

청감실험을 통한 도로교통소음에 대한 공동주택 내부소음 기준설정 연구

Indoor Noise limits of Apartment Houses for Road Traffic Noise by Psycho-acoustic Experiment

이주엽* · 김 항** · 송민정** · 장길수*** · 김선우****

Lee Ju-Yeob, Kim Hang, Song Min-Jeong, Jang Gil-Soo, Kim Sun-Woo

Key Words : Psycho-acoustic Experiment(청감실험), Road traffic noise(도로교통소음), Indoor noise limit(내부소음기준), Percentage of Satisfaction (만족도)

ABSTRACT

The aim of this study is to establish the indoor noise limits of apartment houses for road traffic noise. To achieve this goal, psycho-acoustic experiments were carried out with the road traffic sound sources modulated by the transmission loss characteristics of the external windows. As a result of this study, followings are suggested. 1) On correlation between dose level and psycho-acoustical response, the initial level of negative feeling is located on 40.1~40.6 Leq dB(A). 2) On the degree of satisfaction to road traffic noise, near 35% point being same dissatisfaction degree is to be assumed 40~41 dB(A) of indoor noise level presented into three vocabulary. It is suggested to be reasonable level of 40 dB(A) on the indoor noise limits for intruding road traffic noise, and it is appropriate to be the 5dB level difference between grades.

1. 서 론

국내 주택법 21조 및 주택건설기준등에관한규정 9조에 의하면, 주택은 도로나 소음발생시설로부터 수평거리 50m 이상 떨어진 곳에 배치하여야 하며, 방음벽이나 수렴대 설치시 주택 건설지점의 소음도가 65dB 미만이어야 한다고 언급하고 있다. 그러나, 실제 상기 법규를 만족하지 못하고 있는 공동주택이 다수 실재하며, 위 법규를 엄격하게 적용시 택지부족 등으로 인해 공동주택 건설에 난항이 예상되고 있다.

또한, '공동주택 소음측정기준(건교부 고시, 제 463호)'에서 제시하는 측정방법은 저층(5층 규모)의 주택건설의 일반화되던 시기의 측정방법으로서, 현재의 공동주택 규

모가 15~20층 내외임을 감안한다면 현 실정에 맞는 기준이 필요하다고 할 수 있다.

이러한 문제점들을 바탕으로 도로교통소음을 포함한 외부소음에 대해서는 외부 환경소음 규제가 아닌 내부소음으로서의 규제기준을 마련하고자 하는 움직임이 있는데, 그 이유로는 도로교통소음이 공동주택 내부환경인 거실과 안방 등의 사적인 공간에 영향을 미치고 있기 때문이다.

소음에 대한 평가는 도시화와 산업화로 인한 사회문제의 하나로서 생활의 질적 향상과 밀접한 관계가 있으며, 소음의 직접적이거나 간접적인 자극에 대한 인간의 반응관계에 근간하고 있으며, 인간의 주관적 심리반응에 의한 가치판단으로서 결론을 내리게 된다. 이러한 소음에 대해서는 인간의 감각적 반응정도를 파악하여 이에 대한 소음대책을 수립하기 위해서는 소음을 보다 적량적으로 판단하여 실생활에 적용시킬 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 소음을 물리적으로 측정하고 수음자의 객관적인 반응을 정량화하는 과정으로 도로교

* 정회원, 전남대학교 대학원 건축공학과

** 정회원, 전남대학교 공업기술연구소

*** 정회원, 동신대학교 공과대학 건축공학부

**** 정회원, 전남대학교 공과대학 건축학부

본 연구는 2003년도 건교부 산학연 공동연구개발사업 연구결과의 일부임

통소음을 녹취하여 비음향학적인 요소를 최소화한 청감 실험을 통해 소음에 대한 심리적 반응관계를 살펴보고 도로교통소음이 주요 소음원이 되는 공동주택을 대상으로 발생하는 외부소음에 대한 대체기준으로서의 내부소음 기준설정에 관한 연구를 실시하였다.

