

표준충격원과 실충격원의 특성 비교

Comparison of the Standard Floor Impact Source with the Human Impact Source

이평직† · 정정호* · 전진용** · 박준홍***

Pyoung Jik Lee, Jeong Ho Jeong, Jin Yong Jeon, Jun Hong Park

Key Words : 충격원 (Floor Impact Source), 기계적 임피던스 (Mechanical Impedance), 충격력 (Impact Force)

ABSTRACT

The characteristics of the standard floor impact sources and the human impact source were investigated. First, the mechanical impedance of the each source was evaluated. Second, the impact force exposure levels and impact sounds level driven by the each source were measured. The results showed that the mechanical impedance and impact force exposure level of the impact ball are the most similar to those of the human impact source among the standard impact sources.

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. Tapping machine은 여성의 하이힐 소리, bang machine은 어린이의 달리기와 jumping을 재현하기 위하여 고안되었으며 각각 JIS와 ISO에 표준충격원으로 규정되어 지금까지 가장 널리 사용되고 있다.

그러나 최근 bang machine이 실충격원의 특성과 차이가 있다는 지적이 일면서 이를 보완하기 위한 노력들이 계속적으로 이루어져왔다. 그 결과 2004년 modified tapping machine과 impact ball이 ISO 140-11:2005에 새로운 표준충격원으로 규정되었으며, 이들 새로운 충격원의 적용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

바닥충격음 차단성능 평가에 있어 표준충격원이 실충격원을 대신하기 위해서는 기본적으로 바닥구조의 차단성능 평가 결과가 동일해야 한다. 이를 위해서 표준충격원은 실충격원의 충격력과 동일한 크기와 특성을 갖도록 설계되었다. 그러나 표준충격원이 실충격원의 충격력을

재현한다 하더라도 충격원간의 임피던스 차이로 인해 구조체에 작용하는 가진력은 바닥구조에 따라 달라진다. 따라서 실충격원의 충격력 레벨과 충격력 특성을 재현하기 위해서는 실충격원과 표준충격원의 임피던스에 대한 연구가 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 국내외에서 사용되는 4가지 표준충격원과 어린이의 달리기와 jumping으로 대표되는 실충격원의 충격력과 임피던스를 측정하였으며 이를 통해 실충격원의 특성과 가장 유사한 표준충격원을 조사하였다.

2. 기계적 임피던스 (Mechanical Impedance)

임피던스는 단위 속도(v)당 힘(F)으로 정의되며, 가진력과 그에 의한 속도의 크기비 및 위상 차이를 나타낸다. 또한 계 고유의 주파수 특성을 잘 나타내주고 있다는 장점으로 인하여 해석에 많이 이용되고 있다. 즉 임피던스를 파악함으로써 임의의 외력이 주어졌을 경우 계의 전체적인 거동을 쉽게 예측할 수 있으며, 반대로 진동특성을 이용하여 외력을 알아낼 수 있기 때문이다.

표준충격원의 선정시 충격원의 기계적 임피던스는 충격력과 함께 우선적으로 고려되어 왔다. 이는 충격원과 바닥 구조체 모두 기계적 임피던스를 갖고 있고, 구조체에 작용하는 가진력은 충격원의 세기(strength)뿐만 아니라 충격원과 구조체의 임피던스 비에 큰 영향을 받기 때문이다.⁽¹⁾ 따라서 본 연구에서는 표준충격원과 실충격원의 특성을 비교하기 위하여 먼저 각 충격원에 대한 임피던스를 측정하였다.

† 한양대학교 대학원, 석박사 통합과정

E-mail : pyoungjik@daum.net

Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

* 한양대학교 건설연구소 연구원, 공학박사

** 한양대학교 건축대학, 부교수

*** 한양대학교 기계공학부 전임강사

2.1 수학적 모델

각 충격원의 임피던스는 mass-spring-mass 형태를 갖는 단자유도계의 수학적 모델을 바탕으로 다음과 같이 구할 수 있다.

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

여기서 M 은 알루미늄 판의 질량, m 과 k 는 충격원의 질량 및 강성이며 ω 는 주파수이다.

