진동특성을 고려한 ES-빔 공법의 사용성능 평가

Floor Vibration Analysis of Economic Steel (ES) Beam Using Field Measured Acceleration Responses

우 종 열* 박 수 용** 김 민 진*** 홍 성 욱**** 도 선 붕***** 최 태 호******
Woo, Jong-Yeol Park, Soo-Yong Kim, Min-Jin Hong, Seong-Wook Doh, Sun-Boong Choi, Tae-Ho

Abstract

This study provides floor vibration analysis for a factory constructed by ES-beam using field measured acceleration data. The natural frequencies of the first two modes of floor are extracted from measured data. With this information, a system identification has been performed to produce a numerical model representing existing floor. The peak magnitudes of acceleration for one man walking heel drop load from experiment and numerical model are analyzed using ISO vibration criteria and AIJ vibration performance criteria. The results show that there is no problem in use of ES-beam.

키 워 드 : ES 빔, 고유진동수, 구조계 추정기법, 가속도 응답
Keywords : economic steel (ES) beam, natural frequency, system identification, acceleration response

1. 서 론

현대의 모든 공업생산에서 3S(단순화 Simplification, 규격화 Standardization, 전문화 Speccialization) 시스템이 보편화되어 있듯이 건축분야에서는 건축부재(슬래브, 보, 기둥, 벽체 등)의 각 부재요소를 프리패브리캐이션(prefabrication)화하고 공장에서 제작하여 현장에서 조립함으로서 현장에서의 습식공법을 최소화 하여 시공을 단순화 시키고 있는 방향으로 발전하고 있는 것이 전반적인 흐름으로 볼 수 있다.

이를 토대로 경제적인 철골 보(ES-빔)공법이 개발되었으며 이는 기존의 철골 보 설계 시 중앙부와 단부 모멘트 중 가장 큰 모멘트로 전 구간 동일한 크기의 철골부재로 설계되었던 것을 중앙부와 단부의 모멘트 크기로 나누어 두 종류의 철골부재로 모멘트 크기에 따라 설계하여 철골물량을 줄이는 경제적인 철골 보 (ES-빔)제작 공법이다.

본 논문은 경제적인 철골 보(ES-빔)공법으로 시공 되어진 공장 구조물의 바닥판 사용성을 검토하여 ES-빔 공법의 사용성에 문제가 없음을 증명하고자 한다. 이를 위하여 ES-빔 공법으로 설치되어진 공장 바닥판의 수직방향의 고유진동수를 Midas/Gen을 이용한 수치해석 및 실험을 통하여 구하였다. 구해 진 수치해석과 실험의 고유진동수 차이를 이용하여 구조계추정기법(system identification)을 통하여 공장 바닥

판의 강성을 추정하였다. 수치해석 및 실험으로 1인 보행 시 가속도응답을 측정하고 일본 거주 성능평가지침기준(AIJ, 1991), 국제표준화기구(사용 용도별 ISO 2631-2 진동기준)에 적용시켜 ES-빔 공법의 사용성능 평가를 수행하였다.

* (주)HILL 엔지니어링 대표이사, 공학박사, 정회원
** 한국해양대학교 해양건축공학과, 부교수, 정회원, 교신저자 (sypark@hhu.ac.kr)
*** 한국해양대학교 해양건축공학과, 석사과정, 정회원
**** (주)상지엔지니어링건축사사무소 이사, 공학박사, 정회원
***** (주)토문엔지니어링건축사사무소 이사, 공학박사, 정회원
****** (주)연덕이엠씨 상무, 박사과정, 정회원

2. 수치해석과 실험의 계획 및 방법

수치해석은 실험 구조물과 똑같은 조건으로 모델링 하였고 수치해석에서 1인 보행하중은 일본 건축학회(AIJ)에서 제안한 보행하중을 적용하였으며 방향과 가속도 측정위치는 서로 동일한 조건으로 모델링, 실험 하였다. 구조물 평면 및 보행방향과 가속도 측정위치는 그림 1과 같다.

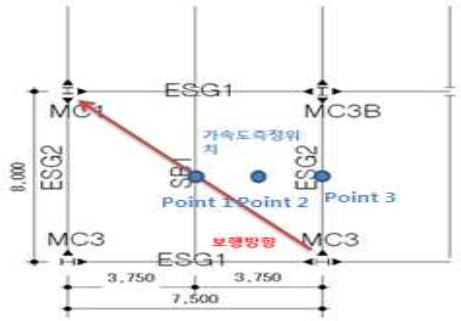

그림 1. 수치해석 및 실험 개요

3. 수치해석과 실험의 결과 및 분석

3.1 고유진동수 비교

수치해석과 실험의 고유진동수 추출 결과 표 1과 같이 바닥판의 고유진동수는 1차 모드에서 수치해석 8.8787 Hz, 실험 8.69 Hz 로서 두 고유진동수의 차이는 2.17%, 2차 모드에서 수치해석 12.9541 Hz, 실험 12.9 Hz 로서 두 고유진동수는 0.42%의 차이를 보이고 있다. 이 정도의 오차율로서 수치해석의 모델링과 실험의 정확도가 높음을 알 수 있다.

