한국음향학회지 제40권 제6호 pp. 671~677 (2021)
The Journal of the Acoustical Society of Korea Vol.40, No.6 (2021)
https://doi.org/10.7776/ASK.2021.40.6.671

pISSN : 1225-4428
eISSN : 2287-3775

마감모르타르 물결합재비에 따른 바닥충격음 특성 변화

Characteristics of the floor impact sound by water to binder ratio of mortar

이원학[1], 한찬훈[2†]

(Won-Hak Lee[1] and Chan-Hoon Haan[2†])

[1]한국건설생활환경시험연구원 건설본부 음환경센터, [2]충북대학교 공과대학 건축공학과

(Received September 17, 2021; revised October 29, 2021; accepted November 12, 2021)

초 록: 본 연구의 목적은 마감모르타르의 물결합재비가 공동주택 바닥충격음에 미치는 영향을 조사하는 것이다. 이를 위하여 동일한 동탄성계수를 지닌 Expanded Polystyrene(EPS) 완충재와 52 %, 66 %, 72 % 의 물결합재비를 가진 모르타르를 활용하여 뜬바닥구조를 시공하였으며, 표준실험동에서 바닥충격음을 측정하였다. 실험결과, 경량충격음에 있어서는 물결합재비 52 % 일 때, 밀도가 높은 관계로 경량충격음 전달특성이 높게 나타났다. 마감모르타르의 물결합재비가 높아지면 완충재 상부층 질량이 낮아지고, 이로 인해 뜬바닥구조의 고유진동수가 63 Hz 대역으로 이동하게 되면서 중량충격음의 음압레벨이 높게 나타났다. 이를 통하여 마감모르타르의 물결합재비가 중량충격음에 미치는 특성을 규명하였다.
핵심용어: 바닥충격음, 모르타르, 물결합재비, 중량충격음

ABSTRACT: The present study aims to investigate the influence of the water to binder ratio of finishing mortar on the floor impact sound of apartments. For this, same resilient materials Expanded Polystyrene (EPS) with constant dynamic stiffness and different mortar layers with 52 %, 66 % and 72 % water to binder ratio respectively were used to build floating floor structures on which floor impact sounds were measured in standard testing facilities. As a result, it was found that light-weight floor impact sound was transmitted well when the water to binder ratio was 52% due to the high density. In case of heavy-weight floor impact sounds, since water to binder ratio of finishing mortar becomes higher as the weight of upper layer of resilient material lighter, it was shown that the natural frequency of floating floor structure moves to 63 Hz bandwidth which eventually cause a higher sound pressure level of floor impact sound. Thus, effect of water to binder ratio of mortar on the heavy-weight floor impact sounds was investigated.
Keywords: Floor impact sound, Mortar, Water to binder ratio, Heavy-weight floor impact sound

PACS numbers: 43.55.Ti, 43.55.Vj, 43.50.Jh

I. 서 론

2016년 통계청의 인구주택총조사 결과에 따르면, 국민의 약 74.5 %가 공동주택에 거주하고 있다. 환경부 층간소음 이웃사이센터 통계결과를 보면, 2012년 약 8천여건, 2018년 약 2만 8천여건으로 3배 이상의 민원이 증가하여 공동주택에 거주하고 있는 다수의 국민이 층간소음 피해를 받고 있는 것으로 나타났다. 이를 해결하기 위해, 국토교통부는 1991년 주택건설기준 등에 관한 규정을 제정하여 '바닥충격음 차단구조'를 명문화하고, 2013년 개정을 통해 슬래브 두께 210 mm 이상 시공하도록 의무화하였다.

그럼에도 불구하고, 한국환경공단 층간소음 이웃사이센터 운영결과 자료에 따르면, 매년 약 2만 여건의 민원이 발생하였고 민원의 원인으로는 69.2 %가 아이들이 뛰는 소리 또는 발걸음 소리로 나타났다.

†**Corresponding author:** Chan-Hoon Haan (chhaan@chungbuk.ac.kr)
Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Republic of Korea
(Tel: 82-43-261-2438, Fax: 82-43-260-2438)

Copyright ⓒ2021 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Park *et al*.[2] 와 Kim *et al*.[3] 의 논문에 따르면, 중량충격음은 거주자의 생활 만족도를 낮게 한다는 연구결과가 있었다.

