

# 건물 용도에 따른 동강성 기준 결정에 관한 연구

A Study on Dynamic Stiffness Criteria Decision of Structure

유국현†·이홍기\*·박해동\*·백재호\*

Kuk-Hyun Ryu, Hong-Ki Lee, Hae-Dong Park, Jae-Ho Haek

Key Words : Dynamic Stiffness, Structure, Vibration, Criteria, BBN Criteria, ISO 2631

## ABSTRACT

본 연구에서는 건축 구조물 용도에 따라 구조물의 직접적인 손상을 방지하기 위하여 규제하는 기준치, 인간의 감각 통하여 느껴지는 진동으로 안락한 주거 환경 또는 작업 환경을 유지하기 위한 규제치, 구조물에 설치된 장비, 특히 반도체, 통신장비등과 같이 정밀장비의 경우 구조물에서 발생하는 진동으로부터 장비의 성능을 유지시켜주기 위한 기준 등을 확인하여 건물 용도에 최적의 진동 허용 규제치를 제안하며 기준에 따른 초기설계단계에서 최적저감대책을 수립하고자 함이다.

### 1. 서론

최근의 건축 구조물은 시공과 설계기술 그리고 구조재료의 성능개선에 따라 강성대 중량비가 더 작은 재료의 사용이 가능해졌다. 이러한 경향에 따라 계획되는 바닥판은 인간의 보행과 같은 작은 충격에도 민감하게 반응한다. 따라서 빌딩/아파트등의 바닥슬라브의 진동으로 인하여 건물내 근무자의 외/내부 진동원으로부터 발생하는 문제를 초기설계단계에서 검토하고 이에 대한 저감대책을 수립하여 시행하여야 하나 그렇지 못한 경우가 많으며, 초기설계단계에서 저감대책을 수립하여 제시되더라도 공기단축, 재료절감 측면에서 제시된 저감대책을 임의적으로 수정하는 경우가 종종 발생하여 진동에 취약한 면을 보이고 있는 실정이다. 본 연구에서는 건축 구조물 용도에 따라 구조물의 직접적인 손상을 방지하기 위하여 규제하는 기준치, 인간의 감각 통하여 느껴지는 진동으로 안락한 주거 환경 또는 작업 환경을 유지하기 위한 규제치, 구조물에 설치된 장비 특히 반도체, 통신장비등과 같이 정밀장비의 경우 구조물에서 발생하는 진동으로부터 장비의 성능을 유지시켜주기 위한 기준 등을 확인하여 건물 용도에 최적의 진동 허용 규제치를 제안하며 기준에 따른 구조물의 바닥 슬라브의 과도 진동에 대하여 정밀 진동 계측 및 분석을 통하여 과도 진동의 실태 및 원

인 분석을 수행하고 이를 바탕으로 동적 시뮬레이션을 통한 최적의 저감대책 방안을 수립하고자 한다.

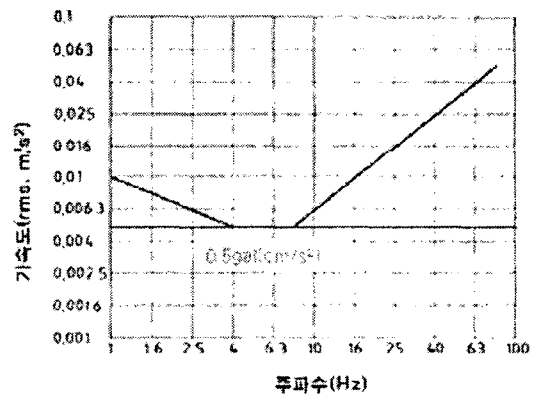
### 2. 구조물 진동 허용 규제치

#### 2.1 건물 용도별 진동허용 규제치

##### (1) ISO 2631

ISO 2631에서 규정하는 인체 반응의 진동 허용규제치는 아래 아래에 나타난 것과 같이 그림 2.1의 등가 반응 곡선을 적용하여 장소의 중요도, 시간, 진동의 발생 빈도에 따라 2~8배의 곱셈 인자를 이용하여 기준을 설정하였다.

예를 들어 등가 반응 곡선은 중요한 작업 장소로 병원의 수술실, 전자 장비, 400배 현미경 등의 위치로 BBN Criteria와 비교하여 보면 일반적인 진동 환경에 준하는 진동 수준이다.



