

## 공동주택 복합 생활소음의 통합 평가등급

### A Combined Rating System for Multiple Noises in Residential Buildings

전진용† · 류종관\*

Jin Yong Jeon and Jong Kwan Ryu

(2006년 2월 16일 접수 ; 2006년 9월 11일 심사완료)

Key Words : Residential Noises(생활소음), Multiple Noises(복합소음), Combined Rating(통합평가), Classification of Noise(소음평가등급)

#### ABSTRACT

A survey and auditory experiment on multiple residential noises such as floor impact, airborne, bathroom, drainage and traffic noises were conducted to develop a combined rating system and to establish criteria for multiple residential noises. Subjective reactions such as annoyance, activity disturbance, sleep disturbance, and satisfaction to overall noise environment and each residential noise were recorded. The effect of individual noise perception on the evaluation of the overall noise environment was also investigated. The survey results showed that satisfaction for floor impact noise most greatly affects the overall satisfaction for overall noise environment and annoyance most greatly affects the satisfaction for individual noise sources. Auditory experiments were undertaken to determine the percent satisfaction for individual noise levels. Result of auditory experiment showed that the noise level corresponding to 40 % satisfaction is 49 dB ( $L_{i,Fmax,AW}$ ) for floor impact and is about 40 dB(A) for airborne, drainage and traffic noise. From the results of the survey and the auditory experiments, an equation for predicting the overall satisfaction for multiple noises was developed and a classification of multiple residential noises was proposed.

#### 1. 서 론

최근 삶의 질의 향상으로 인해 보다 정온한 주거 환경에 대한 요구와 소음환경개선에 대한 관심이 증가하고 있는 상황이다. 이에 따라 정부에서는 공동주택 차음성능(바닥충격음, 경계벽 차음성능, 화장실 소음)등급이 포함된 “주택성능등급 표시제도”를 시행하고 있으며 이를 통해 소비자의 주택선택권을 보장하고 보다 조용하고 쾌적한 주거환경 조성을 도모하고 있다.

소음의 평가등급은 바닥, 벽 등 건물부재의 차음성능과 실내의 소음도 등을 대상으로 설정된다. 외국의 경우 해당 국가의 국민들의 소음에 대한 주관적 반응을 기준으로 서로 다른 소음평가지수와 소음레벨로 소음평가등급을 설정하고 있으나 평가등급 설정 방법론에 대한 연구논문 발표는 그다지 많지 않다. 소음의 평가등급 설정의 객관적인 방법론으로 제안된 것으로 소음에 대한 만족도(또는 불만족도) 비율에 의한 방법론이 있다. 이는 소음환경에 대한 전체 집단의 반응 중 현 소음환경에 대하여 만족을 표현하는 거주자의 비율을 조사하는 것으로서 주로 Sweden 및 Denmark 등의 북유럽국가에서 활용되는 방법이다<sup>(1,2)</sup>. Rindell 등<sup>(3,4)</sup>은 바닥충격음과 세대간 및 실간 차음성능에 대하여 거주자의 소음 만족 비율을 기준으로 평가 등급을 제안하였다.

† 책임저자; 정희원, 한양대학교 건축공학부

E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr

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

\* 정희원, 한양대학교 대학원 건축공학과

국내의 경우 바닥충격음 및 경계벽 차음성능 등에 대한 등급화 시도<sup>(5-8)</sup>가 있었으며 주로 rating (categorical) scale을 통한 annoyance 등의 주관적 반응을 조사하고 각 척도간의 소음레벨 차이로 기준으로 소음평가 등급을 제시한 바 있다.

한편, 현재 국내의 주거 공간 종류 중 50% 이상을 차지하고 있는 공동주택은 바닥과 벽 등을 이웃과 공유하고 있기 때문에 공동주택의 거주자들은 이웃집에서 발생하는 다양한 소음원에 쉽게 노출되어 있는 상황이다. 소음의 평가기준은 다양한 소음원에 대하여 개별적으로 설정되는 것이 국내외적으로 일반적이라 할 수 있으나 각종 다양한 소음원에 노출되어 있는 현 공동주택 소음환경을 고려하였을 때 다양한 소음원을 통합적으로 평가하는 방안은 주택의 소음환경을 쉽게 평가하는데 유용한 도구라 할 수 있다. 독일의 경우 바닥충격음 및 공기전달음 등 다양한 소음원에 대한 통합적 평가등급을 가이드라인으로 활용하고 있다<sup>(9)</sup>.

