

## 건축구조물의 슬래브 진동에 의한 사용성 평가 연구

### Evaluation of Serviceability due to Vibration of Slab

우운택\*  
Woo, Woon-Taek

박태원\*\*  
Park, Tae-Won

정란\*\*\*  
Chung, Lan

#### Abstract

Recent building structures are superior in its ability but they are light and flexible, and so have problems of vibration. In general, the serviceability of RC slabs was known to be good against vibration because of its hardness. However recent high-rise apartment slabs are mostly light and long, the serviceability of RC slabs due to vibration could be a problem. In this paper, a basic investigation about vibration problems of RC slabs was performed. Basic information and its influence on vibrations of RC slabs were revealed. Also, its serviceability against vibration was examined. Many tests were conducted on existing building located in Chung-Nam area.

As a results, damping ratio, natural frequency, acceleration amplitude and displacement amplitude which were used to examine serviceability of the RC slabs were obtained. These results on the test building proved that its serviceability conditions were satisfied to meet the code against vibration.

**Key words :** RC slab, Damping Ratio, Serviceability

#### 1. 서론

최근의 건축구조물은 시공기술의 발달과 건축구조용 재료의 발달로 초고층화 되어 가고 있으며 이에 따라 구조설계자들은 구조적으로 보다 우수한 조건의 슬래브를 설계하고 있다. 하지만 이러한 슬래브 구조체는 구조적인 성능은 우수하나 경량화되고 유연화 되어 사용성을 저해하고 있는 실정이다. 일반적으로 철근콘크리트 구조물은 매우 강성이 높아서 슬래브의 진동에 대해서는 안전하고 사용성이 우수한 것으로 알려져 왔으나 최근 철골 구조물에 대한 진동문제가 대두되어 이를 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 초고층 철골구조물 진동연구의 전단계로서 중저층 규모의 철근콘크리트 슬래브에 대해 진동에 의한 영향을 분석하고 이에 따른 사용성을 평가하였다.

\* 정회원. 단국대학교 공학부 건축공학전공 초빙교수  
\*\* 학생회원. 단국대학교 대학원 건축공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원. 단국대학교 공학부 건축공학전공 교수

## 2. 진동에 대한 사용성 평가 기준

국내에는 아직 건축물의 구조설계시 적용할 진동에 대한 기준을 나타낸 자료가 미흡하여 강구조물을 설계할 때 참고할 수 있도록 여러 나라의 기준들의 개략적인 내용만을 언급하고 있다. 또한 소음진동 규제법 시행규칙에 소음진동 허용 기준치를 제시하고 있으나 (표 2.1참조) 이는 소음에 관한 규정치이다. 이에 반하여 미국이나 일본 등 선진국에서는 진동에 대한 규제치가 설정되어 건물 용도별로 규제가 이루어지고 있으며 사용성을 평가하고 있다.

표 2.1 국내 소음진동 기준

현재 국내 기준			
대상지역	한도(dB)		대상법규
	주간(06~22)	야간(22~6시)	
녹지·주거지역, 학교, 병원	65	60	소음·진동규제법 시행규칙 개정령
상·공공립지역 미고시지역	70	65	

일본 건축학회에서는 슬래브 진동에 의해 거주성, 작업환경 손실 등의 피해를 방지하기 위하여 거주성평가 기준을 제시하고 있다 (표2.2). 이는 종래 진동감각의 평가곡선으로 널리 이용되어 왔던 Meister의 진동감각곡선이 진동에 대한 지각의 정도를 나타낸 것으로 건물의 용도에 따라 지각 한계의 목표로 삼기에는 명확하지 않기 때문이다. 이에 대하여 일본건축학회에서 제시한 거주성평가 곡선은 건물의 용도별이나 진동특성 및 슬래브 특성별로 평가곡선을 구분해 놓아 거주성의 한계치를 구분하기에 적절한 평가방법으로 제시되고 있다.

표2.2 슬래브의 진동에 관한 성능평가기준

진동종별 I : 연속진동 및 간헐적으로 반복 발생하는 진동을 받는 슬래브						
진동종별 II : 충격진동을 받는 감쇄성이 낮은 슬래브(감쇄율 3%이하)						V-10이하
진동종별 III : 충격진동을 받는 감쇄성이 높은 슬래브(감쇄율 3~6%)						V-30이하
진동종별		진동종별1			진동종별2	진동종별3
		등급 I	등급 II	등급 III	등급 III	등급 III
건축물	실용도					
	주거	거실·침실	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5
사무소	회의·용접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
	일반사무실	V-3	V-5	V-5정도	V-10정도	V-30정도
(주) 등급은 단지 거주성능상의 단계를 나타내지만 일반적 근거를 등급 II에 두고 있다. 또한 등급 I은 거주성능상이 범위를 밀도는 것이 보다 바람직한 레벨, 등급III은 마찬가지로 이 범위를 상회하지 않도록 해야 한다.						

