Impact Power Characteristics as Behavior of Real Impact Source (Child)

Kyoung-Woo Kim, Gyoung-Seok Choi, Young-Sun Jeong and Kwan-Seop Yang

(2005년 1월 20일 접수 : 2005년 3월 23일 심사완료)

Key Words: Floor Impact Sound, Impact Power Characteristics, Running and Jumping by Child

ABSTRACT

Impact sounds, such as those created by footsteps, the dropping of an object or the moving of furniture, can be a source of great annoyance in residential buildings. Running and jumping impact sound by child are one of the most irritating noises in an apartment buildings. It is necessary to know that the impact power characteristics of real impact source in an an apartment buildings. This study aims to investigate the impact power characteristics and impact power time of running and jumping by child. This study carried out investigation through the 159 children in school. The results of this study is that jumping impact power is greater than running impact power.

1. 서 론

건설교통부 조사에 의하면 2003.12.31 기준으로 전국의 20.5% 이상의 공동주택이 전국 총 주택 수 1,236 만 호의 52%에 달하는 총 45만 호에 이르는 것으로 나타나 주택의 일반적인 형태는 공동주택임을 알 수 있다. 공동주택은 토지의 효율적인 이용 측면에서 장점을 가지고 있으나 하나의 바닥판 및 벽으로 인접세 대를 구분하기 때문에 소음에 취약한 단점을 가지고 있다. 환경부 자료에 의하면 16개 시·도의 2003년도 소음·진동관리대책을 평가한 결과, 최근 국민이 점점 한 생활의 욕구 증가로 소음·진동민원이 2002년에 비해 20% 증가한 26,126건 발생하였으며, 지난 5년 동안 5배 이상(99년 5,102건 → 03년 26,126건) 증가하여 소음·진동으로 인한 환경문제가 더욱 심해졌다고 밝혔다. 민원이 급격하게 늘어난 이유는 생활소음 민원의 증가로 보고 있으며, 주거지역에서 발생하는 생활소음이 소음·진동 현저민원의 96.1% 차지하였다. 공동주택 내부에서 발생하는 소음은 특히 화장실 급·배수소음과 바닥충격음이 주된 소음중 하나이다. 바닥충격음은 윗세대의 바닥에 충격이 가해져 아래세대로 소음이 전달되는 과정에서 발생으로 일반적인 충격은 어린이 행위에 의해 발생되며 어른의 보행이나 물체의 이동, 낙하시 발생할 수 있다. 이러한 바닥충격음의 문제를 해결하기 위하여 완충재를 사용한 돈바닥 구조의 적용 등 해결방안 모색을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 바닥충격음의 실제 발생원으로 판단되는 어린이 행위에 대한 기본적인 조사 및 연구내용이 부족한 실정에서 바닥충격음 평가를 위하여 국외에서 제작된 충격원(bang machine, tapping machine, impact ball)을 그대로 사용하고 있다.

이 연구에서는 공동주택에서 발생 가능한 어린이 행위에 대한 충격력 특성을 조사하고 현재 사용 중인
2. 표준 충격원의 특성

KS규격에 따라 바닥충격을 평가하기 위하여 사용되는 표준충격원은 경량충격원(tapping machine)과 중량충격원(bang machine)으로 규정하고 있다. 충격원별 특성을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 경량충격원(Tapping Machine)

경량충격을 발생시키는 1932년 독일에서 개발된 것으로 중·고주파 대역의 바닥충격을 평가에 사용되어 왔다. 개발 당시에는 1.800g의 목재 해머를 이용하여 보통의 보행주기로 3cm 높이에서 낙하시켜 청감에 의한 발생을 평가에 이용하였다. KS규격에는 경량충격원은 일정한 상에 100±3mm의 간격으로 5개의 해머로 4cm 높이에서 자유낙하시켜 충격음을 발생하도록 하고 있다.

- 표준 경량충격원 사양
  - 해머질량: 500±12g
  - 낙하높이: 40mm
  - 충돌시간의 속도: 0.886±0.022 m/s
  - 타격부분의 지름: 30±0.2mm
  - 타격면: 강재, 500±100mm의 곡률반지름을 가지는 곡면
  - 1회 타격간 평균시간: 100±5ms
  - 연속 타격간 평균시간: 100±20ms

2.2 중량충격원(Bang Machine)

공동주택은 어린이들이 뛰고 달릴 때 발생하는 충격음이 문제시 되는 경우가 많아 이러한 충격음을 평가하기 위하여 1974년 일본에서는 어린이들이 뛰거나 달릴 때 발생하는 음과 같이 중격력 지속시간이 길고 큰 충격력에 대한 평가를 목적으로 타이어를 이용한 중량충격원이 제정되었다. 국내 KS 규격에는 중량충격원의 모양, 충격력, 공기압 등 충격원의 사양이 규정되어 있으며, 표준 중량충격원인 타이어의 낙하높이가 85cm 일 때의 충격력은 대략 4200 N 정도이며 충격시간은 20±2ms의 단봉형 충격력 파형을 갖는다. 또한 우타브랜드별 충격력폭포로레벨을 규정하고 있는데 31,5Hz에서 47dB, 500 Hz에서 5.5dB로 주파수 가 증가함에 따라 충격력폭포로레벨이 감소하는 형태로 규정하고 있다. 폭포로레벨은 충격원에 의한 충격력의 효과의 전 시간에 걸친 적분값을 기준 힘의 제품으로 나눈 값의 상용대수의 10배로 식 (1)에 의해 구한다.

\[
L_{FE} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{F(t)}{F_0^2} \, dt \right)
\]

- \(L_{FE}\) : 충격력 폭포로레벨(dB)
- \(F(t)\) : 충격력(N), \(F_0\) : 기준힘(1N)
- \(t_2-t_1\) : 충격원에 의한 충격시간을 포함하는 시간(s)
- \(T_0\) : 기준시간(1s)

- 표준 중량충격원 사양
  - 타이어의 접하는 부분의 곡률반지름: 90~250mm의 분록 곡면

Fig. 1 Standard impact source

(a) Bang machine
(b) Tapping machine

Fig. 2 Impact power graph of bang machine
(dropping height: 85 cm)
Table 1 Impact power exposure level(bang machine)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Octave band center frequency (Hz)</th>
<th>Octave band impact power exposure level (dB)</th>
<th>Variation (dB)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>31.5</td>
<td>47.0</td>
<td>±1.0</td>
</tr>
<tr>
<td>63</td>
<td>40.0</td>
<td>±1.5</td>
</tr>
<tr>
<td>125</td>
<td>22.0</td>
<td>±1.5</td>
</tr>
<tr>
<td>250</td>
<td>11.5</td>
<td>±2.0</td>
</tr>
<tr>
<td>500</td>
<td>5.5</td>
<td>±2.0</td>
</tr>
</tbody>
</table>

- 낙하높이 : 0.85 m
- 바닥면의 접촉면적 : 250 cm² 이하
- 공기압 : (2.4 ± 0.2)×10⁶ Pa
- 유효질량 : 7.3 ± 0.2 kg
- 반발력계 : 0.8 ± 0.1
- 충격시간 : 20 ± 2 ms
- 충격력 : 약 4200 N

2.3 중량충격원(Impact Ball)

Impact ball은 목구조물이 많은 일본에서 구조체 영향을 주지 않도록 목적으로 bang machine보다 충격력이 낮은 충격원으로 개발되어 JIS A 1418 -2:2000 에 새로운 중량충격원으로 규정되었다. Impact ball은 2.5 kg의 구 형태이며 1 m에서 자유낙하시켜 충격을 발생시키며, 최대 충격력이 1500 N 정도로 기존 bang machine의 충격력 보다 낮다. Bang machine의 경우 타이어의 낙하가 자동으로 이루어지는 반면 impact ball은 사람이 1 m 높이에서 자유낙하시켜야 하는 불편함이 있으나 bang machine보다 가벼워 전원을 사용하지 않기 때문에 취급하기 편리하다.

