

建築物 Elevator Cage의 振動 測定

The Vibration measurement which occurs from the Elevator Cage of the Building

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 vibration which occurs from the elevator cage of the building is possibility of damage to the users of the building continuously. So, the purpose of this study is to suggest of measuring results to the vibration that occurs from the elevator cage and propose the countermeasure of it.

키워드 : 엘리베이터 케이지, 진동측정, 모드 해석
Keywords : elevator cage, vibration measurement, mode analysis

1. 서 론

최근 생활수준 향상으로 환경에 대한 인식이 높아지면서 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.

따라서, 본 연구에서는 기존 건축물에 설치되어 있는 엘리베이터를 대상으로, 운행 중 엘리베이터 케이지(cage)에서 발생하는 진동을 측정하고 이를 분석하여 진동 피해방지를 위한 대책을 제시하고자 한다.

2. 진동이 인체에 미치는 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 반면, 특히 볼 부분과 눈꺼풀 부근에서 진동을 잘 느낄 수 있고 진동수가 커지면 진동이 멈추어짐을 느끼게 된다. 경험자들에 의하면 높은 진동수에서 약한 두통을 느끼고 이것이 몇 분간 지속된다고 한다

* 정회원, 천안공업대학 플랜트설계과 교수, 공학박사

** 정회원, 천안공업대학 건축과 교수, 공학박사

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 발생에 영향을 주며, 1~3 Hz의 진동수에서는 호흡에 영향을 주어 호흡하기가 힘들어진다.

가슴에 통증이 오는 것은 4~11 Hz에서, 보통은 4~14 Hz에서 일어난다. 그림1, 2는 서 있을 때와 앉아 있을 때의 진동전달을 보여주는 그림이다.

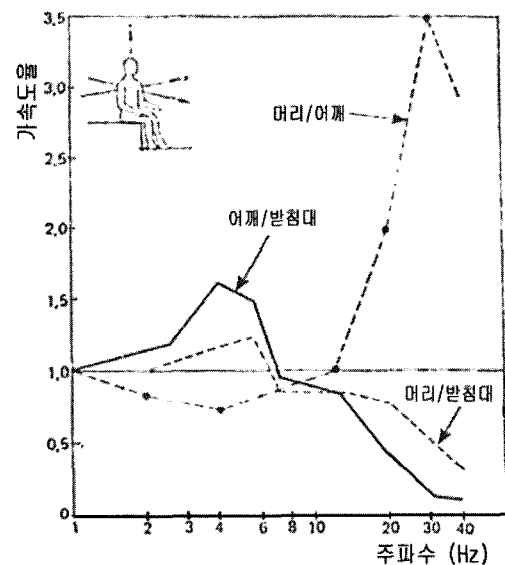


그림1. 앉아 있을 때의 진동전달

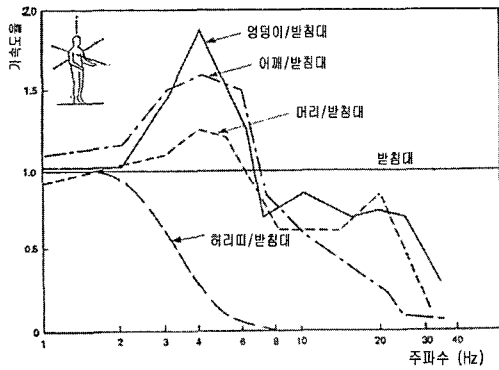


그림2. 서 있을 때의 진동전달

3. 측정 및 분석방법

본 연구에서는 기존 업무용 건축물에 설치되어 있는 엘리베이터를 대상으로 3축 방향 진동계로 진동을 측정하여 기록계(recoder)에 수록하고, 주파수 분석기(FFT analyzer)를 이용하여 데이터화한 후 컴퓨터를 이용하여 데이터를 분석 처리하였다.

3.1 운행 중의 진동

엘리베이터가 운행될 때 엘리베이터 케이지(cage) 바닥의 진동분포 및 특성을 알기 위하여 엘리베이터 케이지 바닥에 3축 방향 진동계를 설치하고 1층에서 20층까지 운행시키면서 진동을 측정하였다. 진동은 X, Y, Z 세 방향으로 측정하였으며 엘리베이터 케이지 바닥을 16 등분하여 각각 측정하였다. 측정위치 및 측정방향은 그림3과 같다.

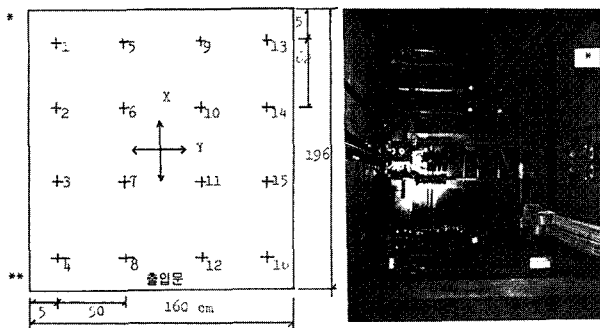


그림3. 측정위치 및 측정방향

3.2 충격 진동

엘리베이터 케이지(cage) 바닥의 진동특성 및 분포를 알기 위해서 엘리베이터 케이지 바닥을 16 등분하여 3축 방향 진동계를 설치하고 높이 1m에서 지름 3cm의 금속구(steel ball)를 자유 낙하시켜 진동을 측정하였다. 충격지점은 엘리베이터 케이지의 중앙 지점이며, 측정위치는 그림 3과 같다.

3.3 속도변화에 따른 진동

엘리베이터가 운행될 때 속도 변화에 따른 진동 특성을 파악하기 위해 엘리베이터 케이지 바닥 중앙에 3축 방향 진동계를 설치하고 엘리베이터의 속도를 210 m/min~80 m/min 까지 10 m/min 간격으로 변화시키면서 측정하였다. 측정시의 엘리베이터는 1층에서 20층까지 운행하였다.

