

시스템 해석을 이용한 뜬바닥구조에서의 바닥구조 동특성과 뱅머신의 충격력 특성 분석

An Analysis of Characteristics of Floor Dynamic Properties and Bang-machine Impact Force on Floating Floor Using System Analysis

문 대 호* · 박 홍 근† · 황 재 승** · 홍 건 호***

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

(Received March 10, 2014 ; Revised April 3, 2014 ; Accepted April 3, 2014)

Key Words : Frequency Response Function(주파수 응답함수), System Analysis(시스템 해석), Iverse System Analysis(시스템 역해석), Dynamic Characteristic(동특성), Floating Floor(뜬바닥구조), Stnandard Floating Floor(표준바닥구조), Heavy-weight Floor Impact Noise(중량충격음)

ABSTRACT

Heavy-weight floor impact noise is directly related to the impact source and floor vibration property. Dynamic properties of the standard floating floor that is used in Korea was investigated using accelerance, acceleration energy spectral density(ESD), and structural modal test. In the standard floating floor, natural frequency was decreased by the finishing mortar mass and the damping ratio was increased. Bang-machine force spectrum acting on the concrete slab can be calculated using inverse system analysis. Impact force acting on concrete slab is changed by interaction of finishing mortar and resilient material. The amplitude of the bang-machine force spectrum was amplified in low frequency range(below 100 Hz), and over 100 Hz was decreased. Changed force spectrum influence to the response of structure vibration, so the heavy-weight floor impact noise level was changed.

1. 서 론

공동주택의 표준바닥구조 또는 인정바닥구조에 사용되는 뜬바닥구조 시스템은 콘크리트슬래브와 마감몰탈(온돌)사이에서 완충재를 시공하고 완충재의 충격완충효과를 이용하여 바닥충격음을 저감시키는 바닥구조시스템이다.

기존 연구에 따르면 뜬바닥구조를 사용한 바닥구조시스템은 동탄성계수가 낮은 완충재를 사용할수록 경량충격음은 크게 저감된다⁽¹⁾. 경량충격음의 충격원으로 사용되는 태핑머신은 충격력의 크기가 350 N, 충격력 지연시간이 4 ms인 임펄스 충격력 특성을 갖고 있으며, 이는 슬래브를 높은 주파수대역까지 가진시킬 수 있지만 가진되는 마감 몰탈의 진동에너지가 완충재에 의해 대부분 흡수되어 콘크리트 슬래

† Corresponding Author ; Member, Department of Architecture, Seoul National University
E-mail : parkhg@snu.ac.kr
Tel : +82-2-880-7055, Fax : +82-2-882-7053

* Department of Architecture, Seoul National University

** School of Architecture, Chonnam National University

*** Department of Architecture Engineering, Hoseo University

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

브까지 진동이 전달되지 않기 때문이다.

저주파 바닥 충격 소음인 중량충격음은 바닥 충격원으로 사용되는 뱅머신의 충격력 크기가 약 4000 N이고 충격력 지연시간이 20 ms로 길기 때문에 대부분의 충격력 에너지가 저주파에 집중되며, 이 충격력은 바닥 마감층을 투과하여 콘크리트 구조체까지 전해지기 때문에 진동 에너지가 흡수되지 않아 중량충격음 레벨 또한 저감되지 않는다.

정진연⁽²⁾에 의하면 슬래브의 중량충격음 저감 성능은 슬래브의 진동특성 변화와 수음실의 음향모드의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 뜬바닥구조 사용 후 바닥구조의 진동특성 변화로 저주파의 특정 주파수에서는 소음/진동이 오히려 증폭되는 경우도 발생하였다. 김일호와 이규동에 의하면⁽³⁾ 현장측정 결과 실험대상 공동주택 거실에서 중량충격음이 표준바닥구조 시공으로 인해 63 Hz와 125 Hz 옥타브중심주파수에서의 소음이 맨바닥콘크리트슬래브(bare concrete slab)보다 증폭되어 단일 수치 평가량이 3~4 dB 증가 되어 나타났다.

이러한 연구결과는 뜬바닥구조 사용으로 인한 바닥구조의 동특성변화가 중량충격음 발생에 큰 영향을 미치고 있음을 나타내며, 표준바닥구조 및 인접바닥구조의 이러한 동특성 변화를 정밀하게 분석될 필요가 있음을 의미한다.

표준바닥구조에서는 콘크리트슬래브 상부의 마감물탈과 완충재는 바닥구조 시스템의 동특성과 콘크리트슬래브를 가진하는 뱅머신의 충격력 스펙트럼을 변화시킨다. 실험적으로 동특성 변화는 가속도 응답 등을 계측하여 고유진동수 및 감쇠 등의 변화를 파악할 수 있으나 콘크리트슬래브를 가진하는 충격력 변화를 직접적으로 계측하는 것은 불가능하다.

