

주파수 응답함수를 이용한 콘크리트 슬래브 가속도 및 바닥충격소음 예측

Prediction of Concrete Slab Acceleration and Floor Impact Noise Using Frequency Response Function

문 대 호* · 박 홍 근† · 황 재 승**

Dae-Ho Mun, Hong-Gun Park and Jae-Seung Hwang

(Received May 9, 2014 ; Revised June 9, 2014 ; Accepted June 9, 2014)

Key Words : Frequency Response Function(주파수 응답함수), Heavy-weight Floor Impact Noise(중량충격음), System Analysis(시스템 해석), Dynamic Characteristic(동특성), Floating Floor(뜨바닥 구조)

ABSTRACT

Uncomfortable feelings of occupants by indoor floor impact noise in a residential building are not accurately represented by the floor impact noise from a standard impact source. It is due to the characteristics of standard impact sources, which are different from the impact forces produced by occupants. It varies significantly by impact source, and it is not easy to be replicated for testing. As a result, the indoor floor impact noise under different acoustic conditions cannot be directly compared. Using frequency response function(FRF), which represents the input-output relationships of a dynamic system, it is possible to examine the characteristics of the system. Especially, FRF can predict the response of a linear dynamic system subjected to various excitation. To determine the relationship between impact force and the corresponding response of dynamic system in residential building, the acceleration response of a concrete slab and the floor impact noise in the living room, produced by bang-machine and rubber-ball excitation, were measured. The test results are compared to the estimates based on FRF and impact force spectrum.

1. 서 론

국내 공동주택의 바닥충격음 차단성능 평가에는 표준충격원으로 태핑머신, 뱅머신, 고무공이 사용되고 있다. 이러한 표준충격원의 충격력 특성은 실제 거주자가 발생시키는 실생활 충격력과 다르기 때문에 표준충격원을 이용한 바닥충격음 측정결과를 이

용하여 실생활 충격소음 발생 정도를 파악하기는 어렵다.

박현구⁽¹⁾는 표준충격원의 바닥충격소음과 다양한 실생활 바닥충격소음을 비교하였다. 표준 경량충격원은 실제 생활 충격소음 보다 큰 소음을 만드는 것으로 평가되어 실제 생활 충격원(딱딱한 물건 낙하 등)의 특성을 적절하게 반영하지 못하였으며, 표준 중량충격원의 바닥 충격소음은 아이들의 점핑에 대

† Corresponding Author ; Member, Department of Architecture, Seoul National University
E-mail : parkhg@snu.ac.kr
Tel : +82-02-880-7055, Fax : +82-02-882-7053

* Member, Department of Architecture, Seoul National University

** Member, School of Architecture, Chonnam National University

A part of this paper was presented at the KSNVE 2012 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

한 소음과 유사한 특성이 있지만 보행이나 달리기 등에 의한 충격 소음과는 주파수 특성이 다르게 나타났다.

이렇듯 바닥충격을 평가에 있어 표준충격원을 이용한 실험은 일상생활 속에서 일어날 수 있는 바닥충격음의 한계(최악) 조건을 근사적으로 재현할 수 있지만 실제 생활 속에서 빈번하게 발생될 수 있는 층간 소음과는 큰 차이가 있다.

실제 거주자가 만들어내는 생활 충격원에 의한 바닥충격소음 평가는 거주자가 느끼는 불편한 감정에 대한 정성 평가뿐만 아니라 각 소음을 각 주파수 대역별로 음압 특성을 분석하면 정량 평가도 가능해진다. 하지만 항상 동일한 충격력으로 바닥을 가진시킬 수 없기 때문에 재현성이 낮고 종류도 다양하여 서로 다른 환경조건에서 동일한 실험을 반복할 수 없다. 이러한 이유로 인해 실생활 충격소음은 표준화된 실험방법을 만들기 어려우며, 윗집 거주자의 생활패턴에 따라 바닥충격음의 크기는 달리 평가될 수밖에 없다.

주파수 응답함수(FRF, frequency response function)는 주파수 영역에서 입력 신호와 출력 신호의 관계를 나타내는 함수로서, 충격력 입력 신호에 대한 음압 또는 가속도의 주파수 응답함수의 크기는 각 주파수 별로 측정값과 충격력의 비(Pa/N , ms^{-2}/N)로 나타내어진다. 주파수 응답함수는 동적 시스템의 고유진동수 및 감쇠 등과 같은 동특성 분석에 매우 유용하게 활용되고 있다^(2,5). 동적 시스템이 선형일 경우 주파수 응답함수의 입력과 출력 신호는 주파수 영역에서 선형이기 때문에 이러한 주파수 응답함수의 선형 특성을 이용하면 1회 주파수 응답함수 측정만으로 다양한 실생활 충격력에 대한 바닥 충격음 예측이 가능하고 다양한 음향 조건에서 동일한 충격력을 적용하여 바닥충격음 저감 성능을 평가할 수 있으며, 또한 구조물의 응답 측정결과를 이용하여 시스템에 입력된 신호 예측도 가능하다^(3,4,5).

