

충간소음 평가를 위한 임팩트 볼의 활용

Use of Impact Ball for Evaluation of Floor Impact Sound

전진용† · 정정호* · 이평직**

Jin Yong Jeon, Jeong Ho Jeong, Pyoung Jik Lee

Key Words : 임팩트 볼 (Impact Ball), 충간소음 평가 (Evaluation of Floor Impact Noise)

ABSTRACT

To use the impact ball as a new standard floor impact source, the objective and subjective properties of the impact ball were investigated. The results showed that not only the objective properties of the impact ball such as the impact force exposure level, mechanical impedance but also the psychological parameters were more similar to those of the human impact than the bang machine. In addition, most of the subjects chose the impact ball sound as the most similar sound to the human impact sound in the auditory experiment.

1. 서 론

현재 국내에서 바닥충격음 차단성능 평가를 위해 사용되고 있는 표준충격원은 크게 2가지로 경량충격음 평가를 위한 tapping machine과 중량충격음 평가를 위한 bang machine이 있다. 최근 bang machine의 충격력이 실제충격원보다 63Hz에서 과도하게 높아 실제 공동주택에서 주로 문제가 되는 어린이의 뛰어나는 충격특성과 다르다는 연구결과⁽¹⁾와 더불어 표준충격원으로서의 bang machine에 대한 추가적인 검토가 이루어지고 있다.

표준 중량충격원으로서 bang machine에 대하여 유럽 등지에서는 ISO 140-11:2005 개정으로 새로운 충격원으로 규정된 modified tapping machine이 사용되고 있으며, 일본에서는 ISO 140-11과 JIS A 1418-2에 중량 표준충격원으로 명시되어 있는 impact ball의 활용도가 높아지고 있다. Impact ball은 90년대말 목구조 주택에서의 바닥충격음 측정시 구조손상을 방지하기 위하여 8세 어린이의 충격특성을 반영하여 일본에서 개발되었으며, 2000년 중량충격음을 평가하는 제2의 표준충

격원으로 JIS에 추가 규정되었다. 최근 일본에서는 중량 충격음을 평가하는 표준충격원으로서 impact ball의 비중이 점차 늘어나고 있으며, JIS 및 각종 규제상에서 impact ball의 사용이 강조되어야 한다는 주장⁽²⁾이 강하게 대두되고 있다. 또한 이러한 주장이 설득력을 얻음에 따라 impact ball은 2005년 ISO 140-11에 새로운 충격원으로서 규정되었다.

그러나 impact ball을 국내에 적용하기 위해서는 공동주택의 대부분을 차지하고 있는 철근콘크리트 벽식 구조에서 적용 가능성과 충격원에 대한 추가적인 면밀한 검토가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 중량충격음의 평가를 위한 표준충격원으로서의 적용 가능성을 살펴보기 위하여 현재 국내외에서 충격원으로 사용되고 있는 네가지 표준충격원과 실제충격음의 물리적, 심리음향학적 특성을 비교하였다. 또한 실제 공동주택에서 실제충격음과 표준충격음의 청감평가를 실시하여 impact ball에 대한 거주자들의 주관적 반응을 살펴보았다.

2. Impact Ball의 특성

JIS A 1418-2에 새로운 중량충격원으로 규정된 impact ball은 2.5 ± 0.1 kg, 지름 185mm의 실리콘 고무의 중공구 형태로 외벽의 두께는 30mm로 되어있다. Impact ball은 1m 높이에서 자유낙하 하여 바닥을 충격하며 이때 충격시간은 20ms 정도 이다. Bang machine의 경우 매 측정시 마다 타이어의 공기압 점검 및 기계장치류의 정기적인 점검 및 유지보수가 필요하지만 impact

† 한양대학교 건축대학 건축공학부, 부교수
E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

* 한양대학교 건설연구소 연구원, 공학박사

** 한양대학교 대학원, 석박사 통합과정

ball의 경우 이와 같은 절차가 필요하지 않으므로 사용 및 유지보수가 용이한 것으로 판단된다.

표 1 Impact ball I, II 비교

	Impact ball I	Impact ball II
유효질량	2.5±0.2kg	2.5±0.1kg
반발계수	0.7±0.1	0.8±0.1
직경	185mm	180mm
형태	중공구 30mm	중공구30mm
재료	SBR	Silicone Rubber

본 연구에 활용된 impact ball-II(이하 impact ball)는 2001년 일본에서 개발된 것으로, 이는 현재 JIS A 1418-2의 규격을 만족하며, 온도변화에 따라 충격력의 변화가 발생하는 것으로 나타났던 impact ball-I의 재료인 SBR (Styrene Butadiene Rubber)을 대신하여 온도 의존성이 낮은 실리콘 고무를 사용하여 개발되었다. Impact ball의 구성 재료가 변화됨에 따라 유효질량, 크기 및 반발계수 등이 다소 변화되었으며, 표 1은 두가지 impact ball의 물리적 특징을 비교한 것이다.

