

장스팬 Hollow Core PC 슬래브의 사용성 평가에 관한 연구

°정형일*, 강지훈*, 장동운*

Evaluation of Serviceability to Long Span Hollow Core PC Slab

Hyung-il Jeong, Ji-hun Kang, Dong-un Jang

ABSTRACT

This paper evaluates the serviceability of vibration that is induced by people's walking and running when the long span hollow core slab is used. The dynamic characteristics like a natural frequency and a ramping ratio are found by impact loading test on the mock-up structures. Also, the human induced loading test output is evaluated by the various serviceability criteria. As the various serviceability criteria satisfy with this result, the vibration problem of relevant slab caused by people's behavior does not matter.

1. 서론

현재 국내에서 2002년 월드컵을 위한 준비작업으로 전국각지에서 경기장이 건설되고 있다. 넉넉하지 않은 공사기간과 함께 공사가 대규모인 관계로 공사기간단축을 위한 PC 등과 같은 기술의 접목이 불가피하며 여건상 경기장이라는 특수시설물에 대한 충분한 사전검토나 설계, 시공경험이 다소 부족한 관계로 각 경기장 현장은 일반 구조물 시공현장과 다른 문제점을 동반하고 있는 실정이다. 본 시험연구가 수행된 것도 이러한 배경에서이며 그 내용은 장스팬 Hollow Core PC 슬래브를 경기장에 사용할 경우 발생할 수 있는 문제점에 대해 각 항목별로 시험 및 검토를 하고 사용된 시스템의 실제적 성능평가를 수행하는 것이며 그

결과가 향후 시공중 또는 시공후 보완대책마련에 기초자료가 되도록 한다.

여러가지 항목중 본 논문에서는 경기장의 바닥 슬래브가 Hollow Core PC (폭 : 1,200mm, 길이 : 11,350mm, 두께 : 315mm)로 시공될 경우, 사람에 의해 발생할 수 있는 진동에 의한 사용성을 현장에 설치된 Mock-up 용 구조체에 대하여 시험을 수행하여 평가한 사례를 나타내었다.

2. 시험방법

구조물의 진동성능을 파악하기 위하여 수행하는 동적시험법에 대하여 규준 등에서 제시하고 있는 시험방법은 없으며, 일반적으로 구조물의 수직진동 시험법으로 알려져 있는 방법은 바닥 슬래브가 가지고 있는 동특성 파악을 위한 시험과 실응답 특성의 파악을 위한 실제상태 가진시험이다.

* 쌍용건설 기술연구소

본 논문에서는 구조물의 동특성인 고유진동수, 감쇠 등의 파악을 위한 시험으로 모래주머니, 인력충격 등을 가진원으로 사용하였으며, 구조물의 실제 사용시 응답특성 파악을 위한 실 가진시험은 슬래브에서 발생할 수 있는 진동원을 사람에 의한 보행 및 주행으로 구분하여 구조물에 가진한 후 그 응답을 측정하였다. 진동측정 후 응답의 평가는 가속도 값 및 주파수 분석을 통하여 나온 결과를 진동 허용기준치와 비교하였다.

다음 표 1에 시험 관련 사항을 정리하였고, 그림 1에 계측시스템을 나타내었으며, 시험대상 구조물의 평면도 및 단면도를 그림 2에 나타내었다.

표 1. 시험 개요

종류	내용
시험 목적	동특성 분석, 사용성 평가
시험 기준	국외의 슬래브 사용성 기준
동특성 평가	충격하중가진 (모래주머니, 인력인 펌)
사용성 평가	보행 및 주행 하중 가진
센서선정	가속도계
측정 위치	슬래브 중앙부, 1/4 지점
계측 시스템	센서, 증폭기, 테이프레코더, 분석기
결과 분석	FFT 분석 : 고유진동수, 응답특성 등

