

## 임팩트 볼을 활용한 바닥충격음 측정 및 평가

### Floor Impact Noise Measurement and Evaluation Method Using Impact Ball

정 정 호\* · 전 진 용\*

Jeong Ho Jeong and Jin Yong Jeon

(2005년 5월 13일 접수 : 2005년 9월 20일 심사완료)

**Key Words** : Impact Ball(임팩트 볼), Evaluation Method of Floor Impact Noise(바닥충격음 평가방법)

#### ABSTRACT

Floor impact noise isolation performance of reinforced concrete floors was investigated through new measurement method using impact ball. Strong impact force in low frequency band below 63Hz of bang machine is not similar to human impact source and causes some problem in evaluating heavy-weight impact noise but heavy-weight impact noise measurement and evaluation using impact ball which is very similar to human impact is more reliable than bang machine. Correction value on the background noise and sensitivity of residents should be considered on the floor impact noise evaluation classes.

#### 1. 서 론

바닥충격음에 대한 문제가 사회문제화 되면서 건설교통부에서는 그동안 선언적인 규정으로만 되어 있던 주택건설기준등에관한규정 제 14조 제 3항을 2003년 4월 22일 구체적인 성능기준으로 개정하여, 1년의 유예기간을 거친 후 2004년 4월 22일 이후에 사업승인 신청을 하는 공동주택부터 적용하는 것으로 개정하였으며, 현행 벽식 구조의 성능한계로 경량충격음에 대한 기준만 먼저 시행하고, 중량충격음에 대한 기준<sup>(1)</sup>은 2005년 7월 1일부터 시행하는 것으로 관련법을 개정하였다.

“공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”에는 경량충격음 차단 표준바닥구조와 이를 구성하기 위한 완충재의 성능평가항목, 기준 및 표준바닥구조 이외의 저감구조에 대한 인정 절차가 제시되어 있다.

그러나 위의 성능평가 항목의 기준에 부합되는 바닥충격음 완충재를 적용할 경우 중량충격음은 오히려 증가하는 경우도 있는 것으로 나타나<sup>(2)</sup> 중량충격음 특성을 갖고 있는 실제충격음 저감을 기대하지 못할 수도 있다. 이러한 현상은 현재 표준중량충격원으로 규정되어 있는 bang machine의 충격특성이 실제 공동주택에서 주로 발생하는 어린이 충격특성과 다른 점이 한가지 원인이 될 수 있다. Bang machine의 충격력은 실제충격원보다 63 Hz에서 과도하게 평가되어 표준충격원으로 사용하기에는 충분한 검토가 필요하다. 보다 합리적인 중량충격음 차단성능 평가를 위해서는 실제 어린이 발생 충격원과 유사한 특성을 갖는 것으로 나타나 일본의 JIS에서 또다른 중량충격원으로 규정되어 있는 impact ball 사용의 타당성과 물리적 특성, 청감과의 관계 등을 검토할 필요가 있다.

따라서 이 논문에서는 중량충격음 측정 및 평가방법을 합리적으로 개선하기 위한 방법으로 실제충격음을 잘 재현하는 충격원을 선정하고자 하였다. 이를 위해 현재 국내외에서 표준충격원으로 사용되고 있는 세가지 표준충격원과 실제충격음의 물리적, 심리음향학적 특성을 비교하였다. 또한 실제 공동주택에서 실제충격음과 표준충격음의 청감평가를 실시하

\* 책임저자 : 정회원, 한양대학교 건설연구소  
E-mail : jhjeong92@hotmail.com  
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

\* 정회원, 한양대학교 건축대학 건축공학부

여 impact ball을 활용한 바닥충격음 측정방법 및 바닥충격음 평가등급을 제안하고자 한다.

## 2. Impact Ball

국내 공동주택에서 발생하는 주된 충격음은 6~9세 어린이의 뛰고 달리는 형태로 나타났으며<sup>(3)</sup>, 5~11세 어린이를 대상으로 뛰고 달리는 경우의 충격력 측정결과<sup>(4)</sup> 달리는 경우의 충격력은 600~1000 N, 뛰는 경우는 1000~3000 N에서 가장 많은 분포를 나타냈다. 또한 bang machine의 경우 63 Hz이하 대역의 충격력 레벨이 어린이 충격원보다 높게 나타났다.

현재 국내외에서 바닥충격음 차단성능 평가를 위해 사용되고 있는 표준충격원은 2가지로 경량충격음 평가를 위한 tapping machine, 중량충격음 평가를 위한 bang machine이 사용되고 있으며, 충격원 연구를 위해 impact ball이 참고적으로 활용되고 있다. JIS의 경우 목구조 주택에서의 바닥충격음 측정시 구조손상을 방지하기 위하여 8세 어린이의 충격특성을 재현하는 impact ball을 개발하였다. impact ball의 충격력은 Fig.1에서와 같이 약 1,500 N 정도로 bang machine 보다 낮으며, 실제 어린이 충격력과 유사한 것을 알 수 있다. impact ball의 저주파 충격력레벨도 bang machine 보다 낮아 실제충격원과 유사한 충격력 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

