

철골조 고층 병원건물의 진동예측을 위한 동적특성 및 설계인자에 관한 연구

The study on the dynamic characteristics of steel structure system for vibration estimation in hospital building

장강석[†](유니슨테크놀러지), 김영찬(유니슨테크놀러지)*, 안상경(삼성물산)**,
나운** (삼성물산)

Jang Kang Seok, Kim Young Chan, Ahn Sang Kyung, Na Woon

Key Words : Hospital building(병원건물), serviceability(유용성), human activities(보행), medical equipment(의료장비), impact test(충격시험), steel floor(철골바닥).

Abstract : The primary objective of this study is to provide simple analytical tools to estimate dynamic characteristics of steel framed floor system in hospital building for vibration serviceability due to human activities, bogie, medical equipment. and so on. In order to evaluate the dynamic characteristics and vibration levels according to steel framed floor system, we had executed impact test and measurement on steel structure floor system in various hospital buildings. But perhaps most importantly, how to make the most of deduced design factor for design of hospital building. therefore we presented the access method such as the three-dimensional F.E. numerical analysis on the basis of the design drawing, and the properties of all floors for estimation of vibration level in hospital building.

1. 서론

최근 건축되는 철골구조의 경우 중앙 코어를 이용하여 보나 빔을 배치함으로써 각층 내부에는 지지보가 없는 형태로 건축되고 있다. 따라서 최근 건축되는 건물의 경우 보다 넓고 긴 장스팬 바닥구조를 띠므로써, 바닥의 고유진동수는 더 낮아지고 보행하중에 의한 바닥공진 영향을 배제하기 어려운 지경에 이르렀다.¹⁾ 특히 병원 건물의 경우에는 병실 통로를 보행하는 사람이나 의료장비 이동이 다른 건물에 비해 매우 많은 반면, 진동이 환자에게 미치는 심리적인 고통은 다른 곳에서 진동을 인식하는 정도보다 매우 크게 느끼며 작은 진동에서 민감하게 반응한다. 따라서 본 연구에서는 고층 철골건물 중에서도 병원 건물에

서 발생하는 바닥진동수준 및 특성인자 그리고 진동기준에 관한 내용을 다루었다.^{2)~3)} 다음으로 유사한 구조형태를 갖는 철골조 고층병원 건물에 대한 바닥의 동적거동특성 및 진동전달특성을 조사하였다. 최종적으로는 신규 병원 건물에 대한 바닥진동 예측에 관해 연구를 하였으며, 보다 정확한 예측을 위해 기존 병원건물의 측정자료에서 해석에 필요한 인자를 도출하여 사용하였다. 예측 및 검증단계에서는 신규 건물에 대해 3차원 유한요소해석을 통해 바닥진동을 예측하고, 건설단계에서의 진동측정을 통해 이를 검증하였다. 본 연구를 통해 얻어진 경험과 자료는 향후 유사한 건물을 설계하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 기존 병원건물의 동특성

2.1 평가방법

기존 병원건물의 바닥진동에 대한 동적특성 평가는 최근 건축된 Y-병원을 포함한 S-병원의 표

[†] 유니슨테크놀러지(주)
E-mail : jks@unisonstg.com
Tel : (041) 577-3457, Fax : (041) 577-3458

* 유니슨테크놀러지(주)

** 삼성물산(주)

준 층을 측정대상으로 선정하였으며, 병원건물의 특성을 고려하여 연구를 진행하였다. 본 연구에 있어서 가장 중요한 보행하중에 대한 평가는 <그림 1>과 같이 병원건물 중앙통로 측정위치를 기준으로 좌/우 10 m 이격된 거리에서 사람이나 대차가 연속적으로 왕복하게 한 후 측정을 하였다.



<그림 1> 바닥진동 및 이동하중 측정진경

한편 측정편차를 줄이기 위해 측정지점을 반복해서 통과하는 보행하중에 대해 5회 이상 측정된 평균값을 사용하였다. 다음으로 병원건물의 동적 특성파악을 위한 impact 시험은 hand impact hammer와 B&K pulse를 사용하여 수행하였으며, Impact 시험을 통해서는 1/3 octave band 주파수 대역에서의 충격량에 대한 단위가속도 값인 inertance (gal/N)와 damping 등이 평가되었다. 한편 기존 건물에 대한 동특성에 대한 평가는 다음과 같은 순서를 따라 진행하였다.

