

# 건축구조물의 슬래브 진동에 의한 사용성 평가 연구

Evaluation of Serviceability due to Vibration of Slab

우 운 택\*

박 태 원\*\*

정 란\*\*\*

Woo, Woon-Taek

Park, Tae-Won

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.

**Keywords** : RC slab, Damping Ratio, Serviceability

## 1. 서 론

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.

\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 초빙교수, 공학박사

\*\* 학생회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사

● 본 논문에 대한 토의를 2000년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2001년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

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

## 2. 진동에 대한 사용성 평가 기준

국내에는 아직 건축물의 구조설계시 적용할 진동에 대한 기준을 나타낸 자료가 미흡하며 강구조물을 설계할 때 참고할 수 있도록 여러 나라의 기준들의 개략적인 내용만을 언급하고 있다. 또한 소음진동 규제법 시행규칙에 소음진동 허용 기준치를 제시<sup>(1)</sup>하고 있으나 (Table 1참조)이는 소음에 관한 규정치이다. 이에 반하여 미국이나 일본 등 선진국에서는 진동에 대한 규제치가 설정되어 건물 용도별로 규제가 이루어지고 있으며 사용성을 평가하고 있다.<sup>(2)</sup>

종래 진동감각의 평가곡선으로 널리 이용되어 왔던 Meister의 진동감각곡선은 진동에 대한 지각의 정도를 나타낸 것으로 건물의 용도에 따라 지각 한계의 목표로 삼기에는 명확하지 않다. 일본 건축학회에서는 슬래브 진동에 의해 거주성, 작업환경 손실 등의 피해를 방지하기 위하여 거주성능평가 기준을 제시하고 있다(Table 2). 이것은 ISO지침을 근간으로 일본건축학회에서 제시한 거주성능

Table 1 국내 소음진동 기준

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

평가 곡선으로서 건물의 용도별이나 진동특성 및 슬래브 특성별로 평가곡선을 구분해 놓아 거주성능의 한계치를 구분하기에 적절한 평가방법으로 제시되고 있다.

## 3. 실험

철근콘크리트 구조물의 슬래브 진동 거동에 관한 데이터를 취득하기 위하여 충청남도 천안에 위치한 지상 5층 지하1층의 학교 건물에 대하여 진동 측정 실험을 실시하였다. 대상 구조물은 7.5m×3m의 스펀을 갖는 슬래브이며, 4면이 보에 지지되어 있다. 슬래브의 중량은 구조체 마감재를 포함하여 370kgf/m<sup>2</sup>이며 대상구조물의 구조평면도를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 2 슬래브의 진동에 관한 성능평가기준

진동종별		진동종별 I			진동종별 II	진동종별 III
		등급 I 주1)	등급 II	등급 III	등급 III	등급 III
건축물 실용도						
주거	거실·침실	V-0.75주2)	V-1.5	V-3	V-5	V-10
사무소	회의·응접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
	일반사무실	V-3	V-5	V-5정도	V-10정도	V-30정도

주1) 등급은 단지 거주성능상의 단계를 나타내지만 일반적 근거를 등급 II에 두고 있다. 또한 등급 I은 거주성능상 이 범위를 밑도는 것이 보다 바람직한 레벨, 등급III은 마찬가지로 이 범위를 상회하지 않도록 해야 한다.

주2) V-뒤의 수치는 8Hz에서의 가속도 진폭값(gal)을 나타낸다.

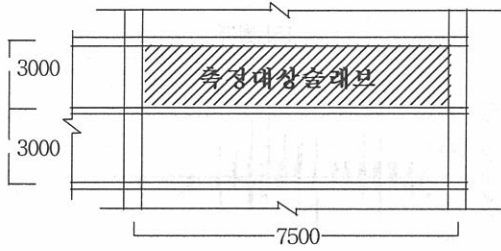


Fig. 1 예제 슬래브

실험은 구조물의 고유진동수와 감쇄율을 측정하기 위하여 30kgf의 모래주머니를 1m 높이에서 자유낙하시켜 진동을 측정하였으며, 사용성 평가를 위하여 70kgf 체중의 보행자에 대하여 1인 걸을 때, 2인 걸을 때, 1인 뒹 때의 가속도 진폭을 가속도센서를 이용하여 측정하였다.

측정위치는 슬래브의 정중앙 지점에서 측정하였으며 진동 측정장비는 TokyoSokki사에서 제작한 가속도 센서 AR-F1와 CAS사에서 제작한 DA-1700을 이용하였다.

