

설문조사와 청감실험을 통한 공동주택 차음성능의 평가등급 설정

Classification of Noise Insulation Performance in Apartment Buildings through Noise survey and Auditory Experiment

류 중 관* · 전 진 용*

Jong Kwan Ryu and Jin Yong Jeon

Key Words : Noise Insulation Performance(차음성능), Apartment Buildings(공동주택), Classification of Noise(소음평가등급), Auditory Experiment(청감실험)

ABSTRACT

Social noise survey and auditory experiment on residential noises such as floor impact, air-borne, bathroom, drainage and traffic noises were conducted to classify a noise insulation performance in apartment building. The survey results showed that annoyance among subjective responses to residential noises was most greatly affecting to satisfaction with noises. In the survey, boundary limit between satisfaction and dissatisfaction was also determined. Auditory experiments was also undertaken to determine noise insulation performance according to the percent of satisfaction for individual noise source. Result of auditory experiment showed that the noise insulation performance for floor impact, airborne, drainage and traffic noise corresponding to 40 % satisfaction is 49 dB ($L_{i, Fmax, AW}$), 48 dB ($R'w$), N-41, and N-40, respectively. Finally, classes of noise insulation performance in apartment building were proposed according to satisfaction with noises

1. 서 론

최근 삶의 질의 향상으로 인해 보다 정온한 주거환경에 대한 요구와 소음환경개선에 대한 관심이 증가하고 있는 상황이다. 이에 따라 정부에서는 공동주택 차음성능(바닥충격음, 경계벽 차음성능, 화장실소음, 외부소음에 대한 실내 허용소음)등급이 포함된 "주택성능등급 표시제도"를 시행할 예정이며 이를 통해 소비자의 주택선택권을 보장하고 보다 조용하고 쾌적한 주거환경 조성을 도모하고 있다.

주택에서의 차음성능에 대한 평가등급제도 및 평가기준은 이미 유럽 및 미국, 일본 등에서 각국 사회적 실정 등에 따라 권장기준 또는 법적기준으로 적용하고 있다^{1,4)}.

위와 같은 차음성능의 평가등급은 소음에 대한 사회적 반응, 차음성능 확보를 위한 기술적·경제적 여건 등에 의해 결정이 되나 소음에 대한 annoyance 등의 감성반응에 대한 고려가 가장 우선시 되어야 한다. 유럽의 연구자들은 주거환경 소음에 대한 평가 등급을 제안하기 위하여 바닥충격음과 세대간 및 실간 차음성능에 대하여 거주자의 소음 만족 비율을 기준으로 평가 등급을 제안하고 있다^{5,6)}. 국내에서는 바닥충격음 및 경계벽 차음성능 등에 대한 등급화 시도^{7,10)}가 있었으며 주로 rating(categorical) scale을 통한 annoyance

등의 주관적 반응을 조사하고 각 척도간의 소음레벨 차이를 기준으로 소음평가 등급을 제시한 바 있다.

본 연구에서는 바닥충격음, 세대간 공기전달음, 급배수소음, 교통소음원의 공동주택에서 발생하는 생활소음원을 대상으로 설문조사와 청감실험을 실시하여 개별 소음원에 대한 소음레벨에 따른 만족도 비율을 도출하고 이를 통하여 공동주택에서의 바닥충격음 및 공기전달음 차단성능, 실내소음 허용레벨(급배수소음, 교통소음)을 제안하고자 한다.

2. 설문조사

본 설문조사에서는 소음만족도와 상관관계가 높은 주관적 반응을 도출하고 도출된 주요 주관적 반응 크기 상에서 소음 만족-불만족의 경계를 결정하고자 표 1과 같이 현재 공동주택에서의 주요 소음원인 바닥충격음, 공기전달음, 급배수소음, 교통소음원을 대상으로 발생 현황과 주관적 반응, 만족도 등을 조사하였다.