- ① 병원 건물의 기준층 복도위치에서 연속적으로 사람이 보행토록하고 복도 및 병실(하부 빔의 위치 고려)에서 진동가속도를 5분 이상 레코더를 이용해 저장한다.
- ② 측정된 진동 자료 중 이상진동이 생기지 않는 양호한 시간 동안에 대해 1/3 octave band 별 진동평균응답을 계산한다.
- ③ 바닥진동의 동특성(고유진동, 동하중)을 파악하기 위해 impact hammer를 이용하여 바닥에 충격을 주고 단위 힘에 대한 진동가속도 값인 inertance(gal/s²)/N을 구한다.
- ④ 신축건물에서의 진동예측을 위해 측정된 동특성 자료를 database화 한다.
- ⑤ 기존건물의 측정결과에서 신축건물 예측을 위한 설계변수를 산정한다.

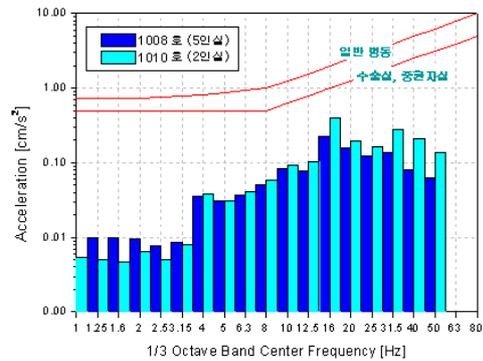
한편 진동기준의 경우 ISO 2631-2 주거용도 별 기준이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 이 기준을 바탕으로 바닥진동에 대한 평가를 하였다.

2.2 동특성 평가

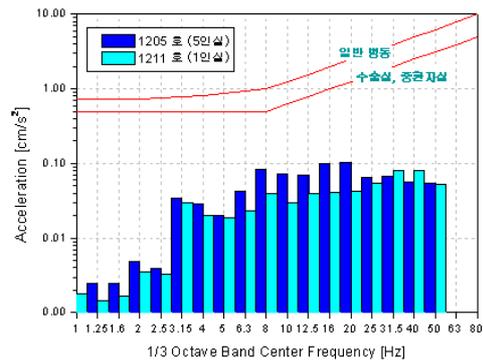
병원건물에 대한 진동수준 및 동적특성을 파악하기 위한 센서의 설치위치는 일반병실이 있는 기준 층을 대상으로 실시하였다.

(1) 병원건물의 진동수준

S-병원 건물 바닥의 경우 보행하중에 대해서는 18.0 Hz 인근에서 0.25~0.4 gal로 최대 진동수준을 보였으며 18 Hz 이하의 주파수에서는 0.1 gal 이하의 진동 값을 보였다. Y-병원의 경우는 8.0 Hz 이상에서 0.1 gal의 진동수준을 갖는 것으로 나타났다. 이 밖에 1/3 octave band 별 진동평가 결과는 <그림 2>~<그림 3>에 나타내었다. 이상의 결과에서 기존 병원건물에서 보행하중으로 인해 발생하는 진동은 선정기준을 충분히 만족하는 것으로 평가되었다.



<그림 2> S-병원 바닥의 진동레벨(보행하중)

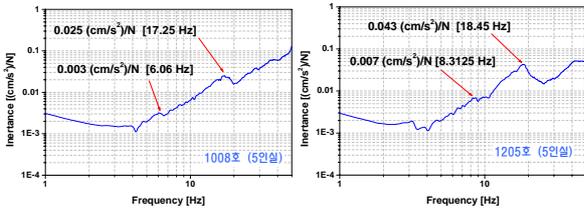


<그림 3> Y-병원 바닥의 진동레벨(보행하중)

(2) 동특성평가

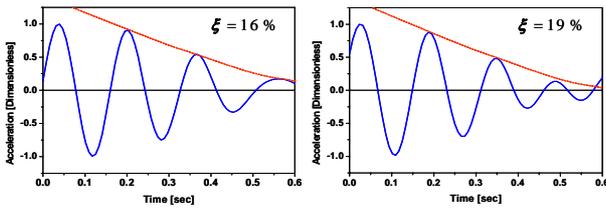
일반적으로 바닥의 진동레벨은 damping에 의해 크게 영향을 받으며, 바닥의 damping 특성은 건식벽체, 천정, 파티션, 가구, 거주하는 사람의 수 등에 의해서 영향을 받는다. 캐나다 표준협회에서