2019년 감사원의 감사보고서에 따르면, 인정서 상 바닥충격음 차단성능과 공동주택 건설현장에서의 바닥충격음 차단성능이 차이가 있는 것으로 나타났고 실제 건설현장에서 평가한 실측 값이 96 % 하락한 것을 확인하였다. 이 중 60 %인 약 100여 세대는 중량충격음 최소성능기준인 50 dB를 미달하는 것으로 발표되었다.

본 논문에서는 뜬바닥구조의 시공조건에 따른 바닥충격음 영향을 분석하였다. 특히 모르타르의 물-결합재비에 따른 영향을 분석하였다.

실험에 있어서 품질을 지시하여 구입할 수 있는 굳지 않은 콘크리트인 레디믹스트 콘크리트의 납품서 기준으로 물-결합재비에 따른 특성변화를 확인하였다. 여기서 콘크리트 표준시방서에서 정의하는 물-결합재비는 굳지 않은 콘크리트 또는 굳지 않은 모르타르에 포함되어 있는 시멘트풀 속의 물과 결합재의 질량비를 의미한다. 실험을 위한 물-결합재비 변화는 물-결합재비 50 %, 60 %, 70 %로 변화하여 바닥충격음 특성변화를 확인하였다.

II. 바닥충격음 전달 특성

바닥충격음은 바닥표면마감재, 마감모르타르, 경량기포콘크리트, 완충재, 슬래브, 하부 세대의 천장구조까지 전달된다. 특히 1차 충격, 2차 전파, 3차 방사의 단계로 전달되는데, 이러한 일련의 과정으로 구분하면, 충격원 특성, 뜬바닥구조 특성, 하부세대 공간의 특성에 따라 바닥충격음 특성이 달라진다.

공동주택에서 현재 사용되고 있는 습식형 뜬바닥구조의 경우, 바닥충격음의 차단성능은 공진계의 진동전달손실에 따라 달라진다.

해당 Reference [4]에 따라 뜬바닥의 차단성능 확보를 위해서는 뜬바닥에서 사용되는 완충재가 동탄성계수가 낮은 유연한 재료이여야 하며 완충재 상부에 올라가는 기포콘크리트 또는 마감모르타르의 질량을 늘리는 방안 사용하여 뜬바닥구조의 바닥충격음 저감성능에 도움이 된다.

Hwang *et al*.[5]의 논문에 따르면, 뜬바닥구조의 고유진동수 해석을 통해 완충재의 동탄성계수에 따라 뜬바닥구조 고유진동수가 변화고 이로 인해 뜬바닥구조의 중량충격음 증폭될 수 있음을 확인하였다. 이와 같이, 뜬바닥구조인 경우 슬래브와 완충재, 기포콘크리트, 마감모르타르로 인해서 완충재는 밀폐공간이기 때문에 삽입되어 있는 완충재의 스프링 정수는 완충재 재료의 스프링 정수와 공기의 스프링 정수가 합한 것으로 나타낼 수 있다. 그러나 Reference [6]처럼 공동주택에서 가장 중요한 중량충격음의 차단성능은 1/1 옥타브밴드에서 63 Hz와 125 Hz에서 결정되는 것을 봤을 때, 뜬바닥구조의 고유진동수는 50 Hz 미만으로 하는 것이 바람직하다.

이때 뜬바닥구조의 고유진동수를 구하는 식은 Eq. (1)과 같다.

$$f_m = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_c}{M_f}}, \tag{1}$$

여기서

f_m : 뜬바닥구조의 고유진동수(Hz)

M_f : 뜬바닥구조(완충재를 제외한) 상부층의 질량 (kg/m^2)

Eq. (1)에서 K_c는 Eq. (2)와 같이 구할 수 있다.

$$K_c = K_{oc} + K_\alpha = K_{oc} + \frac{\rho c^2}{d}, \tag{2}$$

여기서

K_{oc} : 완충재의 스프링상수(N/m^2)

K_α : 공기의 스프링상수(N/m^2)

ρ : 공기의 밀도(kg/m^3)

c : 음속(m/s)

d : 완충재의 두께(m)

III. 실험조건 및 개요

본 연구는 마감모르타르의 물결합재비에 따른 뜬바닥구조의 질량변화가 바닥충격음에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위하여 뜬바닥구조를

Table 1. Overview of the floor construction for measurements.

