

복합상가건물 영화관 영사실의 진동허용 규제치 결정 및 저감 대책

A Study on the Determination of Vibration Criteria and Vibration Reduction at Projection Room Floor in a Complex Building

○ 박해동* · 김강부* · 백재호*

Park Hae Dong, Kim Kang Boo and Baek Jae Ho

Key Words : Vibration Criteria(진동허용 규제치), Relative Vibration Displacement(상대진동변위), Projection Room(영사실) Frequency Response Function(주파수 전달함수).

ABSTRACT

영화관의 구조설계에서 중요한 고려 인자 중에서 음향적 관점뿐만 아니라, 영사기의 진동으로 인한 영상의 떨림 현상은 관람석에서 미치는 구조물의 동적 특성 문제에 있다. 이는 영사기-스크린-관람객 사이의 3인자에 대한 상대진동허용변위에 의해 지배됨을 고려하여, 이를 만족시키는 변수 등에 따른 진동허용규제치를 결정하는 절차가 필요하다. 본 연구에서는 영화관의 진동허용규제치를 이들 3인자에 대한 변수들을 고려한 결정 과정을 공학적인 차원에서 정리하였으며, 복합상가 건물내의 영화관 영사실에 이를 만족하기 위한 진동 저감설계 자료에 활용하였다.

1. 서론

건축공간의 부가가치화에 대한 사회적 요구가 높아져서 복합적인 기능을 하는 상가건물이 많이 건축되고 있다. 건물의 경제성과 사용성을 위해 동일 건물내에서도 진동원이 되는 위락시설과 이에 반하여 정온한 환경을 요구하는 주거 시설이나 영화관이 위치하여 건물외부의 진동원에 대한 대책과 더불어 건물내부의 진동원에 대한 주거성과 사용성의 확보가 설계상의 중요한 과제로 대두 되고 있다. 복합상가 내의 영화 관람관의 구조설계에서 고려해야할 중요한 요인은 관람실의 실내외에 미치는 음향학적인 관점과 화면에 나타나는 영상의 떨림 현상이 관람객에게 미치는 구조물의 동적인 문제가 있다. 영화관에서의 음향학적인 문제는 전자 및 건축학적인 측면에서 많은 연구가 이루어져왔지만, 스크린에서 영상의 떨림 현상은 광학 및 영사기의 동적 전달함수와 건축 구조물의 동적 특성 등 많은 설계 요인에 의하여

결정되기 때문에 이를 고려한 건축 구조물의 동적 응답을 정량적으로 접근한 연구는 많지 않은 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 복합상가 빌딩내 위락시설로 인한 영화관시설물의 동적특성 문제를 고려하기 위하여 영화 상영관에서의 영사기-스크린-관람객 사이의 3-인자(因子)에 대한 상대진동허용변위를 우선적으로 결정하고 이를 만족시키는 3-인자의 변수에 따른 진동허용규제치를 결정하는 절차를 제시하였으며 실제 설계된 영화관람관의 진동저감대책과 진동허용규제치의 결정 과정을 공학적인 차원에서 정리하였다.

2. 진동제어 절차서

아파트, 오피스텔, 사무용 건물 등은 건축재료와 시공 기술의 발달로 고강도 경량 콘크리트와 Steel Structure 및 SRC구조를 채용함으로써 경제성과 함께 초고층화의 실현이 가능하게 되었다. 고강도 저감쇠 재료의 사용은 인간의 안락성과 주거환경의 건전성에 영향을 미칠 수 있는 소음/진동 문제를 필연적으로 발생시키는 하나의 주원인으로 작용하게 되었다. 이러한 건물에 대한 구조, 설비 및 유틸리티 설계 엔지니어

* 알엠에스 테크놀로지(주)
E-mail : nmstech@rmstech.cokr
Tel : (041) 556-76, Fax : (041) 556-7883

