

Multiplex 영화관의 보행면 진동 방지 대책

○ 이 성호*, 정 갑철**

Vibration Isolation Method of Walking Space in the Multiplex Cinema

○ Sung Ho Lee*, Gab Cheol Jung**

ABSTRACT

The hall and the projection room of the multiplex cinema being constructed on the sixth and seventh floors at Jeonpo-dong market, Pusan, is composed of structural beams and decks considering the structures self weight problem, and the following problems are expected:

- Vibration and noise generated on the floors by moving audiences may annoy the audiences in the other hall
- Vibration and noise generate on the floor of the nearby hall as the audiences walk through the alley near the projection room
- Vibration and noise generate on the floor of the hall nearby the projection room as the film drops

This study measured and reviewed the vibration amount of the seven representative transferring routes that were selected for the halls and the alley near the projection room. Based on the analysis, the model hall was constructed and the vibration in the hall was estimated after cutting the deck. Also, this study constructed the steel stairs and investigated the vibration transferring characteristics to decide whether to construct the steel stairs in the building. Finally, the results were evaluated by actually using the stairs and reviewed the appropriateness of the measurement.

1. 서론

부산 전포동 유통상가 현장의 6, 7층에 Multiplex 영화관이 공사되고 있다. 이 영화관은 건물설계시 상가목적이었으나 공사중에 영화관으로 변경됨으로서 건물 자체의 하중 문제로 인하여 좌석부분과 영사실 부분이 철골 및 철판으로 구성되어 있다. 따라서 철판으로 구성된 영화관은 다음과 같은 문제가 예상된다.

* 대우건설기술연구소 주임연구원
** 대우건설기술연구소 책임연구원

- 영화 상영중에 인접관의 영화 종료시 관객 보행에 의한 좌석 바닥면 진동과 소음 발생
- 영사실 복도로 보행시 인접영화관 바닥의 진동과 소음 발생
- 영사실 바닥에 필름통 낙하시 인접영화관 바닥의 진동과 소음 발생

따라서, 상기 문제들의 검토를 위하여 12개 영화관 중 문제가 심각할 것으로 우려되는 영화관과 영사실 복도를 대상으로 하여 7개의 대표적인 전과 경로를 선정하고 예상되는 진동량을 측정 검토

하였다. 또한 측정 검토된 결과를 바탕으로 13번 영화관을 대상으로 샘플시공하고 철판 철단후의 객석부위의 진동을 평가하였으며, 계단면에 철제 계단을 설치하여 계단을 통한 진동전파 특성을 파악하고 철제계단의 시공여부를 판단하였다. 마지막으로 계단을 통해 사람을 보행하도록 하여 결과를 평가하고, 측정에 대한 적정성도 검토하였다.

2. 보행에 따른 충격량 검토

2.1 보행 하중

그림 1은 연속적인 보행에 의해 발생되는 하중 함수이다. 몸무게가 60kg인 사람의 보행속도는 약 112보/분이며 연속적인 발걸음으로 인하여 작용하는 힘의 파동(Force Pulse)은 약 0.1초 정도 중첩되어 나타난다. 따라서 사람이 2Hz의 진동수로 걸을 때의 하중은 다음식에 의해 구해진다.

$$F_p(t) = G + \Delta G_1 \cdot \sin(2\pi f_s t) + \Delta G_2 \sin(4\pi f_s t - \phi_2) + \Delta G_3 \sin(6\pi f_s t - \phi_3)$$

; Hugo Bachmann and Walter Ammann, Vibration in Structures Induced by Man and Machines, IABSE & AIPS & IVBH, 1987

여기서 G : 사람의 몸무게 (60kg)

