

# 임팩트 볼에 의한 중량 충격음의 Sound Quality 특성

## Sound quality characteristics of heavy-weight impact sounds generated by impact ball

유 진\* · 이혜미\* · 전진용\*\*

Jin You, Hye Mi Lee, Jin Yong Jeon

Key Words : 중량충격음 (Heavy-weight impact sound), 음질 (Sound quality), 분류 (Classification), 임팩트 볼 (Impact ball)

### ABSTRACT

Heavy-weight impact sounds generated by impact ball were classified according to the frequency characteristics on the equal loudness contours. Sound quality metrics such as Zwicker's loudness, sharpness, roughness of each classified impact sound were also measured. Loudness spectrum has been regarded as an indication of the characteristics difference of each classified impact sound. The adjectives in Korean expressing the sound quality characteristics of floor impact sounds were also investigated by adoptability and similarity tests. The group of the adjectives was used to evaluate the sound quality of floor impact sound by semantic differential test method.

### 1. 서론

중량충격음 차단성능 측정 및 평가는 “바닥충격음 차단성능 측정방법 (KS-F 2810-1, 2)”과 “바닥충격음 차단성능 평가방법 (KS-F 2863-1, 2)”을 통해 이루어지며, 단일수치 평가량은 역 A 기준 곡선을 이용해 도출된다.

그러나 동일한 단일수치 평가량 또는 에너지를 갖는 중량충격음이라 할지라도 그 소음원의 주파수 특성, 시간변화 특성 등에 따라 다양한 음질특성이 나타나며, 주관적인 평가 역시 다르게 나타날 수 있다. 따라서 중량충격음의 음질구조를 규명하고 특정 음질요소가 주관적인 반응에 어떠한 영향을 미치는지 조사할 필요가 있다.

생활소음 또는 바닥충격음의 음질 특성을 규명하기 위해 Zwicker의 라우드니스<sup>(1)</sup>, ACF/IACF factor<sup>(2)</sup> 등을 활용한 연구사례들<sup>(3-4)</sup>이 있으며, 라우드니스와 phi(0) 등의 요소가 주관적 반응과 상관도가 높은 것으로 밝혀졌다. 그러나 소음의 크기 또는 에너지가 클수록 주관적인

선호도가 낮아진다는 결론에서 한 걸음 더 나아가 소음의 에너지가 비슷할 때 주관적 반응에 영향을 미치는 세부적 음질요소에 대한 규명이 요구된다. 이를 위해서는 여러 종류의 중량충격음을 주파수 대역별 라우드니스 분포 특성에 따라 구분하고, 각 특성별 대표 음원들을 선정하여 음질 분석 및 평가를 진행해야 할 것이다. 음질의 주관적인 평가 또한 선호도 평가뿐만 아니라 음질이 어떻게 다른지 구체적으로 규명할 수 있도록 형용사 어휘를 활용하는 의미분법<sup>(5)</sup> 등의 평가 방법론이 도입되어야 한다.

생활소음의 감성 특성 분석 등을 위해 관련소음 표현 형용사를 선정하려는 연구들<sup>(6-7)</sup>이 진행된 바 있으나 중량충격음의 크기와 이에 대한 심리적 거부감 및 시간변화 특성, 주파수 대역 특성 등을 총체적으로 고려한 평가 형용사에 대한 조사, 연구는 아직 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 중량충격음의 음질 특성을 규명하기 위해 사람의 청감특성을 잘 반영하여 제안된 등청감 곡선을 기준으로 중량충격음을 분류하고 각 분류 소음원의 음질 특성을 분석하여 분류된 그룹별 특성을 규명하고자 하였다. 중량충격음으로서 임팩트 볼을 사용하였으며, 바닥충격음을 표현하는 형용사 어휘를 선정하여 중량충격음 음질 평가에 활용토록 하였다.