선형 진동 시스템에서는 입력과 출력의 관계 및 시스템의 동특성을 전달함수(TF, transfer function) 또는 주파수 응답함수(FRF, frequency response function) 등을 이용하여 간단하게 정의할 수 있다. 그리고 이러한 입력과 출력의 관계를 이용하면 다양한 입력에 대한 출력을 예측하거나 출력으로부터 입력을 예측할 수 있다. 특히, 시스템의 출력으로부터 입력을 예측하는 기법을 시스템 역해석(inverse system analysis)이라 표현할 수 있으며, 관련된 연구로 이성수⁽⁶⁾의 연구는 TPA(transfer path analysis)기법

을 이용하여 진동 시스템의 응답으로부터 연속하중뿐만 아니라 충격 하중을 비교적 정확하게 예측할 수 있었다.

이 연구에서는 중량충격음을 발생시키는 주요인자인 충격원-구조시스템-바닥구조시스템의 상관관계를 분석을 위하여 공동주택 시공현장에서 측정된 맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조의 진동특성(슬래브 고유진동수, 가속도응답)변화와 중량충격음 발생 특성을 분석하였다. 그리고 시스템 역해석법을 이용하여 표준바닥구조의 가속도 주파수응답함수와 뱅머신 가진에 대한 콘크리트슬래브의 가속도응답을 통해 콘크리트슬래브를 가진하는 뱅머신의 충격력을 추정하였다.

2. 실험 방법

현장 실험을 위하여 시공 중인 공동주택의 1개 세대 거실에서 맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조의 가속도 주파수응답함수, 모달테스트, 뱅머신에 대한 가속도 응답, 그리고 중량충격음을 측정하였다.

실험대상 공동주택의 구조시스템은 벽식 구조이며, 거실은 베란다 확장형 세대이다. 표준바닥구조는 콘크리트슬래브 210 mm + 완충재 20 mm + 경량기포 콘크리트 50 mm + 마감물탈 40 mm로 구성되어 있다. 사용된 완충재는 EPS재질이며, 두께 20 mm, 동탄성 계수는 18.5 MN/m³, 그리고 손실계수는 0.2인 제품을 사용하였다. 표준바닥구조 단면을 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 2에 측정 세대의 구조평면도와 중량충격음 측정위치와 모달테스트를 위한 그리드(25 points)를 나타내었다. 바닥충격음 실험의 수음점과 뱅머신

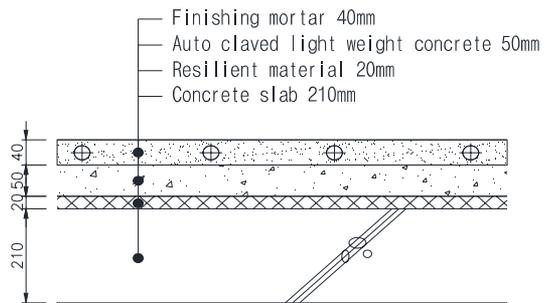


Fig. 1 Cross-section of standard floating floor

가진 위치는 P1~P5이며, 가속도계는 가속도 응답이 가장 크게 발생하는 P1에 설치하였다. 모달 테스트는 가속도계를 그리드 포인트의 가장 중앙점 C1에 설치하고 임팩트 해머로 25개 지점을 가진하여 측정하였다. 뱅머신의 충격력 변화를 측정하기 위한 가속도계 설치위치와 가진위치는 진동응답이 가장 크게 발생하는 거실 중앙점 P1이다.

표준바닥구조의 가속도 주파수 응답함수는 마감물탈 상부와 콘크리트슬래브 하부에 가속도계(NP-313, ONO SOKKI)를 설치하고, 임펄스 해머(Dytran 5802A)로 마감물탈 상부와 콘크리트슬래브 하부를 가진 하여 측정하였다. 임펄스 해머의 가진 충격력에 대한 -3 dB 한계 주파수(half power cutt-off frequency)는 약 300 Hz이다. 주파수 분석에 사용된 신호는 트리거를 사용하여 유효한 신호만을 획득하여 주파수 분석하였으며, 총 9개의 분석 신호에 대한 선형 평균한 값을 최종 측정 결과로 사용하였다.

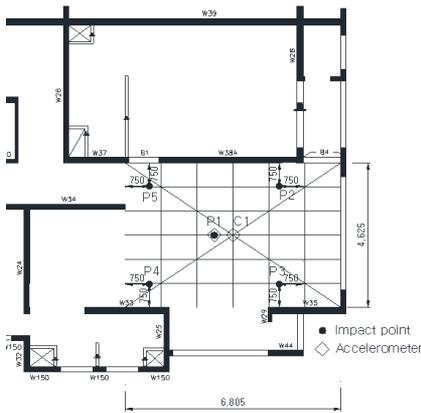


Fig. 2 Structure plan of residential unit for measurement

Table 1 Analyzers and FFT frequency analysis setting

	Bare concrete slab	Standard floating floor
Analyzer	PULSE 3560B (B&K)	OR34 (OROS)
Sampling number	1600	1600
Span	800 Hz	1000 Hz
df	1 Hz	0.625 Hz
Averaging type	Linear	Linear
Averages	9	9

뱅머신 가진에 대한 가속도진동응답 및 가속도 주파수응답함수 측정에 사용된 주파수 분석장비와 FFT 주파수 분석조건을 Table 1에 나타내었다.