3.4 케이지 샘플 연구

엘리베이터 케이지의 진동 특성과 웨이트 밸런스(weight balance)를 규명하기 위해 모우드(mode) 해석법을 적용하고, 컴퓨터를 이용하여 측정된 데이터를 분석함으로써 케이지의 특성을 조사하였다.

(1) 진동측정

측정대상 부위에 가속도계를 부착 실험하였으며 부착방법은 자석에 의한 방법을 사용하였고, 측정된 가속도계로부터의 신호를 컨디셔닝 앰플리파이어(conditioning amplifier)로 증폭하여 다이내믹 애널라이저(dynamic analyzer)에 의해 각각 측정하였다. 그리고 입력으로는 대형 스피커(loud speaker)를 이용하였다. 입력 가지는 테이프 레코더에서 랜덤 가진 신호를 파워 앰플리파이어(power amplifier)로 증폭하여 대형 스피커로 가졌다. 각 측정 데이터는 인터페이스버스(GPIB)를 통하여 컴퓨터에 전송하여 전달함수로 해석하였다. 측정시 정확한 측정을 위하여 20회 측정치의 평균값을 데이터로 활용하였다.

(2) 진동측정 위치와 모우드 해석법 적용

케이지의 모우드 셰이프(mode shape)를 그리기 위해 앞면과 옆면을 (6×4)로 나누고 윗면과 밑면은 (4×4)로 나누었으며, 입력 가진점은 케이지 밑면의 중앙부위로 정하여 스피커로 가진하면서 각 부위별로 측정하였다.

또한, 웨이트 밸런스를 측정하기 위하여 케이지 바닥 중앙을 가로 세로 각각 5지점씩 나누어 가로는 5번 부위, 세로는 10번 부위를 충격 해머(impact hammer)로 가진하고 가속도계를 옮겨가며 측정하였다. 측정위치는 그림 4와 같다.

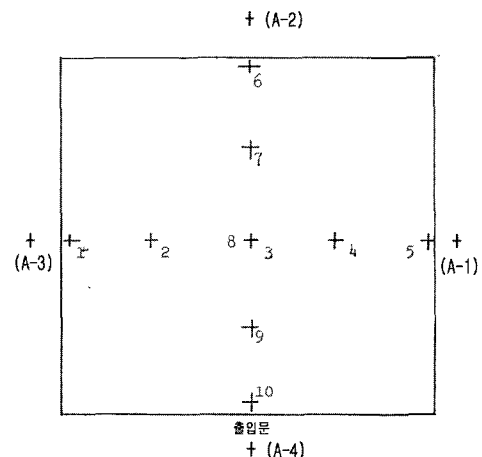


그림4. 웨이트 밸런스 측정지점

케이지(cage)에 대한 실험적 모우드 해석법은 입력과 출력의 전달함수를 구하여 적용되므로 충격 해머나 스피

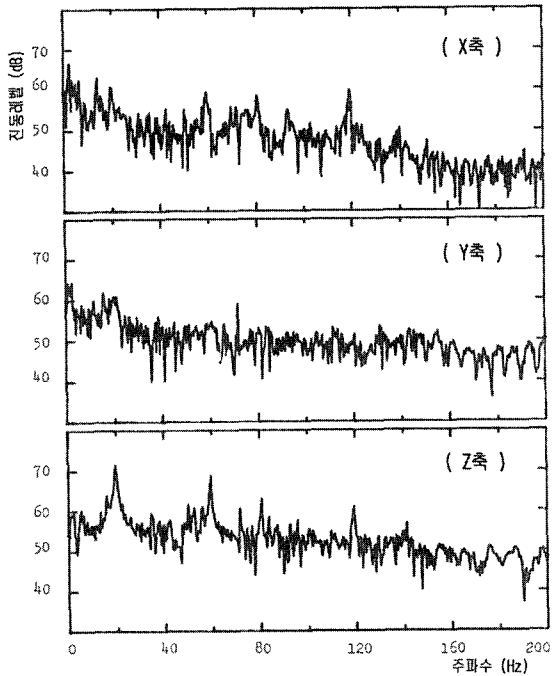


그림5. 운행중의 진동 (210 m/min)

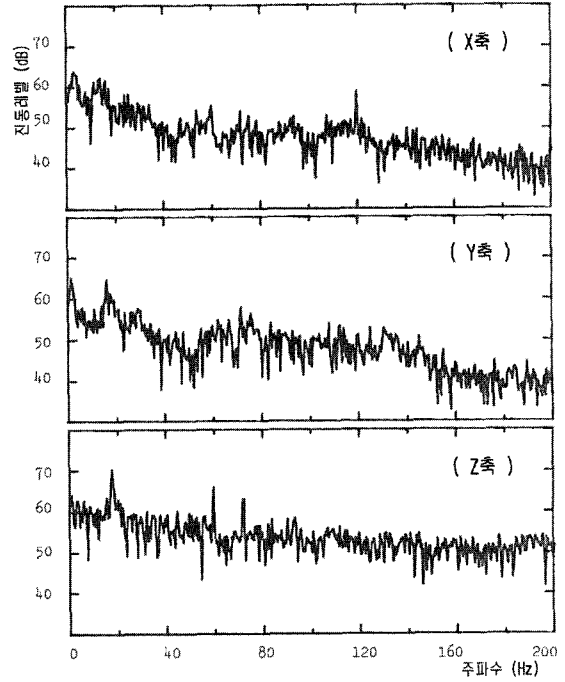


그림6. 운행중의 진동 (180 m/min)

커로 가진하여 증폭기로 증폭하며, 출력은 가속도계로부터의 신호를 컨디셔닝 앰프(conditioning amp.)로 증폭하여 얻었다. 이 전달함수는 스펙트럼의 허수부로부터 고유백터를 구한다.