- Impact ball 사양
  - 유효질량 : 2.5 ± 0.2 kg
  - 반발력계 : 0.7 ± 0.1
  - 외경 : 185 mm
  - 형태 : 두께 30 mm의 중공구(中空球)
  - 재질 : SBR(styrene butadiene rubber)
  - 낙하높이 : 1 m

Fig. 4는 중량충격원인 bang machine과 impact ball의 충격력 폭로레벨을 비교한 것으로 bang machine의 경우 31.5 Hz, 63 Hz에서 impact ball보다 폭로레벨이 높으며, 250 Hz, 500 Hz에서는 impact ball의 폭로레벨이 높은 것으로 규정하고 있다.

3. 실충격원(어린이)의 충격력 특성 조사

3.1 실험대상 및 장비

실충격원에 대한 충격력 특성조사를 위하여 공동주택에서 주로 충격소음을 발생하는 어린이들, 대상으로 어린이 행위(달리기, 뛰어내리기)에 따른 충격력 특성을 조사하였다. 충격력 조사를 위하여 공동주택 실내에서 소음 발생가능성이 있는 유치원생 5세부터
초등학교 4학년까지 159명을 대상으로 중격력을 조사하였습니다. 어린이 행위는 달리기와 임정 높이(30cm, 50cm)에서 뛰어내리는 조건을 설정하여 중격력을 측정하였다. 5세부터 7세의 유치원생은 각 연령별 10명씩 선정하였으며, 초등학생은 각 학년별 30여 명씩 선정하여 측정을 하였다. 측정에 참가한 남녀 어린이는 80명, 여자 어린이는 79명으로 약 50:50의 비율로 선정하였으며, 어린이들의 체중은 16kg~58kg에 분포하고 있었다. 체중이 25kg~35kg에 해당하는 어린이가 전체의 약 70%에 해당되었다. 중격력 측정에 사용된 장비는 다음과 같다.

- 주파수분석기: SA-27, RION
- 오실로스코프: TDS 2012, Tektronix
- 충격력측정센서: PF-10, RION
- Charge amplifier : UV-06A, RION

3.2 실험방법
어린이들로부터 달릴 때와 뛰어내릴 때의 중격을 각각 측정하였다. 달릴 때의 중격력 측정을 위하여 중격력 측정센서와 동일한 높이의 발판(폭:60cm)을 제작하여 어린이가 센서로부터 3m 전에서 뛰어와서 측정을 하고자하도록 하였다. 뛰는 속도나 센서 받는 방법에 대한 사전 교육은 없었으며 개인적인 성향에 따라 각자가 자유롭게 측정에 임하도록 하였다. 실험전 어린이의 체중을 측정하여 체중과 중격력과의 상관성을 파악하고자 하였다.

뛰어내릴 때의 중격력 실험을 위하여 30cm, 50cm 높이의 발판을 제작하여 발판위에서 측정센서로 두발로 뛰어내리게 하였다. 30cm는 소프트에서 뛰어내릴 때를 가정하였으며 50cm는 의지에서 뛰어내리는 것을 가정하여 선정하였다. 실험시 동중음직 설계를 가정하여 신발을 벗고 실시하였다.

4. 실험 결과 및 분석
4.1 달릴 때의 중격력
Fig.7은 피험자가 달려서서 측정센서를 발했을 때의 최대 중격력을 연령별로 나타낸 것으로 연령의 증가는 체중의 증가를 의미하며, 체중의 증가로 중격력이 증대되는 경향을 보이고 있다. 체중의 증가와 중격력과는 높은 상관성이 있을 것으로 판단되나 본 측정의 결과에서는 체중과 중격력과의 상관성이 낮은 것으로 나타났으며 이는 피험자들의 뛰는 속도와 센서를 받는 방법의 차이에 의해 발생한 것으로 판단된다.