표 1. 설문지 구성내용 및 설문항목

구성	설문항목
소음발생 현황	· 개별 소음원 별 주요소음원, · 주요소음원의 발생빈도, 발생시간, 발생위치
주관적 반응 (개별소음원)	· annoyance · 생활방해: 정신집중방해, 휴식방해, 수면방해, 회화방해, TV·Audio 시청각 방해, 작업방해 · 건강상 영향: 두통 또는 소화장애, 정신적 불안감 또는 혼란감
소음만족도	개별소음원의 만족도, 전체 소음환경에 대한 만족도

† 한양대 대학원 건축공학과 박사과정
E-mail : mr1ryu@hanmail.net
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1795

* 한양대 건축공학부 부교수

설문조사는 수도권 공동주택에서 거주하고 실내 소음 노출 시간이 가장 많은 주부 500여명을 대상으로 실시하였으며, 연령대는 30, 40대 응답자가 약 70%로 대부분을 차지하였다. 피설문자의 현 거주공간의 거주기간은 1년 이상이 약 90%로 현 거주공간의 소음환경 평가에는 충분한 거주기간을 갖고 있는 것으로 나타났다.

소음에 대한 만족도의 경우 Numeric scale(1~10)를 사용하였고 주관적 영향요소의 경우 7점 어휘 척도¹¹⁾를 사용하여 평가하였다.

개별소음에 대한 만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응을 조사하기 위하여 각 소음원별로 다중회귀분석을 실시하여 각 소음원별로 식 1과 같은 회귀식을 도출하였다. 다중회귀분석 결과 표 2와 같이 전체 소음원 모두 annoyance가 소음만족도의 가장 큰 영향요소로 작용하는 것으로 나타났다.

$$Y = a_1S_1 + a_2S_2 + \dots + a_nS_n + c \quad (\text{식1})$$

여기서 Y : 소음만족도 [%]
 Sx : 소음에 대한 주관적 반응
 ax : 회귀계수, c: 상수

표 2. 소음 만족도에 영향을 미치는 주관적 반응 분석; 다중 회귀 분석상에의 표준화 회귀계수 (p<0.01)

주관적 반응 등	바닥충격음	공기전달음	급배수소음	교통소음
Annoyance	-0.37	-0.26	-0.39	-0.37
휴식방해	-0.15	-0.24	-0.14	
수면방해				-0.21
회화방해		-0.17	-0.15	
작업방해	-0.13			
두통, 소화장애				-0.16
발생빈도	-0.19	-0.21	-0.13	-0.15

또한 annoyance 크기 상에서 소음 만족-불만족의 경계를 결정하기 위하여 설문조사 분석을 통해 도출된 개별소음원의 만족도와 annoyance 크기와의 회귀식을 기준으로 만족도 50%에 해당되는 annoyance 크기를 조사하였다. 조사결과 만족도 50%에 해당되는 annoyance 크기는 바닥충격음의 경우 3.6, 공기전달음과 교통소음의 경우 3.2, 급배수소음의 경우는 3.3 으로 나타났다.

3. 청감실험

3.1 개요

본 연구에서는 공동주택에서의 주요 개별 소음원별로 소음레벨에 따른 annoyance 정도와 만족도를 조사하여 바닥충격음 및 경계벽 차음성능, 실내소음의 평가등급 기준을 설정하고자 청감실험을 실시하였다.

청감실험에 참여한 피험자는 서울시내 공동주택에 거주하고 있는 30, 40대 전업주부 109명을 대상으로 실시하였으며 거주지역에 따른 주관적 반응편차를 고려하여 피험자의 거주지역을 서울시내 각 구역별로 균등하게 배분하여 피험자를 선정하였다.