## 3. 실험

철근콘크리트 구조물의 슬래브 진동거동에 관한 데이터를 수집하기 위하여 충청남도 천안에 위치한 지상 5층 지하1층의 학교 건물에 대하여 진동측정 실험을 실시하였다. 대상구조물은 7.5m×

3m의 스패를 갖는 슬래브이며, 4면이 보에 지지되어 있다. 슬래브의 중량은 구조체 마감재를 포함하여  $370\text{kg/m}^2$ 이며 대상구조물의 구조평면도를 그림3.1에 나타내었다.

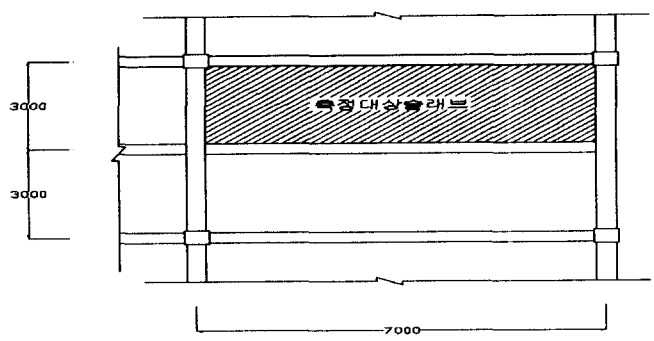


그림 3.1 측정대상 구조물

실험은 구조물의 고유진동수와 감쇄율을 측정하기 위하여 30kg의 모래주머니를 1m높이에서 자유낙하시켜 진동을 측정하였으며, 사용성 평가를 위하여 70kg 체중의 보행자에 대하여 1인 걸을 때, 2인걸을 때, 1인 뒹때의 가속도 진폭을 가속도계를 이용하여 측정하였다. 측정위치는 슬래브의 정중앙 지점에서 측정하였으며 진동측정장비는 TokyoSokki사에서 제작한 가속도 센서 AR-F1와 CAS사에서 제작한 DA-1700을 이용하였다.

진동측정과 분석에 대한 전반적인 흐름은 그림3.2와 같다.

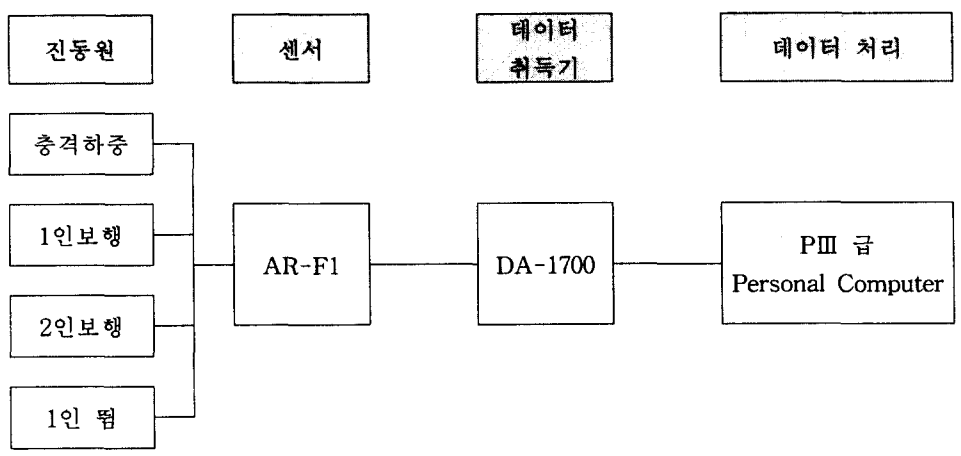


그림 3.2 실험에 사용된 시스템

### 3.2 실험결과

#### 3.2.1 모래에 의한 충격 가진 실험

모래에 의한 충격진동은 1차 모우드의 고유진동수와 감쇄율을 측정하기 위하여 실시하였다. 30kg의 모래를 포장하여 측정 대상 슬래브의 측정점에서 약 30cm떨어진 지점에 높이 1m에서 자유낙하 시킨후 가속도 진동파형을 측정하였다. 실험 결과 그림 3.3에 나타난 바와 같이 최대 가속도  $0.042\text{ cm/s}^2$ 으로 측정 되었다.

