



잔향실에서의 고무공 충격음 반복성 평가

Repeatability Evaluation of Rubber Ball Impact Sound in a Reverberation Chamber

정 정 호[†] · 박 정 옥^{*}
Jeong-Ho Jeong[†] and Jeong-Ok Park^{*}

(Received September 30, 2018 ; Revised September 30, 2018 ; Accepted October 23, 2018)

Key Words : Rubber Ball(고무공 충격원), Repeatability(반복성), Rubber Ball Dropping Machine(고무공 충격원 자동 낙하 장치)

ABSTRACT

Real impact sound, such as child's running and jumping in an apartment building, is best simulated using a rubber ball as this is the impact source established to be the most similar. As such, the rubber ball is the only heavy/soft impact source included the ISO standards, and a single numeric value for the rubber ball impact-sound is being standardized. However, it is necessary to check the repeatability of the results of a rubber ball drop from a 1 m height when using different operators, specifically a human operator and a rubber ball dropping machine. In this study, the repeatability of rubber ball drop-results was evaluated under reverberation conditions. Results indicated that the floor impact sound pressure level differed very little between the different operators. Testing using the rubber ball dropping machine showed that the reproducibility of the dropping machine's sound was highest in the low-frequency band, excluding the 80 Hz band. Establishing results for a human operator dropping the rubber ball proved to be useful for improving the quality of the ball-drop test in the test room, and offers the additional benefit of extensibility into the field, as a human operator is easy to move and can check the impact force exposure level of the rubber ball.

1. 서 론

고무공 충격원은 실제 공동주택에서 발생하는 충격음과 매우 유사한 충격음을 발생시키는 충격원으로 알려져 있다. 공동주택에서의 저주파수 대역 충격음 평가 등을 위한 고무공 충격원은 ISO 국제표준에 표준 중량 충격원(heavy/soft impact source)로 표준화

되어 있다. 고무공 충격원은 바닥 표면으로부터 1 m의 높이에서 시험자가 자유낙하시켜 고무공 충격음을 발생시킨다. 고무공 충격원이 시험자에 의해 낙하되므로 같은 시험자가 여러 번 낙하하는 경우와 서로 다른 시험자가 고무공을 낙하시키는 경우의 반복성에 대한 의견이 제시되고 있다.

고무공 충격원 낙하시 시험자에 의한 편차 발생을 최소화하기 위한 고무공 충격원 자동 낙하 장치를 활

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

^{*} Member, SNV Korea

A part of this paper was presented at the KSNVE 2018 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Jong Kwan Ryu

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

용하는 방안이 지속적으로 제시되었다. 이를 통해 시험자가 고무공 충격원을 낙하시키는 경우 발생하는 편차를 최소화할 수 있으며, 이를 통해 신뢰도 높은 시험 결과 도출이 가능하다. 최근 고무공 충격음 낙하 장치에 대한 특허가 등록되었으며, 이를 바탕으로 한 고무공 충격원 자동 낙하 장치가 개발되고 있다. 이 논문에서는 고무공 충격원을 고무공 충격원 자동 낙하 장치와 시험자가 낙하시키는 경우의 반복성 차이에 대하여 비교하였다.

2. 고무공 충격음 관련 기존 연구

고무공 충격원은 1990년 후반 일본에서 개발되었다. 고무공 충격원은 실제 충격음과 유사한 충격음을 발생시켜 중량 충격음 차단성능을 평가하고, 타이어와 뱀머신을 이용하여 일본의 목구조 주택의 바닥 충격음 차단성능을 측정하는 경우, 목구조 차체에 발생하는 피해를 방지하기 위해 개발되었다.

고무공 충격원 개발시 다양한 환경조건에서 사용되는 경우의 충격력 폭로 레벨의 온도 의존성을 평가하기 위한 실험 설정을 개발하여 뱀머신과 개발 중인 고무공 충격원의 특성을 비교하였다^(1,2). 또한 실제 마감이 완료된 주택에서 고무공 충격음과 뱀머신 충격음의 특성을 비교하였다⁽³⁾. 이후 온도 변화에 따른 반발계수 차이를 조사한 결과 -30 °C ~ 40 °C 범위에서는 0.02 ~ 0.01 차이가 발생되었으며^(4,5), 충격력 폭로 레벨의 차이는 63 Hz 대역에서는 최대 0.7 dB, 125 Hz 대역에서는 0.8 dB 차이가 발생하는 것으로 보고하였다⁽⁶⁾.