청감실험에 사용된 음원은 공동주택에서의 주요 소음원인

바닥충격음(bang, ball, 어린이jumping), 공기 전달음(news, music, piano, 대화음, 전화벨), 급배수소음(변기, 욕조), 외부유입 교통소음(도로, 철도, 항공기)을 대상으로 하였다. 바닥충격음과 급배수소음의 경우 공동주택 2세대에서 실제 발생음원을 하부층(급배수소음의 경우, 하부층 욕실)에서 녹음한 음원을 사용하였으며 공기전달음의 경우 공동주택 2세대에서 무향실음원을 음원실에서 발생시키고 인접 세대 수음실에서 녹음한 음원을 사용하였다. 교통소음의 경우 속도별 차종별로 해당 교통소음이 발생하는 인접 공동주택 외부에서 녹음하였으며 보편적인 외부창의 투과손실¹²⁾만큼 필터링한 음원을 사용하였다.

현장에서 녹음된 음원은 바닥충격음의 경우 역 A 레벨(Li, Fmax, AW)로 40~60 dB, 공기전달음, 급배수소음, 교통소음의 경우 최대 소음도를 나타내는 부분을 포함하여 30~50 dB(A)를 갖는 음원으로 제작하였으며 각 음원레벨 간 간격은 5 dB로 하였다. 음원의 길이는 전체 소음원 모두 10 초로 하였다.

청감실험은 12~13명이 한 조로 하여 배경소음이 27 dB(A), 잔향시간이 0.3초(중주파수대역)인 회의실에서 실시되었다. 음원제시는 4ch 스피커를 통해 4개 위치에서 제시되었으며 실제 발생상황과 같이 들리도록 스피커 높이를 조절하였다. 교통소음의 경우 외부 창으로부터 소음이 유입되는 상황을 고려하여 한쪽 면(2ch)에서만 제시하였다. 청감실험은 피험자가 다양한 소음레벨의 바닥충격음을 듣고 그 충격음에 의한 신경쓰임 정도를 rating scale (7점 척도, 설문조사와 동일) 중 해당어휘를 선택하는 것으로 진행되었다. 청감실험은 저녁시간 거실에 앉아 신문이나 잡지 등을 읽고 있는 경우 위집 또는 옆집, 외부로부터 들리는 소음에 대한 annoyance 크기를 결정하는 것으로 하였으며 음원에 지나치게 집중하지 않도록 피험자에게 직접 잡지를 배부하여 설정된 상황과 동일하게 잡지를 읽으면서 소음평가를 실시하도록 하였다.

3.2 공기전달음 청취레벨 조사

이웃집으로부터 최종 전달되는 공기전달 소음의 크기는 경계벽의 차음성능에 의해 결정되지만 실제적으로 소음원 크기에도 크게 영향을 받게 된다. 따라서 감성평가를 통해 경계벽 차음성능의 평가기준을 설정하기 위해서는 실생활속에서 발생할 수 있는 소음원에 대한 표준적인 크기를 결정할 필요가 있다. 본 연구에서는 피험자 109명을 대상으로 영화(DVD) 감상 시 피험자가 선호하는 청취레벨을 조사하였다. 청취레벨 조사는 청감실험이 시행된 동일 회의실에서 청취레벨이 비교적 클 것이라 예상되는 영화 감상사를 고려하여 영화(DVD)를 낮은 소음레벨에서 높은 소음레벨까지 재생하면서 피험자가 가장 선호하는 청취레벨을 선정하게 하였다. 조사결과 피험자가 선택한 청취레벨 범위는 약 70 dB(A)~80 dB(A)로서 평균 청취레벨은 75 dB(A)인 것으로 나타났다.

본 연구에서의 청취레벨 조사 결과는 기존 연구⁷⁾에서 조사

한 결과와 유사하게 나타났으나 기존 문헌¹³⁾에서는 인접세대에서 발생하는 소음원 중 최대의 소음레벨을 나타내는 악기연주음이 음원실에서 약 90~100 dB(A)이고 일본 건축학회³⁾에서 제시하는 '차음성능과 생활실감과의 대응'에서도 피아노, 스테레오 음원을 90 dB(A)로 가정하고 있다. 따라서 차음성능 적용의 의미상 극단적인 상황을 고려하여야 하기 때문에 본 연구에서는 음원실에서의 음원의 크기를 약 90 dB(A)로 설정하여 경계벽 차음성능 수치를 도출하였다.