4. 측정결과 및 고찰

4.1 운행 중의 진동

운행 중의 진동을 운행속도 210 m/min과 180 m/min으로 구분하여 실험하였다. 210 m/min과 180 m/min의 바닥재질이 다르므로 서로를 비교 연구하기는 곤란하지만, 210 m/min과 180 m/min으로 운행 한 것의 주파수 특성은 거의 동일하게 나타났다.

그림 5, 6은 210 m/min과 180 m/min으로 운행하였을 때의 X, Y, Z 축 진동의 주파수 특성을 비교한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 X, Y 축의 경우는 모두 2~3 Hz에서 최대 피크(peak)가 나타나고, Z 축의 경우에는 20 Hz에서 최대 피크가 나타나고 있다.

그림 7은 각각 X, Y, Z 축 진동의 출발부터 정지할 때까지의 주파수 특성을 나타낸 것이다. X, Y 축의 경우 출발 후부터 저주파인 2~3 Hz에서 피크가 나타나고 운행하면서 점점 증가한다. Z 축의 경우에는 출발 후부터는 저주파에서 피크가 나타나지만 운행하면서 20 Hz에서 피크가 나타난다.

(1) Z 축 진동

우선 Z 축 진동의 경우는 출발시의 진동이(약 83 dB) 운행시의 진동(약 73~80 dB) 보다 크게 나타났다. 또한 Z 축 진동특성이 출발시와 운행시가 다르게 나타났다.

그림 8에서 출발시에는 0.5 Hz에서 최대 피크값이 나

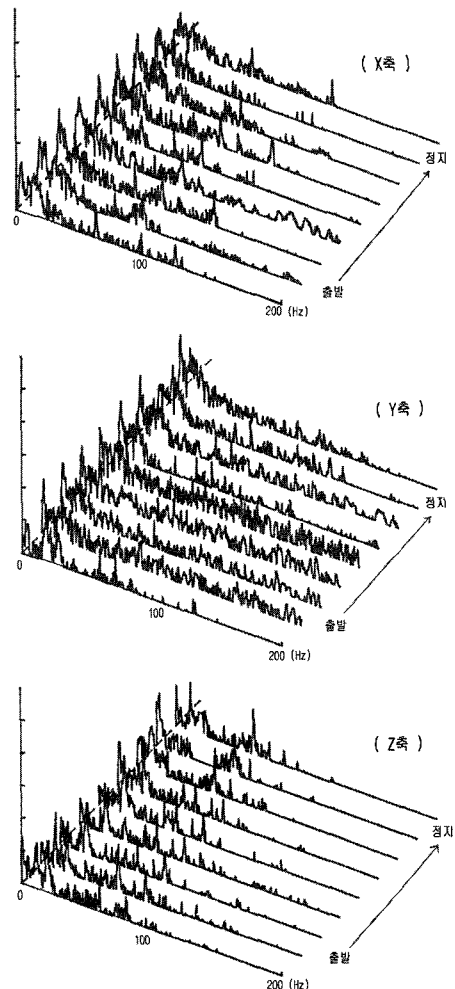


그림7. 시간에 따른 주파수 특성

타났지만 운행 중에는 최대 피크값이 20 Hz에서 나타나고 있다.

그림 9는 210 m/min 운행시의 Z 축 진동 중 오버롤(overall)과 1/3 옥타브(octave)의 중심 주파수 20 Hz에서의 진동이다. 운행 중의 진동은 오버롤(overall)과 중심 주파수 20 Hz의 진동 모두 지점4와 지점10 부근에서 크게 나타나고 있다. 지점4의 경우는 출입구이므로 연결 부위가 자유로운 상태이기 때문에 진동이 크게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

그림 10은 180 m/min으로 운행시의 Z 축 진동 중 오버롤(overall)과 20 Hz의 진동 모두 210 m/min과는 다른 진동 분포를 나타내고 있으며, 이것은 바닥마감재질의 특성 때문인 것으로 여겨진다.

(2) Y 축 진동

Y 축 진동의 경우에는 출발시에는 거의 없었던 진동이 운행을 하면서 점점 크게 나타난다. 그림 11은 Y 축의 진동을 출발한 후 운행하면서 나타나는 주파수 특성을 나타내고 있다. Y 축 진동의 주파수 특성은 2~3 Hz에서 피크값이 존재한다. Y 축 진동의 2~3 Hz는 저주파로 케이지 상부의 쉬브(sheave)와 케이지(cage)의 편심, 가이드 레일(guide rail)과 롤러(roller)에 의해 발생하는 진동이 모터 부위의 저주파수 진동의 영향을 받아 크게 나타나는 진동으로 사료된다.

그림 12는 210 m/min으로 운행하였을 때의 오버롤(overall)과 중심 주파수 2 Hz(1/1 octave)에서의 Y 축 진동 콘터(contour)이다. 오버롤과 중심 주파수 2 Hz에서의 진동 분포는 출입구 쪽과 반대편 쪽에 회전력이 발생하여 진동이 크게 나타나는 것으로 판단된다.

한편, 지점2와 지점14 부근에서는 진동이 크게 나타나지 않았는데 그 이유는 가이드 레일과 롤러의 지지로 인하여 진동이 감소되어 나타난 것으로 여겨진다.

그림 13은 180 m/min으로 운행하였을 때의 오버롤과 중심 주파수 2 Hz(1/1 octave)에서의 Y 축 진동 콘터이다. 오버롤에서는 210 m/min으로 운행하였을 때와 거의 같은 진동분포를 보이고 있으나, 2 Hz에서는 전혀 다른 분포 형태를 보이고 있다. 이것은 바닥 마감재질의 특성에 의해 나타나는 진동 분포일 것으로 사료된다.

(3) X 축 진동

X 축 진동의 경우에도 Y 축 진동과 같이 출발시에 거의 없었던 진동이 운행하면서 크게 나타나고 있다. 그림 14는 운행시 X 축 진동의 특성을 나타내고 있으며, 진동의 피크는 2.5~3 Hz 사이에 존재하고 있다. X 축 진동도 Y 축 진동의 경우와 같이 저주파에서 피크를 나타내고 있으므로 모터 부위가 저주파 진동의 영향인 것으로 판단된다.

