

PVC 바닥 마감재와 바닥 매트와 바닥충격음 및 충격력 저감

Reduction of Floor Impact Noise and Impact Force for PVC Floor Covering and Floor Mat

문 대 호* · 송 국 곤** · 이 철 승** · 박 흥 근†

Dae-Ho Mun, Guk-Gon Song, Cheol-Seung Lee and Hong-Gun Park

(Received April 3, 2014 ; Revised June 9, 2014 ; Accepted June 18, 2014)

Key Words : Floor Covering(바닥 마감재), Floor Mat(바닥 매트), Floor Impact Noise(바닥충격음), Heavy-weight Floor Impact Noise(중량충격음), Light-weight Floor Impact Noise(경량충격음), Impact Force Spectrum(충격력 스펙트럼), Rubber Ball(고무공), Tapping Machine(태핑머신)

ABSTRACT

Floor finishing materials such as floor coverings and floor mats can reduce floor impact noise easily. When an impact was applied to the floor, its finishing material is deformed and the impact force that was applied to the concrete slab is changed. The softer finishing materials were, the more impact force decreased. An experimental study was performed using 14 PVC floor coverings and 16 floor mats to capture the characteristics of impact force and impact noise in the residential buildings. The test results show that the impact force spectrum and the floor impact noise spectrum have a linear relationship in the case of a bare concrete slab, and the characteristics of impact force reduction are the same as those of floor impact noise reduction.

1. 서 론

주택용 바닥 마감재(두께 1.5~4.5 mm)와 바닥 매트(두께 10 mm 이상)는 경제적이고 시공이 간단하여 거주자의 임의 시공을 통해 대부분의 경우 바닥 충격 소음을 쉽게 저감시킬 수 있다. 이러한 바닥재 등을 이용하여 바닥충격음을 저감시킬 수 있는 가장 근본적인 이유는 충격원이 바닥을 가진할 때 바닥재는 충격원과 직접 접촉하면서 바닥 구조체를 가진하는 충격력 특성(충격력 파형, 충격량 등)이 변하기 때문이다.

충격량(impulse, \vec{I})은 힘(\vec{F})과 힘이 작용하는 시간(dt)의 곱으로 정의 되며 충격력-시간 그래프의 면적과 같다. 에너지 보존법칙에 의해 충격원이 갖고 있는 에너지는 일정하기 때문에 바닥재를 통해 힘이 작용하는 시간이 길어지면 일반적으로 힘의 최대 크기는 감소된다. 이 경우 힘이 작용하는 시간(충격력 지연시간, duration time)이 길어질수록 충격력 스펙트럼의 충격력 분포는 저주파 대역에 집중되며 고주파 대역의 충격력 크기는 상대적으로 낮아지게 된다.

기존 연구들에서는, PVC 바닥 마감재는 경량충격원에 대해 고주파 대역의 바닥 충격소음이 효과적으

† 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

* Member, Department of Architecture, Seoul National University

** Member, Korea Conformity Laboratories

A part of this paper was presented at the KSNVE 2014 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

로 저감되어 2~13 dB까지 경량충격음 단일 수치 평가량을 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다^(1,2). 또한 동일 두께를 갖더라도 바닥 마감재의 발포층의 두께가 두껍고 발포율이 높을수록 차음성능이 우수하게 나타났다⁽³⁾. 중량충격원에 대해서는 단일 수치 평가량을 저감시킬 수 없었으며 일부 저주파 대역에서 소음이 증가되는 현상이 발견되었다⁽⁴⁾.

바닥 매트에 대해서는 매트 재질, 두께, 동탄성 계수, 고무공 충격원 높이에 따른 소음도와 실제 공동주택에서 어린이가 뛰어내릴 때의 소음도를 측정 한 연구결과, 두께가 두껍고 고무공 충격원의 높이가 낮을수록 소음도 저감 효과가 크게 나타났다⁽⁵⁾.