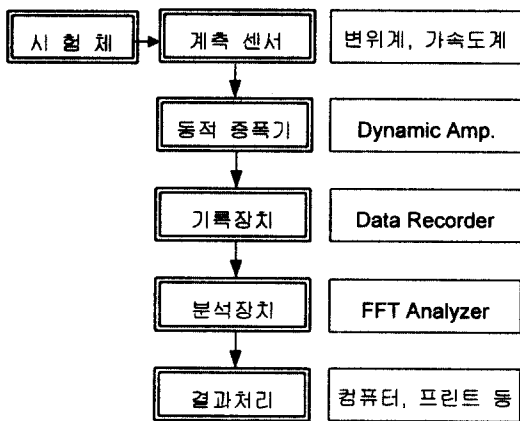


그림 1. 계측장치의 시스템도

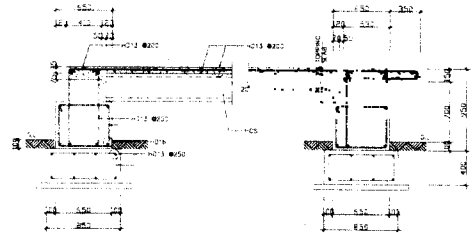
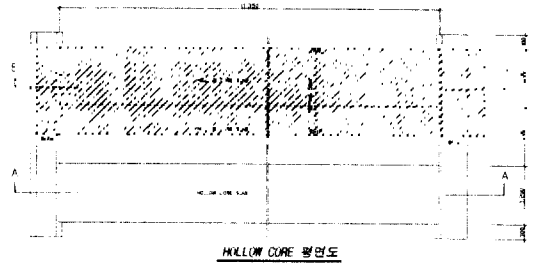


그림 2. 시험대상 구조체

3. 시험결과

3.1 고유진동수

고유진동수의 파악을 위하여 모래주머니, 인력의 펌과 같은 충격가진시험을 수행하였다. 두가지 방법에 대하여 슬래브 중앙에서 진동을 측정하고 결과 각 방법에서 슬래브의 고유진동수값은 거의 비슷하게 나타났으나 가진력을 측정하지는 않았기 때문에 실험시에 약간의 차이는 나타났었다.

모래주머니를 이용한 가진방법이 높이를 일정하게 설정할 수 있었으며, 이중가진 문제 등이 없어 가장 안정적인 주파수 응답특성을 나타내었다.

시험결과 1차 고유진동수는 15 Hz 근방으로 나타났으며, 이러한 값은 스패인 11.35m 인 것을 고려할 경우 상당히 높은 값으로서 Pre-stress로 인하여 Hollow Core Slab의 강성이 매우 높은 것으로 평가된다. 측정된 고유진동수 15Hz 정도의 값은 보행 및 주행의 기본진동수인 2 ~ 3 Hz의 5배 이상의 값으로서 진동수만으로 평가할 경우 주행 및 보행으로 인하여 거주자 또는 사용자에게 불쾌감을 유발할 수준은 아니다.

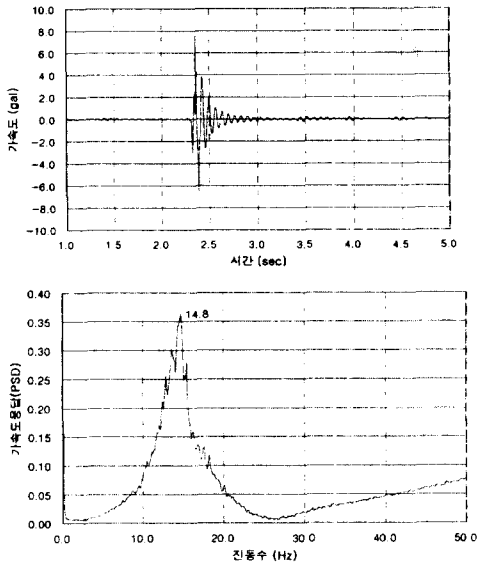


그림 3. 시간 및 주파수 응답 (1인 보행)

3.2 감쇠비

감쇠값을 구하기 위해서 1차 고유진동수 특성이 주로 나타난 충격진동에 의한 데이터 4개를 이용하였으며, 대수감쇠를 추정법에 의한 감쇠값은 8.7%로 나타났다. 일반적인 콘크리트 구조물의 감쇠비가 5% 이내인 점을 볼 때 비교적 높은 감쇠특성을 나타내었으며, 이는 P.C 슬래브의 Pre-stress의 도입으로 인한 것으로 추정된다.