외국의 경우 다중소음원에 대한 통합 평가방법론은 주로 교통소음에 대한 연구가 진행되었으며 도로, 철도, 항공기 개별소음원에 의한 annoyance에 대하여 전체적인 overall annoyance 크기를 선정하는 방법론이 여러 연구자들에 의해 제안되었다. 기존 연구에서는 연구자가 제안한 모델식을 이용하여 개별 소음원의 annoyance에 대응되는 각각의 소음레벨(에너지)을 수학적으로 계산함으로써 overall annoyance를 정량화하였다. Ronnebaum<sup>(10)</sup>은 개별 소음원 뿐만 아니라 전체 소음에 대한 overall annoyance의 설문조사를 통하여 다양한 모델식을 검증한 결과, Rice와 Izumi<sup>(11)</sup>의 dominant source model이 설문조사 결과와 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 각종 model에 의한 수학적 계산으로 overall annoyance를 정량화하는 방법론은 개별 소음원의 독립적인 영향만을 적용한 것으로서 overall annoyance에 영향을 미치는 개별 소음원의 상호작용 효과가 간과된 점은 문제점으로 지적될 수 있다.

이 연구에서는 바닥충격음, 세대간 공기전달음, 급배수소음, 교통소음원의 공동주택에서 발생하는 생활소음원을 대상으로 설문조사와 청감실험을 실시하였다. 설문조사를 통하여 거주공간의 소음환경에 대한 전체 만족도에 영향을 미치는 개별소음의 기여도

와 소음 만족도에 영향을 미치는 주관적 반응요소를 도출하였고 청감 실험을 통하여 개별 소음원에 대한 소음레벨에 따른 만족도 비율을 도출하였다. 최종적으로 설문조사와 청감실험 결과를 바탕으로 공동주택에서의 복합소음에 대한 통합 평가등급을 제안하고자 한다.

## 2. 복합 소음원의 통합 평가 방법론

일반적으로 인간의 일상생활에 미치는 소음의 영향으로는 신경쓰임 또는 짜증남(annoyance), 생활 방해, 정서불안 등 심리적·생리적 피해 등이 있다. WHO에서 발행한 guidelines for community noise<sup>(12)</sup>에서는 noise annoyance는 global phenomenon 이지 만 소음에 의한 정서적 불안, 두려움, 우울함, 불만족 등과는 별개의 개념이라는 점과 noise annoyance는 소음에 대한 모든 부정적 반응을 포함하지는 않는다는 점을 언급하였다. 따라서 인간에게 영향을 미치는 소음의 영향정도를 종합적으로 평가하기 위해서는 위와 같은 소음 영향요소들을 통합적으로 평가할 수 있는 평가요소가 필요하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 소음의 여러 영향요소의 통합적인 평가요소로서 소음에 대한 만족도(또는 불만족도)라는 변수를 제안하고자 한다. 단, 통상적으로 annoyance의 개념이 다양한 소음의 영향요소들을 종합한 개념으로 사용되었으나 본 연구에서는 '신경쓰임' 또는 '짜증남'이라는 소극적 의미로서 annoyance 평가를 실시하였다.

이 연구에서는 Fig. 1과 같이 복합 소음원에 의한

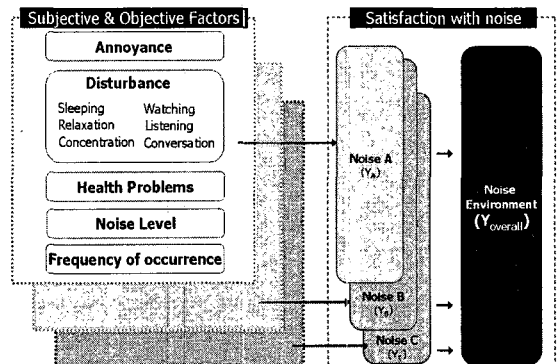


Fig. 1 Model for quantifying overall response to multiple noises

종합영향정도 평가 model을 제안하고자 한다. 이 연구에서 제안된 model에 따라 복합 소음원에 의한 종합 영향정도를 평가하기 위해서는 우선 개별 소음원 대한 만족도, annoyance, 생활방해정도, 건강상의 영향 정도 등의 주관적 평가요소와 발생빈도, 소음레벨 등의 물리적 평가요소들을 조사함으로써 개별 소음 만족도에 영향을 미치는 주요 영향요소를 도출하게 된다. 이후 도출된 영향요소와 개별소음원의 만족도와의 관계를 조사하게 되고 다음으로 개별 소음 만족도와 전체 소음만족도와의 관계식을 조사한 후 기 조사된 개별 소음만족도와 주관적 영향요소간의 관계식을 이용하여 복합소음원에 의한 종합적인 영향정도를 파악할 수 있다.