2. 청감실험

본 연구에서는 도로교통소음에 대한 내부소음 기준안을 설정하는데 그 목적이 있으므로 우선적으로 도로교통소음(고속도로, 자동차 전용도로)을 녹음하였다. 그러나, 이 소음원을 청감실험에 사용할 경우 교통 소음원로부터 음을 직접 청취하는 외부소음의 직접음 청취조건이 되므로 공동주택 내부에서 음을 청취하는 조건으로 변환하기 위한 작업이 필요하게 된다.

우선 직접 녹음된 음원을 건물의 구조체 만큼의 차음 성능에 대한 filtering 작업을 통해 재생하여 이를 피험자들에게 평가하는 방법을 택하였다. 도로교통소음은 발생위치 및 전달특성이 매우 다양하지만, 궁극적으로는 주택 내부로 유입되게 된다. 주택 내부로 유입되는 경로는 주택의 벽, 창, 지붕 혹은 외벽에 있는 틈을 통해 전달되게 되는데, 본 연구에서는 대부분의 소음이 창을 통해 전달되어진다는 조건으로 filtering을 실시하였다.

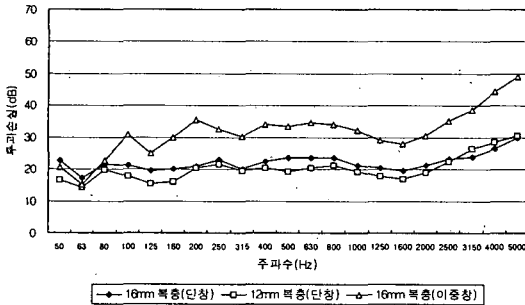


Figure 1 Transmission loss of window structures

현재 대부분의 공동주택에서 사용되는 창호의 사용 현황을 조사한 결과 외벽체 차음성능을 좌우하는 창호 구조는 16mm 복층유리가 사용되고 있음을 확인하였다. 그 외에 12mm가 있으며, 일부 공동주택에서는 구조와 실의 용도에 따라 16mm 복층유리 이중창 및 시스템 창호가 활용되고 있음을 확인하였다. Figure 1은 음원의 주파수 및 레벨 변조에 사용된 3종류의 창호구조의 간향실험실 투과손실 특성을 나타낸 것이다. Table 1은 최

종적으로 제시된 음원의 수와 레벨을 표현한 것이다.

Table 1 Sound source for psycho-acoustic experiment

음원	차음구조	구분	제시레벨 dB(A)	음원 제시번호
자동차 전용도로	16mm 복층유리 (단창)	A-1-가	53.9	S10
		A-1-나	48.9	S24
		A-1-다	43.8	S19
		A-1-라	39.3	S01
		A-1-마	33.8	S14
	12mm 복층유리 (단창)	A-2-가	53.9	S27
		A-2-나	48.9	S02
		A-2-다	43.9	S23
		A-2-라	38.8	S07
		A-2-마	33.7	S18
	16mm 복층유리 (이중창)	A-3-가	52.7	S12
		A-3-나	47.7	S30
		A-3-다	42.7	S06
		A-3-라	37.7	S25
		A-3-마	32.8	S09
고속도로	16mm 복층유리 (단창)	B-1-가	52.8	S17
		B-1-나	47.8	S28
		B-1-다	42.8	S03
		B-1-라	37.9	S20
		B-1-마	33.0	S29
	12mm 복층유리 (단창)	B-2-가	52.8	S22
		B-2-나	47.8	S11
		B-2-다	42.8	S15
		B-2-라	37.8	S26
		B-2-마	33.0	S04
	16mm 복층유리 (이중창)	B-3-가	51.7	S13
		B-3-나	46.7	S05
		B-3-다	41.7	S16
		B-3-라	36.7	S21
		B-3-마	31.7	S08