### 2. 현장 측정

† 한양대학교 건축환경공학과, 석박사 통합과정

E-mail : jinyou.willow@gmail.com

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

\* 한양대학교 대학원, 석사과정

\*\* 한양대학교 건축대학, 부교수

2.1 측정 개요

표 1과 같이 국내 31개 벽식구조 공동주택의 거실과 안방 바닥을 대상으로 중량충격원의 가진에 의한 충격소음을 녹음하였다. 임팩트 볼을 사용하여 대상 바닥의 중앙부를 가진 하였을 때 발생하는 소음을 그 하층 중앙부에서 디미헤드(B&K Type 4128D)로 녹음하였으며, 양쪽 귀에서 녹음된 소음원의 분석 평균값을 본 연구에 활용하였다. 대상 공동주택은 대부분 30평형 규모이며, 바닥의 콘크리트 슬래브 두께는 150~180 mm범위를 갖도록 하였다.

Table 1 Rooms where sound sources were recorded

구분	계	20평형	30평형	40평형	50평형	60평형
공동주택	31	4	18	-	6	3
거실/안방	27/57	4/7	15/24	-	6/6	2/10

2.2 측정 결과

31개 공동주택의 27개 거실과 57개 안방에서 녹음한 중량충격음의 주파수 대역별 최대음압레벨( $L_{iA, Fmax}$ ) 분포는 그림 1과 같다. 각 실에 따른 주파수 특성은 바닥구성과 마감재료, 실의 크기 등의 영향으로 인해 다양한 분포를 나타내며, 역 A 특성 가중 바닥충격음 레벨( $L_{Amax, F}$ )은 39~61dB의 분포로 나타났다.

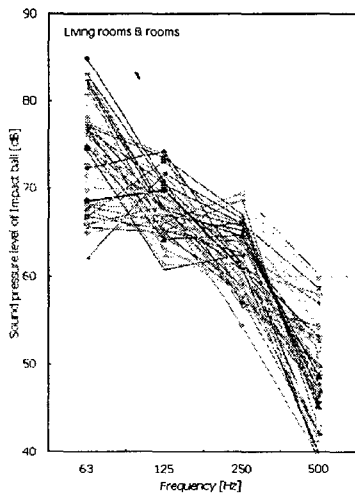


Fig. 1 Frequency characteristics of floor impact noise by impact ball

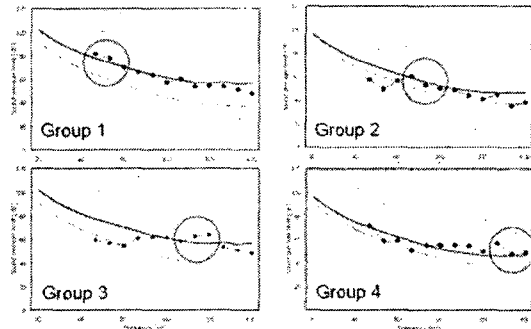
3. 중량충격음의 분류 (Classification) 및 음질분석

3.1 중량 충격음의 분류

중량충격음에 대한 주관적 반응에 영향을 미치는 주파수 대역을 기준으로 공동주택에서 녹음한 중량충격음을 분류하기 위해 등청감 곡선(Equal loudness contour)

을 활용하였다. ISO 1961로 규정되는 등청감 곡선은 소리의 크기에 대한 사람의 인지 변화를 고려한 척도로써 1 kHz 순음을 기준으로 각 주파수 대역에서 기준 주파수와 같은 크기로 지각되는 음압레벨을 그래프로 나타낸 것이다. 중량충격음의 평가가 대부분 63~500Hz 범위의 주파수 대역에서 이루어지기 때문에 본 연구에서는 상기 주파수 대역 부분만을 고려하여 등청감 곡선을 적용하였다.

중량충격음의 주파수 대역별 최대음압레벨( $L_{iA, Fmax}$ ) 분포를 등청감 곡선 상에 투영하면, 주관적 반응에 더 큰 영향을 미치는 특정 주파수 대역을 유추할 수 있다. 따라서 그림 2와 같이 등청감 곡선을 상회하는 음압레벨 값이 큰 주파수 대역을 기준으로 중량충격음을 4개의 그룹으로 구분하였다.