	Thickness (mm)	Dynamic stiffness (MN/m^3)	Water to binder ratio (%)
Slab	210	-	-
Resilient materials (EPS)	30	16.8	-
Light-weight concrete	40	-	-
Mortar	40	-	52,66,72

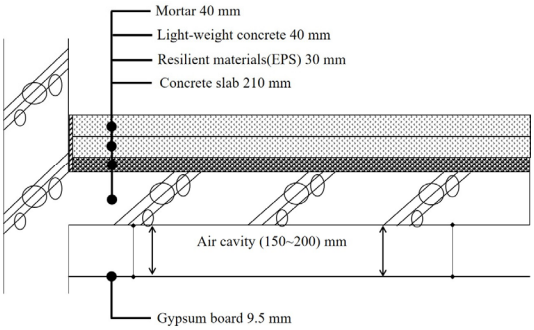


Fig. 1. Section of the floating floor structure.

시공하였고 마감모르타르를 제외한 완충재 및 기포콘크리의 품질은 가능한 통제하였다.

본 실험을 위한 완충재 선정은 바닥충격음 차단구조 인정현황 조사결과, 2021년 08월 기준을 토대로 보면, 약 60 %이 Expanded Polystyrene(EPS) 완충재이었으며, 그 중에 경량충격음 차단성능 1등급, 중량충격음 3등급 제품 비율이 약 40 %였다.

따라서 본 논문에서는 EPS 완충재와 인정서상 등급기준 경량충격음 1등급, 중량충격음 3등급 제품을 사용하였다.

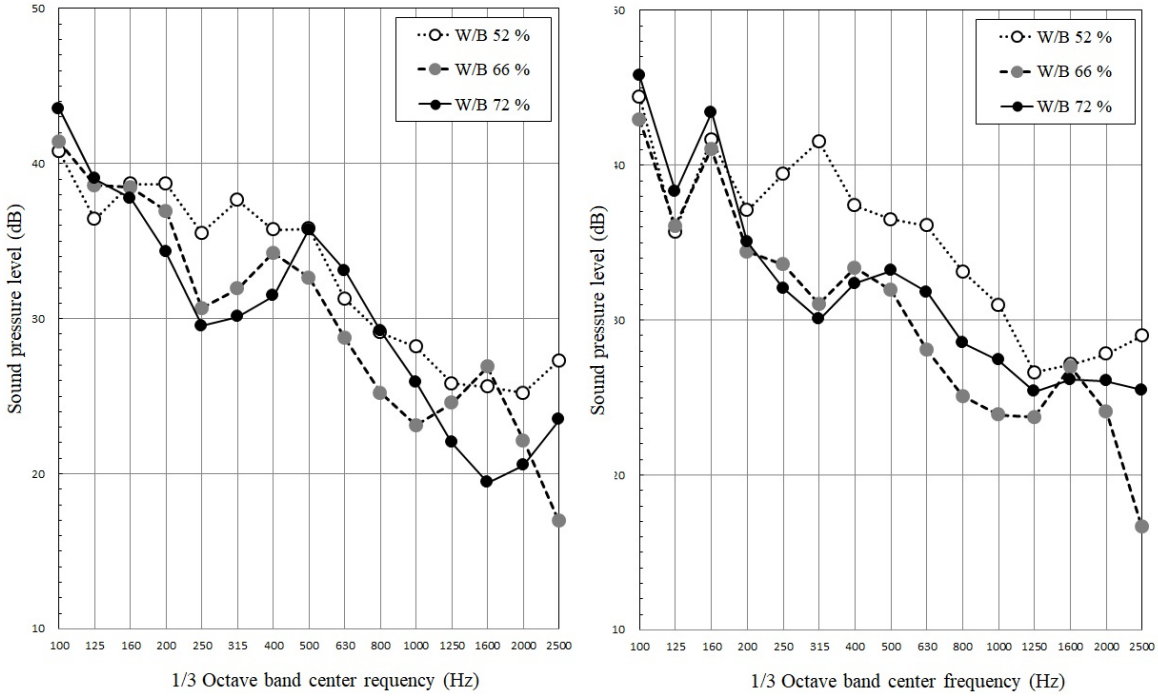
해당 제품을 사용하여, 전용면적 59 m^2 와 84 m^2의 실험동에서 시공하여 실험을 진행하였다. 시공된 완충재 및 경량기포콘크리트, 마감모르타르의 물성 및 배합된 정보와 바닥표면마감재는 Table 1과 같다.

