

고무공 충격음의 최소인지한계

Just Noticeable Difference of Rubber Ball Impact Sound

정 정 호[†]
Jeong-Ho Jeong[†]

(Received February 23, 2021 ; Revised March 25, 2021 ; Accepted March 25, 2021)

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Rubber Ball Impact Sound(고무공 충격음), Just Noticeable Difference(최소인지한계), Subjective Responses(주관적 반응)

ABSTRACT

Rubber balls are used to measure the low-frequency impact sound on reinforced concrete and wooden structured apartment buildings. Previous studies on rubber ball impact sound showed that the physical properties of a rubber ball cause its impact sound to be similar to real impacts such as jumping and running of children. The rubber ball was standardized in ISO 10140-5 and ISO 16283-2, and studies on the SNQ of rubber ball were conducted. In addition, a classification on rubber ball impact sound is needed for the evaluation and labelling of low-frequency impact sounds. In this study, a subjective evaluation on the just noticeable difference (JND) of rubber ball impact sound was conducted. The presented rubber ball impact sound was recorded from wooden and reinforced concrete structures in apartment buildings. The JND of rubber ball impact sound, in which 75 % of the subjects can distinguish the loudness difference of two kinds of presented sound, was 4.65 dB for the wooden structure and 4.67 dB for the reinforced structure. On average, the JND of the rubber ball impact sound was 4.66 dB. For considering the harmonization with the classification scheme of other noise sources such as service equipment and airborne sound insulation in ISO/PRF TS 19488, a difference of 4 dB between classes is reasonable.

1. 서 론

우리나라의 바닥충격음은 맨발로 생활하는 특성으로 인해 저주파수 대역의 특성이 강한 충격음이 주로 발생하고 있다. 공동주택의 실제 바닥충격음 특성을 정확하게 측정 평가하기 위해서는 실제 충격원과 유사한 특성을 갖는 표준 충격원으로 측정하고 평가하는 것이 가장 합리적이고 실질적인 방안이다. 이를 위해 실제 우리나라

와 일본의 공동주택에서 어린이가 뛰고 달리는 특성과 유사한 특성을 갖는 것으로 알려진 고무공 충격원이 ISO 국제표준⁽¹⁻³⁾과 KS^(4,5), JIS⁽⁶⁾ 표준에 표준 충격원으로 규정되어 있다. 최근 고무공 충격음에 대한 단일 수치 평가량으로 $L_{iA, Fmax}$ 가 ISO 717-2 :2020⁽⁷⁾에 표준화되었다. 공동주택 바닥충격음 차단성능과 공기 전달음 차단성능, 건축 설비 소음에 대한 평가 등급 체계도 국제표준⁽⁸⁾으로 추진되고 있다.

공동주택의 저주파수 대역 바닥충격음 차단성능을

[†] Corresponding Author ; Member, Fire Insurers Laboratories of Korea, Researcher
E-mail : jhjeong92@gmail.com

A part of this paper was presented at the KSNVE 2020 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Byung Kwon Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

평가하는 고무공 충격음 평가 등급은 아직 표준으로 제안되지 않고 있다. 적절한 고무공 충격에 대한 평가 등급을 설정하기 위해서는 청감실험 결과를 바탕으로 실제 공동주택의 중량충격음 차단성능 실태와 기술 개발 수준 등을 종합적으로 고려하여 평가 등급 체계를 수립하여야 한다. 이와 함께 평가 등급 간격 설정도 중요한 평가 요인으로 인식되고 있다. ISO 국제표준⁽⁸⁾에서는 모든 평가 지표의 등급을 4 dB 간격을 간격으로 설정을 하고 있다. 일본건축학회⁽⁹⁾에서 권장기준으로 제안하고 있는 건축음향 평가 등급은 대부분 5 dB 간격으로 되어있다.

이에 이 연구에서는 우리나라의 철근콘크리트 구조 공동주택과 일본의 목구조 공동주택의 고무공 충격음을 대상으로 최소인지한계(JND, just noticeable difference) 실험을 진행하였다. 실험 결과는 고무공 충격음 평가 등급의 등급 사이 간격 설정 등의 참고 자료로 활용할 수 있다.

2. 기존 연구

실제 공동주택에서 발생하는 주요 충격원은 어린이가 뛰고 달리는 소음^(10,11)이 가장 많은 것으로 알려졌다. 고무공 충격원은 어린이가 뛰고 달리는 특성과 유사한 물리적, 청감적 특성을 갖고 있는 충격원으로 보고되었다⁽¹²⁾. 고무공 충격원(rubber ball)은 JIS⁽⁶⁾, KS⁽⁴⁾와 함께 시험실 및 현장에서의 바닥충격음 측정 방법 국제표준⁽¹³⁾에 heavy/soft impact source로 표준화되었다. 최근에는 현장에서의 품질관리 등을 위한 고무공 충격음 간이 측정 방법(survey method)가 표준화되고 있다⁽¹³⁾. 고무공 충격음의 단일수치평가방법(SNQ, single number quantity)을 제안하기 위하여 철근콘크리트 구조와 목구조 공동주택에서 녹음된 고무공 충격음에 대한 주관적 반응(*SD* 등)에 대한 반응과 다양한 평가 지표와의 상관성을 분석하여 $L_{iA, Fmax}$ 가 제안되었다⁽¹⁴⁾.

바닥충격음 평가 방법과 등급은 청감실험 또는 공동주택 실제 거주자의 반응에 대한 설문조사 등을 바탕으로 수립되고 있다. Kim and Jeon⁽¹⁵⁾은 실내 공간의 울림 또는 잔향시간 변화와 피험자의 소음 민감도가 고무공 충격음 반응에 미치는 영향을 조사하였다. Ryu et. al^(16,17)은 서브우퍼를 이용하여 중량충격음 재현하여 청감실험과 공기 전달음 차단성능에 대한 최

소인지한계 연구를 진행하였다.