는 천장, 덕트, 그리고 가구 등이 설치되면 6% 정도의 damping을 갖고, 높은 파티션이 설치될 경우 13% 정도의 damping 갖는 것으로 판단하고 있다.⁴⁾ 이와 같이 병원건물에서의 damping(마감 상태 중요)특성 등 동적거동특성을 파악하는 것은 추후 신규건물에서의 진동예측에 있어 매우 중요한 의미가 있다. 그러므로 병원건물이 갖는 damping 특성 및 inertance를 알아보기 위해 impact 시험을 한 결과, damping의 경우 일반 건물보다 높은 16~19 %로 나타났다. (<그림 4>~<그림 5> 참조)



(a) S-병원 (b) Y-병원

<그림 4> 기존 병원건물의 Inertance 측정결과



(a) S-병원 (b) Y-병원

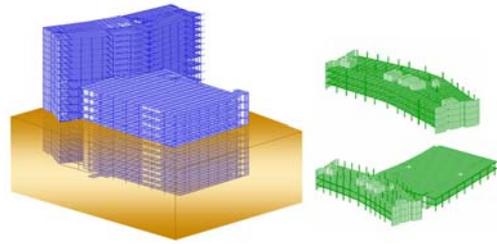
<그림 5> 기존 병원건물의 damping 특성 비교

3. 신축건물의 진동예측

3.1 예측방법

건물바닥 및 건물 내의 진동문제는 전달되는 진동에너지에 비해 구조가 취약하거나 전파되는 진동에너지와 비슷한 고유주파수대역을 갖는 영역에서 주로 발생하게 된다. 따라서 발생한 진동문제는 근본적으로 문제를 해결하지 않는 한 건물의 수명단축이나 붕괴 등의 큰 문제를 야기할 수 있어, 진동문제에 대해 적극적으로 대처하는 자세 및 초기 진동예측이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 진동예측을 위해 3차원 유한해석모델을 사용하였으며, 수치모델에는 구조부재(빔, 보, 기둥)나 주요골조 들의 특성이 설계도면 대로 반영되었다. 한편 신축 병원건물의 진동예측 및 평가를 위해 사용한 방법은 다음과 같다.

- ① <그림 6>과 같은 수치해석 모델링 완성
- ② 범용유한요소 프로그램을 이용하여 고유진동 해석 및 바닥의 고유특성분석.
- ③ 신축 병원건물에 대해 골조상태에서의 측정을 수행한 후 동특성 분석.
- ④ 측정결과를 수치해석 모델 및 경계조건에 반영 후 재 모델링(기존 건물에서의 설계인자를 포함).
- ⑤ 보행하중의 주파수특성을 고려한 강제 진동해석 및 기준과의 비교평가.



<그림 6> 신축 병원건물의 진동예측을 위한 수치해석모델

3.2 예측결과

본 연구에서는 범용유한요소 프로그램을 이용한 고유진동해석을 하였으며, 이를 바탕으로 신축 건물의 고유특성을 분석하였다. 그 결과, 건물바닥의 1절점 모드는 8.0 ~ 9.0 Hz 그리고 2 절점 모드의 경우 17.0 ~ 20.0 Hz의 주파수대역에서 나타났다. 다음으로 고유진동해석 검증 및 보다 정확한 강제진동예측 모델을 완성을 위해 신축되는 병원건물 공사 중 골조상태에서 진동측정을 하였다. 측정에 사용된 진동 발생원은 70 kg 몸무게를 갖는 사람과 0.6 ton(측정시료는 1 ton을 사용하고 보정하여 평가함)의 대차가 사용되었다. 한편 평가순서는 앞 절에서의 언급한 바닥진동 측정방법을 따라 <그림 7>과 같이 이루어졌다.