$\Delta G_1, \Delta G_2, \Delta G_3$: 하중요소

f_s : 보행시 진동수

ϕ_2, ϕ_3 : 1차 하중에 대한 2차 및 3차

하중의 위상각

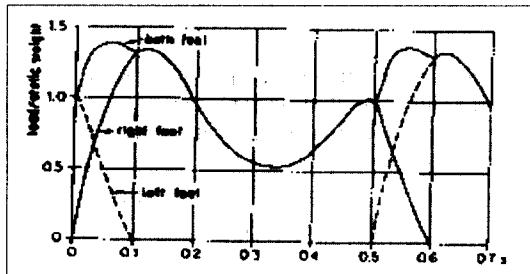


Fig. 1 연속적인 도보시의 하중 힘함수

보행시 진동수가 2Hz일 때의 $\Delta G_1 = 0.4G$, $\Delta G_2 = \Delta G_3 = 0.1G$ 이다. 위상각 $\phi_2 = \phi_3 = \pi/2$ 로 가정하면 그림 2와 같은 도보하중 함수가 나타내어진다.

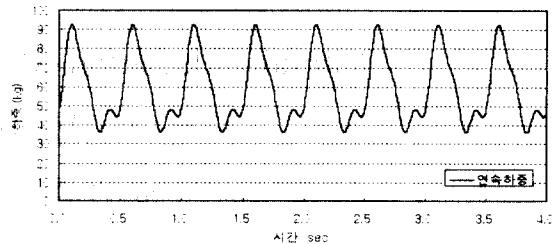


Fig. 2 하중식에 의한 도보하중 그래프

2.2 충격 하중

충격하중은 사람의 하중전체를 발의 뒤꿈치가 지지한다는 가정 하에 65mm의 높이에서 1300mm/s의 속도로 사람의 몸무게 만큼이 충격하중으로 가해질 때 발생하는 것이다. 이에 따른 진동수는 4Hz이고 지면접촉시간은 0.1초, 주기는 0.25초이다. 주기 T_p 동안의 충격하중은 다음 식에 의해 구한다.

$$F_p(t) = k_p \cdot G \cdot \sin(\pi t / T_p) \quad (t \leq t_p) \\ F_p(t) = 0 \quad (t_p < t \leq T_p)$$

여기서, $k_p = F_p \max / G$: 동적충격계수

$F_p \max$: 최대 동적하중

G : 사람의 몸무게 (60kg)

t_p : 지면 접촉 시간

$T_p = 1/f_s$: 뛰 걸음 주기

이 때, t_p/T_p 에 대한 동적충격계수 k_p 의 그래프는 그림 3과 같다. 그러므로 몸무게가 60kg인 사람이 가볍게 뛸 때, 시간에 대한 동적하중의 변화는 그림 4와 같이된다.

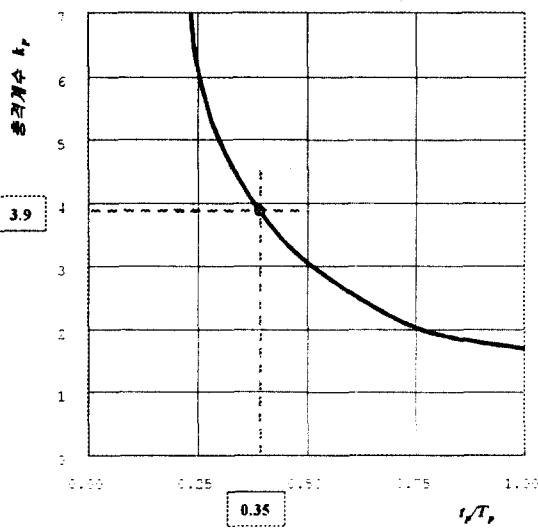


Fig. 3 충격계수

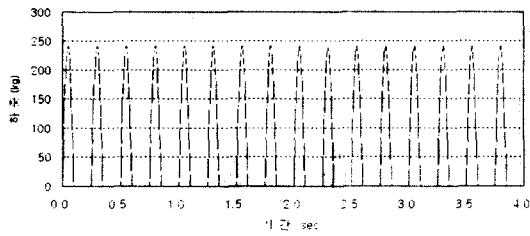


Fig. 4 연속하중

2.3 극장내 관객이동에 따른 하중량 예측

실제 극장내에서 관객들이 계단을 통해 이동할 때 바닥 슬래브에 가해지는 하중량은 충격에 의한 하중량보다 훨씬 작을 것으로 예상되며, 관객이 일시에 이동하여 혼잡한 관계로 112보/분 라는 속도 보다도 느리게 움직일 것으로 보아 일반보행에 의해 가해지는 하중보다 약간 작을 것으로 예상된다.