공동주택 음향성능 표시를 위한 공기 전달음, 경량충격음, 설비소음 등에 대한 등급을 A~F등급으로 규정하는 기술시방⁽⁸⁾이 국제 표준화되고 있다. ISO/TS 19488 표준은 유럽연합 여러 국가의 성능 등급과 실제 차단성능을 종합한 연구(EU COST 0901⁽¹⁸⁾)를 기반으로 하고 있으나 고무공 충격음에 대한 평가 등급은 포함되지 않은 상태이다.

3. 고무공 충격음 최소인지한계 실험

고무공 충격음에 대한 최소인지한계 실험을 위해 바닥충격음 저감용 완충재가 설치된 우리나라의 9개 공동주택에서 고무공 충격음 음원(K1~K9)을 활용하였다. 우리나라 철근콘크리트 구조 공동주택의 고무공 충격음은 210 mm 두께의 슬래브와 20 mm, 30 mm, 60 mm 두께의 완충재가 적용된 입주전 공동주택의 거실의 중앙부의 120 cm 높이에서 monoral 방법으로 녹음되었다. 또한, 일본 목구조 공동주택에서의 바닥 충격음 연구⁽¹⁶⁾를 위해 사용한 6가지 고무공 충격음(J1~J6)도 함께 제시하였다. 일본 목구조 공동주택의 고무공 충격음은 서로 다른 저감 구조가 적용된 목구조의 목업 주택에서 녹음한 음원을 사용하였으며, 150 cm 높이에서 monoral 방법으로 녹음되었다.

고무공 충격음의 최소인지한계 실험은 청감실험 전용 부스에서 실시하였으며 실제 공동주택의 거실 조건과 유사하게 구현하기 위하여 Fig. 1과 같이 소파 탁자와 같은 거실용 가구와 TV 등을 배치한 상태로 진행하



Fig. 1 Listening test booth where JND experiment was conducted

었다. 청감실험을 시행한 청감실험 부스의 배경 소음은 약 20 dB 정도 수준이었으며 잔향시간은 500 Hz 약 0.4 s 정도였다. 고무공 충격의 최소인지한계 실험에서 저주파수 대역의 충분한 재현을 위해 서브우퍼(Genelec 7060B)를 사용했으며, 실감이 나는 재현을 위한 중고주파수 대역의 재현은 네 개의 라우드스피커(Genelec 8030)를 사용하여 고무공 충격음을 제시하였다.

고무공 충격음의 제시는 음원의 소리 크기에 따른 최소인지한계를 비교하기 위하여 10 dB 정도 소리 크기 차이가 있도록 조정하여 피험자에게 2가지 소리 크기로 제시하였다. 고무공은 충격음의 레벨 크기 변화를 평가하기 위하여 기준음원을 먼저 제시하였으며, 그런 다음 비교음원을 제시하였다. 비교음원과 기존의 소리 크기는 차이는 2 dB에서 6 dB까지 3단계적으로 변화시켜 실험을 진행하였다. 비교음원은 소리 크기를 증가(+방향), 감소(-방향)시켜 상대적인 소리 크기에 의한 영향을 배제하였다. 평가음원 제시는 무순서로 제시하여 음원 제시 순서에 의한 영향을 최소화하였다. 청감실험 진행과 피험자 응답 수집은 MEDS

2000(music experiment development system) 프로그램을 사용하여 진행하였다.

30대 ~ 50대인 28명의 피험자가 청감실험에 참여하였으며, 대부분 공동주택에 살고 있거나 살아본 경험이 있었다. 피험자 반응은 제시된 두 가지 고무공 충격음의 차이를 조사하였다. 이렇게 수집된 피험자 반응은 소리 크기가 다르다고 응답한 비율을 정답 비율로 환산하여 정리하였다.

3.1 목구조 공동주택 고무공 충격음

Table 1과 2는 일본의 목구조 공동주택과 우리나라의 철근콘크리트 구조 공동주택의 고무공 충격음에 최소인지한계 반응과 제시된 기준음원의 주파수 특성을 함께 정리한 것이다. 파란색 실선은 제시된 기준음원의 주파수 특성을 표시한 것이며, 빨간색 실선은 기준음원보다 비교음원을 크게(+방향), 작게 제시한 경우(-방향)의 피험자 반응을 나타낸 것이다. 녹색 점선은 기준음원 더 크게, 작게 제시한 경우의 피험자 반응 평균치이다. 각 제시음원 특성에 대한 JND

Table 1 Frequency characteristics of presented rubber ball impact sound from wooden structure apartment buildings and subjective responses on JND experiments