Hiramitsu et al.⁽⁷⁾은 바닥 구조의 충격음 차단성능을 고무공 충격원과 뱀머신으로 측정하고, 두 가지 충격원의 충격력 폭로 레벨 차이를 이용하여 충격음 레벨을 보정하는 방법을 적용하였다. Tanaka et al.⁽⁸⁾은 고무공 충격원 낙하 높이에 따른 바닥 충격음 레벨 변화를 90 cm ~ 130 cm 범위를 대상으로 측정하여 제시하였다. 이와 같은 결과를 바탕으로 고무공 충격원은 표준 중량 충격원 2로 JIS A 1418-2⁽⁹⁾에 표준화되었다.

우리나라의 고무공 충격음 관련 연구는 2000년 이후에 시작되었다. 우리나라 공동주택에서 실제 충격음과 고무공 충격음의 특성 조사 결과 125 Hz 대역의 경우 기존의 뱀머신 충격음보다 높게 나타나며⁽¹⁰⁾, 충격음 레벨 특성, 심리음향 지표 분석 및 청감실험 결과 고무공 충격음이 세 가지 표준 충격원 중에서 실

제 충격음과 가장 유사한 특성을 갖는 것으로 보고하였다⁽¹¹⁻¹³⁾. 또한 청감실험 결과 고무공 충격원은 기존의 평가 방법과는 다른 평가 방법을 적용하는 것이 합리적인 것으로 제안하였다^(14,15).

고무공 충격원은 가볍고 충격을 발생이 쉽기 때문에 현장에서의 품질 관리 등을 위한 측정 및 평가 간편법에 대한 연구 결과 중앙부 가진 - 중앙부 수음 등을 활용할 수 있는 것으로 보고하였다⁽¹⁶⁾. 고무공 충격음과 기존 뱀머신 충격음 레벨을 비교한 연구 결과 단일수치 평가량 차이가 발생되고 있어, 고무공 충격음에 맞는 측정, 평가 방법 수립을 제안하였다⁽¹⁷⁾.

Yoo et al.⁽¹⁸⁾은 고무공 충격음 측정시 수음실의 음압 레벨 분포 등을 조사한 결과, 수음실의 음장 특성 변화에 따라 단일 수치 평가량이 변화되는 것을 확인하였다. 이에 대한 대안으로 고무공 충격음 측정시 수음실 음장 보정 방법을 연구⁽¹⁹⁻²¹⁾하였으며, 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 중량 충격음 측정시 음장 보정 방법에 대한 내용이 고무공 충격음 표준화와 함께 국제 표준에 반영되었다^(22,23).

Lee et al.⁽²⁴⁾과 Ryu et al.⁽²⁵⁾은 다양한 고무공 충격원에 대한 청감실험 결과를 여러 가지 단일 수치 평가량과 비교하여 분석하였으며, 측정 및 평가 과정의 단순함 등을 고려하여 L_{Amax} , L_{Aeq} 를 제안하였다. 고무공 충격음 평가 방법 제안을 위한 대규모 청감실험 결과에서도 L_{iAmax} 가 고무공 충격음 평가 방법으로 적절한 것으로 나타났으며⁽²⁶⁻²⁸⁾, 이와 같은 결과를 국제표준으로 추진하고 있다⁽²⁹⁾.

You et al.⁽³⁰⁾은 고무공 충격음 시험에 대한 측정 불확도 모델을 제안하였으며, 고무공 충격음 시험시 낙하 방법과 반복 측정에 대한 영향을 조사하였다. 고무공 충격원은 1 m 높이에서 자유낙하시켜 충격음을 발생시키는 경우 실제 어린이가 달릴 때 발생하는 충격음 레벨과 유사하고, 고무공 충격원 낙하 높이를 20 cm ~ 30 cm에서 낙하시키는 경우 어린이가 제자리에서 뛰는 경우와 유사한 것으로 조사되었다⁽³¹⁾. 최근에는 고무공 충격음 평가 등급을 제안하기 위해 ISO/CD 19488⁽³²⁾에 제시된 평가 등급을 활용하여 고무공 충격음에 대한 등급 수립을 위한 청감실험을 수행하였다⁽³³⁾. 이상과 같이 고무공 충격음과 관련된 다양한 연구가 우리나라에서 수행되었다. 그러나 실제 고무공 충격원을 활용한 시험시 고무공 낙하 높이를 일정하게 유지하기 위한 방안에 대한 연구, 개발은 부족하였다. 또한 고무공 충격

음 시험실 시험자별 반복성 시험 결과 제시가 필요한 실정이다.

