

주거 및 사무환경소음에 대한 주관적 평가

Subjective Evaluation of The Noise in Residential and Working Environment

진진용* · 김경호** · 정정호** · 조문재***

Jin-Yong Jeon, Kyong-Ho Kim, Jeong-Ho Jung, Moon-Jae Cho

Key Words : Noise in Residential and Working Environment(주거 및 사무환경소음), Annoyance(곤혹도), Upper/Lower Limit(상·하한치), Zwicker Parameter(Zwicker 파라미터), ACF Factor.

ABSTRACT

The subjective unwantedness felt from the noise sources in living and office environment has been evaluated by investigating the upper/lower limit of perceptual loudness of the noise. The limits were selected by the subject and the noise sources were analyzed to find out whether there is any correlation with Zwicker parameters and ACF factors. It was found that the loudness of vacuum cleaner noise does not influence its perceived noisiness. Noises implicated in human such as floor walking noise and talking sound, are the most irritating noise in office environment.

활소음에 대한 소음특성을 함축하고 있는 심리음향학적 파라미터를 도출하였다.

1. 서론

소음이 인간에 미치는 영향요인중에는 가장 기본적인 측면은 소음원의 크기 자체이지만 해당 소음에 관한 곤혹도(annoyance)가 발생하는 이유는 해당소음원이 곤혹스럽게 느끼는 물리적 특성을 보유하고 있기 때문이다. 따라서 소음의 물리적 특성을 보유한 소음원에 대한 세기, 주파수 요소, 지속시간등 세가지 요소에 대한 정량적 분석 결과와 반감과의 관계성이 규명되어야 한다.

또한 국내의 생활수준이 향상되어 소음피해에 대한 인식이 높아 졌으며 이에 따른 생활소음과 관련된 감성적 만족한계를 설정하고 음환경의 향상을 위한 다양한 노력이 필요하다.

본 연구에서는 소음의 물리적인 시끄러움 이외에 일상생활에서의 가사나 업무 수행시 소음으로 인한 곤혹도(annoyance)를 평가하기 위해 한국표준과학연구원에 구축된 주거 및 사무 환경 챔버에서 청감실험을 실시하여 각종 생

2. 청감 실험

2.1 실험의 개요

본 연구에서는 한국표준과학연구원에 구축된 주거 및 사무 환경 챔버를 활용한 생활소음의 감성적 한계치 설정 및 데이터베이스를 구축하기 위해 청감실험을 실시 하였다.

이번 실험에서 설정된 한계상황은 인간의 주관적인 평가를 바탕으로 감성적 평가의 상·하한치를 설정하기 위한 것이며 공동주택 및 사무실에서 독서, 신문 읽기 상황과 같은 activity에 대한 방해 라우드니스를 대상으로 하였다. 피험자들에 대한 상·하한치 설정에 관한 구체적인 상황 설명은 Table 1에 나타나 있다.

Table 1. Questions for upper and lower annoyance

상한치(unacceptable)	하한치(acceptable)
거실 및 사무실에서 들리는 소음에 의하여 어떤 작업도 할 수 없는 경우	거실 및 사무실에서 잡지, 신문 등을 읽고 있을 때 집중력이 저하되기 시작하는 시점

* 정희원, 한양대학교 건축공학부
E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 220-1735, Fax : (02)2291-1738

** 정희원, 한양대학교 대학원 건축공학과

*** 정희원, 한국표준과학연구원음향진동그룹

상·하한치 상황 설정을 위하여 단계법(staircase)를 사용하였다. 이 방법은 실험시간이 단축되고 정확성이 높은 결과를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있으며 기본 개념은 Fig. 1과 같다.

