

프리캐스트 콘크리트 모듈러 병동 목업의 음향성능 평가

Acoustic Performance Evaluation of Precast Concrete Modular Ward Mockup

신혜경* · 박상희* · 설욱제* · 김경우†

Hye-Kyung Shin*, Sanghee Park*, Wook-Je Seol* and Kyoung-Woo Kim†

(Received June 9, 2022 ; Revised August 31, 2022 ; Accepted September 19, 2022)

Key Words : Precast Concrete(프리캐스트 콘크리트), Modular Design(모듈러 설계), Hospital Noise(병동 소음), Acoustic Performance(음향 성능)

ABSTRACT

The hospital environment affects patient satisfaction. Excessive noise in the ward hinders patients' sleep and rest. Moreover, it affects communication between medical staff, patients, and visitors. Precast concrete modular structures have the advantage of shortening the construction period compared to reinforced concrete buildings. Owing to this advantage, modular hospitals are expected to be useful for production and supply in emergency situations such as pandemics. This study aimed to measure the floor impact and airborne transmission sounds of a precast concrete modular ward to evaluate whether they meet noise standards. Light-weight impact sounds ($L'_{n,w}$) were measured at 52 dB and 54 dB and heavy-weight impact sounds ($L'_{iA,Fmax}$) at 62.8 dB and 63.6 dB in two tested wards. The sound reduction index (R'_w) between the two rooms was 51 dB. The insulation performances of light-weight impact sound and airborne sound were found to satisfy most of the minimum standards set by countries of the European.

1. 서론

신종 코로나바이러스 감염증 팬데믹으로 집단 감염이 동시다발적으로 발생하였다. 유래 없는 감염병으로 인해 준·중환자가 급증하였으며, 치료를 위한 전담병상 확보를 위하여 행정명령(’21.9)을 시행하였다⁽¹⁾. 일일 확진자 수가 만 명대 이하로 감소하면서 코로나 19의 감염병 등급을 낮추고 일상회복을 본격화한 시기도 있었으나(’22.4), 2022년 9월 현재 하루 10만 명대의 신규 확진자수가 발생하고 있는 상태이다. 코로나와 같은 비상사태에 의료체계를 안정적으로 관리하

기 위해서는 긴급하게 투입할 수 있는 병동이 확보되어야 한다.

모듈러 건축은 구조재, 내장재, 각종 설비 등을 공장에서 제작하고, 현장에서는 최소한의 조립공정으로 완성한다⁽²⁾. 철근콘크리트 건축물에 비하여 공사기간을 약 40% 단축할 수 있어⁽³⁾ 긴급 상황시 병상 제작에서 공급까지 소요되는 기간 단축에 유리하다.

병동 환경(hospital environment)은 환자의 만족도에 영향을 미친다⁽⁴⁾. 그 중 병실에서의 과도한 소음은 환자의 수면과 휴식뿐 만 아니라 의료진, 환자, 방문자 간의 의사소통을 방해한다^(5,6). 또한 환자의 상태를 알리는 의료기기의 경고음 인식과 의료진의 업무 효

† Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Researcher
E-mail : kwmj@kict.re.kr

* Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Researcher

‡ Recommended by Editor Jung Bin Im
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

울성에도 영향을 미친다. 따라서 유럽, 미국을 포함한 여러 국가와 세계보건기구(WHO)에서는 환자의 회복을 고려한 병실 내 소음기준을 제안하고 있다^(7,8).

모듈러 건축물은 비교적 최근 적용되고 있는 공법으로 철근 콘크리트 건물에 비하여 음향성능 측정사례가 제한적이다⁽⁹⁾. 특히 최근에는 병동 목적으로 모듈러 건축물이 활용되고 있으나, 환자에게 어떠한 수준의 음향성능을 제공하는지에 대한 정보가 부족하다. 이 연구에서는 병상 부속 상황시 신속하게 공급하는 목적으로 개발하고 있는 프리캐스트 콘크리트 모듈러 병동을 대상으로 실사용에 앞서, 바닥충격음과 벽체를 통한 공기전달음을 측정하여 성능을 파악하고자 한다. 또한 유럽 국가에서 정하고 있는 병실 내 소음 기준을 만족하는지 평가하고자 한다.