2.1절과 2.2절에서 산출했듯이 일반보행시에 가해지는 피크 하중량은 사람 몸무게 60kg 가정시 1.5배 정도인 약 90kg이고, 충격하중에 의해서는 4 배정도인 약 240kg로 볼 수 있으며, 실제로는 1인이 아닌 다수에 대한 하중 변동량이므로 불규칙(random)하다고 생각하여 4인이 동시에 피크 하중

량을 가한다고 가정하였다. 이에 따른 하중량을 계산하면,

$$240\text{kg}(60\text{kg} \times 4\text{인}) \times 1.5(\text{일반보행시}) = 360\text{kg}$$

으로 볼 수 있으며, 차후 바닥 카펫트 등의 마무리 공사가 완료된 후에는 충격에 대한 완충능력이 강화되어 이보다 감소된 하중량이 가해질 것으로 사료된다.

2.4 BANG Machine에 의한 충격량과 실제 하중과의 상관성

진동측정에 사용된 충격 가진기구 BANG Machine은 그림 5와 같은 특성을 지녀 순간 충격량이 3800 N (=390 kg)에 달한다. 따라서 예측된 실제 하중량 360kg과 비교시 Bang Machine에 의한 가진 충격량은 안전율을 고려할 때 적정하다고 판단된다.

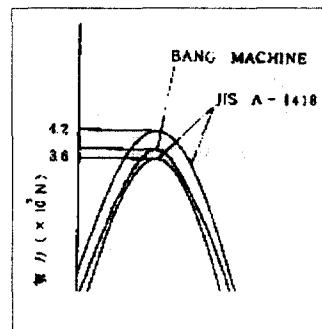


Fig. 5 Impulse Waveform

3. 측정 및 평가방법

3.1 측정 방법

12개 영화관 중 영화관끼리 인접된 대표적인 형상이라고 할 수 있는 4개소와 영사실과 영화관이 인접된 형상의 3개소를 선택하였다. 인접 영화관에서 Bang Machine 및 Impact Hammer를 이용한 충격가진시 음원점 및 수음점 7개 지점에 가속도

센서를 부착하여 최대 진동량과 진동 스펙트럼을 이용한 주파수 응답함수를 구하여 영화관 바닥 슬래브의 공진 모드를 해석하였다.

측정은 외부 진동요인을 제거하고자 현장 작업이 모두 끝나고 인근 도로차량 운행이 한적해진 22:00부터 행하였으며, 음원점은 충격의 전달을 최대화시키기 위해 보가 위치한 지점을 선택하였고 수음점은 객석 의자의 위치를 고려하여 판진동이 최대로 발생하는 것으로 예상되는 6개의 지점을 선정하였다. 그림 6은 측정위치를 나타낸다.

3.2 평가방법

진동의 평가는 연속정현진동의 경우 진폭을 $\sqrt{2}$ 로 나눈 유효값을 구하여 고유진동수에 대한 평가곡선과 비교하면 되지만, 랜덤진동(random vibration)의 경우에는 다양한 진동성분으로 구성

되어 있으므로 1/3 옥타브 분석결과를 비교하는 것이 바람직하다. 또한 충격하중에 의한 감쇠진동의 경우에는 정상진동에 비해서 느끼기 어려우므로, 유효값을 보정할 필요가 있다.

여기서는 $C_r = \sqrt{2}(2f_r)^{0.35}$ 인 저감계수로 유효값의 최대진폭을 나누어 평가하였으며, ISO 2631/2 (Draft)에 준해서 건물의 용도에 따라 정해지는 진동평가곡선을 이용하였다(그림 6 참조). 이 곡선은 수평·수직 전방향의 정상진동에 대한 평가곡선이고, 유효값으로 정의되어 있다. 환경계수는 건물용도에 타당하다고 판단되는 값으로 표 1과 같이 정리될 수 있다.