이에 이 연구에서는 고무공 낙하 높이를 일정하게 유지할 수 있는 고무공 자동 낙하 장치와 시험자별 반복성 실험을 수행하였다.

3. 고무공 충격음 반복성 실험

이 연구에서는 고무공 충격음 발생시 반복성 평가를 위해 150 mm 두께의 슬래브가 설치된 잔향실 조건에서 3명의 시험자와 고무공 충격원 자동 낙하기(Fig. 1 참고)에 대한 반복성 실험을 실시하였다.

실험에 참가한 3명의 시험자는 Table 1에서와 같이



Fig. 1 Rubber ball dropping machine

Table 1 Experience of three rubber ball impact source operators on building acoustic test field

Operator	Test experience on building acoustics	Knowledge on rubber ball impact source
A	More than 10 years	Middle
B	None	None
C	More than 10 years	Enough

고무공 충격원 낙하 경험이 많은 사람과 적은 사람으로 구성하였다. 시험자 A는 건축음향 분야 시험 경력 이 10년 이상으로 고무공 충격원에 대한 일반적인 지식이 있으며, 시험자 B는 건축음향 분야 시험 경험과 고무공 충격원에 대한 지식이 없는 상태에서 반복 시험을 진행하였다. 시험자 C는 건축음향 분야 시험, 연구 경력이 10년 이상이며, 고무공 충격원에 대한 많은 지식과 연구 경험을 갖고 있었다. 시험자가 고무공 충격원을 자유낙하시키는 경우 표준에 규정된 낙하 높이 (1 m)를 일정하게 유지하기 위한 보조 장치를 사용하여 실험을 진행하였다. 고무공 충격음 자동 낙하 장치는 Fig. 1에서와 같이 고무공을 지그로 규정된 낙하 높이로 이동시킨 후 고무공이 위치하고 있는 검은색 지그를 개방하여 바닥 표면으로 낙하시키는 방식으로 고안되었다. 바닥 표면을 충격하고 튀어 오르는 고무공은 모터 장치에 의한 아래 방향으로 신속히 이동한 지그를 원상태로 좁혀 고무공을 받을 수 있도록 구성되었다. 이와 같은 일련의 동작은 연속으로 작동 가능하지만, 이 연구에서는 1회씩만 충격할 수 있도록 설정을 변경하여 실험에 활용하였다.

고무공 충격원 반복성 실험은 상하로 연결된 잔향실에 설치된 150 mm 두께의 콘크리트 슬래브(크기 4.2 m × 3 m)를 대상으로 하였다. 상부 잔향실의 바닥을 고무공 충격원으로 충격하고, 하부 잔향실의 5개 지점에서 고정 마이크로폰 방법을 적용하여 고무공 충격음 레벨을 측정하였다. 5개 측정 지점에서 바닥면으로부터의 마이크로폰 높이는 1.2 m로 하였으며, 하부 잔향실 바닥면이 경사면으로 구성되어 있어 슬래브 하부면으로부터 마이크로폰까지의 수직 거리는 각각 다르게 배치되었다.

고무공 충격원의 반복성 평가를 위해 슬래브의 중앙 부분을 충격하였다. 3명의 시험자와 자동 낙하기 실험시 1회 충격에 대한 바닥 충격음 최대 음압 레벨 ($L_{i,Fmax}$)를 각각 10회씩 측정하였다. 5개 마이크로폰 측정한 결과는 산술평균하여 비교하였다.

4. 고무공 충격음 반복성 실험 결과

Fig. 2는 자동 낙하 장치를 이용하여 10회 측정된 결과를 나타낸 것이다. 고무공 충격원 자동 낙하 장치를 사용한 경우 10회 충격에 따른 레벨 차이는 Fig. 2에서와 같이 매우 작은 것으로 나타났다. 50 Hz ~ 80 Hz

대역의 레벨 차이는 다소 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 50 Hz ~ 80 Hz 대역의 바닥 충격음 레벨은 상대적으로 다른 대역에 비해 낮아 단일 수치 평가량 결정에는 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다.

