

건물 슬라브가 흔들린다구요?

정형일 / 연구개발부 사원

현 대의 구조시스템은 점점 경량화, 유연화되면서 낮은 감쇠성능을 갖는 추세이며, 최근에는 구조시스템의 발전과 더불어 건물을 다용도로 사용할 수 있는 융통성을 갖도록 경량재료로 시공된 장경간 슬라브의 사용이 증가되고 있다. 또한 산업의 발달과 함께 IBS 건물의 컴퓨터실, 반도체공장, 병원의 수술실, 연구소의 실험실 등 미소한 진동에도 영향을 받는 건물이 증가하고 있다.

인간의 움직임, 건물안에 설치되어 있는 기계장비의 작동 등이 이러한 슬라브에 가진원으로 작용하여, 슬라브의 고유진동수와 공진을 일으키거나 과도한 외부하중으로 인한 진동이 발생하게 된다. 이렇게 발생한 진동은 구조적인 안전성은 물론 내부 부속물의 손상, 그리고 쾌적한 공간을 요구하는 거주성에 심각한 장애를 발생하기도 한다. 또한 이러한 진동은 건물에 설치되어 있는 기계에 영향을 미쳐 공장 등에서의 생산성을 저하시키기도 하고, 병원의 수술실이나 정밀실험을 수행하는 연구소 등의 사용성에 문제를 일으키기도 한다.

본고에서는 먼저 수직진동의 시험방법과 성능평가 기준을 살펴본 뒤, 국내의 사무소 건물과 공장건물 두가지 경우의 사례에 대하여 수직진동을 측정하여 분석하고 그 결과를 외국의 수직진동 관련 기준에 적용시켜 보았다.

수직진동 시험방법

수직진동의 시험은 바닥 슬라브가 가지고 있는 동특성 파악 및 실 가진상황에서의 응답특성 분석에 목적이 있다. 동특성 파악을 위한 실험으로는 강제진동실험 및 충격가진실험으로 대별할 수 있으며, 실응답특성은 가진상태를 변화시켜가며 시험을 하게 된다.

1. 강제진동시험

편심질량 회전체의 구심력을 이용한 기진기를 이용하는 시험법으로 1차 및 고차의 진동수, 모드, 감쇠를 조사하는 것에 적당하다. 기진기의 회전수를 일정하게 유지하면서 슬라브면 각 위치의 진폭을 측정하면 진동모드를 알 수가 있으며 회전수와 실측 진폭의 관계를 그림으로 나타내면 공진 진동수와 감쇠정수를 얻을 수 있다. 기진기의 가진 모멘트는 40~80g·cm, 가진력으로는 20kg 전후가 일반적으로 사용된다.

기진기의 설치장소는 통상 바닥 슬라브의 중앙이 좋지만, 작은 보 등이 있는 경우에는 진동모드의 정점에 해당되는 위치에 놓는 것이 좋다. 진폭의 계측위치는 시험 슬라브의 중앙을 기점으로 해서 모드를 필요로 하는 경우는 수시로 위치를 지지면을 향해 이동시키면 된다.

2. 충격진동시험

기진기를 이용하는 것보다 훨씬 간편하게 1차의 고유진동수와 진폭, 감쇠정수를 조사하는 데에 적합하며 충격을 가하는 방법은 다음 세가지 방법이 있다.

1) 인력에 의한 가진 : 슬라브의 경우 중앙에서 크게 뛰어올라 가능한 직립 상태에서 착지하면 자유진동 파형이 얻어진다. 진동수와 감쇠 성상을 알고 싶을 때에는 이 방법이 좋다. 단, 가진력의 편차가 있기 때문에 진폭의 비교는 할 수 없다.

2) 샌드백을 이용한 가진 : 10~20kg의 샌드백을 만들어 바닥 슬라브, 보의 중앙에서 20~50cm의 높이로 부터 떨어뜨리면 깨끗한 자유진동파형이 얻어진다. 샌드백의 중량과 높이를 일정하게 하여 시험하면 다수의 시험 슬라브 상호의 데이터 비교가 가능하다. 이경우 수회의 동일

한 방법으로 반복 검증을 반드시 실시해 둔다.

