

## 임팩트 볼에 의한 중량충격음의 평가 매트릭스 설정

### Metrics for evaluation of heavy-weight impact noise generated by impact ball

이평직† · 정영\* · 진진용\*\*

Pyoung Jik Lee, Young Jeong, Jin Yong Jeon

Key Words : 중량충격음 (Heavy-weight impact noise), 평가 기준 (Metric for evaluation) 분류 (Classification)

#### ABSTRACT

In this study, metrics for evaluation of heavy-weight impact noise were investigated. Heavy-weight impact noises generated by impact ball were recorded in real apartments using binaural microphone. Those sounds were classified into three groups according to frequency characteristics in order to control aspects which affect subjective responses to heavy-weight impact noise. Sound sources for auditory experiment were selected based on the classification result. Then auditory experiments were conducted to investigate the relationship between level indices and subjective responses. The results showed that  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$  and  $LL_Z$  as well as  $L_{ifmax,AW}$  were highly correlated with subjective response. Therefore,  $L_{Aeq}$  and  $L_{Amax}$  can be used as metrics for evaluation of heavy-weight impact noise. In further studies, it is needed to verify classification of heavy-weight impact noise generated by bang machine and impact ball.

#### 1. 서 론

국내에서 중량충격음 차단성능은 단일수치평가량으로 나타낸다. 단일수치평가량은 역 A 특성 기준곡선을 활용하거나 63~500 Hz 대역의 측정결과의 산술평균값으로 계산되며<sup>(1)</sup>, 대부분의 경우 중량충격음 차단성능의 평가는 역 A 특성 기준곡선을 통해 이루어진다. 일본의 경우 표준중량충격원으로 규정된 벙머신과 임팩트 볼 모두 동일한 평가방법을 따르며, 역 A 특성 기준곡선과 유사한 L 곡선에 의해 단일수치평가량을 산출한다.

KS에 명시된 단일수치평가량의 산출을 위해서는 주파수대역별 최대음압레벨의 측정이 가능한 장비가 반드시 필요하며, 측정 후 분석에도 상당한 시간이 소요된다. 이러한 이유로 중량충격음의 차단성능 측정 및 평가방법의 단순화에 대한 요구가 지속적으로 제기되어 왔다. 따라서 KS F 2863-2 부속서 1에 단일수치평가량 중 하나로

명시되어 있는 최대 A 특성 바닥충격음 레벨( $L_{iA, Fmax}$ )과 같이 주파수 분석이 필요 없는 평가지표에 대한 청감적인 검증이 필요한 실정이다.

진진용<sup>(2)</sup> 등은 임팩트 볼에 의해 발생한 중량충격음을 대상으로 한 청감실험을 실시하였으며, 주관적 반응과 물리량과의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 라우드니스(loudness,  $N$ )와 최대 A특성 바닥충격음 레벨( $L_{iA, Fmax}$ )이 주관적 반응과 높은 상관관계를 갖는 것으로 조사되었다. Owaki<sup>(3)</sup> 등은 중량충격음의 물리지표와 주관적 반응과의 관계를 연구하였으며,  $L_{Aeq}$ 가 L 지수보다 높은 상관관계를 갖는 것으로 조사되었다. Preis<sup>(4)</sup> 등의 연구에서는 실충격원과 표준충격원의 유사성 평가에 유용한 지표인  $N_{nmx}$ 와  $L_{Amax, F}$ 가 높은 상관관계가 갖는 것으로 조사되었다. 또한 바닥충격음 이외에 공기전달음이나 저주파 성분이 지배적인 변조음원의 경우에는  $L_{Aeq}$ ,  $LL_Z$  그리고 평가 주파수 대역의 산술평균값( $L_m$ )이 주관적 반응을 예측하기 위한 효과적인 지표들로 조사되었다.<sup>(5,6)</sup>

그러나 중량충격음의 경우 동일한 음압레벨( $L_{ifmax, AW}$ )을 갖는 음원이라 할지라도 음색(timbre), 음고(pitch) 등 다양한 심리음향학적 요인들에 의해 주관적 반응이 다르게 나타날 수 있다.<sup>(7)</sup> 따라서 중량충격음에 대한 주관