그림 15는 210 m/min으로 운행하였을 때의 X 축 진동 중 오버롤(overall)과 중심 주파수 4 Hz(1/1 octave)의 콘터(contour)이다. 오버롤과 4 Hz에서 나타난 진동의 분포는 출입구 쪽과 지점14 부근의 진동이 크게 나타나고 있다. 출입구 쪽과 지점14의 진동이 큰 이유는 오른쪽에 설치된 가이드 레일(guide rail)의 경로가 균일하게 평형을

이루지 못하여 곡선을 갖고 있거나, 가이드 레일과의 접촉이 불량하여 진동이 크게 나타나고 있는 것으로 여겨진다.

그림 16은 180 m/min으로 운행하였을 때의 오버롤과 중심 주파수 4 Hz(1/1 octave)에서의 X 축 진동 콘터(contour)이다. 오버롤에서는 210 m/min으로 운행하였을 때와 거의 같은 진동분포를 보이고 있으나, 4 Hz에서는 다른 분포 형태를 보이고 있다. 이것은 Y 축 진동분포와 마찬가지로 바닥마감 재료의 특성에 의해 나타나는 진동 분포인 것으로 사료된다.

(4) 케이지 옆면의 진동

엘리베이터를 210 m/min으로 운행시키면서 케이지의 출입구를 제외한 3면을 측정한 결과는 그림 17과 같다. 그림 17에서 알 수 있듯이 3면 모두 7~8 Hz에서 피크를 나타내고 있다.

4.2 충격 진동

각 16지점의 진동을 1/3 옥타브(octave)로 분석한 다음, 진동의 중심 및 분포상황을 알기 위하여 콘터(contour)를 사용하여 각 중심 주파수별로 분석하였다. 대표적으로 지점 16의 진동을 1/3 옥타브로 분석하여 그림 18에 나타냈으며, 네로우 밴드(narrow band)에서는 큰 차이 없이 100 Hz의 주파수에서 피크 값을 나타내었다.

그림 19, 20에 나타난 콘터(contour)를 보면, 중심 주파수 100 Hz에서는 지점15 근처에서 진동의 중심이 나타났다. 이처럼 진동의 중심이 한 편으로 치우쳐 있는 것은 케이지 바닥에 설치되어진 방진고무가 충분한 역할을 해주지 못하기 때문이다. 특히, 각 중심 주파수에 최대 진동 레벨과 최소진동 레벨의 차이가 10 dB 이상이므로 방진고무가 충분한 역할을 해주지 못하고 있다.

4.3 속도변화에 따른 진동

속도 변화에 따른 운행 중의 진동 측정결과는 그림 21과 같다. 그림에서 보면 Z 축 진동의 경우는 160~170 m/min에서 진동이 가장 크며, 110~120 m/min에서 가장 작은 것으로 나타났다. Y 축 진동의 경우는 180 m/min에서 가장 크며, 130 m/min에서 가장 작다. X 축 진동은 210 m/min에서 가장 크고 120 m/min에서 가장 작게 나타났다.

전체적으로 180 m/min 부근의 진동이 큰 것은 모터 부위의 진동 중 진동원인 모터의 회전수와 엘리베이터 케이지의 진동 특성이 서로 관련되어 일어나는 공진 현상으로 판단된다.

4.4 케이지 샘플 연구

(1) 웨이트 밸런스

웨이트 밸런스(weight balance)를 규명하는 데는 여러 가지 방법들이 있으나, 본 실험에서는 모우드 해석을 이용해 8인승 케이지 샘플의 웨이트 밸런스를 알아보았다.