어들에게 있어서 관심사 가운데 하나가 초기 설계 단계에서 어떻게 진동문제를 예측하고 해결할 것인가, 라는 문제이다. 건물의 전체적인(global) 또는 국부적인(local) 동적 문제를 실험과 해석을 통하여 예측하고 대책을 수립하는 연구가 다양한 분야에서 시도되어 왔지만, 초기 설계 단계에서 순수 동적 해석을 활용하여, 건물의 동적 문제를 풀기 위해서는 많은 노력과 시간이 필요할 뿐만 아니라, 필요한 응답의 정밀도가 높으면 높을수록 구해진 데이터에 대한 신뢰성 문제를 구조설계 엔지니어 스스로가 의문을 제기하는 경험에 있을 것이다. 이러한 회의(懷疑)는 동적해석에 사용한 인자(因子) 개개에 대한 불확실성과 동적인자들 사이의 상호관계에 대한 불명확한 정의와 사용하고 있는 동적 해석방법이 이러한 문제를 충분히 반영하고 있는가, 라는 의구심을 가지고 있다면 그 결과에 대하여 신뢰성에 문제를 가지는 것은 자명한 일이다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 시도의 하나로 실 구조물(real structure) 개념에서의 직접적인 동적 실험 데이터를 동적해석에 삽입하여 구조적으로 발생할 수 있는 동적 인자의 에러를 줄이는 Semi-empirical Method라는 방법이 제안되고 있다⁽¹⁾.

진동을 제어하기 위한 모든 절차는 진동원(Source Part)/전파경로(Propagation Part)/수진점(Receiver Part)으로 분리하여 진동 제어 절차서에 따라 수행되어진다⁽²⁾.

① 진동원에 대한 고려

진동원의 특성과 진동문제 사이의 관계성과 효율적인 대책 안에서 진동원이 고려된다. 진동원의 문제점을 확인하기 위해서는 신뢰성 있는 측정데이터와 예측기술이 필요하다.

② 합리적인 진동허용규제치 결정

다양한 환경에 적용할 수 있는 진동허용규제치 데이터의 확보가 필요하다. 설계대상물의 적정한 가동조건 보장을 위한 합리적이고 경제적인 데이터 확보를 위한 명확한 정리가 필요하다.

③ 진동허용규제치를 성취하기 위한 진동대책설계

대책 가능성과 경제성이 가장 필요한 부분이다. 다양

한 내진 및 방진기술과 방진시스템, 방진소자의 평가 기술이 요구된다.

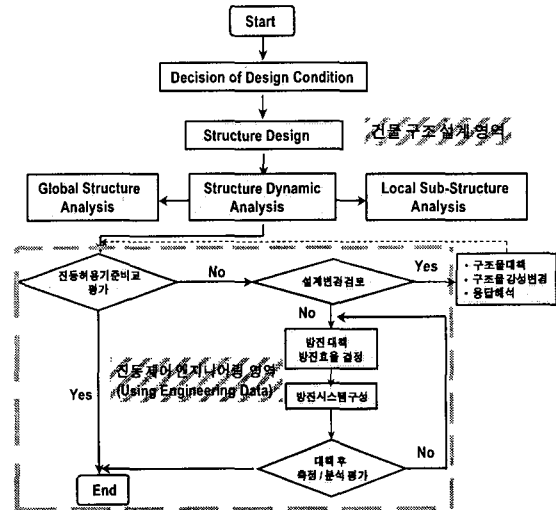


그림 1. 구조물 동적 해석 및 진동제어 절차서

2.1 나이트클럽의 규칙적인 충격성 진동원

복합상가 9층에 위치한 나이트클럽에서 발생하는 사람의 도약에 의한 충격성 진동원은 음악 율동에 맞춰 구조물에 다소간의 정상상태 진동을 야기하게 된다. 이러한 진동원은 모든 사람이 동일한 운동으로 바닥에 전달되어 지며 동적하중은 사람의 수와 직접적인 관계가 있다. 사람의 반복적인 활동형태에 시간이력 하중은 주파수상에서 기본주파수 이의 조화성분으로 나타나며 기본주파수에서 대부분의 제일 큰 하중을 나타내고 있다⁽³⁾.