† 한양대학교 건축환경공학과, 석박사 통합과정

E-mail : pyoungjik@daum.net

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

\* 한양대학교 대학원, 박사과정

\*\* 한양대학교 건축대학, 부교수

적 반응을 보다 면밀히 평가하기 위해서는 주관적 반응에 영향을 미치는 요인들에 대한 통제가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 청감실험을 위한 음원 선정에 앞서 국내 공동주택에서 측정된 중량충격음을 유사한 청감특성을 갖는 3개 그룹으로 분류하였다. 중량충격음에 대한 분류 작업을 바탕으로 청감실험 음원을 선정하였으며, 주관적 반응과 다양한 물리자료들과의 상관관계를 조사하였다.

## 2. 현장 측정

### 2.1 개요

먼저 표 1에 나타난 바와 같이 국내 31개 벽식구조 공동주택의 거실과 안방에서 중량충격음을 측정 및 녹음하였다. 측정 대상 공동주택의 바닥 슬라브 두께는 150~180 mm 이었으며, 대부분은 30평형 규모였다. 임팩트 볼로 상층부의 중앙부를 가진 하였을 때 발생하는 중량충격음을 거실과 안방의 중앙부에서 Head & Torso (B&K Type 4128D) 를 이용하여 녹음하였으며, 분석에는 양귀에서 분석된 물리자료의 평균값을 사용하였다.

Table 1 Rooms where sound sources were recorded

구분	계	20평형	30평형	40평형	50평형	60평형
공동주택	31	4	18	-	6	3
거실/안방	28/29	4/7	16/12	-	6/6	2/4

### 2.2 측정 결과

31개 공동주택에서 녹음된 중량충격음의 주파수 대역별 최대음압레벨 ( $L_{IA, Fmax}$ )은 그림 1에 나타난 바와 같다. 각 실의 주파수 특성은 바닥구성과 마감재료, 실의 크기 등의 영향으로 다양하며, 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨 ( $L_{Amx, F}$ )은 39~61 dB의 분포를 나타냈다.

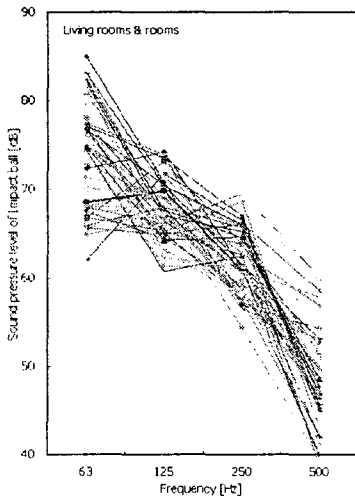


Fig. 1 Frequency characteristics

## 3. 중량충격음의 분류(Classification)

중량충격음의 주관적 반응에 영향을 미치는 가장 중요한 주파수 특성이다. 주파수 대역별 음압레벨의 차이가 중량충격음의 음색(timbre)과 음고(pitch)를 변화시키는 기본적인 요소이기 때문이다. 특히, 특정 주파수 대역의 음압레벨이 다른 대역의 음압레벨에 비해 상대적으로 큰 음원은 그렇지 않은 음원과 뚜렷하게 구별되는 청감특성을 갖게 된다. 본 연구에서는 주관적 반응에 영향을 미치는 주파수 대역을 기준으로 중량충격음을 분류하기 위하여 역 A 특성 기준곡선과 등청감 곡선(Equal loudness contour)을 적용하였다.

### 3.1 역 A 특성 기준곡선에 의한 분류

역 A 특성 기준곡선을 상회하는 값의 총합이 8 dB를 상회하지 않는 범위에서 가능한 기준곡선이 낮게 위치하였을 때, 기준곡선을 상회하는 값이 가장 큰 주파수 대역을 기준으로 중량충격음을 분류하였다. 이는 기준곡선을 상회하는 값이 가장 큰 주파수 대역이 중량충격음의 청감특성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단되기 때문이다. 중량충격음의 평가가 63~500 Hz 범위에서 이루어지기 때문에 역 A 특성 기준곡선을 적용할 경우에는 표 2와 같이 4개의 그룹으로 분류되며, 기준곡선을 적용하여 분류된 그룹별 음원의 대표적인 주파수 특성은 그림 2와 같다.