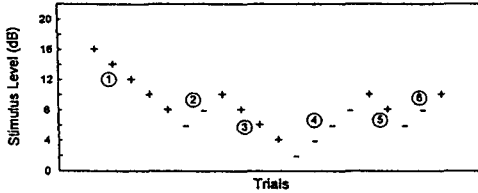


Fig. 1 Staircase method

2.2 청감실험 대상

청감실험에 참가한 피험자는 20대 초, 중반의 정상 청각자 38명(남자 18명, 여자 20명)을 대상으로 실시하였다.(Table 2 참조)

Table 2 Subject

	남	여	총	평균연령
주거환경	18	20	38	23.4
사무환경	13	15	28	23.3

2.3 청감실험 조건

청감실험은 한국표준과학연구원에 구축된 주거 및 사무환경 실험 챔버에서 실시 하였다. 피험자는 주거환경 챔버에서는 거실내 소파에 앉아주거내 소음을 평가 하였으며 청 사무환경 챔버에서는 사무실내 의자에 앉아서 사무환경소음에 대한 평가를 실시 하였다.

주거환경 챔버에는 천장, 바닥, 벽면등등에 4-8개의 스피커가 설치되어 있으며 소음원의 실제 발생위치에 따라서 각각 다르게 제시 되었다. 또한 사무환경챔버에서도 바닥에서 발생하는 걷는소리, 물건낙하음은 바닥스피커를 통하여 제시 되었다. 주거환경소음과 충격소음은 B&K Type 4100 Head and Torso Simulator에 의해 녹음되었고 사무환경소음은 도노로 녹음되었다.

2.4 소음원

실험에 사용된 소음원은 주거환경 생활소음중 가전기기 소음 3가지, 사무환경소음 5가지 등 총 8가지이며 그 내용은 Table 3에 나타내었다.

가전기기 소음은 한국표준과학연구원 반무향실에서 Head & Torso Simulator를 이용하여 녹음하였다. 세탁기는 D회사의 용량 6.5Kg 제품으로써 세탁조의 1/2정도를 물로 채운

상태에서 작동시 발생하는 소음을, 청소기는 L 회사의 550w 급 제품으로써 작동시에 발생하는 소음을, 냉장고는 S 회사의 400t 용량 제품으로써 컴프레셔 가동시 발생하는 소음을, 각각 1 m 떨어진 위치에서 녹음하였다.

또한 사무환경 소음중에서 사무용품 낙하음에 쓰여진 물품은 필기구, 플라스틱 자, 칼 등이며 역시 1m 떨어진 위치에서 녹음하였다. 각 음원은 2채널 마이크로폰을 통해 디지털 오디오 테이프에 녹음하였으며, 3회 이상 녹음된 것 중 배경소음의 영향이 가장 적은 것을 선택하였다. DAT에 저장된 음원은 웨이브 파일(Wave file) 형식으로 변환한 뒤 컴퓨터에 저장하였다. 실험용 음원은 5초 길이로 38~68dB(A) 범위 내에서 2dB 레벨차로 각 소음원당 16개의 음원을 제작하였다.

Table 3 Noise sources

주거환경 생활소음	사무환경생활소음
· 냉장고 · 세탁기 · 청소기	· 전화벨 · 복사기 · 사무용품 낙하음 · 걷는소리 · 대화음

2.5 실험과정 및 측정

총 228(주거소음 3가지×16음압레벨 + 사무실소음 5가지×35음압레벨)개의 음원을 선택적으로 들려주었으며, 실험실시 전 모든 피험자에게 상·하한치 설정 상황에 대하여 동일하게 설명되었다. 실험은 각 음원마다 상·하한치를 설정하기 위하여 단계적으로 제시하였다.

대상음원에 대한 상·하한치가 1차 선정된 후 2차 실험에서 음원을 재평가를 하였으며, 피험자의 반응오차를 최소화하기 위해 단계법을 사용하였고, 반전(revers)은 4회로 제한하였다.

실험에 사용된 기기 및 사양은 다음과 같다.

- Head and Torso Simulator (B&K Type 4100)
- Symphonie (01dB)
- DAT Recorder (SONY TCD-D10)
- Directional Microphone & Preamplifier (B&K Type 4165)
- Notebook & Desktop Computer

3. 실험 결과 및 분석

3.1 등가소음레벨(Leq)분석

각 소음원별 상·하한치는 피험자들이 각각 선택한 상·하한치 음원의 Leq값을 평균한 것으로 나타내었다. 각 생활 소음원에 대해 Leq값을 비교한 결과 가전기기중에서는 청소기의 상한치가 83dB(A)로 가장 높게 나타났으며 이 레벨은 침실 등 한공간내에서 청소기가 반경 3.5m 이내에서 작동시 발생하는 정도의 크기이다.