3.3 결과

본 연구에서는 소음레벨에 따른 annoyance 크기를 청감실험을 통해 조사하였고 청감실험 결과를 기준으로 기존 연구방법⁵⁻⁶⁾을 적용하여 소음레벨(dB(A))에 따른 만족도 비율을 산출하였다. 이후, 2006년 시행예정인 "주택성능등급 표시제도"에서 평가지표로 활용되고 있는 평가지표(바닥충격음: $L_i.Fmax.AW$, 공기전달음: 경계벽의 차음성능($R'w$), 급배수소음 및 외부유입 교통소음: N 지수)로 만족도에 따른 차음성능을 도출하였다.

청감실험에 활용된 소음평가척도는 어휘를 활용한 7점 척도이며 이를 만족비율로 환산하기 위해서는 7점 척도 상에서 소음에 대한 만족/불만족(만족도 50%)의 경계시점을 산출하여야 한다. 따라서 설문조사 조사결과와 만족도 50%에 해당되는 annoyance 크기를 바탕으로 바닥충격음의 경우 annoyance 크기 4("비교적 신경쓰인다")이하, 공기전달음, 급배수소음, 교통소음의 경우 3("조금 신경쓰인다")이하로 응답한 피험자의 비율을 구하여 각 소음레벨에 따른 만족도 비율을 계산하였다. 소음 레벨에 따른 만족도 비율결과는 회귀분석의 일종인 probit analysis를 통해 도출하였다.

그림 1과 표 3에서와 같이 바닥충격음의 경우 역 A레벨 ($L_i.Fmax.AW$)기준으로 bang 충격원의 경우 40% 만족 한계치가 46 dB, impact ball의 경우 50 dB로 나타났으며 어린이 jumping 충격음의 경우 만족비율 40%에 해당하는 충격음레벨은 51 dB로 impact ball의 결과와 유사한 만족레벨을 나타냈다. 바닥충격원별로 만족 비율 20~80% 구간에서의 소음레벨 변화에 따른 만족비율 변화 정도를 비교할 경우 bang 충격음은 5.8%/dB, impact ball 충격음의 경우 약 6.5%/dB이며 jumping 충격음은 약 5.3%/dB로 나타났다.

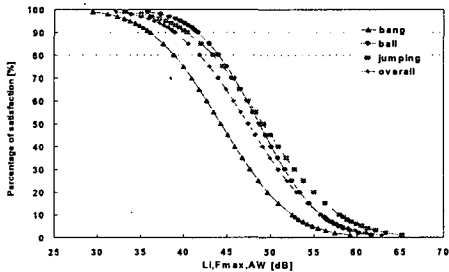


그림 1. 바닥충격음레벨에 따른 만족도 비율

표 3. 각 음원별 소음 만족도에 따른 바닥충격음 차단성능

Percentage of satisfaction [%]	Floor impact noise level [$L_i.Fmax.AW$, dB]			
	bang	ball	jumping	average
20%	50	53	55	53
40%	46	50	51	49
60%	43	47	47	46
80%	39	44	43	42

그림 2는 공기전달음의 소음레벨에 따른 만족도 비율을 나타내는 것으로서 만족도 기준으로 대화음, 뉴스음, 피아노, 음악, 전화벨음 순으로 만족도가 낮은 것으로 나타났다. 공기전달소음의 경우 만족 비율 20~80% 구간에서의 소음레벨 변화에 따른 만족비율 변화 정도는 평균 약 6.3%/dB인 것으로 나타났다. 표 4는 각 음원별 소음 만족도에 따른 경계벽 차단성능을 나타낸 것이다. 각 만족도 비율에 따른 차음성능의 결과는 음원실에서의 각 공기전달소음원의 음압레벨이 90 dB(A)라고 가정한 상태에서 수음실에서의 해당 음압레벨을 확보하기 위한 차음성능을 조사한 것으로서 음원이 녹음되었던 두 종류 벽체의 투과손실의 주파수 특성을 적용하여 분석하였다.