마감재에 의한 바닥충격음 변화를 정확히 판단 하고 이를 충격음 저감 설계와 제품개발에 반영하기 위해서는, 바닥충격음을 발생시키는 직접적인 원인인 바닥재와 충격력의 관계에 대한 정밀한 분석이 요구된다. 바닥재로 인한 충격력 변화, 즉 충격력 스펙트럼을 평가하고, 이것이 바닥충격음 저감에 어떠한 영향이 있는지를 파악하는 것이 매우 중요하다.

이 연구에서는 바닥충격음 측정을 통해 바닥 시트 마감재와 바닥 매트 두께의 경량 및 중량충격원에 대한 바닥충격 소음 저감 특성을 분석하였으며, 바닥재 하부로 전달되는 충격력을 계측하여 충격력과 바닥충격음의 관계를 파악하였다.

2. 실험 방법

시중에 판매중인 PVC 비닐 계열의 바닥 시트 마감재 14종(두께 1.8~4.5 mm)과 바닥 매트 16종(두께 12~40 mm)에 대해 경량충격음, 중량충격음(고무공 충격원), 그리고 충격력을 측정하였다. 측정에 사용된 바닥재의 재질과 두께를 Table 1에 나타내었다.

바닥충격음은 Fig. 1과 같은 벽체 차음성능을 측정하는 실험실의 수음실에서 진행하였으며, 수음실은 천장 슬래브 두께 210 mm, 벽체 두께 250 mm의 콘크리트 구조로 되어있다. 바닥충격음 실험시에는 벽체 차음성능 실험을 위한 개구부를 고차음벽체(400 mm, 석고보드+유리섬유+공기층, $R_w=71$ dB)로 막은 상태에서 실시하였으며, 시료는 수음실 천장 슬래브 상부 면에 설치하였다.

Fig. 1에 표시한 1-5번은 5개 수음점과 가진점의

Table 1 Material and thickness of floor finishing

Name	Material	Type	Thickness(mm)
C01	PVC	Floor covering	4.5
C02	PVC	Floor covering	2.5
C03	PVC	Floor covering	2.2
C04	PVC	Floor covering	1.8
C05	PVC	Floor covering	3
C06	PVC	Floor covering	1.8
C07	PVC	Floor covering	2
C08	PVC	Floor covering	2.3
C09	PVC	Floor covering	2.7
C10	PVC	Floor covering	4.5
C11	PVC	Floor covering	4.5
C12	PVC	Floor covering	2.7
C13	PVC	Floor covering	2
C14	PVC	Floor covering	1.8
M01	PVC	Floor mat	22
M02	PVC	Floor mat	18
M03	PVC	Floor mat	16
M04	PVC	Floor mat	15
M05	PVC	Floor mat	13
M06	PVC	Floor mat	15
M07	PVC	Floor mat	11
M08	PVC	Floor mat	15
M09	PVC	Floor mat	12
M10	PE	Floor mat	16
M11	PE	Floor mat	40
M12	PE	Floor mat	29
M13	PE	Floor mat	17
M14	PE	Floor mat	22
M15	EVA+PE	Floor mat	25
M16	EVA+PE	Floor mat	20