표 2. 대수감쇠를 추정법에 의한 감쇠비

시험종류		모래주머니 낙하시험			
최대 진폭	Y1	12.9	9.49	19.00	8.98
	Y2	10.8	4.92	9.77	4.47
	Y3	4.96	2.36	5.20	2.26
	Y4	2.95	1.44	2.54	1.37
	Y5	1.93	1.07	1.83	1.06
	Y6	1.03	0.64	1.14	0.53
감쇠비(ξ)		0.0805	0.0860	0.0896	0.0904
평균치 $\xi = 0.0866$					

3.3 보행 및 주행 시험 결과

보행의 경우 1인, 3인, 5인에 대하여 가진을 수행하였으며, 가진 진동수는 느린걸음, 보통걸음, 빠른걸음으로 구분하였다. 가진진동수 분석결과 느린걸음의 경우에는 1.6 Hz ~ 1.8 Hz, 보통걸음의 경우에는 2.1 ~ 2.2 Hz, 빠른걸음의 경우에는 2.8 ~ 3.2 Hz로 일반적으로 알려져 있는 보행가진의 진동수와 거의 유사하였다. 보행시 가능한 사람에 의해서 일상적으로 유발되는 가진값으로 가력하기 위해 노력하였으며, 3인, 5인의 경우 가진력이 최대가 될 수 있도록 서로의 발걸음을 맞추기 위해 연습을 몇 차례 수행후에 슬래브 상부에서 가진하였다.

주행가진의 경우도 1인, 3인, 5인으로 구분하여 수행하였으며, 가진 진동수는 일상적인 주행으로 하였으며, 가진 진동수 분석결과 2.6 ~ 3.3 Hz 정도로 나타났다.

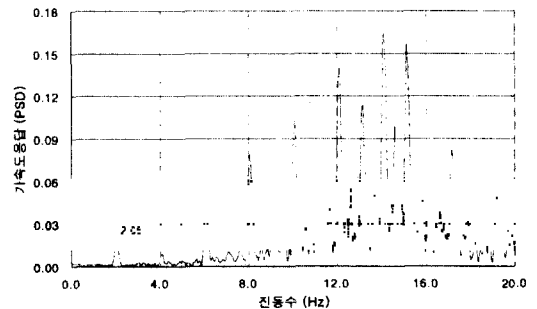
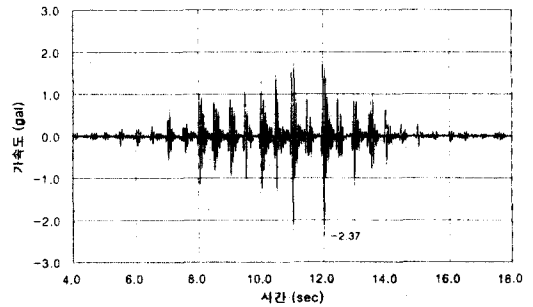


그림 4. 보통걸음 1인 보행가진시 가속도 응답

보행 및 주행 시험결과 동일한 3인 보행, 보통 걸음에 있어서도 가속도 응답값은 다소 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 가진 주파수를 일정하게 할 수 없는 점과 3인, 5인의 발걸음을 정확히 맞추는 것에 어려움이 있기 때문이다. 본 시험에서는 동일 조건에 대하여 3회 이상 시험을 수행하여 최대값을 측정하였다.

보행 및 주행시 가진진동수와 최대가속도를 다음 표 3과 4에 나타내었다.

표 3. 보행시의 최대가속도

종 류	보행인원	가진진동수 (Hz)	최대가속도 (gal)
느린 걸음	1인 보행	1.65	0.8
	3인 보행	1.67	4.6
	5인 보행	1.75	6.7
보통 걸음	1인 보행	2.00	2.4
	3인 보행	2.00	8.4
	5인 보행	2.10	16.2
빠른 걸음	1인 보행	3.00	3.0
	3인 보행	3.10	9.4
	5인 보행	3.10	16.3

표 4. 주행시의 최대가속도

주행인원	가진진동수 (Hz)	최대가속도 (gal)
1인 주행	2.90	5.5
3인 주행	2.90	13.8
5인 주행	3.00	23.2

4. 사용성 평가

슬래브에서 발생하는 수직진동에 대한 국내 평가기준은 없으며, 실질적으로 공간의 용도, 작용하중의 형태, 진동지속시간, 거주자의 특성 등에 따라 수직진동을 평가하는 것은 어려운 문제이다. 본 논문에서는 캐나다 및 일본기준과 개인연구자

의 연구결과를 적용하여 경기장 슬래브의 사용성을 평가하였다.