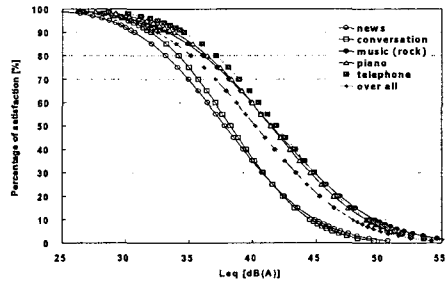


그림 2. 소음레벨에 따른 만족도 비율: 공기전달음

표 4. 각 공기전달음원별 소음 만족도에 따른 경계벽 차단성능

Percentage of satisfaction [%]	경계벽 차음성능 [$R'w$]					
	news	piano	music	conversation	telephone	average
20	47	43	43	47	43	45
40	51	47	47	50	46	48
60	53	50	50	53	49	51
80	57	53	54	56	53	54

그림 3은 급배수소음, 교통소음의 소음레벨에 따른 만족도 비율을 나타내는 것으로서 급배수소음 중 변기배수소음이 욕조배수소음보다 만족도가 낮았으며 교통소음의 경우 철도, 항공기, 도로 교통소음 순으로 만족도가 낮은 것으로 나타났다. 소음원별로 만족 비율 20~80% 구간에서의 소음레벨 변화에 따른 만족비율 변화 정도는 급배수소음이 평균 9.8%/dB, 교통소음

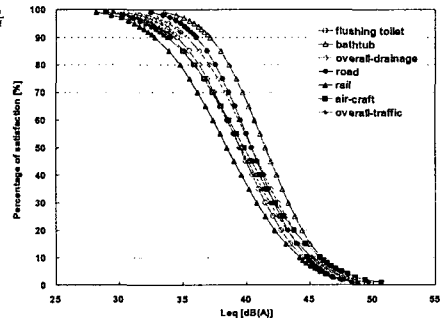


그림 3. 소음레벨에 따른 만족도 비율: 급배수소음, 교통소음

표 5와 6은 급배수 소음 및 교통소음원별 소음 만족도에 따른 N-지수 값을 나타내는 것으로서 만족도 40%에 해당되는 N-지수 값은 평균값 기준으로 급배수소음이 N-41, 교통소음이 N-40인 것으로 나타났다.

표 5. 급배수 소음원별 소음 만족도에 따른 N-지수

Percentage of satisfaction [%]	N-지수		
	Flushing toilet	Bathtub	average
20	43	44	43
40	40	42	41
60	39	41	40
80	36	39	37

표 6. 교통 소음원별 소음 만족도에 따른 N-지수

Percentage of satisfaction [%]	N-지수			
	Road	Rail	Aircraft	average
20	41	41	44	42
40	39	39	41	40
60	38	36	39	38
80	36	34	36	35

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 소음레벨에 따른 만족도를 기준으로 공동주택 차음성능의 평가 등급을 설정하기 위하여 설문조사 및 청감실험을 실시하였다.

설문조사 결과 소음만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응은 annoyance인 것으로 나타났다. 설문조사에서 소음만족도와 annoyance와의 회귀식 결과를 기준으로 만족-불만족 경계를 조사하였으며 이를 바탕으로 소음레벨 및 차음성능에 따른 만족도를 청감실험을 통해 선정하였다. 개별소음원에 대한 평균값 기준으로 기존 연구⁵⁽⁶⁾에서 밝히고 있는 만족-불만족도의 곡선이 만나는 35% 만족도에 근접한 40% 만족도에 해당되는 차음성능을 최소 기준으로 하고 60%, 80% 만족도에 해당되는 차음성능을 상위 등급으로 설정하면 표 7과 같다.

표 7. 소음 만족도에 따른 공동주택 차음성능 평가등급

등급	만족도 [%]	바닥충격음	경계벽	급배수소음	교통소음
		$L_{n, \text{maxAW}}, [\text{dB}]$	$R'_{\text{w}}, [\text{dB}]$	N-지수	N-지수
3등급	40	49	48	41	40
2등급	60	46	51	40	38
1등급	80	42	54	37	35

최소 평가기준이라 할 수 있는 만족도 40%에 해당되는 차음성능 및 실내소음레벨을 외국 기준과 살펴보았을 때 경계벽 차음성능의 경우 유럽국가에서의 최소 요구기준¹⁾인 53~55 dB 보다 비교적 낮은 차음성능 값을 갖는 것으로 나타났다. 실내소음레벨 또한 유럽기준으로 보았을 때 다소 낮은 레벨로 나타났으나 일본³⁾기준과는 유사한 것으로 나타났다.

만족도 비율에 따른 평가등급 설정결과, 각 등급 간 간격이 일반적인 간격인 5 dB 이내로 나타났으며 이는 소음레벨에 따른 만족도 곡선(그림 1~3)에서 알 수 있듯이 소음레벨 변화에 따른 만족도의 변화(%/dB)가 비교적 컸기 때문이다. 유럽에서의 연구⁵⁽⁶⁾의 결과는 소음레벨에 따른 만족도의 변화량이 약 4%/dB 로 나타나 20% 만족도 변화에 대응되는 소음레벨 값은 5 dB에 해당된다. 이러한 결과의 차

이는 우선 유럽연구의 경우 대부분 청감실험이 아닌 현장측정과 설문조사를 병행한 방법으로 조사된 결과인 점을 고려하였을 때 실험방법론에 대한 차이와 생활소음에 대한 태도 및 경험 등 각국의 국민들의 주관적 반응의 경향 차이에 기인된 것으로 사료된다.

본 연구에서 도출된 공동주택 차음성능의 평가등급은 소음에 대한 주관적 반응을 중심으로 도출된 것으로서 향후 공동주택 차음성능 및 실내소음레벨 평가등급 설정에 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다. 앞으로 보다 정확한 소음 평가기준 및 평가등급을 설정하기 위해서는 보다 다양한 연구방법론에 대한 시도가 필요하며 특히 유럽국가처럼 주거환경소음 실태 파악을 위한 소음측정과 병행하는 대규모 소음 설문조사가 필요하다고 사료된다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) B. Rasmussen, "Sound insulation between dwellings-Classification schemes and building regulations in Europe," Proceedings of Inter-noise 2004, 2004
- (2) HUD (U.S. Department of Housing and Urban development), "Noise assessment guidelines", 1983
- (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), pp.28-33, 1999
- (4) 住宅品秩確保 促進法, 日本, 2001
- (5) J. H. Rindel and B. Rasmussen, "Assessment of Airborne and Impact Noise from Neighbors," Proceedings of Inter-noise 97, pp.1739-174 4. 1997.
- (6) J. H. Rindel, "Acoustic Quality and Sound Insulation Between Dwellings" Journal of Building Acoustics, 5 pp.291-301. 1999.
- (7) 김선우, 이태강, 송민정, "벽체의 차음성능 기준 및 등급화에 관한 연구" 대한건축학회논문집, 제15권 제9호, pp.117-124, 1999
- (8) 전진용, 정정호, "표준음원에 대한 annoyance 평가 및 차음등급 설정에 관한 연구," 대한건축학회논문집, 제17권 제7호, pp.179-185, 2001
- (9) 전진용, 류종관, "청감실험에 의한 공동주택 바닥충격음의 평가등급 설정" 한국음향학회지 제22권 제2호, pp.88-95, 2003
- (10) 송민정, 기노갑, 장길수, 김선우, "공동주택 바닥충격음 차단성능 등급화에 관한 연구," 대한건축학회논문집, 제20권 제10호, pp.295-302, 2004
- (11) 류종관, 전진용, 김홍식, "청감실험을 통한 생활소음의 평가척도 및 기준 설정," 한국 소음진동공학회 논문집, 제15권 제8호, pp.904~910, 2005
- (12) 대한주택공사, "외부창호의 차음설계에 관한 연구", 1992
- (13) "集合住宅の音楽練習室", 音響技術, No.12, pp. 3~4. 2002,