매우 시끄럽다	상당히 시끄럽다	시끄럽다	약간 시끄럽다	그다지	거의	전혀
13	12	11	10	9	8	7
13	12	11	10	9	8	7
매우 시끄럽다	상당히 시끄럽다	시끄럽다	약간 시끄럽다	그다지	거의	전혀
13	12	11	10	9	8	7
13	12	11	10	9	8	7
매우 시끄럽다	상당히 시끄럽다	거슬 거슬린다	약간 거슬린다	그다지	거의	전혀
13	12	11	10	9	8	7
13	12	11	10	9	8	7

Figure 2 Answer sheet

청감실험에 사용된 어휘로는 도로교통소음을 가장 잘 표현한다고 할 수 있는 어휘 추출을 위한 연구를 통해서 도출된 “시끄럽다”, “신경쓰인다”, “거슬린다”의 3가지 평가어휘를 사용하였다¹⁾. 본 어휘를 통해서 물리적

자극이라고 할 수 있는 레벨의 변화 또는 주파수 변조된 다양한 자극에 대한 반응의 정도를 가능하게 되는데, 어휘 척도에 따른 반응의 정도는 Figure 2와 같은 13단계 SD척도를 사용하였다.

청감실험에 참여한 인원은 39명으로 각 피험자는 모두 정상청력을 지닌 22~47세의 남녀로 구성되어 있으며 피험자 대부분 청감실험 경험이 있는 사람들을 대상으로 하였다. 또한, 실험은 공동주택 거주자의 조건에서 창을 통해 들려오는 소음임을 주지시키고, 거주자의 집안이라는 느낌이 들도록 편안한 자세에서 실험을 실시하도록 하였다.

3. 실험결과 및 분석

우선 각 13단계 척도에 대한 평가어휘별, 발생소음원별 레벨을 파악하여 피험자의 반응정도에 따른 물리적 평가치의 관계를 파악해보았다. 평가지표로는 환경소음 평가에 가장 일반적인 L_{eq} 와 변동하는 소음레벨의 피크치를 의미하는 L_{10} 을 사용하였다.

Table 2 Correlation coefficient between words and Rating method(R^2)

평가지표	어휘	시끄럽다	신경쓰인다	거슬린다
L_{eq}		0.9241	0.9059	0.9389
L_{10}		0.9179	0.9068	0.9337

Table 2는 물리적 평가치와 심리적 반응치의 상관성을 보여주는 R^2 값을 정리한 것이다. 대체적으로 0.9 정도의 높은 상관관계 값을 보이고 있어 양호한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 어휘별로 보면, “거슬린다”, “시끄럽다”, “신경쓰인다” 순으로 나타나고 있다.

각 평가어휘에 대한 주관적 심리 반응치를 1~13의 SD 척도로 표현하여 수치화한 각 어휘에 대응하는 물리적 평가지수를 산출하여 Table 3, 4로 표현하였다.

우선 SD 척도를 “전혀, 거의, 그다지 ~하지 않다”의 의미를 갖는 소음에 대해 낮은 불만족도를 보이는 척도와 “약간, ~하다, 상당히, 매우 ~하다”의 의미를 갖는 다소 불만족가 나타나는 총 7단계의 척도로 구분하여 분석하였다.

각 단계별 지수 차이는 대부분의 경우에 있어 5에서 6내외임을 알 수 있다. 그리고 상기 척도 중 피험자가 교통소음원에 대해 부정적으로 반응하기 시작하는 단계인 “약간 시끄럽다”, “약간 신경쓰인다”, “약간 거슬린다”에 해당하는 레벨을 살펴보면, L_{eq} 의 경우 40.6 dB(A), 40.4 dB(A), 40.1 dB(A)로 나타나 약 40 dB(A) 정도의 레벨에서 교통소음레벨에 대해 부정적으로 인식되는 단계로 나타났다.