2. 방 법

2.1 프리캐스트 콘크리트 모듈러 병동 개요

일반적으로 모듈러 건축물의 골조 프레임은 강재이며, 형태는 기둥과 보가 있는 박스형 골조가 사용되고 있다⁽¹⁰⁾. 그러나 이 연구에서 제안하는 프리캐스트 콘크리트 모듈러 병동은 구성 및 시공방법이 일반적인 방식과 상이하다. Fig. 1과 같이 U형 벽식 콘크리트 구조체 내부에 내장재인 인필(infill)을 결합하여 적층 후 전면 장호를 조립하는 형태이다. 구조체는

Fig. 2와 같이 6300 mm × 3290 mm × 3000 mm으로 1개의 화장실과 1개의 병실로 구성된다. 병동의 전면은 이중유리로 구성된 창호(2450 mm × 2197 mm)이며, 반대쪽에 출입문(980 mm × 2300 mm)이 위치한다. 병동은 인필 교체체를 통해 주거 또는 상업시설로 용도를 변경하여 재사용이 가능하도록 설계하였다.

목업 건물은 총 6개의 모듈 유닛으로 이루어져 있으며, 2개 층으로 적층하여 구성하였다. Fig. 3과 같이 프리캐스트 콘크리트 구조체의 바닥 슬래브 두께는 210 mm, 벽체 두께는 200 mm이다. 이때, 구조체의 압축 강도는 27 MPa, 단위 중량은 23.5 kN/m³이다. 좌우로 인접한 두 병동 사이에는 2개의 벽체가 구

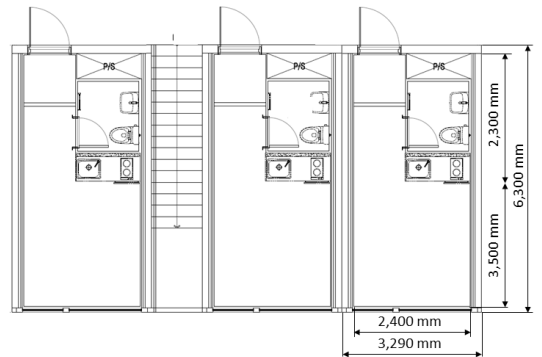


Fig. 2 Mockup building floor plan

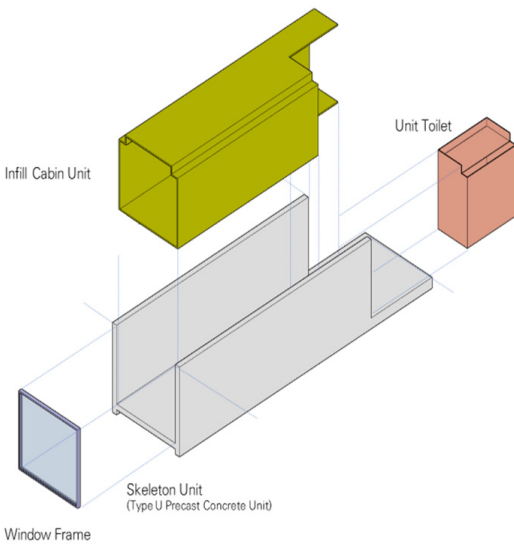


Fig. 1 Precast concrete modular ward mockup

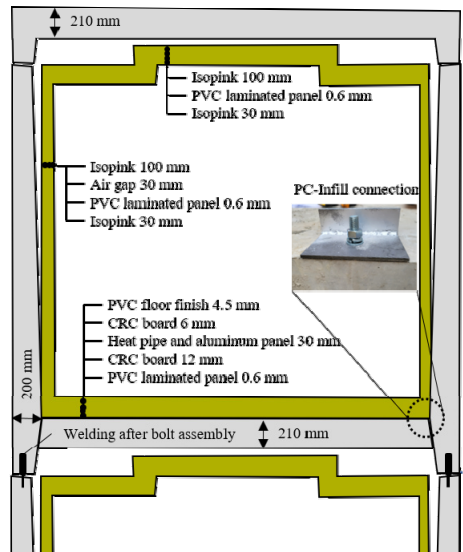


Fig. 3 Infill finishing material and structural connections

성된다. 내장재인 인필의 천장과 벽체는 라미네이트 가공된 폴리염화비닐(PVC) 단열재로 바닥은 건식난방패널, 바닥감재 등으로 마감하였다.