청소기의 상한치가 가장 높은 이유는 전진용 [1] 에서와 같이 기기의 정상발생소음으로 인정되어 상한치가 높게 나타났으며 전진용 [1]의 청감실험결과 보다 상한치가 높게 나온 요인으로는 전진용 [1]의 실험에서는 헤드폰을 통한 청감 실험방법을 실시하여 피험자들이 음의 공간감을 고려하지 않고 제시되는 음원의 음압레벨에 집중을 한 Loudness Evaluation 이었으나 본 연구에서는 피험자들에게 음원이 제시되는 동안 독서, 업무 등의 TASK를 수행하게 함으로 피험자들이 음원에만 집중하지 않게 되어 상·하한치가 전체적으로 높게 평가된 것으로 사료된다.

사무환경에서는 복사기의 상·하한치가 가장 높았고 사람의 행동과 연류된 소리인 발자국소리, 대화음이 가장 낮은 것으로 나타났다. 따라서 Information이 있는 대화소리나 특정한 발자국 소리 등에 의하여 업무의 집중에 더 방해를 받는 것으로 사료된다.

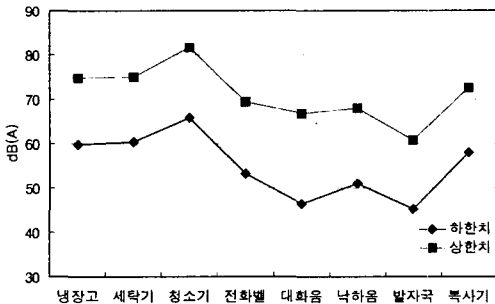


Fig. 2 Upper and lower annoyance limits

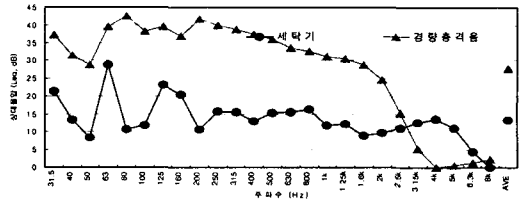
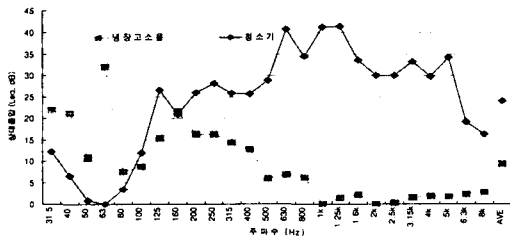


Fig. 3 Frequency analysis of noise

3.2 Zwicker 파라미터 분석

각 생활소음원별 상·하한치에 대해 Zwicker의 심리음향 파라미터를 분석하였으며, 항목으로는 loudness(소음의 크기, 단위 : sone), sharpness(소음의 날카로움, 단위 : acum) fluctuation strength(저주파(20Hz)대역의 주기적 변동, 단위 : vacil), tonality(소음의 크기에 대한 주파수별 조화정도, 단위 : asper), unbiased annoyance(곤혹도, 단위 : au) 등이다. 여기서 unbiased annoyance는 sharpness와 fluctuation strength의 함수로 구성되어 있다.

Fig. 4(a)에서와 같이 Loudness는 Leq와 높은 상관관계를 갖는 파라미터로 청소기가 가장 크게 나타났으며 대화음, 물건낙하음, 발자국 소리등은 낮은 값을 보였는데 이는 평가 음원의 Leq가 낮게 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 4(b)에서와 같이 Sharpness에서는 물건 낙하음이 가장 높은 것으로 나타났는데 이는 물건 낙하음이 고주파 성분이기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 4(c)에서와 같이 냉장고 소음의 Fluctuation Strength가 가장 높게 나타났는데 이는 냉장고 소음이 저주파영역의 변동소음폭이 다른 소음보다 다소 크기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 4(d)에서와 같이 전화기와 청소기의 Tonality가 가장 높았지만 전화기와 청소기의 상한치 또한 높은 것으로 나타났으므로 Tonality에 의해 annoyance가 주로 결정되는 것은 아닌 것으로 사료된다.