### 3.2.2 보행자에 의한 가진 실험

몸무게 70kg의 사람이 보행할 때, 뒀 때, 2인 보행시의 가속도 진동파형을 측정하였다. 1인 보행시 응답 최대 가속도(그림 3.4참조)는  $0.0048 \text{ cm/s}^2$ 으로 나타났으며 동일한 가속도 진동 파형을 나타내었으며 1인 뒀때의 응답 최대 가속도(그림 3.5참조)는  $0.01465 \text{ cm/s}^2$ , 2인 보행시의 응답 최대 가속도(그림 3.6참조)는  $0.0068 \text{ cm/s}^2$ 로 나타났다.

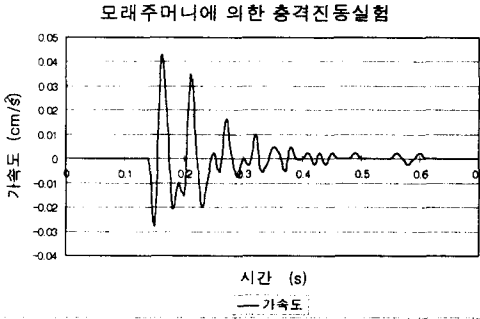


그림 3.3 모래주머니에 의한 충격 진동

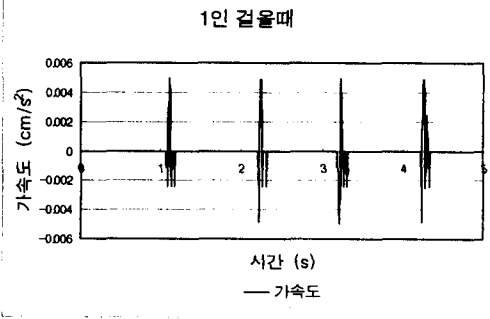


그림 3.4 1인 보행시 가속도 진폭

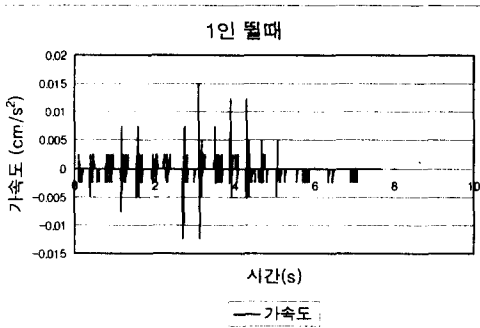


그림 3.5 1인 뒀때의 가속도 진폭

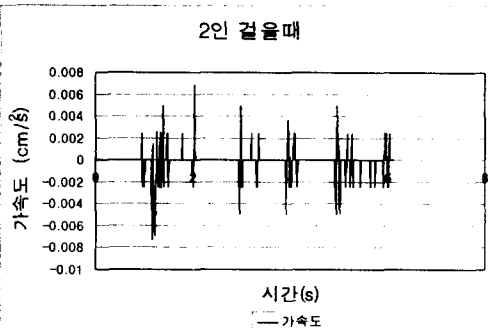


그림 3.6 2인 보행시 가속도 진폭

## 4. 고찰

### 4.1 고유진동수

고유진동수  $f$ 는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M_e}} \quad (\text{식 4.1})$$

여기서  $f$ : 고유진동수,  $k$ : 강성,  $M_e$ : 유효질량

$$k = \frac{384EI}{5l^3}, \quad M_e = \frac{\left(\frac{l_y^3}{\beta_x}\right)}{\pi^4 C_1 \left(1 + \frac{l_y^2}{l_x^2}\right)}$$

$E$  = 콘크리트의 탄성계수,  $I$  = 단면 2차모멘트,  
 $C_1$  = 변장비에 의한 계수값(0.01670),  $l_x$  = 장변방향 길이  $l_y$  = 단변방향길이

식 4.1에 의해 구해진 대상 슬래브의 고유진동수는 23.26Hz로 나타났다.