2.2 음향성능 측정

병동의 음향성능은 Fig. 4와 같은 위치의 2개소의 바닥충격음과 1개소의 수평 인접한 세대간의 공기전달음 차단성능을 평가하였다. 충격음 및 공기전달음 차단성능 측정은 KS F ISO 16283-1, -2⁽¹¹⁾, 단일수치평가량은 ISO 717-1⁽¹²⁾과 KS F ISO 717-2⁽¹³⁾에 따라 산출하였다.

경량충격음 충격원은 Table 1과 같이 탭핑머신(qsource, Qtap), 중량충격음 충격원은 고무공(riion, YI-01)을 활용하였다. 지면으로부터 1.2m 지점의 음압레벨을 5개의 마이크로폰(riion, UC-53)과 주파수분석기(riion, SA-02)로 측정하였다. 경량충격음은 가중 규준화 바닥 충격음 레벨($L_{n,w}$), 중량충격음은 A-가중 최대 바닥충격음 레벨($L_{iA,Fmax}$)로 나타내었다. 공기전달음 차단성능 측정시 음원실에서 순차적으로 2개 지점에서 무지향성 스피커로 백색 소음을 발생하였을 때, 음원실 및 수음실에 각각 있는 5개의 마

이크로폰의 음압레벨을 분석하였다. 벽체의 차단성능은 겉보기 음향감쇠 계수(R')와 단일수치평가량은 가중 겉보기 음향감쇠계수(R'_w)로 나타내었다.

2.3 병원 음향성능 기준

병원 소음 기준은 환자에게 정온한 환경을 제공하기 위한 실내소음 기준과 병동에서 발생하는 다양한 소음을 차단하기 위한 건축물의 소음차단 기준으로 나눌 수 있다. 국내에서 정하고 있는 병원 소음기준은 미비하여, 국외 기준을 조사하였다.

미국 환경보호국(US EPA)에서는 병동 실내 소음기준으로 낮 시간대 45 dB(L_{Aeq}), 밤 시간대 35 dB(L_{Aeq}) 이하를 권고하고 있다⁽⁸⁾. 덴마크는 병실 내부 소음 33 dB(L_{den}) 이하로, 영국은 낮 시간대 40 dB($L_{Aeq,1hr}$), 밤 시간대 35 dB($L_{Aeq,1hr}$) 및 45 dB($L_{Amax,t}$) 이하 수준을 권고한다⁽⁶⁾. 아울러 세계보건기구(WHO)에서 제안하는 병실 내 소음기준은 모든 시간대에 등가소음레벨(L_{Aeq}) 30 dB(A), 밤 시간대 최대소음레벨($L_{Amax,t}$) 40 dB(A) 이하이다⁽⁷⁾.

국제적으로 병동을 대상으로 적용하는 공통된 평가 지표와 이에 따른 평가기준은 미비하다. 그러나 주로 잔향시간, 공기 전달음 및 충격음 차단성능(경량충격음), 도로교통소음과 설비기기 소음을 차단하기 위한 기준을 정하고 있다⁽⁶⁾. 이 연구에서 대상으로 하고 있는 바닥충격음과 공기전달음 차단성능을 알아보면, 침실과 침실, 통로와 침실 사이의 차단성능 기준을 정하고 있다. 또한 수직 또는 수평으로 인접한 공간을 대상으로 한다. 유럽에서는 나라별 각기 다른 기준을 적용하고 있으나, 예로 노르웨이와 덴마크에서는 침실간 공기전달음 차단성능 기준(R'_w)은 ≥ 48 dB, 충격음 차단성능($L_{n,w}$)은 ≤ 58 dB으로 정하고 있다⁽⁶⁾.