사람의 반복적인 활동에 의해 발생하는 정규화된 동적하중 함수는 자중과 푸리에 계수로 식(1)과 같이 표현할 수 있으며 이에 대한 계수는 표1과 같다.

$$F_p(t) = G + \sum_{i=1}^n G \cdot \alpha_i \sin(2\pi f_p t - \phi_i) \quad (1)$$

여기서 G=사람의 자중, α_i =푸리에 계수, f_p =반복주파수,

ϕ_i =1차 하모닉에 대한 i 번째 하모닉의 위상차,

t_p = 도약시 바닥과의 접촉시간

무대 Floor Stage 평면 25m×12m(300m)에서 1m²당 세 사람의 밀집할 경우는 음악의 율동에 따라 최대 900명이 동시에 무대에서 충격성 진동을 야기할 수 있다. 진동이 하부 및 인접 영사실로 전달되는 영향성 문제는 9층 바닥과 8층 영사

실 및 7층 영화관바닥과의 주파수 전달함수가 결정되면 이들 수진점에서 진동응답을 예측할 수 있다.

3. 영화관의 진동허용규제치

표 1. Coefficients of normalized dynamic forces

Representative type of activity	Activity rate [Hz]	Fourier coefficient and phase lag					Design density [persons/m ²]
		a ₁	a ₂	φ ₂	a ₃	φ ₃	
"walking"	vertical	2.0	0.4	0.1	π/2	0.1	~1
	forward	2.4	0.5				
		2.0	0.2	0.1			
lateral	2.0	a ₁₂ = 0.1 a ₁₂ = 0.1	a ₂₂ = 0.1				
"running"	2.0 to 3.0	1.6	0.7		0.2		
"jumping"	normal	2.0	1.8	1.3	*)	0.7	in fitness training ~0.25 (in extreme cases up to 0.5)
		3.0	1.7	1.1	*)	0.5	
		2.0	1.9	1.6	*)	1.1	
high	2.0	1.8	1.3	*)	0.8	*) φ ₂ = φ ₃ = π(1 - f ₀)	
	3.0	1.8	1.3	*)	0.8		
"dancing"	2.0 to 3.0	0.5	0.15		0.1	~4 (in extreme cases up to 6)	
"hand clapping with body bouncing while standing"		1.6	0.17	0.10		0.04	no fixed seating ~4 (in extreme cases up to ~6) with fixed seating ~2 to 3
		2.4	0.38	0.12		0.02	
"hand clapping"	normal	1.6	0.024	0.010		0.009	~2 to 3
		2.4	0.067	0.024		0.015	
		2.0	0.170	0.047		0.037	
"lateral body swaying"	seated standing	0.6	a ₁₂ = 0.4	-	-	-	~3 to 4
		0.6	a ₁₂ = 0.5	-	-	-	

식 (1)과 표 1의 jumping에 의한 계수를 사용하고 집속시간을 0.16sec로 사람의 무게를 700N(70kgf)로 한 푸리에 계수와 시간이력 하중을 아래 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 1인당 도약에 의한 순간 최대 하중은 자중의 3배정도로 나타났다

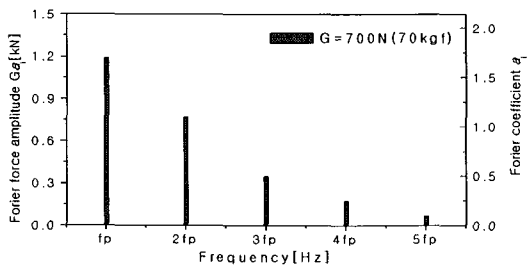


그림 2. Discrete Fourier amplitude spectrum for the forcing function from jumping(jazz dance training, 1.8<fp<3.5)

