

플랫슬래브 바닥구조시스템의 진동계산식의 비교

A Comparative Study on the Floor Vibration Evaluation methods of Flat Plate Slab System

강 대 언* 김 종 호** 김 지 동***
Kang, Dae Eon Kim, Jong Ho Kim, Ji Dong

Abstract

The serviceability evaluation methods regarding floor vibration can be found in foreign building codes or design guides for vibration. AISC, AIJ, CEN, CSA and ISO are such examples. However, because the those guides are based on each country's experimental results, there will be different evaluation results for the same conditions. Meanwhile, in Korea, we have little research results that suits for our condition, and we continue to use those foreign guides. In this paper, 20 flat plate slabs were carried out to investigate the accuracy of existing frequency formulas.

1. 서론

플랫플레이트 시스템은 주택수요자들의 생활양식변화에 따라 리모델링의 요구를 충족시키지 못하는 기존의 벽식 구조에 비해 가변형 평면 및 리모델링이 자유롭다는 장점 때문에 선호되고 있을 뿐만 아니라 보의 거푸집 공사가 필요 없어 라멘구조시스템에 비해 공사비가 저렴하다는 이유로 최근 이 시스템을 이용한 주거시설이 증가하고 있는 추세이다.

하지만 플랫플레이트 시스템은 보-슬래브 시스템에 비하여 장기처짐과 바닥판의 진동 등의 사용성의 문제로 대공간화에 어려움이 있는 실정이다. 특히 이런 구조시스템은 국내의 여건상 고층화를 수반하고 있으며 일반적으로 낮은 감쇠로 설계되어지고 있어 동적하중에 의해 진동이 과다해짐으로 인해 플랫플레이트 시스템의 사용성 문제는 더욱 크게 발생할 것으로 사료된다. 게다가 생활수준의 향상으로 사람들이 쾌적한 환경 확보에 많은 관심을 갖게 되어 구조물의 작은 진동에도 불쾌감과 불안감을 호소하는 경우가 빈번하게 발생하게 되었으며 이에 따라 거주자의 안락성도 구조설계의 주요 요소가 되어 가고 있는 실정이다.

이런 배경 하에서 각국에서는 바닥구조의 진동에 대하여 진동평가기준 또는 설계지침을 규정하여 바닥진동을 고려한 구조설계를 진행하도록 하고 있다. AISC¹⁾, 일본건축학회기준²⁾, CEN³⁾, CSA⁴⁾, ISO⁵⁾ 등에서 바닥구조의 진동에 대한 기준을 제시하고 있으며 이러한 진동평가기준은 각국의 환경이나 연구배경에 따라 약간의 차이점을 보이고 있다. 한편 국내에서도 바닥구조의 진동에 관련하여 실험적연구 및 해석적 연구가 활발하게 진행되고 있으나 기준으로는 “합성테크 바닥구조 설계규준(안)⁶⁾”과 “강

* 정희원, (주)창·민우구조컨설팅 부설연구소 책임연구원, 공학박사
** 정희원, (주)창·민우구조컨설팅 대표이사, 건축구조기술사
*** 정희원, (주)창·민우구조컨설팅 본부장

구조 한계상태설계기준⁷⁾에서 여러나라의 기준들의 개략적인 내용만을 언급하고 구체적인 내용에 대해서는 언급되어 있지 않다.

한편 이미 시공되어 있는 건물의 경우는 진동실험을 통하여 바닥판에서의 정확한 진동응답을 찾아낼 수 있으나, 건물을 설계하고 있는 단계에서는 계산식이나 컴퓨터에 의한 동적해석으로 그 값을 예측할 수 밖에 없다. 또한 이런 계산식은 즉각적인 예비평가 과정에서 유용하게 적용된다. 이런 이유로 진동 기준에서는 진동계산식을 제시하고 있다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 최근 이슈화되고 있는 플랫폼레이트 바닥구조를 대상으로 하여 보진동식, 슬래브진동식으로 계산된 값을 진동실험값과 비교하여 그 유효성을 검증하였다. 또한 비교를 위한 유효요소해석을 실시하여 실험값과 비교하였다.

