 공기진동을 느낄 수 있다. 또한 그림에서 알 수 있는 바와 같이 청감의 경우 4,000 Hz 부근의 주파수는 감도가 좋으며, 100 Hz 이하의 저주파수에서는 청감이 급속히 나빠진다.

그림2는 청력손실의 가장 대표적인 예를 나타낸다. 이 경우는 락앤롤(rock & roll) 음악을 연주하는 10대들의 청력을 연주하기 전과 후를 검사하여 나타낸 것이다.

그림에서 1,000 Hz 이상의 주파수에서는 폭로 후의 평균 청력레벨이 급격히 감소함을 알 수 있다. 따라서, 1,000~2,000 Hz 이상의 고주파 소음은 저주파 소음보다

작업방해 등에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

그림3은 일상 생활에서 나타나는 소음의 레벨을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 들리는 새소리는 50 dB 정도이며, 타이프 치는 소리는 60 dB 정도이다.

* 국립 공주대학교 기계자동차공학부 교수, 공학박사

** 국립 공주대학교 건축학부 교수, 공학박사

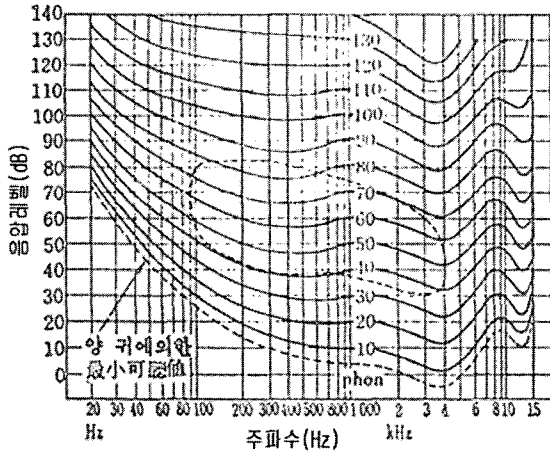


그림1. 등청감 곡선

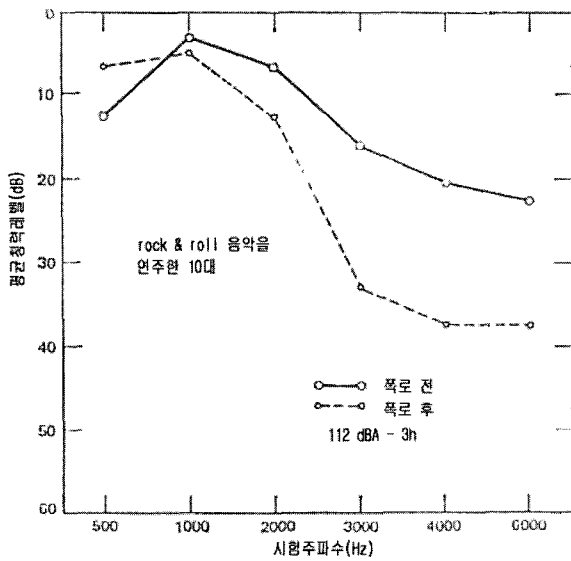


그림2. 음악연주 전후의 평균 청력범위

그림4는 소음을 청력방해, 회화방해, 소란스러움의 3가지 관점에서 평가하는 것으로 1961년 ISO(International Organization for Standardization)에서 제안한 소음 등가지수(NRN: noise rating number)이다. 이 소음 등가지수(NRN)에 대한 실내에서의 소음 기준은 표1과 같다.

2.2 진동의 영향

진동에 의한 감각적 영향에 대해 진동을 가한 후 허리, 가슴 및 등 쪽에 생기는 통증에 대해 조사한 결과에 따르면 6 Hz에서 가장 통증이 심한 것으로 나타났다. 또한 머리 부분에 있어서 진동의 느낌은 처음 9 Hz에서 느껴지고 13 Hz 정도에서 진동을 크게 느끼며 안면, 특히 볼 부분과 눈꺼풀 부근에서 진동을 잘 느낄 수 있고 진동수가 커지면 진동이 멈추어짐을 느끼게 된다. 경험자들에게 의하면 높은 진동수에서 약한 두통을 느끼고 이것이 몇 분간 지속된다고 한다.