중량충격음은 뱅머신 가진에 대해 KS F 2810-2, 2863-2를 따라 1/3 옥타브 주파수분석(1/3 Octave band pass filter frequency analysis)하였다.

3. 역해석에 의한 뱅머신 충격력 추정

공동주택 바닥구조의 콘크리트슬래브는 사용하중 조건에서 탄성 처짐을 갖으며, 응력-변형률 곡선상에서 탄성영역에 존재한다. 수직 충격력에 대한 바닥구조의 진동응답도 충격력이 매우 크기 았다면 탄성영역에서 발생되며, 이 때 충격력과 진동응답과의 관계는 주파수영역에서 선형이다.

진동시스템이 선형일 경우에는 입력신호 A(f)와 출력신호 B(f)의 관계는 Fig. 3과 같이 주파수 응답함수 H(f)를 통해 정의되며, 주파수 응답함수를 이용하여 입력신호로부터 출력신호 예측이 가능하다.

이러한 선형관계를 이용하면 진동시스템에서 주파수 응답함수와 출력 신호를 이용하여 입력신호를 예측할 수 있으며, 이를 시스템 역해석(inverse system analysis)이라 한다.

뱅머신의 충격력이 맨바닥콘크리트슬래브를 가진 할 때 콘크리트슬래브는 일체형 구조체이기 때문에 모든 충격력이 콘크리트슬래브로 직접 전달된다. 하지만 표준바닥구조에서는 완충재로 인해 마감물탈과 콘크리트슬래브가 구조적으로 분리되어 있으며, 완충재로 인해 바닥구조 상부에서 마감 물탈을 가진 하는 충격력은 콘크리트슬래브로 전달되면서 충격력 특성이 변하게 된다.

이러한 충격력 특성변화를 조사하기 위하여 시스템 역해석을 이용하여 콘크리트슬래브를 가진 하는 충격력을 구조물의 응답으로부터 계산하였다.

역해석을 이용한 뱅머신의 충격력 계산과정을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 실선은 입력과 출력신호(임펄스 해머 신호와 그에 대한 가속도 응답신호)

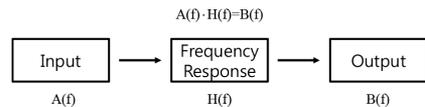


Fig. 3 Definition of frequency response function H(f)

를 이용하여 슬래브의 가속도 주파수 응답함수를 계산하는 과정이며, 점선은 궁극적으로 알고자 하는 뱅머신의 충격력스펙트럼을 가속도 주파수 응답함수와 뱅머신 가진에 대한 슬래브 가속도응답을 통해 역으로 계산하는 과정을 나타낸다.

여기서, $a(t)$ 와 $b(t)$ 는 임펄스 해머로 슬래브를 가진할 때 발생하는 시간이력 충격력과 그에 대한 가속도응답을 의미하며, $A(f)$ 와 $B(f)$ 는 각각 $a(t)$ 와 $b(t)$ 를 FFT 분석한 충격력스펙트럼과 가속도스펙트럼을 의미한다. $G_{AA}(f)$ 와 $G_{BB}(f)$ 는 임펄스 해머 충격력과 그에 대한 가속도응답의 자기스펙트럼을 의미하며, $G_{AB}(f)$ 는 상호스펙트럼을 의미한다.

식(1)은 이 연구에서 측정된 주파수 응답함수를 계산하는 식이며, 입력과 출력에 대한 상호스펙트럼을 이용하여 노이즈 영향이 적은 최적의 가속도 주파수 응답함수를 계산할 수 있다.

$$H_1 = \frac{G_{AB}}{G_{AA}} \tag{1}$$

여기서, $G_{AB}(f)$ 는 임펄스 해머 충격력과 슬래브의 가속도 응답의 상호스펙트럼함수(cross-spectrum function), $G_{AA}(f)$ 는 임펄스 해머 충격력의 자기스펙트럼(auto-spectrum function)을 의미한다.

표준바닥구조는 완충재로 인해 바닥구조의 상부와 하부가 분리되어 바닥구조 상부와 하부의 가진 및 측정조건에 따라 주파수 응답함수의 특성이 변하게 된다. 따라서 바닥구조 상하부에 가속도계를 설치하고 상·하부 모두를 임펄스 해머로 가진하여 총 4개의

주파수 응답함수를 측정하였다.

식(2)는 뱅머신 충격력 스펙트럼함수 $A'(f)$ 를 계산하는 식이며, 역주파수응답함수 $|H_1|^{-1}$ (inverse frequency response function)과 뱅머신 가진에 대한 바닥 슬래브의 가속도 응답 $B'(f)$ 를 곱하여 계산할 수 있다. 충격력과 가속도의 자기스펙트럼 함수는 파워단위(unit²)를 사용하고 가속도 주파수응답 스펙트럼은 RMS단위(root mean square, unit)로 되어 있기 때문에 역해석 과정의 계산식에 사용되는 스펙트럼 단위는 자기스펙트럼의 RMS값을 갖는다.

$$A'(f) = |H_1|^{-1} B'(f) \tag{2}$$

4. 바닥구조 동특성 및 충격력 변화 특성

4.1 임팩트 해머 5개 가진위치별 가속도 주파수 응답함수

Fig. 5와 Fig. 6에 각각 맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조의 5개 가진 위치와(P1~P5) 중앙점(P1)에 대한 가속도 주파수 응답함수 크기를 비교하여 나타내었다. 임팩트 해머 가진위치는 모두 바닥 상부이다.