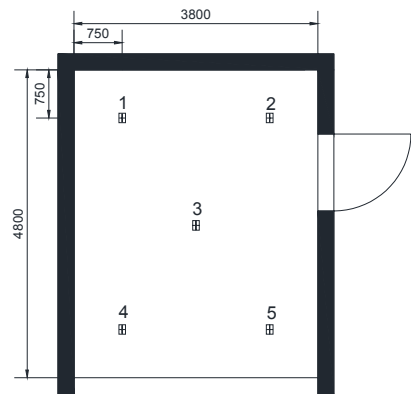


Fig. 1 Test room plan and locations of impact and receiving point

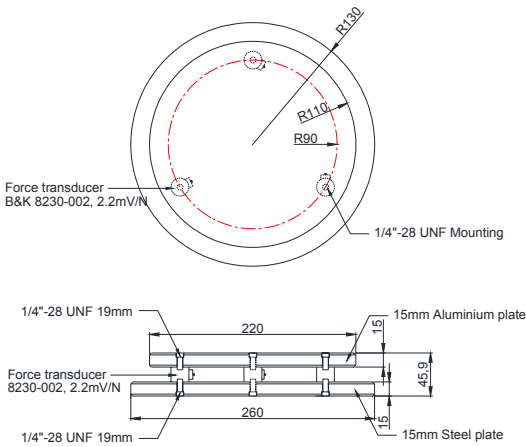


Fig. 2 Plan and side section of impact force plate

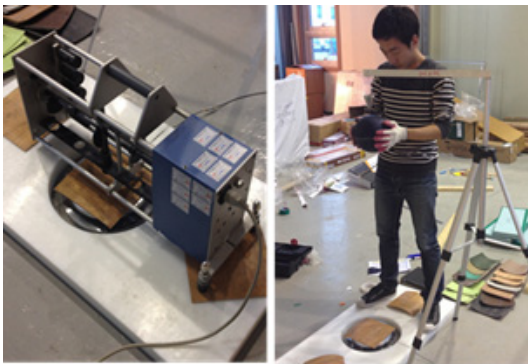


Fig. 3 Measurement of impact force for floor finishing materials

위치를 나타내며, 가진점과 수음점 위치는 동일하다. 바닥충격음은 KS F 2810, 2863에 따라 측정/평가 하였다. 바닥충격음을 측정시 바닥 마감재는 전체 바닥면에 설치한 후 실험하였으며, 바닥 매트(폭 1.0~1.6 m, 길이 1.0~2.5 m)는 바닥표면에 밀착되도록 올려놓고 가진 위치로 이동 시키면서 측정하였다.

Fig. 2와 3에 각각 제작된 충격력 측정 장치도면과 충격력 측정 모습을 나타내었다. 충격력 측정 장치는 3개의 힘센서와 지름 220 mm, 두께 15 mm의 알루미늄 플레이트(상부), 그리고 지름 260 mm, 두께 15 mm의 철판 플레이트(하부)를 결합하여 제작하였다. 충격력 측정 장치를 통해 계측되는 충격력은 3개 힘센서의 출력 케이블을 직렬 연결하여 전압의 합을 구하고 이 값에 평균 감도를 곱하여 계측하였다.

충격력 계측은 200×200 mm 크기의 바닥재 시편을 충격력 측정 장치 위에 올려놓고 그 상부를 태핑머신과 고무공 충격원으로 가진하여 시편 하부로 전달되는 충격력을 계측하였다. 충격력 측정시 시편의 두께를 고려하여 충격원의 낙하 높이를 동일하게 하였다. 태핑머신의 충격력은 1개 충격력에 대한 정밀 분석을 위해 5개 해머 중 가운데 해머만 남겨놓고 나머지 해머는 제거한 후 장치를 가동시키면서 측정하였다.

충격력에 대한 주파수 분석은 충격력 시간이력을 8192 Hz 샘플링 주파수로 디지털 레코딩(Pulse 3560C measurement front-end and time data recorder software, Brüel & Kjær)하고 후처리 주파수 분석 소프트웨어 Pulse reflex core ver. 18, Brüel & Kjær)를 이용하여 1/3 옥타브 밴드 패스 필터 분석 하였다. 충격력 스펙트럼은 시정수(time constant) 느림(slow, 1 sec.) 조건에서 스펙트럼 레벨의 최대값을 사용하였다.

3. 실험 결과

3.1 시편 두께에 따른 바닥충격을 차단성능

Fig. 4와 5는 각각 시편의 재질 및 두께에 따른 경량충격원과 고무공 충격원에 대한 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량을 비교한 그래프이다.

Fig. 4의 경량충격음 단일수치 평가량(역 A특성 가중 규준화 바닥충격음 레벨, $L'_{n,AW}$)은 맨바닥 콘크리트 슬래브 71 dB, 바닥 마감재 59~65 dB, 그리고 바닥 매트는 29~34 dB을 나타내었다.