[그림 2.1] 등가 반응 곡선

† 유국현, 알엠에스테크놀로지(주)  
E-mail : rmstech@rmstech.co.kr  
Tel : (041) 556-7600, Fax : (041) 556-7603

\* 알엠에스테크놀로지(주)

[표 2.1] 곽셈 인자의 범위

장소	시간	연속, 간헐 진동	과도진동
중요작업장소	낮 밤	1	1
주거지역	낮	2~4	30~90
	밤	1.4	1.4~20
사무실	낮	4	60~128
	밤		
작업장	낮	8	90~128
	밤		

[표 2.2] 사용 용도별 ISO 2631-2 진동기준(rms)

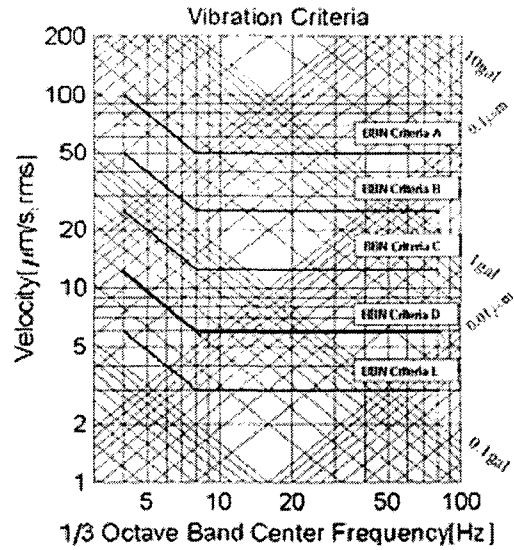
지역	시간	연속진동(dB)	충격진동(dB)
병원의 수술실, 정숙을 요하는 지역		51 (3.5mm/s <sup>2</sup> )	54 (5.0mm/s <sup>2</sup> )
주거지	낮	57 (7.0mm/s <sup>2</sup> )	60 (10.0mm/s <sup>2</sup> )
	밤	54 (5.0mm/s <sup>2</sup> )	
사무실		63 (14.1mm/s <sup>2</sup> )	66 (19.9mm/s <sup>2</sup> )
공장, 작업장		69 (28.2mm/s <sup>2</sup> )	72 (39.8mm/s <sup>2</sup> )

(2) BBN Criteria

BBN Criteria는 정밀 장비 관련된 진동 수준을 등급별로 나타내었으며, BBN Criteria의 일반적인 진동 환경은 ISO 2631의 등가 반응 곡선과 일치하도록 설계 되었다.

[표 2.3] General Vibration Criteria (BBN-criterion)

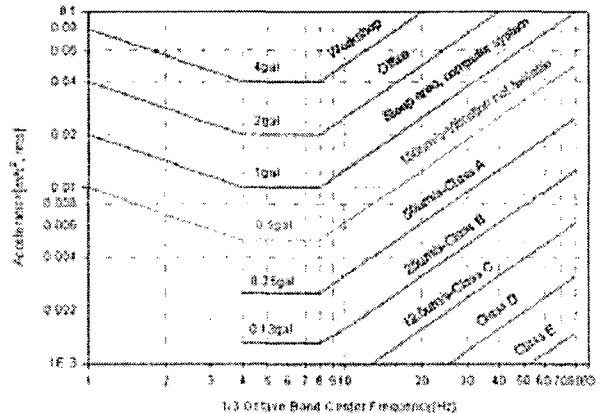
Class	Vibration Criteria	
	4-8Hz RMS Acc.	8-80Hz RMS Vel.
일반적인 진동 환경	4gal(변위 16μm)	800 μm/s
	2gal(변위 8μm)	400 μm/s
	1gal(변위 4μm)	200 μm/s
	0.5gal(변위 2μm)	100 μm/s
Class : A	0.25gal (변위 1μm)	50 μm/s
Class : B	0.13gal(변위 0.5μm)	25 μm/s
Class : C	0.06gal(변위 0.25μm)	12 μm/s
Class : D	0.03gal(변위 0.12μm)	6 μm/s
Class : E	0.015gal(변위 0.06μm)	3 μm/s



[그림 2.2] BBN Criteria

(3) ISO 2631과 BBN Criteria 비교

ISO 2631의 등가 곡선과 곽셈인자에 따른 진동 허용규제치와 BBN Criteria의 등급 및 일반적인 진동 환경을 그래프로 나타내어 보면 아래 그림 2.3과 같이 나타난다. 대표적으로 0.5gal, 100μm/s 곡선은 두 기준이 일치하며 인체 감각에 의한 곡선인 1~4Hz 범위의 허용규제치만 ISO 2631에 더 추가되어 나타나 있다.

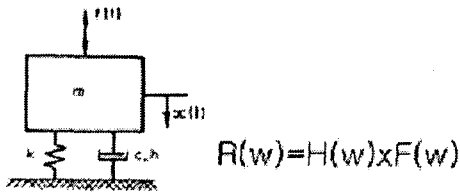


[그림 2.3] ISO 2631과 BBN Criteria 비교

3. 구조물 동특성(FRF)

구조물이 가지는 고유한 진동응답 특성으로 진동원의 종류에 관계없는 유일한 값이고, 구조물의 진동저항능력을 수치로 나타내며, 건물의 사용성에 따라 적정 진동성능을 확보하기 위해서는 요구되는 기준을 확보하여야 한다.