대상 건물의 고유진동수는 측정장비에서 나타내 주는 실시간 주파수 분석을 이용하여 나타내어 지는 데이터를 이용하였다. 측정결과 고유진동수의 1차모드는 대체적으로 21Hz로 측정되어 식4.1에 의해 구해진 이론값 23.26Hz와 유사하였다. 측정데이터의 FFT(Fast Fourier Transform)분석 그래프를 그림4.1에 나타내었다

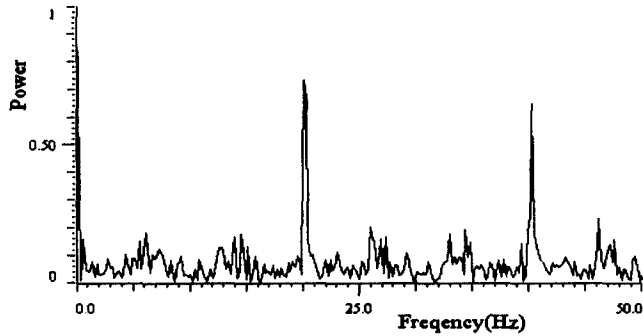


그림 4.1 대상 구조물의 고유진동수

#### 4.2 감쇄율

30kg의 모래주머니를 자유낙하 시킨 후 측정된 자유진동 파형을 이용하여 감쇄율을 계산하였다. 감쇄율은 대수 감쇄법을 이용하여 계산하였으며 이는 데이터 가상의 꼭지점을 연결하는 log곡선을 그려 그 값을 식 4.2와 같이 계산하였다.

$$h = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{x_i}{x_{i+1}} \quad (\text{식 4.2})$$

$x_i$  = i번째 진폭  $x_{i+1}$  = i+1번째 진폭,  $h$  : 감쇄율

모래주머니를 이용하여 충격진동을 발생시킨 후 자유진동을 측정된 데이터에 대하여 식4.2를 적용하여 대상 구조물의 감쇄율을 측정된 결과 슬래브의 감쇄율은 3%로 나타나 일본건축학회에서 제시하고 있는 진동종별Ⅱ(감쇄율 3%이하)에 해당되는 것으로 나타났다.

#### 4.3 사용성 검토

각 가진력에 따른 가속도를 비교하여 보면 1인 뿔 때, 2인 보행, 1인 보행시 각각의 가진력에 따른 가속도 응답의 차이를 보여주고 있다. 1인 뿔때의 가속도 형태는 가진력이 측정점에 가까워 질수록 가속도의 최대값이 증가하고 있으며 측정점에서 멀어질수록 가속도의 최대값은 감소하고 있다(그림 3.2~3.5참조). 그러나 1인 보행시와 2인보행시의 경우 대체적으로 비슷한 최대 가속도 값을 가지고 있는 것으로 나타났으나, 2인 보행시의 경우 진동이 서로 간섭하여 가속도 응답이 다소 복잡하게 나타나고 있다.

얻어진 실험결과를 이용하여 변위진폭을 구하여 일본 건축학회에서 제시한 평가 곡선에 적용하여 보면 그림 4.2와 같이 평가 한계곡선(V=3)보다 아래에 위치한다. 따라서 본 연구에서 적용한 구조물은 진동에 대하여 사용성이 우수한 구조물로 판단된다.

표 4.1 가진력에 따른 최대가속도

가진력	최대가속도 (cm/s <sup>2</sup> )	최대응답 변위(μm)	고유진동수
1인 떨때	0.01465	3	21Hz
2인 보행	0.0068	1.5	
1인 보행	0.0048	1.1	

5. 결론 및 추후 연구사항

1. 철근콘크리트 구조물의 슬래브 진동특성을 측정된 결과 측정대상 건물의 고유진동수는 21Hz, 감쇄율은 3%로 나타났다.
2. 슬래브의 강성과 질량을 이용하여 구해진 고유진동수는 23Hz정도로 나타났으며 실험에 의해 측정된 고유진동수는 21Hz로 나타나 상호 유사한 값을 얻을 수 있었다.
3. 일본건축학회에서 제시한 슬래브의 진동성능 평가곡선을 이용하여 대상 구조물의 사용성을 평가한 결과 사용성이 우수한 것으로 조사되었다.

추후 얻어진 결과를 바탕으로 슬래브 해석을 실시하여 철골구조 및 철근콘크리트 슬래브의 진동성능 평가 연구를 진행할 예정이다.

6. 참고문헌

1. 大崎順彦, “振動理論”
2. 日本建築學會 “建築物 振動 障害 防止 設計 基準案”
3. 한국소음진동공학회, “소음·진동 편람”, 1995
4. 우운택외 3인, “합성 데크플레이트 슬래브의 수직 진동에 대한 사용성 평가”, 대한건축학회 학술발표논문집 제 17권 2호 pp995-1000
5. 김원기, “강구조 건축물의 바닥진동에 관한 설계법” 철강이용기술 발표회 발표집 (2000) pp.108-125

7. 감사의 글

본 연구는 1999년도 교육부 두뇌한국(BK21) 사업단의 지원을 받아 수행되었음을 알려드립니다.

그림 4.1 일본건축학회 안에 의한 사용성 평가