Fig. 5의 맨바닥콘크리트슬래브의 경우 5개의 가진위치 모두 1차모드 고유진동수인 26 Hz에서 가속도응답이 가장 크게 발생하고 있으며, 거실의 중앙점(P1)을 가진할 때 가속도응답이 전 주파수대역에 걸쳐 크게 나타나고 있다. 2, 3차모드 고유진동수는 40, 51 Hz이며, 3차 모드의 경우 1번과 4번 가진점에서만 명확한 진동모드응답을 보였다.

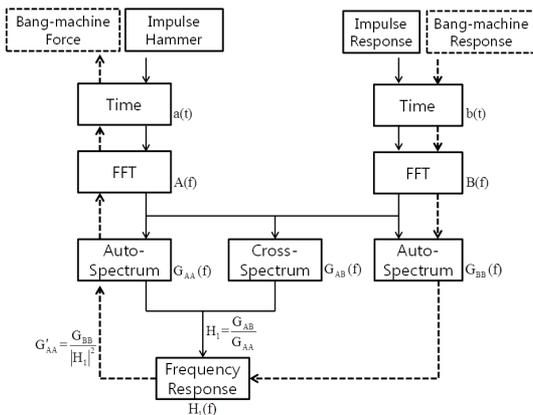


Fig. 4 Inverse system analysis procedure

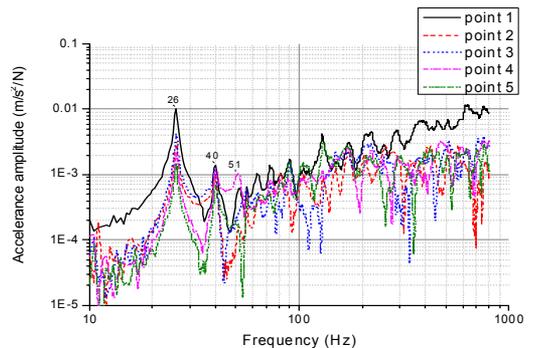


Fig. 5 Accelerance amplitude of bare concrete slab for five 5 impact points(P1~P5)

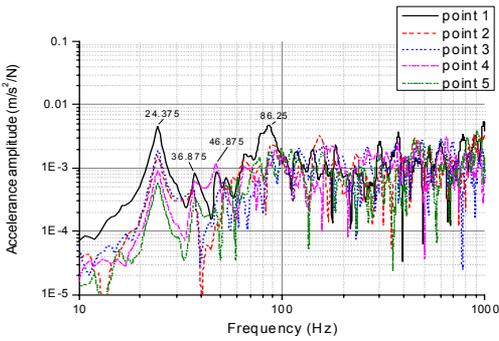


Fig. 6 Accelerance amplitude of floating floor concrete slab for five impact points(P1~P5)

Fig. 6의 표준바닥구조는 마감 몰탈의 질량으로 인해 1, 2, 3차 고유모드의 고유진동수가 낮아지고 진동응답 또한 감소하여 나타났다. 반면 50~100 Hz의 가속도 주파수 응답함수 크기가 맨바닥콘크리트 슬래브보다 크게 발생하였다. 특히 가속도계가 설치되어 있는 거실의 중앙을 가진할 경우 86.25 Hz에서 진동응답이 현저하게 증폭되었다.

슬래브 모달 테스트를 통해 측정한 맨바닥콘크리트 슬래브와 표준바닥구조 하부 콘크리트슬래브의 대표적인 진동모드 형상과 고유진동수 그리고 -3 dB band width 감쇠비를 Fig. 7에 나타내었다.

3차 모드까지는 두 바닥구조가 유사한 모드형상을 가지고 있으나 그 이상의 고차모드에 대해서는 86.25 Hz에서 증폭된 응답으로 인해 이 주파수 부근의 고유모드형상 구분이 불가능하였다. 거실 중앙점 P1을 가진한 경우의 1, 2, 3차 모드의 -3 dB band width 감쇠비는 각각 맨바닥콘크리트슬래브는 1.77%, 1.79%, 2.91%이며, 표준바닥구조는 3.38%, 3.78%, 3.08%이며, 표준바닥구조의 감쇠비가 맨바닥콘크리트슬래브 보다 큰 것으로 나타났다.

Fig. 8에 표준바닥구조의 진동응답 증폭이 발생하는 86.25 Hz에서의 마감 몰탈과 콘크리트슬래브 모드 형상을 1차 모드 고유진동수인 24.375 Hz의 모드형상과 비교하여 나타내었다. 86.25 Hz의 모드형상은 1차 모드 형상과 유사하지만 변형이 보다 중앙으로 집중되는 형태를 갖고 있다.