□ Floor impact sound □ Airborne sound insulation



Fig. 4 Precast concrete modular ward mockup and acoustic performance measured position

Table 1 Experiments used in the experiment

Type	Model
Frequency analyzer	RION SA-02
Rubber ball	RION YI-01
Tapping machine	Qsource, Qtap
Microphone	Rion, UC-53

3. 결 과

3.1 바닥충격음 차단성능

모듈러 병동 mockup의 경량충격음 차단성능은 Table 2와 같다. 경량충격음 차단성능의 단일수치평가량은 1번 병실 52 dB, 2번 병실 54 dB으로 나타났다. 두 병실의 성능차이는 주로 Fig. 5과 같이 125 Hz 대역의 음압레벨에 의해 발생하는 것으로 나타났다. 중량충격음 차단성능을 Fig. 6에 나타내었다. 단일수치평가량은 1번 병실은 62.8 dB, 2번 병실은 63.6 dB로 나타났다. 두 병실간의 중량충격음 차단성능 차이는 경량

Table 2 SNQ of sound insulation performance

Type		Single number quantity	
Floor impact sound	Ward ①	Heavy-weight($L_{iA,Fmax}$)	62.8 dB
		Light-weight($L_{n,w}$)	52 dB
	Ward ②	Heavy-weight($L_{iA,Fmax}$)	63.6 dB
		Light-weight($L_{n,w}$)	54 dB
Airborne reduction index(R'_w)		51 dB	

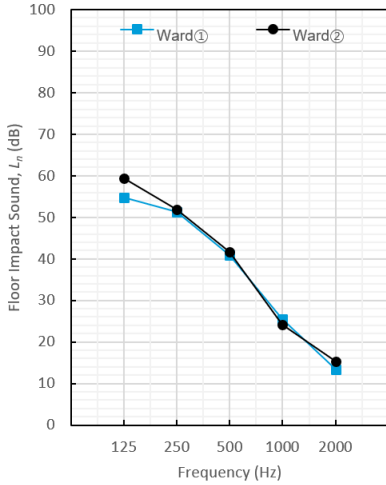


Fig. 5 Light-weight floor impact sound

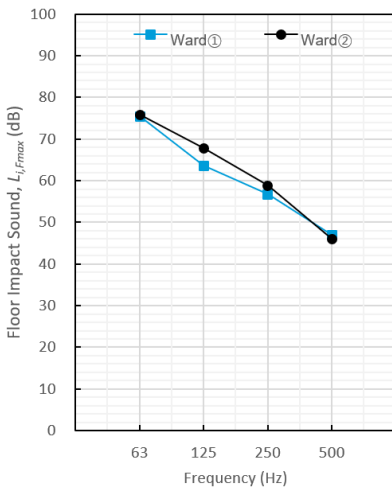


Fig. 6 Heavy-weight floor impact sound

충격음과 같이 125 Hz 대역에서 발생하였다. 건축물의 사용목적과 구조 형식은 상이하나, 슬래브 두께가 210 mm 인 벽식 철근 콘크리트 공동주택에서 측정된 중량충격음과 비교하였을 때⁽¹⁴⁾, 63 Hz와 125 Hz 대역의 음압레벨은 비슷한 수준이나, 250 Hz와 500 Hz의 음압레벨이 약 10 dB 가량 높은 것으로 나타났다.

유럽국가 정하고 있는 병동소음의 충격음 기준은 경량충격음으로, 중량충격음에 대한 기준은 미비하다. 경량충격음 규제 기준($L'_{n,w}$)이 가장 높은 나라는 이탈리아로 기준은 53 dB 이하이며, 이 연구에서 대상으로 하는 병실은 각각 52 dB, 54 dB로 기준을 일부 만족하는 것으로 나타났다.

두 개 세대의 바닥충격음 차단성능을 측정된 결과, 경량충격음과 중량충격음 모두 2번 병실이 1번 병실에 비해 성능이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 원인은 제작과정 및 시공시 발생하는 차이로 보인다. 프리캐스트 콘크리트 모듈러 건축물에서 균일한 음향성능을 확보하기 위하여 품질 및 시공 정밀도에 따른 측정 결과를 확보하여야 하며, 향후 모듈러 건축물의 음향성능 편차를 파악할 필요가 있다.