이 연구에서는 충격력-가속도-음압에 대한 관계 파악을 위해 1) 표준 중량충격원(고무공, 뱀머신)의 충격력, 2) 공동주택 거실에서 표준충격원에 대한 가속도와 바닥충격음, 그리고 3) 가속도 및 음압 주파수 응답함수를 계측하였다. 계측된 가속도 및 음압 주파수 응답함수와 표준충격원의 충격력 스펙트럼을 이용하여 그 응답을 예측하고 이를

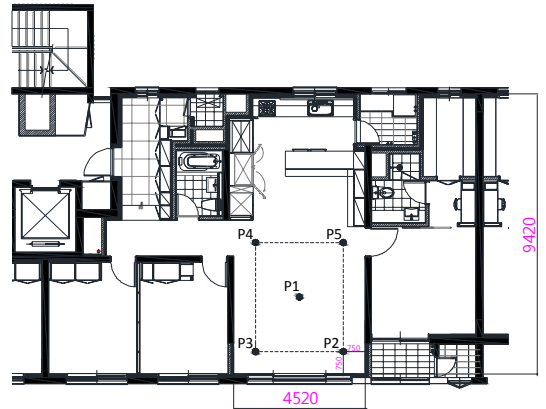


Fig. 1 Structure plan of residential building and measurement points in living room

실험결과와 비교하였다.

2. 실험개요

공동주택 시공 현장에서 1개 세대의 거실을 대상으로 시공단계에 따라 맨바닥 콘크리트 슬래브와 뜬바닥 구조의 2가지 바닥조건에서 중량충격음, 콘크리트 슬래브 가속도 주파수 응답함수, 그리고 수음실에서의 음압 주파수 응답함수를 측정하였다. 맨바닥 콘크리트 슬래브에서는 표준 중량충격원으로 고무공과 뱀머신을 사용하였지만 뜬바닥 구조에서는 고무공만을 사용하였다.

Fig. 1에 실험된 세대의 구조평면도와 측정점의 위치를 나타내었다. 가진점 및 수음점은 거실의 중앙점을 포함하여 벽체로부터 0.75 m 떨어진 위치이다. Fig. 1에서 가진점은 P1-5, 수음점은 P1과 2, 그리고 수진점은 P1(중앙, 콘크리트 슬래브 하부)이다.

실험된 공동주택은 내력벽 구조시스템이며, 바닥구조는 콘크리트 슬래브 210 mm, 완충재 30 mm(동탄성계수 5 MN/m³, EPS, 평판형), 경량기포 콘크리트 40 mm, 마감모르타르 40 mm로 되어있다(Fig. 2). 음향 조건으로 거실 전후면 콘크리트 내력벽에는 90 mm 두께의 비드법 보온판과 9.5 mm 석고보드가 시공되었으며, 벽지, 방문, 천장, 가구 등의 실내 마감은 시공되지 않았다. 외부 창호는 설치가 완료되어 외부 소음에 의한 배경소음은 매우 작았다.

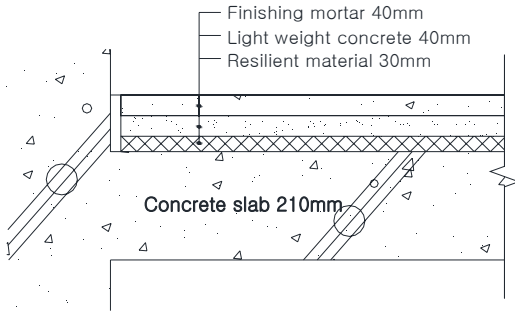


Fig. 2 Floating floor structure with resilient material

Table 1 Measurement instruments and frequency analysis conditions

Type	Description
Impulse hammer	PCB 086D50
Accelerometer	NP-3131(ONO SOKKI)
Microphone	40AE(G.R.A.S.)
Force transducer	PF-10(RION)
Data acquisition hardware	Pulse 3560C(B&K)
Software	Pulse 18 Time data recorder(B&K), Pulse 18 Time edit analyzer(B&K), Pulse 18 reflex core(B&K)
Octave band pass filter analysis	1/3 Octave band Time constant : fast Average : exponential, maximum peak hold spectrum average
FFT analysis	Frequency span : 800 Hz Δf : 1 Hz Average : linear all, spectrum average with signal trigger(time delay -0.1 s) Time window : rectangular

중량충격음은 KS F 2810-2, 2863-2의 바닥충격음 차단 성능 현장 측정 방법 및 평가 방법을 따라 1/3 옥타브 밴드 중심주파수에 대해서 측정하였다. 진동 및 음압 신호를 65536 Hz 샘플링 주파수로 디지털 레코딩하였으며, 후처리 소프트웨어를 이용하여 레코딩된 신호를 1/3 옥타브 밴드 패스 필터 및 FFT 주파수 분석하였다. 실험에 사용된 측정 장비 및 주파수 분석 조건을 Table 1에 나타내었다.

3. 주파수 응답함수 측정

주파수 응답함수 $H(f)$ 는 동적 시스템의 입력과 출력의 관계를 나타내는 함수로서 입력 신호 $X(f)$ 와 출력 신호 $Y(f)$ 는 $H(f)$ 를 통해 식(1)의 관계를

갖는다. 주파수 응답함수는 변위, 속도, 가속도뿐만 아니라 압력, 힘 등 다양한 물리량에 대해 계측 가능하며, 각 신호들의 상관성을 파악할 수 있다.

$$Y(f) = H(f)X(f) \tag{1}$$

이 연구에서 계측한 주파수 응답함수는 비교적 사용이 간편하고 넓은 주파수대역까지 가진 것이 가능한 임팩트 해머를 사용하여 계측하였으며, 바닥을 가진 할 때의 충격력과 그에 대한 음압 및 가속도 응답을 계측하여 주파수 응답함수를 계산하였다. FFT 분석에서 최적의 주파수 응답함수 계산을 위해 식(2)를 이용하여 주파수 응답함수 $H_1(f)$ 을 계산하였다.

$$H_1(f) = \frac{G_{xy}(f)}{G_{xx}(f)} \tag{2}$$

여기서, $G_{xy}(f)$ 는 입력과 출력신호의 상호스펙트럼(cross-spectrum), 그리고 $G_{xx}(f)$ 입력신호의 자기스펙트럼(auto-spectrum)을 의미한다.