진동측정과 분석에 대한 전반적인 흐름은 Fig. 2와 같다.

### 3.2 실험결과

#### 3.2.1 모래주머니에 의한 충격 가진 실험

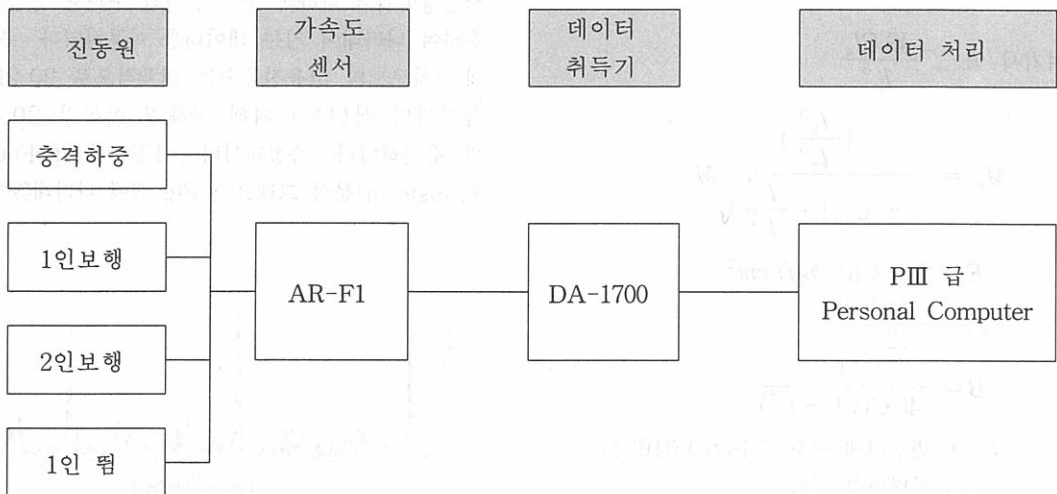


Fig. 2 실험에 사용된 시스템

모래주머니에 의한 충격진동은 1차 모우드의 고유진동수와 감쇄율을 측정하기 위하여 실시하였다.<sup>(3)(4)</sup> 30kgf의 모래주머니를 측정 대상 슬래브의 측정점에서 약 30cm 떨어진 지점에 높이 1m에서 자유낙하 시킨후 가속도 진동파형을 측정하였다. 실험결과 Fig. 3에 나타난 바와 같이 최대 가속도가 0.042 cm/s<sup>2</sup>로 측정되었다.

#### 3.2.2 보행자에 의한 가진 실험

몸무게 70kgf의 사람이 보행할 때, 뒹 때, 2인 보행시의 가속도 진동 파형을 측정하였다. 1인 보행시 응답 최대 가속도(Fig. 4참조)는 0.0048 cm/s<sup>2</sup>로 나타났으며 동일한 가속도 진동 파형이 반복하여 나타났으며 1인 뒹 때의 응답 최대 가속도(Fig. 5참조)는 0.01465cm/s<sup>2</sup>, 2인 보행시의 응답최대 가속도(Fig. 6참조)는 0.0068cm/s<sup>2</sup>로 나타났다.

## 4. 고찰

### 4.1 고유진동수

고유진동수  $f$ 는 유효질량( $M_e$ )과 유효강성( $k_e$ )를 이용하여 다음 식 (1)<sup>(5)</sup>로 구할 수 있다.