### 3. 설문조사

#### 3.1 개요

이 설문조사에서는 Table 1과 같이 현 거주공간의 소음환경에 대한 전체 만족도와 현재 공동주택에서 문제시 되는 주요 소음원인 바닥충격음, 공기전달음, 급배수소음, 교통소음의 개별소음원에 대한 발생현황과 주관적 반응요소, 만족도 등을 조사하였다.

설문조사는 수도권 공동주택에서 거주하고 실내 소음 노출시간이 가장 많은 주부 500여명을 대상으로 실시하였으며, 연령대는 30, 40대 응답자가 약 70%로 대부분을 차지하였다. 거주공간의 아파트 평형대는 거주자의 78%가 20~40평형대 아파트에 거주하고 있는 것으로 나타났다. 거주기간의 경우 1년 미만 10.7%, 1~2년 22.5%, 3~4년 31%, 5년~12년 29%, 13년 이상 7%로 현 거주공간의

소음환경의 평가에는 충분한 거주기간을 갖고 있는 것으로 나타났다. 도로교통소음과 관련된 거주공간 주변 도로차선 분포의 경우 왕복 2차선이 30%, 4차선이 40%, 6차선이상 30%인 것으로 나타났다.

소음에 대한 만족도의 경우 1~10의 numeric scale를 사용하여 평가하였으며 주관적 반응요소의 경우 1. 전혀, 2. 별로, 3. 조금, 4. 비교적, 5. 꽤, 6. 매우, 7. 엄청나게 의 평가어휘를 갖는 7점 verbal scale<sup>(13)</sup>를 사용하여 평가하였다.

#### 3.2 결과

(1) 생활소음에 대한 만족도 및 주관적 반응 요소

Table 2는 500여명 응답자의 현 거주공간의 전체 소음환경에 대한 전반적인 만족도와 개별소음원의 만족도의 평균값을 100%로 환산한 값을 나타내고 있다. 전체소음 만족도와 개별소음원의 만족도는 Table 2와 같이 50%에 미치지 못하는 것으로 나타나 현 거주공간의 소음환경에 대한 불만족도가 큰 것으로 나타났다.

Fig. 2는 500여명 응답자의 개별소음원에 대한 주관적 반응정도의 평균값을 나타내고 있다. Annoyance의 경우 반응정도가 7점 척도 중 약 3.4~3.9로 '조금, 비교적 신경쓰인다' 정도의 신경쓰임을 나타내고 있으며 정신집중방해, 휴식방해, 수면방해 또한 약 3~4의 방해정도로 '조금, 비교적 방해된다' 로 나타났다. 회화방해, 시청각방해, 작업방해의 방해정도는 약 2~3정도로 해당소음원의 의해 '별로 방해되지 않는다', '조금 방해된다' 수준인 것으로 나타났다. 건강상의 문제는 약 2~2.5로 '별로 그렇지 않다' 정도의 수준인 것으로 나타났다. 음원별로 비교하여 보았을 때 바닥충격음, 공기전달음, 교통소음, 급배수소음 순으로 거주자의 주관적 반응에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며 주관적 반응별로 살펴보면 annoyance와 휴식방해, 정신집중방해, 수면방해가 큰 것으로 나타났으며 이에 반해 회화방

Table 1 Contents of questionnaire used in survey

	Contents
Present state of occurrence	· Source causing most annoyance for each noise type · Frequency, time, location of noise occurrence
Subjective responses (individual noise)	· Annoyance · Disturbance : concentration, relaxation, sleeping, conversation, TV-Audio, work · Health problem : head ache or digest trouble, mental anxiety or disorder
Satisfaction with noise	· Satisfaction with overall noise environment and individual noise source
The others	· Information on individual and residential space

Table 2 Satisfaction with overall noise environment and individual noise source

	Floor impact	Airborne	Drainage	Traffic	Overall noise environment
Percentage of satisfaction(%)	46.2	45.7	49.1	48.3	45.7

해, 시청각방해, 작업방해와 건강상의 문제는 반응정도가 약한 것으로 나타났다.