보험시의 중격력 특성을 파악한 연구결과를 살펴 보면 실험 전 피험자에게 보행의 방법을 교육하고 연
습을 한 후에 실험을 하였으며, 브링거 충격력의 최
대값과 측정의 상관관계는 매우 높은 것으로 조사되
었다.

어린이들에게 실험에 앉려는 방법과 센서 놓는 방
법을 교육하여 모두 동일한 방법으로 실험을 하였으
며 이 실험결과에서도 측정과 충격력과의 상관관계는
높게 나타났음을 것으로 사료된다. 그러나 이 측정에서
는 실제 어린이들이 동작주체에서 뛰어나오지는 않을
가정하여 여러 뛰는 패턴들에 의해 나타나는 충격력
을 파악하고자 하여 실험전에 특별한 교육을 실시하
지 않고 개인의 성향에 맞게 달릴 것을 요구하였다.

따라서 측정 지속시간이 짧은 동작이 둔적으로
가장하는 어린이와 약물치료만 센서를 놓는 어린이가
있으며, 약물치료 측정 값을 가할 때는 둔물치료보다 충
격력이 낮음을 알 수 있었다. 충격력은 2300 N ~ 3000
N의 범위에 분포하였으며, 600 N ~ 800 N에 가장 많
이 분포하였다. 또한 나이 성별에 따른 충격력의 차
이도 구분하기 어려웠다. 달리면 센서를 놓는비로
만 받을 경우와 둔물치료 센서를 놓을 경우 Fig. 10처
럼 충격력의 차이가 2배 이상 나타날 수 있다. 동일
한 측정에서 충격력의 편차가 2 ~ 3배 이상 발생하는
하나의 원인으로 파악할 수 있다.

4.2 뛰어내릴 때의 충격력

Fig. 11과 Fig. 13은 30 cm와 50 cm 높이에서 어린
이가 뛰어내렸을 때의 충격력을 나타낸 것으로 달릴
때의 충격력 조사결과와 비슷한 양상을 보이고 있었
다. 측정량이 따라 다소 충격력도 증가하는 것으로
보이나 경향성은 낮으며, 동일한 측정이라 하더라도
뛰어내릴 때의 충격력이 2 ~ 4배 이상 차이를 보이고
있다. 이것은 달릴 때의 충격력 분포와 같이 어린
이의 뛰어내리는 동작 차이에서 발생한 것으로 판단
된다. 뛰어내릴 때 측정을 실어 둔물치료 충격을 가
할 때와 사전히 뛰어내릴 때의 충격력 차이에서 오

![Fig. 9 Distribution of impact power caused by running](image)

![Fig. 10 Difference of impact power caused by running](image)

![Fig. 11 Impact power caused by jumping(30 cm, by age)](image)
사는 결과로 보인다. 동일한 측정에서 발생한 충격력의 편차는 달릴 때보다 뛰어내릴 경우가 더 크게 발생하였다.

Fig. 14는 뛰어내릴 때의 충격력을 파형을 나타낸 것으로 센서에 충격을 가하는 방법에 따라 차이가 발생한 것으로 판단된다. 두발로 센서에 뛰어내릴 때 오픈발과 한발이 동시에 센서를 박을 경우와 오픈발 한발이 약간의 시간차를 두고 박는 방법, 뒤꿈치와 앞꿈치가 동시에 센서를 박지 못하는 경우 등 다양한 조건에 따라 충격력과 충격력 파형이 상이하게 나타난 것으로 판단된다.

뛰어내릴 때의 충격력은 1000 N~6000 N에 분포하였으며 달릴 때의 충격력보다 높은 충격력을 가지는 것으로 나타났다. 뛰어내릴 때는 2000 N~3000 N 범위에 가장 많이 분포하고 있었으며, Fig. 17과 같이 달릴 때의 충격력보다 2배~6배 이상 높은 것으로 나타났다. 뛰어내릴 때의 충격력을 넘어로 구분하여 살펴본 결과 여자 어린이의 충격력이 남자 어린이에 비하여 다소 낮은 것으로 보이나 확연히 구분하기는 어려웠다.