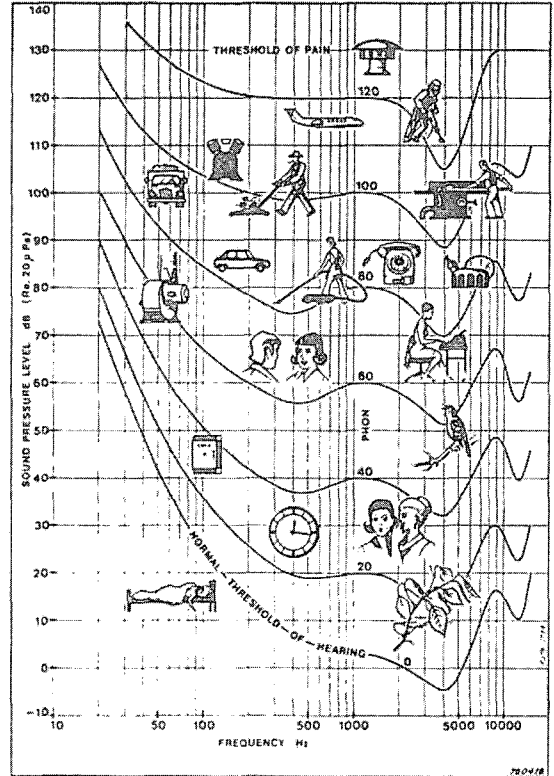


그림3. 일상생활의 소음레벨

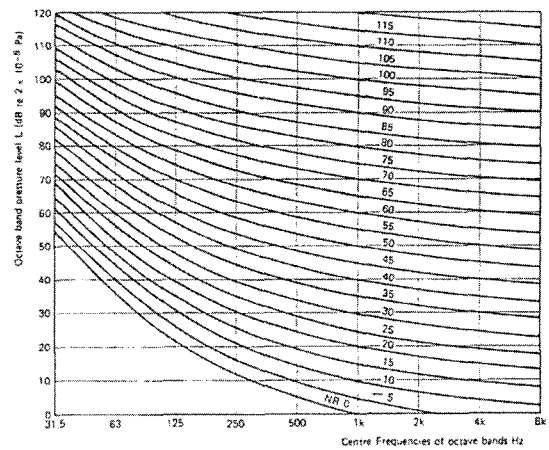


그림4. 소음 등가지수(NRN)

표1. NRN 값에 의한 각실의 소음기준

NRN 값	실의 종류
20~30	침실, 병원, 라디오스튜디오, 거실, 극장, 교회, 영화관, 도서관, 강의실, 회의실
30~40	큰사무실, 상점, 백화점, 조용한레스토랑 (40:지적작업이 요구되는 한계)
40~50	비교적 큰 레스토랑, 체육관, 타이프가 있는 비서실
50~60	비교적 큰 타이프실 (60:보통 사무실의 평균적 한계)
60~70	작업장

후두 감각으로는 먹는 것이 아래 위로 오르락 내리락 하는 느낌을 9 Hz에서 느끼고 12~16 Hz에서 아주 심하게 느끼며, 말을 할 때도 12~16 Hz의 진동에 크게 영향을 받는다. 낮은 진동수인 경우 복부나 가슴부분에 2차적인 영향을 주지만 높은 진동수에서는 발성에 영향을 주며, 1~3 Hz의 진동수에서는 호흡에 영향을 주어 호흡하기가 힘들어진다.

가슴에 통증이 오는 것은 4~11 Hz에서, 복통은 4~14 Hz에서 일어난다. 그림5는 서 있을 때의 진동전달을 보여주는 그림이다.