지점5에서 가진하고 지점1에서 측정된 것과 지점10에서 가진하고 지점9에서 측정된 대표적인 전달함수는 그

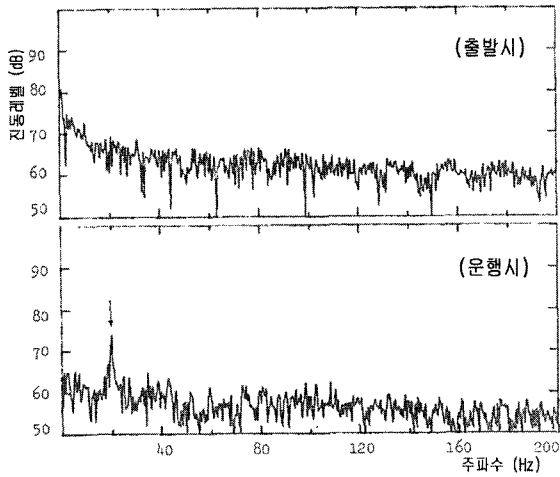


그림8. 출발시와 운영시의 Z 축 진동

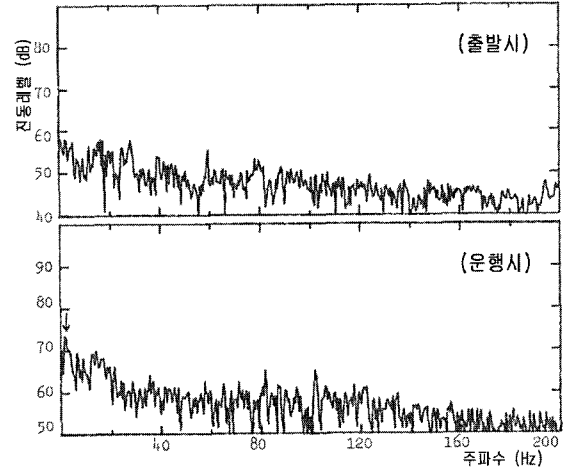


그림11. 출발시와 운영시의 Y 축 진동특성

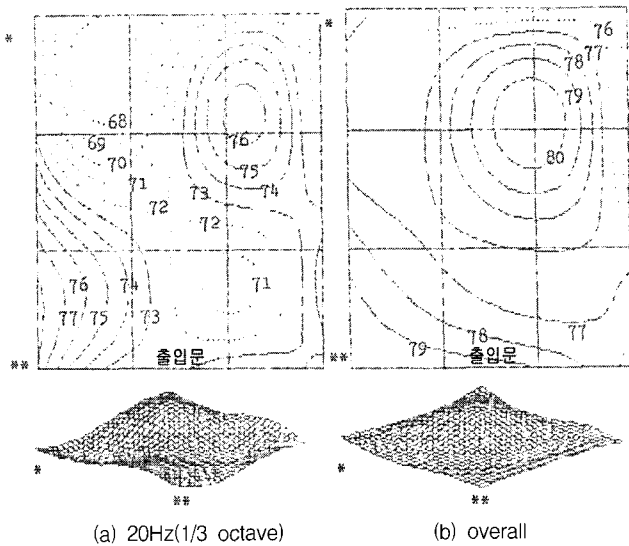


그림9. 운영중의 Z 축 진동 contour (210 m/min)

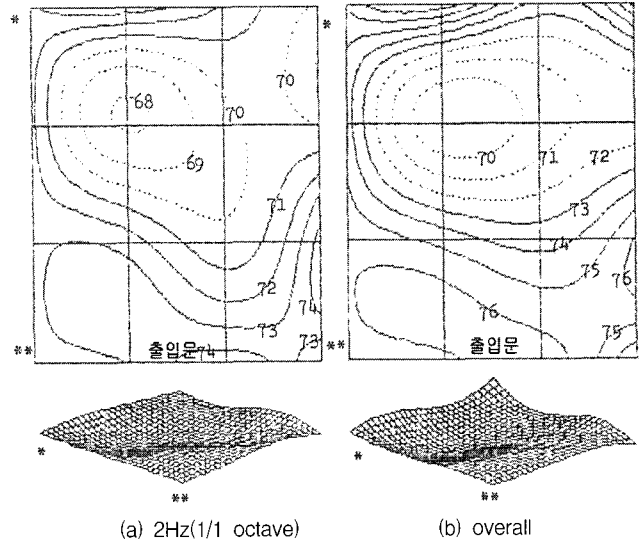


그림12. 운영중의 Y 축 진동 contour (210 m/min)

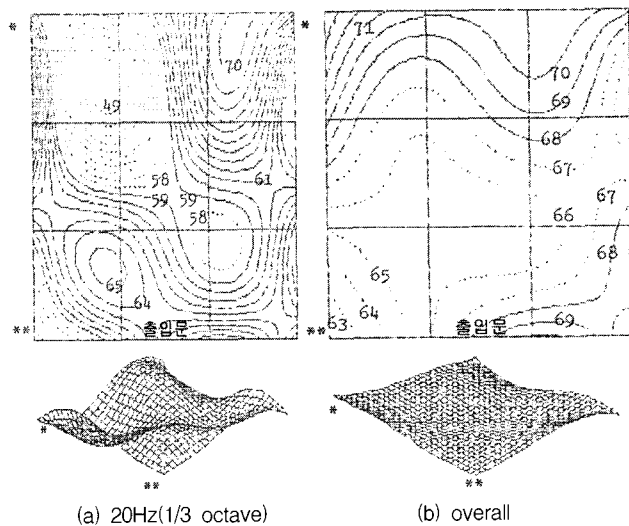


그림10. 운영중의 Z 축 진동 contour (180 m/min)

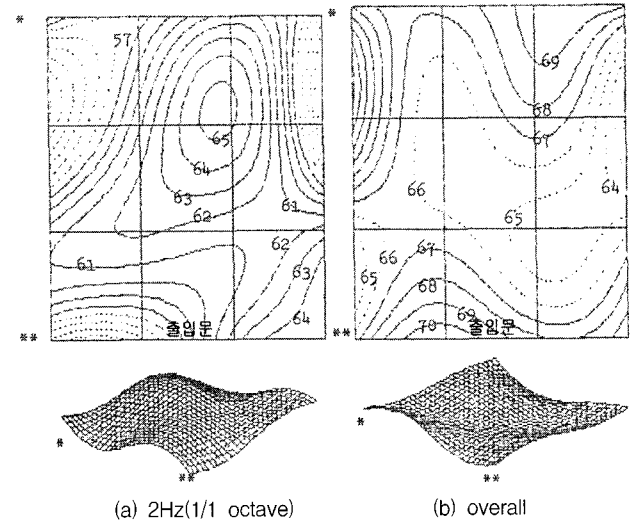


그림13. 운영중의 Y 축 진동 contour (180 m/min)