실험실은 같은 조건이였으며, 경량기포콘크리트는 0.5품으로 일원화 하였다. 모르타르는 물결합재비 변수는 50 % 대, 60 % 대, 70 % 대 비율로 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 이를 통해서 표준화된 물결합재비인 50 % 대와 건설 현장 배합과 고층 압송

(a) resilient materials (b) light-weight concrete

(c) laying heating pipes (d) mortar

Fig. 2. (Color available online) Construction order of the floor structure.



(a) floor area of 59 m^2 for exclusive use (b) floor area of 84 m^2 for exclusive use

Fig. 3. Sound pressure level of light-weight floor impact sound by water to binder ration of mortar.

을 위해 시공성 개선을 위한 물의 양이 높아지는 것이 바닥충격음 영향을 주는지에 대해서 실험적으로 확인해보고자 하였다.

Table 1에 명기된 물결합재비는 실험실에서 타설 전에 레디믹스트콘크리트 납품서에 명기된 물결합재비를 표기한 것이다.

시공한 뜬바닥구조 구조의 단면도는 Fig. 1과 같으며, 전용면적 59 m^2 와 84 m^2 실험동에 시공한 모습은 Fig. 2와 같다.

Fig. 1의 도면과 같이 시공할 때, 먼저 측면완충재와 완충재를 시공하였고 경량기포콘크리트를 타설하였다. 경량기포콘크리트 타설일 기준으로 7일 양생 후 에 모르타르를 타설하였고 모르타르 타설 일 기준 21일 기준으로 바닥충격음 차단성능 실험을 실시하였다.

IV. 마감모르타르 물결합재비에 따른 영향분석

완충재 상부 구성층 중 마감모르타르의 물결합재비 변화를 통해 바닥충격음 영향을 분석하였다.

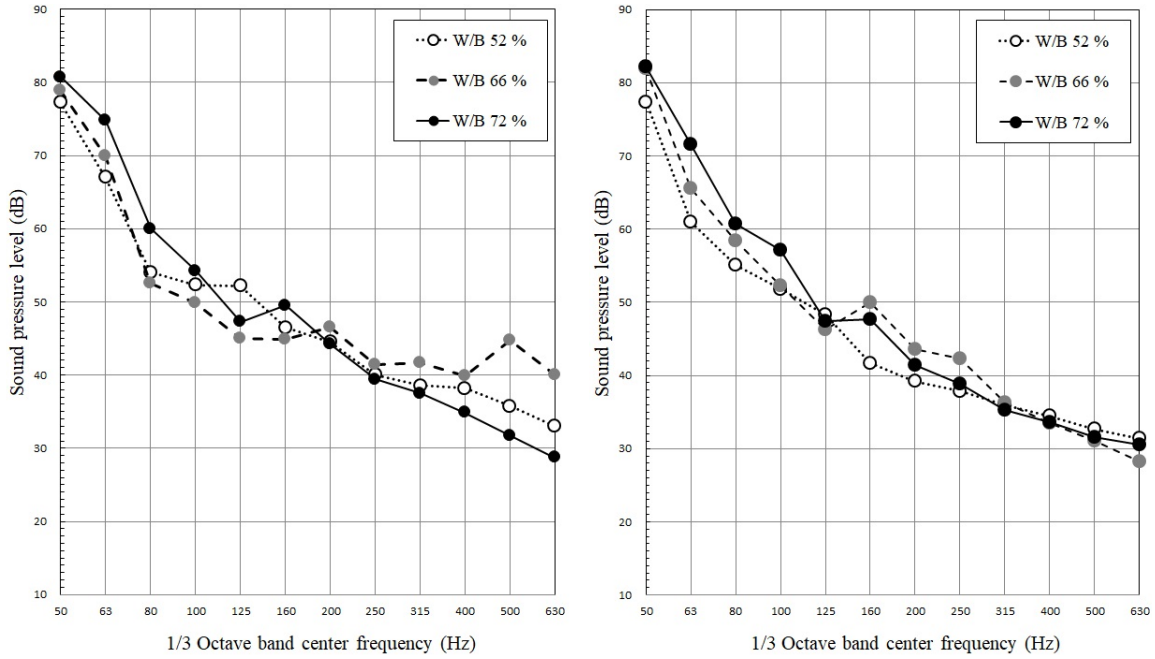
이를 위해 상부 구성층 중에 경량기포콘크리트는 0.5 품으로 통제하고 마감모르타르의 물결합재비(Water to Binder, 이하 W/B) 52 %, 66 %, 72 %로 변화를 통해 그 영향을 분석하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 경량충격음은 물결합재비 변화보다는 완충재의 특성과 시공성에 따른 영향이 더 큰 것으로 보인다.