Fig. 6에서 거실의 중앙점(P1)을 가진할 때 이러한 응답 특성이 보다 뚜렷하게 나타나고 있다. 86.25 Hz의 밴드폭(band width)은 1, 2, 3차 모드의 밴드폭에 비해 매우 큰 것으로 보아 이 주파수에서의

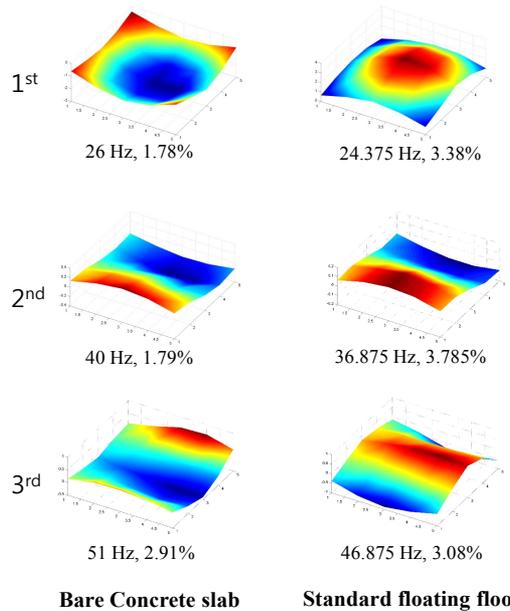


Fig. 7 Eigen-modes of bare concrete slab and stand-ard floating floor

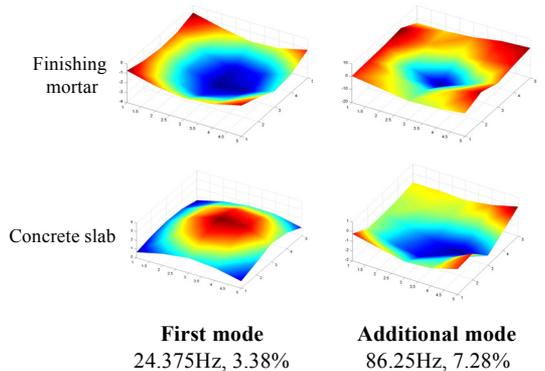


Fig. 8 Comparison of mortar and concrete slab mode shape at first and additional mode natural frequency for standard floating floor

진동응답은 감쇠가 매우 크고 일시적으로 발생하는 응답 특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 86.25 Hz의 -3 dB band width 감쇠비는 1차모드(24.375 Hz) 3.38%에서 7.28%로 2배가 증가되었다.

표준바닥구조에 시공된 완충체의 동탄성계수 18.5 MN/m³이며, KS F 2868 표준에 따라 단위면적당 약 200 kg/m²을 갖는 질량체를 올려놓고 측정할 경우 이 동탄성계수에 대응되는 고유진동수는 약 48 Hz이다.

실제 표준바닥구조에서 완충재 상부에 시공된 마감층의 단위면적당 질량은 약 105 kg/m^2 이며, 이 경우 시공된 완충재의 동탄성계수에 대응되는 고유진동수는 약 66.8 Hz 이다.

그러나 표준바닥구조 시공으로 인해 증폭된 공진 주파수는 이보다 높은 86.5 Hz 에서 발생되고 있으며, 이 주파수에서는 마감층의 질량뿐만 아니라 마감물탈이 갖고 있는 휨 강성에 의해 바닥구조의 공진주파수가 증가되어 나타나고 있다. 이러한 마감물탈의 휨강성 영향을 1자유도 시스템의 유효질량으로 치환해보면, 86.5 Hz 에 대응되는 마감물탈의 유효질량은 약 63 kg/m^2 로 마감물탈과 경량기포콘크리트 전체 질량의 약 60%만 운동에 참여하는 것으로 나타났다.

4.2 표준바닥구조의 콘크리트슬래브의 가속도 주파수 응답함수

완충재를 사용한 표준바닥구조는 완충재로 인해 마감물탈과 콘크리트슬래브가 분리되는 바닥구조를 갖고 있다. 이러한 표준바닥구조에서 바닥충격을 발생시키는 소음원은 바닥구조 하부의 콘크리트 슬래브이며, 표준바닥구조에서 완충재와 마감물탈이 바닥충격에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 완충재와 마감물탈의 영향이 배제된 콘크리트슬래브의 진동응답 특성을 파악해야 한다.

표준바닥구조의 콘크리트슬래브의 진동응답 특성을 파악하기 위해 임펄스 해머를 이용하여 표준바닥구조 하부 콘크리트를 직접 가진 하여 콘크리트슬래브의 가속도 주파수 응답함수를 계측하였다.