(2) 개별 소음원의 만족도에 영향을 미치는 주관적 반응 요소

이 연구에서는 소음발생 및 주관적 반응의 현황조사를 기준으로 개별 소음만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응요소를 도출하고자 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석은 SPSS 10.0을 활용하여 실시하였으며 변수선택의 경우 단계법을 사용하였고 다중공선성 검토 및 잔차분석을 통하여 통계적으로 유의한 설명(종속)변수만을 포함시켰다.

다중회귀분석은 종속변수에 영향을 미치는 독립변수들의 기여율을 조사하는 한 방법으로서 보통 회귀계수를 통해 기여율이 정해진다. 단 각 독립변수들의 단위가 상이할 경우에는 표준화 회귀계수를 사용한다.

개별소음에 대한 만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응요소 관계는 식 (1)과 같이 표현되며 각 종속변수인 주관적 반응요소의 표준화회귀계수를 정리하면 Table 3과 같다. Table 3에서 각 음원에 대하여 공란에 해당되는 변수는 회귀식에 포함되지 않는 변수를 나타내고 있다. 다중회귀 분석 결과 개별 소음에 대한 만족도와 주관적 반응요소(종속변수)로 구성된 회귀식의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 바닥충격음, 공기 전달음, 급배수소음, 교통소음의 경우 각각 0.47, 0.49, 0.44, 0.58 이었으며 회귀계수와 회귀식의 유의성을 검정한 결과 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(p<0.01).

Table 3과 같이 전체 소음원 모두 주관적 반응요소 중 annoyance가 소음만족도에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 발생빈도 또한 모든 소음원의 만족도에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 지속적으로 발생하는 교통소음의 경우 소음만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응 요소는 annoyance, 취침방해, 두통 또는 소화장애의 요소로써 다른 소음원과 다소 다른 경향을 나타냈다. 또한 소음원에 따라 소음만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응요소가 상이한 점은 주목할 점이라 할 수 있다.

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + \dots + b \quad (1)$$

여기서, Y는 개별소음원의 만족도, X<sub>1-4</sub>는 주관적 반응요소, a<sub>1-4</sub>는 회귀계수(비표준화)를 나타냄.

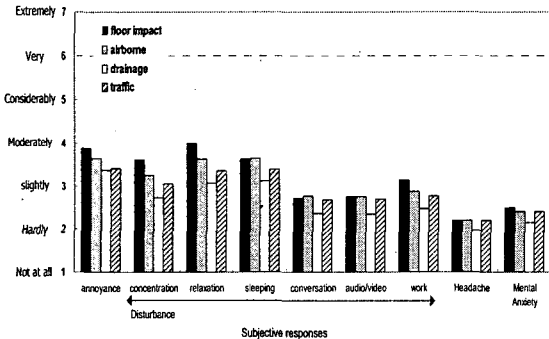


Fig. 2 Subjective responses to individual noise source

Table 3 Standardized regression coefficient of each variable in multiple regression analysis

Variables	Floor impact	Airborne	Drainage	Traffic	
Annoyance	-0.37	-0.26	-0.39	-0.37	
Disturbance	Concentration	-	-	-	
	Relaxation	-0.15	-0.24	-0.14	-
	Sleeping	-	-	-	-0.21
	Conversation	-	-0.17	-0.15	-
	TV, audio	-	-	-	-
Work	-0.13	-	-	-	
Health problem	Headache or digest trouble	-	-	-	-0.16
	Mental anxiety or disorder	-	-	-	-
Frequency of occurrence	-0.19	-0.21	-0.13	-0.15	

4. 청감실험

4.1 개요

설문조사 결과 개별 소음만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응은 annoyance인 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에서는 공동주택에서의 주요 개별 소음원별로 소음레벨에 따른 annoyance 정도를 조사하고 이를 바탕으로 만족도와 소음레벨과의 관계식을 도출하고자 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, 어린이 jumping), 공기 전달음(news, music, piano, 대화음, 전화벨), 급배수소음(변기, 욕조), 외부유입 교통소음(도로, 철도, 항공기)을 대상으로 하였다. 음원녹음은 1/2" monaural microphone와 DAT를 이용하여 실시되었고 바닥충격음과 급배수소음의 경우 공동주택 2세대에서 실제 발생음원을 하부층(급배수소음의 경우, 하부층 욕실)에서 녹음한 음원을 사용하였다. 바닥충격음의 경우 중앙점 가진, 중앙점 수음 음원을 사용하였고 어린이 jumping 음원의 경우 6세 (25 kg) 어린이가 중앙점 제자리에서 뛰는 음원을 사용하였다. 공기전달음의 경우 공동주택 2세대에서 무향실 음원을 음원실에서 발생시키고 인접 세대 수음실에서 녹음한 음원을 사용하였다. 교통소음의 경우 속도별 차종별로 해당 교통소음이 발생하는 인접 공동주택 외부에서 녹음하였으며 보편적인 외부창의 투과손실<sup>(14)</sup>만큼 필터링한 음원을 사용하였다.