Fig. 4(e)에서와 같이 대화음의 Roughness가 가장 높았으며 대화음의 경우 인위적인 요소가 많기 때문에 Roughness 값의 영향요인을 찾아내기가 어렵다. 또한 냉장고와 세탁기의 Roughness가 높았는데 이는 300Hz 이하의 저소음의 변동요인이 주거생활소음에서 큰 것으로 나타났다. 그러나 이 요소가 Activity Disturbance에는 영향이 없는 것으로 사료된다.

Fig. 4(a)에서와 같이 Unbiased Annoyance는 Loudness와 비슷한 유형을 나타내고 있는데 이는 unbiased annoyance가 Sharpness, Roughness, Loudness10%에 근거한 파라미터이기 때문이다.

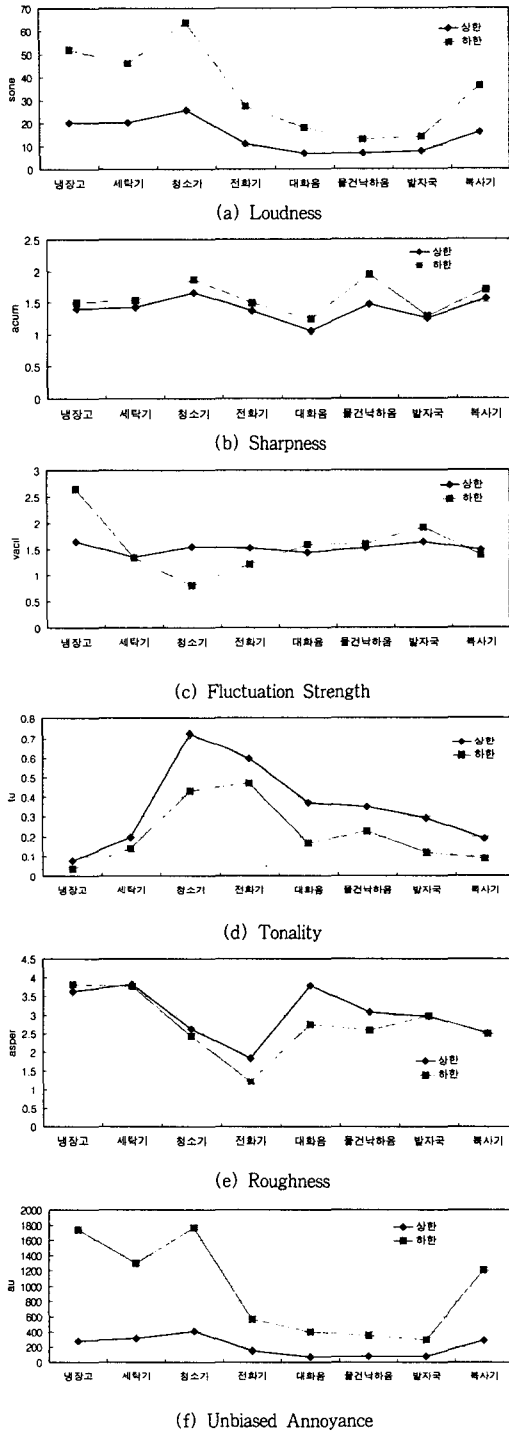


Fig. 4 Values of Zwicker parameters for the noise sources

Table 4는 Leq와 Zwicker 파라미터와의 상관관계를 나타낸 것으로 분석결과 소음의 크기를 나타내는 Loudness와 Leq과 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

Table 4 Correlation analysis of Zwicker parameters

	Leq	Loud	Sharp	Fluc	Tonal	Rough	Annoy
Leq	1.00						
Loud	0.99	1.00					
Sharp	0.97	0.98	1.00				
Fluc	0.17	0.15	0.16	1.00			
Tonal	-0.81	-0.82	-0.84	-0.08	1.00		
Rough	-0.33	-0.31	-0.36	0.19	0.10	1.00	
Annoy	0.97	0.99	0.97	0.20	-0.82	-0.29	1.00