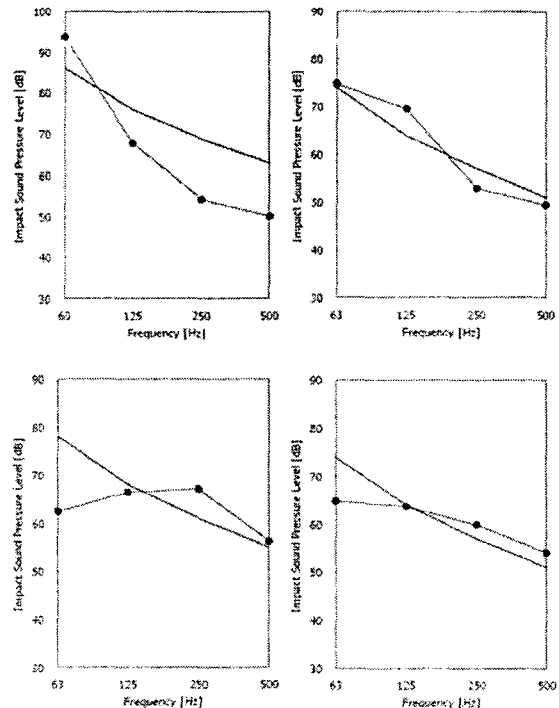


Fig. 2 Frequency characteristics of each group

Table 2 Result of classification through inverse A-weighted reference curve

구분	계	그룹 1	그룹 2	그룹 3	그룹 4
음원 개수	57	14	25	14	4

3.2 등청감 곡선에 의한 분류

등청감 곡선은 소리의 크기에 대한 사람의 감각적 변화를 고려한 척도로서 1 kHz 순음을 기준으로 각 주파수 대역에서 기준 주파수와 같은 크기로 지각되는 음압레벨을 그래프로 나타낸 것이다. 따라서 중량충격음의 주파수 대역별 최대음압레벨( $L_{iA, Fmax}$ )을 등청감 곡선에 나타내면 어느 대역의 음압레벨이 더 크게 들리는지를 유추할 수 있다. 등청감 곡선을 적용할 경우에도 중량충격음은 표 3과 같이 4개의 그룹으로 분류되며, 각 그룹별 음원의 대표적인 주파수 특성은 그림 3과 같다.

Table 3 Result of classification through equal loudness contour

구분	계	그룹 1	그룹 2	그룹 3	그룹 4
음원 개수	57	12	29	12	4

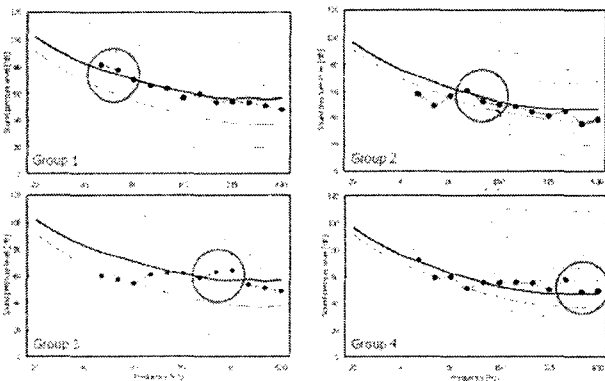


Fig. 3 Frequency characteristics of each group

등청감 곡선은 1/3 옥타브 밴드 분석결과를 적용하기 때문에 1/1 옥타브 밴드 분석결과를 이용하는 역 A 특성 기준곡선을 적용할 경우보다 특정 주파수 대역의 음압레벨에서 민감한 결과를 나타냈다. 따라서 두 기준을 적용한 중량충격음의 분류 결과가 일치하지 않는 경우가 일부 발생하였으나, 두 기준의 분류결과는 약 90% 이상 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 분류결과를 통해 도출된 각 그룹이 정말 주관적 반응의 차이를 나타내는지는 향후 청감실험 등을 통해 검증되어야 할 것이다.