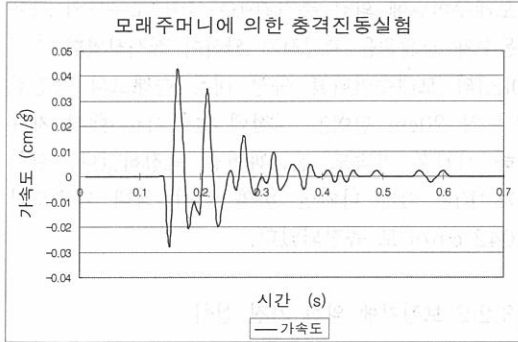


Fig. 3 모래주머니에 의한 충격 진동

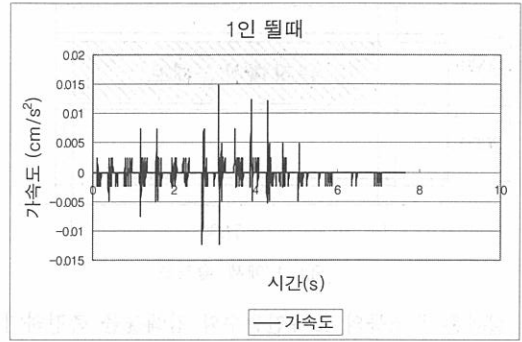


Fig. 5 1인 걸때의 가속도 진폭

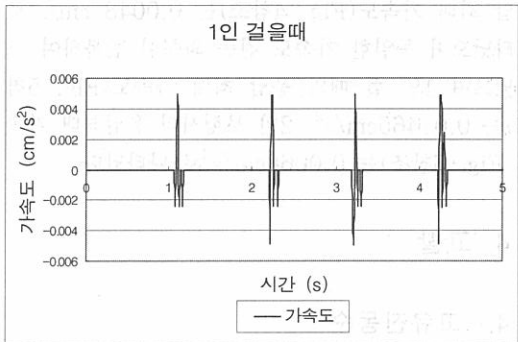


Fig. 4 1인 보행시 가속도 진폭

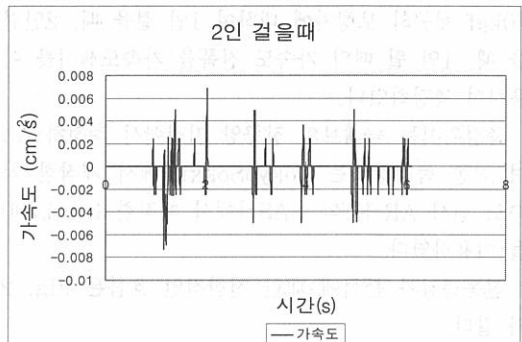


Fig. 6 2인 보행시 가속도 진폭

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_e}{M_e}} \quad (1)$$

여기서  $k_e = \frac{48EI_e}{l_x^3}$

$$M_e = \frac{\left(\frac{l_y^3}{l_x^3}\right) M}{\pi^4 C_1 \left(1 + \frac{l_y^2}{l_x^2}\right)}$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$I_e = \frac{Bh^3}{12}$$

$$B = \frac{1}{48 C_1 (1 - \nu^2)} l_x$$

$C_1$  = 변장비에 의한 계수값(0.01671)

$l_x$  = 단변방향 길이

$l_y$  = 장변방향 길이

식 (1)에 의해 구해진 대상 슬래브의 고유진동수는 20.8Hz로 나타났다. 대상 건물의 고유진동수는 측정장비에서 나타내 주는 실시간 주파수 분석을 이용하여 나타내어 지는 데이터를 이용하였다. 측정결과 1차모드의 고유진동수는 대체적으로 20.2Hz로 측정되어 식(1)에 의해 구해진 이론값 20.8Hz와 유사하였다. 측정데이터의 FFT(Fast Fourier Transform)분석 그래프를 Fig. 7에 나타내었다

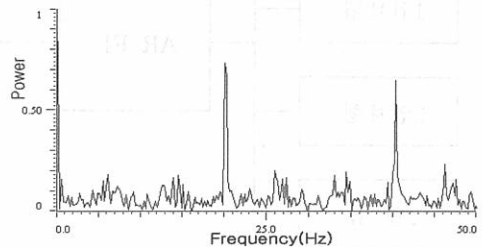


Fig. 7 대상구조물의 고유진동수(20.2Hz)

## 4.2 감쇄율

30kgf의 모래주머니를 자유낙하 시킨 후 측정된 자유진동 파형을 이용하여 감쇄율을 계산하였다. 감쇄율은 대수 감쇄율을 이용하여 계산하였다. 즉 데이터 가상의 꼭지점을 연결하는 log곡선을 그려 그 값을 식 (2)와 같이 계산하였다.<sup>(6)</sup>