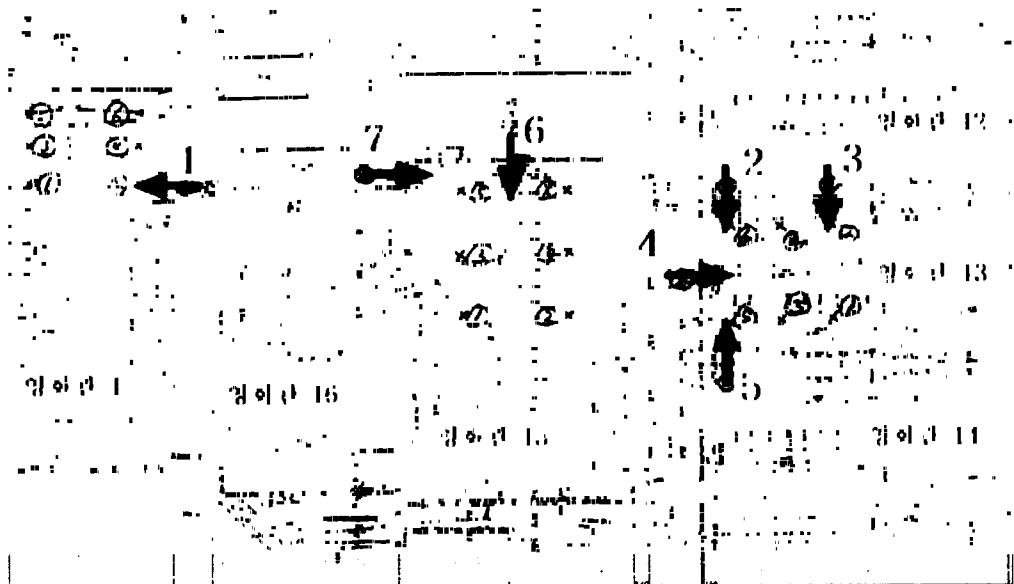


그림 6. 측정위치도

표 1. 인체반응을 고려한 건물 진동크기에 따른 환경계수

용도	정밀작업 구역	주택, 병원	사무소, 학교	작업소
환경계수	1.0	2.0	4.0	8.0

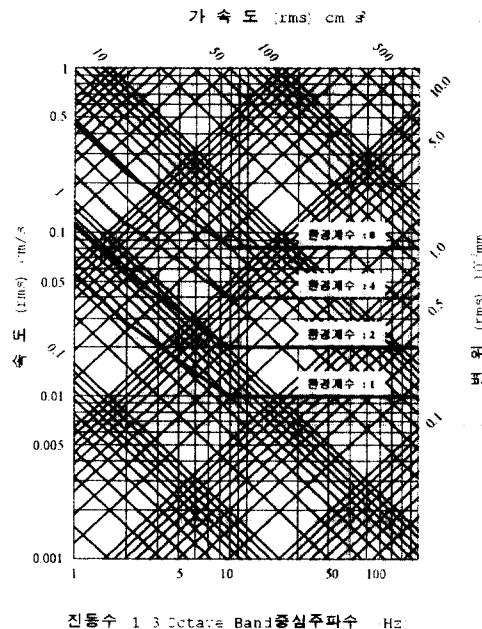


Fig. 6 진동평가곡선 (ISO)

그림 7은 Meister의 진동감각곡선을 3축 표시한 것이다. B곡선이 일본건축학회 설계기준으로 바닥 슬래브는 이 조건을 만족해야 한다.

영화관 바닥의 진동에 대해서는 ISO 2631의 환경계수 “4”를 기준으로 삼고자 한다. 환경계수 “4”는 일본건축학회의 설계 기준보다 작은 값으로 이에 만족할 경우 영화관으로서 사용해도 무방할 것으로 판단된다.