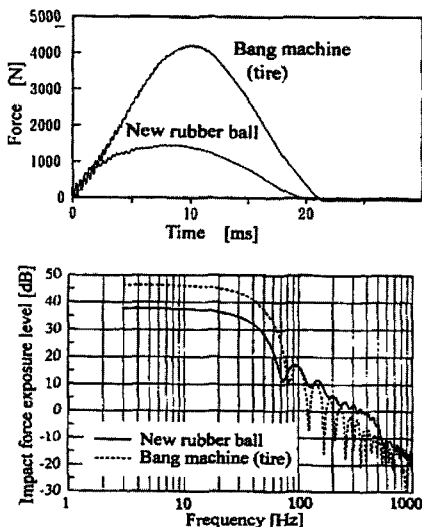


Fig.1 Impact force characteristics of bang machine and impact ball

Impact ball에 대하여 국내 공동주택에서 실제충격원(어린이 25 kg)과 비교한 연구 결과<sup>(5,6)</sup> impact ball 충격원이 실제충격원과 재현성, 사용 편리성, 유지보수 관리 등 많은 부분에서 기존의 bang machine 보다 합리적인 것으로 나타났다. Bang machine은 바닥슬래브가 공진을 일으키기 쉬운 63 Hz대역의 충격력이 커서 중량충격음 차단성능 레벨을 합리적으로 평가하지 못하는 것으로 나타났다<sup>(7)</sup>. 따라서 impact ball을 활용하여 바닥충격음을 측정하는 것이 합리적인 것으로 판단되며, impact ball을 중량충격원으로 활용하기 위해서는 impact ball 충격음의 물리적 특성 및 주관적 반응에 대한 실험이 필요하다.

바닥충격음의 합리적 평가를 위해서는 측정방법과 함께 거주자의 주관적 반응에 의한 평가등급이 설정되어야 한다. 경량충격음과 bang machine 충격음을 대상으로 현장청감실험을 수행한 연구결과 각각 56dB, 46 dB을 최저등급으로 5 dB간격으로 3개 등급을 제안하였다<sup>(8)</sup>. 실험실 청감실험을 통한 바닥충격음 평가결과<sup>(9)</sup>에서도 경량충격음은 49 dB, bang machine 충격음은 46 dB로 나타났다. 그러나 현재의 bang machine 충격음 저감 기술로는 청감평가에 의한 기준을 만족시키는 데는 한계가 있어 관련 민원 및 자원의 소요 등을 고려하여 경량충격음은 58 dB, Bang machine 충격음은 55 dB을 최저기준으로 제안하였다. 이와 같이 impact ball에 대해서도 청감평가를 통해 청감적 하한치 및 평가등급을 제안하여야 한다.

## 3. Impact Ball을 이용한 바닥충격음 측정결과

### 3.1 Impact Ball의 특성

국내 벽식구조 공동주택에서 가장 문제가 되는 바닥충격음은 어린이들의 뛰노는 소리로 알려져 있다<sup>(3)</sup>. 따라서 합리적인 바닥충격음 차단구조의 성능 평가를 위해서는 실제 발생하는 충격원과 가장 유사한 충격원으로 측정하여야 한다. 그러나 bang machine은 저주파 대역의 충격력이 과다하여 다양한 중량충격음 차단구조의 성능을 평가하기 어렵다. 일본의 경우 과다한 bang machine의 충격력에 의해 목구조 주택의 구조적 피해를 우려하여 8세 25 kg 어린이의 충격력을 재현하는 impact ball을 개발하여 표준 중량충격원으로 사용하고 있다<sup>(10)</sup>. 국내 벽식구조 공동

주택에서도 어린이의 뛰노는 소리의 특성과 Impact ball 충격음 특성을 비교한 연구가 수행되었다<sup>(11~13)</sup>.

JIS A 1418-2에 새로운 중량충격원으로 규정된 impact ball은 2.5±0.1 kg, 지름 185 mm의 중공구 형태로 외벽의 두께는 30 mm로 되어있다. Impact ball은 1 m 높이에서 자유낙하하여 바닥을 충격하며 이때 충격시간은 20 ms 정도이다. Table 1은 impact ball과 bang machine을 비교한 것으로, bang machine의 경우 매 측정시 마다 타이어의 공기압 점검 및 기계장치류의 정기적인 점검 및 유지보수가 필요하지만 impact ball의 경우 이와 같은 절차가 필요하지 않으므로 사용 및 유지보수가 용이한 것으로 판단된다.

이 연구에 활용된 impact ball(이하 impact ball I)은 2001년 일본에서 개발된 것으로, 이는 현재 JIS A 1418-2의 규격을 만족하며, impact ball I의 재료는 SBR(styrene butadiene rubber)이었으나, 온도변화에 따라 충격력의 변화가 발생하는 것으로 나타났다.<sup>(14~16)</sup> 이를 보완하기 위하여 온도 의존성이 낮은 실리콘 고무를 사용한 새로운 impact ball(이하 impact ball II)이 개발되었다. impact ball의 구성 재료가 변화됨에 따라 유효질량, 크기 및 반발계수 등이 다소 변화되었다. 아래의 Table 2는 두가지 impact ball의 물리적 특징을 비교한 것이다. Impact

ball II의 경우 최근 ISO 140-11의 중량충격원으로 규정되었다.