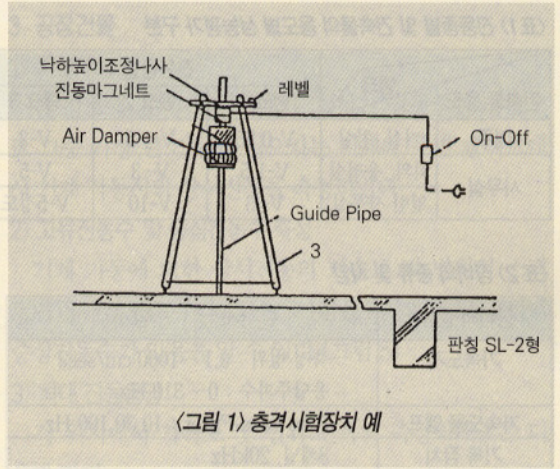
3) 충격시험기에 의한 가진 : 낙하질량과 낙하 높이를 일정하게 유지할 수 있는 충격 시험기를 이용하면 충격력을 일정하게 유지할 수 있으므로 재현성이 좋은 시험이 가능하고, 다수의 데이터의 상호 비교를 어느정도 할 수 있다. 충격시험기에 의한 진동 파형에는 고차의 모드가 포함되어 있으므로 1차의 고유진동수를 읽기가 어려울 경우에는 필터를 이용하여 고차진동을 제거해야 한다. (그림 1 참조)

3. 상시진동시험

인간의 보행 등 재실자의 이동에 의한 진동이나 기계구조물의 사용에 의한 진동의 실진동 시험은 가능한 한 예상되는 최악의 가진원을 상정하여 가진하도록 한다. 실제 보행시험을 할 경우도 있고, 현재의 진동상황만을 측정할 수도 있다. 기계에 의한 진동의 경우에는 기계의 작동시와 비 작동시의 상태를 측정하여 비교한다.

수직진동의 성능평가 기준

수직진동의 성능평가기준으로는 일본의 거주성 평가

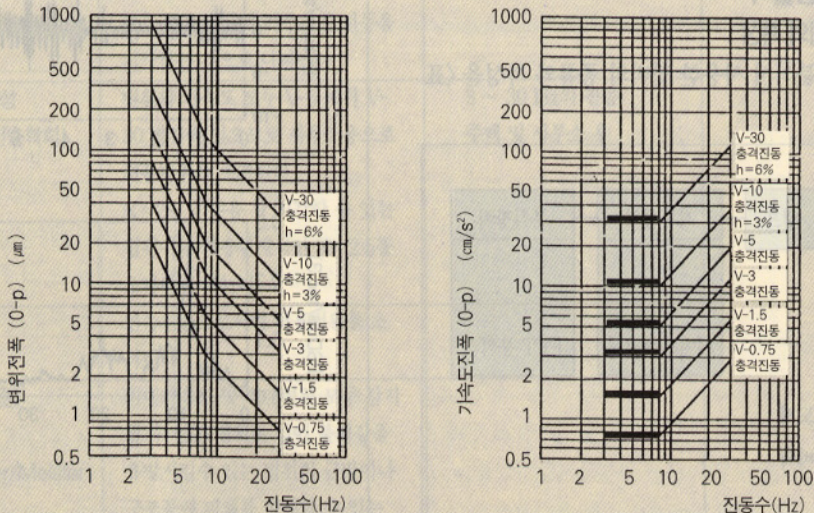


(그림 1) 충격시험장치 예

지침¹⁾, 미국의 GSA²⁾, 캐나다의 CSA³⁾, ISO 2631/2 지침⁴⁾ 등이 있다.