3.2 중량 충격음의 음질 요소

4개의 그룹으로 분류된 중량충격음에 대하여 Zwicker의 라우드니스, 라우드니스 최대값 ( $N_{max}$ ), 5% 백분위 라우드니스 ( $N_5$ ), 10% 백분위 라우드니스 ( $N_{10}$ ), 샤프니스, 러프니스 등의 음질요소를 분석하여 표 2에 나타내었다. 그룹 당 10개 이상의 중량충격음 데이터가 포함되었고, 그룹 4의 경우만 데이터의 수가 적어서 특성이 유사한 그룹 3에 포함시켜 나타내었다.

그룹 2와 3, 4의 라우드니스 평균값은 서로 유사하게 나타났으나, 그룹 1의 라우드니스 평균값이 상대적으로 높게 나타났다. 고주파 대역 특성에 의한 거슬림 등을 표현하는 샤프니스 값의 경우 그룹 2가 가장 높고, 그룹 1과 그룹 3, 4는 서로 유사하게 나타났다. 또한 중, 저주파 대역에서의 빠른 변동강도를 설명하는 러프니스의 경우 그룹 1이 가장 작은 값을 갖는 것으로 나타났다.

Table 2 Overall values of sound quality metrics of heavy-weight impact noise

	Loudness [sone]	$N_{max}$ [sone]	$N_5$ [sone]	$N_{10}$ [sone]	Sharpness [acum]	Roughness [asper]
Group 1	6.0	8.4	8.2	7.8	1.5	1.9
Group 2	5.1	7.8	7.5	6.9	1.7	2.1
Group 3 & 4	5.0	7.9	7.4	6.8	1.5	2.1

그림 3은 각 그룹별 중량충격음의 주파수 대역별 라우드니스 분포를 나타낸다. 그룹 당 6개씩의 중량충격음을 선정하여 분석하였으며, 그룹 1의 경우 1Bark 이하 즉, 100Hz 이하 대역의 특성이 강하게 나타났다. 그룹 2의 경우 1.5-2Bark 대역 즉, 200Hz 이하 대역에서 라우드니스 peak 값을 갖는 것으로 나타나 그룹 1의 라우드니스 특성과 다른 양상을 보였다. 그룹 3, 4의 경우 그룹 1과 2에 비해 상대적으로 고주파 대역에서 라우드니스 peak 값을 갖는 주파수 특성을 나타내었다.

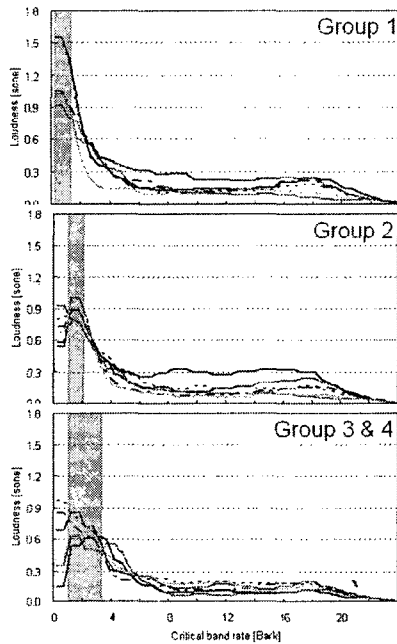


Fig. 3 Loudness patterns of each group

#### 4. 중량충격음 평가 어휘 선정

소음의 음질을 평가하기 위해서는 상기와 같은 물리적 요소 분석과 함께 청감자를 대상으로 하는 주관적 반응 조사의 병행이 필수적이다. 주관적 반응을 정량화하는 방법론은 여러 가지가 있겠으나, 본 연구에서는 소음 표현 형용사를 활용하여 음질을 보다 세밀하게 평가하는 데에 적절한 의미분법 (Semantic differential method)을 사용하기 위해 바닥충격음 표현에 적합한 한국어 어휘를 선정하였다.

