

실충격원(어린이)의 충격 발생행위에 따른 충격력 특성에 관한 연구# Impact Power Characteristics as Behavior of Real Impact Source(Child)

김 경 우* · 최 경 석* · 정 영 선* · 양 관 섭**

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(바닥충격음), Impact Power Characteristics(충격력 특성), Running and Jumping by Child(어린이의 뛰고 뛰어내림)

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's necessary to know that the impact power characteristics of real impact source in 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 20호 이상의 공동주택이 전국 총 주택 수 1,236만 호의 52%에 달하는 총 645만 호에 이르는 것으로 나타나 주택의 일반적인 형태는 공동주택임을 알 수 있다. 공동주택은 토지의 효율적인 이용 측면에서 장점을 가지고 있으나 하나의 바닥판 및 벽으로 인접세대를 구분하기 때문에 소음에 취약한 단점을 가지고 있다. 환경부 자료에 의하면 16개 시·도의 2003년도 소음·진동관리대책을 평가한 결과, 최근 국민이 정오한 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 전체민원의 96.1% 차지하였다. 공동주택 내부에서 발생하는 소음은 특히 화장실 급·배수소음과 바닥충격음이 주된 소음종의 하나이다. 바닥충격음은 윗세대의 바닥에 충격이 가진되어 아래세대로 소음이 전달되는 고체전달음으로 일반적인 충격원은 어린이 행위에 의해 발생되며 어른의 보행이나 물체의 이동, 낙하시 발생할 수 있다. 이러한 바닥충격음의 문제를 해결하기 위하여 완충재를 사용한 뜬바닥구조의 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

† 책임저자 : 정희원, 한국건설기술연구원
E-mail : kwunj@kict.re.kr
Tel : (031) 910-0356, Fax : (031) 910-0361

* 한국건설기술연구원

** 정희원, 한국건설기술연구원

이 논문은 2004 추계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

충격원(bang machine, impact ball)과의 비교를 통하여 실 충격원의 충격특성에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 표준 충격원의 특성

KS규격에 바닥충격음 평가를 위하여 사용되는 표준충격원은 경량충격원(tapping machine)과 중량충격원(bang machine)으로 규정하고 있다. 충격원별 특징을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 경량충격원(Tapping Machine)

경량충격음 발생기는 1932년 독일에서 개발된 것으로 중·고주파 대역의 바닥충격음 평가에 사용되어 왔다. 개발 당시에는 280g의 목재 해머를 이용하여 보통의 보행주기로 3cm 높이에서 낙하시켜 청감에 의한 발생을 평가에 이용하였다. KS규격에는 경량충격원은 일직선 상에 100 ± 3 mm의 간격으로 5개의 해머로 4cm 높이에서 자유 낙하시켜 충격음을 발생하도록 하고 있다.

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

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 충격력 지속시간이 길고 큰 충격력에 대한 평가를 목적으로 타이어를 이용한 중량충격원이 추가 제정 되었다. 국내 KS 규격에는 중량충격원의 모양, 충격력, 공기압 등 충격원의 사양이 규정되어 있으며, 표준 중량충격원인 타이어의 낙하높이가 85 cm일 때의 충격력은 대략 4200 N 정도이며 충격시간은 20 ± 2 ms의 단봉형 충격력 파형을 갖는다. 또한 옥타브밴드별 충격력폭로레벨을 규정하고 있는데 31.5 Hz에서 47 dB, 500 Hz에서 5.5 dB로 주파수

가 증가함에 따라 충격력폭로레벨이 감소하는 형태로 규정하고 있다. 폭로레벨은 충격원에 의한 충격력의 제곱의 전 시간에 걸친 적분값을 기준 힘의 제곱으로 나눈 값의 상용대수의 10배로 식 (1)에 의해 구한다.

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

L_{FE} : 충격력 폭로레벨(dB)

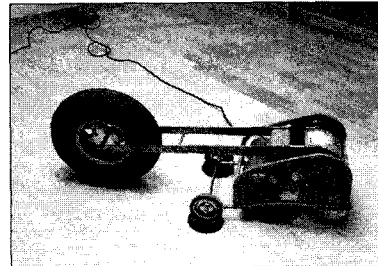
$F(t)$: 충격력(N), F_0 : 기준힘(1N)

$t_2 - t_1$: 충격원에 의한 충격시간을 포함하는 시간(s)

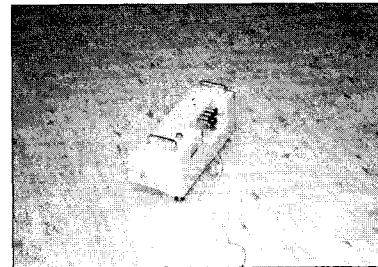
T_0 : 기준시간(1s)

• 표준 중량충격원 사양

- 바닥의 접하는 부분의 곡률반지름 : 90~250 mm의 볼록 곡면



(a) Bang machine



(b) Tapping machine

Fig. 1 Standard impact source

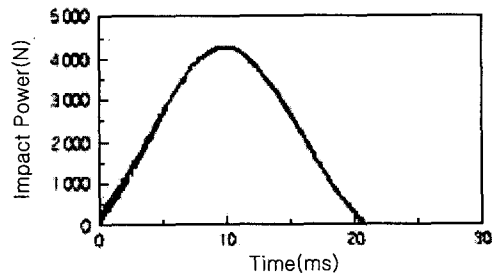


Fig. 2 Impact power graph of bang machine (dropping height : 85 cm)

Table 1 Impact power exposure level(bang machine)

Octave band center frequency(Hz)	Octave band impact power exposure level(dB)	Variation (dB)
31.5	47.0	±1.0
63	40.0	±1.5
125	22.0	±1.5
250	11.5	±2.0
500	5.5	±2.0

Table 2 Impact power exposure level(impact ball)

Octave band center frequency(Hz)	Octave band impact power exposure level(dB)	Variation (dB)
31.5	39.0	±1.0
63	31.0	±1.5
125	23.0	±1.5
250	16.0	±2.0
500	11.5	±2.0

- 낙하높이 : 0.85 m
- 바닥면의 접촉면적 : 250 cm² 이하
- 공기압 : $(2.4 \pm 0.2) \times 10^5$ Pa
- 유효질량 : 7.3 ± 0.2 kg
- 반발계수 : 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 않을 목적으로 bang machine보다 충격력이 낮은 충격원으로 개발되어 JIS A 1418 -2:2000에 새로운 중량충격원으로 규정되었다. Impact ball은 2.5 kg의 구 형태이며 1m에서 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 가벼우며 전원을 사용하지 않기 때문에 취급하기 편리하다.

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

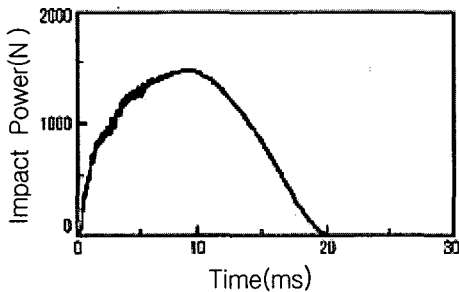


Fig. 3 Impact power graph of impact ball (dropping height : 100 cm)

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.