현장에서 녹음된 음원은 바닥충격음의 경우 역 A레벨( $L_{i,Fmax,AW}$ )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 10초로 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 상부로부터 소음이 들리도록 스피커 높이를 조절하였다. 다만, 교통소음의 경우 통상적으로 외부 창으로부터 소음이 유입되는 상황을 고려하여 한쪽면의 두 구석 위치에서만 음원을 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.

#### 4.2 결과

이 연구에서는 소음레벨에 따른 annoyance 크기를 청감실험을 통해 조사하였고 청감실험 결과를 기준으로 기존 연구방법<sup>(3,4)</sup>을 적용하여 소음레벨(dB(A))에 따른 만족도 비율을 산출하였다.

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 조사결과 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 비율의 결과는 회귀분석의 일종인 probit analysis<sup>(4)</sup>를 통해 도출하였다. Probit analysis는 종속변수가 질적변수일 경우에 이용되는 회귀 분석 방법으로서 이 연구에서는 피험자들의 소음에 대한 만족 또는 불만족이라는 질적 종속변수를 정규분포에 따른 비율(확률)값으로 변환하여 회귀분석을 실시하였다.

Fig. 3과 같이 바닥충격음의 경우 역 A레벨( $L_{i,Fmax,AW}$ )기준으로 bang 충격원의 경우 기존연구<sup>(1)</sup>에서 최저 요구(minimum requirement) 기준으로 제안된 40% 만족 한계치가 46 dB, impact ball의 경우 50 dB로 나타났으며 어린이 jumping 충격

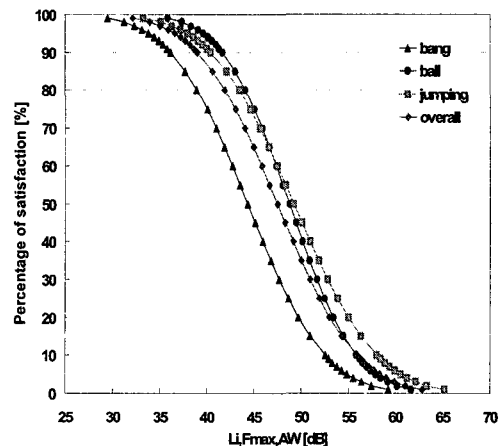


Fig. 3 Relationship between floor impact noise level and percentage of satisfaction