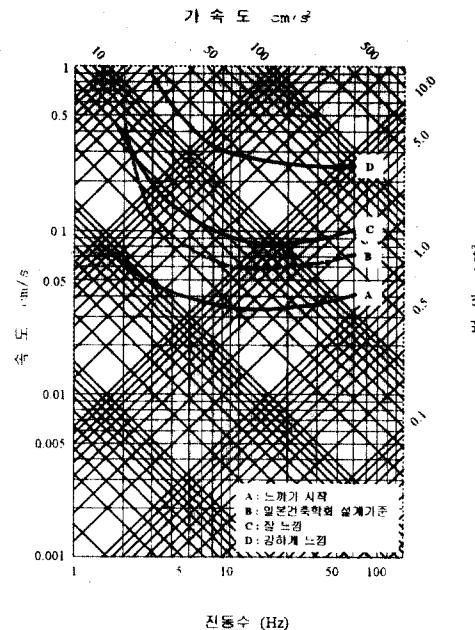


Fig. 7 진동평가곡선 (Meister)

4. 측정결과

4.1 전파경로

12개 영화관 중 영화관끼리 인접된 대표적인 형상이라고 할 수 있는 4개소와 영사실과 영화관이 인접된 형상의 3개소를 선택하여 진동 전파 경로에 따른 진동값을 측정하였다. 총 7개의 전파 경로는 표 2와 같다.

4.2 경로별 진동측정 결과

보행자의 움직임에 의한 충격원을 가정한 중량 충격원 발생장치(Bang Machine)을 이용하여 바닥의 진동을 측정하였다. 측정된 진동에 의한 바닥의 사용성 평가를 위하여 가장 엄격한 기준인 ISO 2631/2의 사용성 평가기준을 이용하였다. 표 3은 측정실의 6개 위치에서 가장 큰 진동값을 갖는 2

개의 값을 표기한 것이다. 표기된 최대값에 대해서는 ISO의 환경기준 및 일본건축학회의 설계기준과 비교하였다. 표 3에 나타난 바와같이 문제가 예상되는 경로는 3번과 4번 경로이다. (그림 10의 대책 전 진동 측정값 참조)

이들 중에서 4번 경로는 영사실의 위치가 영사실 복도보다 높은 곳에 위치하여 있어 현재 측정된 진동보다 적은 진동이 예상되고, 영사실 바닥에 방진재와 콘크리트를 이용한 별도의 뜬바닥(Floating Floor)을 설치하여 진동 전달을 차단시킬 수 있으므로 실제로 문제가 발생될 수 있는 경로는 좌석 간의 철판과 철꼴이 연결된 3번 경로 뿐이다

표 2. 전파경로

경로명	진동원 위치	측정점 위치	비 고
1	제 1관 뒤쪽 영사실 복도 바닥	제 1관 상부 좌석	영사실과 영화관, 레벨차가 큼
2	제 12관 위쪽 계단		영화관과 영화관, 동일 레벨
3	제 12관 아래쪽 계단		
4	제 13관 뒤쪽 영사실 복도 바닥	제 13관 좌석	영사실과 영화관, 레벨차가 약간 있음
5	제 14관 위쪽 계단		영화관과 영화관, 동일 레벨
6	제 15관 뒤쪽 영사실 복도 바닥	제 15관 좌석	영사실과 영화관, 레벨차가 없음
7	제 16관 위쪽 계단		영화관과 영화관, 레벨차가 있음

표 3. 경로별 진동측정 측정결과

경로명	측정 번호 / 환경 계수 ()는 일본건축학회기준		비 고
	최대값	두번재값	
1	2 / 4 미만 (A 미만)	4 / 2 미만	
2	6 / 4 미만 (A 이하)	4 / 4 미만	
3	4 / 8 이상 (C 이상)	3 / 8 미만	영화관과 영화관
4	6 / 8 이상 (C 이하)	5 / 8 미만	영사실과 영화관
5	6 / 1 미만 (A 미만)	3 / 1 미만	
6	5 / 4 미만 (A 미만)	6 / 4 미만	
7	5 / 1 미만 (A 미만)	4 / 1 미만	

3번 경로는 영화관이 나란히 놓여 있으며 5번 경로와 같이 중간에 어떠한 통로도 없어 진동 전파가 매우 쉬운 구조이다. 이 구조에 대한 주파수 응답특성(Frequency Response Function)을 조사한 결과 10Hz에 철판구조물의 1차 고유주기가 존재(스크린에서 영사실 방향의 휠 성분)하며 진동원과 진동가속도가 크게 나타나는 10~20Hz 영역에서 충격원과 측정점 사이에 진동전달에 대한 상관성도 매우 높음을 알 수 있다. 또한, 3번 경로와 동일한 형상을 가진 8, 9번 영화관 사이에서도 동일한 문제가 발생될 가능성이 크다.