4.1 캐나다 기준(NBCC)에 의한 평가

NBCC 캐나다 기준은 사용공간의 용도에 따른 가속도 한계 추천값만을 제시하고 있다. 실용도 별로 다른 기준을 제시하고 있으므로, 슬래브의 각 용도에 한가지 기준만을 적용할 수는 없다. 그러므로 슬래브의 용도를 크게 구분하여 매장, 은행, 사무실 등과 같은 곳은 사무실 또는 거주공간의 진동허용 기준을 적용하였으며, 통로 등과 같이 주행가진이 발생할 수 있는 곳은 거주공간 다음으로 엄격한 기준인 무도회장의 기준을 적용하였다.

사무실 또는 거주공간의 진동허용치로서 유효가속도값을 0.7% g (≈7gal) 이하로 할 것을 제시하고 있으며 일반적으로 거주 또는 사무소 공간에 발생하는 가진은 최대 3인 정도가 일상적인 속도로 발을 맞추어 걷는 정도라고 볼 수 있을 것이다. 측정된 3인 보행시의 최대가속도값은 8.4 gal이며, 이를 유효가속도로 환산하면 5.94 gal이다. 이는 캐나다의 사무실 및 거주공간의 제한치인 7 gal 이내의 값으로, 캐나다 기준으로 사무소 공간에서 일상적인 활동으로 발생하는 진동에 대하여 불편감을 유발시키지 않는 수준이다.

주행과 같은 활동이 발생할 수 있는 통로공간에 대하여 무도회장의 진동허용기준인 2%g (=20gal)을 적용하면 최대가속도의 허용기준은 약 28 gal 정도이다. 주행시 측정된 최대진동의 값은 5인이 발맞추어 주행할 경우로서 23.2 gal 이고 이는 캐나다의 허용기준을 만족하는 값이다. 그러므로, 통로 등과 같이 주행 등이 가진원으로 작용할 수 있는 부분에 대해서는 캐나다 기준으로 불편감을 유발시키지 않는 수준이다.

4.2 일본 건축학회기준에 의한 평가

일본 건축학회기준은 일반 거주용 건물에 대한

평가기준으로 중심진동수와 최대 가속도 응답값을 허용기준 그래프에 적용하여 감소정수, 진동의 종류 등으로 구분하여 사용성을 평가하게 된다.

경기장 슬래브의 주용도가 경기장의 부대시설로서 매장, 은행, 사무실, 통로 등으로 사용되고 있으므로, 일본기준의 일반사무실 허용기준을 적용하였다. 진동의 종류는 두 가지로 구분하였으며, 느린 걸음과 보통 걸음의 보행을 연속진동으로 평가하였으며, 빠른 걸음과 주행의 경우는 진동응답의 특성상 충격진동(감쇠비 6% 이상)으로 평가하였다. 최대진동을 발생하는 가진 조건으로는 3인이 발을 맞추어 걷거나, 뛰는 경우를 적용하였다. 기준그래프에 진동측정결과 나타내면 그림 5와 같다. 연속진동의 경우 V-5 이하로 평가되고 있으며, 충격진동의 경우 V-10 이하로 평가된다. 이는 연속진동과 충격진동 모두 일반사무소의 용도로서 일반적인 수준을 만족하고 있는 것으로, 일상적인 보행 및 주행으로 인하여 사용자에게 불쾌감을 유발시킬 수 있는 진동은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

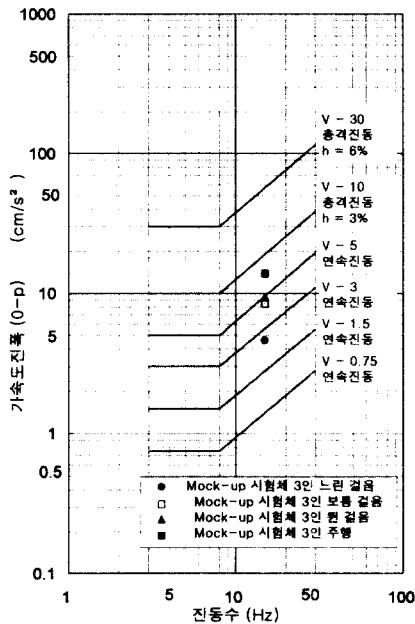


그림 5. 일본의 수직진동 평가곡선

4.3 개인연구자에 의한 평가

본 논문에서는 수직진동평가지 많이 적용하는 Reiber와 Meister의 연구결과로 평가하였다.