3. 물리적 평가

3.1 충격력 특성

이전 연구 결과⁽³⁾ 국내 공동주택에서 발생되어 문제가 되는 주된 충격음은 6~9세 어린이의 뛰고 달리는 형태로 나타났다. 따라서 실제충격원의 충격력 특성과 유사한 표준충격원을 선정하기 위해 국내외에서 충격원으로 사용되는 4가지 표준충격원과 어린이의 실제 충격원의 충격력을 측정하였다. 표준충격원은 bang machine, impact ball, tapping machine 그리고 ISO 140-11의 modified tapping machine을 대상으로 하였으며, 실제 충격원은 성인의 보행, 어린이의 30cm 높이에서의 jumping 그리고 달리기를 대상으로 하였다.

그림 1과 같이 bang machine의 충격력은 63Hz 이하 대역에서 가장 높은 충격력을 갖는 것으로 나타났으며, impact ball의 경우 어린이의 jumping을 대표하는 실제 충격원과 유사한 주파수 특성을 갖는 것으로 나타났으나, 충격력 레벨은 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 측정에 참가한 어린이의 몸무게가 6~9세 어린이의 평균 몸무게인 25kg에 못 미치기 때문인 것으로 사료된다. 또한 modified tapping machine의 주파수 특성은 실제 충격원과 유사한 것으로 나타났으나 성인의 보행보다 낮은 충격력을 갖는 것으로 나타났다.

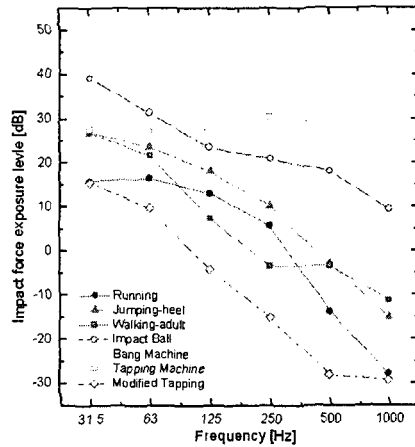


그림 1 충격력 측정 결과

3.2 임피던스 특성

표준충격원과 실제충격원의 특성을 비교하기 위하여 각 충격원에 대한 임피던스를 측정하였다. 표준충격원 측정은 bang machine 타이어, impact ball, tapping machine과 modified tapping machine을 구성하는 공기를 대상으로 실시하였으며, 실제충격원은 성인의 맨발을 대상으로 실시하였다.

임피던스는 1자유도계의 수학적 모델을 만족하는 식 1을 기준으로 계산되었다. 측정은 vibration exciter, force transducer, 가속도계를 이용하여 그림 2와 같이 실시하였으며, 성인의 발에 대한 측정은 자중의 영향을 배제하고 표준충격원의 경우와 동일 측정조건을 유지하기 위하여 피험자의 몸을 프레임에 매달아 다리를 펴고 누운 상태에서 발의 임피던스를 측정하였다.

$$k = m\omega^2 \frac{(Z - j\omega M)}{(Z - j\omega(m + M))} \quad \text{식 (1)}$$

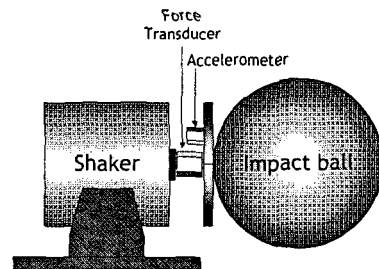


그림 2 Impact ball의 임피던스 측정

임피던스 측정결과 성인 발은 그림 3에서와 같이 약 4Hz의 고유주파수를 나타냈다. 이러한 결과는 Griffin의 Human vibration 관련 연구 결과⁽⁴⁾와 유사한 것으로 밝혀졌다. 표준충격원의 경우 impact ball은 약 17Hz,

bang machine 타이어는 약 20Hz 그리고 modified tapping은 40Hz의 고유주파수를 나타냈다. 이를 통해 각 표준충격원의 임피던스는 성인 발의 결과와 다소 차이를 나타내나, 임팩트 볼의 고유주파수와 주파수별 임피던스 레벨이 다른 표준충격원에 비해 성인 발의 특성과 보다 유사하다는 사실을 알 수 있었다.