평가방법은 일상적인 가진원 조건에 대한 슬라브 진동 응답의 파형으로부터 구한 중심진동수 및 가속도와 변위의 진폭, 감쇠정수, 진동의 종류 등의 조합에 의해서 이루어진다.

이 중 대표적인 일본 건축학회 거주성 평가기준은 (그림 2)와 같다.



(그림 2) 거주성 평가기준

〈표 1〉 진동종별 및 건축물의 용도별 성능평가 구분

건축물, 용도	랭크	진동종별 1			진동종별 2	진동종별 3
		랭크 1	랭크 2	랭크 3	랭크 3	랭크 3
거주	거실, 침실	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5	V-10
사무실	회의, 응접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
	일반 사무실	V-3	V-10	V-5정도	V-10정도	V-30정도

〈표 2〉 장비의 종류 및 사양

장비의 종류	사 양
가속도계	측정 범위 : 0.1 ~ 1000 cm/sec ² 응답주파수 : 0 ~ 310 Hz
가속도용 앰프	Low Pass Filter : 10, 30, 100 Hz
기록 장치	8채널, 20kHz
분석 장치	2채널, 40kHz

진동의 종류에 따라 〈표 1〉에 근거하여 평가한다.

진동종별 1 연속진동 및 간헐적으로 발생하는 진동을 받는 슬라브

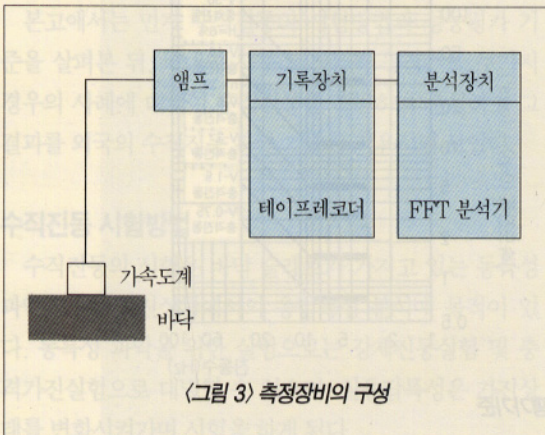
진동종별 2 충격진동을 받는 감쇠성이 적은 슬라브 (감쇠정수가 3% 이하)

진동종별 3 충격진동을 받는 감쇠성이 큰 슬라브 (감쇠정수가 3 ~ 6% 정도)

수직진동의 측정결과

1. 진동측정 장비의 특성

진동측정 및 분석시 사용한 장비의 종류와 특성을 〈표



2)에 나타내었다.

측정장비의 구성을 아래의 〈그림 3〉에 나타내었다.

2. 사무소 건물

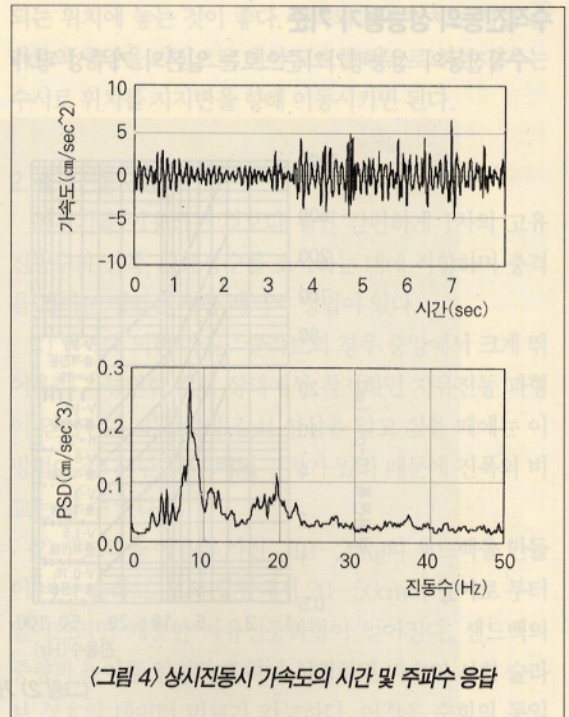
1) 측정개요

사무소 건물의 슬라브의 가속도 및 진폭 진동을 거주자의 보행 등에 의한 상시진동일 경우와 성인 1인의 도약에 의한 충격진동일 경우로 나누어 측정하였다.

