

주파수 특성 분류를 통한 임팩트 볼 중량충격음의 주관적 평가

Evaluation of heavy-weight impact sounds generated by impact ball through classification

김재호[†] · 이평직* · 전진용**

Jae Ho Kim, Pyoung Jik Lee and Jin Yong Jeon

Key Words : 중량충격음(Heavy-weight impact noise), 분류(Classification), 주관적 평가(Subjective evaluation)

ABSTRACT

In this studies, subjective evaluation of heavy-weight floor impact sound through classification was conducted. Heavyweight impact sounds generated by an impact ball were recorded through dummy heads in apartment buildings. The recordings were classified according to the frequency characteristics of the floor impact sounds which are influenced by the floor structure with different boundary conditions and composite materials. The characteristics of the floor impact noise were investigated by paired comparison tests and semantic differential tests. Sound sources for auditory experiment were selected based on the actual noise levels with perceptual level differences. The results showed that roughness and fluctuation strength as well as loudness of the heavy-weight impact noise had a major effect on annoyance.

1. 서 론

중량충격음 차단성능은 KS F 2863-2에 규정되어 있는 기준곡선을 이용하여 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{iFmax,AW}$)로 나타낸다. 중량충격음 평가등급을 포함하는 모든 법적 규제기준의 평가지표는 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨이다. 그러나 동일한 단일수치 평가량을 갖는 중량충격음이라 할지라도 각 음원의 주파수 특성과 심리지표들은 바닥구조와 측정조건 등에 의해 다양하며, 단일 수치 평가량이 같은 음원들에 대해 거주자들은 상이한 주관적 반응을 보이게 된다. 따라서 중량충격음에 대한 거슬림을 저감하기 위해서는 먼저 중량충격음의 주관적 반응에 영향을 미치는 요인들을 규명하고 음압레벨뿐만 아니라 다양한 요인들을 통제하기 위한 노력이 병행되어야 한다.

그러나 중량충격음에 대한 주관적 반응을 보다 면밀히 평가하기 위해서는 주관적 반응에 영향을 미치는 요인들

에 대한 통제가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 청감 실험을 위한 음원 선정에 앞서 국내 공동주택에서 측정된 중량충격음을 유사한 청감특성을 갖는 3개 그룹으로 분류하였다. 중량충격음에 대한 분류 작업을 바탕으로 청감 실험 음원을 선정하였으며, 주관적 반응과 다양한 물리지표들과의 상관관계를 조사하였다.

2. 임팩트 볼에 의한 중량충격음 분류

2.1 중량충격음의 측정

임팩트 볼로 상층부의 중앙부를 가진하였을 때 발생되는 중량충격음을 31개 벽식구조 공동주택의 거실과 안방의 중앙부에서 Head & Torso (B&K Type 4100)를 이용하여 녹음하였으며, 분석에는 양귀에서 분석된 물리지표의 평균값을 사용하였다. 측정은 150m² 이하 공동주택 22세대(거실 19, 방 31), 150m² 이상 공동주택 9세대(거실 8, 방 16) 총 31세대(거실 27, 방47,) 에서 이루어졌으며, 녹음된 중량충격음의 주파수대역별 최대음압레벨은 그림 1에 나타난 바와 같다. 각 실의 주파수 특성은 바닥구성과 마감재료, 실의 크기 등 다양하며, 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨($L_{iFmax,AW}$)은 43~66dB 분포를 나타냈다.

† 한양대학교 건축환경공학과, 석박사 통합과정
E-mail : nosaer4@gmail.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

* 한양대학교 건축환경공학과, 석박사 통합과정

** 한양대학교 건축대학, 부교수

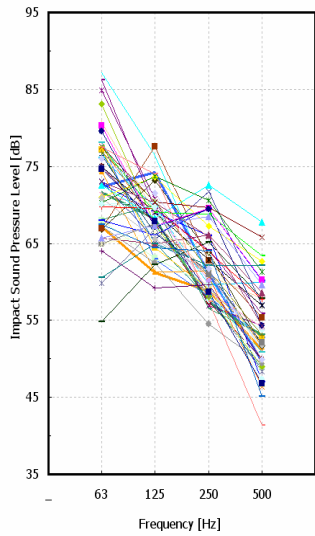


Fig. 1 Frequency characteristics

2.2 중량충격음의 분류

본 연구에서는 주관적 반응에 영향을 미치는 주파수 대역을 기준으로 중량충격음을 분류하기 위하여 역 A 특성 기준곡선과 등청감곡선(Equal loudness contour)을 적용하였다.