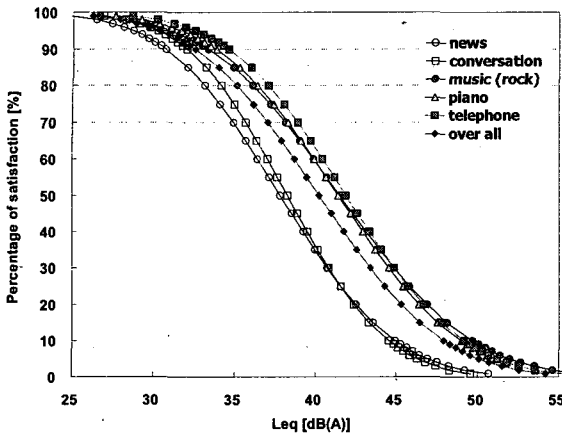


Fig. 4 Relationship between airborne noise level and percentage of satisfaction

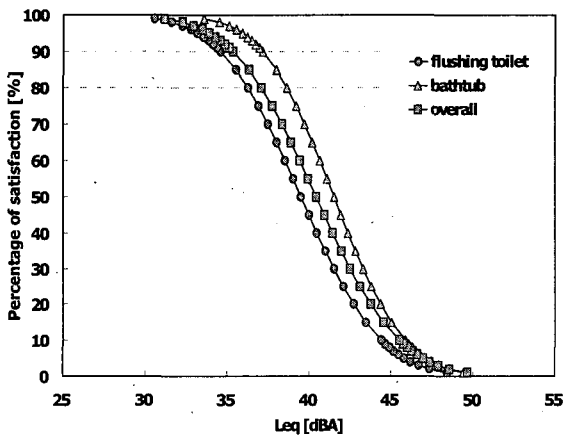


Fig. 5 Relationship between drainage noise level and percentage of satisfaction

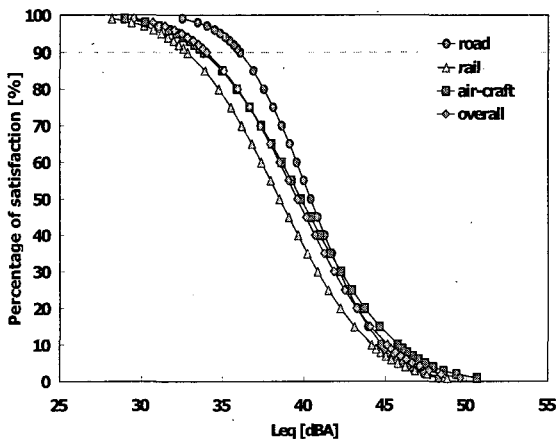


Fig. 6 Relationship between traffic noise level and percentage of satisfaction

음의 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.

Fig. 4는 공기전달음의 소음레벨에 따른 만족도 비율을 나타내는 것으로써 만족도 기준으로 대화음, 뉴스음, 피아노, 음악, 전화벨음 순으로 만족도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 소음만족도 40%에 해당되는 소음레벨은 평균 약 42 dB(A)인 것으로 나타났다. 공기전달소음의 경우 만족 비율 20~80% 구간에서의 소음레벨 변화에 따른 만족비율 변화 정도는 평균 약 6.3%/dB인 것으로 나타났다.

Fig. 5는 급배수소음, 교통소음의 소음레벨에 따른 만족도 비율을 나타내는 것으로써 급배수소음 중 변기 배수소음이 욕조배수소음보다 만족도가 낮았으며 교통소음의 경우 철도, 항공기, 도로 교통소음 순으로 만족도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 소음만족도 40%에 해당되는 소음레벨은 급배수 소음과 교통소음 모두 약 41 dB(A)인 것으로 나타났다. 소음원별로 만족 비율 20~80% 구간에서의 소음레벨 변화에 따른 만족비율 변화 정도는 급배수소음이 평균 9.8%/dB, 교통소음의 경우 평균 8.5%/dB인 것으로 나타났다.

### 5. 공동주택 복합 생활소음의 통합 평가

설문조사로부터 개별소음의 만족도와 전체소음환경에 대한 만족도와와의 관계를 다중회귀분석 방법으로 조사한 결과는 식 (2)와 같다. 소음만족도(Y)는 측정척도인 1~10점을 100점으로 환산하여 다중회귀분석을 실시하였으며 회귀식의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.69였다. 회귀식과 회귀식의 상수 및 회귀계수 검정결과 유의확률이 p<0.01로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

$$Y_{\text{전체}} = 0.56 Y_{\text{바닥충격음}} + 0.21 Y_{\text{공기전달음}} + 0.03 Y_{\text{급배수소음}} + 0.13 Y_{\text{교통소음}} + 2.43 \quad (2)$$

다중회귀 분석 결과 식 (2)와 같이 전체 소음의 만족도는 바닥충격음(회귀계수: 0.56)에 의해 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며 공기전달음(0.21), 교통소음(0.13), 급배수소음(0.03) 순으로

전체 소음만족도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 설문조사 결과 중 개별소음에 의한 주관적 반응의 영향정도(Fig. 1) 순과 동일한 것으로 나타났다.

설문조사와 청감실험 결과로부터 개별소음원의 소음레벨을 이용하여 복합소음원의 만족도를 예측할 수 있는 예측식을 도출하였다. 먼저, 설문조사 결과로부터 도출된 전체 소음만족도와 개별소음만족도의 관계식은 식 (2)와 같다. 또한 청감실험 결과에서 소음레벨에 따른 만족도 곡선에서 만족도 20~80% 구간의 회귀선을 각 소음원별로 계산하면 아래의 식 (모든 식에 대해서  $R^2=0.99, p<0.01$ )과 같다.