Fig. 3에서 보면 전용면적 59 m^2과 84 m^2는 측정된 거실의 공간 체적의 차이로 인해서 그 특성은 다르게 나타나지만, 전용면적 59 m^2에서는 100 Hz 대역에서 가장 높은 음압에 나타났다. 그리고 315 Hz ~ 400 Hz 대역에서 다시 음압이 상승되는 특성이 나타났다.

전용면적 84 m^2에서도 100 Hz 대역에서 가장 높은 음압에 나타났으며, 160 Hz 대역에서 음압이 높게 나타나는 특성이 나타났다.

측정공간의 크기와 시공에 따라 차이(기포콘크리트나 마감모르타르가 측면완충재 높이를 넘어 벽면에 붙어 시공된 것)를 제외한다면, 경량충격음은 마감모르타르의 물결합재비의 비율보다는 뜬바다구조의 구조 형식과 완충재의 특성을 반영하는 것으로 사료된다.



(a) floor area of 59 m^2 for exclusive use (b) floor area of 84 m^2 for exclusive use

Fig. 4. Sound pressure level of heavy-weight floor impact sound by water to binder ration of mortar.

Table 2. Weight and natural frequency of upper layer by water to binder ratio of mortar.

Water to binder ratio (%)	Weight of light-weight concrete and mortar per unit mass (kg/m^2)	Natural frequency (Hz)	
		1st Mode	2nd Mode
52	112.1	61.9	87.5
66	108.9	62.8	88.8
72	107.7	63.1	89.3

다만 중량충격음 그 특성이 변화되었는데, Fig. 4와 같이 물결합재비가 높아지면서 저주파수 대역인 (50 ~ 80) Hz 대역에서 중량충격음 음압레벨이 높아지는 것으로 나타났다.

Table 2과 같이 완충재 동탄성계수 16.8 MN/m^3을 기준으로 0.5품 두께 40 mm 경량기포콘크리트와 물의 비중에 따라 두께 40 mm의 마감모르타르의 질량을 계산하였다. 이때, 공기량 및 물의 증발수량은 배제하였다.

1개의 완충재와 각각의 물결합재비 변화에 따라 시공하였고 전용면적도 2개의 공간에서만 실험한 한정된 조건이긴 하지만, Table 2와 같이 물결합재비가 높아지면 단위 질량이 낮아지면서 뜬바닥구조의 고유진동수의 주파수 대역이 중량충격음 주요주파수인 63 Hz 에 영향을 주고 있어 이는 음압을 상승시킬 수 있는 요인으로 추론된다. Fig. 4와 같이, 이는 실제적으로 공동주택 현장에서 물결합재비가 낮은 뜬바닥구조가 63 Hz 대역의 음압레벨을 상승되어 바닥충격음 차단성능 단일수치평가량이 높아질 수 있다.