맨바닥 구조와 뜬바닥 구조의 거실 중앙점(P1)에서의 가속도 주파수 응답함수를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 슬래브의 (1,1)과 (1,2) 진동모드의 고유진동수가 뜬바닥 구조 시공 후 감소되어 (1,1) 진동모드는 26→25 Hz, (1,2) 진동모드는 33→31 Hz로 낮아졌다. 또한 뜬바닥 구조에서 마감물탈과 완충재의 공진에 의한 영향으로 52 Hz에서 추가적인 가속도 응답 모드가 발생하는 것으로 나타났으며, 이 응답은 52 Hz 전후의 넓은 주파수 범위에 분포하고 있다. 뜬바닥 구조의 가속도 주파수 응답함수 크기는 약 80 Hz 이하에서 맨바닥 콘크리트 슬래브보다 크고 그 이상 주파수에서는 감소되었다.

Fig. 4는 거실의 중앙점(P1)을 가진한 충격력과 거실 모서리 지점(P2)에서의 음압에 대한 주파수 응답함수를 나타낸 그래프이다. 음압 주파수 응답함수에서는 바닥의 진동 모드와 수음실 음향 모드 고유진동수에 대한 주파수 특성이 동시에 나타난다. 그래프에 저차 음향 모드의 고유진동수와 모드 성분을 표시하였다. 거실의 x축(4.5 m)과 y축(9.4 m) 길이방향에 대한 1차원 음향모드(axial acoustic mode) 고유진동수는 (1,0,0)=39 Hz, (0,1,0)=18 Hz에서 나타났으며, 2차원 모드(tangential mode)는 (1,1,0)=41 Hz에서

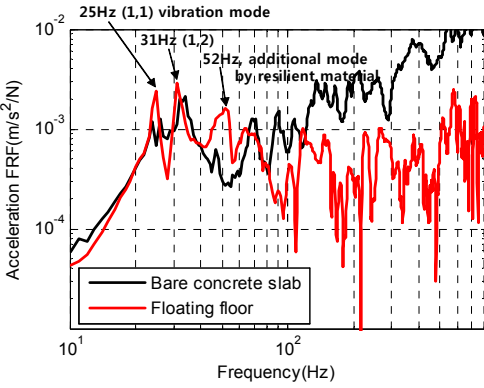


Fig. 3 Acceleration frequency response functions(P1/P1) for floor types(FFT, 0~800 Hz, Δf=1 Hz)

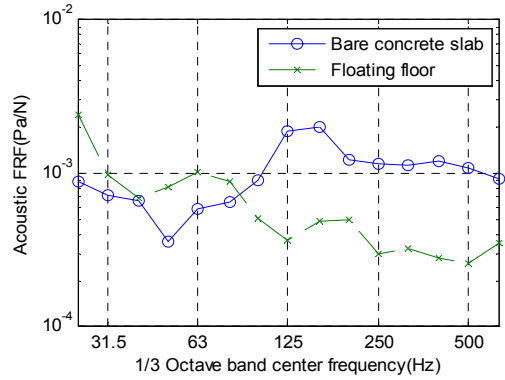


Fig. 5 1/3 Octave band acoustic pressure frequency response functions(P2/P1, 1/3 octave bands pass filter, fast time constant, maximum peak hold averaging)

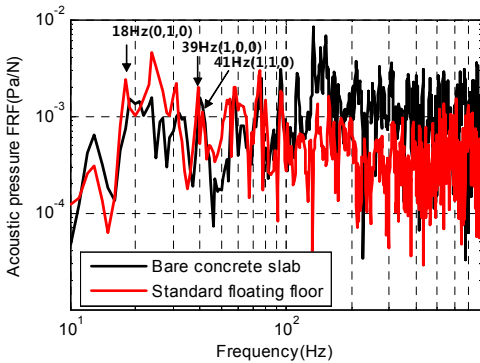


Fig. 4 Acoustic pressure frequency response functions (P2/P1) for floor types(FFT, 0~800 Hz, Δf=1 Hz)

발생되었다. 음향 주파수 응답함수에서 최대값은 거실의 (1,1) 진동모드 고유진동수인 25 Hz에서 나타났다. 마감물탈과 완충재의 공진이 발생하는 52 Hz에서의 음압은 가속도 응답 특성과 동일하게 나타나 52 Hz 전후로 넓은 주파수 범위에서 음압이 맨바닥 콘크리트 슬래브보다 증폭되어 나타나고 있다. 뜬바닥 구조의 음압에 대한 주파수 특성은 가속도 응답 특성과 유사하게 나타나 80 Hz 이하에서는 맨바닥 콘크리트 슬래브 보다 크고 100 Hz 이상에서는 작게 나타났다.

Fig. 5는 음압 주파수 응답함수를 1/3 옥타브 밴드로 나타낸 그래프이다. 1/3 옥타브 밴드 음압 주파수 응답함수 주파수 분석 조건은 예측하고자 하는 신호의 주파수 분석 조건과 동일해야 하므로 KS F 2810-2의 중량 바닥충격음 측정 조건과 동일하게 하였다.