$$Y_{\text{floor impact}} = -5.60 L_{\text{floor impact}} + 315.5 \quad (3)$$

$$Y_{\text{airborne}} = -6.14 L_{\text{airborne}} + 296.9 \quad (4)$$

$$Y_{\text{traffic}} = -8.54 L_{\text{traffic}} + 387.9 \quad (5)$$

$$Y_{\text{drainage}} = -9.28 L_{\text{drainage}} + 425.3 \quad (6)$$

여기서,  $Y$ : 개별소음원의 만족도,  $L$ : 소음레벨, dB(A) (단, 바닥충격음의 경우  $L$ 은 역 A 충격음레벨,  $L_{i,Fmax,A}$ )

따라서 식 (2)와 식 (3)~(6)을 이용하면 식 (7)과 같은 예측식이 도출되며 이를 통해 복합 생활소음원에 의한 전체 소음만족도( $Y_{\text{overall}}$ )의 예측이 가능하다.

$$Y_{\text{overall}} = -3.1L_{\text{floor impact}} - 1.3L_{\text{airborne}} - 0.3L_{\text{drainage}} - 1.1L_{\text{traffic}} + 304.7 \quad (7)$$

전체 소음만족도는 식 (7)과 같이 개별 소음원의 소음레벨의 다양한 조합으로 결정되며 회귀계수의 크기에 따라 전체 소음만족도 결정에 있어서 각 소음원의 가중 정도가 결정된다. 궁극적으로 식 (7)을 활용하여 개별 소음원의 소음레벨 기준으로 전체 소음만족도의 통합 평가가 가능하다.

Sweden<sup>(10)</sup>의 경우 이와 같은 만족도 비율에 따라 소음환경의 평가등급을 설정하고 있으며 각 등급을 80%, 60%, 40%, 20%의 만족도 비율로 설정하고 40%에 해당되는 소음레벨을 최소요구기준(minimum requirement)으로 제한하고 있다. 따라서 이 연구에서도 소음 평가등급을 만족도 비율 80%, 60%, 40%, 20% 기준으로 설정하고자 하며 그 결과는 Table 4와 같다. 공기전달음의 경우 각 만족도 비율에 따른 차음성능의 결과는 음원실에서의 각 공기전달소음원의 음압레벨이 90 dB(A)라고

가정한 상태에서 수음실에서의 해당 음압레벨을 확보하기 위한 차음성능을 조사한 것으로써 음원이 녹음되었던 두 종류 벽체의 투과손실의 주파수 특성이 적용된 결과이다. 기존 문헌<sup>(15)</sup>에서는 인접세대에서 발생하는 소음원 중 최대의 소음레벨을 나타내는 악기연주음이 음원실에서 약 90~100 dB(A)이고 일본 건축학회<sup>(16)</sup>에서 제시하는 '차음성능과 생활실감과의 대응'에서도 피아노, 스테레오 음원을 90 dB(A)로 가정하고 있다. 따라서 차음성능 적용의 의미상 극단적인 상황을 고려하여야 하기 때문에 이 연구에서는 음원실에서의 음원의 크기를 약 90 dB(A)로 설정하여 경계벽 차음성능 수치를 도출하였다.

Table 4의 개별소음원의 소음레벨기준은 청감실험 결과의 만족도와 소음레벨 관계식에서 도출된 각 만족도 비율에 해당되는 소음레벨 값(개별 소음원의 평균값)을 기준으로 하였다. Table 4의 만족도 비율은 개별소음원 뿐만 아니라 식 (7)에 의한 전체 소음만족도 비율도 포함된 개념이다. 따라서 이 연구에서 제안하는 소음 평가 등급은 개별 소음원의 평가뿐만 아니라 통합적 의미의 평가등급으로서 주거 환경에서의 음환경 품질을 쉽게 평가하고 표시할 수 있는 장점이 있다.

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

Table 4 Combined class for multiple noise; noise level and insulation performance corresponding to percentage of satisfaction with multiple noise sources

Class	Satisfaction [%]	Floor impact	Airborne		Drainage	Traffic
		$L_{i,Fmax,AW}$ , [dB]	SPL [dB(A)]	$R'w$ , [dB]	SPL [dB(A)]	
4	20	53	45	45	44	43
3*	40*	49	42	48	41	41
2	60	46	39	51	39	38
1	80	42	35	54	37	36

\* Minimum requirement

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

## 6. 결 론

이 연구에서는 공동주택 복합 생활소음에 대한 설문조사와 청감실험을 통하여 소음 만족도 등의 주관적 반응을 조사하였으며 소음만족도 개념을 기준으로 복합 생활소음원의 통합 평가방법론 및 평가등급을 제안하였다. 이 연구에서 제안된 평가등급은 개별 소음원의 평가기준으로서의 의미뿐만 아니라 다양한 소음원에 대한 통합적 평가기준으로서 활용가능하다.