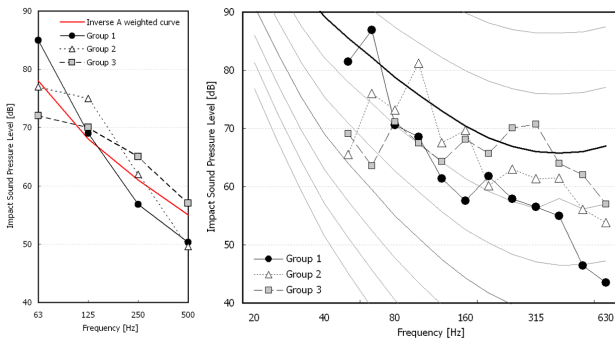


Fig. 2 Classification methods : (a) Inverse A-weighted curve, (b) Equal loudness contour

중량충격음의 분류는 63~500Hz 대역에서 음압레벨이 상대적으로 높은 주파수 대역을 기준으로 진행되었다. 역 A 특성 기준곡선을 적용할 경우에는 기준곡선을 상회하는 값의 총합이 8 dB를 상회하지 않는 범위에서 가능한 기준곡선이 낮게 위치하였을 때, 기준곡선을 상회하는 값이 가장 큰 주파수 대역을 기준으로 중량충격음을 분류하였다. 또한 주파수 대역별 최대음압레벨을 등청감곡선에 나타내어 어느 대역의 음압레벨이 더 크게 들리는지를 조사하였으며, 그 결과를 바탕으로 중량충격음을 분류하였다. 역 A 특성 기준곡선과 등청감곡선의 적용을 통한 중량충격음의 분류의 예는 위 그림 2에 나타난 바와 같다.

2.3 분류결과

역 A 특성 기준곡선과 등청감곡선을 이용하여 중량충격음을 분류한 결과 63Hz 대역의 음압레벨이 가장 큰 그룹 1은 8개, 125Hz 대역의 음압레벨이 가장 큰 그룹 2는 48개 그리고 250Hz 대역의 음압레벨이 가장 큰 그룹 3은 15개의 음원을 갖는 것으로 나타났다. 500Hz 대역의 음압레벨이 상대적으로 큰 그룹 4는 음원의 수가 적어 분류결과에서 제외하였다. 그룹 음원별 주파수 특성은 다음 그림 3과 같다.

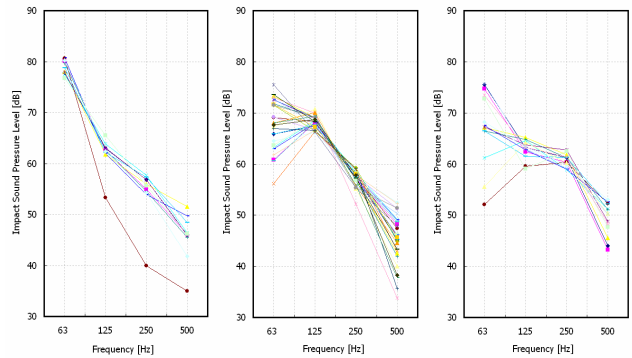


Fig. 3 Frequency characteristics of each group

3. 청감실험을 통한 임팩트볼 중량충격음의 평가

중량충격음 분류결과 도출된 3개 그룹에 대한 주관적 반응을 살펴보기 위하여 청감실험을 진행하였다. 이를 위해 그룹별 3개 음원, 총 9개 음원을 선정하였으며, 각 음원의 음압레벨은 50dB($L_{iFmax,AW}$)로 조정하였다. 청감실험에 사용한 각 음원의 주파수 특성은 아래의 그림 4에 나타난 바와 같다.

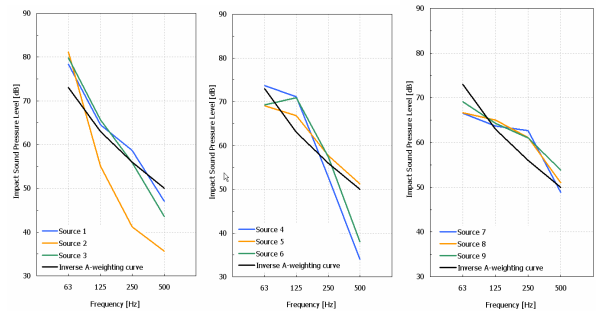


Fig. 4 Selected sound sources for auditory experiment : (a) Group 1, (b) Group 2, (c) Group 3

3.1 청감실험 I (쌍대비교법)

3.1.1 실험설계

각 그룹별 음원들의 거슬림을 평가하기 위하여 먼저 쌍대비교법(paired comparison test)을 적용한 청감실험을 실시하였다. 실험은 정상청력의 성인남녀 24명을 대상으로

로 청감실험 부스에서 실시되었으며, 1초 길이의 음원을 헤드폰으로 각각 3번씩 들려주고 두 개의 음원 중 거슬림이 큰 음원을 선택하도록 하였다. 실험 결과는 일관성 테스트와 합치 테스트를 통해 검증하였다.

3.1.2 실험결과

쌍대비교법 실험 결과는 표 1에 나타난 바와 같이 그룹 2의 음원이 그룹 1과 그룹 3에 속하는 음원이 비해 거슬림 (scale value)이 작은 것으로 나타났다. 이는 125Hz 대역의 음압레벨이 상대적으로 큰 중량충격음이 저주파 대역인 63Hz나 중주파수 대역인 250Hz 대역의 음압레벨이 큰 중량충격음에 비해 덜 거슬린다는 것을 의미한다. 청감실험에 참여한 피험자를 대상으로 인터뷰를 실시한 결과 대부분의 피험자들은 그룹 1의 음원은 무겁고 둔탁하게 느껴진다고 응답하였으며, 그룹 3의 음원은 비교적 가볍지만 날카로움이 느껴져 거슬림이 증가한다고 응답하였다.

Table 1 Scale value of each sound source

그룹	그룹 1			그룹 2			그룹 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S.V.	0.43	0.11	-0.07	-1.12	0.35	-0.60	0.19	0.44	0.27

주관적 반응과 레벨지표간의 상관관계 분석결과는 표 2와 같으며, 상관계수는 모두 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 청감실험 음원의 음압레벨을 모두 50dB ($L_{iFmax,AW}$)로 조정하여 역 A 특성 가중 바닥충격음 레벨 이외의 다른 음압레벨 지표들도 비교적 유사한 값을 갖기 때문으로 사료된다.

Table 2 Correlation between S.V. and level indices

L_{Aeq}	L_{eq}	L_{Amax}	L_{max}	L_m	$L_{A10}-L_{A90}$
0.51	0.11	0.37	0.20	0.39	-0.63

그러나 주관적 반응과 대표적인 심리음향지표인 Zwicker 파라미터간의 상관계수는 sharpness를 제외한 3개 지표가 모두 유의한 것으로 분석되었다. 특히 loudness는 거슬림에 대한 주관적 반응과의 상관계수가 0.8로 가장 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한 roughness와 fluctuation strength는 모두 거슬림에 대한 주관적 반응과 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타나 중량충격음의 거슬림을 저감하기 위해서는 음압 레벨뿐만 아니라 roughness와 fluctuation strength 같은 심리음향지표들을 저감하기 위한 노력들이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

Table 3 Correlation between S.V. and Zwicker parameters

Loudness	Sharpness	Roughness	Fluctuation Strength	N_{max}	N_5	N_{10}	LL_z
*0.80	0.25	*0.74	*0.77	*0.69	*0.68	*0.70	**0.81

** p<0.01, * p<0.05

중량충격음의 거슬림에 대한 주관적 반응을 예측하기 위하여 다중회귀분석을 실시하여 scale value에 대한 회귀식을 도출하였으며 아래의 식과 같다. 회귀식의 결정계수는 0.71이었으며, 각 심리지표의 표준화회귀계수는 각각 0.31, 0.36, 0.25이다.

$$S.V. = a_1 Loudness + a_2 Roughness + a_3 Fluctuation strength -1.81$$

3.2 청감실험 II (의미분별척도)

쌍대비교법을 적용한 청감평가에서 중량충격음에 대한 거슬림 정도가 평가되었으며, 주관적 반응의 차이는 앞서 기술한 바와 같이 다양한 심리음향지표의 차이에 의한 것으로 판단된다. 따라서 중량충격음의 거슬림을 결정하는 심리음향지표들은 어떠한 어휘들에 의해 구체적으로 설명될 수 있는가를 조사하고 이를 중량충격음의 음질 향상 및 평가에 활용하기 위하여 의미분별척도를 적용한 청감 실험을 추가적으로 진행하였다.

3.2.1 실험설계

의미분별척도를 적용한 청감실험에는 이전 연구⁽³⁾에서 적합성 평가와 유사성 평가를 통해 중량충격음의 표현 어휘로 선정된 16개를 활용하였다. 16개의 중량충격음 표현 어휘는 표 4에 정리하였다.

Table 4 Selected Korean adjectives

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

쌍대비교법 청감실험과 동일한 9개의 음원을 대상으로 실험을 진행하였으며, 각 음원을 반복해서 들려줄 때 피험자가 각 어휘에 대한 느낌을 5점 척도로 평가하도록 하였다. 청감실험에는 정상청력의 피험자 20명이 참여하였다.

3.2.2 의미분별법 실험결과

의미분별법 실험 결과는 아래의 그림 5에 나타난 바와 같다. 저주파 대역의 음압레벨이 높은 특성을 갖는 그룹 1의 음원들은 대부분 둔탁감과 잔향감 관련 어휘에서 높은 값을 갖았으며 반면에 그룹 2의 음원들은 둔탁감과

잔향감에서 낮은 값을 갖는 것으로 나타났다. 또한 250Hz 대역의 음압레벨이 높은 그룹 3의 음원들은 거부감과 소리의 세기 관련 어휘에서 높은 값을 갖는 것으로 분석되었다. 이처럼 주파수 대역별 특성을 통해 분류된 각 그룹은 주관적 반응에서 그 차이를 분명하게 드러냈다.

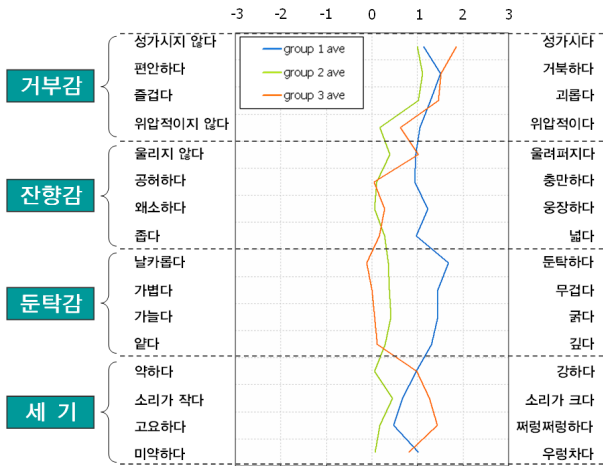


Fig. 5 Semantic differential test result

청감평가 결과를 바탕으로 요인 분석을 실시하였다. 요인분석은 주성분 분석과 VARIMAX 회전방식을 적용하여 실시되었으며 3개의 주요한 요인을 추출하였다. 요인분석 결과는 표 5에 나타난 바와 같으며, 추출된 3개의 요인 중 2개의 요인들이 공통분산의 총 분산에 대한 일반적인 비율인 75%를 만족시키고 있기 때문에 2번째 요인까지를 주요인어로 결정하였다. 주요인을 구성하고 있는 형용사들을 중심으로 추출된 요인의 의미를 해석해보면, 요인 1은 둔탁감과 잔향감의 느낌 그리고 요인 2는 중량충격음의 세기에 대한 느낌이다.