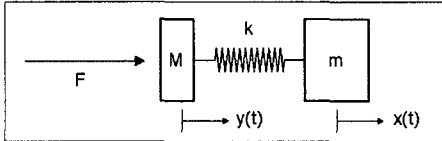


그림 1 Numerical model

2.2 측정 방법

그림 2는 임피던스의 측정을 도식적으로 나타낸 그림이다. 측정대상은 대부분 연속계에 해당하며 이 연속계에 힘을 가해서 진동을 유발시킬 경우 진동특성은 모드해석을 통해 여러 개의 1자유도계 시스템으로 분석할 수 있다. 이때 측정되는 임피던스는 이러한 1자유도계 시스템의 직렬 조합이다. 공진주파수가 서로 크게 다를 경우 임피던스의 값은 특정 주파수 영역에서는 여러 개의 1자유도계 중 단 하나의 1자유도계에 의해 결정된다. 특히 첫번째 공진주파수 근처에서는 연속계의 임피던스는 공진주파수가 $\omega_1 = \sqrt{k_1/m_1}$ (fundamental frequency) 인 1자유도계에 의해 동적특성이 결정된다. 그러나 그림 2와 같이 연속계를 가진하기 위해 외부 힘을 바로 연속계에 직접 가하면 힘이 가해지는 부분에서 연속계가 움푹 들어가는 현상에 의해 국부적인 변형이 발생하기 할 수 있다. 이 경우 측정되는 임피던스는 이러한 국부적인 변형이 발생하는 양상에 크게 영향을 받을 수 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 강성이 큰 알루미늄 판을 대상에 부착한 후 알루미늄 판에 외부 힘을 가하도록 하였다. 이러한 알루미늄 판은 충격원을 고정하는데에도 필요하다.

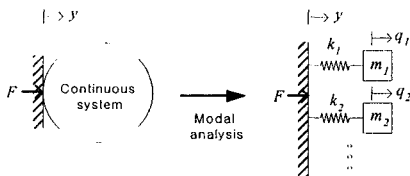


그림 2 연속계의 임피던스 측정 개요

가진에 vibration exciter, B&K Type 4809를 이용하였으며, 측정은 force transducer (PCB), 가속도계 (Endeco)를 이용하여 그림 3과 같이 실시하였다. 성인

의 발에 대한 측정은 표준충격원의 경우와 동일 측정조건을 유지하기 위하여 피험자의 몸을 프레임에 매달아 다리를 펴고 누운 상태에서 발의 임피던스를 측정하였다.

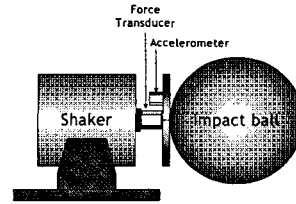


그림 3 Impact ball의 임피던스 측정

표준충격원 측정은 impact ball, bang machine 타이어, tapping machine 및 modified tapping machine을 구성하는 공이를 대상으로 실시하였으며, 실충격원은 성인의 맨발 바닥을 대상으로 실시하였다. Modified tapping machine은 ISO 140-11에 규정된 "Elastic layer under the hammers laid on the test floor"의 세부기준(Dynamic Stiffness : $34\text{MN/m}^3 \pm 10\%$, Loss Factor : 0.2)을 만족시키는 EPS 18mm 완충재(Dynamic Stiffness : 35.2MN/m^3 , Loss Factor : 0.22)를 적용하였다.

2.3 측정 결과

그림 4는 사각판에 충격원을 고정 한 후 exciter로 가진하면서 측정된 force transducer와 가속도계로부터 얻어진 임피던스이다. 이 경우 임피던스는 알루미늄 판과 충격원 임피던스의 직렬 합이다. 따라서 각각의 임피던스 중 더 큰 값에 의해 전체 임피던스가 크게 영향을 받는다. 측정되는 임피던스는 대부분 주파수와 함께 증가하다가 최대값을 나타낸 후 감소하고, 다시 최소값을 보인 후 증가한다. 처음 최대값을 보이는 부분까지는 충격원의 임피던스가 크기 때문에 나타나는 부분이다. 최소값을 보인 다음부터의 임피던스는 알루미늄 판 자체의 임피던스가 훨씬 커서 측정 대상의 임피던스에 영향을 작게 받는다. 충격원 자체의 임피던스는 측정된 임피던스로부터 알루미늄 판의 임피던스를 빼줌으로써 얻을 수 있으며, 그 결과는 그림 5와 같다.