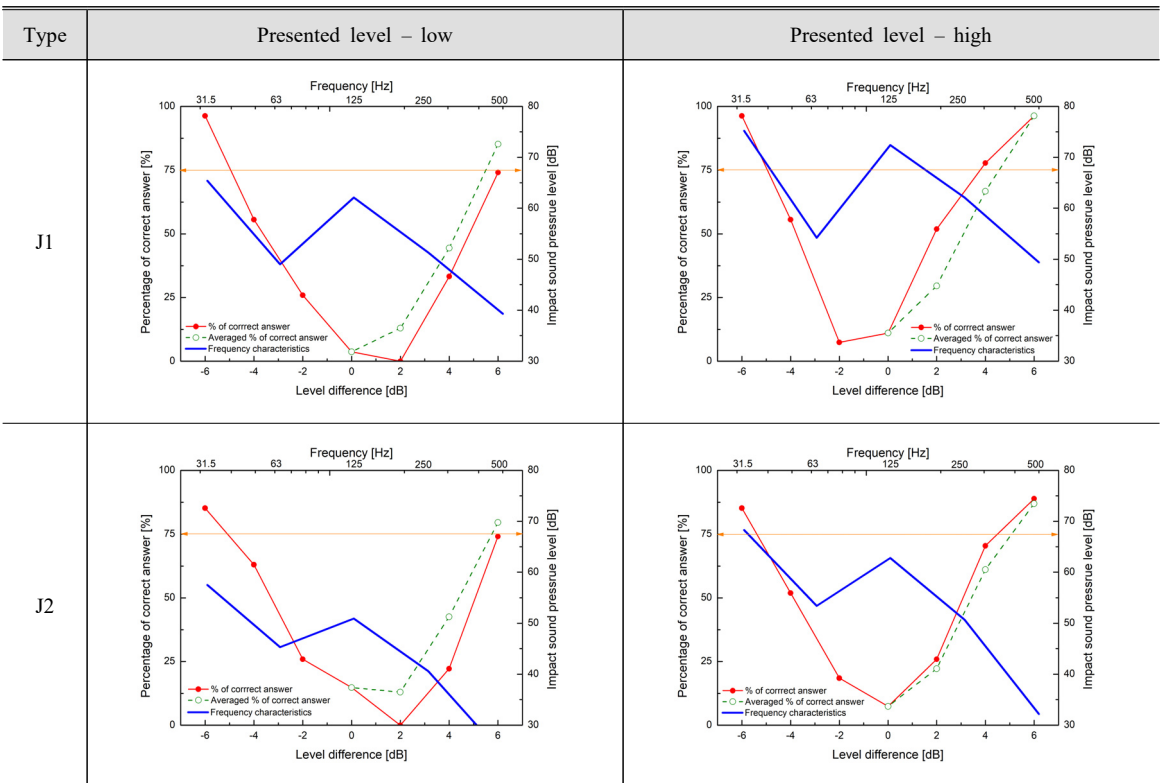
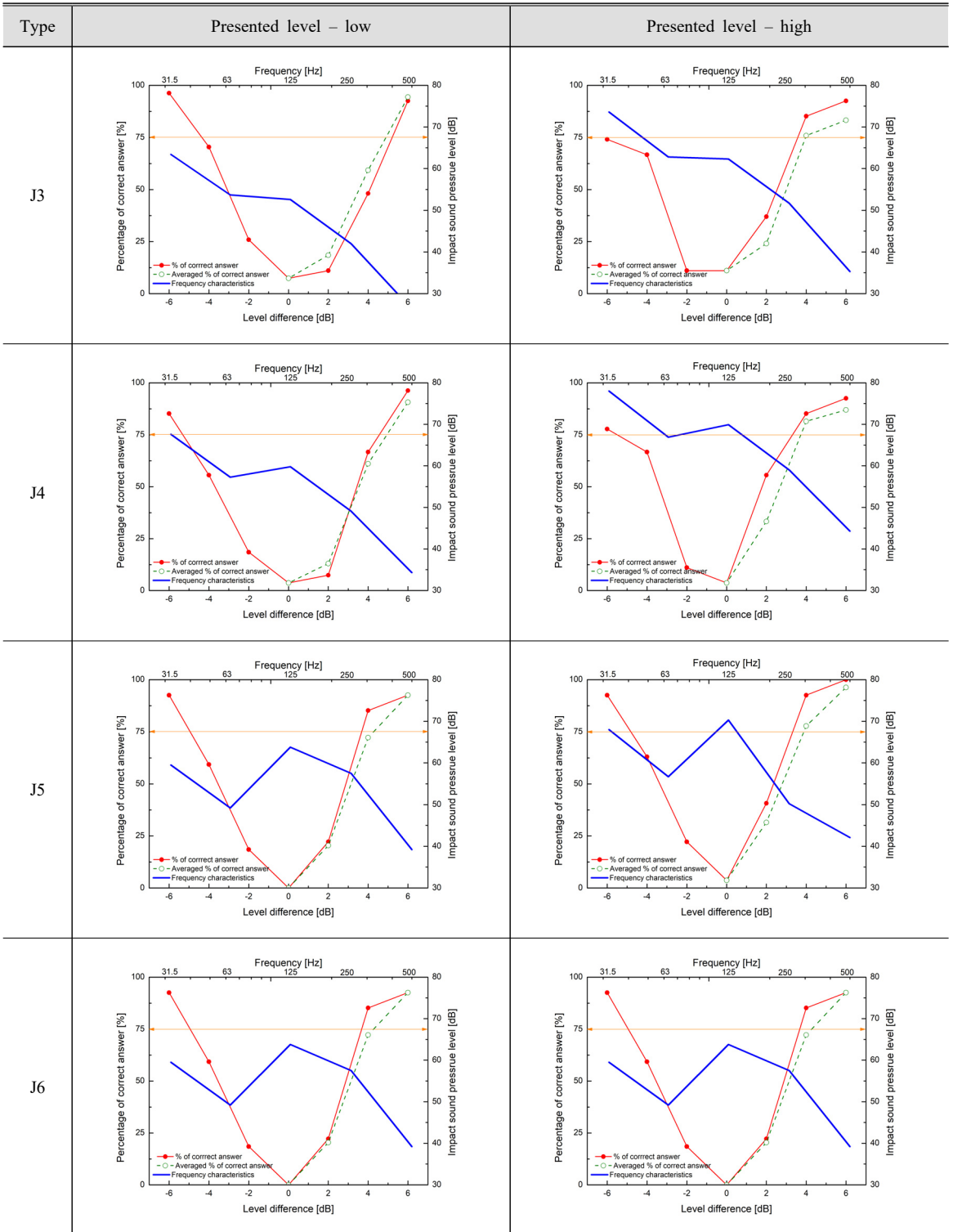


Table 1 Frequency characteristics of presented rubber ball impact sound from wooden structure apartment buildings and subjective responses on JND experiments (continue)



는 피험자의 75 %^(19,20)가 소리 크기를 인지한 레벨을 기준으로 하여 화살표로 표시하였다.