2. 대상 바닥구조

2.1 대상 바닥구조 개요

그림 1에 대상 바닥구조의 대표적인 평면형태를 나타내었다. 표 1에는 대상 바닥구조의 제원을 나타내었다. 대상 바닥구조는 활하중이 작용하지 않은 골조공사가 완료된 바닥구조로 하였다. 또한 대상 바닥구조는 플랫폼레이트로 한 변 혹은 두변에 보나 내력벽이 있는 슬래브로 구성되었다.

표 1. 실험체 일람

| specimen | fck (MPa) | lx (mm) | ly (mm) | t (mm) | E (MPa) |
|----------|-----------|---------|---------|--------|---------|
| A | 24 | 8000 | 7200 | 250 | 23237.9 |
| B | 24 | 7200 | 6000 | 250 | 23237.9 |
| C | 24 | 7200 | 6000 | 250 | 23237.9 |
| D | 24 | 6000 | 3720 | 250 | 23237.9 |
| E | 24 | 7200 | 7200 | 250 | 23237.9 |
| F | 27 | 7800 | 6100 | 250 | 24647.5 |
| G | 27 | 7800 | 6400 | 250 | 24647.5 |
| H | 27 | 7800 | 7100 | 250 | 24647.5 |
| I | 27 | 6100 | 3500 | 250 | 24647.5 |
| J | 27 | 7100 | 6100 | 250 | 24647.5 |
| K | 27 | 7800 | 3500 | 250 | 24647.5 |
| L | 27 | 6600 | 6100 | 250 | 24647.5 |
| M | 27 | 6300 | 3800 | 250 | 24647.5 |
| N | 27 | 7800 | 6300 | 250 | 24647.5 |
| O | 27 | 7800 | 6700 | 250 | 24647.5 |
| P | 30 | 7500 | 6100 | 250 | 25980.8 |
| Q | 30 | 6100 | 5400 | 250 | 25980.8 |
| R | 30 | 6200 | 5300 | 250 | 25980.8 |
| S | 30 | 7500 | 5300 | 250 | 25980.8 |

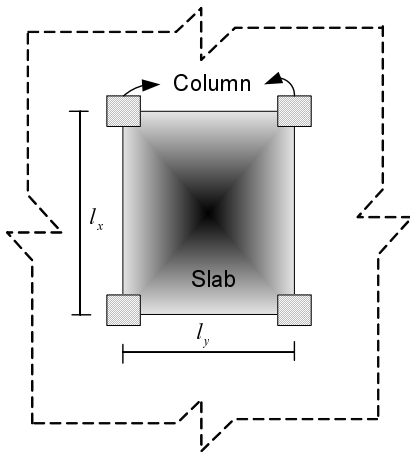


그림 1. 대상 바닥구조의 대표적 평면

2.2 대상 바닥구조의 진동수 측정방법 및 해석방법

본 연구에서는 대상 바닥구조에 대하여 진동실험을 수행하여 모드해석에서 제시하는 고유진동수와 진동모드형상을 비교하여 각각의 바닥구조에 대하여 고유진동수를 측정하였다. 바닥진동은 바닥판을 구성하는 보, 거더, 슬래브 각각의 진동모드와 전체 바닥구조의 진동모드가 동시에 복합적으로 작용하고 있는 것이다. 고무망치나 물체의 자유낙하에 의한 충격실험으로 진동응답을 구하고 이에 대한 주파수 분석으로 고유진동수를 구할 수도 있으나 바닥판과 같이 여러 가지 진동모드가 복합적으로 작용하고 있는 경우에는 주파수 분석으로 나타난 초기 피크값이 어느 요소의 고유진동수에 해당되는지를 판별하기가 어렵기 때문에 모드해석을 통해 구하였다.