2) 고유진동수 및 중심진동수

거주자의 보행 및 기계 가동 등 상시진동에 의한 가속도 및 변위의 스펙트럼 응답값과 충격하중시의 스펙트럼 응답값으로부터 구하였다. 〈그림 4〉에 상시진동에 의한 응답을 나타내었다.

상시진동의 결과와 충격가진시 진동의 응답스펙트럼의 결과가 일치하므로 고유진동수의 공진에 의해서 최대 진동 진폭이 나타남을 알 수 있다.



〈표 1〉 진동종별 및 건축물의 용도별 성능평가 구분

건축물, 용도	랭크	진동종별 1			진동종별 2	진동종별 3
		랭크 1	랭크 2	랭크 3	랭크 3	랭크 3
거주	거실, 침실	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5	V-10
사무실	회의, 응접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
	일반 사무실	V-3	V-10	V-5정도	V-10정도	V-30정도

〈표 2〉 장비의 종류 및 사양

장비의 종류	사 양
가속도계	측정 범위 : 0.1 ~ 1000 cm/sec ² 응답주파수 : 0 ~ 310 Hz
가속도용 앰프	Low Pass Filter : 10, 30, 100 Hz
기록 장치	8채널, 20kHz
분석 장치	2채널, 40kHz

진동의 종류에 따라 〈표 1〉에 근거하여 평가한다.

진동종별 1 연속진동 및 간헐적으로 발생하는 진동을 받는 슬라브

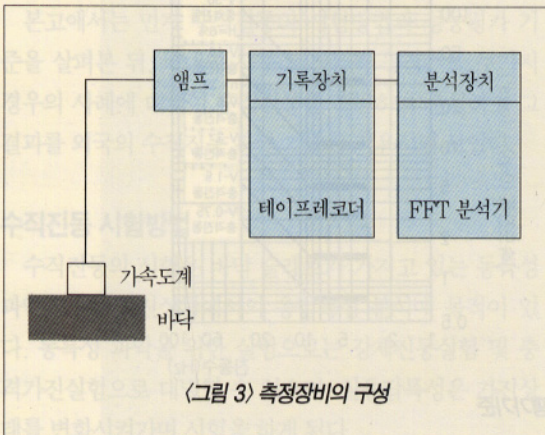
진동종별 2 충격진동을 받는 감쇠성이 적은 슬라브 (감쇠정수가 3% 이하)

진동종별 3 충격진동을 받는 감쇠성이 큰 슬라브 (감쇠정수가 3 ~ 6% 정도)

수직진동의 측정결과

1. 진동측정 장비의 특성

진동측정 및 분석시 사용한 장비의 종류와 특성을 〈표



2)에 나타내었다.

측정장비의 구성을 아래의 〈그림 3〉에 나타내었다.