목구조 공동주택의 고무공 충격음 주파수 특성은 Table 1에서와같이 대부분 125 Hz 대역의 특성이 높은 것으로 분석되었다. Table 1의 J3 음원은 다른 목구조 공동주택의 고무공 충격음에 비하여 125 Hz 대역의 특성이 낮게 나타났다. 목구조 공동주택의 고무공 충격음 레벨이 낮게 제시된 경우(Presented level - low) 기준음원을 제시한 다음에 크기가 큰 음원을 제시한 경우와 크기가 작은 음원을 제시한 경우의 주관적 반응 차이가 J3~J6 음원은 유사하였다. 고무공 충격음 제시 레벨을 크게 한 경우(Presented level - high) 기준음원을 들려준 다음 레벨이 큰 음원을 제시한 경우 소리 크기를 구분하는 비율이 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 J3~J6 음원은 물론 J1, J2 음원에서도 확인된다. 소리 크기 차이를 75 %의 피험자가 구분하는 수준을 최소인지한계로 설정하고, 제시된 두 가지 고무공 충격음 음원의 레벨 차이를 75 %의 피험자가 구분하는 레벨을 Table 2에 정리하였다.

고무공 충격음 제시 레벨이 상대적으로 낮은 경우 비교음원의 크기가 큰 경우 소리 크기 차이를 75 %의 피험자가 구분하는 레벨의 평균은 5.04 dB, 비교음원의 크기가 작은 경우는 평균 4.95 dB이었다. 그러나, 비교음원의 크기 그룹에 따른 차이는

통계적으로 유의미하지 않은 것으로 분석되었다.

고무공 충격음 레벨을 상대적으로 크게 제시한 경우 비교음원의 크기가 큰 경우 소리 크기 차이를 75 %의 피험자가 구분하는 레벨, 즉 최소인지한계(JND)의 평균은 3.51 dB, 비교음원의 크기가 작은 경우는 평균 5.37 dB 이었다. 비교음원의 소리 크기별 최소인지한계 레벨을 통계분석(독립표본 T-검정)을 한 결과 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 비교음원으로 고무공 충격음 레벨을 크게 하여 제시한 경우 피험자가 더 민감하게 반응하여 소리 크기 차이를 잘 구분하는 것을 알 수 있다. 피험자에게 제시한 고무공 충격음의 레벨을 작게 한 경우의 최소인지한계 평균은 5.04 dB, 고무공 충격음 소리 크기를 크게 한 경우에는 4.26 dB로 피험자에게 소리를 크게 제시한 경우 소리 크기 차이를 더 잘 구분하는 것으로 나타났다. 이와 같은 제시 소리 크기별 최소인지한계 차이에 대하여 그룹 간 독립표본 T검정을 실시한 결과 Table 2에서와 같이 유의확률 0.01에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 확인되었다.

3.2 철근 콘크리트구조 공동주택 고무공 충격음

Table 3의 결과는 우리나라의 바닥충격음 저감용 완충재가 적용된 9개 철근콘크리트 구조 공동주택에

Table 2 Rubber ball impact sound pressure level on the 75 % of subjects distinguished the level difference of rubber ball impact sounds (unit: dB)

Type	Presented level - low		Presented level - high		Averaged level of both areas	
	Comparison sound source level decreased	Comparison sound source level increased	Comparison sound source level decreased	Comparison sound source level increased	Presented level - low	Presented level - high
J1	4.95	6.05	4.95	3.79	5.50	4.56
J2	5.08	6.04	5.39	4.50	5.75	5.07
J3	4.36	5.21	6.25	3.58	4.89	3.96
J4	5.31	4.56	5.50	2.95	4.94	3.73
J5	5.08	4.72	4.81	3.32	4.87	3.88
J6	4.94	3.68	5.32	2.94	4.27	4.38
Average	4.95	5.04	5.37	3.51	5.04	4.26
Difference	-0.09		1.86**		0.78**	

* significance probability 0.05, ** significance probability 0.01

의 고무공 충격음에 대한 최소인지한계 실험 결과와 제시된 기준 고무공 충격음의 주파수 특성을 함께 나타낸 것이다. Table 4는 각각의 고무공 충격음에 대한 주관적 반응을 바탕으로 피험자의 75%가 제시된 소리 크기를 구분하는 레벨을 최소인지한계로 계산하여 정리한 것이다. 철근콘크리트 구조 공동주택의 고무공 충격음 주파수 특성은 두 가지 특성으로 분류할 수 있다. 주파수 대역이 낮아짐에 따라 주파수 대역별 고무공 충격음 레벨이 증가하는 음원과, 125 Hz

대역 또는 250 Hz 대역의 레벨이 상대적으로 높은 음원(K1, K4, K8)으로 구분된다. K5 음원의 경우 고무공 충격음을 큰 레벨로 제시한 경우 기준음원 보다 +6 dB 큰 비교음원을 제시하는 조건은 실험과정에서 누락되어 비교음원의 크기를 줄여 제시한 결과로 평균값을 추정하였다. K9 음원의 경우 고무공 충격음 레벨을 크게 제시한 실험에서 기준음원보다 비교음원의 레벨을 -6 dB까지 줄여서 제시하였으나 75%의 피험자가 소리 크기를 구분하지 못하여 -4 dB과 -6 dB