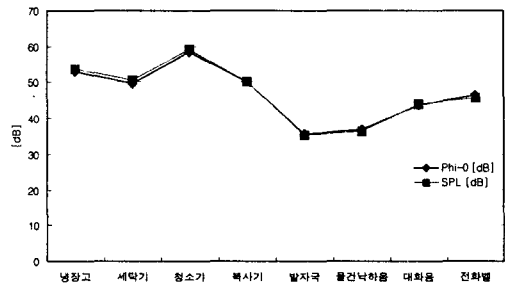
3.3 ACF 분석

각 소음원별 상·하한치에 대해 ACF (Auto Correlation Function) / IACF (Interaural Crosscorrelation Function) 요소를 분석하였다. 이 요소들은 일본 고베대학의 Ando교수가 제안한 것으로써 ACF에는 초기 시간에 존재하는 에너지인 $\phi(0)$, ACF function에서 10dB 감소시간인 τ_e , 최초 피크치의 진폭(피치의 세기)인 ϕ_1 , 최초 피크치의 지연시간인 τ_1 등 4가지, IACF에는 음원의 시간별 음압인 SPL, 음원의 방향성을 나타내는 IACC, τ IACC, WIACC 등 4가지, 총 8가지의 요소로 구성되어 있다.

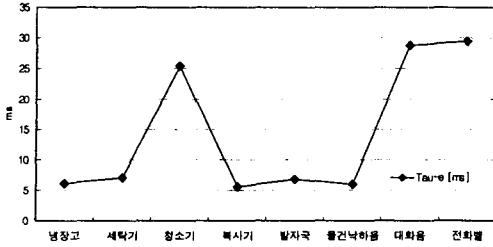
분석결과 Fig. 5(a)에서와 같이 $\phi(0)$ 는 SPL과 비슷한 개념으로 서로 거의 같은 값을 갖는 것으로 나타났다.

Fig. 5(b)에서와 같이 청소기의 τ_e 값이 유난히 긴 것으로 나타났는데 그 이유는 τ_e 의 길이가 상이한 청소기, 대화음, 전화벨중 청소기의 소음이 가장 정상소음에 가까운 음원이며 가장 덜 민감하게 느껴지는 음원으로 분석되었다. 대화음과 전화벨 소리도 이에 준하는 연속소음으로 분석되었으며 기타 소음은 독립적인 불연속 소음으로 분석된다.

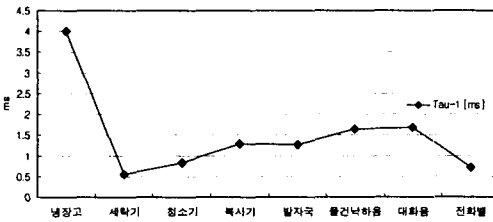
Fig. 5(c)에서와 같이 최고 피크치의 진폭으로 표시되는 ϕ_1 값은 sampling 위치에 따라 다소 상이한 값을 나타내게 되므로 ACF내에서의 상호비교는 의미가 없는 것으로 사료된다.



(a) $\phi(0)$ & SPL



(b) τ_e



(c) τ_{e-1}

Fig. 5 Analysis of ACF factor for noise sources

Table 5에서와 같이 주거, 사무환경 생활소음의 ACF 상관관계를 분석한 결과 L_{eq} 는 $\phi(0)$ 와 SPL과 가장 높은 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다.

Table 5 Correlation analysis of ACF factors

	L_{eq}	$\phi(0)$	τ_e	τ_1	ϕ_1	SPL
L_{eq}	1.00					
$\phi(0)$	0.89	1.00				
τ_e	0.68	0.27	1.00			
τ_1	-0.04	0.35	-0.60	1.00		
ϕ_1	0.10	-0.33	0.71	-0.98	1.00	
SPL	0.89	1.00	0.28	0.34	-0.32	1.00

4. 결론

본 연구에서는 주거 및 사무환경에서 발생하는 다양한 생활 소음에 대한 감성적 수용한계치인 Annoyance의 상한치 설정을 위해 청감실험을 실시하였으며 본 연구에 대한 주요 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 각 생활소음원의 상·하한치에 대하여 비교한 결과 주거환경에서는 청소기 소음이, 사무환경에서는 복사기 소리가 가장 높게 나왔다. 이는 피험자들이 청소기나 복사기의 정상적인 기기 작동소음으로 인정하기 때문에 소음에 의한 영향이 적은것으로 사료된다.