3. 측정 및 분석 방법

본 연구에서는 기존의 업무용 건축물에 설치되어 있는 엘리베이터를 대상으로 사운드 레벨 미터(sound level meter)로 소음을 측정하여 레코더(recorder)에 수록하고, 주파수 분석기(FFT analyzer)를 이용하여 데이터화한 후 컴퓨터를 이용하여 데이터를 분석 처리하였다.

3.1 운행 중의 소음

엘리베이터가 운행될 때 엘리베이터 케이지(Cage) 바닥에 사운드 레벨 미터를 설치하고 엘리베이터를 1층에서 20층까지 운행시키면서 소음을 측정하였다.

3.2 기계실의 소음

기계실에서의 로우프(ropes)와 모터(motor)의 소음은 모터와 로우프에서 1m 떨어진 거리에서 사운드 레벨 미터로 측정하였다.

3.3 케이지의 차음성능

엘리베이터 케이지의 차음성능을 측정하기 위하여 대형 스피커(loud speaker)와 펑크션 제너레이터(function generator)를 이용하여 케이지 내의 중앙에서 소음을 발생시키고 외부의 4 옆면의 중앙 지점에서 차음성능을 측정하였다. 그림6은 차음 성능 측정지점이다.

4. 측정결과 및 고찰

4.1 운행 중의 소음

엘리베이터 운행 중 케이지내의 소음은 약 56 dB(A)로 나타났으며, 그림7은 소음의 주파수 특성이다.

케이지 내의 소음은 140 Hz, 260 Hz, 360 Hz에서 피크(peak)가 나타나고 있는데, 이는 풍압에 의한 케이지의 울림과 출입구 쪽으로 들어오는바람에 의한 것으로 판단된다. 또한 기계실에서의 모터 음과 케이지 위에 설치된 로우프와 도르레(sheave)의 마찰음에 의한 소음으로 사료된다.

한편, 그림8에서 보면 케이지 내의 소음이 일정한 시간(1.2초)마다 크게 증가하고 있는 것을 알 수 있는데, 이것

은 각 층마다 있는 출입구 턱에 의한 바람의 압력변화로 발생하는 소음인 것으로 판단된다.

4.2 기계실의 소음

기계실의 로우프 및 모터 소음을 그림9, 10에 나타내었다. 로우프 소음의 경우는 로우프와 도르레(sheave)와의 마찰음으로 피크(peak)가 120 Hz, 350 Hz, 420 Hz 부근에서 나타나고 있다. 이들 주파수는 케이지 내의 소음에서 나타나는 140 Hz, 360 Hz 부근과 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 케이지 위에 설치되어 있는 도르레(sheave)와 rope의 마찰음이 케이지 내의 소음이 되는 것이다.

모터 소음의 경우에는 모터의 소음과 팬(fan)의 소음이 복합적으로 나타나고 있으며 피크(peak)가 100 Hz, 250 Hz, 360 Hz, 700 Hz 부근에서 나타나고 있다. 이들 주파수 중 250 Hz, 360 Hz는 케이지 내의 소음 중 260 Hz, 360 Hz와 일치하고 있다. 즉, 기계실의 모터 소음이 엘