Table 3 Frequency characteristics of presented rubber ball impact sound from reinforced concrete structure apartment buildings and subjective responses on JND experiments

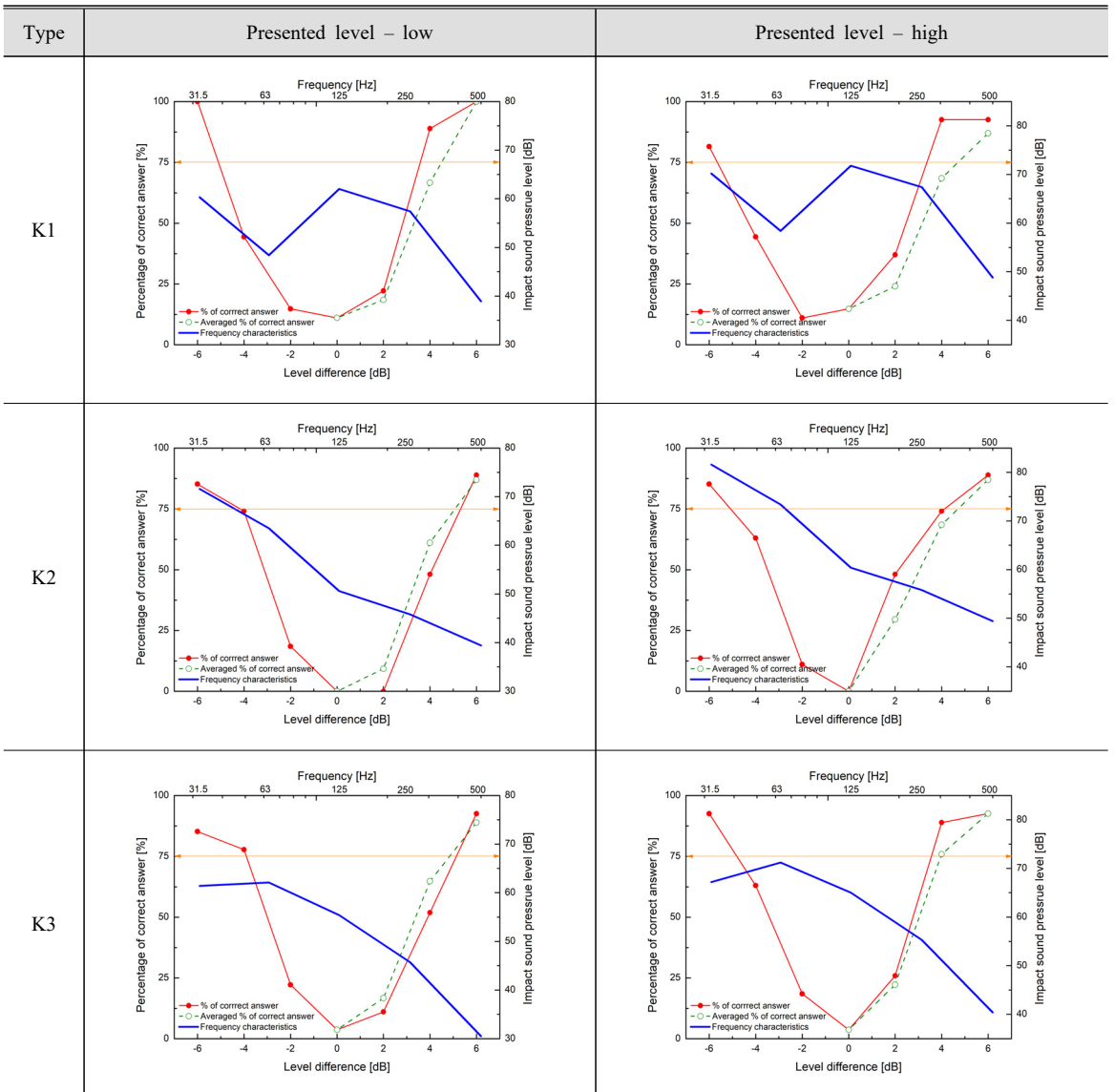


Table 3 Frequency characteristics of presented rubber ball impact sound from reinforced concrete structure apartment buildings and subjective responses on JND experiments (continue)