설문조사 결과 주거 공간 소음환경에 대한 전체 만족도는 바닥충격음, 공기전달음, 교통소음, 급배수소음의 만족도 순으로 영향을 받는 것으로 나타났으며 소음만족도에 영향을 미치는 주요 주관적 반응요소는 annoyance인 것으로 나타났다. 또한 소음원에 따라 소음만족도에 영향을 미치는 요소가 상이하게 나타난 점은 주목할 점이라 할 수 있으며 이는 소음원의 특성에 따라 주관적 반응의 영향요소가 다르다는 점을 나타낸다.

이 연구에서 도출된 공동주택 차음성능의 평가등급은 소음에 대한 주관적 반응을 중심으로 도출된 것으로서 향후 추가적인 공동주택 차음성능 및 실내소음레벨 평가등급 설정시 기초 자료로 활용될 것으로 사료되며 추가 조사 또는 실험 등을 통해 통합평가 방법론 및 평가등급에 대한 검증이 향후 필요하다고 사료된다. 앞으로 보다 정확한 소음 평가기준 및 평가등급을 설정하기 위해서는 보다 다양하고 심화된 연구 방법론에 대한 시도가 필요하며 특히 유럽국가처럼 주거환경소음 실태 파악을 위한 소음측정과 병행하는 대규모 소음 설문조사가 필요하다고 사료된다.

## 후 기

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002

-000-00089-0) 지원으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) Rasmussen. B. and Rindel. J. H., 2003, "Sound Insulation of Dwellings-legal Requirements in Europe and Subjective Evaluation of Acoustical Comfort", DAGA'03, Aachen, Germany. Paper ID 1723.
- (2) Rasmussen. B., 2004, "Sound Insulation between Dwellings-classification Schemes and Building Regulations in Europe", Proceedings of Inter-noise 2004.
- (3) Rindel J. H. and Rasmussen B., 1997, "Assessment of Airborne and Impact Noise from Neighbors", Proceedings of Inter-noise 97, pp. 1739~1744.
- (4) Rindel. J. H., 1999, "Acoustic Quality and Sound Insulation Between Dwellings", Journal of Building Acoustics, 5. pp. 291~301.
- (5) Kim, S. W., Lee, T. G. and Song, M. J., 1999 "A Study on the Standard and Classification of Sound Insulation Performance for Walls", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 15, No. 9, pp. 117~124.
- (6) Jeon, J. Y. and Jeong, J. H., 2001, "A Study on the Matched Annoyance of Floor Impact Noises for Rating Slabs", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 17, No. 7, pp. 179~185.
- (7) Jeon, J. Y. and Ryu, J. K., 2003, "Rating Floor Impact Noise in Apartment Buildings Through Subjective Evaluation Tests", Journal of Acoustical Society of Korea, Vol. 22, No. 2, pp. 1~8.
- (8) Song, M. J, Gi, N. G., Jang, G. S. and Kim, S. W., 2004, "A Study on the Sound Classification System for Floor Impact Sound Insulation Performance of Apartment Houses", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 10, pp. 295~302.
- (9) Kuerer, R. C., 1997, "Classes of acoustical Comfort in Housing: Improved Information about



Noise Control in Buildings” , Applied Acoustics, 52, pp. 197~210.

(10) Ronnebaum, T., Schulte-Fortkamp, B. and Weber, R., 1996 “Synergetic Effects of Noise from Different Sources : A Literature Study” , Proceedings of Inter-noise 96.

(11) Rice, C. G. and Izumi K., 1986, “Factors Affecting the Annoyance of Combinations of Noise Sources” , Proceedings of the Institute of Acoustics 8, pp. 325~332.

(12) WHO, 1999, “Guidelines for Community Noise” .

(13) Ryu, J. K., Jeon, J. Y. and Kim, H. S., 2005, “Development of Noise Annoyance Scale

and Criteria of Residential Noises through Auditory Experiments” , Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 8, pp. 904~910.

(14) Korea National Housing Corporation, 1992, “A Study on Design for Acoustical Insulation of Exterior Window” .

(15) Acoustical Technique, 2002, “Practice Room for Musical in Multiple Residential House” , No.12, pp. 3~4.

(16) Architectural Institute of Japan, 1999, “Design Guide and Criteria of Insulation Performance in Buildings, pp. 28~33.