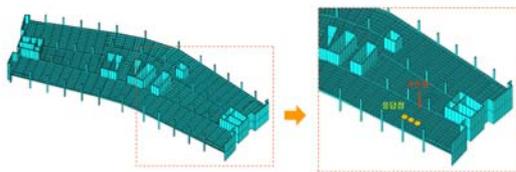


<그림 7> 골조상태에서의 바닥진동측정 진행

골조상태에서의 측정을 통해 바닥진동에 가장 영향을 미치는 주파수대역은 8~10 Hz 로 해석과 같음이 입증되었으며, 진동응답은 보행하중에 대해 기준층에서

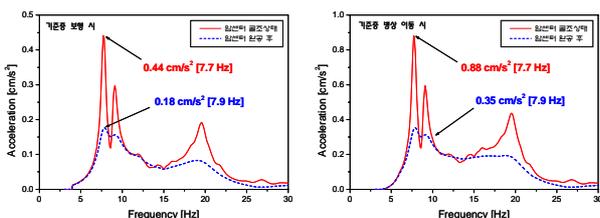
0.5 gal 이하의 진동수준을 그리고 대차 이동 시에는 1.0 gal로 중환자실이나 수술실의 진동기준인 0.5 gal을 초과하는 것으로 나타났다. 이밖에 단위 힘에 대한 진동응답인 inertance 값은 0.035~0.05 gal/N로 평가되었으며, 이때의 damping은 3.0~5.0 % 범위에서 존재하였다.

한편 건물 완공 후에는 dry wall, 천정 및 바닥 마감 등으로 인해 damping이 현저히 개선되는 것이 일반적이므로, 최종적인 바닥진동예측 및 평가는 이와 같은 영향을 고려할 필요가 있다. 따라서



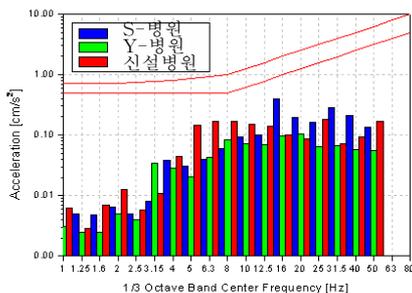
<그림 8> 바닥특성에 따른 damping 비교

신축 건물이 기존 병원건물이 갖는 15% 정도의 damping을 갖는다고 가정하고 <그림 8>와 같은 위치에서 진동예측을 한 결과, <그림 9>에 나타난 바와 같이 5 % damping에 비해 약 절반 수준의 진동응답 값을 보였다. 또한 골조 상태에서는 진동기준을 초과했던 0.6 ton의 대차가 이동할 때 발생하는 진동에 대한 응답 값도 주어진 진동기준을 만족하였다. 이 밖에 기존 병원건물과의 진동응답비교 결과를 <그림 10>에 나타내었다.



(a) 보행 시 (b) 대차이동 시

<그림 9> 바닥특성에 따른 damping 비교



<그림 10> 기존건물과 신축건물의 진동수준비교

4. 결론

본 연구에서는 고층 철골구조물 중 병원 건물이 갖는 바닥의 동적거동특성 및 진동수준을 평가하였다. 또한 동특성 측정 data에서 진동예측에 필요한 설계인자를 도출 하였으며, 이를 바탕으로 한 진동수준 예측방법을 제시하였다. 진동예측은 수치해석 모델을 실제의 특성에 맞게 모사(측정결과에서 얻어진 경계조건 변수를 해석모델에 적용 해석결과와 측정결과를 일치시킴)하고 이 모델에 병원건물의 구조매핑 변수를 적용하는 방법을 사용하여 완공 후 진동수준을 예측하였다. 향후 본 연구가 추후 고층 병원건물 신축 시 바닥진동평가 및 예측에 대한 방향을 설정 및 병원건물에 대한 진동기준을 제시에 활용될 수 있도록 보다 많은 data를 확보하여 database로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

- (1) Eric E. Ungar, Jeffrey A. Zapfe, and Jonathan D. Kemp, Predicting Footfall-Induced Vibrations of Floors, P. 16, Sound and Vibration, November 2004.
- (2) Reiher, H. and F.J. Meister, The Effect of Vibration on People(In Germaz), Forschung auf dem Gebeite des Ingenieuresens, V. 2, II, P. 381, 1931.
- (3) Parmelee, Richard A. Human Perception of Motion Presented at the 27th annual AISC National Engineering Conference, St. Louis, May 1, 1975.
- (4) Steel Structure for Buildings Proposed Appendix G. Standard S16-69, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario.