

청감실험에 의한 공동주택 바닥충격음의 평가등급 설정

Rating Floor Impact Noise in Apartment Buildings Through Subjective Evaluation Tests

전진용*, 류종관**
(Jin-Yong Jeon*, Jong-Kwan Ryu**)

*한양대학교 건축공학부, **한양대학교 대학원 건축공학과

(접수일자: 2002년 12월 3일; 수정일자: 2003년 1월 8일; 채택일자: 2003년 1월 10일)

본 논문에서는 바닥충격음의 감성적 상하한치를 기준으로 바닥충격음의 감성적 평가등급을 설정하기 위하여 바닥충격음 레벨에 따른 피험자의 주관적 반응을 현장 청감실험을 통하여 조사하였다. 표준 바닥충격원인 중량, 경량 충격음과 현재 일본에서 신 중량충격원으로 제안되고 있는 고무공충격음, 그리고 실제 충격음 (Jumping)을 대상으로 청감실험을 실시하였으며 청감실험에 사용된 주관적 반응의 평가척도로는 일본 건축학회에서 활용되고 있는 3개의 평가척도와 소음평가어휘를 활용한 평가척도를 사용하였다. 청감실험 결과, 바닥충격음 레벨에 따른 주관적 반응의 관계는 1차 회귀식으로 나타났으며, 감성적 하한치가 중량충격음의 경우 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$)이 46 dB, 경량충격음의 경우 역A특성 가중 표준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{n,AW}$)이 56 dB로 나타났다. 최종적으로 청감실험 결과에서 도출된 감성적 하한치의 기준으로 총 3등급의 평가등급이 설정되었다.

핵심용어: 바닥충격음, 청감실험, 평가등급, 소음평가척도

투고분야: 건축음향 분야 (7.3)

The auditory experiments based on subjective responses were undertaken for the standard heavy and light weight impact noise and rubber ball impact noise, jumping noise to investigate relations between floor impact noise levels and subjective responses and to establish the upper/lower limits of floor impact noises. As a result, it was shown that relations between floor impact noise levels and subjective responses was linear and the lower limit of heavy-weight impact noise was $L_{i,Fmax,AW}=46$ dB and the lower limit of light-weight impact noise was $L'_{n,AW}=56$ dB. Finally the 3 subjective classes of floor impact noises were established.

Keywords: Apartment buildings, Floor impact noise, Auditory perception test, Rate classification, Noise evaluation scales

ASK subject classification: Architectural acoustics (7.3)

I. 서론

최근 국내에서는 공동주택 바닥충격음의 차단성능 기준 및 설계기준 (주택건설기준 등에 관한 규정)의 법제화가 예상됨으로써 주택 공급자 및 수요자 등이 해당 기준 적용에 대하여 많은 관심을 갖고 있는 상황이다. 건설사들은 새로이 적용되는 성능기준을 만족하기 위하여 슬라브 두께의 증가, 뜬바닥 구조를 위한 완충재의 사용 등 바닥충격음 저감을 위한 시공방안을 모색하고 있으며

공동주택 수요자들도 차단성능 기준 적용에 따른 정당한 주거환경에 대한 기대가 높아지고 있는 것이 최근의 현실이다.

현재 건교부에 의해 제안된 바닥충격음의 차단성능 기준은 중량충격음의 경우 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$)이 50 dB, 경량충격음의 경우 역A특성 가중 표준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{n,AW}$)이 58 dB인 단일기준으로 제안된 상황[1]이나 환경부에서는 공동주택 거주자 입장을 고려하여 건교부의 제안안보다 강화된 기준안을 제안하고 있어 관련 정부부처의 의견이 대립되어 있는 상황이다.

한편, 일본에서는 2001년 주택품질확보 촉진법에 따라 주택성능표시제도를 실시하여 주택의 바닥충격음 차단

*인자: 전진용 (jyjeon@hanyang.ac.kr)
33-91 서울시 성동구 행당동 17
한양대학교 건축공학부
전화: 02-2290-1795; 팩스: 02-2291-1793

성능 수준을 등급화 함으로써 주택의 음환경 품질 확보 촉진 및 주택구입자의 이익 보호, 주택에서의 소음관련 분쟁의 조속한 해결 등을 꾀하고 있다. 또한 바닥 충격음 이외에 경계벽의 차음성능 및 실내 소음기준도 등급제로 적용되고 있는 실정이다. 미국에서도 각종 소음기준은 기본적으로 등급제로 되어 있으며 용도, 공간에 따른 바닥충격음 기준을 포함한 다양한 등급기준이 적용되고 있는 상황이다.

이와 같이 소음의 차음성능 기준은 단일기준으로 일괄적으로 적용하는 것은 현실적으로 주택공급자 및 수요자, 정부부처 등 관련분야의 다양한 요구수준을 만족하기에는 무리가 따르며 다양한 차음성능을 나타내는 등급제를 적용하는 것이 수요자에게는 품질에 따른 주택 선택의 기준을 제공하게 되고, 주택 공급자에게는 다른 업체와의 품질 경쟁의 기준으로 활용되는 등 궁극적으로 주택의 음환경 성능을 향상시키는 합리적인 방안이라 사료된다.

바닥충격음의 평가등급 기준은 적절한 평가방법 구축이 선행되어야 하며 우선적으로 바닥충격음에 대한 거주자의 주관적 반응을 조사하여 거주자의 감성적 만족범위를 최대한 반영하는 등급을 설정하여야 한다. 또한 이와 함께 바닥충격음 등급에 대한 생활감 및 사회적 반응, 기술적·경제적 여건 등을 고려하여 적정 단계의 등급을 설정하여야 한다.

본 연구에서는 바닥충격음의 대한 감성적 상하한치를 기준으로 바닥충격음 레벨에 따른 주관적 시끄러움의 정도와 생활감, 사회적 반응을 조사함으로써 거주자의 주관적 반응을 기본으로 한 바닥충격음의 감성적 평가 등급을 제안하고자 한다.

II. 바닥충격음의 감성적 상하한치[2] (청감실험: 주거환경챔버에서의 청감실험)

바닥충격음의 감성적 상하한치 설정 연구는 바닥충격음의 평가등급 선정을 위한 기초적인 연구로서 공동주택 거주자가 일상생활에서 어떠한 작업(신문 읽기, 독서 등)을 수행하고 있을 때 바닥충격음에 의해 방해가 되는 정

표 1. 바닥충격음의 감성적 상하한치 설정을 위한 한계상황
Table 1. Conditions to establish subjective upper/lower limits.

Upper limit	Lower limit
the point unable to do any work by the noises in living room	the point to lose concentration when reading papers or magazines at living room

도를 기준으로 바닥충격음의 감성적 상하한치를 선정하였다. 청감실험은 실제 주거환경과 거의 유사한 한국표준과학연구원의 주거환경챔버에서 20대 초중반의 정상청감자 30명을 대상으로 실시되었으며 피험자가 바닥충격음의 상하한치를 결정시 기준이 되었던 상하한치의 한계상황은 표 1과 같다.

실험에 사용된 음원은 각각의 충격원별로 Leq값이 약 35~85 dB (A)의 범위를 2 dB 간격으로 제작한 10초의 길이의 음원(각 충격원당 21개)을 사용하였다. 레벨 변화된 음원은 컴퓨터의 음원출력장치, 음원제시 장치를 통하여 주거환경챔버의 스피커 (벽, 천장)를 통해 피험자에게 제시되었다.

청감실험1은 우선 1차로 각 바닥충격음원에 따라 단계적으로 제시되는 음원에 대하여 피험자가 느끼는 바닥충격음의 하한치와 상한치값을 40과 80이라는 숫자로 정하도록 하였으며 이를 통하여 각 피험자의 청감 스케일을 동일화하고 한계치를 적정 수준에서 정량화하였다.

또한 피험자가 결정한 주관적 상하한치값을 검증하기 위하여 2차적으로 1차 실험의 결과를 기준으로 제시자극의 크기를 선정하였으며 실험시간이 단축되면서도 정확성이 높은 결과를 얻을 수 있는 단계법 (Staircase)을 사용하여 상하한치 값을 재조사하였다.

표 2는 청감실험 결과로서 피험자의 85% 이상이 만족하는 바닥충격음의 상하한치 값을 나타내고 있다.

III. 바닥충격음 레벨에 따른 주관적 반응 (청감실험2: 실제 공동주택 현장에서의 청감실험)

청감실험2에서는 청감실험1에서 도출된 바닥충격음의

표 2. 청감실험1에 의한 바닥충격음의 상하한치
Table 2. Upper/lower limits of floor impact noise according to auditory experiment-1.

	Heavy weight		Ball		Jumping		Light weight	
	$L'_{Pmax,AW}$ [dB]				$L'_{n,AW}$ [dB]			
Upper/lower limit	upper	lower	upper	lower	upper	lower	upper	lower
Result	56	46	66	51	64	54	70	55

감성적 상하한치를 기준으로 바닥충격음의 감성적 평가 등급을 설정하기 위하여 바닥충격음 레벨에 따른 피험자의 주관적 반응을 현장 청감실험을 통하여 조사하였다.

3.1. 피험자 및 실험환경

청감실험2는 정상청력을 갖고 있는 20대 중반의 대학생 98명을 대상으로 실시하였으며 실험시간대 평균 배경소음이 40 dB (A) (Leq)이고 피험자가 거실에 점유하고 있는 상황에서의 잔향시간이 평균 0.5초인 34평 규모의 실케 아파트 거실 현장에서 실시하였다. 청감실험 진행시 외부에서 차량이동이나 기타 소음발생 행위에 의한 돌발적인 소음이 발생하였을 시에는 실험을 중단하였다.

청감실험2가 진행된 거실은 면적이 20.3 m²이며 입주 직전의 상태로써 실내 마감이 완료된 상황이었고 상부층의 바닥구조는 콘크리트 135 mm + 경량기포 콘크리트 70 mm + 마감 모르타르 40 mm + 목재 마루마감으로 구성되어 있다.

피험자는 10명~15명으로 조를 이루어 총 6개조가 오전 3시~오후 5시에 실시하였으며 실험 시작 전 청감실험 내용에 대한 충분한 설명과 함께 각각의 바닥충격음 레벨을 제시하여 레벨차이에 따른 시끄러운 정도의 차이를 미리 인지할 수 있도록 하였다.

3.2. 음 원

청감실험 대상음원으로는 표준 바닥충격원인 중량, 경량 충격음과 현재 일본에서 신 중량충격원으로 제안되고 있는 고무공충격음, 그리고 20대 성인 (몸무게 60 kg)의 실케 충격음 (Jumping)을 대상으로 청감실험을 실시하였다. 바닥충격음의 레벨을 조절하기 위하여 실험대상 음원 중 중량충격음, 고무공충격음은 그림 1과 같이 타이어 및 고무공의 낙하높이를 조절하였고 실케충격음인 경우 음원 가진자의 충격력을 조절하는 방법으로 바닥충격음 레벨을 조절하였으며 경량충격원은 바닥마감재의 종



그림 1. 낙하높이 조절을 통한 바닥충격음 레벨 조절
Fig. 1. Adjusting floor impact levels by dropping impactors at various heights.

류 및 개수를 변경하는 방법으로 바닥충격음 레벨을 조절하였다.

제시하고자 하였던 바닥충격음 레벨은 청감실험1에서 도출된 바닥충격음의 감성적 상하한치 값을 기준으로 상한치에서 +5 dB, 하한치에서 -5 dB 한 범위를 5 dB간격으로 하여 4~5종류의 레벨을 목표로 하였으며 이에 따라 낙하 높이 및 마감재 종류, 개수를 설정하였다.

음원제시는 상부층 중앙지점에서 각 바닥충격원을 가진하였고 각 바닥충격원별로 4~5개의 레벨을 2번 반복하여 제시하여 음원개수는 각 충격원당 8개 또는 10개로 총 48개였다. 각각의 바닥충격음 레벨별로 중량충격음 및 고무공충격음은 2번의 충격음을 제시하였으며 실제 충격음은 동일한 충격력에 대한 재현성의 문제로 각 레벨에 따라 1번씩 제시하였다. 경량충격음은 4초 동안 충격음을 제시하였고 제시된 음원은 레벨 분석을 위하여 실험이 진행되는 동안 하부층 중앙지점에서 Head and Torso Simulator (B&K Type 4100)를 이용하여 DAT Recorder (SONY PC208AX)를 통해 녹음되었다.

경량충격음을 제외한 충격음은 충분한 레벨 범위로 음원제시가 가능하였으나 경량충격음의 경우에는 충격원 특성상 충분한 범위의 바닥충격음 레벨을 제시하지는 못하였다.

3.3. 실험 방법

청감실험2는 상부층 중앙지점에서 바닥충격원을 가진 하고 하부층에서 바닥충격음 레벨에 따라 피험자가 느끼는 주관적 반응을 준비된 반응 기록지에 기입하는 것으로 진행되었다.

청감실험2에 사용된 평가척도는 보다 신뢰성이 있는 결과를 도출하기 위하여 검증된 평가척도를 활용하였다. 우선 일본 건축학회에서 바닥충격음에 관한 차음등급 결정시 기초 자료로 이용하였던 '차음등급과 주택에서의 생활실감과의 대응'과 '공동주택에서의 차음등급과 사회적 반응과의 대응' [3]에 해당되는 3개의 소음평가 척도를 활용하였으며 또한 ICBEN Team 6의 국제 표준 소음평가척도의 설정을 통하여 규격화된 소음 반응 설문조사의 양식으로 제안된 소음평가어휘를 사용한 소음평가척도 [4]를 이용하였다.

바닥충격음의 레벨이 다른 각각의 음원을 듣고 4가지 평가척도로 구성된 반응 기록지를 보면서 피험자가 느끼는 소음에 대한 시끄러운 정도 (평가척도1)와 해당되는 소음평가어휘 (평가척도4)를 반응 기록지의 주관적 크기란 (1~10, 1~5)에 기입하게 하였고, 또한 들려지는 바닥

표 3. 주관적 크기의 그룹화

Table 3. Grouping of subjective magnitudes.

	not annoyed (Group 1)	annoyed (Group 2)	highly annoyed (Group 3)
Subjective magnitudes	1~3	4~6	7~9, 10

충격음의 각 레벨과 대응되는 실제 생활에서의 예상되는 생활감(평가척도2)과 사회적 반응(평가척도3)을 주관적 크기란(1~9)에 기입하도록 하여 1개의 음원당 총 4개의 평가항목에 대하여 평가를 실시하였으며 청감실험에 소요된 시간은 총 30분이었다.

또한 바닥충격음 평가에 있어서 주관적 크기의 범위가 다소 넓은 9점~10점 척도를 사용함으로써 예상되는 주관적 크기 결정시 어려움을 줄이기 위하여 표 3과 같이 전체 주관적 크기 값을 3개의 그룹으로 구분하였다.

실험시작 전 바닥충격음 레벨에 따른 주관적 반응의 판단은 주관적 크기의 그룹을 참고로 하고 최종적인 주관적 반응의 판단은 각각의 평가척도에 해당하는 표현의미를 기준으로 결정하도록 설명하였다.

3.4. 실험 결과

각각의 바닥충격음 레벨에 따른 피험자의 주관적 반응 값을 4개의 평가척도별로 평균하여 나타내었고 평균값 계산시 피험자의 반응결과의 표준편차를 고려하여 통계적으로 의미가 없는 값은 제외하여 평균값을 산정하였다. 또한 평가척도 별로 각각의 바닥충격음 레벨에 대한 주관적 크기에 대응되는 각 바닥충격음의 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$: 중량, 고무공, 실제 충격음)과 역A특성 가중 규준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{i,AW}$: 경량)들의 분

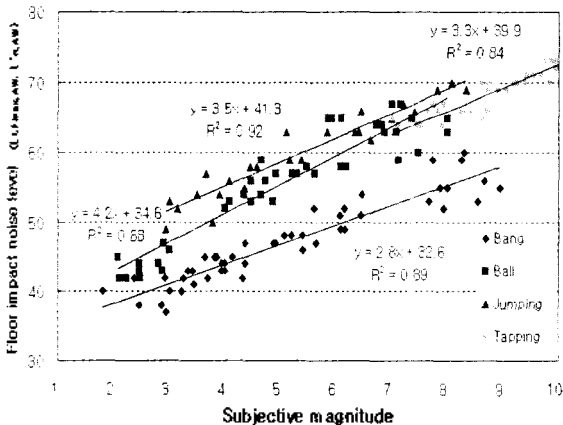


그림 2. 주관적 크기(시끄러운 정도)에 따른 바닥충격음 레벨분포
Fig. 2. Relation between floor impact noise level and subjective magnitude (noisiness).

포와 회귀식을 조사하였고 회귀식을 이용하여 주관적 크기에 따른 바닥충격음의 레벨 값을 선정하였다.

또한 청감실험1에서 도출된 바닥충격음의 감성적 상하한치와의 비교·분석을 위하여 청감실험1의 상하한치의 한계상황과 유사한 상황을 나타내는 표현과 주관적 크기의 그룹(하한치: 주관적 크기 4, 신경쓰이기 시작하는 시점, 상한치: 주관적 크기 7, 매우 신경쓰이기 시작하는 시점)을 기준으로 상하한치 값을 선정하였다.

그림 2는 바닥충격음 레벨에 따른 소음의 시끄러운 정도(평가척도)를 평가한 결과로써 각각의 바닥충격음에 대한 주관적 크기에 대응되는 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$: 중량, 고무공, 실제 충격음)과 역A특성 가중 규준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{i,AW}$: 경량)들의 분포와 회귀식을 나타내고 있다. 모든 바닥충격음의 레벨과 주관적 크기와의 관계는 1차 회귀식으로 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

표 4는 바닥충격음 레벨과 소음의 시끄러운 정도(평가척도 1)와의 회귀식을 기준으로 산출된 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$: 중량, 고무공, 실제 충격음)과 역A특성 가중 규준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{i,AW}$: 경량)을 나타내고 있다. 청감실험 1에서 설정된 상하한치 상황과 유사하다고 볼 수 있는 주관적 크기 7의 “발생음이 꽤 신경쓰인다”에 대응되는 바닥충격음 레벨과 주관적 크기 4의 “작게 들린다”에 대응되는 바닥충격음 레벨은 중량 충격음의 경우 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$)

표 4. 주관적 크기(시끄러운 정도)에 따른 바닥충 ($L_{i,Fmax,AW}$, $L'_{i,AW}$)

Table 4. Impact sound pressure levels ($L_{i,Fmax,AW}$, $L'_{i,AW}$) corresponding to subjective magnitude (noisiness).

S.M	Noisiness (Evaluation scales 1)	Heavy weight	Ball	Jumping	Light weight
		$L_{i,Fmax,AW}$ [dB]			$L'_{i,AW}$ [dB]
1	거의 들리지 않는다	35	39	45	43
2	겨우 들리지만 멀리서 들리는 느낌	38	43	48	46
3	들리지만 의식하는 경우는 거의 없다	41	47	52	49
4	작게 들린다	44	51	55	53
5	들린다	47	55	59	56
6	잘 들린다	50	60	62	59
7	발생음이 꽤 신경쓰인다	53	64	66	63
8	시끄럽다	55	68	69	66
9	꽤 시끄럽다	58	72	73	69
10	시끄러워 견딜 수 없다	61	76	76	73

*S.M: subjective magnitude

표 5. 주관적 크기 (생활감과의 대응)에 따른 바닥 충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$, $L'_{n,AW}$)

Table 5. Impact sound pressure levels ($L_{i,Fmax,AW}$, $L'_{n,AW}$) corresponding to subjective magnitude (comfort of living).

S.M*	comfort of living (Evaluation scales 2)	Heavy weight	Ball	Jumping	Light weight
		$L_{i,Fmax,AW}$ [dB]			$L'_{n,AW}$ [dB]
1	윗층의 분위기를 못 느낀다	38	41	47	49
2	분위기는 느끼나 신경 안 쓰임	41	46	51	52
3	윗층의 생활이 다소 의식됨	45	51	55	55
4	윗층의 생활상황이 의식된다	48	56	59	58
5	윗층의 생활행위를 어느 정도 알 수 있다	51	61	64	61
6	윗층의 생활행위를 알 수 있다	54	67	68	64
7	윗층의 생활행위를 잘 알 수 있다	58	72	72	67
8	대체로 낙하음은 확실히 들린다	61	77	76	70
9	낙하음이 매우 확실하게 들린다	64	82	81	73

*S.M: subjective magnitude

이 각각 53 dB, 44 dB이고 고무공충격음의 경우 64 dB, 51 dB, 실제충격음은 66 dB, 55 dB이며 경량충격음의 경우 역A특성 가중 표준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{n,AW}$)이 63 dB 53 dB로 나타났다. 동일한 주관적크기에 따른 각 바닥충격원별의 레벨 경향을 보면 중량충격음은 소음 특성이 유사한 고무공충격음, 실제충격음보다 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 값으로 각각 4~15 dB, 10~15 dB 정도 더 시끄럽게 반응한 것으로 나타났다. 또한 중량충격음은 경량충격음보다 8~12 dB 더 시끄럽게 반응한 것으로 나타났다. 반면 고무공 충격음은 실제충격음에 대하여 중량충격음 보다 비교적 유사한 반응치를 나타내었다.

표 5는 평가척도2로 평가한 바닥충격음 레벨과 생활감과의 대응의 평가 결과이다. 평가 결과, 평가척도2에 해당하는 주관적 크기에 따른 바닥충격음 레벨 분포는 평가척도1과 같이 소음레벨에 따라 선형적인 관계성을 나타냈다. 청감실험1의 감성적 상하한치 상황과 대응되는 주관적크기 7의 "윗층의 생활행위를 잘 알 수 있다"의 바닥충격음 레벨과 주관적 크기 4의 "윗층의 생활상황이 의식된다"의 바닥충격음 레벨은 중량충격음의 경우 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$)이 각각 58 dB, 48 dB으로 나타났으며 경량충격음의 경우 역A특성 가중 표준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{n,AW}$)이 67 dB, 58 dB으로 나타났다. 동일한 주관적 크기에 따른 바닥충격원별 레벨 값을 살펴보면 평가척도1과 마찬가지로 중량충격음이 다른 충

표 6. 주관적 크기 (사회적 반응)에 따른 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$, $L'_{n,AW}$)

Table 6. Impact sound pressure levels ($L_{i,Fmax,AW}$, $L'_{n,AW}$) corresponding to subjective magnitude (reaction to noise).

S.M*	Reaction to noise (Evaluation scales 3)	Heavy weight	Ball	Jumping	Light weight
		$L_{i,Fmax,AW}$ [dB]			$L'_{n,AW}$ [dB]
1	옆집을 의식하는 일도 아주 가끔 있지만 쾌적한 생활가능	36	39	44	48
2	가끔 옆집을 의식하는 일도 있지만 쾌적한 생활가능	40	44	49	51
3	특히 신경 쓰지 않아도 쾌적한 생활가능	43	49	54	55
4	서로 신경 쓰면 지장없는 생활가능	46	55	58	58
5	서로참고 생활규칙을 지킨다	50	60	63	61
6	편리성 등으로 대체할 수 있는 한도	53	66	67	64
7	집합주택으로써 생활하는 것을 참을 수 없다.	57	71	72	67
8	아무래도 독립된 가정생활을 영위할 수 없다.	60	76	77	70
9	단독주택이라 해도 너무 나쁘다	64	82	81	73

*S.M: subjective magnitude

격음보다 평균적으로 약 10~13 dB 정도 더 시끄럽게 반응한 것으로 나타났으며 실제충격음과 고무공충격음의 주관적 반응값은 평가척도1에서와 같이 비교적 유사하게 나타났다.

평가척도3을 이용하여 바닥충격음 레벨에 따른 사회적 반응을 평가한 결과, 주관적 크기에 따른 바닥충격음 레벨분포는 평가척도 1, 2에 의한 평가 결과와 같이 선형적으로 나타났으며 주관적 크기에 따른 바닥충격음 레벨 값은 표 6과 같다. 상하한치 상황과 대응이 되는 주관적크기 7의 "집합주택으로써 생활하는 것을 참을 수 없다"의 바닥충격음 레벨과 주관적크기 4의 "서로 신경 쓰면 지장 없는 생활가능"의 바닥충격음 레벨은 중량충격음의 경우 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax,AW}$)이 각각 57 dB, 46 dB으로 나타났으며 경량충격음의 경우 역A특성 가중 표준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{n,AW}$)이 67 dB, 58 dB으로 나타났다.

동일한 주관적 크기에 따른 바닥충격원별 레벨 값은 평가척도 2에 의한 평가 결과와 유사하게 나타났다.

이상과 같이 3개의 다른 평가척도를 이용하여 바닥충격레벨에 따른 주관적 반응을 알아본 결과 평가척도간의 주관적 크기 값은 다소 차이가 있었으나 주관적 반응과 레벨과의 관계는 선형적으로 것으로 나타났다. 표 7은 청

표 7. 청감실험 2를 통해 설정된 바닥충격음 상하한치
Table 7. Upper/lower limits established through auditory experiment-2.

	$L_{i, Fmax, AW}$ / $L'_{i, AW}$ [dB]		Leq [dB (A)]		Lmax [dB (A)]	
	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
Heavy weight	56	46	55.5	47.1	72.9	63.2
Ball	69	54	66.7	53.5	76.8	66.9
Jumping	70	58	66.1	55.0	87.5	75.8
Light weight	66	56	67.2	57.8	76.1	68.9

표 8. 주관적 크기 (소음평가 어휘)에 따른 바닥충격음 레벨 ($L_{i, Fmax, AW}$, $L'_{i, AW}$)

Table 8. Impact sound pressure levels ($L_{i, Fmax, AW}$, $L'_{i, AW}$) corresponding to subjective magnitude (noise evaluation modifier).

SM	Noise evaluation modifier (Evaluation scales 4)	$L_{i, Fmax, AW}$ [dB]				$L'_{i, AW}$ [dB]
		Heavy weight	Ball	Jumping	Light weight	
1	전혀 시끄럽지 않다	38	42	49	53	
2	조금 시끄럽다	44	52	57	58	
3	비교적 시끄럽다	51	62	65	63	
4	아주 시끄럽다	57	72	73	68	
5	엄청나게 시끄럽다	64	82	81	73	

*SM: subjective magnitude

감실험1의 상하한치 상황에 대응되는 청감실험2의 평가 척도 1~3의 주관적 크기 4, 7의 레벨값을 평균하여 각각 하한치와 상한치로 나타낸 것이다.

표 8은 소음평가어휘 (평가척도4)를 이용하여 바닥충격음레벨에 따른 주관적 반응을 평가한 결과로써 전체적 경향은 앞서 3개의 평가척도와 유사한 결과로 나타났다.

바닥 충격음의 감성적 하한치가 "조금 시끄럽다", 상한치가 "아주 시끄럽다"로 나타나 상하한치에 해당되는 상황이 시끄러운 정도와 대체로 잘 부합되었으며 바닥충격음 레벨에 따른 주관적 반응이 거의 등간격의 분포를 보이는 것으로 나타났다.

표 9. 청감실험1에 의한 바닥충격음의 상하한치
Table 9. Upper/Lower limits of floor impact noise established through auditory experiment-1, 2.

	Heavy weight		Ball		Jumping		Light weight	
	$L'_{i, AW}$ [dB]							
	upper	lower	upper	lower	upper	lower	upper	lower
Experiment-1	56	46	66	51	64	54	70	55
Experiment-2	56	46	69	54	70	58	66	56

IV. 바닥충격음의 평가등급 설정

본 연구에서의 바닥충격음의 평가등급 설정은 표준충격원인 중량충격음과 경량충격원을 대상으로 설정하였다.

표 9는 청감실험1에서 도출된 바닥충격음의 감성적 상하한치 값과 상하한치 상황과 청감실험2의 유사한 주관적 크기에 해당되는 바닥충격음 레벨값을 나타낸 것이다. 청감실험 장소와 음원제시방법의 차이에도 불구하고 청감실험 1과 청감실험 2에서의 하한치값이 유사한 것으로 나타났다.

청감실험2에서 경량충격음인 경우 충분한 범위의 레벨을 제시하지 못하여 하한치 설정에 제한점이 있었으나 경량충격음을 포함한 다른 충격음의 하한치 값이 청감실험1의 결과와 유사하게 나타났다는 점을 고려하여 청감실험1의 결과를 바탕으로 경량충격음도 등급설정을 실시하였다.

청감실험1, 2의 결과 중량충격음이 경량충격음 보다 Leq값으로 약 5~6 dB (A)정도 더욱 시끄럽게 반응한다는 연구결과[5]와 유사하게 본 연구결과에서도 중량충격음이 경량충격음 보다 바닥충격음 레벨이 평균 약 10 dB 정도 더 시끄럽게 반응한 것으로 나타났다. 경량충격음의 경우 실제 생활에서 발생빈도가 극히 드물며 다양하면서 불특정한 음원을 정량화하기가 어려울 뿐만 아니라 음원의 특성상 바닥마감재의 사용으로 충분히 저감시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 이처럼 중·경량 충격음에 대한 감성적인 측면이나 두 충격음에 대한 실제 생활속에서의 발생빈도 또는 바닥충격음의 저감 가능성 측면을 고려해 본다면 경량충격음보다는 중량충격음의 등급설정이 더욱 중요한 것으로 사료된다.

평가척도 1~3에서 평가척도 단계에 따른 바닥충격음 레벨차를 살펴본다면, 중량충격음 및 경량충격음의 주관적 크기에 해당되는 평가척도 단계에 따른 바닥충격음 레벨차가 평균 약 3 dB로 나타났다. 일본 평가척도의 표현어휘가 등급별 주관적 반응 변화치를 적절하게 나타낸다고 전제한다면 3 dB의 등급간 레벨차를 평가등급간의 레벨차로 적용할 수 있을 것이다. 한편 우리나라와 일본

표 10. 바닥충격음의 감성적 평가등급
Table 10. Classes of floor impact noise by subjective evaluation.

		Class 1	Class 2	Class 3 (exceeding lower limits)
Heavy weight	$L_{i, Pmax, AW}$ [dB]	42	45	≥ 46
Light weight	$L'_{i, n, AW}$ [dB]	52	55	≥ 56

에서 일반적인 소음의 평가등급이 5 dB의 레벨차로 구분되어 있으나 실제 소음제어의 기술적 측면을 고려했을 때 등급 개선을 위해 5 dB의 소음제어는 다소 많은 양의 개선(treatments)을 요구한다. 현재 미국 HUD (The U.S. Department of Housing and Urban Development)에서는 바닥충격음의 평가등급간의 레벨차를 2~4 dB로 적용하고 있는 상황이다.

청감실험1, 2에서 도출된 바닥충격음의 상한치의 기준은 거주 공간내에서 어떠한 작업도 병행할 수 없는 소음 레벨의 기준으로써 바닥충격음의 annoyance의 한계시점이라는 주관적 반응의 지표로서 그 의미를 갖고 있으며 가장 열악한 상황의 한계로 보아야 한다. 반면 바닥충격음의 하한치(신경쓰이기 시작하는 시점)는 주관적 반응의 최저치의 성격으로 규제기준의 한계로 설정할 수 있다. 또한 하한치 상황보다 한 등급 위의 수준(주관적 크기 3미 칸)을 평가등급으로 설정할 경우 바닥충격음에 의한 신경쓰임의 정도가 극히 적고 쾌적한 생활이 가능한 단계에 해당되므로 최상위 등급으로 설정이 가능하다. 따라서 중·경량 충격음의 하한치를 하회하는 각각의 값으로 등급을 설정한다면 표 10과 같이 바닥충격음이 각각 1, 2등급으로 설정되며 그 외에 하한치 이상의 소음은 '등급 외'로 설정된다.

참고로 본 연구결과와 일본의 평가등급 기준을 중량충격음을 기준으로 비교한 결과 통상적으로 역 A 특성 가중 바닥충격음 레벨과 L지수의 값의 편차가 약 4~5 dB임을 고려한다면 일본의 주택성능표시제도에서 활용되는 바닥충격음의 최고 등급(Rank 5)은 L-50으로 본 연구결과와 2등급에 해당되며 일본건축학회에서 제안하고 있는 평가등급은 특급이 L-45, 1등급이 L-50으로 본 연구결과와의 평가등급과 유사한 것으로 나타났다.

V. 고찰 및 토의

청감실험1, 2의 결과 표준 충격원인 중량충격음은 실

표 11. 평가방법별 바닥충격음 레벨과 주관적 반응과의 상관관계
Table 11. Relation between floor impact noise levels and subjective responses.

	Inverse A	L-index	Leq	Lmax
Heavy weight	0.92	0.92	0.94	0.95
Ball	0.94	0.91	0.94	0.93
Jumping	0.95	0.90	0.97	0.89
Light weight	0.89	0.86	0.88	0.83

제 발생충격음과 주관적 반응값이 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{i, Pmax, AW}$)을 기준으로 하였을 때 청감실험1에서는 8 dB, 청감실험2에서는 12~14 dB의 차이가 나는 등 상당한 큰 차이를 나타냈다(표 9). 특히 현장에서 진행한 청감실험2의 결과가 더욱 큰 차이를 나타냈는데 이는 현재 표준 중량충격원으로 사용되고 있는 Bang-Machine이 실제 충격음을 재현하기가 어렵다는 것을 보여준다.

반면 일본에서 신 중량충격원으로 사용하고 있는 고무공충격음의 주관적 반응값이 실제 충격음과 유사하게 나타났으며 중량충격음보다는 고무공충격음이 실제 충격음과 주파수 특성 및 음압레벨이 보다 더 유사하다는 연구결과(6, 7)를 비추어 보았을 때 고무공충격음의 국내 적용에 대한 다각적인 연구가 필요하다고 사료된다.

청감실험2에서 바닥충격음 레벨에 따른 주관적반응 결과를 각 평가방법별로 조사한 결과 표 11과 같이 지배적 주파수로 평가레벨이 결정되는 L지수, Lmax보다는 여러 대역의 주파수특성을 고려한 Leq나 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 또는 역A특성 가중 규준화 바닥충격음 레벨을 이용한 평가방법이 중량충격음을 제외한 모든 충격음의 주관적 반응과 상관성이 더 높은 것으로 나타났다. 이처럼 정확한 바닥충격음의 평가를 위해서는 다양한 평가방법을 이용하여 거주자의 감성적 반응을 조사하고 그 결과를 토대로 감성적 특성을 최대한 잘 반영하는 평가방법을 선정하여야 한다.

청감실험2는 바닥충격음레벨에 따른 주관적 반응을 4개의 평가척도를 이용하여 조사한 실험으로써 평가척도간 차이가 다소 발생하였다. 평가척도에 따른 주관적 반응의 편차를 배제하기 위해서는 표준화된 소음 평가척도의 개발이 요구되며 다양한 계층의 거주자들의 바닥충격음에 대한 감성적 만족범위를 종합적으로 나타내는 소음 평가 척도의 선정이 중요하다. 이러한 측면에서 보았을 때 본 연구에 활용된 소음평가어휘를 통한 소음평가척도는 그 가능성을 보여주었다.

VI. 결론

본 연구는 감성적 평가를 통한 바닥충격음의 평가등급 선정을 위한 기초 연구로써 바닥충격음의 감성적 상한치를 기준으로 바닥충격음 레벨에 따라 피험자가 느끼는 시끄러운 정도와 일상 생활에서 예상되는 생활감, 사회적 반응과의 대응을 현장 청감실험을 통하여 조사하였다. 청감실험 결과, 바닥충격음의 감성적 하한치 (신경쓰이기 시작하는 시점)는 중량충격음인 경우 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{A,FBAC,AW}$)이 46 dB, 경량충격음의 경우 역A특성 가중 규준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{A,AW}$)이 56 dB로 나타났으며 주관적 크기에 해당하는 평가척도 단계에 따른 바닥충격음의 레벨 변화가 평균 약 3 dB로 나타났다.

바닥충격음의 감성적 평가등급은 바닥충격음의 감성적 하한치를 등급설정의 기준치로 하여 중량충격음의 경우 역A특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{A,FBAC,AW}$)을 기준으로 1등급: 42 dB, 2등급: 45 dB, 등급외: 2등급 미만, 경량충격음인 경우 역A특성 가중 규준화 바닥충격음 레벨 ($L'_{A,AW}$)을 기준으로 1등급: 52 dB, 2등급: 55 dB, 등급외: 2등급 미만으로써 전체 3개 등급으로 구분하는 것이 바람직하다고 사료된다.

청감실험1, 2에서 표준중량충격원 (Bang machine)에 의한 중량충격음에 대한 주관적 반응값이 실제 충격음보다 크게 나타난 반면 고무공 충격음이 실제 충격음에 대하여 중량충격음 보다 비교적 유사한 주관적 반응치를 나타낸 점을 고려하여 보았을 때 고무공 충격원의 국내 적용에 대한 연구가 필요하다고 사료된다. 또한 청감실험2에서 평가척도간 주관적 반응값이 다소 상이하게 나타나 바닥충격음에 대한 감성적 만족범위를 종합적으로 나타내는 소음평가 척도의 개발이 필요한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00089-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. 대한주택공사 주택도시 연구원, 공동주택바닥 충격음의 차단성능 기준설정 연구, 2001.
2. 전진용, 김경호, 정정호, 류종관, 조문재, "주거및 사무환경 챔버에서의 생활소음에 대한 감성적 평가" 한국소음진동공학회 논문집, 12 (6), 437-444, 2002.
3. 日本建築學會, 建築物の遮音性能基準と設計指針 第二版, 技報堂出版, 28-33, 1999.
4. 김경호, 전진용, 다카하시 아노, "국제 표준 소음평가 어휘 설정을 위한 지역별 거주자의 반응분석," 한국소음진동공학회 추계 학술대회논문집, 559-564, 2002.
5. J. Y. Jeon, "Subjective evaluation of floor impact noise based on the model of ACF/IACF," Journal of Sound and Vibration, 241 (1), 147-155, 2001.
6. 정정호, 이성찬, 전진용, "바닥충격음 평가를 위한 고무공 충격원의 타당성 검토", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, 468-473, 2002.
7. J. Y. Jeon, J. H. Jeong, and Y. Ando, "Objective and subjective evaluation of floor impact noise," Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment, 2 (1), 20-28, 2002.

저자 약력

● 전진용 (Jin-Yong Jeon)



1982년 2월: 한양대학교 건축공학과 (공학사)
 1981년 ~ 1988년: 대림산업(주) 기술연구소
 1991년 8월: University of Sydney, Master of Building Science
 1994년 5월: University of Sydney, PhD in Architecture
 1994년 ~ 1997년: University of Sydney, Post-Doc
 1998년 ~ 현재: 한양대학교 건축공학과 교수

● 류종관 (Jong-Kwan Ryu)



2000년 2월: 성균관대학교 건축공학과 (공학사)
 2003년 2월: 한양대학교 건축공학과 (공학석사)
 2003년 3월 ~ 현재: 한양대학교 건축공학과 박사과정