진동원특성	구조물 동적특성	진동역학
사람의 보행	RECEPTANCE ADMITTANCE COMPLIANCE DYNAMIC FLEXIBILITY	사람 보행 (가) 소진수치 인간사경비 진동량 인상도
기계적 충격	MOBILITY	
구조물 충격	INERTANCE ACCELERANCE	



3. 작업자 보행에 의한 동하중 산정

건물 내부의 다양한 진동원중에서 사람의 보행중 유발되는 진동은 비교적 작은 진동을 유발 시키나 건물 구조의 경량화와 구조물 span의 대형화에 따라 주된 진동원으로 인식되어지고 있다. 이러한 진동원의 모델링 단순화를 위해 모든 사람이 동일한 운동으로 바닥에 전달되어 지는 것으로 가정하여 동적하중은 사람의 수에 배수로 가정하였다. 사람의 반복적인 활동형태에 시간이력 하중은 주파수상에서 기본주파수의 조화성분으로 나타나며 기본주파수에서 대부분의 제일 큰 하중을 나타내고 있다.

사람의 반복적인 활동에 의해 발생하는 정규화된 동적하중함수는 자중과 푸리에 계수로 식(1)과 같이 표현할 수 있으며 이에 대한 계수는 표3.1과 같다.

[표 3.1] Coefficients of normalized dynamic forces

Representative type of activity	Activity rate [Hz]	Fourier coefficient and phase lag						Design density [persons/m <sup>2</sup> ]
		a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	φ <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	φ <sub>3</sub>	a <sub>n</sub>	
"walking"	vertical	2.0	0.4	0.1	π/2	0.1	π/2	~1
	forward	2.4	0.5					
	lateral	2.0	a <sub>02</sub> = 0.1 a <sub>02</sub> = 0.1	a <sub>02</sub> = 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)
	high	3.0	1.7	1.1	*)	0.5	*)	
		2.0	1.9	1.6	*)	1.1	*)	
		3.0	1.8	1.3	*)	0.8	*)	
		*) φ <sub>2</sub> = φ <sub>3</sub> = π(1 - f <sub>p</sub> )						
"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	0.36	0.12		0.02		
"hand clapping"	normal	1.6	0.024	0.010		0.009		~2 to 3
	intensive	2.4	0.047	0.024		0.015		
		2.0	0.170	0.047		0.037		

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

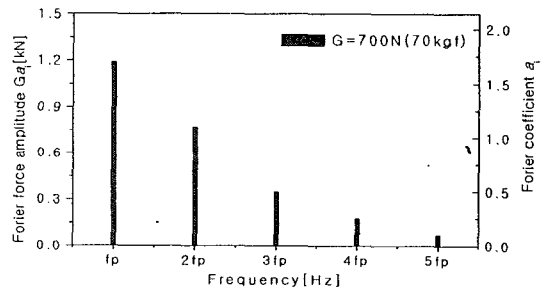
여기서 G=사람의 자중, α<sub>i</sub>=푸리에 계수, f<sub>p</sub>=반복주파수,

φ<sub>i</sub>=1차 하모닉에 대한 i 번째 하모닉의 위상차,

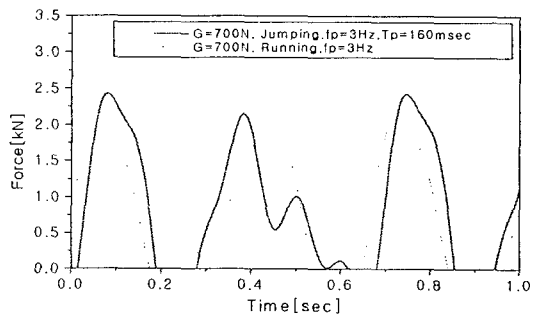
t<sub>p</sub> = 도약시 바닥과의 접촉시간

모든 동적하중을 집중하중으로 가정하였으며 대책을 위한 검증은 단위하중 입력시 하부층의 바닥에 대한 주파수별 진동응답인 compliance를 계산하였다. 대책에 따라 진동허용치와 하중함수를 각각 계산하고 안전율을 적용하여 하부층의 진동기준에 만족하는 계산을 수행하였다.

표 3.1의 사람 보행중에 의한 계수를 사용하고 접촉시간을 0.16sec로 사람의 무게를 700N(70kgf)로 푸리에 계수와 시간이력 동하중을 아래 그림 3.1, 3.2에 나타내었으며 1인당 보행에 의한 시간이력 최대 동하중은 자중의 약3배인 212kgf를 진동원으로 입력되었으며 해석상 진동원은 주파수상의 그림 3.1로 계산하였다.