4. 청감실험

중량충격음의 주관적 반응을 살펴보기 위하여 현장 측정과 분류 결과를 토대로 청감실험을 실시하였다. 주관적 반응에 대한 중량충격음 분류결과에 영향을 검증하기 위하여 첫 번째 실험에서는 각 그룹별로 8개 음원을 선정하여 주관적 반응을 살펴보았으며, 두 번째 실험에서는 각 그룹별 음원을 3개씩 선정하여 총 9개 음원에 대한 주관적 반응을 조사하였다. 실험은 배경소음이 낮은 청감실험 부스에서 정상청력의 성인 8명을 대상으로 실시되었다.

4.1 음원

음원은 중량충격음 분류 결과를 토대로 선정되었으며, 그룹 4로 분류된 음원은 그 수가 적어 그룹 3에 통합하여 적용하였다. 각 실험의 음원은 현장 측정결과를 통해 도출된 각 지표의 범위 내에서 선정하였다. 따라서 청감실험에 사용된 음원의 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨( $L_{iFmax, AW}$ )은 39~61 dB,  $L_{Aeq}$  값은 32~62 dB의 분포를 나타냈다. 청감실험에 사용된 음원의 수가 8~9개이기 때문에 각 물리지표의 차이는 2~3 dB로 피험자가 인지할 수 있는 범위 내에 존재하는 것으로 판단되었다.

4.2 실험 방법

중량충격음에 대한 피험자들의 주관적 반응을 살펴보기 위하여 쌍대비교법(paired comparison test)을 적용하였다. 쌍대비교법은 두개의 소음을 한 쌍으로 만들어 평가음원의 모든 조합을 평가함으로써 각 소음의 상대적인 특성을 파악하는 방법으로 'Thurstone's Case V'를 이용하여 각 음원의  $\square\square$  scale value  $\square\square$ 를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 피험자들이 쌍으로 들려지는 두 음원 중 어느 음원이 더 거슬리는지를 평가하도록 함으로써 중량충격음원의 거슬림(annoyance)에 대한 scale value를 도출하였다.

4.3 분석 지표

중량충격음의 주관적 반응과 상관관계가 높은 물리지표를 조사하기 위하여 본 연구에서는 이전 연구자들이 관련 연구를 통해 제안한  $L_{Amax, F}$ ,  $LL_z$ ,  $L_{Aeq}$ ,  $L_m$  등의 지표뿐만 아니라 라우드니스(loudness)의 백분위수 지표인  $N_{max}$ ,  $N_5$ ,  $N_{10}$ 과 'noise climate'으로 불리는  $L_{A10} - L_{A0}$  등의 지표들을 분석하였다.

4.4 실험 결과

청감실험 결과는 일관성 테스트(consistency test)와 합치 테스트(agreement test)를 통해 검증되었다. 일관성 테스트 결과 첫 번째 실험에서는 6명, 두 번째 실험에서는 8명의 결과 모두가 유의한 것으로 나타났으며 ( $p < 0.05$ ), 합치 테스트 결과 각 실험은 합치계수가 0.9

Table 3 Correlation between level indices and scale value

		$L_{iFmax,AW}$	$L_{Aeq}$	$L_{Aq}$	$L_{iA,Fmax}$	$L_{max}$	$L_m$	$LL_Z$	$N_{max}$	$N_5$	$N_{10}$	$L_{A10}-L_{A90}$
실험 1	Group 1	0.91	0.96	0.93	0.92	0.91	0.88	0.96	0.89	0.88	0.87	0.70
	Group 2	0.97	0.97	0.74	0.98	0.78	0.91	0.98	0.93	0.93	0.93	0.68
	Group 3	0.96	0.97	0.92	0.96	0.98	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.48
실험 2		0.89	0.93	0.79	0.92	0.85	0.91	0.93	0.89	0.88	0.88	0.85

이상(p<0.05)으로 피험자들이 95% 이상의 신뢰도로 일관적인 판정을 내렸음을 알 수 있었다.