Fig. 9에 맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조의

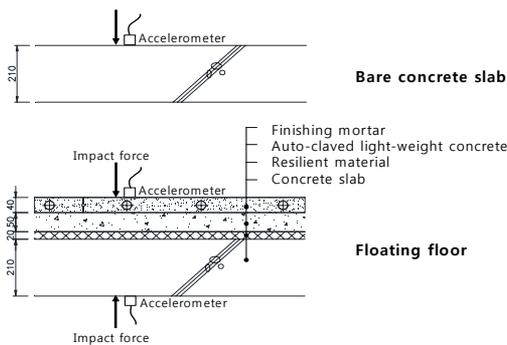


Fig. 9 Impact point and accelerometer location of bare concrete slab and floating floor

임팩트 해머 가진 방향과 가속도계 설치위치를 나타내었으며, 가진 위치와 가속도계 설치 위치는 진동응답이 가장 크게 발생되었던 거실 중앙점(P1)이다.

Fig. 10은 표준바닥구조의 하부 콘크리트슬래브의 가속도 주파수 응답함수를 나타낸 그래프이며, 가진 위치를 바닥구조 상·하부로 달리하여 측정하였다. 1차 모드에서의 가속도 주파수 응답함수의 크기는 바닥구조 상·하부 가진 위치에 관계없이 동일한 응답 크기를 나타내고 있지만 100 Hz 이하에서는 마감물탈 상부를 가진한 경우가 더 크게 나타났고 100 Hz 이상에서는 콘크리트슬래브를 가진한 경우가 더 크게 나타났다.

Fig. 11은 표준바닥구조의 마감물탈과 콘크리트

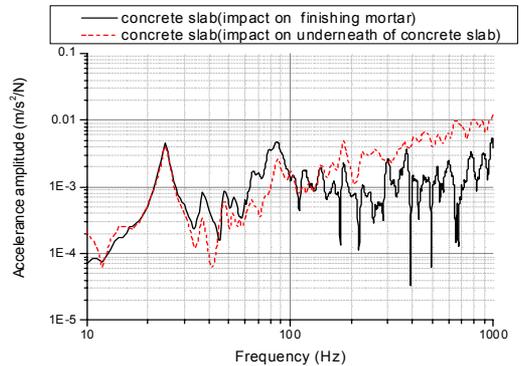


Fig. 10 Accelerance amplitude of floating floor concrete slab for impact force acting at floor top and bottom

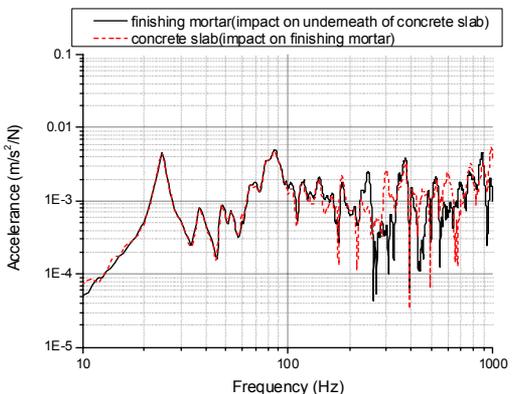


Fig. 11 Comparison of finishing mortar and concrete slab accelerance amplitude depending on impact point

슬래브 하부에 가속도계를 설치하고 가속도계 설치된 위치의 반대편을 가진하여 측정한 가속도 주파수 응답 스펙트럼을 나타낸 그래프이다. 실선은 바닥구조 하부 가진에 대한 상부 모르타르의 가속도 응답이며, 점선은 바닥구조 상부 모르타르 가진에 대한 하부 콘크리트슬래브의 가속도 응답을 나타낸다.

약 110 Hz 이하에서는 마감물탈과 콘크리트슬래브의 진동응답이 동일하게 나타나고 있다. 즉 가진 위치와 수신위치에 관계없이 동일한 주파수 응답함수 결과를 나타내기 때문에 이 경우 상호관계법칙(reciprocity theorem) 성립하여 이 영역(110 Hz 이하)에서는 충격력과 가속도 응답이 선형관계가 있음을 보여주고 있다.

바닥충격음을 발생시키는 음원은 표준바닥구조 가장 하부에 있는 콘크리트슬래브이며, 콘크리트슬래브의 진동 특성은 중량바닥충격음 특성 분석에 있어 매우 중요한 요소이다.

표준바닥구조의 콘크리트 가속도 주파수 응답함수 계측시 바닥구조 상부 마감물탈과 완충재에 의한 증폭현상이 약 50 Hz~100 Hz 사이에 나타나며, 또한 완충재로 인해 바닥구조 전체 시스템을 가진하는 유효 주파수 대역이 줄어들어 Fig. 10에서와 같이 100 Hz 이상에서의 응답이 매우 작게 나타난다.

따라서 표준바닥구조의 가속도 주파수 응답함수 측정은 측정하고자 하는 대상인 콘크리트슬래브를 높은 주파수 대역까지 가진할 수 있도록 콘크리트슬래브 하부를 임펄스 해머로 가진 하고 그 위치에서의 가속도를 계측해야 하며, 이러한 측정 방법은 완충재와 마감물탈에 의한 응답 증폭현상을 배제시키고 또한 표준바닥구조에서 질량 증가로 인한 바닥구조의 고유진동수 감소 현상과 감쇠가 증가되는 영향까지 고려할 수 있다.