Fig. 3 ~ Fig. 5는 3명의 시험자에 대한 10 고무공 충격 실험 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3은 시험자 A의 반복 시험 결과로 5개 마이크로폰으로 측정된 결과를 평균한 결과이다. 이때 시험자 A는 고무공 충격원의 낙하 방향을 일정하게 유지하지 않고 10회 충격하였다. Fig. 4는 건축음향 시험 경험 및 고무공 충격원에 대한 지식이 전혀 없이 처음으로 고무공 충격원을 사용한 시험자에 대한 측정 결과를 나타낸 것이다. 시험자 B의 결과는 시험자 A의 레벨 분포보다 상대적으로 좁은 분포를 갖는 것으로 나타났다. 시험자 B의 실험 결과에서 250 Hz ~ 400 Hz 대역의 레벨 차이가 다른 대역에 비하여 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

Fig. 5는 시험자 C의 반복 실험 결과를 나타낸 것이다. 시험자 C는 건축음향 분야 시험 경험이 많으며 고

무공 충격음에 대한 지식이 많은 시험자로 고무공 충격원 낙하시 일정한 높이를 유지하고 항상 일정한 방향으로 고무공 충격원이 낙하되도록 노력하였다. 3명의 시험자 중에서 가장 좁은 레벨 분포를 갖는 결과를 나타내었다. 200 Hz 대역의 경우 상대적으로 레벨 분포가 넓은 것으로 나타났으나, 다른 시험자의 분포와 비교하였을 경우 가장 좁은 레벨 분포를 갖는 것으로 판단된다.

3명의 시험자에 대한 고무공 충격원 반복 실험 결과 해당 분야의 시험 경험과 고무공 충격원에 대한 지식과 함께 고무공 충격원을 충격하는 경우 일정한 높이와 고무공 충격원의 낙하 방향을 일정하게 유지하려는 노력이 중요한 것으로 판단된다. 시험자 B의 경우에서와 같이 고무공 충격원에 대한 경험이 없어도 고무공 충격원 충격 시 주의 사항을 잘 준수하면 일정한 수준 이상의 반복성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 고무공 충격원 자동 낙하기를 사용할 경우 일정한 반복성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

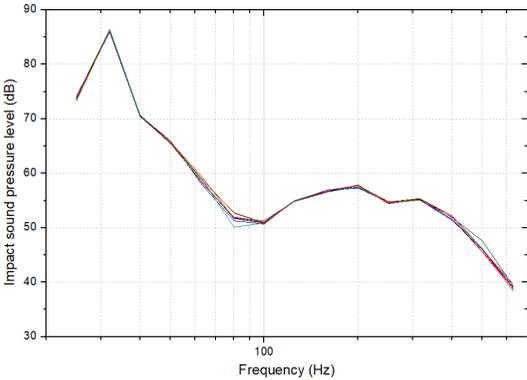


Fig. 2 10 rubber ball impact sound spectra using rubber ball dropping machine - Arithmetically averaged