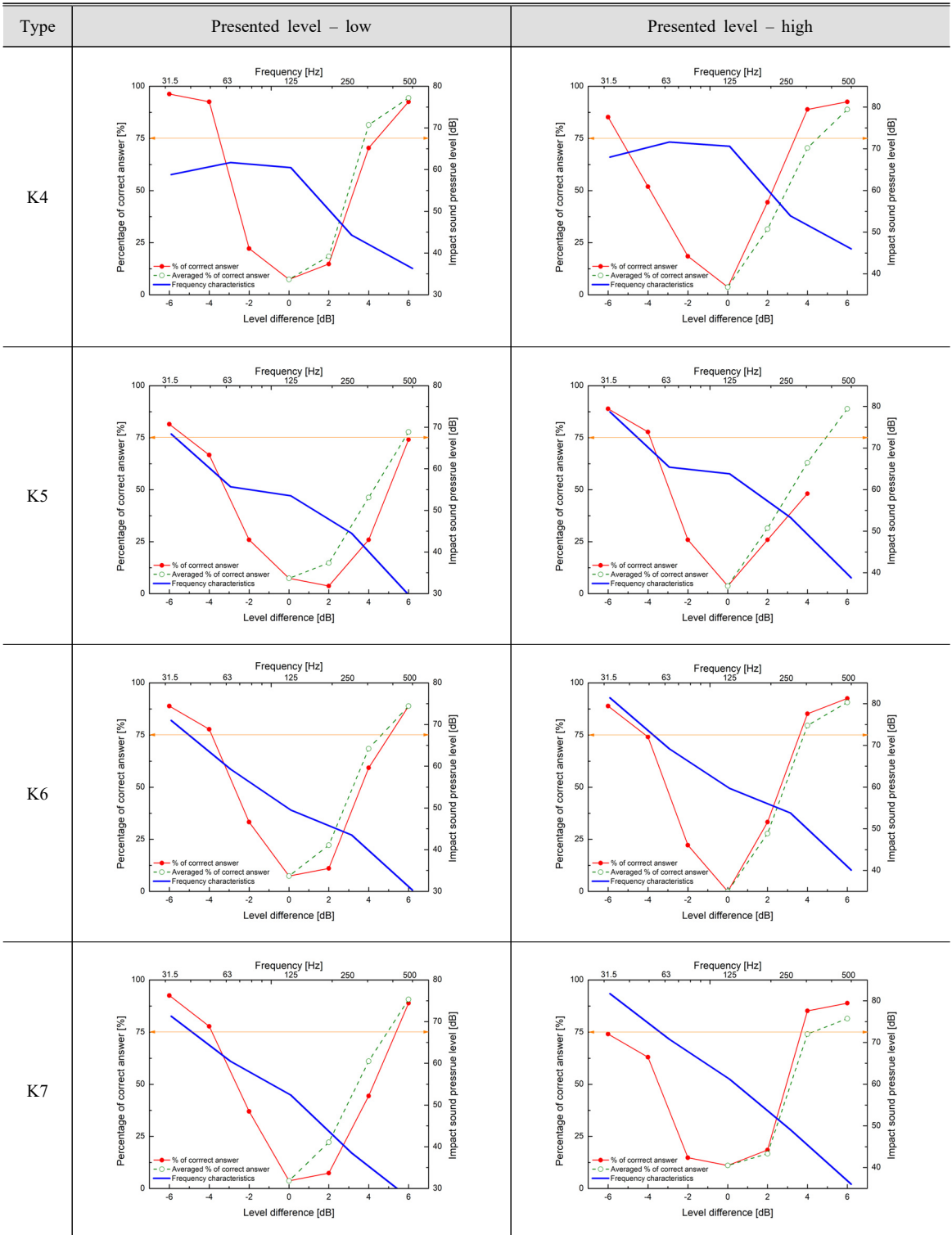


Table 3 Frequency characteristics of presented rubber ball impact sound from reinforced concrete structure apartment buildings and subjective responses on JND experiments (continue)

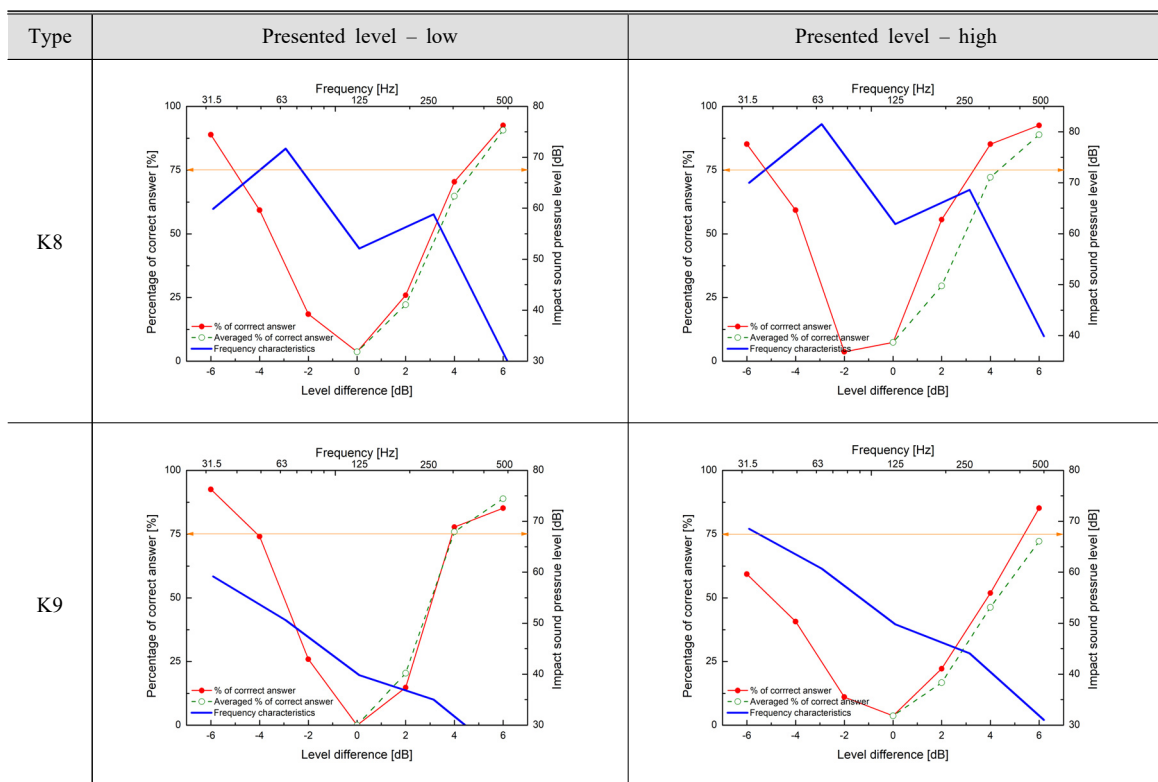


Table 4 Rubber ball impact sound pressure level on the 75 % of subjects distinguished the level difference of rubber ball impact sounds (unit: dB)