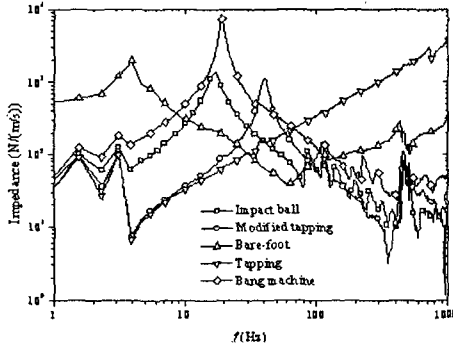


그림 4 임피던스 측정 결과

3.3 실 거주 공동주택에서의 충격음 특성

실 거주 공간에서의 실제충격음과 표준충격원에 의한 충격음의 특성을 비교하기 위하여 25kg의 몸무게를 갖는 어린이를 선정하여 공동주택에서 bang machine, impact ball 및 어린이 달리기 충격음을 측정하였다. 측정 결과 그림 2와 같이 bang machine보다는 impact ball의 주파수 특성이 어린이 달리의 주파수 특성과 더 비슷한 것으로 나타났다. 측정 결과를 역A특성가중 바닥충격음 레벨로 평가할 경우, impact ball의 충격음이 bang machine의 충격음보다 오히려 2dB 높게 평가되었다. 이와 같이 충격원에 따른 충격음의 주파수 특성의 차이가 발생하는 이유는 각 충격원의 충격력과 충격시간이 다르기 때문인 것으로 사료된다.

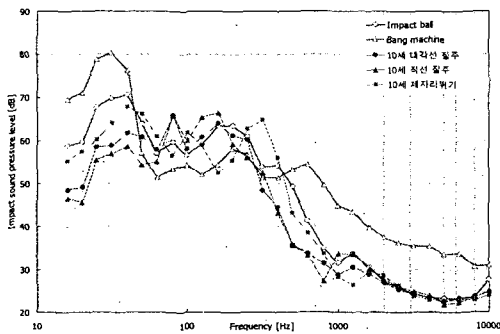


그림 4 각 충격원의 주파수 특성

3.4 심리음향 특성

(1) ACF/IACF

ACF/IACF 요소 중 바닥충격음의 주관적 반응과 상

관관계가 높은 것으로 밝혀진⁽⁵⁾ IACC 값의 변화를 3가지 표준충격원과 성인의 jumping 충격음을 대상으로 측정하였다. 그림 5와 같이 bang machine 충격음의 IACC변화는 jumping 충격음보다 IACC의 변화 폭이 크게 나타났으나, impact ball 충격음의 IACC 변화는 jumping 충격음과 유사한 것으로 나타났다.

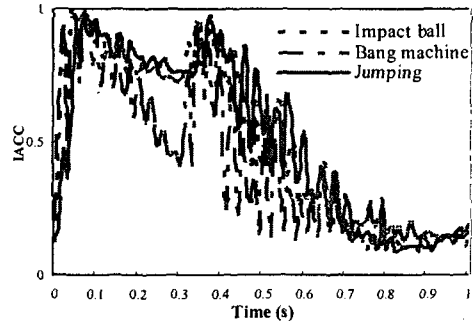


그림 5 표준충격원의 IACC 변화

(2) Zwicker 파라미터

그림 6은 26kg 어린이의 충격음 및 표준충격음의 라우드니스 특성을 bark 밴드별로 나타낸 것이다. 그림 6에서와 같이 어린이의 달리는 소음의 경우 impact ball 충격음과 유사한 것으로 나타났으나 1bark 대역에서는 impact ball 충격음이 실제충격음보다 다소 높은 것으로 나타났다. Bang machine 충격음의 경우 1-3bark 대역에서 실제충격음보다 높게 나타났으며, 1bark 대역의 경우 실제충격음보다 2배 이상 높게 나타났다. 또한 6-10bark 대역에서도 실제충격음보다 다소 높게 나타났다. 이는 바닥충격음의 주관적 반응에 가장 민감한 대역인 1bark 대역에서 bang machine이 실제충격음의 특성을 잘 반영하지 못한다는 것을 의미한다.

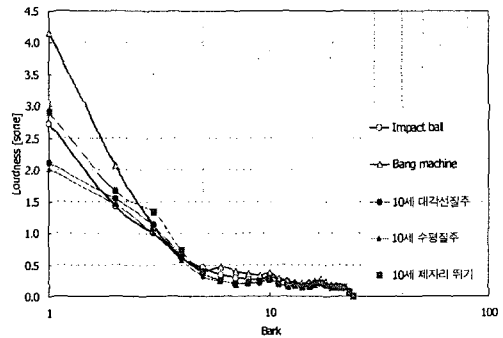


그림 6 각 충격원의 loudness 특성

4. 주관적 평가

실제충격음과 청감적으로 유사한 표준충격원을 선정

하기 위하여 26kg 10세 어린이와 5세 어린이의 다양한 충격음(제자리 뛰기, 의자에서 뛰어내리기)을 기준으로 impact ball 충격음과 bang machine 충격음 중 유사한 표준충격음을 선택하는 청감실험을 실시하였다. 청감실험은 20~30대 정상청력의 피험자 15명을 대상으로 배경소음이 낮은 청감실험 부스에서 헤드폰(Senheiser HD-600)을 사용하여 실시하였다. 청감실험 결과 impact ball이 실제충격음과 유사하다고 응답한 비율이 평균 72%로 나타났으며, 각 충격형태별로 임팩트 볼이 유사하다고 응답한 비율은 그림 7과 같다. 이는 impact ball이 물리적 특성뿐만 아니라 청감 특성 또한 실제충격원과 가장 유사하다는 것을 의미한다.