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

$x_i$  = i번째 진폭

$x_{i+1}$  = i+1번째 진폭

$h$  = 감쇄율

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

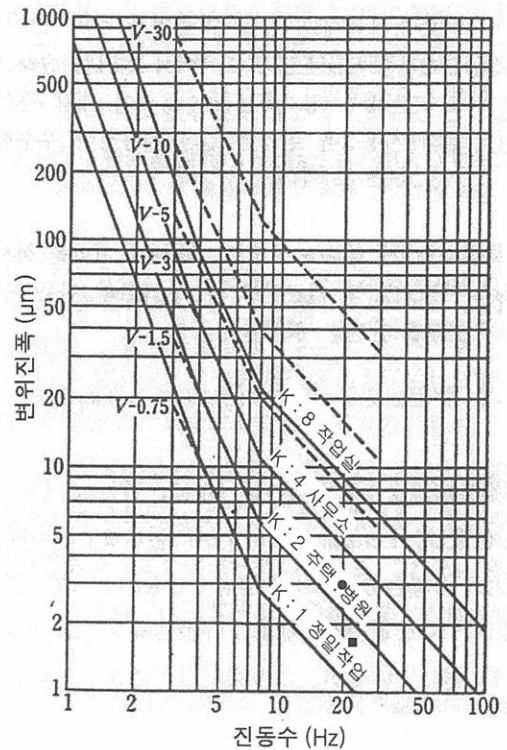
## 4.3 사용성 검토

1인 떨 때, 2인 보행, 1인 보행시의 가속도응답을 Fig. 4~6에 나타내었다. 사용성 평가를 위해서 각 가진력의 최대가속도 응답을 Table 3에 정리하였다. 1인 떨 때의 가속도 응답형태는 가진력이 측정점에 가까워질수록 가속도의 최대값이 증가하고 있으며 측정점에서 멀어질수록 가속도의 최대값은 감소하고 있다(Fig. 4~6참조). 그러나 1인 보행시와 2인 보행시의 경우 대체적으로 비슷한 최대 가속도 값을 나타 내고 있으며, 2인 보행시의 경우 진동이 서로 간섭하여 가속도 응답이 다소 복잡하게 나타나고 있다. 얻어진 실험결과를 이용하여 변위 진폭을 구하여 Tabel 3에 나타냈으며 일본 건축학회에서 제시한 평가 곡선과 ISO에서 제시한 평가곡선에 적용하여 보면 Fig. 8과 같이 충격력에 의한 진동의 경우 K4(사무소)나 V-3보다 아래에 위치한다. 그리고 연속진동의 경우도 K2(주택, 병원)나 V-1.5

Table 3 가진력에 따른 최대가속도

가진력	최대가속도 (cm/s <sup>2</sup> )	최대응답 변위 (μm)	고유진동수
1인 떨때	0.01465	3	20.2Hz
2인 보행	0.0068	1.5	
1인 보행	0.0048	1.1	

보다아래에 위치한다. 즉 실험대상구조물이 학교건물이므로 연속진동에 대해서는 ISO기준에 의하면 K4 이하이어야 하고 일본건축학회 기준에 의하면 V-5 이하이어야 하는데, K2 이하이고 V-1.5 이하이므로 진동에 대하여 사용성이 우수한 구조물로 판단된다.



— : ISO기준    ● 충격진동  
 - - - : 일본건축학회    ■ 연속진동

Fig. 8 사용성 평가곡선

## 5. 결론 및 추후 연구사항

본 논문에서는 철근콘크리트 슬래브의 진동에 의한 사용성 평가를 일본건축학회에서 제시한 평가방법과 ISO 기준을 이용하여 수행하여 보았다. 이상으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 철근콘크리트 구조물의 슬래브 진동특성을 측정된 결과 측정대상 건물의 고유진동수는 20.2Hz, 감쇄율은 3%로 나타났다. 고유진동수가 15Hz 이상이 되므로 사용성에 문제가 없음을 확인할 수 있다.<sup>(5)</sup>
- 2) 슬래브의 강성과 질량을 이용하여 구해진 고유진동수는 20.8Hz 정도로 나타났으며 실험에 의해 측정된 고유진동수는 20.2Hz로 나타나 상호 유사한 값을 얻을 수 있었다.
- 3) ISO기준 및 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.

## 감사의 글

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

## 참 고 문 헌

1. 日한국소음진동공학회, "소음·진동 편람", 1995
2. 日本建築學會, "建築物의 振動에 關한 居住性能評價指針·同解説", 1991년
3. 김원기, "강구조 건축물의 바닥진동에 관한 설계법" 철강이용기술 발표회 발표집 (2000) pp.108-125
4. 우은택외 3인, "합성 데크플레이트 슬래브의 수직 진동에 대한 사용성 평가", 대한건축학회 학술발표논문집 제 17권 2호 pp995-1000
5. 日本建築學會, "鐵筋콘크리트構造計算規準·同解説", 技報堂, 1990년
6. 大崎順彦, "建築振動理論", 彰國社, 1996년

(접수일자 : 2000년 10월 30일)