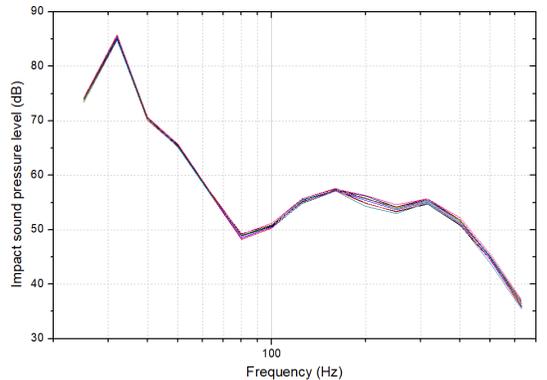


Fig. 4 10 rubber ball impact sound spectra of operator B

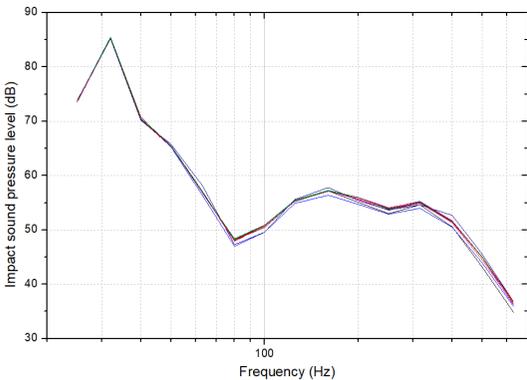


Fig. 3 10 rubber ball impact sound spectra of operator A

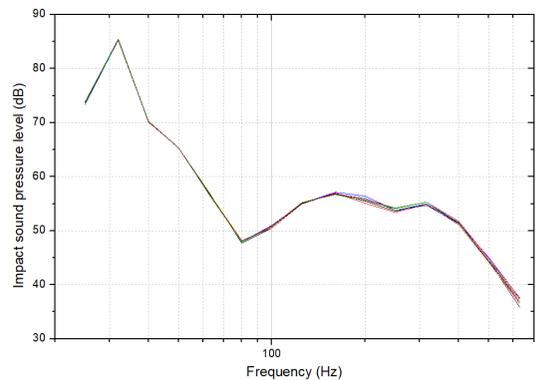


Fig. 5 10 rubber ball impact sound spectra of operator C

Fig. 6은 3명의 시험자와 자동 낙하 장치를 사용하여 측정된 10회 고무공 충격음 레벨의 평균 스펙트럼을 비교한 것이다. 3명의 시험자와 자동 낙하 장치 실험 결과의 평균 주파수 특성에 대한 상관관계 분석결과 3명의 시험자 사이의 상관계수는 $1.000^{**}(0.01$ 수준(양쪽)에서 유의)로 나타났으며, 3명의 시험자와 자동 낙하 장치 실험 결과의 주파수 특성은 0.996^{**} 으로 매우 유사한 것으로 나타났다. 자동 낙하 기계를 사용한 경우 63 Hz, 80 Hz와 200 Hz 대역의 고무공 충격음 레벨이 시험자 시험결과보다 높은 것으로 나타났다. 이는 고무공 자동 낙하 기계가 고무공 충격원 낙하 동작 이후 지그가 곧바로 되튀어 오르는 고무공 충격원을 잡기 위해 아래로 작동하는 것에 의한 영향과 시험자의 위치와 같이 슬래브에 가해지는 고정하중의 위치 차이 등에 의해 발생하는 것으로 사료된다.

Fig. 7은 3명의 시험자와 자동 낙하 기계의 반복 시

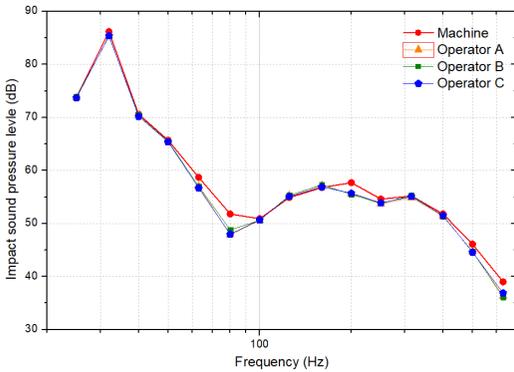


Fig. 6 Comparison of rubber ball impact sound pressure level spectrum between 3 operators and rubber ball dropping machine

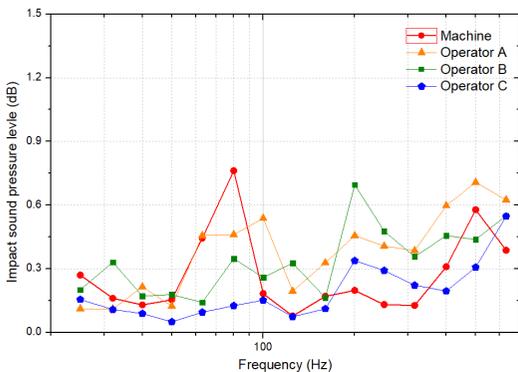


Fig. 7 Comparison of standard deviation on rubber ball impact sound pressure level between 3 operators and rubber ball dropping machine

험결과에 대한 표준편차를 각 주파수 대역별로 비교한 것이다. 주파수 대역별 표준편차 특성은 고주파수 대역으로 갈수록 표준 편차는 증가하는 경향을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 주파수 대역이 증가할수록 고무공 충격음 레벨은 낮아져 단일 수치 평가량 등에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다. 고무공 충격음 단일 수치 평가량에 주로 영향을 미치는 200 Hz 이하 대역의 반복성 실험에 대한 표준편차는 대부분 0.4 dB 이하로 나타났다.

시험자 A의 경우 고무공 충격원의 낙하 방향을 일정하게 유지하지 않아 상대적으로 다른 시험자에 비해 높은 표준편차 값을 갖는 것으로 나타났다. 고무공 충격원 자동 낙하 기계의 경우 63 Hz, 80 Hz 대역을 제외한 300 Hz 이하 대역에서 표준편차가 0.2 dB 이하로 나타났다. 63 Hz, 80 Hz 대역의 경우 시험자 실험의 결과보다 높은 표준편차를 갖는 것으로 나타났는데, 이는 고무공 자동 낙하 기계의 동작 등에 의한 영향으로 사료된다.