일반적으로 옥타브 밴드패스 필터를 이용한 주파수 분석은 입력과 출력의 상관함수인 상호스펙트럼을 계산하지 않기 때문에 1/3 옥타브 밴드 음압 주파수 응답함수는 식 (3)을 이용하여 자기스펙트럼만을 이용하여 계산하였다. 실험 특성상 입출력 신호가 갖고 있는 노이즈는 유효한 측정 신호에 비해 매우 작기 때문에 Fig. 3과 4에 나타난 주파수 응답함수는 식 (2)와 (3)을 이용하여 계산한 결과가 동일하다.

Fig. 5에서 맨바닥 콘크리트 슬래브와 뜬바닥 구조에서의 음압 주파수 응답함수는 Fig. 4보다 주파수 특성이 명확하여 주파수 응답함수의 크기는 80 Hz 이하에서 뜬바닥 구조가 크게 나타났으며, 그 이상 주파수에서는 작게 나타났다.

$$|H(f)| = \sqrt{\frac{G_{yy}(f)}{G_{xx}(f)}} \tag{3}$$

4. 충격력 특성

Figs. 6~8에 각각 임팩트 햄머, 뱅머신, 그리고 고무공에 대한 충격력 시간 파형, FFT 충격력 스펙트럼, 그리고 1/3 옥타브 밴드 충격력 스펙트럼을 나타내었다.

뱅머신과 고무공의 충격력 측정은 현장에서 바닥 충격음 측정시 바닥을 가진하는 조건과 동일하도록 하기 위해 뱅머신은 장치를 작동시킨 상태로 측정하였으며, 고무공은 1 m 높이에서 낙하시킨 충격력을

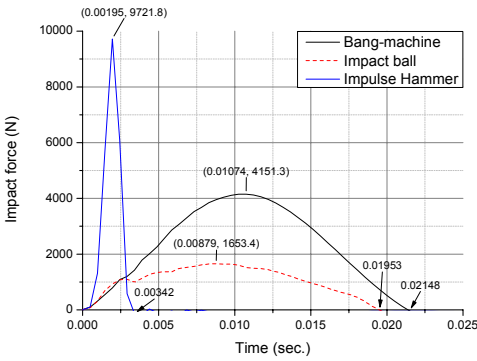


Fig. 6 Impact force time waves

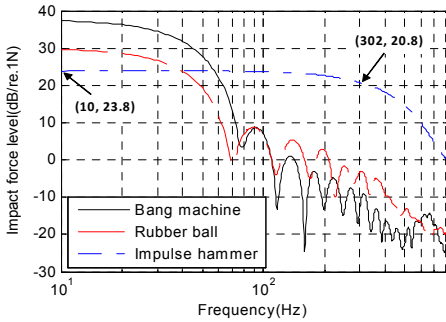


Fig. 7 Impact force(input signal) frequency spectrums (FFT, 0~800 Hz, Δf=1 Hz)

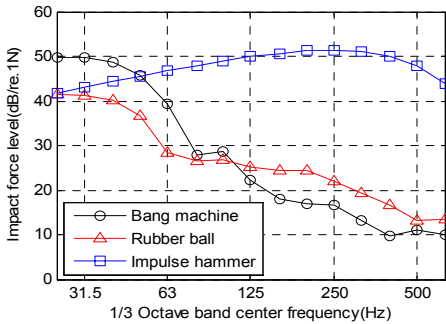


Fig. 8 1/3 octave bands impact force frequency spectrums(1/3 octave band pass filter, fast time constant, maximum peak hold averaging)

측정하였다. FFT분석은 5회 이상의 충격신호에 대해 트리거를 사용하여 유효한 신호에 대해서만 주파수 분석하여 선형평균하였으며, 1/3 옥타브 밴드 분석은 중량충격음 측정조건과 동일하게 각 중심주파수에서의 최대값을 측정하였다.

Fig. 6에서 임팩트 햄머의 충격력 지연시간은 약

0.0034초로 뱅머신과 고무공의 충격력 지연시간 약 0.02초보다 매우 짧은 특성을 갖고 있다. Fig. 7과 8에서처럼 임팩트 햄머는 표준 중량충격원 보다 저주파에서는 충격력 크기가 작지만 높은 주파수 대역에 걸쳐 일정한 충격력 크기를 갖기 때문에 바닥을 보다 높은 주파수 대역까지 가진시킬 수 있고 그에 대한 응답을 예측할 수 있다.

임펄스 특성을 갖는 충격 신호를 통해 예측한 주파수 응답함수의 유효 주파수 범위는 일반적으로 입력신호의 에너지 스펙트럼 레벨이 2배 감소(-3 dB)되는 주파수까지이며, 예측한 주파수 응답함수의 유효 주파수는 Fig. 7에서 나타난 것처럼 0~300 Hz 이다.

5. 주파수 응답함수를 이용한 가속도 및 음압 예측

주파수 응답함수의 가장 중요한 특성 중 하나는 예측된 주파수 응답함수를 이용하여 임의 입력신호에 대한 응답을 쉽게 계산할 수 있다는 것이다. 주파수 응답함수의 정의를 나타내는 식 (4)를 통해 뱅머신과 고무공의 충격력 스펙트럼 $G_{xx}(f)$ 과 주파수 응답함수의 제곱 $|H(f)|^2$ 을 곱하면 거실에서의 음압 또는 가속도 응답 $G_{yy}(f)$ 를 쉽고 빠르게 계산할 수 있다.

$$G_{yy}(f) = |H(f)|^2 G_{xx}(f) \tag{4}$$

뱅머신과 고무공에 대한 가속도 및 음압 측정 결과와 식 (4)를 이용하여 예측한 결과를 맨바닥 콘크리트슬래브와 뜬바닥 구조 조건에서의 비교하였다.