3.2 공기전달음 차단성능

수평 인접한 병실간 공기전달음 차단성능을 Fig. 7에 나타내었다. 125 Hz~250 Hz 대역에서의 차단성능은 40 dB 내외인 것으로 나타났으며, 500 Hz 이상 주파수 대역에서 주파수가 높아짐에 따라 차단성능이

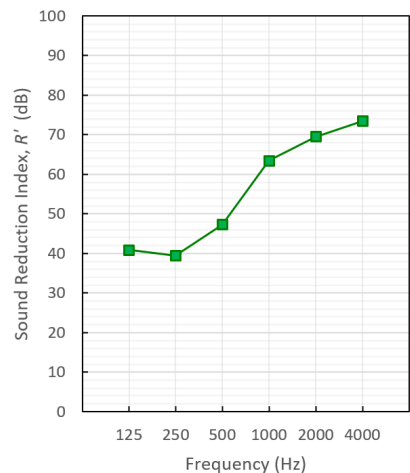


Fig. 7 Apparent sound reduction index (sound insulation) between wards

향상되는 것으로 나타났다. 단일수치 평가량(R'_w)은 51 dB으로 나타났다. 이는 유럽 국가에서 정하고 있는 공기전달음 차단성능 기준을 대부분 상회하는 수준이다.

추가적으로, 측정된 부재의 공기전달음 차단성능을 바탕으로 인접한 병실에서 사람 목소리가 발생할 때 전달되는 음압레벨을 식 (1)과 같이 산출하였다⁽¹¹⁾.

$$L_{p_2} = L_{p_1} - R' + 10 \log_{10} \left(\frac{S}{A_2} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

여기서, L_{p_1} 은 음원실에서의 음압레벨, S는 병실간 벽체의 넓이(m^2)이고, R' 은 주파수대역별 겹보기 음향감쇠계수(dB), A_2 은 수음실의 등가흡음력(m^2)이다. L_{p_1} 은 음원실에서 발생하는 소음원의 음압레벨이다.

사람 목소리는 ANSI 3.5에서 제시하는 주파수대역별 음압레벨을 적용하였으며⁽¹⁵⁾, 이때 1 m 지점에서 음압레벨은 73.7 dB(A) 정도이다. 인접한 병실 내부에서의 예측되는 소음레벨은 24.8 dB(A)으로 나타났으며, 이는 WHO에서 제안하는 등가소음레벨 기준인 30 dB(A)를 만족하는 수준으로 나타났다.

4. 토 의

이 연구는 프리캐스트 콘크리트 모듈러 공법으로 지어진 병동 목업 건물의 공기전달음 및 바닥충격음 차단성능을 측정하였다. 그리고 측정된 성능 수준을 국외 병동 소음 기준과 비교하였다.

두병동의 바닥충격음 차단성능을 측정한 결과 경량충격음과 중량충격음 모두 2번 병실이 1번 병실에 비해 경량충격음과 중량충격음 모두 성능이 열악한 것으로 나타났다. 특히 125 Hz 대역에서 음압레벨의 차이를 보였는데, 이러한 성능이 모듈러 건축물의 품질의 차이로 인한 것인지 접합부위의 시공성으로 인한 것인지 알아보기 위하여 다양한 조건에서 음향성능을 측정하여 비교할 필요가 있다.

이 연구에서 대상으로 한 병동의 바닥구조는 건식난방패널과 바닥마감재로 구성되어 있다. 바닥충격음을 저감하기 위한 완충시스템이 없음에도 불구하고 유럽 국가에서 정하고 있는 경량충격음 차단성능 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 중량충격음은 병동을 대상으로 하는 국외 기준 미비로 검토가 불가하였다. 병동 특성상 실내에 있는 시간이 길기 때문에 중량충격음이 발생하고, 이에 따른 민원이 발생할 것으로 예

상되어 이에 대한 기준이 필요한 것으로 판단된다.

중량충격음 차단성능을 향상하기 위해서는 수직 인접한 병동간의 상하 접합부 보완 방안 모색도 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해 향후 연구 수행 시 구조체 연결부위에 시공 가능한 방진시스템의 구성 및 재료에 대한 효과 검토가 필요하다. 또한 구조체 내부에 설치된 인필 모듈의 전면부는 창호으로 구성되어 있는데 구조체와 인필모듈의 접합부, 그리고 인필 모듈의 전면 창호의 접합부 및 마감에 따른 바닥충격음 저감 효과의 면밀한 검토가 필요할 것으로 보인다.