### 3.2 실제측정치와의 유사성

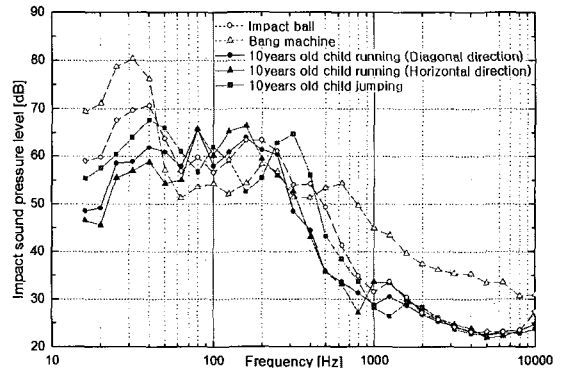
실제충격음과 표준충격원에 의한 충격음의 특성을 비교하기 위하여 6~9세 어린이 평균 몸무게와 같은 어린이를 선정하여 실제 거주하고 있는 상태의 공동주택에서 충격음을 측정하였다. 1997년 국가표준체위 조사 결과에 의하면 6~9세 남아어린이의 평균 몸무게는 26.5 kg, 여자어린이는 25.6 kg으로 나타났다. 따라서 26 kg 몸무게 어린이를 대상으로 running과 경량, 중량충격음 및 impact ball 충격음을 상온의 동일한 공동주택에서 측정하여 주파수 특성을 비교하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서와 같이 impact ball의 주파수 특성은 어린이의 Running 충격음과 유사한 것으로 나타났다. 또한 bang machine에 의한 충격음은 63 Hz대역의 바닥충격음 레벨이 높게 나타나 실제 충격원과 차이가 있는 것으로 나타났다.

**Table 1** Comparison of impact ball with bang machine

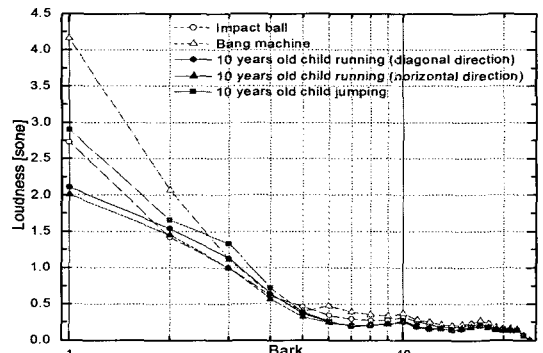
	Impact ball	Bang machine
Weight	2.5 ± 0.1 kg	Tire -7.3 ± 0.2 kg Bang machine -20 kg
Handling	2 person	3~4 person(1 team)
Preparation	Free drop from 1 m	Assemble, installation
Electricity	Nor required	Required
Maintenance	-	Air pressure of tire, Mechanical maintenance

**Table 2** Difference between impact ball I and II

	Impact ball I	Impact ball II
Effective mass	2.5 ± 0.2 kg	2.5 ± 0.1 kg
Coefficient of restitution	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1
Diameter	185 mm	180 mm
Shape and size	Hallow 30 mm thick	Hallow 30 mm thick
Material	SBR	Silicone rubber



**Fig. 2** Frequency characteristics of human impact sounds and heavy-weight impact sources



**Fig. 3** Loudness characteristics of human impact sounds and standard impact sources

이상의 결과를 역A 특성가중 바닥충격음레벨로 평가할 경우 impact ball 충격음이 bang machine 충격음보다 2dB 높게 평가되었다. 이상과 같이 충격원에 따라 충격음의 주파수 특성의 차이가 발생하는 것은 충격원에 따른 충격력과 충격시간의 차이에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 3은 26 kg 어린이의 충격음 및 표준충격음의 라우드니스 특성을 bark 밴드별로 나타낸 것이다. Fig. 3에서와 같이 어린이의 달리는 소음의 경우 impact ball 충격음과 유사한 것으로 나타났으나 1 bark 대역에서는 impact ball 충격음이 실제충격음보다 다소 높은 것으로 나타났다. Bang machine 충격음의 경우 1~3 bark 대역에서 실제충격음보다 높게 나타났으며, 1 bark 대역의 경우 실제충격음 보다 2배 이상 높게 나타났다. 또한 6~10 bark 대역에서도 실제충격음보다 다소 높게 나타났다. 따라서 라우드니스 분석결과에서도 impact ball이 실제충격음 특성과 유사한 것으로 나타났다.