5.1 맨바닥 콘크리트 슬래브

(1) 고무공 충격원

고무공 충격원으로 거실의 중앙점(P1)을 가진한 경우에 대한 거실 코너(P2)에서의 음압과 거실 중앙(P1)에서의 가속도의 실험 및 예측 결과를 비교하여 각각 Fig. 9와 10에 나타내었다.

500 Hz 이하에서는 실험결과와 예측결과가 유사하게 나타나고 있으며, 그 이상 주파수에서는 예측값이 실험값보다 크게 나타났다. 500 Hz 이상에서 예측 값에 대한 오차 발생은 주파수 응답함수 측정에 사용된 임팩트 햄머의 충격력 특성 때문인 것으로 판단된다. 이 연구에 사용된 임팩트 햄머는 헤드의

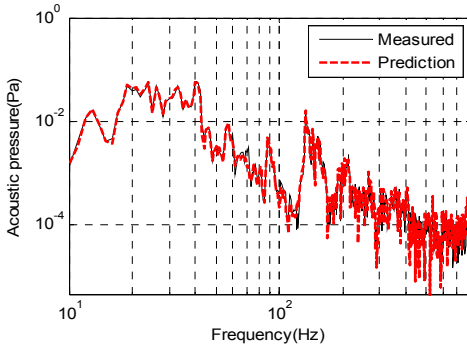


Fig. 9 Acoustic pressure response(P2) for rubber ball strikes(P1) on bare concrete slab

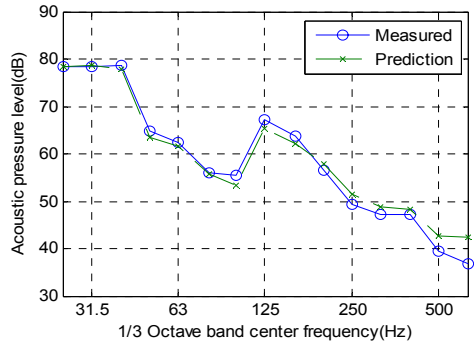


Fig. 11 Acoustic pressure response(P2) for rubber ball strikes(P1) on bare concrete slab

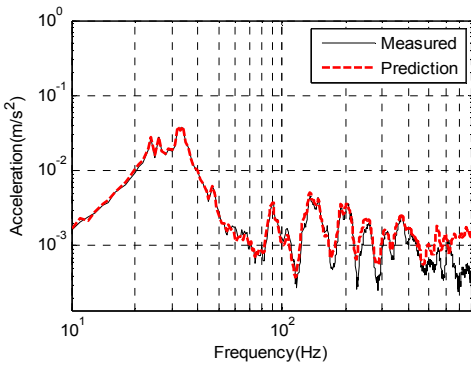


Fig. 10 Acceleration response(P1) for the rubber ball strikes(P1) on bare concrete slab

질량이 약 5.5 kg으로 무겁기 때문에 상대적으로 큰 충격력을 가할 수 있지만 그로 인해 유효 가진 주파수는 300 Hz로 비교적 낮다. 이러한 충격력 특성으로 인해 가진 주파수 이상에서는 충격력 크기가 급격히 낮아져 상대적으로 주파수 응답함수의 크기가 증가되며 이로 인해 500 Hz 이상에서의 예측결과가 실험결과보다 크게 나타나는 것으로 생각된다 (Figs. 3, 7 참조).

Fig. 11은 실의 중앙점(P1) 가진에 대한 실 코너 (P2)에서의 1/3 옥타브 밴드 바닥충격음 레벨을 나타낸 그래프이다. 1/3 옥타브 밴드에서도 실험결과와 예측결과가 비교적 유사한 값을 나타내고 있으나 500 Hz 주변에서의 예측결과가 실험결과보다 크게 나타나는 것은 Figs. 9, 10의 결과와 동일하다.

(2) 뱁머신 충격원

동일한 측정지점에서 뱁머신 바닥 가진에 대한

음압과 가속도의 예측 및 측정결과를 비교하여 Figs. 12~14에 나타내었다.

고무공으로 바닥을 가진한 경우에 비해 뱁머신은 측정 결과와 예측 결과의 편차가 크게 발생되었다. 특히 Fig. 13에서 67 Hz와 107 Hz에서 측정값이 예측값 보다 크게 나타나고 있으며, 가진 위치와 수음 점을 달리 하여도 동일한 현상이 나타났다. Fig. 14의 1/3 옥타브 밴드 바닥충격음에서도 실험결과가 예측결과보다 크게 발생되었다.