청감실험 결과를 통해 도출된 거슬림에 대한 scale value와 각 물리지표들과의 상관계수는 표 3에 나타난 바와 같으며 모두 통계적으로 유의했다.(p<0.01) 중량충격음의 분류를 통해 각 그룹별로 진행하였던 첫 번째 실험에서는  $L_{iFmax,AW}$ ,  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amx}$  그리고  $LL_Z$ 의 상관계수가 세 개 그룹에서 모두 0.9 이상이었으며, 각 그룹별 음원을 고르게 선정 한 후 실시한 두 번째 실험에서도  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amx}$  그리고  $LL_Z$ 가 0.9 이상의 상관계수를 나타냈다. 현재 중량충격음의 차단성능 지표로 사용되는 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨( $L_{iFmax,AW}$ )은 주관적 반응과 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 A 특성 등가소음레벨( $L_{Aeq}$ )과 최대 A 특성 바닥충격음 레벨( $L_{iA,Fmax}$ ) 역시 4개 실험에서 모두 주관적 반응과 0.92 이상의 높은 상관관계를 나타냈다. A 특성 등가소음레벨( $L_{Aeq}$ )과 최대 A 특성 바닥충격음 레벨( $L_{iA,Fmax}$ )은 주파수 분석이 필요 없으며, 간단한 소음계로도 측정이 가능하기 때문에, 두 지표를 중량충격음의 측정 및 평가에 적용한다면 중량충격음의 평가에 소요되는 시간과 노력을 경감시킬 수 있을 것이다. 라우드니스 레벨( $LL_Z$ )은 주관적 반응과 가장 높은 상관관계를 나타냈으나 분석과정이 현재의 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨 산출 과정보다 오히려 복잡하기 때문에 중량충격음의 평가에 적용되기는 어려울 것으로 판단된다.

본 연구의 물리지표와 주관적 반응과의 상관관계는 이전 연구결과<sup>(2,3)</sup>보다 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 청감실험에 사용된 음원이 주요 물리지표 값의 2~3 dB간격으로 선정되었기 때문에 피험자가 음색과 음고 등의 영향보다는 음의 세기에 민감하게 반응할 수 있었기 때문이다. 따라서 향후 물리지표 값의 간격을 보다 세밀하게 음원을 선정하여 청감실험을 진행한다면, 각 물리지표와 주관적 반응과의 상관관계는 다소 감소할 것으로 예상된다. 또한 첫 번째 실험에 비해 두 번째 실험에서의 상관계수가 다소 감소하였는데, 이는 첫 번째 실험에서는 중량충격음의 분류를 통해 주관적 반응에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 통제했지만 두 번째 실험에서는 소리의 세기(loudness) 이외에 다양한 요인들이 주관적 반응에 영향을 미쳤기 때문으로 사료된다.

5. 결론 및 향후 진행방향

본 연구에서는 중량충격음 차단성능의 측정 및 평가과정을 단순화하고, 주관적 반응과 높은 상관관계를 갖는 물리지표를 살펴보기 위하여 실제 공동주택에서 임팩트 불에 의해 발생하는 중량충격음을 대상으로 청감실험을 진행하였다. 먼저 주관적 반응에 영향을 미치는 요인들의 영향을 통제하기 위하여 역 A 특성 기준곡선과 등청감 곡선을 이용하여 중량충격음을 유사한 주파수 특성을 갖는 3개 그룹으로 분류하였으며, 분류 결과를 토대로 청감실험 음원을 선정하였다. 청감실험 결과  $L_{iFmax,AW}$  뿐만 아니라  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amx}$ ,  $LL_Z$ 가 주관적 반응과 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 따라서  $L_{Aeq}$ 와  $L_{Amx}$ 를 중량충격음 차단성능 평가 지표로 활용한다면 측정 및 평가과정을 단순화할 수 있으며 주관적 반응 또한 보다 정확하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 본 연구에서 제안한 중량충격음의 분류기준에 따라 도출된 각 그룹의 음원이 동일한 청감특성을 갖는지 그리고 각 그룹이 청감적으로 구분되는지 여부를 검증하고, 청감실험은 음원 개수를 늘려 다양한 음원레벨에서의 주관적 반응을 조사할 것이다. 또한 임팩트 불 뿐만 아니라 뱅머신에 의해 발생하는 중량충격음에 대한 연구도 병행될 것이다.