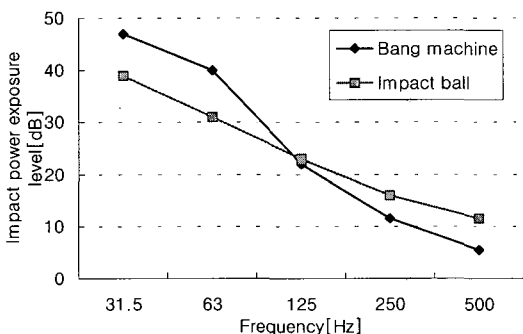


Fig. 4 Impact power exposure level between bang machine and impact ball

3. 실충격원(어린이)의 충격력 특성 조사

3.1 실험대상 및 장비

실충격원에 대한 충격력 특성조사를 위하여 공동주택에서 주로 충격소음을 발생하는 어린이들을 대상으로 어린이 행위(달리기, 뛰어내리기)에 따른 충격력 특성을 조사하였다. 충격력 조사를 위하여 공동주택 실내에서 소음 발생가능성이 있는 유치원생 5세부터

초등학교 4학년까지 159명을 대상으로 충격력을 조사하였다. 어린이 행위는 달리기와 일정 높이(30 cm, 50 cm)에서 뛰어내리는 조건을 설정하여 충격력을 측정하였다. 5세부터 7세의 유치원생은 각 연령별 10명씩 선정하였으며, 초등학교생은 각 학년별 30여 명씩

선정하여 측정을 하였다. 측정에 참가한 남자 어린이는 80명, 여자 어린이는 79명으로 약 50:50의 비율로 선정하였으며, 어린이들의 체중은 16 kg~58 kg에 분포하고 있었다. 체중이 25 kg~35 kg에 해당하는 어린이가 전체의 약 70%에 해당되었다. 충격력 측정에 사용된 장비는 다음과 같다.

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

Table 3 Test subjects

Age	Sex	Number	Weight(kg)	Note	
5	Male	5	16~22	Kindergarten	
	Female	5	16~20		
6	Male	7	19~23		
	Female	8	16~26		
7	Male	5	23~28		
	Female	5	19~27		
8	Male	14	21~38		Primary school
	Female	19	21~35		
9	Male	14	22~33		
	Female	16	24~35		
10	Male	17	25~50		
	Female	14	25~39		
11	Male	18	27~58		
	Female	12	27~51		

3.2 실험방법

어린이들로부터 달릴 때와 뛰어내릴 때의 충격을 각각 측정하였다. 달릴 때의 충격력 측정을 위하여 충격력 측정센서와 동일한 높이의 발판(폭:60 cm)을 제작하여 어린이가 센서로부터 3 m 전에서 뛰어와서 센서를 밟고 지나가도록 하였다. 뛰는 속도나 센서 밟는 방법에 대한 사전 교육은 없었으며 개인적인 성향에 맞게 각자가 자유롭게 측정에 임하도록 하였다. 실험전 어린이의 체중을 측정하여 체중과 충격력과의 상관성을 파악하고자 하였다.

뛰어내릴 때의 충격력 실험을 위하여 30 cm, 50 cm 높이의 발판을 제작하여 발판위에서 측정센서로 두발로 뛰어내리게 하였다. 30 cm는 소파에서 뛰어내릴 때를 가정하였으며, 50 cm는 의자에서 뛰어내리는 것을 가정하여 선정하였다. 실험시 공동주택 실내를 가정하여 신발을 벗고 실시하였다.

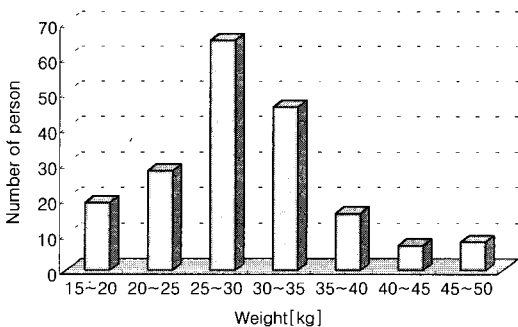


Fig. 5 The number of test subjects by weight



Fig. 6 The view of measuring impact power (running)

4. 실험 결과 및 분석

4.1 달릴 때의 충격력

Fig. 7은 피험자가 달려와서 충격센서를 밟았을 때의 최대 충격력을 연령별로 나타낸 것으로 연령의 증가는 체중의 증가를 의미하며, 체중의 증가로 충격력이 증대되는 경향을 보이고 있다. 체중의 증가와 충격력과는 높은 상관성이 있을 것으로 판단되나 본 측정의 결과에서는 체중과 충격력과의 상관성이 낮은 것으로 나타났으며 이는 피험자들의 뛰는 속도와 센서를 밟는 방법의 차이에 의해 발생한 것으로 판단된다.

보행시의 충격력 특성을 파악한 연구결과⁽¹⁾를 살펴보면 실험전 피험자에게 보행의 방법을 교육하고 연

습을 한 후에 실험을 하였으며, 보행시 충격력의 최대값과 체중의 상관관계는 매우 높은 것으로 조사되었다.

어린이들에게 실험전 달리는 방법과 센서 밟는 방법을 교육하여 모두 동일한 방법으로 실험을 하였다면 이 실험결과에서도 체중과 충격력과의 상관성은 높게 나타났을 것으로 사료된다. 그러나 이 측정에서는 실제 어린이들이 공동주택에서 뛰어다니는 것을 가정하여 여러 뛰는 패턴들에 의해 나타나는 충격력을 파악하고자 하여 실험전에 특별한 교육을 실시하지 않고 개인의 성향에 맞게 달릴 것을 요구하였다. 달리면서 충격력 측정센서를 밟는 동작이 뒤꿈치부터 가진하는 어린이와 앞꿈치로만 센서를 밟는 어린이가 있었으며, 앞꿈치로 충격을 가할 때는 뒤꿈치보다 충격력이 낮음을 알 수 있었다. 충격력은 2300 N~3000 N의 범위에 분포하였으며, 600 N~800 N에 가장 많이 분포하였다. 또한 남녀 성별에 따른 충격력의 차이도 구분하기 어려웠다. 달리면서 센서를 앞꿈치로만 밟을 경우와 뒤꿈치로 센서를 밟을 경우 Fig. 10처럼 충격력의 차이가 2배 이상 나타날 수 있다. 동일한 체중에서 충격력의 편차가 2~3배 이상 발생하는 하나의 원인으로 파악할 수 있다.

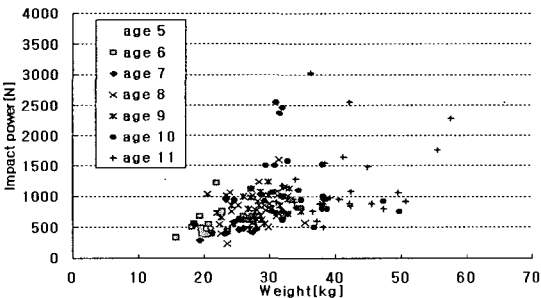


Fig. 7 Impact power caused by running (by age)

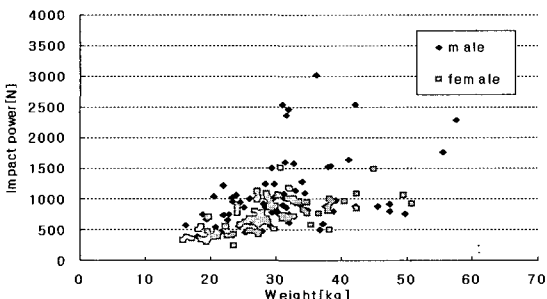


Fig. 8 Impact power caused by running (by sex)

4.2 뛰어내릴 때의 충격력

Fig. 11과 Fig. 13은 30 cm와 50 cm 높이에서 어린이가 뛰어내렸을 때의 충격력을 나타낸 것으로 달릴 때의 충격력 조사결과와 비슷한 양상을 보이고 있었다. 체중증가에 따라 다소 충격력도 증가하는 것으로 보이나 경향성은 낮으며, 동일한 체중이라 하더라도 뛰어내릴 때의 충격력이 2~4배 이상 차이를 보이고 있었다. 이것은 달릴 때의 충격력 분포와 같이 어린이의 뛰어내리는 동작 차이에서 발생한 것으로 판단된다. 뛰어내릴 때 체중을 실어 뒤꿈치로 충격을 가할 때와 사뿐히 뛰어내릴 때의 충격력 차이에서 오

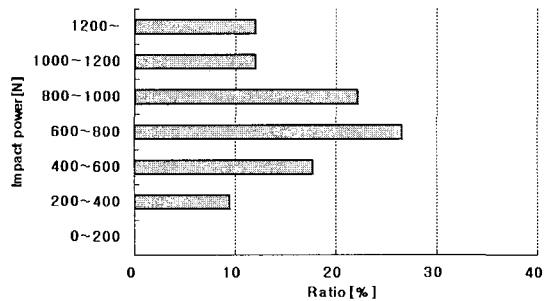


Fig. 9 Distribution of impact power caused by running

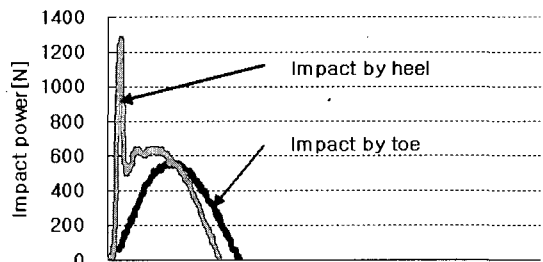


Fig. 10 Difference of impact power caused by running

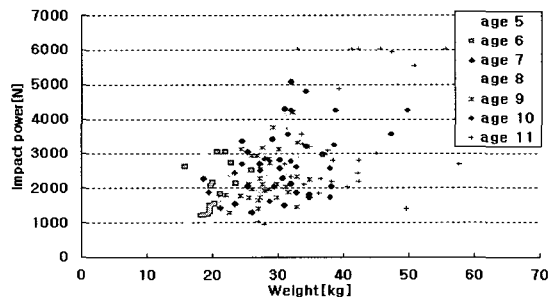


Fig. 11 Impact power caused by jumping (30 cm, by age)

는 결과로 보인다. 동일한 체중에서 발생한 충격력의 편차는 달릴 때보다 뛰어내릴 경우가 더 크게 발생하였다.

Fig. 14는 뛰어내릴 때의 충격력 파형을 나타낸 것으로 센서에 충격을 가하는 방법에 따라 차이가 발생한 것으로 판단된다. 두발로 센서에 뛰어내릴 때 오른발과 왼발이 동시에 센서를 밟을 경우와 오른발 왼발이 약간의 시간차를 두고 밟는 방법, 뒤꿈치와 앞꿈치가 동시에 센서를 밟지 못하는 경우 등 다양한 조건에 따라 충격력과 충격력 파형이 상이하게 나타

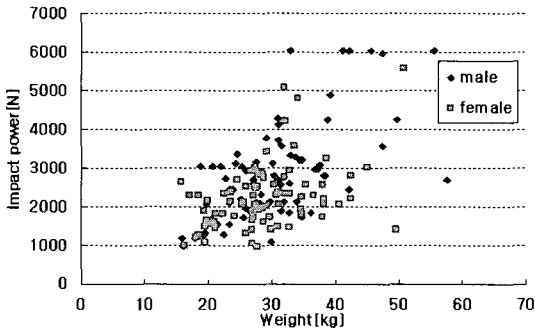


Fig. 12 Impact power caused by jumping (30 cm, by sex)

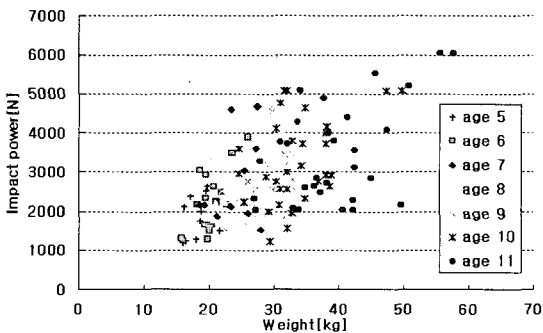


Fig. 13 Impact power caused by jumping (50 cm, by age)

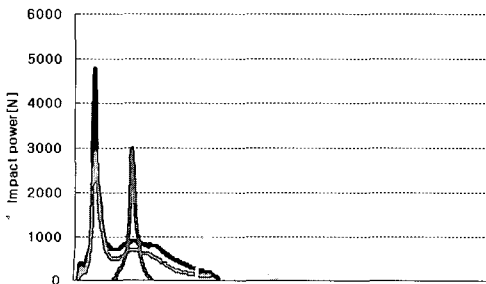


Fig. 14 Difference of impact power caused by jumping

난 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 충격력 보다 2배~6배 이상 높은 것으로 나타났다. 뛰어내릴 때의 충격력을 남여로 구분하여 살펴본 결과 여자 어린이의 충격력이 남자 어린이에 비하여 다소 낮은 것으로 보이나 확연히 구분하기는 어려웠다.

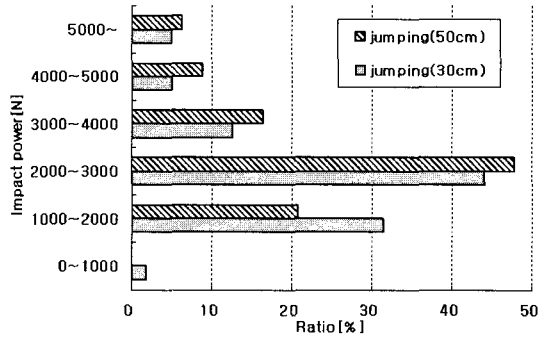


Fig. 15 Distribution of impact power caused by jumping

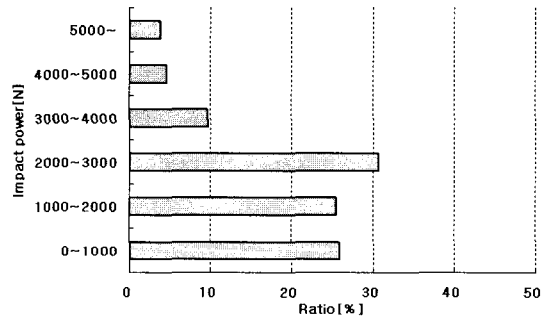


Fig. 16 Total distribution of impact power caused by running and jumping

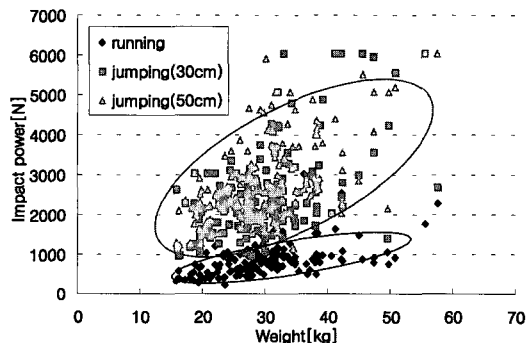


Fig. 17 Impact power by running and jumping

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

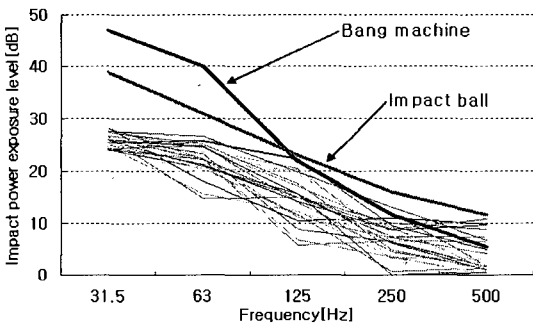


Fig. 18 Impact power exposure level caused by running

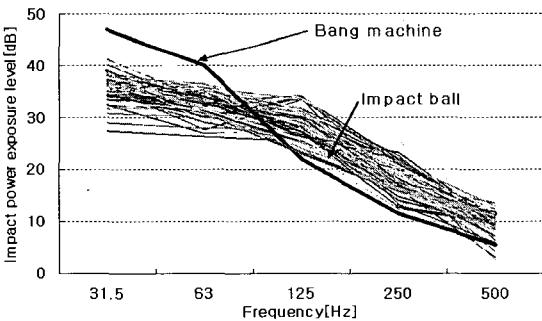


Fig. 19 Impact power exposure level caused by jumping(30 cm)

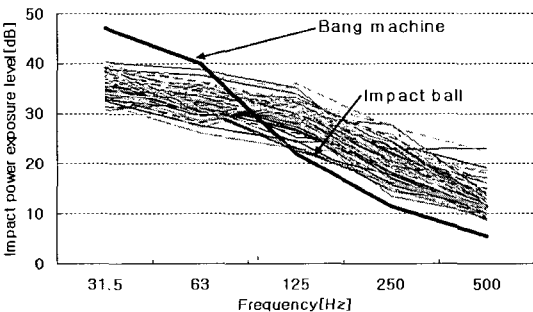


Fig. 20 Impact power exposure level caused by jumping(50 cm)

4.3 충격력 폭로레벨

어린이 달리기와 뛰어내릴 때의 충격력과 함께 충격력 폭로레벨을 같이 측정하였다. Fig. 18은 달릴 때의 충격력 폭로레벨을 나타낸 것으로 달릴 때의 충격력이 가장 많이 분포하고 있는 600 N~800 N일 때의 충격력 폭로레벨이다. 중량충격원의 충격력 폭로레벨과 비교할 경우 대부분 주파수에서 중량충격원보다 낮은 충격력 폭로레벨을 보이고 있었다.