측정 결과와 예측 결과의 오차가 발생하는 원인은 바닥충격음 측정과 뱁머신의 충격력 측정에 동일한 뱁머신을 사용하지 않았기 때문이며, 또한 바닥충격음 측정에 사용된 뱁머신의 공기압 체크 과정에서 오류가 있었던 것으로 판단된다. 60 Hz 이상에서 측정 결과가 예측 결과 보다 크게 나타나는 것으로 보아 현장 측정시 뱁머신 타이어의 공기압이 교정값 보다 높을 가능성이 높다(예측에 사용된 뱁머신 충격력 레벨은 KS F 2810-2의 표준 중량충격원의 시방 기준을 만족하였다.). 이 연구진이 실험적 오류를 범했지만 뱁머신은 타이어 공기압뿐만 아니라 엔진, 타격 높이, 타이어를 잡아주는 팔의 수평도 등 뱁머신의 충격력 특성을 변화시킬 수 있는 요소가 많다. 현장에서 바닥충격음 측정시 실험적 오류를 피하기 위해서는 사용되는 뱁머신에 대해서는 면밀한 검토가 필요하다.

고무공은 뱁머신에 비해 충격력 특성이 항상 일정하다. 고무공을 사용한 경우 실험 및 예측결과가 비교적 유사한 결과를 나타내어 맨바닥 콘크리트 슬래브 바닥 조건은 주파수 영역에서 충격력과 그에 대한 응답이 선형 조건을 만족하는 것으로 판단할 수 있다.

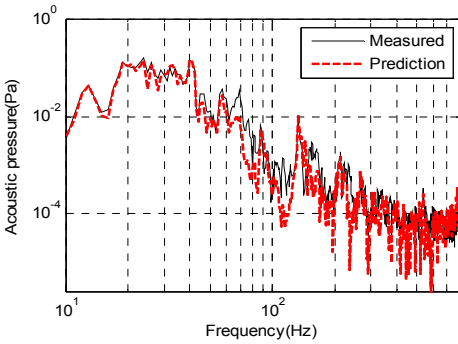


Fig. 12 Acoustic pressure response(P2) for bang-machine strikes(P1) on bare concrete slab

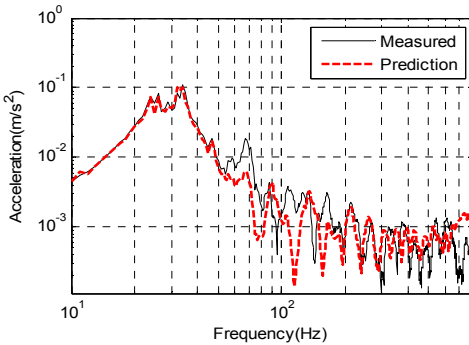


Fig. 13 Acceleration response(P1) for bang-machine strikes(P1) on bare concrete slab

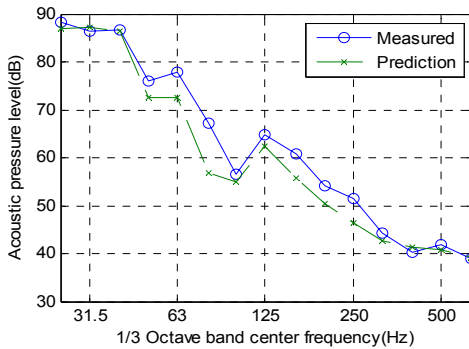


Fig. 14 Acoustic pressure response(P2) for bang-machine strikes(P1) on bare concrete slab

5.2 뜬바닥 구조

완충재를 사용한 뜬바닥 구조 조건에 대해 고무 공으로 거실 중앙을 가진 경우에 대한 음압 및 가속도 응답의 실험 및 예측 결과를 Figs. 15~17에 비교하여 나타내었다. 뱅머신에 대해서는 바닥충격음

을 측정하지 않았다.

Fig. 15와 16은 각각 FFT 주파수 분석조건에서 가속도와 음압의 실험 및 예측결과를 비교한 그래프이다. 두 그래프 모두 200 Hz 이하에서는 예측 및 실험 결과가 유사하게 나타났지만 그 이상 주파수에서 예측 결과가 실험 결과 보다 낮았다. 가속도 보다는 음압의 예측 오차가 크게 나타났다.

Fig. 17은 1/3 옥타브 밴드에 대한 실험 및 예측 결과를 비교한 그림이며, 40 Hz 이하에서는 예측 및 실험 결과가 유사하지만 63 Hz 이상 주파수에서는 주파수가 증가할수록 오차가 크게 나타났다.

뜬바닥 구조에서 예측 및 실험 결과의 오차가 발생하는 이유는 마감모르타르의 진동이 완충재로 흡수되는 역학적 현상 때문인 것으로 판단된다. 즉 마감몰탈의 진동에너지가 완충재의 변형에너지를 통해 소산되면서 시스템의 입력과 출력에 대한 주파수 선형 특성을 잃어버리게 되는 것이다. 이 경우 완충재의 물성에 따라 입출력 신호의 주파수 선형특성을 만족하는 주파수 구간이 다르게 나타날 수 있다.

FFT 및 1/3 옥타브 분석 결과 모두 가속도에 비해 음압의 예측 오차가 크게 발생되었다. 힘, 진동, 그리고 음압의 전달 경로에 있어 힘-가속도는 1차 연결이라면 바닥충격음은 구조물의 진동에 의해 발생되기 때문에 힘-진동-음압의 2차 연결 관계를 갖고 있다. 따라서 수음실에서 측정되는 음압은 가속도 측정 지점 이외의 다른 바닥 면에서 많은 에너지 소산이 발생될 수 있으며, 이로 인해 음압의 주파수 선형 특성이 가속도보다 낮은 주파수에서만 만족되는 것으로 판단된다.