##### 4.1 바닥충격음 표현 어휘 선정

일차적으로 형용사 사전을 통해 바닥충격음 표현에 적합하다고 판단되는 형용사 어휘 600개를 수집하였다. 바닥충격음을 평가하기 위한 기준들로서 1. 거부감, 2. 울림 등의 잔향감, 3. 둔탁감으로 설명되는 주파수 특성, 그리고 4. 소리의 크기 등의 4가지로 크게 구분하여 설정할 수 있다고 판단하고, 상기 기준들을 포함하여 표현할 수 있는 형용사

어휘들을 추출하여 75개의 형용사 어휘군을 선정하였다.

##### 4.2 어휘 적합성 평가

75개의 형용사에 대해 각 형용사가 바닥충격음을 어느 정도 잘 기술해 줄 수 있는지의 여부를 5점 척도 (1점 “부적합하다” 에서 5점 “적합하다” 까지)로 평정하도록 하였다. 5명의 바닥충격음 평가 관련 전문가가 피험자로 참여하여 무작위로 배열된 형용사 어휘에 대해 적합성 평가를 진행하였다. 평가 시 3절에서 언급한 중량충격음을 헤드폰으로 제시하여 특성이 다양한 소음원들을 고려할 수 있도록 하였다.

적합성 평가 결과, 표 3과 같이 75개의 형용사 중 각 기준별로 적합도 점수 상위 10개씩 총 40개의 형용사가 선정되었다.

Table 3 Adoptability test results on Korean adjectives expressing floor impact noise

Rank	거부감	잔향감	음의 고저	음의 세기
1	신경쓰이다	울림이크다	무디다	강하다
2	거슬리다	울리다	무겁다	크다
3	짜증스럽다	울려퍼지다	둔탁하다	세다
4	불쾌하다	퍼지다	박력있다	강력하다
5	성가시다	웅대하다	탁하다	우렁차다
6	듣기싫다	꽉차다	단단하다	힘차다
7	거북하다	웅장하다	굵다	찌렁찌렁하다
8	방해된다	넓다	가라앉다	어미어미하다
9	괴롭다	충만하다	깊다	엄정나다
10	위압적이다	가득하다	어둡다	기운차다

##### 4.3 어휘 유사성 평가

서로 의미가 크게 유사한 형용사 어휘들 중 대표적인 형용사만을 남기고 나머지 유사 어휘는 제거하기 위해 적합성 평가에서 선정된 40개의 형용사에 대해 유사성 평가를 진행하였다. 40개 어휘를 사용하여 180개 (4X10X9/2)의 조합 쌍을 작성하였고, 각 형용사 쌍이 서로 유사한 정도를 7점 척도 (1점 “매우 유사하지 않음” 에서 7점 “매우 유사함” 까지)로 평정하도록 하였다. 8명의 바닥충격음 평가 관련 전문가가 피실험자로 참여하였고, 각 형용사 쌍은 무작위로 제시하였다.

그림 4와 같이 평가 기준별 유사 형용사 묶음이 조사되었다. 거부감을 표현하는 형용사 어휘의 경우 유사성 점수 5.0 이상, 잔향감 표현 어휘의 경우 5.5점 이상, 음의 고저 표현 어휘의 경우 3.5점 이상, 음의 세기 표현 어휘의 경우 5.5점 이상을 획득한 형용사 쌍들로부터 유사 어휘를 묶음으로 나타내었다. 서로 유사한 어휘들 중에서 타 유사 어휘와 유사 빈도수가 높게 나타난 어휘를 대표 형용사로 선정하였고, 최종적으로 각 기준별로 4개씩 총 16개의 형용사

어휘를 추출하여 표 4에 정리하였다.