Table 2와 Table 3은 고무공 충격음 반복성 실험 결과에 대한 단일 수치 평가량을 계산하여 비교한 것이다. Table 2는 KS F 2863-2에 규정된 역A 특성 가중 바닥 충격음 레벨($L_{i,Fmax,AW}$)을 계산하여 비교한 것이다. Table 3은 현재 ISO/NP 717-2에 고무공 충격음의 단일 수치 평가량으로 제안된 A특성 가중 바닥 충격음 레벨($L_{i,Fmax}$)을 계산하여 나타낸 것이다.

역A 특성 가중 바닥 충격음 레벨의 경우 자동 낙하 기계를 사용한 결과를 평균한 스펙트럼은 10회 모두

Table 2 Inverse A-weighted floor impact sound pressure level on repeatability test

No.	Machine	Operator		
		A	B	C
1	51	49	50	50
2	51	50	50	50
3	51	49	50	50
4	51	50	49	50
5	51	50	50	50
6	51	50	49	50
7	51	51	49	50
8	51	50	50	50
9	51	50	51	50
10	51	50	50	50
Sdev.	0.000	0.568	0.632	0.000
Average	51.0	49.9	49.8	50.0

Table 3 A-weighted floor impact sound pressure level on repeatability test

No.	Machine	Operator		
		A	B	C
1	55	54	54	54
2	55	54	54	54
3	55	53	54	54
4	55	55	54	54
5	55	54	55	55
6	55	55	55	54
7	55	55	55	55
8	55	55	55	55
9	55	55	55	55
10	55	54	55	54
Stdev.	0.000	0.699	0.516	0.516
Average	55.0	54.4	54.6	54.4

동일한 단일 수치 평가량으로 산출되었다. 3명의 시험자 중에서 시험자 C의 실험 결과는 자동 낙하 기계의 경우와 같이 모두 동일한 단일 수치 평가량을 갖는 것으로 나타났다. 시험자 A, 시험자 B의 실험 결과에 대한 표준편차는 각각 0.568, 0.632로 나타났다. 고무공 충격음 자동 낙하 기계를 사용하여 고무공 충격원을 낙하시키는 경우 단일 수치 평가량에 대한 반복성에서도 시험자가 고무공을 낙하시키는 경우보다 다소 높은 것으로 확인되었다. 그러나 시험자의 경우 일정한 높이를 유지하고, 고무공 충격원 낙하 방향을 일정하게 유지하면 자동 낙하 장치와 유사한 수준의 재현성 확보도 가능한 것으로 판단된다.

Table 3은 A 특성 가중 바닥 충격음 레벨로 평가한 결과로 Table 2의 결과와 유사하게 고무공 충격원 자동 낙하 장치를 사용한 경우 단일 수치 평가량의 표준편차가 가장 작은 것으로 나타났다. 시험자들의 경우 낙하 높이와 방향에 주의하여 낙하시키는 경우 가장 작은 표준편차를 나타냈으며, 고무공 충격원 사용에 대한 경험이 없는 시험자의 경우도 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.

고무공 충격원 자동 낙하 장치와 시험자의 반복 측정에 대한 단일 수치 평가량 산출 결과 고무공 충격원 자동 낙하 장치와 시험자 실험 결과와의 차이는 약 1 dB 정도 발생하는 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 Fig. 8에서와 같이 역A 특성 바닥 충격음 레벨의 결정은 250 Hz, 500 Hz 대역에 의해 결정되기 때문인 것으로 판단된다. 250 Hz, 500 Hz 대역의 경우 고무공

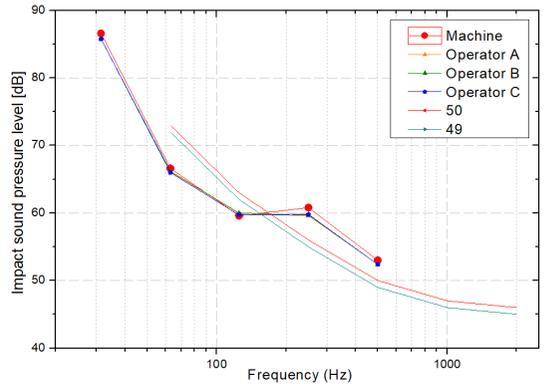


Fig. 8 Inverse A-weighted impact sound pressure level between rubber ball dropping machine and operators

작동 낙하 장치의 장치 작동으로 발생하는 소음 등에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다. 이 실험은 잔향실에 설치된 150 mm 두께의 콘크리트 슬래브를 대상으로 수행한 것으로 실제 공동주택에 시공되는 바닥 충격음 저감용 완충재, 단열층, 모르타르와 마감재가 적용되지 않았다.