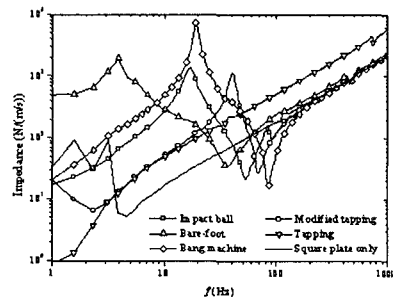


그림 4 임피던스 측정 결과

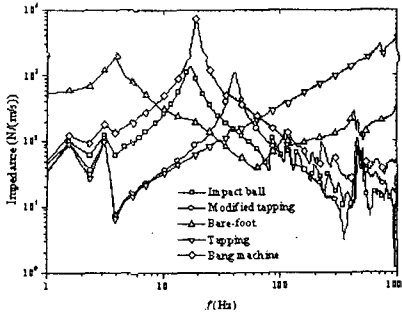


그림 5 충격원의 실제 임피던스 측정 결과

성인 발의 임피던스는 그림 5에서와 같이 약 4Hz에서 첫 번째 공진주파수를 갖는 것으로 나타나 20~50Hz의 공진주파수를 갖는 것으로 밝혀진 이전 연구결과⁽¹⁾와 큰 차이를 보였다. 그러나 Griffin의 Human vibration 관련 연구⁽²⁾ 결과 앉아있는 상태에서의 인간의 다리는 평균적으로 약 5Hz의 고유주파수를 나타내며, 다리를 뻗을 때의 결과 또한 앉아있을 때의 결과와 거의 유사한 것으로 밝혀졌다. 따라서 약 4Hz의 공진주파수를 갖는 것으로 나타난 본 연구의 측정 방법 및 결과는 타당한 것으로 사료된다.

표준충격원의 경우 impact ball은 약 17Hz, bang machine 타이어는 약 20Hz 그리고 modified tapping machine은 40Hz의 공진주파수를 나타냈으며 tapping machine은 강성이 커서 강체와 같은 특성을 보이며 공진형상은 관찰되지 않았다. 이를 통해 각 표준충격원의 임피던스는 성인 발의 결과와 다소 차이를 나타내나, 임팩트 볼의 공진주파수와 임피던스 레벨이 다른 표준충격원에 비해 성인 발의 특성과 보다 유사하다는 사실을 알 수 있었다.

Impact ball과 bang machine의 경우 두번째 및 세번째, 네번째 모드에 의한 임피던스가 각각 측정되었다. Impact ball의 경우 두번째 공진모드는 80 Hz에서 나타났으나 첫 번째 공진주파수에 비해 크기가 훨씬 작은 것을 볼 수 있다. 이를 통해 impact ball이나 bang machine이 바닥에 가진될 경우 바닥진동의 유발은 첫번째 공진모드에 의해 크게 영향을 받을 것임을 유추할 수 있다.

3. 충격력 특성

이전 연구 결과⁽³⁾ 국내 공동주택에서 발생하는 주된 충격음은 6~9세 어린이의 뛰고 달리는 형태로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 어린이의 달리기와 jumping로 대표되는 실충격원의 충격음 특성을 살펴보고 표준충격원의 충격음 레벨과 특성을 이와 비교하였다.

3.1 측정 방법

측정에는 충격력 측정장치인 PF-10, UA-06A 신호 증폭기(RION) 및 FFT Analyzer (B&K)가 사용되었다. 충격원을 충격력 센서와 동일한 높이에서 가진하기 위하여 그림 6과 같이 발판을 설치하였으며 모든 측정은 그 위에서 진행되었다.



그림 6 충격력 측정

표준충격원은 bang machine, impact ball, tapping machine 그리고 modified tapping machine을 대상으로 하였으며, 실제충격원은 성인의 보행, 어린이의 30cm 높이에서의 jumping 그리고 달리기를 대상으로 하였다.

3.2 측정결과

그림 7과 같이 bang machine은 63Hz 이하 대역에서 가장 높은 충격력을 갖는 것으로 나타났다. Impact ball의 경우 어린이의 jumping으로 대표되는 실충격원과 유사한 주파수 특성을 갖는 것으로 나타났으나, 충격력 레벨은 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 측정에 참가한 어린이의 몸무게가 20kg으로 6~9세 어린이의 평균 몸무게인 25kg에 미치지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 20~60kg의 몸무게를 갖는 어린이를 대상으로 하여 몸무게에 따라 다양한 충격력 특성 결과를 도출한 이전의 연구결과⁽⁴⁾에서도 impact ball이 실충격원의 충격력 레벨 및 주파수 특성과 가장 유사한 것을 알 수 있다. 또한 tapping machine의 충격력은 전 주파수 대역에서 동일한 충격력 레벨을 보였으며, modified tapping machine의 경우 주파수 특성은 실충격원과 유사한 것으로 나타났으나 충격력은 성인의 보행보다도 낮은 것으로 나타났다.