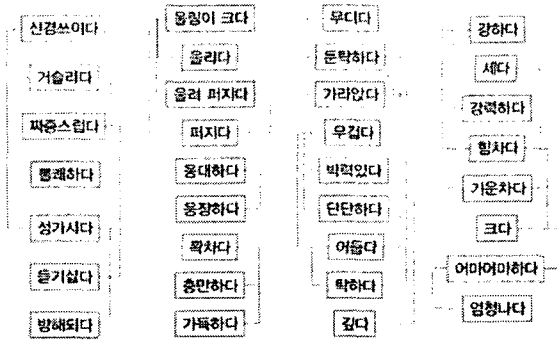


Fig. 4 Similarity clusters of Korean adjectives expressing floor impact noise

Table 4 Selected Korean adjectives for evaluation of floor impact noise by semantic differential test

거북감	잔향감	음의 고저	음의 세기
성가시다	울려 퍼지다	둔탁하다	강하다
거북하다	웅장하다	무겁다	크다
괴롭다	충만하다	깊다	찌렁찌렁하다
위압적이다	넓다	굵다	우렁차다

### 5. 결론 및 향후 진행방향

본 연구에서는 임팩트 볼 등 중량충격원에 의한 소음의 음질 특성을 조사하기 위해 실제 공동주택에서 녹음한 중량충격음을 특성에 따라 분류하고 분류 그룹별 음질요소를 조사하였다. 등청감 곡선을 기준으로 중량충격음을 4개의 그룹으로 분류(Classification)하였고, 각 그룹별 소음의 음질요소 및 주파수 대역별 라우드니스 패턴 분석을 통해 그룹간의 음질 차이를 규명하였다.

그룹별 소음의 서로 다른 특성을 청감적으로 평가하기 위해 형용사 어휘를 사용하는 의미분법 실험을 준비하였다. 그 준비과정으로서 바닥충격음의 음질을 표현하는 형용사 어휘군을 추출하기 위해 형용사 어휘의 적합성 및 유사성 평가를 진행하였고, 최종적으로 16개의 어휘를 선정하였다.

향후 연구에서는 본 연구에서 제안하는 분류기준에 따라 나뉜 중량충격음의 음질 특성을 상기의 형용사 어휘군을 사용하여 의미분법으로서 평가 및 검증할 예정이다. 또한 임팩트 볼뿐만 아니라 뱅 머신 등의 타 중량충격원에 대하여 동일한 평가 및 검증의 과정이 진행될 것이다.

### 후 기

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

### 참 고 문 헌

- (1) Zwicker E. and Fastl IL, 1999, Psychoacoustics : Facts and Models, Springer.
- (2) Ando Y. 1998, Architectural acoustics : Blending sound sources, sound fields, and listeners, Springer.
- (3) Jeon J. Y., Jeong J. H. and Ando Y., 2002, "Objective and subjective evaluation of floor impact noise", Journal of Temporal Design in Architecture and Environment, 2(1), pp. 20-28.
- (4) Jeon J. Y., 2000, "Subjective evaluation of floor impact noise based on the model of ACF/IACF", Journal of Sound and Vibration, 241(1), pp. 147-155.
- (5) Osgood C. E., Suci G. J. and Tannenbaum P., 1957, "The measurement of meaning", University of Illinois Press.
- (6) 민윤기, 손진훈, 1999, "생활공간음의 감성 특성 분석: 소음 형용사에 대한 차원분석", 한국감성과학회지, 2(1), pp. 69-75.
- (7) 송민정 등, 2004, "평가방법을 고려한 공동주택 바닥충격음 평가어휘 선정에 관한 연구", 한국소음진동공학회논문집, 14(7), pp. 626-631.
- (8) Ando Y., 2001, "A Theory of primary sensations and spatial sensations measuring environmental noise", Journal of Sound and Vibration, 241, pp.3-18.
- (9) Jeon J. Y., Ryu J. K., Jeong J. H. and Tachibana H., 2006, "Review of the impact ball in evaluating floor impact sound," Acta Acustica united with Acustica, 92(5). pp.777-786.
- (10) JIS A 1418-2: 2000 "Acoustics - Measurement of floor impact sound insulation of buildings - Part 2:Method using standard heavy impact source."
- (11) JIS A 1418-1: 2000 "Acoustics - Measurement of floor impact sound insulation of buildings - Part 1: Method using standard light impact source."