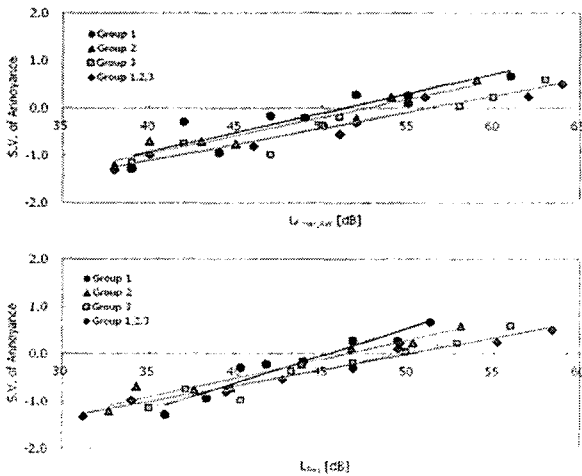


Fig. 4 Correlation between scale value and  $L_{iFmax,AW}$ ,  $L_{Aeq}$

## 후 기

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

## 참 고 문 헌

(1) Korean Standards Association, 2001, KS F 2810-2 Field measurements of impact sound insulation of floors-Part 2 : Method using standard heavy impact sources

(2) J. Y. Jeon, J. K. Ryu, J. H. Jeong and H. Tachibana, 2006, "Reviews of the impact ball in evaluating floor impact sound", *Acta Acustica* 92(5), pp. 777-786

(3) M. Owaki et al, 2000, "A study for the correspondence between the noiseness in the sense of hearing and the light weight and heavy weight floor impact sound with a A-weighted sound pressure level", *J. Archit. Plann Environ. Eng.* 537(7), pp. 7-12

(4) A. Preis, M. Ishibashi and H. Tachibana, 2000, "Psychoacoustic studies on assessment of floor impact sounds", *J. Acoust. Soc. Jpn.* 021(2), pp. 69-77

(5) H. Tachibana, H. Yano and Y. Sonoda, 1990, "Subjective assessment of indoor noises basic experiments with Artificial Sounds", *Applied Acoustics* 31, pp. 173-184

(6) M. Ishibashi et al, 2006, "Relationships between arithmetic averages of sound pressure level calculated in octave bands and Zwickers loudness level", *Applied Acoustics* 67, pp. 720-730

(7) S. Sato, J. K. Ryu and J. Y. Jeon, 2005, "Annoyance of floor impact noise in relation to the factors extracted from the autocorrelation and the interaural cross-correlation functions", *Proceeding of Forum Acusticum*

(8) 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.

(9) E. Zwicker and H. Fastl, 1999, "Psychoacoustics : Facts and Models. Berlin Springer-Verlag"

(10) Y. Ando, 2001, "A Theory of primary sensations and spatial sensations measuring

environmental noise", *Journal of Sound and Vibration*, 241, pp.3-18.

(11) J. H. Jeong, J. Y. Jeon, 2005, "Floor impact noise measurement and evaluation method using impact ball", *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 15, No. 10, pp. 1160-1168.

(12) JIS A 1418-2: 2000 "Acoustics - Measurement of floor impact sound insulation of buildings - Part 2:Method using standard heavy impact source."

(13) JIS A 1418-1: 2000 "Acoustics - Measurement of floor impact sound insulation of buildings - Part 1: Method using standard light impact source."