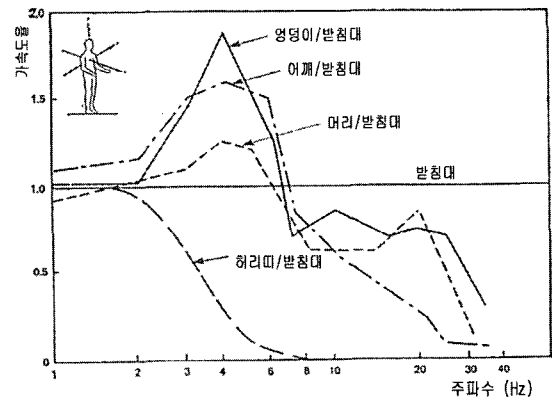
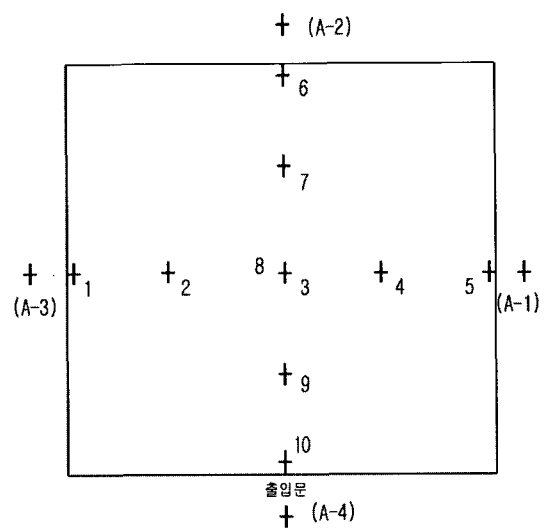


그림5. 서 있을 때의 진동전달



(A-: 차음성능의 측정지점)

그림6. 차음 성능의 측정지점

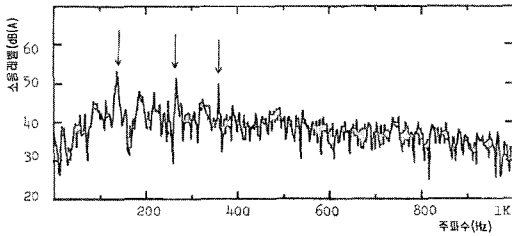


그림7. 케이지 내의 소음 (주파수)

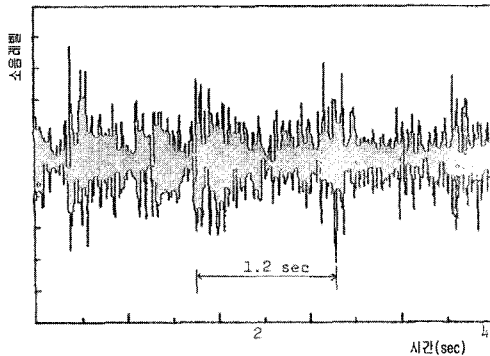


그림8. 케이지 내의 소음 (시간)

리베이터가 운행되고 있는 홀을 통해서 울려 퍼져서 케이지 내의 소음이 되는 것으로 판단된다.

4.3 케이지의 차음성능

주파수를 100~3,200 Hz 까지 1/1 옥타브(octave) 중심 주파수로 변화시키면서 케이지 옆면의 4면에 대하여 차음성능을 측정 한 결과 표2 및 그림11과 같이 나타났다.

그림에서 보면, 모든 중심 주파수에서 출입문의 차음성능이 가장 떨어지는 것으로 나타났다. 이것은 출입문 사이의 틈과 케이지의 출입문에서 나오는 음의 영향으로 사료된다.

한편, 4면 모두 중심 주파수 800 Hz에서 가장 낮은 차음성능이 나타나고 있다. 그러므로, 만일 외부에서 중심 주파수가 800 Hz인 소음원이 있다고 가정하면, 엘리베이터 내부의 소음은 대부분이 외부로부터 유입된다고 볼 수 있다. 또한, 중심 주파수 400 Hz의 차음성능도 다른 주파수에 비하여 낮은 값을 나타내고 있는데, 이것은 케이지 내의 소음이 360 Hz에서 나타나고 있는 것과 비교하여 생각해 볼 때 차음성능의 보강이 필요하다고 판단된다.

따라서, 엘리베이터 케이지의 차음성능을 보강하기 위해서는 중심 주파수 400 Hz와 800 Hz에서 흡음율이 큰 흡음재로 보강 할 필요가 있다.

4.4 소음·진동 저감 방안 제시

건축물 엘리베이터의 소음을 측정·분석한 본 연구결과와 엘리베이터의 진동에 대해 측정·분석한 기존의 연구결과를 1), 2) 종합 분석한 결과 엘리베이터의 소음·진동 저감을 위한 방안은 다음과 같다.