시편의 두께에 따른 경량충격음 단일 수치 평가량 저감 성능은 바닥 시트 마감재의 경우 두께가 두꺼울수록 우수한 경량충격음 저감 성능을 보이지만 1.8 mm, 2.5 mm, 4.5 mm 제품에서 동일한 12dB 저감 성능을 나타내어 경량충격음 저감 성능은 바닥 마감재의 두께뿐만 아니라 사용된 재료의 배합 비율과 같은 재료 특성도 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

바닥 매트는 모두 두께가 10 mm 이상으로 두껍기 때문에 대부분의 충격력이 매트 변형에 의해 저감되어 매트 두께에 따른 경량충격음 단일 수치 평가량 저감 성능 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 실험된 모든 바닥 매트의 경량충격음 단일수치 평가량은 맨바닥 콘크리트 슬래브 대비 37~42 dB

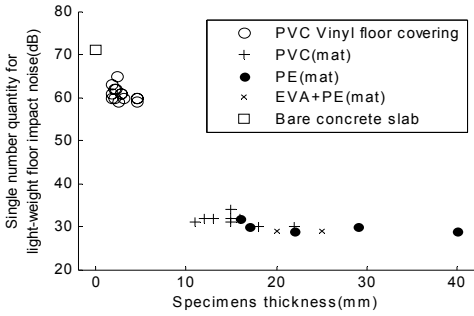


Fig. 4 Light-weight floor impact noise single number quantity according to thickness and properties of finishing materials

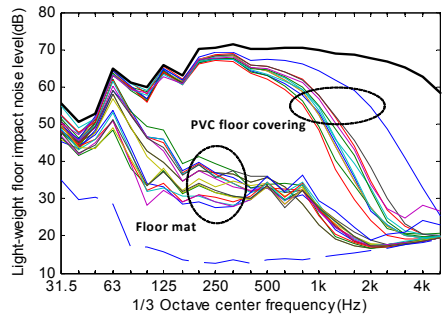


Fig. 6 Light-weight floor impact noise level on 1/3 octave band center frequency

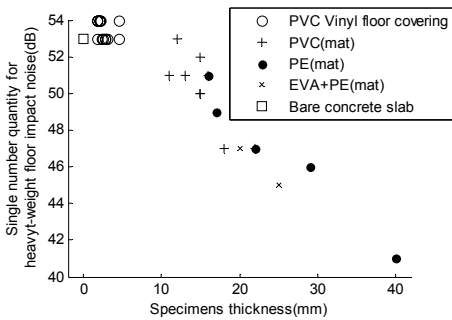


Fig. 5 Heavy-weight floor impact noise single number quantity according to thickness and properties of finishing materials

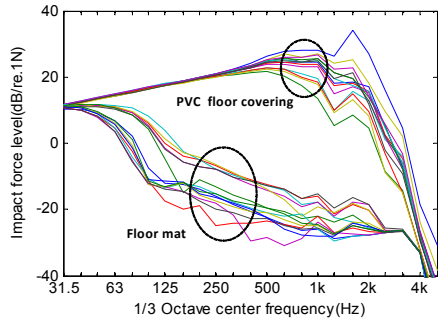


Fig. 7 Impact force level of light-weight impact source on 1/3 octave band center frequency

저감되어 평균 36 dB로 나타났으며, 이 값은 경량충격음 1등급 기준인 43 dB보다 7 dB 낮은 값이다.

Fig. 5에 나타난 중량충격음 단일 수치 평가량(역 A 특성 가중 바닥충격음 레벨, $L_{i,Fmax,AW}$)은 맨바닥 콘크리트 슬래브 53 dB 대비 바닥 마감재는 53~54 dB로 저감 효과가 없었으며, 바닥 매트는 41~53 dB로 바닥재 없는 조건 대비 최대 12 dB 저감되었다. 바닥 매트는 PVC, PE, EVA 재료 특성과 관계없이 매트의 두께가 증가할수록 단일 수치 평가량이 저감되는 것으로 나타났다.

3.2 경량충격원에 대한 바닥충격음 및 충격원의 충격력 주파수 특성

Fig. 6과 7은 각각 경량 충격원에 대한 30개 바닥재의 바닥충격음과 충격력 레벨을 1/3 옥타브로 나타낸 그래프이다. Fig. 6에서 바닥재가 없는 조건의 바닥충격음 레벨을 검정색 굵은 실선으로 표현하였

으며, 배경소음 레벨은 파란 점선으로 표현하였다. 바닥 마감재가 없는 조건에 대한 경량 충격원의 충격력은 상부 플레이트 진동으로 인해 측정되지 못하였다.