Bang machine의 높은 충격력은 측정시 충분한 음

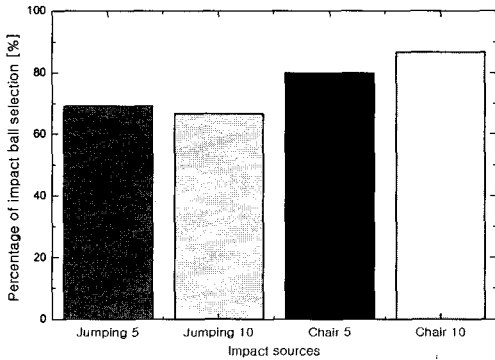


Fig. 4 Selection rate of impact ball as a similar source with human impact

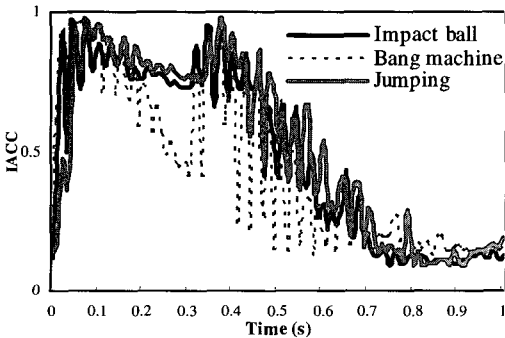


Fig. 5 IACC variation of floor impact sounds

압레벨을 확보하기 위한 것으로 알려져 있으나, 벽식 구조 공동주택에서의 impact ball 충격음 레벨은 bang machine 충격음 레벨과 동일하거나 다소 높은 수준으로 나타났으며, 이는 Fig. 2에서와 같이 63 Hz 대역의 레벨은 bang machine 충격음 레벨보다 낮으나, 125 Hz 대역 레벨이 높기 때문에 판단된다. Fig. 3에서 나타난 바와 같이 impact ball 충격음 레벨을 어린이의 충격음과 성인 충격음 레벨과 비교할 경우 어린이 충격음 보다는 다소 높지만, 성인 충격음 레벨 보다는 낮다<sup>(17)</sup>.

실제충격음과 청감적으로 유사한 표준충격원을 선정하기 위하여 26 kg 10세 어린이의 다양한 충격음 (제자리 뛰기, 의자에서 뛰어내리기)과 함께 5세 어린이의 다양한 충격음을 기준으로 impact ball 충격음과

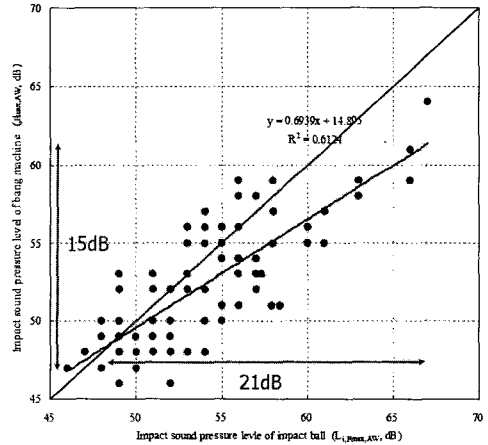


Fig. 6 Comparison of the impact sound levels of impact ball with bang machine

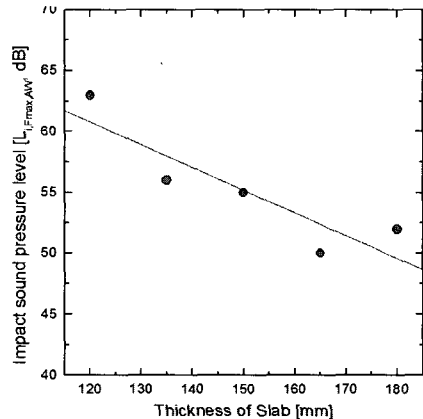


Fig. 7 Impact sound pressure level according to the increasement of slab thickness

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 이용하여 제시하였다. 청감실험 결과 임팩트 볼이 실제 충격음과 유사하다고 응답한 비율이 평균 72%로 나타났다으며, 각 충격형태별로 임팩트 볼이 유사하다고 응답한 비율은 Fig. 4와 같다.

바닥충격음의 주관적 평가와 ACF/IACF 요소와의 관계 연구<sup>(18)</sup> 결과 공간감의 지표로 활용되고 있는 IACC<sup>(19)</sup>의 변화가 바닥충격음의 주관적 반응과 관계가 있는 것으로 나타났다. 3가지 표준충격원과 성인의 jumping 충격음의 IACC 변화를 측정된 결과, Fig. 5에서와 같이 경량충격음은 충격원의 특성상 연속소음으로 가진되므로 중량충격원들과는 다른 특성으로 나타났다. Bang machine 충격음의 IACC 변화는 jumping 충격음보다 IACC의 변화 폭이 크게 나타났으나, impact ball 충격음의 IACC 변화는 jumping 충격음과 유사한 것으로 나타났다. 또한 슬래브 두께 120~180 mm의 20평형에서 60평형대 벽식구조 공동주택 88개소의 경량, bang machine 및 impact ball 충격음 레벨을 조사하여 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서와 같이 동일한 구조에서 측정된 bang machine 충격음 레벨의 범위 분포는 약 15 dB이었으나, impact ball 충격음 레벨은 21 dB로 나타났다. 이는 동일한 구조에서 보다 넓은 레벨 분포를 갖는 변별력이 넓은 충격원으로 측정하는 방법을 통해 측정오차에 의한 등급 결정 오류를 감소시킬 수 있다.

슬래브 두께 증가에 따른 impact ball 충격음 차단 성능 변화를 조사하기 위하여 위의 측정결과를 각 슬래브 두께별로 정리하여 Fig. 7에 나타내었다. Impact ball을 대상으로 국내 공동주택에서의 충격음 특성을 측정된 결과 평균 54 dB로 나타났다. 또한 바닥 슬래브 두께가 증가함에 따라 Fig. 7에서와 같이 슬래브 두께 15mm 증가에 따라 약 2.6 dB 정도 감소되는 것으로 나타났다.

#### 4. Impact Ball의 청감 반응

##### 4.1 청감평가에 의한 등급 설정

바닥충격음에 대한 평가기준을 설정하기 위해서는 청감상의 기준, 사회적 여건(실태, 기술수준), 경제적

여건 등을 고려하여야 한다. 이 논문에서는 이중 청감상의 기준을 제시하기 위하여 실제 공동주택에서 청감실험을 실시하였다. 현장 청감실험은 실제 공동주택에서 거주자들에 의해 발생하는 충격음에 대한 어노이언스를 기준으로 impact ball의 평가등급을 제안하기 위해 실시하였다. 현장 청감실험은 98명의 피험자를 대상으로 마감공사가 완료된 34평형 공동주택(슬래브 두께 135 mm, 경량기포콘크리트 70 mm, 마감물탈 40 mm)에서 실시하였으며, 청감실험에 사용된 설문은 2001년 일본건축학회에서 제안된 바닥충격음 평가 기준<sup>(20)</sup>을 국내 조건에 맞게 수정하여 활용하였다<sup>(8)</sup>. 실제 현장 실험에서 impact ball 충격음의 레벨 변화는 충격 높이를 조절하여 제어하였으며, 피험자는 하부 세대의 거실에서 발생충격음을 듣고 평가하였다.

이 논문에서 진행한 청감실험 결과에 의한 impact ball 충격음의 평가등급으로 주관적 반응의 하한치는 4점 척도에 해당할 경우 54 dB(역A 특성가중 바닥충격음레벨)로 나타났다. 또한 impact ball 충격음의 적절한 평가등급 간격 설정을 위하여 impact ball 충격음의 레벨 변화에 대한 인지한계실험(JND, just noticeable difference)을 실시하였다. 인지한계 청감실험은 20대 후반 정상청감자 10명을 대상으로 1:1 비교 방법을 적용하였다. impact ball 충격음의 최소가청한계는 3 dB 정도일 경우 100%의 피험자가 구

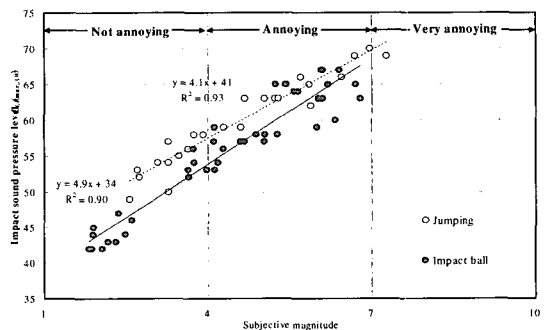


Fig. 8 Relationship between floor impact ball sound and subjective magnitude

Table 3 Classed of impact ball sound from the results of subjective evaluations

	Class 1	Class 2	Class 3
Impact ball ( $L_i, F_{max}, AW$ )	<44	<49	<54

분하였으나, 주관적 반응과 반응 스케일 간격을 고려할 경우, impact ball 충격음의 평가 등급 간 차이는 5 dB 정도가 적절할 것으로 판단된다. Rindel<sup>(21)</sup>의 연구결과에서도 바다충격음 평가등급 간격을 5 dB로 제안한바 있다. 따라서 Table 3에서와 같이 최소 만족한계 54 dB을 기준으로 5 dB간격으로 등급을 설정하였다.

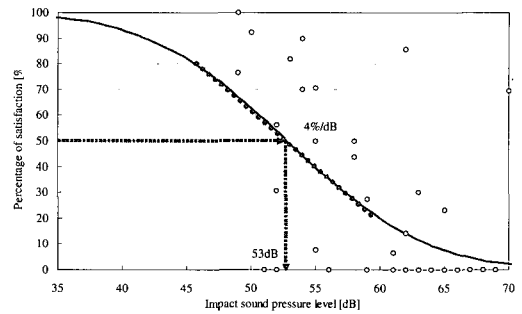
청감실험에 의해 바다충격음 평가등급 연구 결과(22)에 의하면 중량충격음은 46 dB 그리고 경량충격음은 56 dB을 최하등급으로 하여 5 dB 간격으로 하는 3개 등급을 제안하였다. 위의 청감실험에 의한 평가등급 결과를 Fig. 6의 측정결과와 비교할 경우 중량충격음 평가기준을 만족하는 것은 2개소에 불과하지만 impact ball로 평가할 경우 기존의 벽식구조 공동주택은 2등급의 성능까지 분포하는 것으로 나타났다.

#### 4.2 만족비율에 의한 등급설정

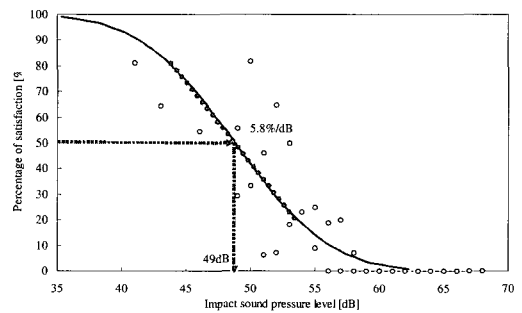
주거공간의 음향성능에 대한 평가 등급을 제안하기 위하여 유럽의 연구자들은 바다충격음과 세대간 및 실간 차음성능에 대하여 거주자의 소음 만족비율을 바탕으로 평가 등급을 제안하고 있다<sup>(23)</sup>. 주거공간의 음향성능은 좋음(good), 보통(fair), 좋지 않음(poor)로 구분하여 평가하여 소음평가량 변화에 따른 거주자의 성능 만족비율을 계산하여 50%만족 수준 및 20~80% 범위의 선형적 변화 구간의 기울기를 바탕으로 평가등급을 도출한다<sup>(21,24)</sup>. 이전의 연구결과에 의하면 소음레벨 또는 차음성능이 1 dB 변화할 경우 만족비율은 약 4% 변화하는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 50%의 거주자가 만족하는 수준의 레벨을 최소한계치로 설정하여 일정한 만족비율을 기준으로 주거공간의 음향성능 등급을 설정하였다. 이 연구에서는 기존의 바다충격음 등급설정을 위한 현장 실험 결과에 대하여 만족비율에 의한 평가 등급을 조사하였다. 만족비율 분석은 중량충격음과 impact ball 충격음 및 실제 성인의 보행음 등을 대상으로 실시하였다.