Reiber와 Meister는 고유진동수에 따른 진동응답(최대가속도, 변위, 진폭)으로 인간의 느낌을 평가하는 그래프를 제시하고 있으며 이 그래프를 이용하여 시험구조물의 고유진동수인 15Hz에 대하여 인간이 지각할 수 있는 최소한계와 불쾌감을 유발하는 한계최대 가속도 값을 찾으면 최소지각한계는 3.5gal이며, 불쾌감 유발한계는 35gal이다.

Reiber와 Meister의 연구결과로 평가할 때 1인 보행의 경우 전혀 지각할 수 없는 수준이나, 3인 이상의 보행 및 주행에 있어서는 최소지각한계는 초과하나 불쾌감을 유발하는 수준이내의 값으로, 진동을 인식할 수는 있으나 불쾌감을 유발하여 사용상 문제가 있는 수준은 아니다.

5. 결론

경기장 슬래브에서 사람으로 인하여 발생하는 진동의 사용성을 평가한 결론은 다음과 같다.

- 1) 충격가진 시험을 통하여 고유진동수를 측정된 결과 1차 고유진동수가 15 Hz로 나타났으며, 이는 일반적인 11m 스패의 슬래브와 비교할 경우, 높은 값으로 강성이 큰 것으로 판단된다.
- 2) 충격가진시험의 자유진동파형으로부터 감쇠비를 계산한 결과 8.7% 정도의 감쇠비를 나타내었으며, 일반적인 콘크리트 구조물의 감쇠비가 5% 이내인 점을 볼 때 전체적으로 비교적 높은 감쇠값을 가진다. 이는 P.C 슬래브의 Pre-stress의 도입으로 인한 것으로 추정된다.
- 3) 보행 및 주행 시험의 결과를 캐나다의 사용성 평가 기준인 NBCC 진동기준으로 평가할 경우, 사무소 공간으로 이용되는 곳의 3인 보행시 유효가속도가 5.94gal이며 이는 캐나다의 사무실 및 거주공간의 제한치인 7gal 이내의 값으

로, 캐나다 기준으로 사무소 공간에서 일상적인 활동으로 발생하는 진동에 대하여 불쾌감을 유발시키지 않는 수준이다. 주행과 같은 활동이 발생할 수 있는 통로공간에 대하여 무도회장의 진동허용기준인 2%g (=20gal)을 적용하면 최대가속도의 허용기준은 약 28gal 정도이다. 5인이 발맞추어 주행시의 측정된 최대값은 23.2gal 이고 이는 캐나다의 허용기준을 만족하는 값이다.

- 4) 일본기준은 거주용에 대한 평가기준이므로, 3인의 보행 및 주행 측정결과로 평가하였다. 평가결과 보통 걸음과 같은 연속진동과 빠른 걸음 또는 주행과 같은 충격진동 모두 일반사무소의 용도로서 일반적인 수준을 만족한다.
- 5) 개인연구자인 Reiber와 Meister의 연구결과로 평가할 경우, 주행과 보행 모든 경우에 대하여 불쾌감을 유발하지 않는 수준이다.

참고문헌

1. Kim S. Elliott, "MULTI-STOREY PRECAST CONCRETE FRAMED STRUCTURES", 1996, pp207~239
2. Mario Paz, "Structural Dynamics", 4th Edition
3. Hugo BACHMANN, Walter AMMANN, "VIBRATIONS IN STRUCTURES", 1987
4. National Building Code of Canada 1990, Part 4 Structural Design, Supplement Ch.4
5. 일반건축학회, "건축물의 진동에 관한 거주성능 평가지침 동해설", 1991
6. Thomas M. Murray, David E. Allen, Eric E. Ungar, "Floor Vibrations due to Human Activity", 1997
7. Hugo BACHMANN 외 14인, "VIBRATION PROBLEMS IN STRUCTURES", 1995