Table 3 Rating Values for each subjective step($L_{eq,5min}$, dB(A))

단계 어휘	전혀 1	거의 3	그다지 5	약간 7	00하다 9	상당히 11	매우 13
시끄럽다	23.1	28.9	34.7	40.6	46.4	52.2	58.0
신경쓰인다	23.7	29.3	34.8	40.4	45.9	51.5	57.1
거슬린다	24.0	29.4	34.8	40.1	45.5	50.8	56.2

Table 4 Rating Values for each subjective step($L_{10,5min}$, dB(A))

단계 어휘	전혀 1	거의 3	그다지 5	약간 7	00하다 9	상당히 11	매우 13
시끄럽다	23.8	29.9	36.0	42.1	48.2	54.3	60.4
신경쓰인다	24.6	30.3	36.1	41.9	47.7	53.5	59.3
거슬린다	24.8	30.4	36.0	41.6	47.2	52.8	58.4

이와 동시에 청감실험의 결과를 바탕으로 거주자의 만족도에 따른 차음설계기준치를 찾기 위한 과정으로서 자극에 대한 반응 관계를 살펴보았다.

Figure 3, 4, 5는 내부소음레벨에 대한 만족도 및 불만족도 비율을 plot한 추세선을 보여주고 있다.

관련 외국의 연구²⁾에 따르면, 만족과 불만족의 관계에 있어서 F(Fair)는 약 30% 정도이고, P(Poor)와 G(Good)는 0에서 70% 정도를 차지한다고 밝힌바 있다. Figure 3, 4, 5는 P와 G의 관계를 약 70% 정도로 보고 표현한 것이다. 특히 또한, 내부소음에 대한 만족과 불만족의 비율이 같아지는 약 35%에 이르는 단계에서의 내부소음레벨을 살펴보면, 각각의 평가어휘에 있어서 대략 40~41 dB(A) 정도로 나타나고 있다.

이 결과를 바탕으로 앞선 물리적 평가치와 심리반응치의 상관관계에서 도출된 결과와 비교할 때, 40 dB(A)에서 인지하는 소음의 정도가 내부소음기준 한계로 인식되고 있음을 확인할 수 있다.

또한, 불만족에 대한 자극-반응의 곡선에 대한 직선의

1) 이주엽 외, 2004.11, “청감실험에 의한 교통소음 적정 평가어휘 조사에 관한 실험적 연구”, 한국소음진동공학회 추계학술 발표대회 논문집, pp786~789

2) Jens Holger Pindel, 1999, “Acoustic Quality and Sound Insulation Between Dwellings”, journal of Building Acoustics, Volume 5 number 4, pp.291~301

기울기가 dB 당 4.6%의 정도로 나타나고 있다. 이는 Lindel이 제시한 dB 당 4%의 기울기와 다소 편차는 있으나 거의 유사한 청감반응을 갖는 것으로 판단된다. 차음성능 등급화에 있어서 한 단계에서 다른 한 단계로 넘어갈 때 만족도가 20%의 변화를 갖는다고 할 때 5 dB의 단계적 변화를 적용할 수 있으리라 판단된다.

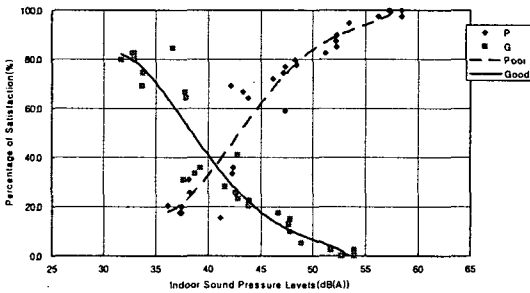


Figure 3 Percentage of Satisfaction(noisy)