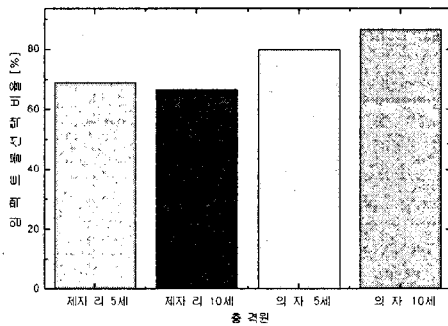


그림 7 실제충격원과 유사한 충격음으로 임팩트 볼을 선택한 비율

4. 결 론

현재 국내외에서 바닥충격음 평가를 위한 표준충격원으로는 경량충격음 평가를 위한 tapping machine과 중량충격음 평가를 위한 bang machine이 사용되고 있다. 그러나 표준 중량충격원인 bang machine은 이전 연구 결과 63Hz 이하 대역에서 과도한 충격력을 갖고 있어, 실제 충격원의 충격력 특성과 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 새로운 표준 중량충격원으로서 impact ball의 적용 가능성을 살펴보았다.

Impact ball은 어린이의 jumping을 대표하는 실제충격원과 유사한 충격력과 주파수 특성을 갖는 것으로 나타났으며 실 거주 공동주택에서의 측정에서도 동일한 결과를 보였다. 또한 임피던스 측정 결과 각 표준충격원의 임피던스는 성인 발의 결과와 다소 차이를 보이지만, impact ball의 고유주파수와 임피던스 레벨이 다른 표준충격원에 비해 성인 발의 특성과 보다 유사한 것으로 나타났다.

물리적 특성뿐만 아니라 심리음향 특성면에서도 impact ball이 bang machine에 비해 실제충격원의 특성과 보다 유사한 것으로 나타났으며, 청감실험 결과에서도 72%의 피험자가 bang machine의 충격음보다는 impact ball의 충격음이 실제 충격음에 가깝다는 반응을 보였다.

이와 같이 중량충격음의 합리적 측정, 평가 및 저감기술 개발을 위해서는 실제충격원 특성 재현성이 높은 impact ball을 활용하여 측정, 평가하는 것이 더욱 합리적인 것으로 판단된다. 그러나 충격원의 교체는 기존의 데이터를 활용할 수 없다는 문제에서부터 장기간의 측정자료의 축적, 이를 토대로 한 기준의 재설정 등 수 많은 해결사항이 주어지게 된다. 따라서 새로운 충격원의 도입을 위해서는 다량의 측정 자료 확보와 기존 충격원과의 관계 등의 연구가 선행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 “표준화 기술개발사업” (과제번호 : 10023489)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 정정호, 전진용, 2004, “바닥충격음 평가물 위한 impact ball의 특성 및 주관적 반응”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제1호, pp. 617~680.
- (2) 日本建築學會, 2005, "Symposium of the Floor Impact Sound Studies", Kenchiku Kaikan
- (3) 김경호, 전진용, 2002, “공동주택에서의 바닥충격음 인지도 분석”, 한국생활환경학회지, 제9권 제2호, pp.160~165.
- (4) M.J Griffin, 1996, "Handbook of human vibration" Academic Press
- (5) J. Y. Jeon, 2001, "Subjective evaluation of floor impact noise based on the model of ACF/IACF." Journal of Sound and Vibration, 241(1), pp. 147~155.
- (6) 김경우, 최현중, 정영선, 양관섭, 2004, “어린이 달리기와 뛰어내릴때의 충격력 특성”, 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.265~268.
- (7) J. Y. Jeon and J. H. Jeong, 2003, “Use of rubber ball impactor for floor impact noise evaluation”, Proc of WESPAC 8, CD-Rom.
- (8) J. Y. Jeon and J. H. Jeong, 2004, “The use of impact ball in evaluating floor impact sound”, Proceedings of Inter-noise 2004, CD-Rom.
- (9) H. Tachibana, H. Tanaka, M. Yasuoka and S. Kimura, 1998, “Development of new heavy and soft impact source for the assessment of floor impact sound insulation of buildings”, Proc of Inter-noise 98.
- (10) M. Yasuoka, K. Inoue and K. Abe, 1999, "Dependence on temperature of impact force characteristics in standard heavy impact sources. Part: 2 Study on experimental results," Proceedings of Architectural Institute of Japan, pp. 143~144.