Type	Presented level – low		Presented level – high		Averaged level of both areas	
	Comparison sound source level decreased	Comparison sound source level increased	Comparison sound source level decreased	Comparison sound source level increased	Presented level – Low	Presented level – High
K1	5.10	3.54	5.65	3.37	4.50	4.70
K2	4.17	5.32	5.08	4.13	5.07	4.70
K3	3.90	5.14	4.81	3.56	4.85	3.97
K4	3.50	4.42	5.39	3.38	3.79	4.50
K5	5.13	6.04	3.89	-	5.82	4.93
K6	3.88	5.38	4.13	3.61	4.94	3.82
K7	3.86	5.38	6.17	3.69	4.94	4.25
K8	5.06	4.42	5.21	3.31	4.79	4.33
K9	4.10	3.91	(7.70)	5.39	3.97	6.21
Average	4.30	4.84	5.04	3.81	4.74	4.60
Difference	0.54		1.33**		0.14	

* significance probability 0.05, ** significance probability 0.01

구간 피험자 반응을 바탕으로 추정된 값이다. 철근콘크리트 구조 공동주택에서의 고무공 충격음 크기를 작게 제시한 조건에서 비교음원을 기준음원보다 크게 한 경우(+방향)와 작게 한 경우(-방향)의 최소인지한계의 평균은 각각 4.84 dB, 4.30 dB였으나, 철근콘크리트 구조의 고무공 충격음 실험한 결과와는 통계적으로 유의미한 차이가 있지는 않았다. 고무공 충격음 제시 레벨을 크게 한 경우 기준음원보다 비교음원을 크게 제시(+방향)한 경우의 최소인지한계 평균값(K5음원 결과 제외)은 3.81 dB, 비교음원을 작게 제시(-방향)한 경우의 최소인지한계 평균값은 5.04 dB로 나타났다. 비교음원 제시 크기에 따른 최소인지한계 차이는 통계적으로도 유의미한 것으로 분석되었다. 최소인지한계 평균값은 기준음원 크기를 작게 제시한 경우 4.74 dB, 기준음원 크기를 크게 한 경우 4.60 dB로 나타났으나, 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 분석되었다.

4. 토의 및 결론

철근콘크리트 공동주택의 고무공 충격음에 대한 최소인지한계 실험 결과와 목구조 공동주택의 고무공 충격음의 실험 결과와는 유사한 경향성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 기준음원 제시 크기와 비교음원의 크기 변화에 따라 목구조와 철근콘크리트 구조 공동주택에서의 고무공 충격음에 대한 최소인지한계 차이에 대하여 통계적으로 유의미한 차이가 있는지를 분석하였다(Table 5 참고). 기준음원 크기를 작게 제시하고 비교 음원을 기준음원에 비하여 작게 제시한 경우 목구조와 철근콘크리트 구조에서의 고무공 충격음 최소인지한계는 Table 2와 Table 4에서와같이 각각 4.30 dB, 4.95 dB였다. 두 구조형식 사이의 최소인지한계 차이는 0.65 dB였으며, 두 가지 구조형식의 음원에 대한 독립표본 T검정 수행 결과 유의확률 0.01 수준에서 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다. 나머지 실험조건에서의 두 음원 그룹 간 최소인지한계 차이는 유의확률 0.05 수준에서도 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 확인되었다.

고무공 충격음에 대한 최소인지한계 청감실험 결과 75%의 피험자가 소리 크기를 구분한 고무공 충격음 크기 차이는 4.26 dB ~ 5.02 dB 범위로 나타났다. 목구조 공동주택의 고무공 충격음의 최소인지한

Table 5 Statistical analysis results on the JND between rubber ball impact sound from wooden frame structure and reinforced concrete structure

Experimental condition		Difference between two groups
Presented level - Low	Comparison sound source level decreased	0.65*
	Comparison sound source level increased	0.20
Presented level - High	Comparison sound source level decreased	0.33
	Comparison sound source level increased	0.29
Averaged level of both areas	Presented level - Low	0.30
	Presented level - High	0.34

* significance probability 0.05,
 ** significance probability 0.01

계는 평균 4.65 dB, 철근콘크리트 구조 공동주택의 고무공 충격음 최소인지한계는 4.67 dB였다. 두 가지 구조형식의 고무공 충격음에 대한 최소인지한계의 평균은 4.66 dB이었다.

상대적으로 큰 소리 크기로 고무공 충격음을 제시한 최소인지한계 청감실험의 경우 비교음원의 소리 크기에 따른 피험자의 반응은 목구조 공동주택과 철근콘크리트 구조 공동주택의 고무공 충격음에서 모두 차이가 있는 것으로 확인되었다. 목구조 공동주택의 고무공 충격음에서는 비교음원 제시 크기에 따른 최소인지한계 차이가 더 크게 나타났다.

고무공 충격음의 최소인지한계에 대한 기존 연구⁽¹⁹⁾에서는 최소인지한계가 1.5 dB로 제시되었다. 이는 이 연구의 고무공 충격음 최소인지한계와 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 이전 연구의 청감실험은 청감실험 전용 부스에서 스테레오 다이폴 시스템과 서브우퍼를 이용하여 125 Hz 대역이 가장 높은 음압레벨을 갖는 고무공 충격음을 활용하였다. 또한, 20대~30대 피험자를 대상으로 실험하였다. 그러나 이 연구에서는 63 Hz와 31.5 Hz 대역의 충격음 레벨이 상대적으로 큰 여러 가지 고무공 충격음을 실제 공동주택 거실과 유사하게 조성된 환경에서 30대~50대 피험자를 대상으로 실험하였다. 기존 연구와 이 연구의 최소인지한

계는 고무공 충격음 주파수 특성 실험 환경에 따라 피험자가 제시된 소리에 집중하는 정도 등이 달랐기 때문으로 판단된다.