진동수 계산식의 보진동식은 CEN EC 3/1³⁾를 바탕으로 하여 바닥구조를 보로 가정하고 식(1)을 사

용하여 고유진동수를 구하였으며, 슬래브 진동식에 의한 바닥구조의 고유진동수 계산은 일본건축학회의 “철근콘크리트 구조계산 기준·동해설⁸⁾”인 식(2)을 바탕으로 계산하였다.

$$f = \frac{\alpha}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (1)$$

f ; 고유진동수(Hz), E ; 탄성계수, I ; 단면2차모멘트, L ; 스패, m ; 단위길이당 질량

α ; 기본 진동모드의 진동수 계수, $\alpha = \begin{cases} 9.869 & \text{for simple beam} \\ 22.37 & \text{for fixed-fixed beam} \\ 3.516 & \text{for cantilever beam} \\ 15.418 & \text{for pinned-fixed beam} \end{cases}$

$$f = \frac{\pi}{2l_x^2} \left(1 + \frac{l_x^2}{l_y^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho t}} \quad (2)$$

l_x ; 장변스패, l_y ; 단변스패, t ; 슬래브두께, ρ ; 밀도, $D = Et^3/12(1-\nu^2)$; 휨강성, ν ; 프와송비

또한 바닥구조의 유한요소해석에 사용된 프로그램은 MIDAS GEN V6.7.0⁹⁾을 사용하였으며 바닥구조를 구성하는 판요소의 형상을 최적화하여 요소개수를 줄이고 해석의 정밀도를 확보하기 위하여 그 프로그램의 요소자동생성기능을 사용하였으며, 인접바닥판은 경간의 1/2까지 함께 모델링하였다.

3. 실험결과와 진동수계산식 및 유한요소해석과의 비교

그림 2에 실험값과 보진동식, 슬래브진동식 및 유한요소해석에 의해 계산된 값을 비교하여 나타내었다. 또한 그림 3에는 계산값을 실험값으로 나눠 통계분석을 수행하였다.

실험값과 해석값을 비교한 그림 2에서 보진동식의 경우 상관계수가 0.54, 슬래브 진동식의 경우 상관계수가 0.92, 유한요소해석에 의한 해석값의 경우 상관계수가 0.98로 나타났다. 또한 해석값을 실험값으로 나눠 통계분석을 실시한 결과 그림 3과 같이 모든 경우에 있어 정규분포로 근사가 가능했으며, 보진동식의 경우, 평균 0.430, 표준편차 0.096, 슬래브진동식의 경우, 평균 1.134, 표준편차 0.155, 유한요소해석에 의한 해석값의 경우, 평균 0.987, 표준편차 0.007 로 나타나 많은 가정을 수반하는 유한요소해석을 제외하고는 플랫플레이트 바닥구조의 시스템의 진동수의 예측에 있어 보진동식의 경우보다는 슬래브진동식으로 계산하는 것이 타당하다고 사료된다.

4. 결론

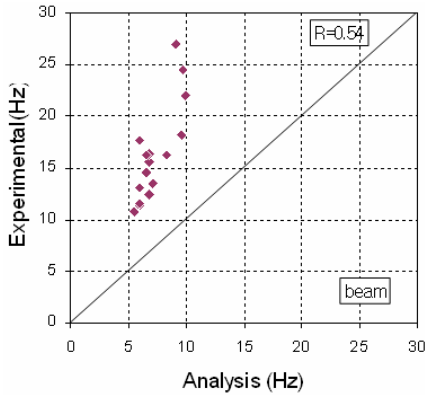
본 연구에서는 최근 이슈화되고 있는 플랫플레이트 바닥구조를 대상으로 하여 보진동식, 슬래브진동식으로 계산된 값을 진동실험값과 비교하여 그 유효성을 검증하였다. 또한 비교를 위한 유한요소해석을 실시하여 실험값과 비교하였다. 그 결과,

- 1) 실험값과 해석값을 비교한 결과 보진동식의 경우, 상관계수가 0.54, 슬래브 진동식의 경우, 상관계수가 0.92, 유한요소해석에 의한 해석값의 경우, 상관계수가 0.98로 나타났다.
- 2) 해석값을 실험값으로 나눠 통계분석을 실시한 결과 모든 경우에 있어 정규분포로 근사가 가능했다.
- 3) 가정을 수반하는 유한요소해석을 제외하고는 플랫플레이트 바닥구조의 시스템의 진동수의 예측에 있어 보진동식의 경우보다는 슬래브진동식으로 계산하는 것이 타당하다고 사료된다.