4.4.1 방진고무의 설계 개선안

엘리베이터에 설치될 방진고무의 효과적인 설계를 위한 방법은 다음과 같다.

(1) 18×18×3.5 (cm)인 방진고무의 고유 진동수 구하기

① 허용하중 (P_{max})

허용압축응력 $r = 11 \text{ kg/cm}$ 라 가정하면

$$A = 18 \times 18 = 324 \text{ cm}$$

$$\text{허용하중 } (P_{max}) = 11 \times 324 = 3,564 \text{ kg}$$

② 압축 스프링(Spring) 정수 (k_p)

$$k_p = (A \times f \times E) / h$$

$$(E: 38 \text{ kg/cm}, S: (a \times b) / (2(a+b)h) = 1.286,$$

$$f: 1+2.2 S = 4.64)$$

$$k_p = 16,300 \text{ kg/cm}$$

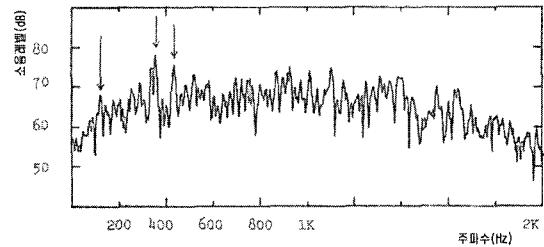


그림9. 기계실의 로우프 소음

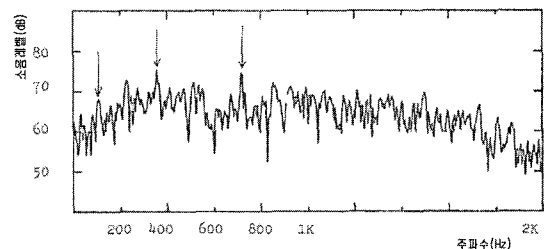


그림10. 기계실의 모터 소음

표2. 케이지의 차음성능 (dB(A))

주파수 (Hz)	케이지 내 부	1		2		3		4	
		A	B	A	B	A	B	A	B
100	79	55	24	58	21	57	22	59	20
200	80	50	30	59	21	51	29	64	16
400	81	60	21	63	18	61	20	65	16
800	83	64	19	66	17	64	19	67	16
1,600	83	55	28	55	28	57	26	62	21
3,200	84	64	20	63	21	62	22	65	19

(A: 케이지 밖의 음압레벨, B: 차음 성능)