이를 확인하기 위해, Fig. 5와 같이 중량충격음을 1/1 옥타브 밴드로 물결합재비 변화에 따른 영향을 분석하였다. 물결합재비와 63 Hz 대역의 변화가 상관관계가 가장 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 물결합재비가 높아서 완충재 상부에 올라가는 질량이 낮아지면 바닥충격음 결정주파수인 63 Hz 대역이 높아지고 이로 인해 단일수치평가량이 높게 평가되고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 시공조건에 따른 바닥충격음 영향을 분석하였다. 특히 공동주택 현장에서 통제되기 어려운 마감모르타르의 물결합재비 변화가 바닥충격음 특성에도 영향을 주는지 실험적으로 진행하였다.

본 논문의 한계로는 1개의 완충재를 활용하였고 동일한 슬래브에 벽식구조로 이뤄진 구조물에서 진

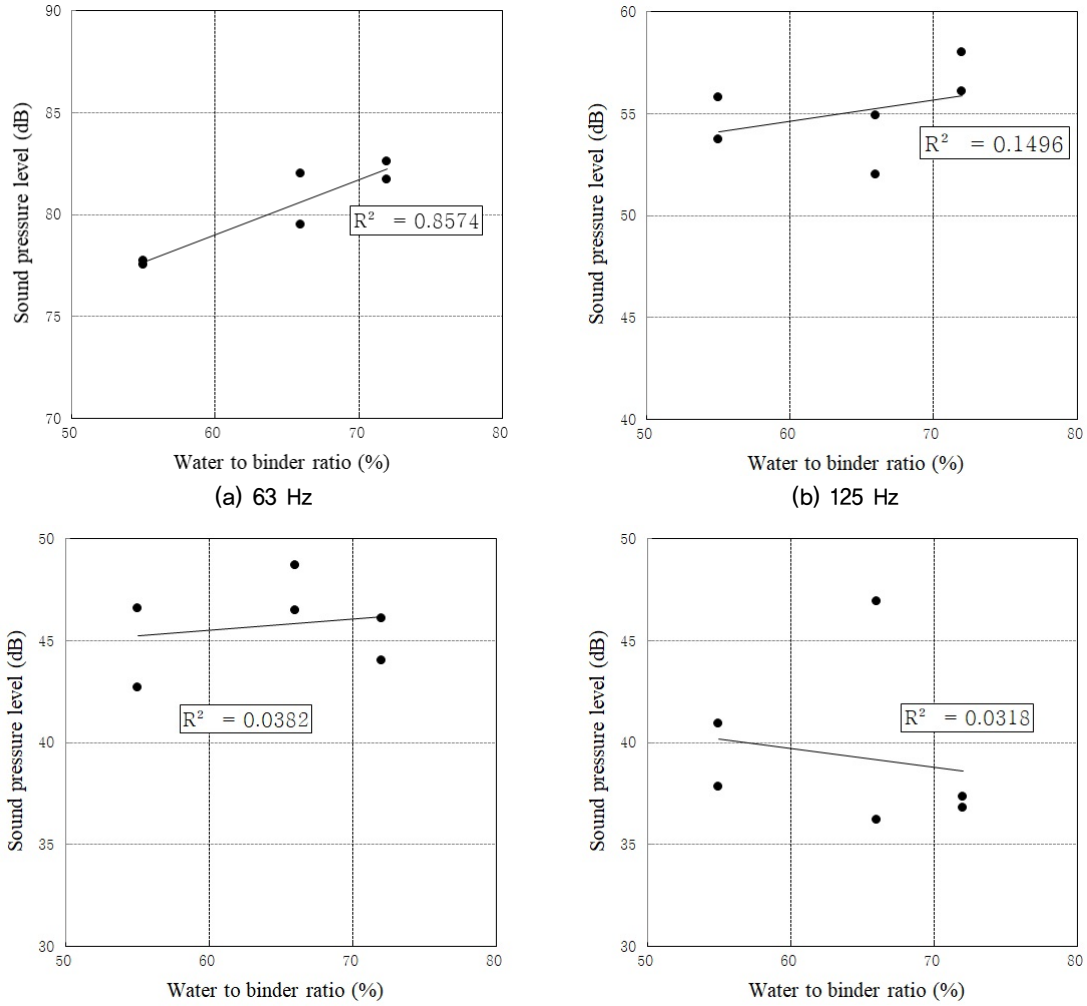


Fig. 5. Corelation of heavy-weight floor impact sound in octave band with water to binder ratio of mortar.