어린이의 충격력 측정결과 달리기와 jumping간에는 충격력 차이가 큰 것으로 나타났으며, jumping 충격력의 경우 몸무게 변화에 따라 63Hz 이하의 저주파 대역에서 다소 차이가 나타났다. 어린이의 달리의 경우 충격력은 600~800N 범위를 보였으며, jumping의 충격력은 1,000~1,600N 범위를 보였다.

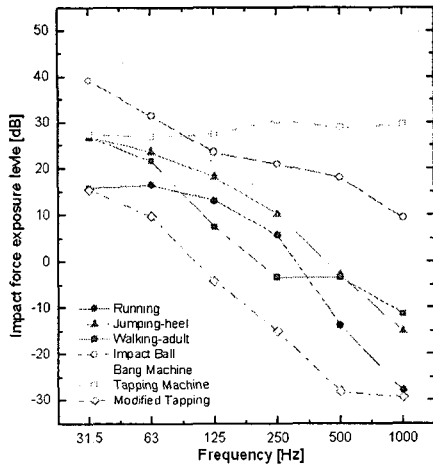


그림 7 충격력 측정 결과

5. 충격음 특성

실 거주 공간에서의 실충격원과 표준충격원에 의한 충격음 특성을 비교하기 위하여 25kg의 몸무게를 갖는 어린이를 선정하여 공동주택에서 bang machine, impact ball 및 어린이 달리기 충격음을 측정하였다. 측정 결과 그림 8과 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 2dB 높게 평가되었다. 이와 같이 충격원에 따른 충격음의 주파수 특성의 차이가 발생하는 이유는 각 충격원의 충격력과 충격시간이 다르기 때문인 것으로 사료된다.

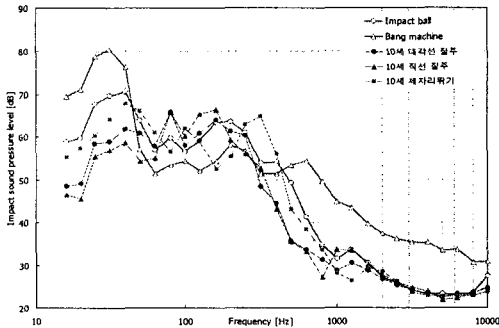


그림 8 충격음의 주파수 특성

4. 결론 및 향후 진행방향

현재 국내외에서 바닥충격음 차단성능 평가를 위해 사용되는 표준충격원이 실충격원의 특성을 얼마나 잘 재현

하고 있는지를 조사하기 위해 각 충격원의 기계적 임피던스와 충격력을 측정하였다.

임피던스 측정 결과 각 표준충격원의 임피던스는 성인 발의 결과와 다소 차이를 보이지만, impact ball의 공진 파수와 임피던스 레벨이 다른 표준충격원에 비해 성인 발의 특성과 보다 유사한 것으로 나타났다. 또한 충격력 측정 결과 impact ball은 어린이의 jumping으로 대표되는 실충격원과 유사한 충격력과 주파수 특성을 갖는 것으로 나타났으며 실 거주 공동주택에서의 충격음 측정에서도 동일한 결과를 보였다.

향후 연구에서는 각 충격원의 임피던스와 바닥구조체 임피던스간의 영향(matching, mismatching)을 조사하고, 바닥충격음의 소음 저감을 위한 대안을 살펴보고자 한다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) W. Scholl, 2001, "Impact Sound Insulation: The standard tapping machine shall learn to walk." Building Acoustics, vol 8, pp. 245~256.
- (2) M. J. Griffin, 1996, "Handbook of human vibration" Academic Press
- (3) 김경호, 전진용, 2002, "공동주택에서의 바닥충격음 인지도 분석", 한국생활환경학회지, 제9권 제2호, pp.160~165.
- (4) 김경우, 최현중, 정영선, 양관석, 2004, "어린이 달리기와 뛰어내릴때의 충격력 특성", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.265~268.
- (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) 정정호, 전진용, 2004, "바닥충격음 평가를 위한 impact ball의 특성 및 주관적 반응", 대한건축학회 학술발표 논문집, 제24권 제1호, pp. 617~680.
- (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) ISO 140-2005, "Acoustics—Measurement of sound insulation in buildings and of building elements—Part 11: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact sound by floor coverings on lightweight reference floors"