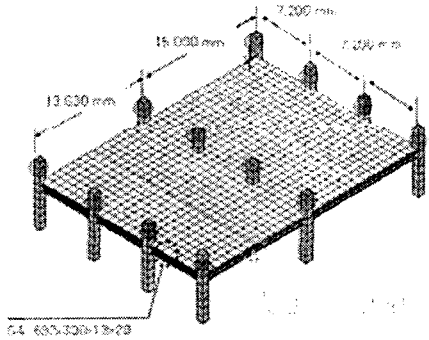
[그림 3.1] Discrete Fourier amplitude spectrum for the forcing function from walking



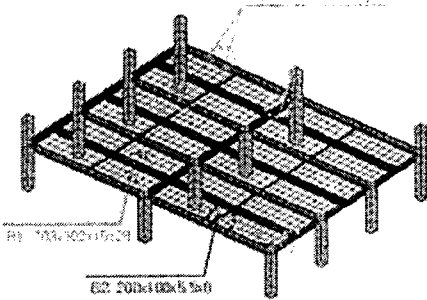
[그림 3.2] Forcing function from jumping on the spot at walking rate of 2Hz

4. 구조물 해석

실 구조물 설계를 하는 과정에서 일반적인 구조물은 사람 보행에 의하여 발생하는 진동에 대하여 검토를 수행하여야 하며 위의 보행중 동하중 산정하여 구조물 동적 평가를 수행하였다.

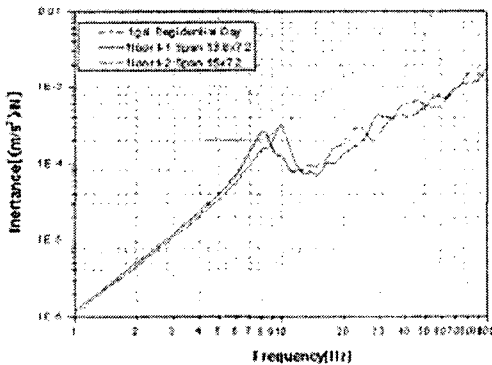


[그림 4.1] 구조물 해석 모델(1)

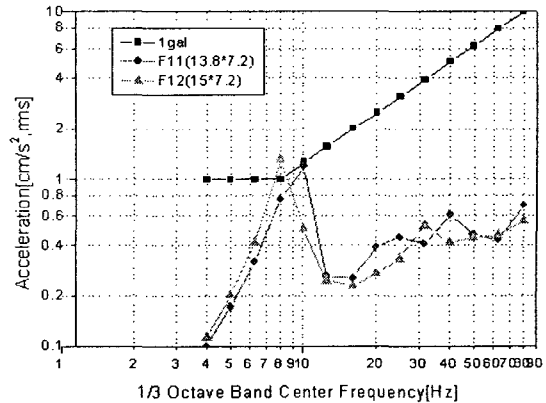


[그림 4.2] 구조물 해석 모델(2)

위의 구조로 설계 되어있는 실 구조물에 대하여 주파수 응답해석을 수행하였으며 구조물 바닥 진동 응답 특성인 해석 결과는 아래 그림 4.3에 나타내었다. 또한 바닥 진동 응답특성에 1인 보행시로 설계되어진 동하중을 적용하면 아래 그림 4.4와 같은 예상응답을 확인 할 수 있다.



[그림 4.3] 구조물 바닥 진동 응답 특성



[그림 4.4] 구조물 1인 보행시 예상 응답

4. 결 론

구조물은 시공과 설계기술 그리고 구조재료의 성능개선에 따라 강성대 중량비가 더 작은 재료의 사용이 가능해졌다. 이러한 경향에 따라 계획되는 바닥판은 인간의 보행과 같은 작은 충격에도 민감하게 반응한다. 이에 따라 건물 사용자들의 불만이 대두되고 있는 상황이다. 따라서 작업자 보행 중 발생하는 동하중을 산정하여 건물 용도에 따른 진동 허용규제치를 결정하고 이에 다른 구조물 설계를 수행하여 최적의 저감 대책을 수립하여야 한다.

참 고 문 헌

- (1) C. G Gordon, Vibration prediction and control in microelectronics facilities, INTER-NOISE 96, Proceeding Book 1 pp.149~154, August 1996.
- (2) Eric E. Ungar, Vibration control design of high technology facilities, sound and vibration, July, 1990.
- (3) 이흥기, 김두훈, 권형오, 반도체 공장에서 미진동제어를 위한 격자보의 동적 설계에 관한 연구, 한국소음진동공학회, '94 추계학술대회 논문집 pp. 52~57, 1994.
- (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.