4.3 뱅머신의 충격력 변화

거실 중앙점 바닥 가진에 대한 하부 콘크리트슬래브의 가속도 주파수 응답함수와 뱅머신 가진에 대한 가속도 에너지 스펙트럼 밀도 함수(ESD, energy spectrum density) 각각 Figs. 12, 13에 나타내었으며, 표준바닥구조와 맨바닥콘크리트슬래브 두 가지 바닥구조에 대해 비교하였다.

Fig. 12에서 가속도 주파수 응답함수의 크기는 47.5 Hz와 85.625 Hz에서 표준바닥구조에서의 가속

도 응답이 맨바닥콘크리트슬래브보다 크게 나타나고 있으며, 100 Hz 이상에서는 낮게 나타났다.

Fig. 13에서 뱅머신을 충격원으로 하였을 때 콘크리트슬래브의 가속도 응답은 47.5 Hz, 51.5 Hz, 그리고 66.625 Hz에서 표준바닥구조가 크게 발생하고 있으며, 100 Hz 이상의 주파수 영역은 감소되어 나타나고 있다.

가속도 주파수 응답함수에서는 완충재로 인한 가속도 응답 증폭이 85.625 Hz에서도 관찰되었으나 뱅머신 가진에 대해서는 65.625 Hz에서 발생되고 있다.

이러한 원인은 뱅머신의 충격력 스펙트럼이 80 Hz 부근에서 충격력 크기가 매우 작아지는 특성을 갖고 있기 때문이다.

역해석을 이용하여 계산된 맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조의 뱅머신의 충격력 스펙트럼을 비교

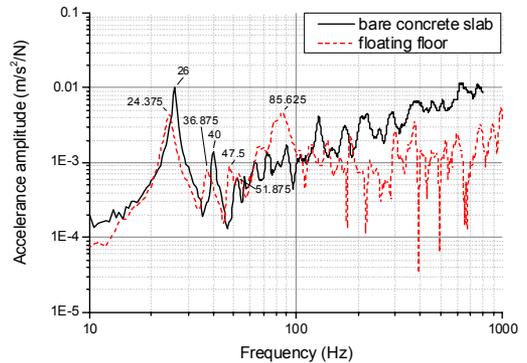


Fig. 12 Accelerance amplitudes of bare concrete slab and floating floor

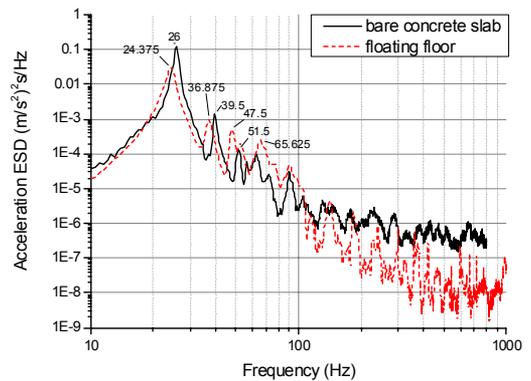


Fig. 13 Concrete slab acceleration amplitude for impacted by bang-machine

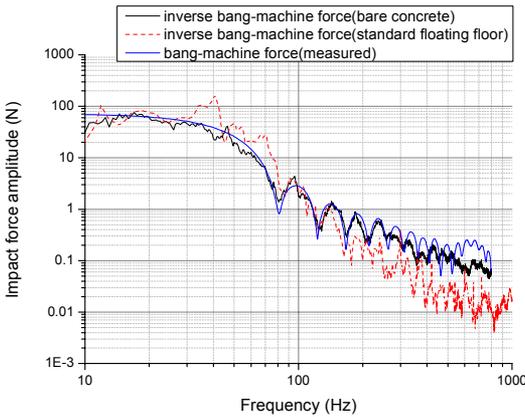


Fig. 14 Comparison of bang-machine impact force spectrums measured and predicted using inverse system analysis

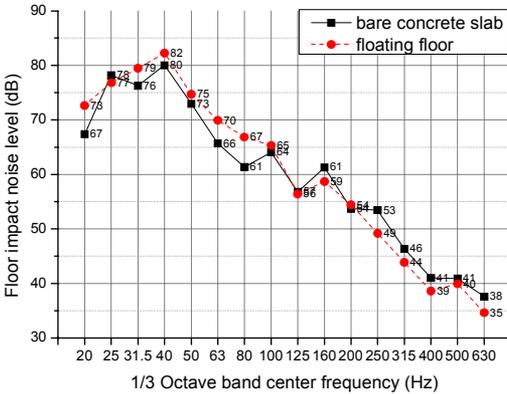


Fig. 15 Comparison of floor impact noise level for bare concrete slab and standard floating floor

하여 Fig. 14에 나타내었다. 그래프에 충격력 측정센서를 이용하여 직접 측정한 뱅머신의 충격력 스펙트럼을 같이 비교하였다.

충격력 역해석에 사용된 가속도 주파수 응답함수는 진동응답이 가장 크게 발생되었던 중앙 가진점에 대한 중앙점 콘크리트슬래브의 가속도 응답 측정결과를 이용하였다. 특히 표준바닥구조는 표준바닥구조 하부 콘크리트 가진하여 측정한 주파수 응답함수를 사용하였다.