그리고 고무공에 비해 주파수 응답함수 측정에 사용된 임펄스 햄머는 고무공대역의 충격력 크기가 상대적으로 크다(Figs. 7, 8). 뜬바닥 구조에서 완충재의 에너지 소산 능력 차이는 충격력 크기에 따라 다르게 발생될 수 있으며, 그 결과는 각 주파수에서의 주파수 응답함수 크기 차이로 나타날 수 있다.

5.3 평균 바닥충격음 레벨의 비교

주파수 응답함수를 이용한 바닥충격음 예측은 각 가진점 및 각 수음점에 대해 계산된다. 바닥조건에 따라 5개 가진점과 2개 수음점(P1, P2)에 대한 평균 바닥충격음 레벨(L_{i,Fmax})의 측정결과와 예측결과를 비교하여 Figs. 18~20에 나타내었다. 평균 바닥충격음

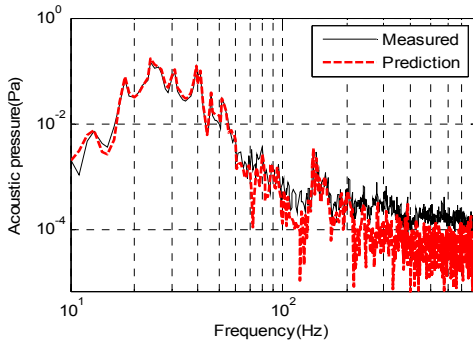


Fig. 15 Acoustic pressure response(P2) for rubber ball strikes(P1) on floating floor

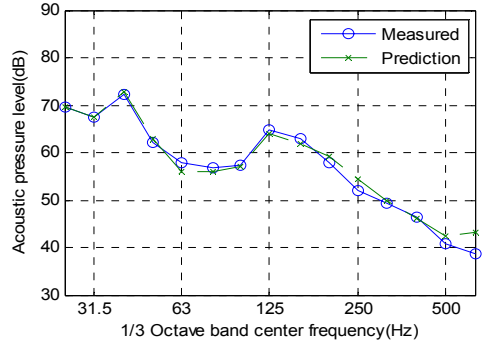


Fig. 18 Average floor impact noise level($L_{i,Fmax}$) of bare concrete(rubber ball)

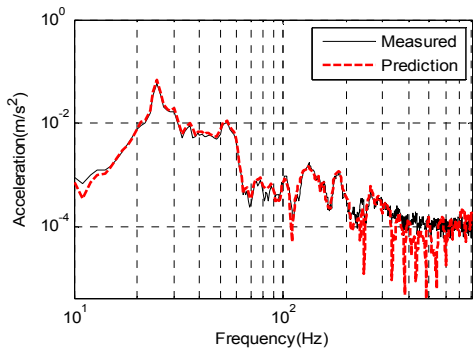


Fig. 16 Acceleration response(P1) for rubber ball strikes(P1) on floating floor

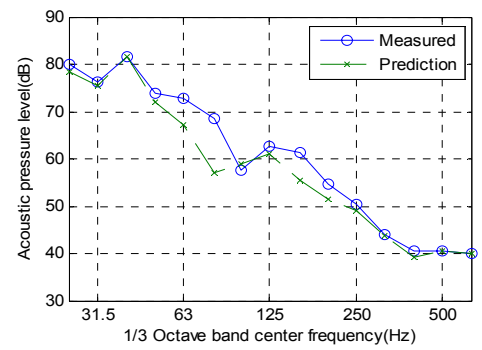


Fig. 19 Average floor impact noise level($L_{i,Fmax}$) of bare concrete(bang-machine)

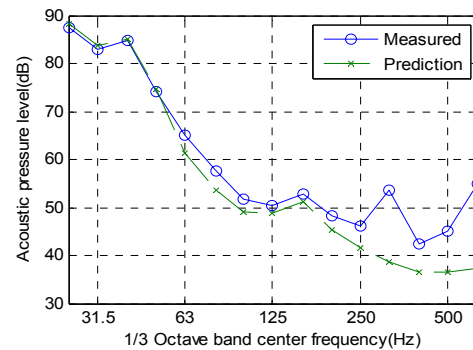


Fig. 17 Acoustic pressure response(P2) for rubber ball strikes(P1) on floating floor

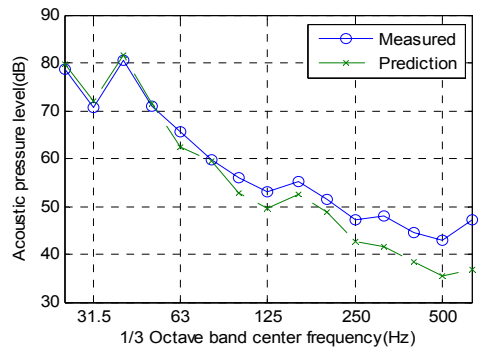


Fig. 20 Average floor impact noise level($L_{i,Fmax}$) of floating floor(rubber ball)

레벨은 KS F 2810-2를 따라 2개 수음점의 음압레벨을 에너지 평균하여 실내 평균 음압레벨($L_{Fmax,k}$)을 구하고 각 가진점마다의 실내 평균 음압레벨을 산술 평균하여 평균 바닥충격음 레벨을 계산하였다.

Fig. 18과 Fig. 19는 맨바닥 콘크리트 슬래브 조건

에서 고무공과 뱅머신 충격원에 대한 평균 바닥충격음 레벨을 나타낸 그래프이며, Fig. 20은 뜬바닥 구조에서 고무공 충격원에 대한 평균 바닥충격음 레벨을 나타낸 그래프이다.