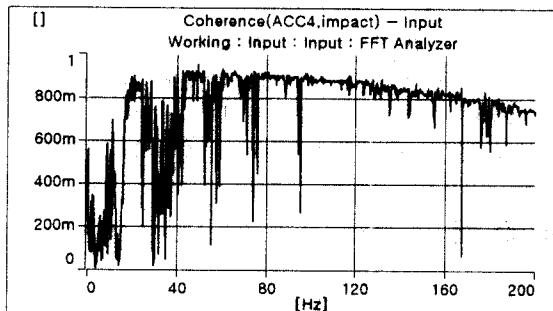


Fig. 8 Coherence

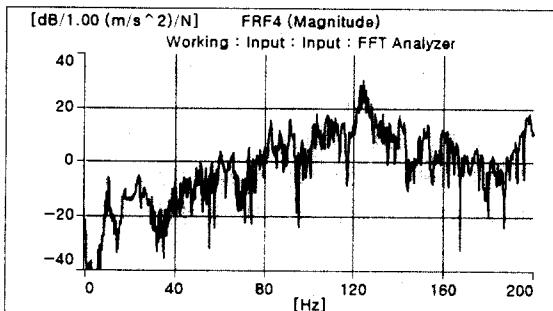


Fig. 9 FRF

5. 영화관 객석의 진동대책

5.1 철판절단 효과

3번 경로와 같이 객석사이에서 직접적으로 전달되는 진동을 차단 시키기 위해서 H-beam (철플) 위에 직접 용접되어 있거나, 인접 영화관의 좌석끼리 직접 연결된 철판 및 보강재의 전부를 절단하여야 한다. 따라서 13번 영화관 객석부위에 대한 철판을 절단한 후 벽체를 시공하면서 3번과 5번 경로에 대해 진동전파특성을 측정한 후에 대책전파비교하였다.

그림 10에서 보는 바와 같이 철판의 절단 이전에 3경로에서 진동이 가장 심한 4측정 위치에서 ISO의 환경기준으로 8이상이었으나 철판 절단 이후 4에 접근하고 있다. 이는 환경계수 8에서는 영화관으로 사용이 불가능한 수준이었으나 환경계수 4에서는 사용이 가능하다. 또한 철판의 절단 이후에 공통적으로 10 ~ 20 Hz 주변에서 많은 진동이 차단되었음을 확인할 수 있었다.

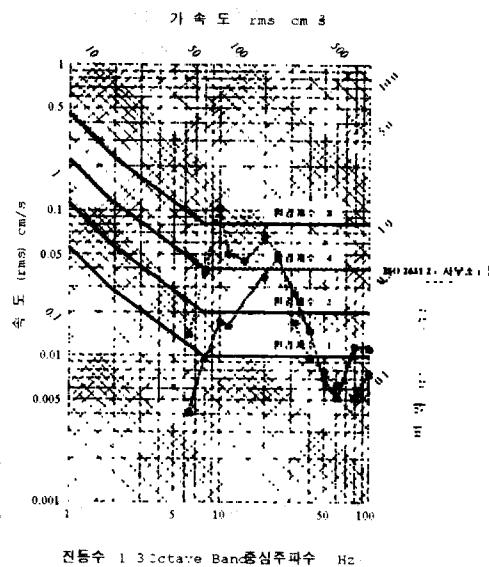


그림 10. 철판 절단 후 효과

5.2 철제계단 설치 효과

기존의 계단면위에 철제계단을 설치하여 기존 계단의 하단면과 새롭게 설치한 계단면의 중간부분을 4번경로로 진동을 측정하여 비교하였다. 측정

결과 계단의 하단면의 진동이 새롭게 설치한 계단의 중간면보다 진동이 강함을 알 수 있었다. 새롭게 설치한 계단면의 진동이 작은 것은 계단을 구성하는 철판들이 작은 철판들로 구성되어 상대적으로 강성이 강화되어 진동이 저감된 것이다.