이전의 현장 청감실험<sup>(8)</sup>은 noisiness, disturbance 및 amenity의 세가지 척도를 대상으로 9점 척도 설문지를 활용하여 조사하였다. 이를 만족비율로 환산하기 위해서는 9점 척도 상에서 주관적 만족의 한계의 의미를 갖고 있는 4점을 기준으로 하여 만족과 불만족으로 주관적 반응을 분류하여 만족비율을 계산하였다. 바다충격음 레벨별 만족비율 평가 결과는

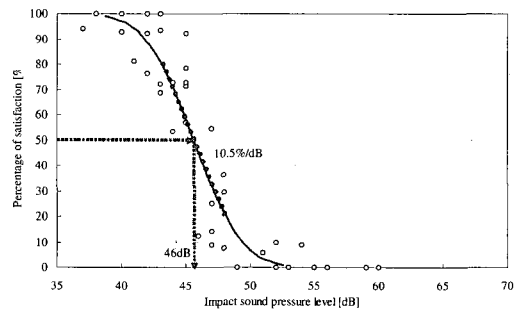
probit analysis를 통해 도출하였다. Fig. 9는 각 충격음의 레벨별 noisiness 척도의 만족비율 변화 분석



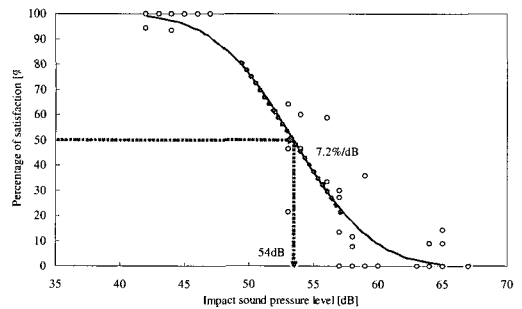
(a) Jumping



(b) Walking



(b) Bang machine



(d) Impact ball

Fig. 9 Satisfactory percentage of noisiness

결과를 나타낸다. Table 4는 각 바닥충격음에 대한 만족비율 분석결과를 나타낸다.

Table 4에서와 같이 bang machine 충격음의 경우 50% 만족 한계치가 46~51 dB, impact ball의 경우 54~60 dB로 나타났다. Jumping과 walking 충격음의 만족비율 50%에 해당하는 충격음레벨은 각각 53~58 dB과 49~54 dB로 나타났다. 3가지 척도 중 가장 일반적인 소음 평가 및 표현으로 사용되고 있는 noisiness의 경우 중량충격음은 46 dB, impact ball충격음은 54 dB jumping은 53 dB 그리고 walking 충격음은 49 dB로 나타나 impact ball 충격음이 jumping 충격음과 유사한 한계레벨을 갖는 것으로 나타났다. 만족비율 20~80% 구간에서의 소음레벨 변화에 따른 만족비율 변화 정도를 비교할 경우 jumping과 walking 충격음은 평균 4.8%/dB로 나타났으며, impact ball 충격음의 경우 평균 5.9%/dB로 다소 높게 나타났다. 그러나 중량충격음은 10.2%/dB 나타나 중량충격음의 레벨 변화에 따라 만족비율의 변화가 급격한 것으로 나타났다. 중량충격음 측정시 현장에서 발생하는 오차 및 시공오차 등을 고려할 경우 bang machine으로 중량충격음 차단성능을 측정할 단

일수치 평가량에 의해 최대 20~30% 이상의 주관적 만족도 변화가 생길 수 있으므로 이는 합리적이지 않은 것으로 판단된다. impact ball의 경우 실제 충격원과 유사한 한계레벨을 갖으며 만족비율의 분포도 유사한 것으로 나타나 impact ball을 사용한 중량충격음 측정 및 평가에 적합한 것으로 판단된다.

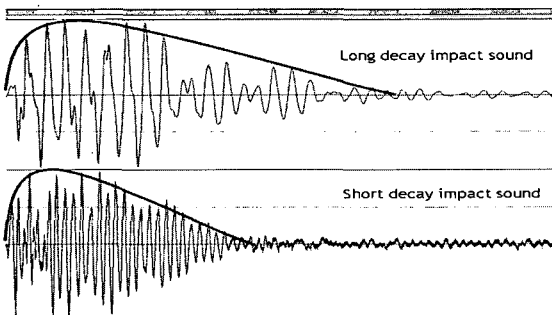
### 4.3 충격감쇄시간이 다른 음원의 청감평가

다양한 평형의 현장에서 중량충격음을 평가할 경우 바닥슬래브의 크기 및 실내 음향 Fig. 10과 같이 감쇄시간의 차이가 발생한다. 청감평가에 의한 표준중량 충격원의 특성을 비교하기 위하여 동일한 공동주택에서 측정된 bang machine과 impact ball 충격원중 감쇄시간이 긴 경우와 짧은 경우의 공동주택을 선택하여 음압레벨 변화에 따른 주관적 반응(만족비율)을 비교하였다.