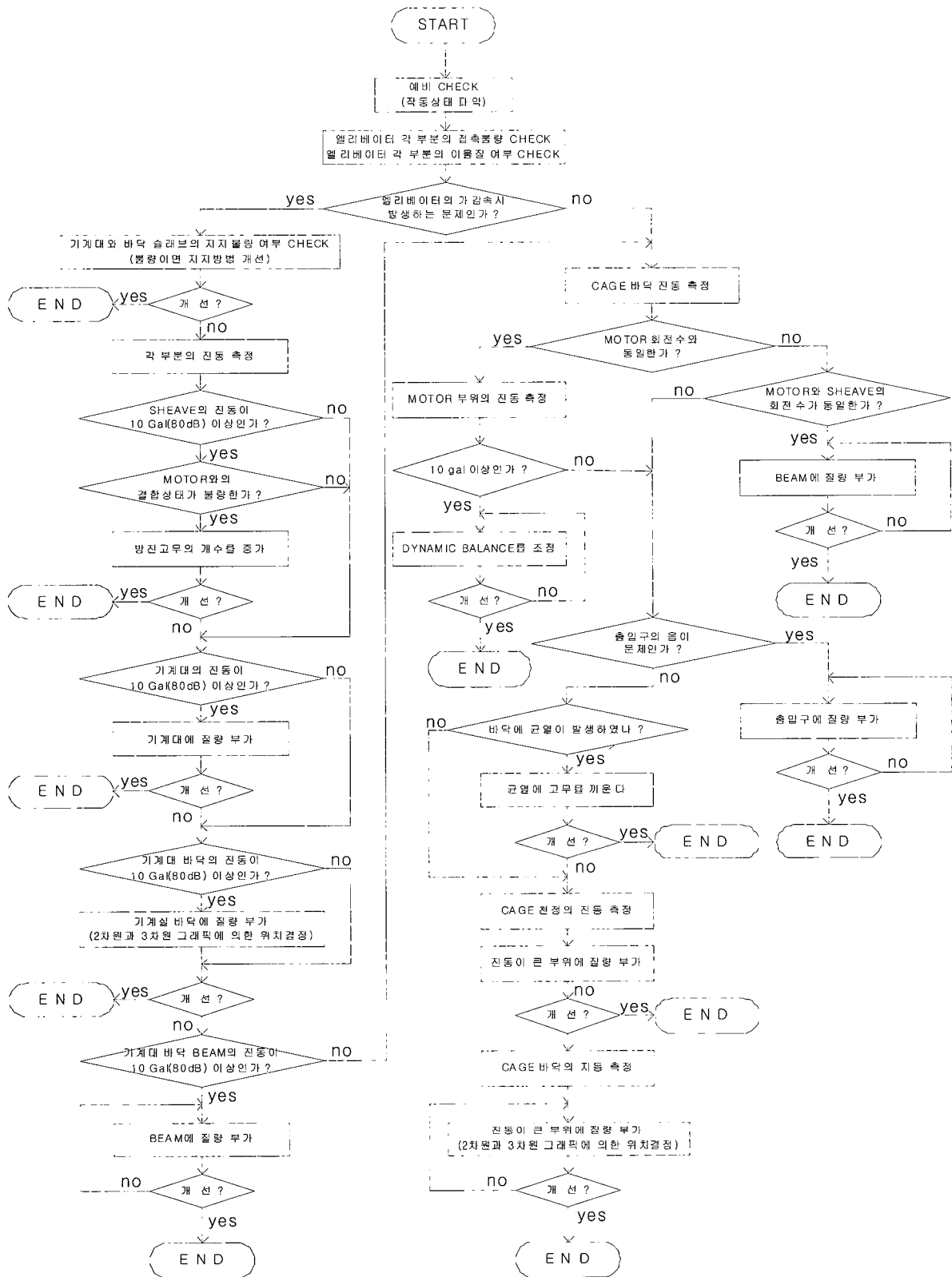


그림12. 엘리베이터의 소음 진동 저감 방안 흐름도

전의식, 조병후

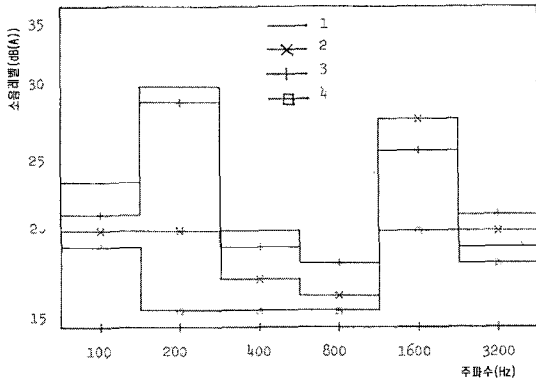


그림11. 케이지 각 면의 차음성능

③ 전단 스프링(spring) 정수 (k_q)

$$k_q = (A \times j \times G) / h$$

(G: 10 kg/cm, j: 1/(1+0.29(h/a)) = 0.99)

$$k_q = 915 \text{ kg/cm}$$

④ 압축비

$$\delta = P_{\max} / k_p = 3,600 / 16,300 = 0.221 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \delta / h = 0.221 / 3.5 = 0.063$$

⑤ 고유 진동수

동적 스프링(spring) 정수는

$$k_{pd} = 1.28 k_p = 1.28 \times 16,300 = 20,900 \text{ kg/cm}$$

$$f_n = 1/2\pi \times \sqrt{(k_{pd} \times g) / w} = 720 / \sqrt{w}$$

케이지(cage) 중량은 2,800 kg 이므로

$$2,800 / 4 = 700 \text{ kg}$$

$$f_n = 27.2 \text{ (Hz)}$$

따라서, 방진고무의 고유진동수는 27.2 Hz 이다.