Fig. 6에서 PVC 바닥 마감재와 바닥 매트는 모두 전 주파수 대역에서 바닥충격음이 저감되었다. 바닥 매트의 경량충격음 저감 성능이 바닥 마감재에 비해 매우 우수한 것으로 나타났다. 바닥충격음 저감 특성이 우수하게 나타나는 주파수는 바닥 마감재는 500 Hz 이상, 바닥 매트는 63 Hz 이상인 것으로 확인되었다.

Fig. 7의 바닥 마감재로 인한 경량충격원의 충격력 주파수 특성은 Fig. 6의 바닥충격음과 유사하게 나타났다. 바닥 마감재의 경우 250 Hz까지는 충격력 저감이 크지 않았으나 그 이상 주파수에서 충격력이 크게 저감되었다. 바닥 매트는 31.5 Hz까지 충격력 레벨이 유사하지만 40 Hz 이상부터 바닥 마감재에 비해 충격력이 크게 저감되었다.

Fig. 8과 9는 각각 경량충격원에 대한 바닥충격음

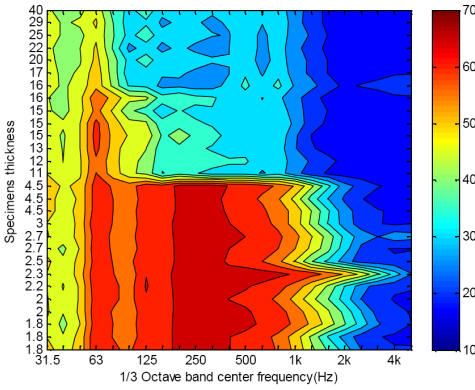


Fig. 8 Contour plot of floor impact noise level(tapping machine) for specimens thickness and 1/3 octave band center frequency

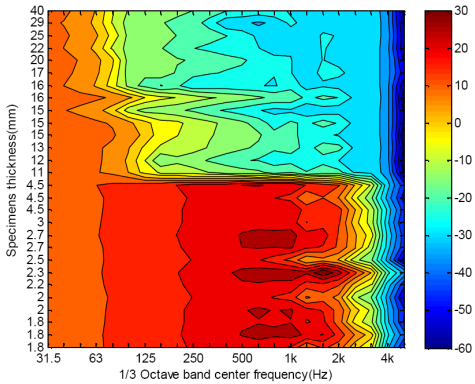


Fig. 9 Contour plot of impact force level(tapping machine) for specimens thickness and 1/3 octave band center frequency

과 충격력 레벨을 시편 두께와 1/3 옥타브 주파수에 대해 3차원 등고선으로 나타낸 그래프이다. 각 등고선의 간격은 5 dB이며, 시편 두께에 따라 바닥 마감재는 1.8~4.5 mm, 바닥 매트는 12~40 mm이다.

Fig. 8과 9의 등고선 형상이 매우 유사하게 나타나 바닥충격음과 충격력의 주파수 특성이 매우 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다.

PVC 바닥 마감재(1.8~4.5 mm)는 두께 증가에 따라 바닥충격음 및 충격력이 저감 효과는 확인할 수 없었다. 다른 시편들에 비해 상대적으로 500~2000 Hz 대역에서 충격력 레벨이 높게 나타나는 1.8, 2.3, 2.7 mm 제품은 동일 주파수 대역에서 바닥충격음 레벨도 높게 나타났다.