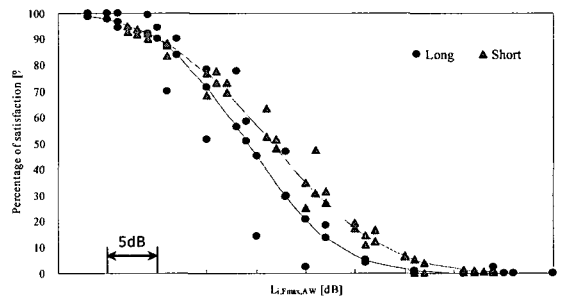
청감실험 진행시 설정된 상황은 저녁시간 거실에 앉아 신문이나 잡지 등을 읽고 있는 경우 위층에서 들리는 충격음에 대한 반응을 표시하도록 하였다. 대상 피험자는 20대의 대학생 및 대학원생 20명을 대상으로 3~4명을 한 개조로 구성하였다. 음원은 공동주

**Table 4** Floor impact noise level at the 50% satisfaction

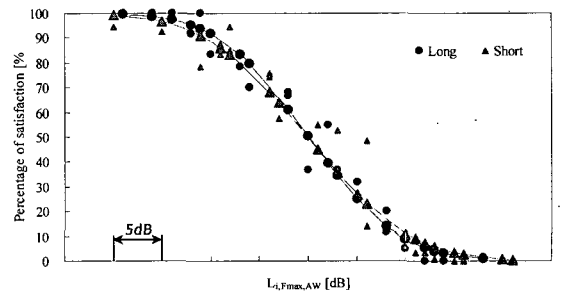
Evaluation scale		Bang	Impact ball	Jumping	Walking
		$L_i, F_{max}, A_W$			
Noisiness	[dB]	46	54	53	49
	[%/dB]	12	7.4	4.4	5.8
Disturbance	[dB]	51	60	57	54
	[%/dB]	8.7	4.8	3.6	5.9
Amenity	[dB]	48	58	58	51
	[%/dB]	9.8	5.5	3.7	5.1



**Fig. 10** Floor impact sound with different impact decay



(a) Bang machine



(b) Impact ball

**Fig. 11** Satisfactory percentage of floor impact sound with different impact decay time

택 거실 및 방에서 4ch로 녹음된 음원을 4ch-라우드 스피커로 배경소음인 낮은 청감실험 부스에서 제시하였다. 중량충격음과 impact ball 충격음의 주관적 만족 비율 결과는 Fig. 11에 각각 나타내었다. Fig. 11의 bang machine 충격음의 경우 각 주파수 대역별 최대값으로 평가되는 역A 특성가중 바닥충격음레벨이 동일하더라도 피크치 이후의 감쇠시간의 차이에 의해 주관적 만족비율은 probit 분석에 의해 회귀곡선을 기준으로 최대 15%이상 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 impact ball의 경우 역A 특성가중 바닥충격음레벨이 동일할 경우 음원의 감쇠시간에 따른 주관적 만족 비율 차이가 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 통해서 현재 국내에서 사용되고 있는 bang machine으로 중량충격음을 측정할 평가량은 실제공간에서 측정공간의 크기 및 실내음향적 특성이 반영된 충격음의 주관적 반응과 차이가 발생할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 impact ball 충격음의 경우 이전의 연구결과와 같이 실험충격원의 주파수 특성 및 레벨의 재현성이 높으며, 실공간의 크기 및 실내음향 특성에 따른 주관적 반응의 차이가 없는 것으로 나타나 impact ball을 사용하여 중량충격음을 측정, 평가하는 것이 보다 합리적이고 대표성이 있는 방법으로 판단된다.

## 5. 결론

현재 공동주택의 바닥충격음 저감을 위한 규제가 시행되었다. 경량충격음의 경우 실제 충격원의 특성과 상이한 충격원이며, 경량충격음이 재현하고 있는 하이힐 등의 충격음에 대한 발생빈도는 국내 공동주택에서 거의 없다. 따라서 경량충격음에 대한 평가결과가 거주자의 반응과 잘 일치하지 않는 것으로 판단된다.

표준 중량충격원인 bang machine의 경우 63 Hz이하 대역의 과도한 충격력을 갖고 있어, bang machine을 활용하여 다양한 저감구조의 중량충격음 차단성능을 평가하고 저감하기 위한 기술개발을 유도하는 것은 합리적이지 못한 것으로 판단된다.

Impact ball 충격음은 bang machine 충격음에 비해 주파수 특성 및 심리음향학적 요소의 평가 결과 실제충격음을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 다양한 벽식공동주택에서의 측정결과에서도 bang

machine 충격음 보다 넓은 레벨 분포를 나타내고 있어 각 구조 측정시 발생하는 오차를 줄일 수 있으며, 청감평가 결과에서도 bang machine에 비해 평가수치의 신뢰도가 높은 것을 나타냈다. 이와 같이 중량충격음의 합리적 측정, 평가 및 저감기술 개발을 위해서는 실제충격원 특성 재현성이 높은 impact ball을 활용하여 측정, 평가하는 것이 더 합리적인 것으로 판단된다.