이 연구에서 제시한 고무공 충격음의 경우 저주파수 대역이 주요하여서 최소인지한계가 4 dB 보다 크게 나타났다. Jeong⁽²¹⁾의 연구에서는 고무공 충격음의 레벨 차이를 95%의 피험자가 구분하는 정도가 4 dB 정도로 나타났다. 주거용 건축물의 음향등급을 규정하고 있는 ISO/TS 19488⁽⁸⁾의 경우 중고주파수 대역과 저주파수 대역의 소음을 함께 평가하는 설비소음, 공기 전달음 차단성능 등의 등급을 모두 4 dB 간격으로 설정하고 있다.

일본건축학회의 중량충격음 권장기준⁽⁹⁾은 5 dB 간격으로 등급이 설정되어 있다. 5 dB 간격으로 평가 등급을 설정하는 경우, 더욱 명확하게 많은 사람이 소리 크기 차이를 인지할 수 있다. 그러나, 4 dB 간격으로 등급을 설정할 경우, 이 연구의 실험결과를 바탕으로 단순하게 비교하면 약 64%의 사람들이 소리 크기를 구분할 수 있는 정도이다. 설비소음과 공기 전달음 차단성능 평가 등급체계와의 일관성 등을 고려하면 4 dB 간격으로 고무공 충격음 평가 등급을 설정하는 것도 합리적인 것으로 판단된다.

References

(1) ISO 10140-3:2010 Acoustics — Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements — Part 3: Measurement of Impact Sound Insulation.

(2) ISO 10140-5:2010 Acoustics — Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements — Part 5: Requirement for Test Facilities And Equipment.

(3) ISO 16283-2:2020 Acoustics — Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements — Part 2: Impact Sound Insulation.

(4) KS F 2810-2 Field Measurements of Floor Impact Sound Insulation of Buildings — Part 2: Method Using Standard Heavy Impact Sources.

(5) KS F ISO 10140-3 Acoustics — Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Element — Part 3: Measurement of Impact Sound Insulation.

(6) JIS A 1418-2 Acoustics — Measurement of Floor Impact Sound Insulation of Buildings — Part 2: Method

Using Standard Heavy Impact Sources.

(7) ISO 717-2:2020 Acoustics — Rating of Sound Insulation in Buildings And of Building Elements — Part 2: Impact Sound Insulation.

(8) ISO/TS 19488 Acoustics — Acoustic classification of dwellings.

(9) 日本建築學會, 1997, 建築物の遮音性能基準と設計指針.

(10) Jeon, J. Y., 2001, Subjective Evaluation of Floor Impact Noise Based on the Model of ACF/IACF, Journal of Sound and Vibration, Vol. 241, No. 1, pp.147~155.

(11) Kim, S., 1989, A Study on the Evaluation of Impact Sound Insulation Performance of Floor Impact Sound Level in Apartment House, Doctoral dissertation, Seoul National University.

(12) Jeon, J. Y., Ryu, J. K., Jeong, J. H. and Tachibana, H., 2006, Review of the Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound, Acta Acustica united with ACUSTICA, Vol. 92, No. 5, pp. 777~786.

(13) ISO 10052 Acoustics — Field Measurements of Airborne and Impact Sound Insulation and of Service Equipment Sound — Survey method.

(14) Jeong, J. H., Park, S. H. and Lee, P. J. 2019, Single-number Quantities of Heavyweight Impact Sound Insulation, Acta Acustica United with Acustica, Vol. 105, No. 1, pp. 5~8.

(15) Kim, J. H., Ryu, J. K. and Jeon, J. Y., 2013, Effect of Temporal Decay on Perception of Heavy-weight Floor Impact Sounds, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 134, No. 4, pp. 2730~2738.

(16) Ryu, J., Sato, H., Kurakata, K., Hiramitsu, A., Tanaka, M. and Hirota, T., 2011, Relation Between Annoyance and Single-Number Quantities for Rating Heavy-weight Floor Impact Sound Insulation in Wooden Houses, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 129, No. 5, pp. 3047~3055.

(17) Lee, J., Kim, H. S., Ryu, J. and Kim, K., 2019, Just Noticeable Difference of SPL in Low-frequency Range for Airborne Sounds in Residential Space, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 696~704.

(18) EU Cost Action TU 0901, 2014, Building

Acoustics throughout Europe Volume 1: Towards a Common Framework in Building Acoustics throughout Europe.

(19) Jeon, J. Y., Lee, P. J., Kim, J. H. and Yoo, S. Y., 2009, Subjective Evaluation of Heavy-weight Impact Sounds in Relation to Spatial Characteristics, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 125, No. 5, pp. 2987~2994.

(20) Levitt, H. C. C. H., 1970, Transformed Up-down Methods in Psychoacoustics, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 49, No. 2, pp. 467~477.

(21) Jeong, J., 2004, Floor Impact Noise Classification Based on Subjective Evaluations and

Comparisons of Standard Impact Sources, Doctoral Dissertation, Hanyang University.



Jeong-Ho Jeong is currently a senior researcher at Fire Insurers Laboratories of Korea(FILK). He received his M.S. and Ph.D. degree in architectural engineering from Hanyang University, Korea. His research interests include standardization in the building acoustics field. Also, he has an interest in the AES(Acoustic Evacuation Signal) for fire and disaster.