(2) 사무환경에서 상·하한치가 가장 낮은 소음원은 발자국

소리로 이는 피험자들에게 가장 시끄럽게 느껴지므로 사무환경의 음환경 향상을 위해 바닥감재를 개선하는 등 우선적으로 저감되어야 할 것으로 사료된다.

(3) Zwicker 파라미터에서는 피험자들의 주관적인 평가에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 Loudness와 Unbiased Annoyance이며, Tonality는 소음의 곤혹도에 대한 주요 결정요소가 아닌 것으로 분석되었다.

(4) ACF 파라미터중 τ_e 가 긴 음원들은 대체적으로 상한치가 낮게 평가 되었으며 τ_e 가 짧은 음원들은 상한치가 높게 평가되어 피험자들이 덜 신경이 쓰이는 것으로 분석되었다. 그러나 청소기소음의 경우 τ_e 이 길더라도 상한치가 높게 평가 되었는데 이는 피험자들이 청소기 소음을 기기의 정상 작동소음으로 인지하였기 때문으로 사료된다.

(5) 주거 및 사무환경 소음을 L_{eq} 와 Zwicker 파라미터, ACF 요소와의 상관관계를 분석한 결과 Zwicker 파라미터중에서는 Loudness가, ACF 요소중에서는 $\phi(0)$ 와 SPL이 음원의 L_{eq} 와 상관관계가 높은 것으로 나타났다

참고 문헌

- (1) Stevens, S. S., 1955, "The Measurement of Loudness," J. Acoust. Soc. Am. 27, pp. 815-829.
- (2) Kryter, K. D. and Pearsons, K. S., 1963, "Some Effects of Spectral Content and Duration on Perceived Noise Level," J. Acoust. Soc. Am. 35, pp. 866-883.
- (3) Weber, R., "Acoustical Parameters causing the Annoyance of Shrilling Chalk Noise," Proc. NOISE-CON 90, pp. 275-278.
- (4) Bramnilla, G. and Carretti, M. R., 1990, "Evaluation of Annoyance due to Impulsive Sound," Proc. NOISE-CON 90, pp. 279-284.
- (5) Hiramatsu, K., Tagaki, K., and Yamamoto, Y., 1978, "The Effect of Sound Duration on Annoyance," J. Sound Vib., Vol. 59, pp. 511-520.
- (6) Kuwano, S., Namba, S., and Nakajima, Y., 1980, "On the Noisiness of Steady State and Intermittent Noises," J. Sound Vib., Vol. 72, pp. 87-96.
- (7) 矢野隆, 小林朝人, 1983, "音聲聴取時における非常騒音の平價に關する研究," 日本建築學會 學術講演梗概集 4001, pp. 1-2.
- (8) 佐藤哲身, 泉清人, 1983, "繰り返し衝撃音のやかましさに關する實驗," 日本建築學會 學術講演梗概集 4006, pp. 11-12.
- (9) Hiramatsu, K., 1988, "A Rating Scale Experiment

on Loudness, Noisiness and Annoyance of Environmental Sounds," J. Sound Vib., Vol. 127, pp. 467-473.

(10) Dixon, W. J. and Mood, A. M., 1969, "A method for obtaining and analyzing sensitivity data," J. Am. Stat. Ass. 43, pp. 109-126.

(11) Levitt, H., 1971, "Testing for Sequential Dependences," J. Acoust. Soc. Am. 43, pp. 65-69.

(12) Ando Y., Sato S. and Sakai H., 1999, "Fundamental Subjective Attributes of Sound Fields based on the Model of Auditory-Brain System," J. J. Sendra, editor, Southampton: WIT Press. Computational Acoustics in Architecture, pp. 63-99.

(13) Jeon, J. Y., 2001, "Subjective Evaluation of Floor Impact Noise based on the Model of ACF/LACF," J. Sound Vib., Vol. 241, pp. 147-155.

(14) 전진용, 2001, "생활소음의 감성적 평가에 관한 연구" 한국소음진동공학회지 제11권 제 3호, pp. 443-448.