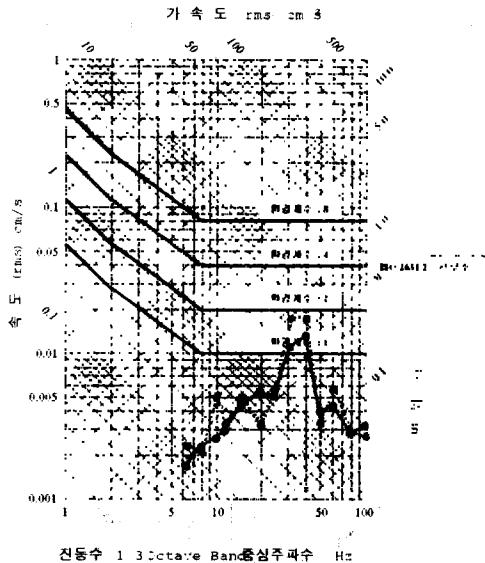


그림 11. 계단설치후의 효과

5.3 제진재와 카페트 설치 효과

계단의 하단면과 계단중간 부위에 제진재(두께 2mm, 감쇠비 0.16)를 부착한 후 카페트를 깔고서 진동을 측정하여 설치전과 비교한 결과는 아래와 같다. 단, 카페트 하부에 밀포드재료를 깔지 않은 상태이다.

- 제진재 및 카페트 설치전 : 환경계수 2 미만
- 제진재 및 카페트 설치후 : 환경계수 2 미만

제진재의 설치목적이 진동에 의한 소음의 방사를 억제하는 것이지만 진동차단에도(10% 감소) 효과가 있음을 알 수 있었다.

5.4 계단에서 보행시의 효과

Bang Machine의 충격에 의한 진동실험의 적정성을 검토하기 위하여 계단의 하단면과 계단중간 부위에 재진재(두께 2mm, 감쇠비 0.16)를 부착한 후 카페트를 깔고서 두 사람이 보행을 하도록 하였다. Bang Machine의 충격량이 4사람의 보행량의 합이라고 가정하였으므로 계단을 움직이는 보행자들로 하여금 되도록 격하게 움직이도록 하였다. 측정결과는 아래와 같다.

- 보행시 5번 측정위치 : 환경계수 2미만
(Bang Machine 충격시 5번 측정위치) : 2미만
- 보행시 3번 측정위치 : 환경계수 1미만
(Bang Machine 충격시 3번 측정위치) : 2미만

6. 결론

철골과 철판으로 구성된 영화관 좌석과 영사실 복도를 대상으로 진동측정을 통해 사용성 평가를 실시하고 진동방지 대책을 수립하였다. 측정결과 및 대책방안은 다음과 같다.

가. 철판의 절단후 좌석의 진동은 시공전 보다 2.3이상이 차단되어 영화관으로서 사용이 불가능한 환경계수 8에서 영화관으로서 사용이 가능한 환경계수 4에 접근되었다. 따라서 객석끼리 연결된 철판의 절단만으로도 충분한 효과가 있음을 알수 있었다.

나. 철제계단의 설치후 계단 설치전보다 약간의 진동차단 효과가 있었다. 이것은 계단면의 강성이 보강되어 진동을 차단시킨 것으로 판단된다.

다. 철판면에 제진재와 카페트 부착시 약간의 진동차단 효과가 있었다. 이것은 바닥에 가해지는 충격을 완화시키기 때문인 것으로 보인다.

라. 철제계단을 두사람이 과격하게 보행하여도 Bang Machine의 충격에 의한 환경계수값에 미치지 못하였다.