Impact ball의 평가등급 설정을 위한 실제 공동주택(해당 벽식구조의 현장 특수성 등이 실험 조건상의 제한점은 있음)에서의 청감실험 결과 최소등급은 54 dB(역A 특성가중 바닥충격음레벨)를 최저등급으로 하여 5 dB간격으로 3개 등급으로 설정하는 것이 합리적인 것으로 나타났다.

그러나 충격원의 교체는 기존의 데이터를 활용할 수 없다는 문제에서부터 장기간의 측정자료의 축적, 이를 토대로 한 기준의 재설정 등 수 많은 해결사항이 주저지게 된다. 따라서 새로운 충격원의 도입은 그리 간단한 일은 아니라고 판단된다.

## 후 기

이 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”(과제번호: 03-1-11-2-2002) 산업자원부 “표준화 기술개발사업”(과제번호: 10023489)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 건설교통부, 2004, “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”.
- (2) 정정호, 정 영, 서상호, 송희수, 전진용, 2004, “바닥충격음 측정 및 차음 평가의 방향”, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 269~274.
- (3) 김경호, 전진용, 2002, “공동주택에서의 바닥충격음 인지도 분석”, 한국생활환경학회지, 제 9 권, 제 2 호, pp. 160~165.
- (4) 김경우, 최경석, 정영선, 양관섭, 2005, “실충격원(어린이)의 충격발생 행위에 따른 충격력 특성에 관한 연구”, 한국소음진동공학회논문집, 제 15 권, 제 5 호, pp. 542~549.
- (5) 정정호, 전진용, 2004, “바닥충격음 평가를 위



한 Impact Ball의 특성 및 주관적 반응”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제 24 권, 제 1 호, pp. 617~680.

(6) Jeon, J. Y. and Jeong, J. H., 2003, “Allowable Floor-impact Sound Levels in Apartment Buildings”, Proc of 147th Meeting of Acoustical Society of America, pp.2372.

(7) 양관섭, 김경우, 이승언, 2004, “벽식구조 공동주택의 바닥충격음 특성”, 한국생활환경학회지, 제 11 권, 제 2 호, pp. 98~104.

(8) 전진용, 류종관, 2003, “청감실험에 의한 공동주택 바닥충격음의 평가 등급 설정”, 한국음향학회지, 제 22 권, 제 2 호, pp. 1~8.

(9) 송민정, 기노갑, 장길수, 김선우, 2004, “공동주택 바닥충격음 차단성능 등급화에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제 20 권, 제 10 호, pp.295~302.

(10) Tachibana, H., Tanaka, H., Yasuoka, M. and Kimura, S., 1998, “Development of New Heavy and Soft Impact Source for the Assessment of Floor Impact Sound Insulation of Buildings”, Proc of Inter-noise 98.

(11) Jeon, J. Y. and Jeong, J. H., 2003, “Use of Rubber Ball Impactor for Floor Impact Noise Evaluation”, Proc of WESPAC 8, CD-Rom.

(12) Jeon, J. Y., Jeong, J. H. and Seo, S. H., 2004, “Heavy-weight Floor Impact Sound in Reinforced Concrete Structures”, Proc of The 2004 Conference of the Australian Acoustical Society, pp. 631~636.

(13) Jeon, J. Y. and Jeong, J. H., 2004, “Comparisons of Standard Floor Impact Sources and Classification Based on Subjective Evaluations”, Proc of 17th Biennial Conference of the New Zealand Acoustical Society, pp.1~5.

(14) Abe, K., Inoue, K. and Yasuoka, M., 1999, “Dependence on Temperature of Impact Force Characteristics in Standard Heavy Impact Sources, Part: 1 Equipment and Techniques of Experiments,”

Proceedings of Architectural Institute of Japan, pp. 141~142.

(15) Yasuoka, M., Inoue, K. and Abe, K., 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.

(16) Inoue, K., Abe, K. and Yasuoka, M., 1999, “Dependence on Temperature of Impact Force Characteristics in Standard Heavy Impact Sources, Part: 3 Study on Floor Impact Sound,” Proceedings of Architectural Institute of Japan, pp.145~146.

(17) Jeon, J. Y. and Jeong, J. H., 2004, “The use of Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound”, Proceedings of Inter-noise 2004.

(18) Jeon, J. Y., 2001, “Subjective Evaluation of Floor Impact Noise Based on the Model of ACF/IACF.” Journal of Sound and Vibration, 241 (1), pp.147~155.

(19) Ando, Y., 2001, “A Theory of Primary Sensations and Spatial Sensations Measuring Environmental Noise,” Journal of Sound and Vibration, 241(1), pp.3~18.

(20) 日本建築學會, 2001, “遮音性能基準の設計指針”, 技報堂出版.

(21) Rindel, J. H., 1999, “Acoustic Quality and Sound Insulation Between Dwellings,” Journal of Building Acoustics 5, pp. 291~301.

(22) 정정호, 2004, “바닥충격음의 주관적 평가에 의한 등급설정”, 한양대학교 박사학위 논문.

(23) Rasmussen, B. and Rindel, J. H., 2003, “Sound Insulation of Dwellings Legal Requirements in Europe and Subjective Evaluation of Acoustical Comfort”. Proc of DAGA, pp.118~121.

(24) Rindel, J. H. and Rasmussen, B., 1997, “Assessment of Airborne and Impact Noise from Neighbors”, Proc of Inter-noise 97, pp.1739~1744.