Table 5 Factor analysis result

	요인 1	요인 2	요인 3
	둔탁감+ 잔향감	세기	거부감
울려퍼지다	0.62	0.35	0.42
둔탁하다	0.97	-0.14	0.00
웅장하다	0.94	0.30	0.08
무겁다	0.96	-0.16	-0.07
충만하다	0.95	0.16	0.20
깊다	0.98	0.04	-0.09
위압적이다	0.78	0.61	0.11
넓다	0.94	0.04	0.08
굵다	0.98	-0.16	-0.04
성가시다	-0.32	0.77	0.45
강하다	0.37	0.85	0.34
소리가 크다	-0.17	0.91	0.31
찌렁찌렁하다	-0.30	0.82	0.40
우렁차다	0.51	0.83	0.07
거북하다	0.18	0.51	0.82
괴롭다	-0.02	0.49	0.86
설명된 총분산	50.7%	29.4%	14.1%

의미분별척도 평가에서 추출된 요인들과 각 음원들의 심리음향지표 및 쌍대비교법 평가에서 도출된 중량충격음에 대한 거슬림의 scale value와의 상관관계를 살펴보았으며 그 결과는 표 6과 같다. 요인 1과 거슬림의 scale value와의 상관관계는 통계적으로 유의하지 않았으나, 요인 2와 요인 3은 비교적 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 추출된 요인들과 Zwicker 파라미터 간의 상관관계 분석결과에서도 요인 1은 유의한 상관관계를 갖지 않았으며, 요인 2는 loudness와 fluctuation strength 그리고 요인 3은 roughness와 유의한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

Table 6 Correlation between main components and objective-subjective factors

	Scale value	Loudness	Sharpness	Roughness	Fluctuation Strength
요인 1	-0.17	0.18	0.41	-0.06	0.43
요인 2	**0.94	*0.73	0.08	0.58	*0.72
요인 3	**0.80	0.51	0.35	**0.81	-0.56

** p<0.01, * p<0.05

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 중량충격음에 대한 주관적 반응에 영향을 미치는 심리음향지표를 규명하기 위하여 실제 공동주택에서 임팩트볼에 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.

먼저 중량충격음의 3개 그룹별 주관적 반응을 조사하기 위하여 쌍대비교법을 적용한 청감실험을 진행하였다. 쌍대비교법에서는 음압레벨을 50dB(L_{iFmax,AW})로 조정하였을 때 각 중량충격음에 대한 거슬림의 scale value를 도출하였다. 분석결과 125Hz 대역의 음압레벨이 상대적으로 높은 그룹 2의 음원들에 대한 거슬림이 가장 작은 것으로 나타났다. 또한 각 음원의 scale value는 loudness 뿐만 아니라 roughness와 fluctuation strength 와도 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타나 향후 중량충격음의 거슬림을 저감하기 위해서는 이에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

또한 중량충격음에 대한 거슬림의 차이를 설명할 수 있는 표현어휘의 유형과 차이를 분석하기 위하여 의미분별척도 평가를 실시하였다. 중량충격음을 설명하는 16쌍의 평가어휘들은 요인분석을 통하여 3개의 요인으로 구분되었으며, 각 음원에 대한 주관적 반응과 심리

음향지표들과의 상관관계 분석을 통해 증량충격음의 거슬림을 저감하기 위한 기술개발 방향이 제시되었다.

후 기

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

참 고 문 헌

(1) J. Y. Jeon, J. H. Jeong, M. Vorländer and R. Thaden, 2004, "Evaluation of floor impact sound insulation in reinforced concrete buildings" Acta Acustica 90. pp. 313-318

(2) 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.

(3) J. You, H. M. Lee, J. Y. Jeon. 2006, "Sound quality characteristics of heavy-weight impact sounds generated by impact ball", Proceeding of KSNVE

(4) S. Sato, Jong Kwan Ryu and Jin Yong 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

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

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