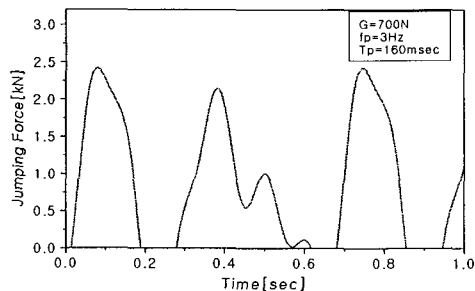


그림 3. Forcing function from jumping on the spot at jumping rate of 3Hz

일반 영화관과 달리 상부에 진동원이 되는 나이트클럽이 위치하고 있어 충격성 진동에 대한 하부층 영화관과 영사실의 진동대책이 요구되며 진동저감 설계를 위해서는 진동목적치의 설정이 요구된다. 영화관의 진동에 기인한 영상의 떨림 현상은 광학 및 영사기의 동적 전달함수와 건축 구조물의 동적 특성 등 많은 설계 요인에 의하여 결정되며 영화 상영관에서의 영사기-스크린-관람객 사이의 3-인자(因子)에 대한 상대진동허용변위를 우선적으로 결정하고 이를 만족시키는 3-인자의 변수에 따른 진동허용규제치를 결정하였다. 여기서는 실제 설계된 영화관람관의 진동허용규제치의 결정과정을 공학적인 차원에서 정리하였다.

우선 관람객 입장에서는 최대상대진동변위가 사람의 잔상특성과 눈의 분해능을 고려하여 결정된다. 눈의 분해능에 대해서는 사람이 스크린에 가장 가까이 앉아서 관람하는 경우가 가장 영상 진동에 민감하게 반응한다. 즉, 영상의 확대 계수 Fm과 영사기 렌즈 진동 Vc를 곱한 것이 스크린에 영사될 경우 화면 떨림의 크기가 결정되고 이것에 대하여 스크린 자체의 떨림 Vs, 그리고 관람객 자체의 떨림 Vm의 합에 의하여 상대진동변위가 결정된다. 물론, 최대 상대진동변위는 위상이 일치하는 경우이다. 여기서 또 다른 중요한 인자는 영사기 자체의 전달함수이다. 이것은 영사기 제작사에서 기본적으로 제출하는 것이 바람직하며, 이를 근거로 하여 영사기가 설치되는 영사실 슬래브 진동허용규제치를 결정하여야 한다. 아래 그림 4와 같은 사양을 가진 영화관의 진동허용규제치를 결정하는 과정을 정리하였다. 일치적으로 상대진동허용변위를 결정하고 이를 만족하는 영사실 슬래브의 진동허용규제치를 결정하게 된다. 상대진동허용변위는 사람의 눈의 특성과 영화관의 특성에 의하여 결정되는 인자(因子)이다.

영사실 영사기의 미소진동은 스크린 화면의 진동을 증폭하게 하여 화질을 떨어뜨리게 된다. 영사기에서 투사된 영상이 스크린과의 상대변위의 크기제한은 영상의 중첩을 방지하고 사람의 눈으로 인식하지 못하는 수준이어야 하며 스크린에서의 이러한 상대변위를 제한하는 기준으로 시력검사표를 채택하였다. 그림 5와 같이 시력 1.5인 사람이 약 2m 거리에서 알파벳 C의 노출부분을 파악할 수 없는 간격이 약 0.6mm로 알려져 있다. 이를 사용하여 스크린과 가장 가까운 7m 거리의 객석에서는 V_{ax}=2.1mm로 스크린 영상의 상대변위를 제한하기로 한다. 영화 관람석에서 스크린의 최

배치를 결정하여 소음진동의 대책중 하나인 거리감쇠 효과를 이용하여 대책비용을 줄여야 한다. 하지만 현재 복합 상가 건물내 소음진동원인 나이트클럽과 노래방이 정숙을 요하는 영화관과 근린생활시설이 인접하여 소음진동저감을 위한 엄격한 대책이 요구되고 있다.