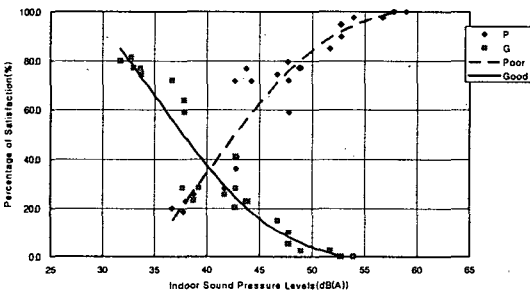


Figure 4 Percentage of Satisfaction(annoying)

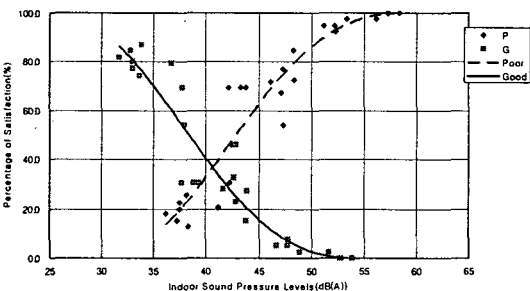


Figure 5 Percentage of Satisfaction(strident)

4. 결론

이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 도로교통소음에 대해 피험자가 부정적으로 반응하기 시작하는 단계인 “약간 시끄럽다”, “약간 신경쓰인다”,

“약간 거슬린다”에 해당하는 심리반응치에 대한 소음레벨을 살펴본 결과, Leq의 경우 40.6 dB(A), 40.4 dB(A), 40.1 dB(A)로 나타나 약 40 dB(A) 정도에 분포하는 것으로 나타났다.

2) 피험자들의 도로교통소음에 대한 반응으로서 만족도 비율에 대한 분석을 실시한 결과, 만족과 불만족의 비율이 같아지는 약 35%에 이르는 단계에서의 내부소음레벨은 3개의 평가어휘에 있어서 대략 40~41 dB(A) 정도로 나타났다.

3) 1)에서 언급한 물리적 평가치와 심리반응치의 상관관계에서 도출된 결과와 2)에서 언급된 자극-반응에 따른 만족도 비율로부터 도출된 결과를 비교하면, 도로교통소음에 대하여 주거 내부에서 부정적으로 인식하는 소음레벨은 40 dB(A)에 대하여 내부소음기준으로 제시함이 타당하리라 판단된다.

4) 또한, 불만족에 대한 자극-반응의 곡선에 대한 직선의 기울기가 dB 당 4.6%의 정도로 나타나고 있으므로, Lindel이 제시한 dB 당 4%의 기울기와 비교하여 거의 유사한 청감반응을 갖는 것으로 판단된다. 차음성능 등급화에 있어서 한 단계에서 다른 한 단계로 넘어갈 때 만족도가 20%의 변화를 갖는다고 할 때 5 dB의 단계적 변화를 적용하면, 앞서 도출된 40 dB(A)의 최저 등급의 기준을 바탕으로 5dB 단계의 등급화가 가능하리라 판단된다.

5) 그런데 법적 기준은 강제기준이므로 현재 기술상의 문제를 고려치 않고 청감반응상의 기준만을 그대로 적용하게 되면 민원의 제기 등으로 인해 상당히 심각한 문제를 불러올 소지가 있으므로, 공동주택 창호 시스템의 차음성능에 대한 많은 실태조사 및 연구결과가 요구된다.

참고 문헌

- (1) 이주엽 외, 2004.11, “청감실험에 의한 교통소음 적정평가어휘 조사에 관한 실험적 연구”, 한국소음진동공학회 추계학술발표대회논문집, pp786~789
- (2) Jens Holger Lindel, 1999, “Acoustical Quality and Sound Insulation Between Dwellings”, Journal of Building Acoustics, Volume 5 number 4, pp291~301
- (3) INSTA STANDARD, 1998, “Sound classification of dwellings”, Revised Final DP INSTA 122:1997
- (4) World Health Organization, 2000 “Executive Summary of the WHO Guidelines for Community Noise”, Sustainable Development and Healthy Environments, Genova