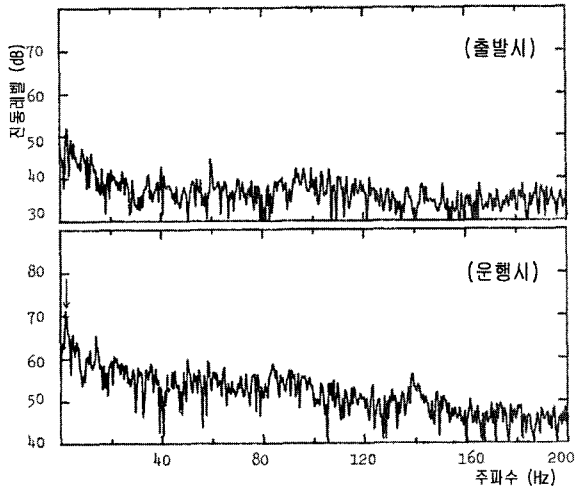


그림 14. 출발시와 운행시의 X 축 진동특성

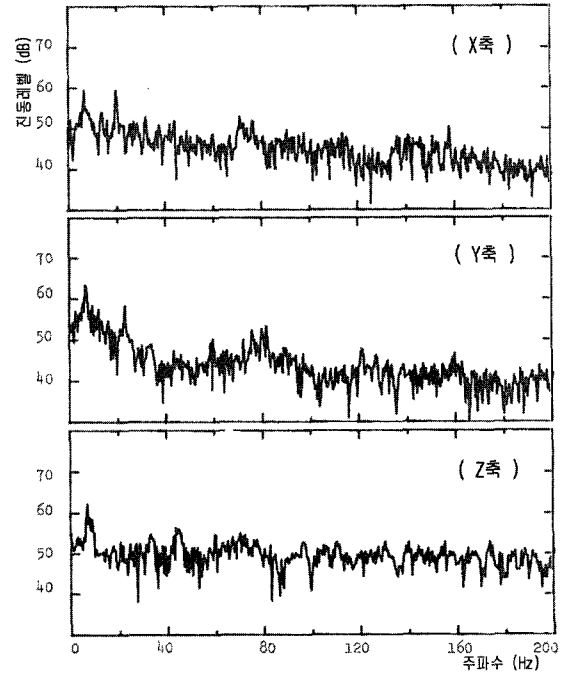


그림 17. 운행 중 케이지 옆면의 진동

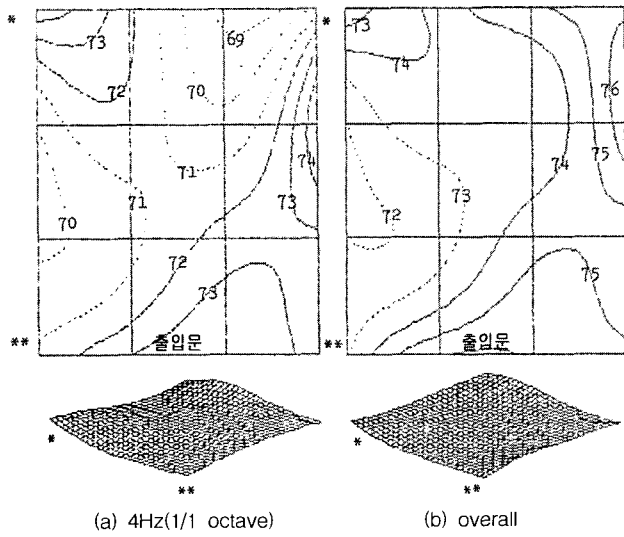


그림 15. 운행중의 X 축 진동 contour (210 m/min)

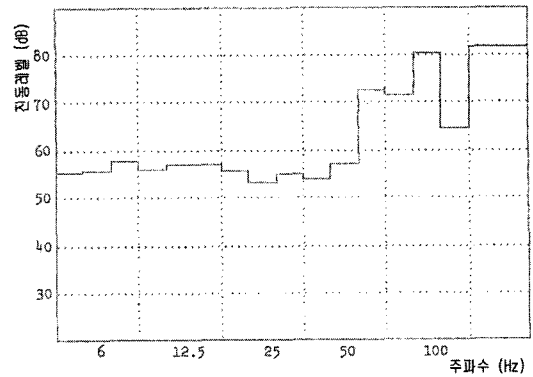


그림 18. 지점 16에서의 충격 진동 (1/3 octave)

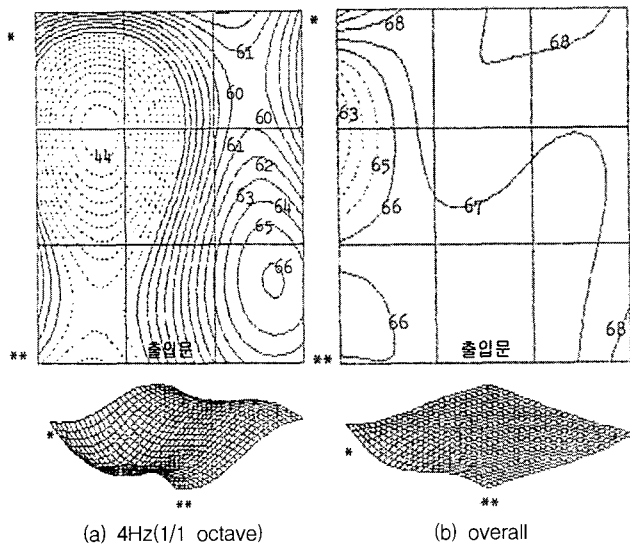


그림 16. 운행중의 X 축 진동 contour (180 m/min)

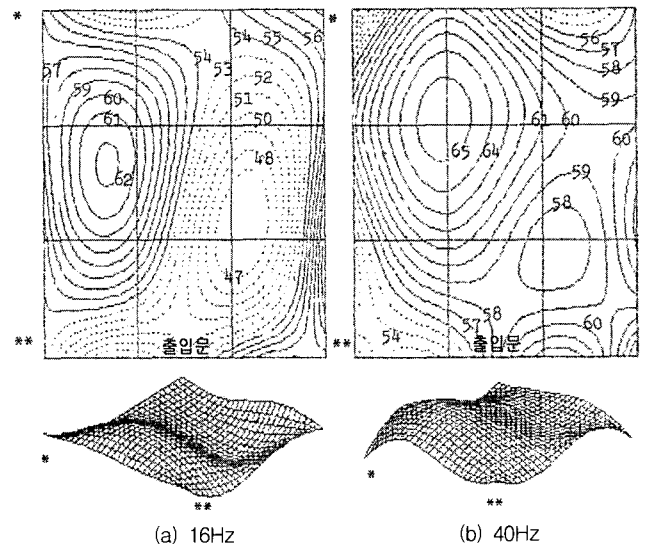


그림 19. 충격 진동의 contour (1/3 octave)