영화관 영사실의 진동허용규제치를 만족하기 위해서는 9층 나이트클럽 바닥을 뜬바닥 구조(floating floor system)로 검토 하였다. 나이트클럽은 바닥투과 소음차단과 더불어 사람의 도약으로 인한 진동전파 차단을 만족하게 하기 위해 방진 효율이 높은 뜬바닥 구조와 2중바닥의 무게를 고려하였으며 9층 바닥의 빔과 거더를 보강하고 감쇠치를 높이는 구조로 설계하였다. 이 경우 그림 (7)와 같이 뜬바닥 구조의 고유진동수와 8층 영사실 바닥의 굽힘모드에 의한 고유진동수가 일치하므로 사람의 도약시 발생하는 기본주파수 3Hz에서 모빌리티가 증가하므로 영사실의 바닥의 감쇠를 구조변경 하여 최종적으로 9층 바닥과 8층 영사실 바닥의 모비리티를 3Hz에서 $4.2 \times 10^{-5} \mu\text{m}/\text{N}$ 가 되도록 설계하여 영화관 영사실로 진동허용규제치를 만족하도록 설계하였다.

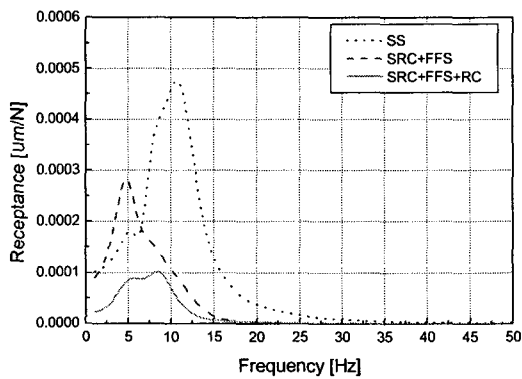


그림 7. 8층/9층 바닥의 주파수 전달함수

4. 결론

복합상가 건물의 영화관 영사실 상부층에 위치한 나이트클럽의 진동에 대한 영사실의 진동허용규제치를 선정하고, 사람의 울동에 의한 진동이 진동에 민감한 영화관 영사실에 전파되는 경우 진동허용규제치를 만족하기 위한 진동저감대책을 해석적으로 수행하였다.

영화관의 진동에 기인한 영상의 떨림 현상이 관람객에게 미치는 영향을 영화 상영관에서의 영사기-스크린-관람객 사

이의 3-인자(因子)에 대한 상대진동허용변위를 우선적으로 결정하였다. 즉 이들 3-인자의 변수중 영화 관람석에서 스크린의 영상떨림이 시각적으로 구별하지 못하는 최대 상대변위를 구한 후 스크린과 영사기의 영상 확대계수를 적용하여 영화관 영사실의 진동허용규제치 결정하였고 이 진동허용규제치를 만족하기 위한 대책을 수립하였다.

참 고 문 헌

- (1) 이흥기, 김두훈, 권형오, 반도체 공장에서 미진동제어를 위한 격자보의 동적 설계에 관한 연구, 한국소음진동공학회, '94 추계학술대회 논문집 pp. 52~57, 1994.
- (2) 이흥기, 박해동, 최현, 배기선, 김두훈, 정밀 장비의 미진동제어 기술에 관한 연구(HDD CELL진동 제어), '95 춘계학술 대회 논문집 p233-239, 1995.
- (3) Hugo Bachmann, Vibration Problems in Structure, Birkhauser Verlag Basel, Boston, Berlin, 1995.
- (4) 이흥기, 김두훈, 김사수, 주파수응답함수를 이용한 고정밀 장비의 진동허용규제치 결정기법에 관한 연구, 한국소음진동공학회지, 제6권, 제3호, pp. 363~373, 1996.
- (5) Hong-Ki Lee, Hae-Dong Park, Hyun Choi, Doo-Hoon Kim, Sa-soo Kim, A New Method of Determining Vibration Criteria for a Vibration Sensitive Equipment Using Frequency Response Function, INTER-NOISE 96, Proceeding Book 3 pp.1253~1262, August, 1996.
- (6) C. G Gordon, Vibration prediction and control in microelectronics facilities, INTER-NOISE 96, Proceeding Book 1 pp.149~154, August 1996.
- (7) Eric E. Ungar, Vibration control design of high technology facilities, sound and vibration, July, 1990.