Fig. 19, 20은 뛰어내릴 때의 충격력 중 가장 많은 분포를 보인 2000 N~3000 N의 충격력에 대한 충격력 폭로레벨을 bang machine, Impact ball의 폭로레벨과 비교한 것으로 31.5 Hz, 63 Hz에서 bang machine의 폭로레벨이 어린이 뛰어내릴 때 보다 높으며, 그 이상의 주파수에서는 폭로레벨이 낮게 측정되었다. Impact ball과 비교했을 경우 어린이의 충격력 폭로레벨이 bang machine 보다 더 유사한 특성을 보이고 있었다. 중량충격원이 가지는 충격력 폭로레벨과 실제 어린이 행위(달리기, 뛰어내리기)에 의한 폭로레벨과는 다소 상이한 값을 보이고 있었다.

5. 결 론

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

- (1) 체중의 증가로 충격력이 증가되는 경향을 보이고 있으나 경향성은 찾기 어려웠으며, 달리기나 뛰는 방법의 개인차에 의해 동일한 체중의 피험자 사이에서도 충격력의 차이가 크게 발생하였다.
- (2) 어린이 달릴 때의 충격력은 600 N~800 N에 주로 분포하고 있었으며, 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 보다 31.5~63 Hz는 낮고, 125 Hz 이상에서는 높은 레벨을 보였다. 어린이와 bang machine의 충격력 폭

로레벨은 상이한 결과를 보였으며, Impact ball의 충격력 폭로레벨은 bang machine 보다 어린이 충격력 폭로레벨과 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の衝撃力特性, 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) 한국표준협회, 2001, KS F 2810-2 바닥충격음 차단성능 현장측정방법 제 2 부 : 표준 중량충격원에 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) 양관섭, 1998, 건축물의 바닥충격음 저감설계 기법, 한국건설기술연구원 책임연구과제보고서.

(6) 정정호, 전진용, 2004, 바닥충격음 평가를 위한 impact ball의 특성 및 주관적 반응, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, pp.617~620.

(7) 환경부, 2003, 환경통계연감.