Fig. 18의 맨바닥 콘크리트 슬래브에서 고무공에

대한 평균 바닥충격음 레벨의 실험 및 예측 결과는 각 주파수 별로 유사한 값을 나타내었다. 바닥 충격음 차단성능 단일 수치 평가량은 실험 결과 50 dB, 예측 결과 51 dB이다.

Fig. 19의 맨바닥 콘크리트 슬래브에서 뱅머신에 대한 평균 바닥충격음 레벨은 실험방법 오류로 인해 실험결과와 예측결과가 주파수 별로 최대 10 dB 오차를 나타내었으며, 바닥충격음 차단성능 단일 수치 평가량은 실험 결과 50 dB, 예측 결과 48 dB를 나타내었다.

Fig. 20의 뜬바닥 구조에서 고무공에 대한 평균 바닥충격음 레벨의 실험 및 예측결과는 50 Hz 이하에서 예측결과와 실험결과는 유사하게 나타났지만 그 이상 주파수에서는 예측결과가 실험 결과보다 낮게 나타나고 있다. 바닥충격음 단일 수치 평가량은 실험 결과 47 dB, 예측 결과 44 dB이다.

6. 결 론

표준 중량충격원의 충격력 스펙트럼과 공동주택 거실의 주파수 응답함수를 이용하여 바닥 가속도와 바닥 충격음을 예측하고 실험결과와 비교하였다.

맨바닥 콘크리트 슬래브 조건에서 고무공 충격원에 대한 가속도 및 음압의 예측 결과와 실험 결과는 FFT 및 1/3 옥타브 주파수 분석 조건에서 모두 유사하게 나타났으며, 충격력과 응답의 관계가 전 주파수 대역에서 선형 특성을 보였다.

뜬바닥 구조에서는 충격력과 응답이 선형특성을 만족하는 주파수 구간이 약 100 Hz 이하로 낮으며 이로 인해 예측결과의 오차는 고주파 대역으로 갈수록 크게 발생되었다. 이 경우 실험결과 보다 예측결과가 낮았다.

주파수 응답함수를 이용한 응답 예측은 FFT 주파수 분석 조건뿐만 아니라 1/3 옥타브 밴드패스 필터 분석 조건에서도 가능한 것으로 확인되었다.

음향 시스템의 충격력과 그에 대한 응답이 주파수 영역에서 선형일 경우, 주파수 응답함수 측정만으로 다양한 충격원에 대한 시스템의 응답을 예측할 수 있다. 이를 응용하면 다양한 음향조건에서의 음향 성능을 다양한 충격원에 대해 동일한 조건을 적용하여 평가가 가능하다.

주파수 응답함수를 이용한 시스템의 응답 예측에

대한 신뢰성은 주파수 응답함수와 시스템의 입력함수로 사용되는 충격력 스펙트럼의 품질에 의해 좌우된다. 이때 사용되는 충격력 스펙트럼은 시스템의 동적응답을 일으키는 충격력 신호만을 필터링하여 계측되어야 한다.

주파수 응답함수는 기존 바닥충격음 분석에 사용된 1/3 옥타브 또는 1/1 옥타브 음압 측정 결과에 비해 음향 시스템의 다양한 동특성을 확인할 수 있다. 바닥의 고유진동수, 바닥 완충재의 동특성 분석, 음향 모드, 충격력과 응답의 관계 등이 그것이며 바닥충격음 저감을 위한 기술 개발과 음환경 평가를 위한 정밀 분석 도구로 활용가능하다.

References

- (1) Park, H.-K., Kim, K.-M. and Kim, S.-W., 2013, Verification of Effectiveness of the Standard Floor Impact Source by Comparing with Living Impact Sources, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 12, pp. 1117~1126.
- (2) Chung, J. Y., Lee, S. W., Im, J. B. and Jeong, G. C., 2008, Research about Correlation of Slab Vibration Mode and Heavy-weight Floor Impact Sound, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 839~843.
- (3) Kim, S.-H., Kim, J.-H. and Lee, H.-K., 1992, Prediction of the Exciting Force of Machine and the Vibration Response of Floor Using Transfer Function Method, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 2, No. 4, pp. 273~280.
- (4) Jeong, M.-K., Lee, S.-S., Kim, Y.-K., Ahn, S.-K. and Lee, S.-Y., 2009, Estimation of Dynamic Load of the Utility in Building by TPA Method, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 8, pp. 773~780.
- (5) Mun, D.-H., Park, H.-G., Hwang, J.-S. and Hong, G.-H., 2014, An Analysis of Characteristics of Floor Dynamic Properties and Bang-machine Impact Force on Floating Floor Using System Analysis, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 5, pp. 390~398.
- (6) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John

Wiley & Sons, Inc., New York.

(7) Bendat, J. S. and Piersol, A. G., 2000, Random Data : Analysis and Measurement Procedures, John Wiley & Sons, Inc.



Dae Ho Mun received M.S. from Department of Architecture, Seoul National University in 2009. He is a Ph.D. Candidate at Building Structure System Laboratory in Seoul National University.



Jae Seung Hwang received B.S., M.S. and Ph.D. from Department of Architecture, Seoul National University, Seoul, Korea. He is a professor in School of Architecture at Chonnam National University.



Hong Gun Park received Ph.D. from Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin in 1994 and B.S. and M.S. from Seoul National University. He is a professor in Department of Architecture at Seoul National

University.