2. 사무소 건물

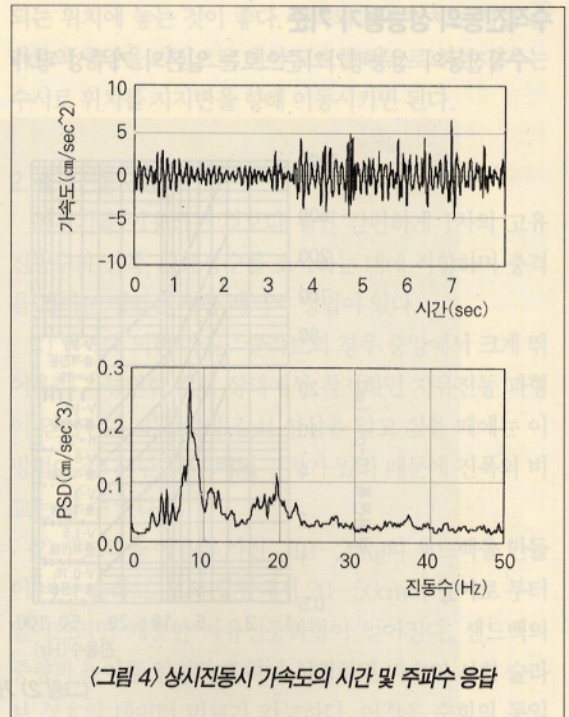
1) 측정개요

사무소 건물의 슬라브의 가속도 및 진폭 진동을 거주자의 보행 등에 의한 상시진동일 경우와 성인 1인의 도약에 의한 충격진동일 경우로 나누어 측정하였다.

2) 고유진동수 및 중심진동수

거주자의 보행 및 기계 가동 등 상시진동에 의한 가속도 및 변위의 스펙트럼 응답값과 충격하중시의 스펙트럼 응답값으로부터 구하였다. 〈그림 4〉에 상시진동에 의한 응답을 나타내었다.

상시진동의 결과와 충격가진시 진동의 응답스펙트럼의 결과가 일치하므로 고유진동수의 공진에 의해서 최대 진동 진폭이 나타남을 알 수 있다.



3) 감쇠비의 계산

감쇠비의 경우는 가진실험에 의해서 정확히 구할 수 있으나 본 측정에서는 성인 1인의 도약에 의한 자유진동 파형을 이용하여 대수감쇠비를 측정하였다. 정확히 감쇠비를 구할 수는 없었으나 대략적인 감쇠의 값을 3 ~ 7%로 구할 수 있었다.

4) 최대 진동응답

각 위치에서 가속도 및 변위 진폭의 측정최대값은 <표 3>와 같다.

<표 3> 사무소 건물의 가속도 및 변위의 최대값

측정위치	최대변위 (10 ⁻⁶ m)	최대가속도 (cm/sec ²)	중심주파수 (Hz)
7층 1	37.89	5.89	7.13
7층 2	31.01	9.47	7.25
8층 1	49.70	6.11	8.00
8층 2	22.50	5.58	7.75
8층 3	48.68	8.78	7.75
		24.7 (도약)	

<표 4> 사무소 건물 기준과의 비교

평가기준	평가결과	비 고
심리적인 영향 (일본 환경청 설문 조사)	가속도레벨의 범위가 75dB이상이므로 85%이상의 거주자가 진동을 지각하는 것으로 나타났다.	공장진동 설문결과
주거용 건물 거주성 평가 지침 (일본건축학회)	변위와 가속도 모두 V-5 에서 V-30 범위에 있으므로 사무소용으로 허용범위를 초과한다. R=2인 진동을 잘 지각할 수 있는 범위이나 허용한계치인 R=2.5를 초과하지 않는다	3 ~ 30 Hz의 진동 주택 및 사무소 용
GSA (미국 연방정부)	연속진동으로서의 허용범위를 초과한다.	
CSA (캐나다 기준) 개인 연구자 (Rausch, Reiher/Meister)	최대가속도 및 최대변위 모두 감지될 수 있는 범위는 넘어 불쾌감을 유발시킬 수 있는 범위의 근방이나 구조물에 피해를 발생시킬 수 있는 범위는 아니다.	

3. 공장건물

1) 측정개요

한 장소에 30여대의 기계가 24시간 작동중인 공장으로서 그중 가장 큰 진동을 일으키는 기계의 주변 슬라브에서 기계 작동시의 상시진동을 측정하였다.

2) 고유진동수 및 중심진동수 측정

기계 가동에 의한 상시진동의 가속도 및 변위의 스펙트럼 응답값으로부터 11Hz ~ 14Hz사이와 30Hz근방에 중심진동수가 있음을 알 수 있다.(그림 5)

3) 최대 진동응답

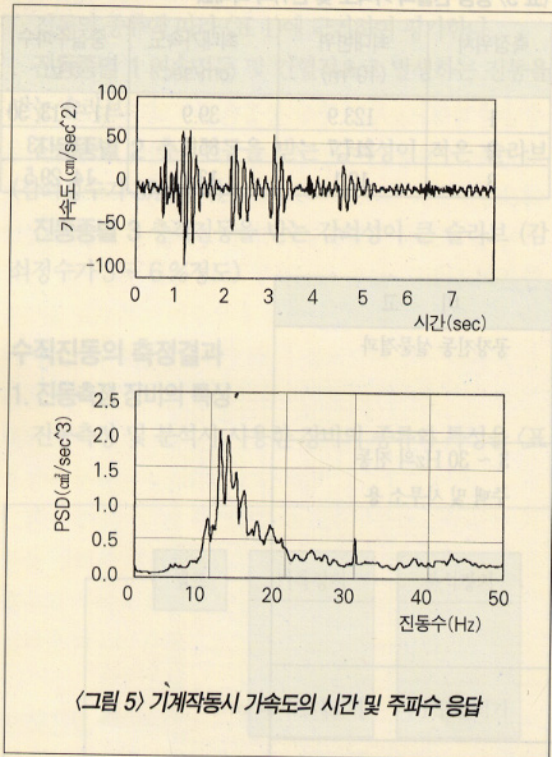
각 위치에서 가속도 및 변위 진폭의 측정최대값은 다음과 같다.

<표 5> 공장 건물의 가속도 및 변위의 최대값

측정위치	최대변위 (10 ⁻⁶ m)	최대가속도 (cm/sec ²)	중심주파수 (Hz)
1	123.9	39.9	11 ~ 13, 30
2	217.7	85.2	11 ~ 13
3	12.1	13.1	14, 29.5

〈표 6〉 공장건물 기준과의 비교

평가기준	평가결과	비고
심리적인 영향 (일본 환경청 설문 조사)	가속도레벨의 범위가 82dB이상으로 거주자가 거의 모두 진동을 지각하는 것으로 나타났다.	공장진동 설문결과
주거용 건물 거주성 평가 지침 (일본건축학회)	가속도와 변위 모두 V-30을 초과하므로 사무실용으로 허용범위를 초과한다.	3 ~ 30 Hz의 진동 주택 및 사무소 용
GSA (미국 연방정부)	R=3인 확실히 진동을 지각하는 범위 근방에 있으므로 허용한계치인 R=2.5는 초과한다.	
CSA (캐나다 기준)	공장에서의 진동은 간헐적으로 발생하는 진동으로 평가하면 허용치를 초과한다.	
개인 연구자 (Rausch, Reiher/Meister)	최대가속도 및 최대변위 모두 불쾌감을 유발시킬수 있는 범위를 초과하여 구조물에 피해를 발생할 수 있는 범위의 근방에 들고 있다.	



〈그림 5〉 기계작동시 가속도의 시간 및 주파수 응답

맺음말

이상으로 슬라브에 발생하는 수직진동의 시험법, 평가법, 측정예를 대략적으로 살펴보았다. 수치해석적인 방법이나 약산식을 이용한 평가법이 있으나 본고에서는 제외하였다.

현재는 수평진동의 제진기술과 함께 수직진동의 평가 및 제어방법의 필요성을 절감하고 있지 않지만, 건축물의 고품질 시대 도래에 따른 거주성능의 향상요구와 산업의 발달로 진동에 민감한 기기가 설치된 건물이 늘어감에 따라 미래의 중요한 기술이 될 것으로 예상된다. **SS**

참고문헌

- 1) 日本建築學會, 建築物の振動に關する居住性能評價指針同解説, 1991
- 2) GSA : General Services Administration Washington U.S.A.
- 3) CSA : Canadian Standard Association
- 4) ISO 2631/2-1989 : Evaluation of human exposure to wholebody vibration
- 5) R.B.Randall, Frequency Analysis, B&K Korea Ltd. 1987