Fig. 8의 고무공 충격음 스펙트럼에서 바닥 충격음 완충재, 모르타르와 마감재에 의한 충격음 저감 성능을 고려하면 250 Hz, 500 Hz 대역의 고무공 충격음 레벨은 낮아져서 단일 수치 평가량 결정에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 이와 같은 경우, 고무공 충격원 자동 낙하 장치와 시험자 사이의 레벨 차이는 낮아질 것으로 판단된다.

5. 결 론

고무공 충격원에 대한 반복성 평가 결과 시험자별 바닥충격음 레벨은 매우 유사하였으며, 시험자별 반복성은 대부분 0.5 dB 이내로 나타났다. 시험자의 숙련도, 낙하 방향 등 고무공 낙하에 대한 주의에 따라 반복성은 다소 차이가 발생되었다. 고무공 자동 낙하기를 사용한 경우 80 Hz 대역을 제외한 저주파수 대역에서는 고무공 자동 낙하기의 재현성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 고무공 낙하기의 경우 시험실 시험시 시험품질 향상에 유의할 것으로 판단되며, 고무공 충격원의 충격력 측정 등에도 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 자동 낙하기 이동이 용이한 현장 조건에서도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- (1) Abe, K., Inoue, K. and Yasuoka, M., 1999, Dependence on Temperature of Impact Force Characteristics on Standard Heavy Impact Sources: Part 1 Equipments and Techniques of Experiments, Proceedings of the Architectural Institute of Japan Autumn Conference, pp. 141~142.
- (2) Yasuoka, M., Inoue, K. and Abe, K., 1999, Dependence on Temperature of Impact Force Characteristics on Standard Heavy Impact Sources: Part 2 Study on Experimental Results, Proceedings of the Architectural Institute of Japan Autumn Conference, pp. 143~144.
- (3) Akao, S., Nakamura, T., Iwamoto, T., Yasuoka, H., Yano, H., Inoue, K. and Tachibana, H., 1999, Measurement of Floor Impact Sound Level at Completion of Dwelling. Trial Time Saving Measuring and Characteristics of Rubber Ball and Bang Machine, Proceedings of the Architectural Institute of Japan Autumn Conference, pp. 147~148.
- (4) Yasuoka, M., Nakamori, S., Tomita, R., Kise, K., Inoue, K. and Tachibana, H., 2000, Development of New Heavy Impact Source. Part 1: Points of Development and Technique of Experiments, Proceedings of the Architectural Institute of Japan Spring Conference, pp. 229~230.
- (5) Inoue, K., Yasuoka, M. and Tachibana, H., 2000, New Heavy Impact Source for the Measurement of Floor Impact Sound Insulation of Buildings, Proceedings of the Inter-Noise 2000, <http://www.conforg.fr/internoise2000/cdrom/data/articles/000579.pdf>.
- (6) Inoue, K., Kamori, S., Tomita, R., Kise, K., Tachiban, H. and Yasuoka, M., 2000, Development of New Heavy Impact Source. Part 2: Impact Force Characteristics of Impact Source, Proceedings of the Architectural Institute of Japan Spring Conference, pp. 231~232.
- (7) Hiramitsu, A., Nakamori, S., Tomita, R., Kise, K., Inoue, K., Tachibana, H. and Yasuoka, M., 2000, Development of New Heavy Impact Source. Part 3: Study on Floor Impact Sound, Proceedings of the Architectural Institute of Japan Spring Conference, pp. 233~234.
- (8) Tanaka, M. and Murakami, T., 2005, A Study on the Standardized Heavy and Soft Impact Source for the Measurement of Floor Impact Sound Pressure Level, Proceedings of the Symposium on Floor Impact Sound, Tokyo, pp. 19~24.
- (9) JIS A 1418-2:2000, Acoustics – Measurement of Floor Impact Sound Insulation of Buildings – Method Using Standard Heavy Impact Sources.
- (10) Jeong, J. H., Lee, S. C. and Jeon, J. Y., 2002, Investigating the Adequacy of Rubber Ball Impactor for Floor Impact Noise Evaluation, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 468~473.
- (11) Jeon, J. Y., Jeong, J. H. and Lee P. Y., 2005, Use of Impact Ball for Evaluation of Floor Impact Sound, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 808~811.
- (12) You, J., Lee, H. M. and Jeon, J. Y., 2006, Sound Quality Characteristics of Heavy-weight Impact Sounds Generated by Impact Ball, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 634~637.
- (13) Kim, J. H., Lee, P. J. and Jeon, J. Y., 2007, Evaluation of Heavy-weight Impact Sounds Generated by Impact Ball through Classification, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 1112~1113.
- (14) Jeong, J. H. and Jeon, J. Y., 2004, Characteristics and Subjective Responses for the Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound, Proceedings of the Architectural Institute of Korea Spring Conference, pp. 617~618.
- (15) Jeong, J. H. and Jeon, J. Y., 2005, Floor Impact Noise Measurement and Evaluation Method Using Impact Ball, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 10, pp. 1160~1168.
- (16) Kim, Y. H., Lee, S. L. and Jeon, J. Y., 2006, Simplified Method on Measurement and Evaluation of Floor Impact Sound Using Impact Ball, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 594~598.
- (17) Shin, H., Back, G. J., Song, M. J. and Jang, G. S., 2008, A Study on the Impact Sound Level Distribution of Impact Ball and Bang Machine for Introducing New Heavy-weight Impact Source, Proceedings of the KIAEBSA Autumn Conference, pp. 215~218.
- (18) Yoo, S. Y., Lee, S. Y., Jeong, Y. and Jeon, J. Y., 2006, Effects of the Sound Field Characteristics of the Receiving Room on Heavy-weight Sound Measurement Generated by Impact Ball, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 585~588.
- (19) Stefan, S., Berndt, Z. and Trevor, N., 2010, Influence of Receive Room Properties on Impact Sound