바닥 매트는 PVC 바닥 마감재에 비해 전 주파수 대역에서 바닥충격음 및 충격력 레벨이 매우 효과적으로 저감되었으며, 두께 증가에 따라 전 주파수 대역에서의 충격력과 바닥충격음 레벨이 되는 경향을 보였다. 동일한 16 mm 두께에서 PVC 재질(M03)이 PE 재질(M10) 보다 전 주파수 대역에서 충격력과 바닥충격음도 다소 높게 나타났지만 단일 수치 평가량은 32 dB로 동일하였다. 동일한 두께와 재질의 3 종류(15 mm, PVC) 시편에서 충격력과 바닥충격음 레벨의 차이가 발생하였다. 전 주파수 대역에서 충격력 레벨이 가장 높은 순서대로 M04, 06, 08 시편의 단일수치 평가량은 각각 31, 32, 34 dB로 나타났다. 바닥 매트는 유사한 두께에서 시편의 물성(재질, 발포율, 구성층 등)에 따라 경량 충격원에 대해 서로 다른 충격음과 충격력 레벨을 나타내는 것으로 확인되었다.

3.3 중량충격원에 대한 바닥충격음 및 충격원의 충격력 주파수 특성

고무공 충격원에 대한 30개 시편에 대한 바닥충격음과 충격력 레벨을 각각 Fig. 10과 11에 나타내었다. 각 그래프에서 마감재가 없는 조건은 굵은 실선으로 나타내었다.

PVC 바닥마감재는 Fig. 10에서 중량충격음 레벨이 주파수 대역별로 2~3 dB 편차는 있지만 그래프 형태가 바닥 마감재가 없는 조건과 매우 유사하게 나타났다. Fig. 11에서도 바닥 마감재에 의한 충격력 변화가 없는 것으로 나타나 PVC 바닥 마감재는 중량충격원에 대한 중량충격음 및 충격력 레벨 저감 효과가 없는 것으로 분석되었다.

바닥 매트는 Fig. 10에서 중량충격음 레벨이 매트가 없는 조건 대비 저주파 대역(31.5~100 Hz)에서는 증가되지만 그 이상 주파수에서는 효과적으로 저감되었다. Fig. 11에서 바닥 매트에 의한 충격력 레벨도 바닥충격음 레벨과 주파수 특성이 유사하게 나타나 매트가 없는 조건 대비 63 Hz 이하에서는 다소 증가하였고 100 Hz 이상에서는 효과적으로 감소되었다.

Fig. 12와 13은 각각 고무공 충격원에 대한 바닥충격음과 충격력 레벨을 시편 두께 및 1/3옥타브 주파수에 대해 3차원 등고선으로 나타낸 그래프이다. 각 등고선의 간격은 5 dB 이며, 두께 0 mm는 바닥

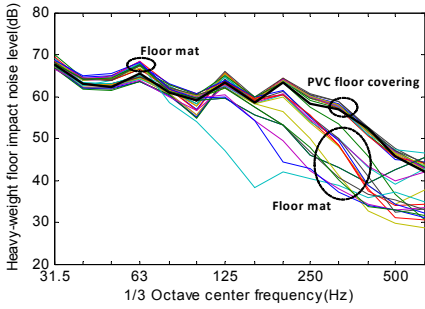


Fig. 10 Heavy-weight floor impact noise level on 1/3 octave band center frequency

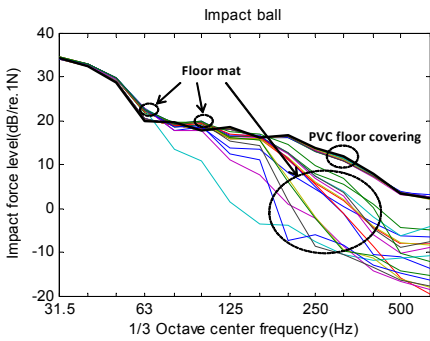


Fig. 11 Impact force level of heavy-weight impact source(rubber ball) on 1/3 octave band center frequency

재가 없는 조건을 의미한다.

두 그래프에서 시편의 종류 및 두께에 따라 바닥 충격음 및 충격력의 저감 또는 증폭 특성이 유사하게 나타나고 있어 중량충격원에 대해서도 충격력과 바닥충격음이 매우 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다.

PVC 바닥 마감재는 고무공 충격원에 대해 두께에 따른 충격력 및 바닥충격음 변화가 거의 없는 것으로 평가되었다.