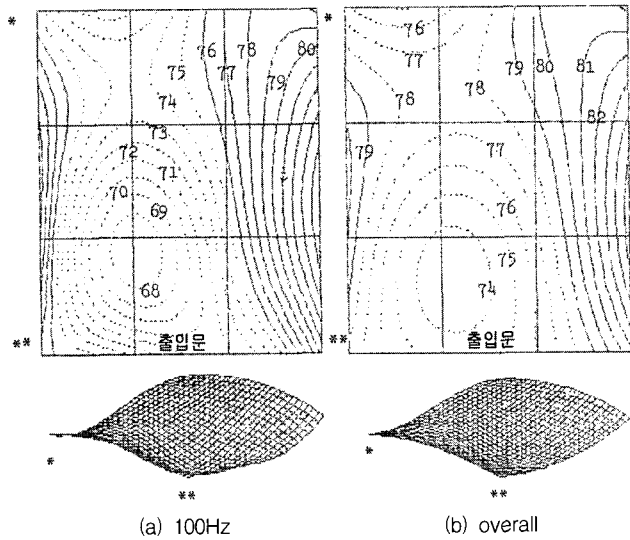


그림20. 충격 진동의 contour (1/3 octave)

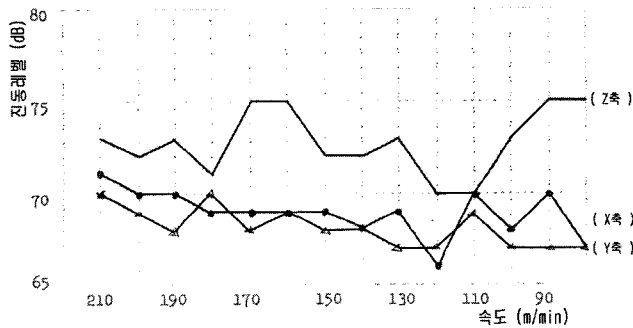


그림21. 속도 변화에 따른 진동레벨

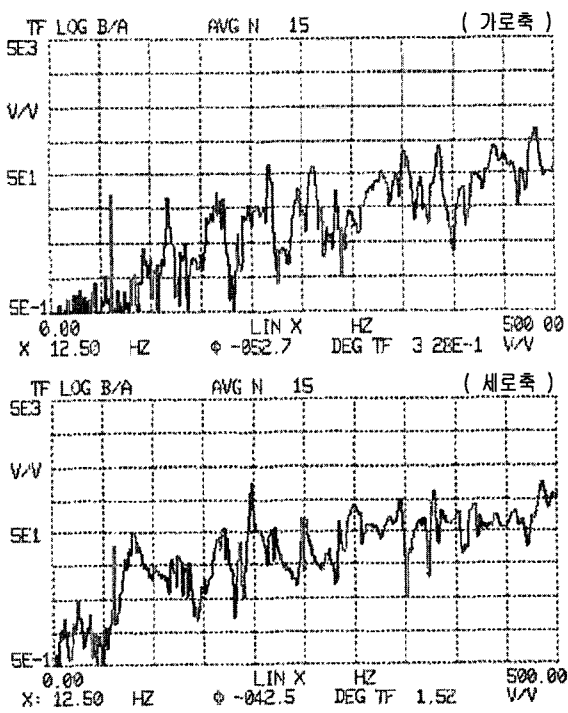


그림22. 전달 함수

림 22와 같다.

각 부위별 주파수에 따른 크기는 표 1, 2와 같으며, 가로축은 90 Hz와 세로축은 120 Hz, 170 Hz, 220 Hz의 모드 셰이프(mode shape)를 이용해 웨이트 밸런스를 알아보았다. 가로축 90 Hz, 세로축 220 Hz, 270 Hz, 350 Hz의 진동형태는 그림 23과 같다.

가로축은 중심을 기준으로 해서 오른쪽으로 편심되어 있고 세로축은 220 Hz에서 위쪽으로 편심되어 있으며, 270 Hz, 350 Hz는 균형이 잡혀 있는 것으로 판단된다. 그러므로 중심을 기준으로 해서 가로축의 오른쪽 부위에 중량을 부착하고, 세로축의 220 Hz가 문제가 된다면 위쪽 부위에 일정한 중량을 부착하는 것이 바람직하다.

(2) 케이스 모드 해석

본 실험에서는 케이스(case)를 가진하였을 경우 케이스 자체의 고유진동수와 일치할 경우에 발생하는 진동의 형태를 알고 케이스의 고유주파수 성분과 진폭을 정확히 규명하기 위해 모드 해석법을 적용하였다. 바닥 진동의 대표적인 전달함수는 그림 24와 같다.

측정된 전달함수는 복잡한 형태의 주파수와 진폭을 나타내기 때문에 가장 두드러진 주파수 성분에 대하여 모드를 선정하였다. 선정된 모드 수는 5개로 110 Hz, 180 Hz, 280 Hz, 340 Hz, 380 Hz이다.

각 모드별 모드 셰이프(mode shape)는 그림 25와 같다. 각 모드별 진동형태는 전반적으로 앞면이 뒷면보다는 크게 나타나고 있으며, 1차 모드에서는 양면의 중앙부위와 밑면의 중앙부위에서 크게 나타나고 있다. 2차 모드에서는 다른 주파수와 달리 밑면의 출입구쪽이 크게 나타나며 양 측면의 진동이 특히 심한 것으로 나타났다. 3차 모드는 오른쪽보다 왼쪽이, 위쪽보다 아래면의 진동이 심한 것으로 나타났다.