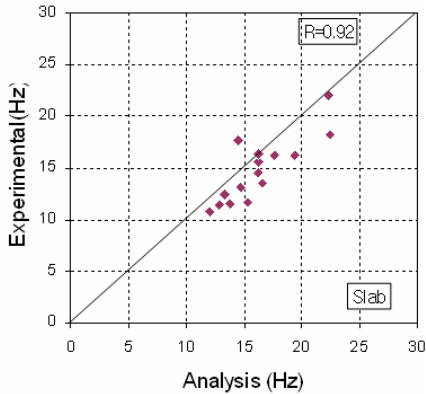
참 고 문 헌

- 1) AISC Steel Design guide series 11: Floor Vibration due to human activity(1998)
- 2) 일본건축학회, “건축물의 진동에 관한 주거성능평가지침 및 동해설”, (1991, 2004)
- 3) CEN, Eurocode 3 Design of steel structures.
- 4) National Research Council of Canada, “User’s Guide-NBC(1995)”:Structural Commentaries(Part

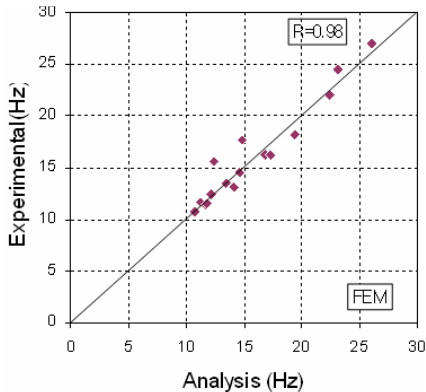
- 4)", (1996)
- 5) ISO, "ISO2631 Part-1,2,3", (1997, 2003)
- 6) 대한건축학회, "합성테크 바닥구조 설계기준(안)⁶⁾", (1998)
- 7) 대한건축학회, "강구조 한계상태 설계기준 및 해설", (1998)
- 8) 일본건축학회, "철근콘크리트 구조계산 기준·동해설⁸⁾", (
- 9) 마이더스 아이티, "사용자 지침서", (2001)



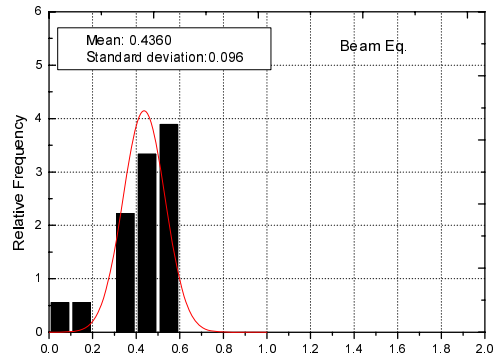
(a) 보진동식의 경우



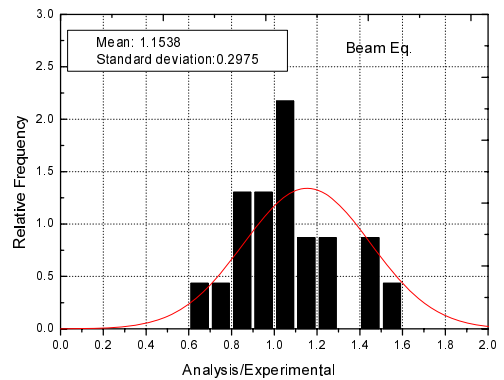
(b) 슬래브진동식의 경우



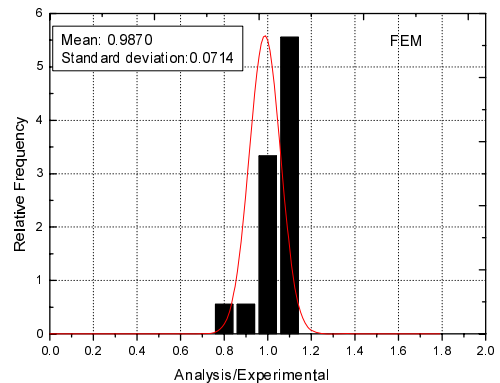
(c) 유한요소해석에 의한 해석값의 경우
그림 2. 실험값과 해석값의 비교



(a) 보진동식의 경우



(a) 슬래브진동식의 경우



(c) 유한요소해석에 의한 해석값의 경우
그림 3. 통계분석