바닥 매트는 두께가 증가할수록 Fig. 13에서 100 Hz 이하 저주파 대역은 등고선이 우측으로 이동하는 현상이 나타나 저주파대역의 충격력이 증가되었으며, 그로 인해 Fig. 12에서 매트가 없는 조건 대비 63 Hz의 바닥충격음 레벨이 증가되었다. 바닥 매트의 두께가 증가할수록 고주파 대역의 충격력과 바닥 충격음이 저감되어 등고선이 왼쪽으로 이동되는 현상을 확인할 수 있다.

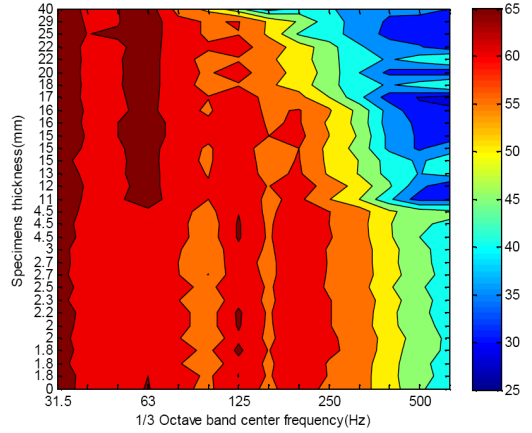


Fig. 12 Contour plot of floor impact noise level (rubber ball) for specimens thickness and 1/3 octave band center frequency

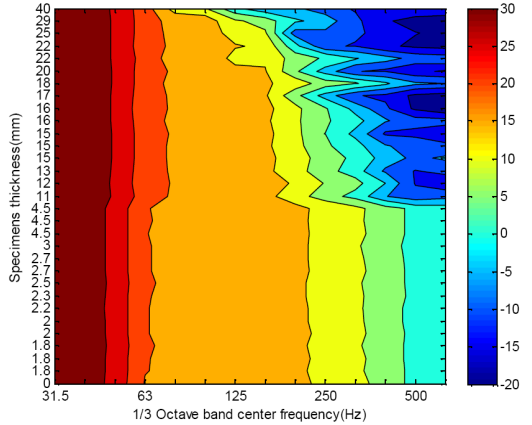


Fig. 13 Contour plot of impact force level(rubber ball) for specimens thickness and 1/3 octave band center frequency

바닥 매트는 고무공 충격원에 대해 63 Hz 이하 저주파 대역의 바닥충격음과 충격력 레벨을 다소 증가시키는 것으로 나타났다. 이러한 저주파 대역의 충격음 및 충격력 증폭 현상 원인은 Fig.14의 충격력 파형을 통해 살펴볼 수 있다.

Fig. 14에서 PVC 바닥 마감재에 대한 고무공 충격원의 충격력 파형은 바닥 마감재가 없는 조건(굵은 실선)과 유사하기 때문에 Fig. 11의 PVC 바닥 마감재에 따른 고무공 충격원의 충격력 레벨은 변화가 없는 것으로 나타났다. 반면 바닥 매트에 대한 고무공 충격원 충격력 파형은 바닥 매트가

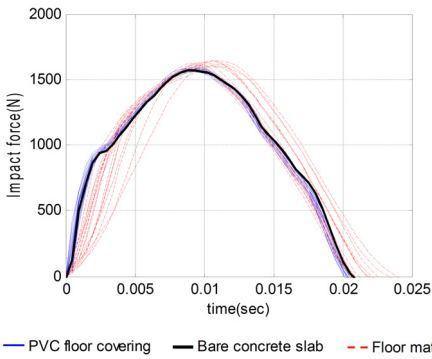


Fig. 14 Impact force time wave of heavy-weight impact source(rubber ball)

없는 조건 대비 파형 변화가 발생되어 충격력 파형의 초기 기울기가 감소되고 충격력 지연시간이 증가되었다. 또한 충격력 지연시간이 증가하였음에도 불구하고 충격력의 최대 크기는 증가되었다. 바닥 매트에 의한 충격력 파형 변화와 최대 충격력 크기 증가는 63 Hz 이하 저주파 대역의 충격력을 증가시키는 원인인 것으로 판단된다.