맨바닥콘크리트슬래브 조건에서 역으로 계산된 뱅머신의 충격력 스펙트럼은 충격력 센서를 이용하여 측정한 뱅머신의 충격력 스펙트럼과 매우 유사한 응답특성을 보이고 있다. 반면 표준바닥구조 조건에

서의 뱅머신 충격력 특성은 20~80 Hz에서는 뱅머신 충격력 보다 충격력이 크고 100 Hz이상에서는 충격력이 감소되는 경향을 보이고 있다.

4.4 표준바닥구조의 중량충격음 특성

맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조의 5개 가진점에 대한 5개 수음점의 평균 바닥충격음 레벨을 Fig. 15에 나타내었다. 표준바닥구조의 바닥충격음 발생 특성이 31.5~100 Hz에서 맨바닥콘크리트슬래브의 바닥충격음보다 증폭되는 형태로 나타났으며, 이러한 특성은 역해석을 통해 계산된 표준바닥구조의 뱅머신 충격력 특성과 동일한 경향으로 나타나고 있다.

완충재로 인해 표준바닥구조 하부를 가진하는 뱅머신의 충격력 스펙트럼이 변하게 되고 이로 인해 콘크리트슬래브의 진동응답 또한 변하여 100 Hz 이하의 저주파 대역에서의 바닥충격음 레벨은 증가하고 그 이상 주파수에서의 바닥충격음 레벨은 감소되었다.

바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량(L_n, F_{max}, AW)은 맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조 모두 50 dB로 동일한 결과를 나타내었다.

5. 결 론

이 연구에서는 맨바닥콘크리트슬래브와 표준바닥구조의 동특성을 실제 공동주택의 가속도 주파수 응답함수를 이용하여 분석하였다. 그리고 뱅머신 가진에 대한 콘크리트슬래브의 가속도응답으로부터 콘크리트슬래브를 가진하는 뱅머신의 충격력 스펙트럼을 시스템 역해석법을 이용하여 계산하였다. 이 실험내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 표준바닥시공에 의한 바닥구조의 질량증가로 바닥구조의 고유진동수는 맨바닥콘크리트슬래브 보다 감소되었으며, 감쇠비는 증가되었다.

(2) 18.5 MN/m³의 완충재를 사용한 표준바닥구조의 중량충격음 레벨은 100 Hz이하에서 증폭되고 그 이상 주파수에서는 저감되었다. 특히 63, 80 Hz의 음압 레벨이 다른 주파수에서보다 크게 증폭되었는데 이는 마감물질과 완충재의 공진에 의한 영향으로 판단된다.

(3) 완충재의 탄성으로 인해 마감층-완충재-콘크

리트슬래브가 공진을 일으켜 임펄스 해머 중앙 가진 시 콘크리트슬래브의 가속도 응답이 증폭되는 주파수는 명확하게 85 Hz, 주파수 대역으로 약 40~100 Hz에서 나타났다. 뱅머신 중앙점 가진에 대한 가속도 응답도 40~80 Hz대역에서 증폭되어 나타났다. 뱅머신의 경우 85 Hz에 대한 응답 증폭현상이 없었는데 이는 뱅머신의 충격력 스펙트럼 자체가 약 80 Hz대역에서 충격력이 작기 때문이다.

(4) 표준바닥구조의 뱅머신가진에 대한 바닥충격음은 역해석을 통해 계산한 뱅머신의 충격력 스펙트럼 변화 특성과 동일한 경향을 나타내어 표준바닥구조 시공으로 인해 80 Hz이하의 저주파 소음이 증가되고 그 이상의 소음은 감소되었다.

(5) 역해석법을 이용하여 예측한 뜬바닥구조의 완충재와 마감몰탈에 의한 충격력 스펙트럼 변화는 완충재 물성 및 바닥 마감 구조 등에 따라 다르게 나타난다. 다양한 완충재에 대한 표준 충격원(뱅머신, 임팩트볼)의 충격력 스펙트럼 특성은 다양한 현장 조건에서의 최적의 완충재를 선택할 수 있는 기준으로 활용될 수 있을 것이다.

References

(1) Kim, K. W., Jeong, G. C. and Sohn, J. Y., 2008, Correlation Between Dynamic Stiffness of Resilient Materials and Lightweight Floor Impact Sound Reduction Level, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 8, pp. 886~895.

(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, I. H. and Lee, K. D., 2009, A Study on the Characteristics of Heavy-weight Floor Impact Sound in Apartment Houses of the Flat Plate Structures, Proceedings of the KSNVE Annual Fall Conference, pp. 161~162.

(4) Bendat, J. S. and Piersol, A. G., 2000, Random

Data : Analysis and Measurement Procedures, John Wiley & Sons, Inc., New York.

(5) McConnel, K. G., 1995, Vibration Testing-theory and Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York.

(6) 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.



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.



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.



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.



Geon Ho Hong received B.S., M.S., and Ph.D. from Department of Architecture, Seoul National University, Seoul, Korea. He is a professor in Department of Architecture Engineering at Hoseo University.