(2) 효율적인 방진고무의 설계

진동수비는 일반적으로 2~3 사이에 있으며, 여기서는 2.2로 하면 $f/f_n = 2.2$ 이고, 밖으로부터 가해지는 20 Hz 를 f 라 하면

$$f_n = 20 / 2.2 = 9.09 \text{ Hz}$$

$$f_n = 1/2\pi \sqrt{(k \times g) / w} = 1/2\pi \sqrt{g / \delta} = 5 / \sqrt{\delta}$$

$$\delta = (5 / f_n)^2 = (5 / 0.09)^2 = 0.3 \text{ cm}$$

$$k \times g / w = g / \delta$$

$$k = w / \delta \text{ 이다.}$$

한편, 케이지(cage)의 총중량은

$$2,800 + 600 = 3,400 \text{ kg} \quad (3,400 / 4 = 850 \text{ kg})$$

$$k = 850 / 0.3 = 2,833. \text{ kg/cm}$$

진동 전달율은

$$\tau = | 1 / (1 - [f/f_n]^2) | = 0.26$$

결과적으로, 약 74%의 진동이 차단된다.

따라서, 방진고무의 동적스프링(spring) 정수가 2,833.33 kg/cm인 방진고무 4개를 균등한 하중을 받을 수 있는 위치에 부착시켜야 한다.

4.4.2 소음진동 저감 방안 흐름도

엘리베이터의 소음진동 문제는 복합적인 요인들이 작용하므로 단순한 해결책을 기대하기는 힘들다.

따라서, 본 연구결과를 통해 제시한 그림12의 소음진동 저감 방안 흐름도에 의해 엘리베이터의 소음진동 문제를 효과적으로 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

‘건축물 엘리베이터의 소음진동 저감 방안’에 대한 본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 엘리베이터 운행중 케이지(cage) 내의 소음은 약 56 dB(A)로 나타났으며, 140 Hz, 260 Hz, 360 Hz에서 피크(peak)가 나타났다.

(2) 엘리베이터 케이지의 차음성능을 보강하기 위해서는 중심 주파수 400 Hz와 800 Hz에서 흡음율이 큰 흡음재로 보강하여야 한다.

(3) 본 연구 결과로 제시한 방진고무의 설계 개선안을 통해 엘리베이터 진동의 약 74%를 차단할 수가 있는 것으로 나타났다.

(4) 본 연구 결과로 제시한 소음진동 저감 방안 흐름

도에 의해 엘리베이터 소음·진동 문제를 효과적으로 해결할 수 있다. (그림12 참조)

참고문헌

1. 전의식 조병후, 「建築物 Elevator Cage의 振動 測定」, 한국디지털건축인테리어학회 논문집, 제4권2호, p.p. 52~59, 2004.
2. 전의식 조병후, 「기계진동이 건축 구조물에 미치는 영향」, 한국디지털건축인테리어학회 논문집, 제3권1호, 2003.
3. 전의식 조병후, 「기계진동에 의한 건축물의 피해 방지 방안」, 한국디지털건축인테리어학회 논문집, 제4권1호, 2004.
4. C. M. Harris, 『Shock and Vibration Handbook』, McGraw Hill Book Company, 1988.
5. 井料政吉, 『騒音振動便覧』, 新技術開發センター, 昭和53年.
6. 『騒音振動對策事例集』, 日本騒音制御工學會, 平成2年.
7. 日本音響材料協會, 『騒音振動對策ハンドブック』, 技報堂出版, 1982.