Fig. 10과 12에서 바닥 매트에 의한 63 Hz 이하 저주파 대역에서 음압 증가는 충격력 크기 증가에 비해 더욱 크게 나타나고 있다. 이러한 이유는 콘크리트 슬래브의 진동모드와 수음실의 음향모드에 의해 특정 주파수에서의 진동과 음압 응답이 증폭되었기 때문이다.

4. 결 론

PVC 바닥 마감재는 경량충격을 저감에 대해 효과적이었지만 중량충격을 저감에는 전혀 효과가 없는 것으로 나타났다. 바닥 매트는 경량충격을 저감에 매우 효과적이었지만 고무공 충격원에 대한 중량충격에 대해서는 매트의 두께가 증가할수록 125 Hz 이상의 소음은 저감되지만 63 Hz 이하 소음은 다소 증가되는 것으로 나타났다.

PVC 바닥 마감재와 바닥 매트에 대한 바닥충격음과 충격력 레벨의 주파수 특성이 매우 유사하게 나타나 충격력과 바닥충격음이 매우 밀접한 관련이 있음을 확인하였다. 그 이유는 실험된 맨바닥 콘크리트 슬래브 조건이 구조-음향 시스템에서 입력(충격력)과 출력(가속도, 음압 등)에 대한 선형 조건을

만족하기 때문이다.

바닥 마감재의 바닥충격을 저감 성능 측정 및 평가(KS F 2865:2012, 2810-1, 2863-1)에 있어 수음실과 음원실 등의 음향 환경 조건은 바닥재의 바닥충격을 저감 성능을 다르게 하는 원인이 될 수 있다. 이에 따라 다양한 충격원에 대해 바닥재 하부로 전달된 충격력에 대한 시간 또는 주파수 특성은 바닥재의 바닥충격을 저감 성능에 대한 새로운 평가 지표로 활용 가능하며, 바닥충격을 저감을 위한 바닥 마감재의 설계도구로도 사용될 수 있다.

국내 공동주택에 사용되는 완충재가 삽입된 뜬바닥 구조 조건에서는 바닥재의 바닥충격을 저감 성능이 이 연구결과와 다르게 나타날 수 있다. 뜬바닥 구조는 기본적으로 고주파 대역 바닥충격을 저감 성능이 우수하고 완충재와 마감몰탈에 의해 구조-음향 시스템이 변하여 바닥 조건에 따라 특정 주파수에서의 응답이 다르게 나타날 수 있기 때문이다.

References

- (1) Song, G.-G., Park, H.-K., Lee, T.-G., Kim, J.-S. and Kim, S.-W., 2008, An Experimental Study on the reduction of Lightweight Impact Sound by Floor Coverings in Apartment, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 433-434.
- (2) Kim, H.-C., Kim, Y.-G., Kim, S.-S., Lee, H.-L., Cho, H.-H., 2008, Evaluation of Floor Impact Sound by Floor Coverings in Standard Test Building, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 349-340.
- (3) Gi, N.-G., Jung, J.-Y., Song, M.-J. and Kim, S.-W., 2003, A Study on the Floor Impact Sound Insulation Characteristics of Floor Coverings, Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 1, pp. 645-648.
- (4) Song, G.-G., Lee, C.-S. and Choi, E.-S., 2013, Floor Impact Sound Reduction of Floor Coverings, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 384-385.
- (5) Kim, K.-W., Yeon, J.-O. and Yang, K.-S., 2013, Floor Impact Sound Reduction Properties of Flooring Mats, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 190-192.

(6) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.



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 2009 and B.S. and M.S. from Seoul National University. He is a professor in Department of Architecture at Seoul National

University.



Guk-Gon Song received M.S. from Dept. of Architectural engineering, Chonnam National University in 2009. He has completed doctoral course at Dept. of architectural engineering, Chonnam National University in 2011. He is currently junior research engineer in Korea Conformity Laboratories.



Cheol-Seung Lee received M.S. from Dept. of Architecture, Chungnam National University in 2007. He is currently senior research engineer in Korea Conformity Laboratories.