행하였다. 또한 평면형식도 2개의 평면에서만 진행되었다.

기포콘크리트는 0.5품과 타설두께는 통제하였지만 각 시료간 시간을 두고 실험한 것으로 약간의 시공품질 차이가 있을 수는 있다는 것이 한계점이다.

본 연구에서는 실험적으로 슬래브와 완충재, 기포콘크리트은 동일한 것으로 가정하고 시공조건의 영향요인으로 마감모르타르의 물결합재비를 변수로 하여 모르타르의 물결합재비가 바닥충격음 특성 변화에 대해 분석하였다.

본 연구를 통해 도출된 결과는 아래와 같다.

(1) 경량충격음은 물결합재비의 변화보다는 완충재와 함께 구성되는 뜬바닥구조의 구조방식에 따라 영향이 더 큰 것으로 보인다.

(2) 본 실험에서 경량충격음은 100 Hz 대역에서 가장 높은 음압이 나타났으며, 체적의 차이로 인하여 전용면적 59 m^2에서는 315 Hz ~ 400 Hz 대역에서 다시 음압이 상승되었으며, 전용면적 84 m^2에서는 160 Hz 대역에서 음압이 높게 나타나는 특성이 나타났다.

(3) 중량충격음은 물결합재비가 높아지면서 중량충격음의 단일수치평가량의 결정주파수 대역인 (50 ~ 80) Hz 대역이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

(4) 중량충격음의 경우 물결합재비가 70 % 이상인 경

우 52 % 일 때 보다 63 Hz에서 충격음 레벨이 5 dB 이상 증가되었다.

(5) 물결합재비가 완충재 상부층 질량 변화를 줌에 따라서 바닥충격음 단일수치평가량 결정주파수 대역인 63 Hz 대역의 음압을 높게 만드는 영향을 주고 있는 것을 확인하였다.

앞서 본 논문은 정형화된 실험실에서 진행된 실험이며, 다양한 변수조건 중에 완충재와 경량기포콘크리트는 일원화하여 영향이 없다고 가정하고 진행한 것으로 향후 연구로 해당 실험을 확정하여 다양한 평면과 구조형식 그리고 완충재 변화, 마감모르타르 물결합재비 변화에 따른 동특성 변화에 대해서 추가 실험 및 비교 연구를 진행할 계획이다.

References

1. Korea Environment Corporation, “Floor impact sound call center august and september,” Rep., 2018.
2. J. W. Park, G. Y. Jeong, and S. W. Kim, “Variations of subjective responses to environmental noises in apartment house” (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. **5**, 34-40 (1996).
3. H. G. Park, G. G. Song, W. S. Kim, and S. W. Kin, “Analysis of residents’ consciousness for the environmental noise in the residential area” (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. **22**,130-138 (2012).
4. K. W. Kim, G. C. Jeong, and J. Y. Sohn, “ Evaluation of the dynamic stiffness and heavy-weight floor impact sound reduction by composition of resilient materials” (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. **18**, 247-254 (2008).
5. J. S. Hwang, D. H. Moon, H. G. Park, S. G. Hong, and G. H. Hong, “The effect of dynamic property of absorbing sheet on the amplification of heavy weight floor impact noise” (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. **20**, 651-657 (2010).
6. C. H. Yoon, *An experimental study on floor impact sound insulation according to floor layers*, (Ph. D. thesis, University of Seoul, 2015).

저자 약력

▸ 이 원 학 (Won-Hak Lee)

2008년 2월 : 충북대학교 건축공학과 학사
2010년 2월 : 충북대학교 건축공학과 석사
2020년 8월 : 충북대학교 건축공학과 박사
2014년 11월 : 한국건설기술연구원
2015년 11월 ~ 현재 : 한국건설생활환경 시험연구원 선임연구원

▸ 한 찬 훈 (Chan-Hoon Haan)

1983년 2월 : 홍익대학교 건축학과 학사
1985년 2월 : 연세대학교 건축학과 석사
1994년 8월 : 시드니대학교 건축공학과 박사
1994년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 교수