표1. 각 모드별 모드 벡터 (가로축)

주파수(Hz)	모드				
	1차	2차	3차	4차	5차
90	-0.133	-0.562	-0.230	0.610	0.491
120	0.234	0.479	-0.201	0.244	0.784
170	0.001	-0.361	0.337	-0.734	0.466
220	0.159	-0.179	-0.170	0.209	0.933
270	0.201	-0.115	0.714	-0.183	0.940
350	0.286	0.058	0.000	-0.234	0.927
380	0.649	-0.440	0.389	-0.408	0.258

표2. 각 모드별 모드 벡터 (세로축)

주파수(Hz)	모드				
	1차	2차	3차	4차	5차
90	-0.022	0.266	0.533	0.607	0.536
120	0.104	0.428	0.535	0.721	0.007
170	0.179	0.4291	0.522	0.594	0.355
220	-0.414	-0.636	-0.415	0.376	0.332
270	-0.304	-0.457	-0.130	0.762	0.320
350	-0.194	-0.492	-0.095	0.729	0.424
380	-0.196	0.080	-0.123	0.567	0.780

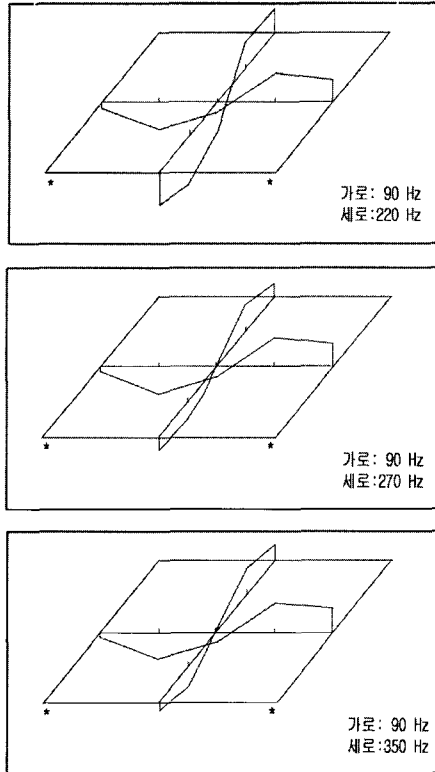


그림23. 케이지 바닥의 웨이트 밸런스

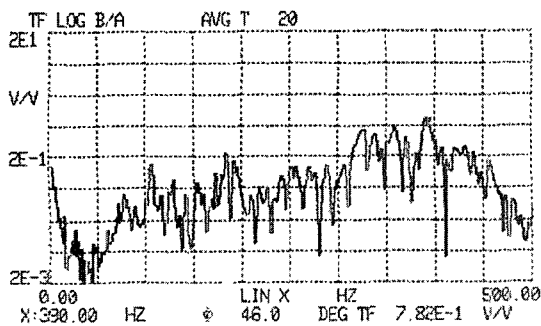


그림24. 전달 함수

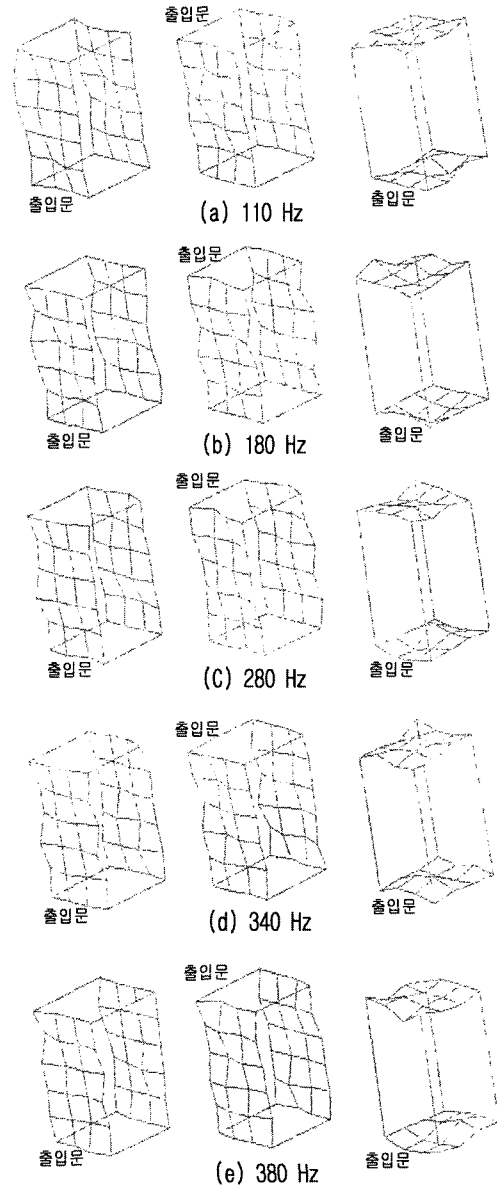


그림25. 주파수별 모드 웨이프

4. 결 론

기존 건축물 엘리베이터 케이지(cage)에서 발생하는 진동을 측정 및 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 운행 중의 진동 측정결과 X, Y축은 2~3 Hz에서 최대 피크(peak)가 나타나고, Z축의 경우에는 20 Hz에서 최대 피크가 나타났다. 또한, 케이지 옆면의 경우에는 7~8 Hz에서 피크가 나타났다.

(2) 속도변화에 따른 진동측정 결과 X, Y, Z축의 진동은 전반적으로 180 m/min 부근에서 가장 큰 것으로 나타났으며, 이는 진동원인 모터의 회전수와 엘리베이터 케이지의 진동특성이 서로 관련되어 발생하는 공진현상으로 판단된다.

(3) 엘리베이터 케이지의 Z축 진동은 출발시와 정지시 발생하는 진동의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 또한

충격진동 실험 결과 진동의 중심이 편심 되어있고 진동레벨 차이는 10 dB 이상이므로 진동발생 감소를 위해서는 방진고무가 제대로 역할을 할 수 있도록 효율적인 설계가 이루어져야 한다.

(4) 엘리베이터 케이지에 대한 모드(mode) 해석을 통해 웨이트 밸런스(weight balance)를 규명한 후, 주파수별 진동형태에 있어 편심 되어있는 부분에 중량을 부착함으로써 진동발생을 감소시킬 수 있다.

참고문헌

1. C. M. Harris, 『Shock and Vibration Handbook』, McGraw Hill Book Company, 1988
2. 井料政吉, 『騒音振動便覧』, 新技術開發センター, 昭和53年
3. 『騒音振動対策事例集』, 日本騒音制御工學會, 平成2年
4. 日本音響材料協會, 『騒音振動対策ハンドブック』, 技報堂出版