Pressure Level Measured with Heavy Impact Sources, 1st EAA – EuroRegio 2010 Congress on Sound and Vibration.

(20) Jeong, J. H., Kim, J. U. and Jeong, J. G., 2013, Floor Impact Sound Pressure Level Characteristics by the Change of Reverberation Time in a Reverberation Chamber, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 274~281.

(21) Jeong, J. H., Lee, B. K., Yeon, J. O. and Jeon, J. Y., 2014, Floor Impact Sound Pressure Level Characteristics by the Change of Reverberation Time in Mock-up Test Rooms, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 339~347.

(22) ISO 10140-3:2010, Acoustics – Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements – Part 3: Measurement of Impact Sound Insulation.

(23) ISO 16283-2:2016, Acoustics – Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Part 2: Impact Sound Insulation.

(24) Lee, P. Y., Jeong, Y. and Jeon, J. Y., 2006, Metrics for Evaluation of Heavy-weight Impact Noise Generated by Impact Ball, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 599~603.

(25) Ryu, J. K., Sato, H., Kurakata, K., Hiramitsu, A. and Hirota, T., 2011, Relation Between Annoyance and Single-number Quantities for Rating Heavy-weight Floor Impact Sound Insulation in Wooden Houses, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 129, No. 5, pp. 3047~3055.

(26) Jeong, J. H., Kim, Y. H., Ryu, J. K. and Kim, K. H., 2017, Single Number Quantity of Heavy & Soft Impact Sound, Proceedings of the Inter-Noise 2017, pp. 3814~3817.

(27) Jeong, J. H., 2017, Annoyance Evaluation of Rubber Ball Impact Sound, Proceedings of the Architectural Institute of Korea Autumn Conference, p. 591.

(28) Jeong, J. H., 2017, Comparison between Subjective Evaluation Results of Frequency Component Varied Rubber Impact Sound and Single Numerical Quantities, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 11, No. 6, pp. 517~526.

(29) ISO/NP 717-2, Acoustics – Rating of Sound Insulation in Building and Building Elements – Part 2: Impact Sound Insulation.

(30) You, J., Yoo, S. Y., Kim, Y. H. and Jeon, J. Y., 2008, Measuring Heavy-weight Impact Sound Pressure Levels Using Impact Ball, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 321~322.

(31) Lee, W. H. and Haan, C. H., 2011, Floor Impact Noise Characteristics Depending on the Experimental Conditions Using Impact Ball, Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 30, No. 2, pp. 92~99.

(32) ISO/FDIS 19488, Acoustics – Acoustic Classification of Dwellings.

(33) Jeong, J. H., 2018, Auditory Experiment for Classification Scheme on Rubber Ball Impact Sound, Proceedings of the Inter-Noise 2018, pp. 5036~5043.



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



Jeong-Ok Park is President of sound and vibration division of SNV Korea. He has lot of experience on the test equipments and facilities in building acoustics field. He made bang-machine in Korea. Nowadays, developed the idea automatic rubber ball dropping machine and made the first automatic rubber ball dropping machine.