Fig. 12 Impact power caused by jumping (30 cm, by sex)

Fig. 13 Impact power caused by jumping (50 cm, by age)

Fig. 14 Difference of impact power caused by jumping

Fig. 15 Distribution of impact power caused by jumping

Fig. 16 Total distribution of impact power caused by running and jumping

Fig. 17 Impact power by running and jumping
4.3 충격력 폭로레벨

어린이의 달리기와 뛰어내리는 행위에 의해 조사된 충격력은 3000 N 이하에 약 80%가 분포하고 있어 현 KS에서 규정한 바닥충격을 평가에서 사용하고 있는 bang machine의 충격력(4200 N)보다는 낮은 것을 알 수 있었다. 그러나 impact ball의 경우에는 최 대 충격력이 1500 N정도로 어린이 달릴 때의 충격력보다는 다소 높은 편이며, 뛰어내릴 때의 충격력보다는 낮은 범위에 속하고 있었다.

Fig. 18 Impact power exposure level caused by running

Fig. 19 Impact power exposure level caused by jumping(30 cm)

Fig. 20 Impact power exposure level caused by jumping(50 cm)

5. 결론

공동주택에서 발생하는 실 충격력에 대한 충격력특성을 조사하기 위하여 어린이의 대상으로 한 충격력 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 측정의 증가로 충격력이 증가되는 경향을 보이고 있으나 경향성은 찾기 어려웠으며, 달리거나 뛰는 방법의 개인차에 의해 동일한 측정의 피험자 사이에서 충격력의 차이가 크게 발생하였다.

(2) 어린이 달릴 때의 충격력은 600 N~800 N에 주로 분포하고 있으며, 뛰어내릴 때의 충격력은 2000 N~3000 N에 주로 분포하여 달리기 보다는 뛰어내릴 때의 충격력이 높은 것으로 나타났다.

(3) 조사된 어린이의 충격력 범위에서 bang machine의 충격력은 어린이 충격력에 비하여 다소 높은 충격력을 가지며, impact ball은 조사된 충격력 범위 중 낮은 부분에 속하였다.

(4) 어린이 달릴 때의 충격력 폭로레벨은 bang machine 폭로레벨 보다 대부분 주파수에서 낮으며, 뛰어내릴 때의 충격력 폭로레벨은 bang machine 보 다 31.5~63 Hz는 낮고, 125 Hz 이상에서는 높은 레벨을 보였다. 어린이와 bang machine의 충격력 폭
로레볼은 상이한 결과를 보였으며, Impact ball의 충격력 폭로레볼은 bang machine 보다 어린이 충격력 폭로레볼과 다소 유사한 경향을 보이고 있었다.

참 고 문 헌

(1) 井上 勝夫, 外4人, 1995, 床歩行時の足裏各部
의衝撃力特性, 日本建築學會計劃系論文集 第477号.
(2) 木村 翔, 外2人, 1989, 重量衝撃源の衝撃力特
性に関する研究, 日本建築學會計劃系論文報告集 第
398号.

(3) 韓國표준협회, 2001, KS F 2810-2 바닥충격
음 차단성이능 현장측정방법 제2부: 표준 중량충격
음에 의한 방법.
(4) JIS A1418-2, 2000, 建築物の床衝撃音遮断性
能の測定方法－第2部：標準重量衝撃源による方法.
(5) 양관성, 1998, 건축물의 바닥충격음 저감설계
기법. 한국건설기술연구원  책임연구과제보고서.
(6) 정정호, 2004, 바닥충격을 평가를 위
한 impact ball의 특성 및 주관적 반응, 대한건축학
회 학술발표대회 논문집, pp.617~620.
(7) 황경부, 2003, 환경통계연감.