수평방향으로 인접한 병동간의 벽체를 통해 전달되는 공기전달음을 평가한 결과, 국외 기준을 대부분 만족하는 수준으로 나타났다. 이 연구에서는 수평 인접한 병동의 성능만 측정하였으나, 향후 상하층 인접 병동의 성능을 검토할 필요가 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 긴급하게 병동이 요구되는 상황에서 제작 및 공급이 용이한 프리캐스트 콘크리트 모듈러 건물을 대상으로 음향 성능을 평가하였다. 상하로 인접한 병실을 대상으로 바닥충격음 2개소를 평가한 결과, 경량충격음($L_{n,w}$)은 52 dB, 54 dB, 중량충격음($L_{iA,Fmax}$)은 62.8 dB, 63.6 dB으로 나타났다. 또한 좌우로 인접한 병동간의 벽체를 통한 공기전달음 차단 성능(R'_w)은 51 dB으로 나타났다. 이러한 측정결과를 유럽국가에서 정하고 있는 병원의 경량충격음 및 공기전달음 차단성능 최소기준을 만족하는 수준이다. 이 연구에서는 건축물의 음향 성능을 중점적으로 평가하였으나, 향후 연구에서는 실제 병동 사용시 환기 설비나 의료기기에서 발생하는 소음을 고려하여 실내 기준을 만족하는지에 대한 연구가 필요하다.

후 기

이 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 연구비지원(20220149-001)에 의해 수행되었습니다.

References

(1) Ministry of Health and Welfare, 2021, Execution of Administrative Order to Secure a Dedicated

Treatment Bed for COVID-19 in Non-metropolitan Areas, pp. 1~54.

(2) Chung, J.-S., Lim, S., Baek, C.-H. and Seol, W.-J., 2018, MC Design Standards and Practices for Design Standardization of Domestic Modular Housing, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 34, No. 4, pp. 19~25.

(3) Kamali, M. and Hewage, K., 2016, Life Cycle Performance of Modular Buildings: A Critical Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 62, pp. 1171~1183, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>.

(4) Cunha, M. and Silva, N., 2015, Hospital Noise and Patients' Wellbeing, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 171, pp. 246~251, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.117.

(5) Loupa, G., 2020, Influence of Noise on Patient Recovery, *Current Pollution Reports*, Vol. 6, pp. 1~7, doi: 10.1007/s40726-019-00134-3.

(6) Rasmussen, B., Carrascal García, T. and Secchi, S., 2021, Acoustic Regulations for Hospital Bedrooms - Comparison between Selected Countries in Europe, *Proceedings of INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference*, Washington, DC, USA.

(7) Berglund, B., Lindvall, T. and Schwela, D., 1999, Guidelines for Community Noise, *World Health Organization*, Vol. 31, No. 4, pp. 24~29, <http://multi-science.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id, doi: 10.1260/0957456001497535>.

(8) The U.S. Environmental Protection Agency Office of Noise Abatement and Control, 1974, Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety, 550/9-74-004.

(9) Lee, W., Kim, K. and Lim, S., 2012, Floor Impact Sound Characteristics of Prefabricated Housing, *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp. 707~708.

(10) Lee, S. S., Bae, K. W., and Park, K. S., 2016, Comparison of Behavior of Connections between Modular Units according to Shape of Connector Plates,

Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 28, No. 6, pp. 467~476.

(11) ISO 16283: Acoustics - Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements, 2014, Part 1: Airborne Sound Insulation, 2018, Part 2: Impact Sound Insulation.

(12) ISO 717-1:2013: Acoustics - Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - 2013, Part 1: Airborne Sound Insulation, 2013.

(13) KS F ISO 717-2: Acoustics - Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - 2020, Part 2: Impact Sound Insulation, 2020.

(14) Shin, H. K., Park, S. H., Kim, M. J. and Kim, K. W., 2022, A Study on Subjective Response to Heavy-weight Impact Sound through Representative Spectrum Analysis: A Case Study in South Korea, *Applied Acoustics*, Vol. 188, Article No. 108562, doi: 10.1016/j.apacoust. 2021.108562.

(15) ANSI/ASA S3.5-1997 (R2017), n.d., Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index, *Acoustical Society of America*, N.D.



Hye-Kyung Shin is Research Specialist at KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology). She received the M.S. degree in Dept. of architectural engineering from University of Seoul in 2015. Her research interests are architectural acoustic and environmental noise.



Kyoung-Woo Kim received Ph.D. in architecture engineering from Hanyang university in 2009. He is working at KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) as a Research Fellow. His research interests are floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.