표 1. 수치해석과 실험의 고유진동수 비교

모드	수치해석(MIDAS/GEN)	실험	오차율
1차	8.8787 Hz	8.69 Hz	2.17 %
2차	12.9541 Hz	12.9 Hz	0.42 %

3.2 바닥판의 구조계 추정

수치해석과 실험의 고유진동수 차이를 이용, 구조계추정기법(system identification)을 이용하여 바닥판의 강성을 추정 할 수 있으며 그 결과는 표 2와 같이 총 4회의 구조계추정을 거친 결과 구조물 바닥판의 강성은 설계 강성보다 약 11% 높은 강성으로 시공되었음을 알 수 있다.

표 2. 실제 바닥판 콘크리트의 강성

설계 바닥판의 강성 (C240)		업데이트 구조물의 콘크리트 강성 (N/㎟)				실제 바닥판의 강성
		1회	2회	3회	4회	
k1	2.2628 ×1010	2.4894 ×1010	2.5853 ×1010	2.5874 ×1010	2.5872 ×1010	2.5872 ×1010

3.3 가속도응답 비교

표 3과 같이 수치해석과 실험의 포인트별 가속도는 모두 Point1에서 가장 크게 나타났으며 실험에서의 가속도가 약간 높게 나왔다. 이는 수치해석의 일본 건축학회에서 제안한 보행하중과 실제 실험의 보행하중의 차이로 설명 할 수 있다.

표 3. 수치해석과 실험의 고유진동수 비교

Point	수치해석의 최고 가속도(g)	실험의 최고 가속도(g)
1	0.017	0.0218
2	0.013	0.0192
3	0.013	0.0159

3.4 사용성평가

표 4. 사용 용도별 ISO 2631-2 진동기준

지 역	연속진동(g)	충격진동(g)
병원의 수술실, 정숙을 요하는 지역	0.0035	0.005
주거지	0.007	0.01
사무실	0.0141	0.0199
공장, 작업장	0.0282	0.0398

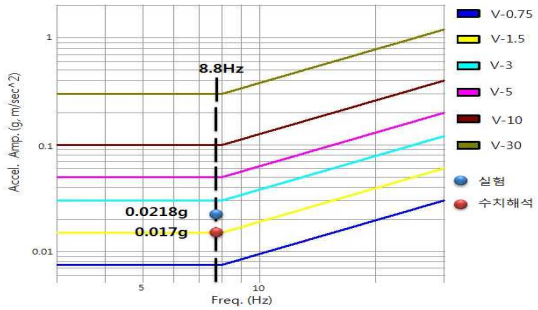

그림 2. 일본 거주성능 평가지침(AIJ, 1991)

수치해석과 실험에서 구한 1인 보행하중 시 바닥판의 최대가속도를 표 4, 그림 2와 같이 국제표준화기구 사용 용도별 진동기준, 일본 거주 성능평가지침에 적용시켜 본 결과 국제표준화기구 사용 용도별 진동기준에서 공장, 작업장의 진동 규준치보다 작게 나타났으며, 일본 거주 성능평가지침에서는 V-1.5인 사무소 등급 1에 해당되는 것으로 나타났다. 따라서 ES-빔 공법으로 시공되어진 공장 바닥판은 진동에 대하여 사용성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 ES-빔 공법으로 시공 된 공장 구조물의 진동 사용성에 문제가 없다는 것을 증명하기 위하여 수치해석과 실제실험의 결과치를 비교, 분석하였으며 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 수치해석과 실험의 고유진동수의 오차가 거의 적은 것으로 보아 ES-빔 공법으로 시공 된 구조물은 실제 설계와 거의 동일하게 시공이 되었다는 것을 알 수 있다.
2) 구조계추정기법 (system identification)을 적용한 결과, ES-빔이 설치된 구조물의 바닥판 콘크리트는 실제 C240의 강성보다 약 11% 높은 강성으로 시공되었다는 것을 알 수 있다.
3) 수치해석과 실험의 1인 보행 시 가속도 응답 분석 결과 수치해석의 최고 가속도 응답은 0.017 g, 실험의 최고 가속도 응답은 0.0218 g 으로서 일본의 거주 성능평가지침에서 사무소 1등급, 국제표준화기구 공장, 작업장의 규준치에 미치지 않는 것으로 보아 ES-빔이 설치된 공장은 사용성에 아무런 문제가 없는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 조강표 외, 고유진동수에 따른 건축물 수평진동의 허용가속도 평가, 한국풍공학회논문집, 제12권 제1호, pp.51~58, 2008
2. 최태호 외, ES-빔 공법의 경제성 분석, 한국건축시공학회 춘계학술발표대회 논문집, 제11권 제1호, pp,133~136, 2011
3. T.M. Murray, Building Floor Vibrations, Engineering Journal-AISC, pp.102~109, 1991