

〈 논 문 〉

生活騒音의 感性的 評價에 관한 研究

A Study on Perceptual Evaluation of Noise Sources in Living Environment

전진용* · 구민우** · 조문재***

Jin-Yong Jeon, Min-Woo Koo and Moon-Jae Cho

(2001년 1월 20일 접수 ; 2001년 5월 4일 심사완료)

Key Words : Noise in Living Environment(생활소음), Annoyance(곤혹도), Upper/Lower Limit(상·하한치), Zwicker Parameters(Zwicker 파라미터), ACF/IACF Factors

ABSTRACT

The subjective unwantedness felt from the noise sources in living environment has been evaluated by investigating the limit of perceptual loudness of the noise. The noise limits were selected by the subjects. And the noises were analyzed to find out whether there is any correlation with Zwicker parameters and ACF/IACF factors. It seemed that the loudness of noise from vacuum cleaner does not affect its perceived noisiness. Traffic noise also seems to be less influential in annoyance rating. It was revealed that floor impact noise generated by bang machine is the most irritating noise that can be heard in residential buildings.

1. 서론

소음이 인간에 미치는 영향요인으로써 가장 기본적인 측면은 해당 소음원의 크기(loudness)이나, 음의 크기 자체에는 거부감이 없기 때문에 소음에 대해 곤혹도(annoyance)는 해당 소음에 있어서 청감자에게 원치 않는 소음요소에 의해 발생하는 반감(unwantedness) 때문이라고 볼 수 있다. 이에 따라 지난 반세기동안 계속된 심리음향연구의 쟁점사항은 인간이 감성적으로 곤혹스럽게 느끼는 물리적 특성을 보유한 소음원에 대해 강도, 주파수 요소, 지속시간 등 세 가지 요소에 대한 정량적 분석결과와 반감과의 관계성을 규명하는 노력들이었다. 소음영향에 대한 많은 실내(실험실) 연구를 통해서 시끄러움(noisiness)이 음의 크기, 지속시간, 음색, 충격성(impulsiveness), 변화도(variability)에 대한 인간감각의 조합으로 구성된다는

사실이 확인되었다.⁽¹⁻⁵⁾ 그간의 심리음향실험에서는 이러한 영향요소의 상호작용으로 반감이 감소하는 내용이나 청감실험에서 피험자들의 공통된 반응성향이 어떻게 실험결과로 나타나는지 등의 내용을 밝히고 있다. 실험시 피험자들에게는 의미상의 모호성을 피하기 위해 곤혹도를 '지각되는 시끄러움(perceived noisiness)'으로 정의하고, '원치 않는 정도', '반감', '성가심' 등으로 표현하고 있다.

통상적으로 생활소음에 있어서 소음의 변동요인에 따라 정상소음(steady noise)과 비정상소음(non-steady noise)으로 나눌 수 있는데 변동소음(fluctuating noise)과 간헐소음(intermittent noise) 그리고 충격소음(impulsive noise)을 포함한 비정상 소음이 시끄러움의 지각에 더 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한 Kuwano 등은 간헐 소음과 연속 소음에 대한 피험자의 시끄러움 평가 실험 결과 총 에너지와 평균에너지 레벨이 정상소음의 시끄러움의 평가 결과와는 상관관계가 높으나 간헐소음의 시끄러움을 평가하는 데는 부적절한 것으로 밝혔다.⁽⁶⁾

矢野와 小林은 비정상소음의 변동요인을 반복회수(repetition rate), 레벨변동횟수 및 변동폭으로 설정할 때 시끄러움에 대한 주관적 판단 레벨은 비정상 소음의 반복회수와 변동폭과 관계가 깊고, 반복회수가 작은 연속소음

*정회원, 한양대학교 건축공학부

E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr

Tel : (02) 2290-1795, Fax : (02)2291-1793

**정회원, 한양대학교 대학원 건축공학과

***정회원, 한국표준과학연구원 음향진동그룹

의 경우에는 시끄러움에 대한 주관적 판단 레벨은 Leq에 비례하는 것으로 나타났다.⁽⁷⁾ 생활소음의 충격성에 있어서는 佐藤과 泉에 의하면 레벨변동의 횟수가 크고 정상상태에 도달하는 시간이 빠를수록 이 충격소음은 연속소음의 특성에 가까워지며, 그 영향도 작다는 사실을 입증하였다.⁽⁸⁾

Hiramatsu 등은 생활소음 및 환경소음의 종류와 성분에 있어서 크기, 시끄러움, 곤혹도 등 세가지 요소에 대한 연구 결과로서, 잡음의 경우에는 음압에 따른 감성적 영향이 선형적으로 나타났고, 환경소음에 있어서는 같은 크기의 소리라 할지라도 곤혹도가 다르게 나타났다고 밝혔다.⁽⁹⁾

국내에서도 현재 생활수준의 향상으로 소음피해에 대한 인식이 높아졌으며, 주거생활환경의 변화로 인해 발생하는 여러 생활소음에 대한 민원이 높아지고 있다. 이에 따라 생활소음에 대한 감성적 만족한계를 설정하고, 음 환경의 향상을 위해서 다양한 연구가 필요하나, 아직 국내에는 평가 기준치가 설정 되어있지 않는 등 전반적인 생활소음에 대한 연구가 부족한 실정이다.

그리고 일상생활에서 소음의 곤혹도는 활동에 대한 방해 정도에 따라 개인적으로 형성될 뿐만 아니라 소음의 간헐성과 레벨변동에 의해 주로 영향을 미치므로 곤혹도에 대한 연구를 위해서는 먼저 영향 소음원을 그 심각성에 따라 분류하는 것이 필요하다고 사료된다. 따라서 본 연구에 있어서는 생활소음에 대하여 이러한 소음특성을 규정하는 심리음향학적 파라미터들을 분석하였다.

2. 청감실험

2.1 실험의 개요

본 연구에서는 주거생활 환경에서의 다양한 생활소음 8가지에 대한 감성적 평가실험을 실시하였다. 이번 실험에서 설정된 한계상황은 물리적 지표가 아닌 인간의 청감에 근거한 주관적인 평가를 바탕으로 감성적 평가의 상·하한치를 설정하기 위한 것이다. 상한치는 '받아들일 수 없는', 하한치는 '받아들일 수 있는' 상황으로 표현되며, 피험자들에 대한 상·하한치 설정에 관한 구체적인 상황설명은 Table 1에 나타났다.

Table 1 Questions for upper and lower annoyance limits

상한치(unacceptable)	하한치(acceptable)
들려오는 ○○소리로 인해 도저히 참을 수 없다고 생각되기 시작하는 한계점은?	집안에서 혼자 조용히 생각을 하려고 하는데 들려오는 ○○소리로 인해 방해가 되기 -거슬리기- 시작하는 한계점은?

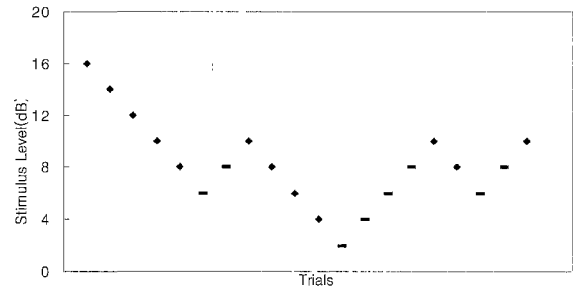


Fig. 1 Staircase method

상·하한치 한계 상황 설정을 위하여 단계법(staircase method)을 사용하였다.^(10,11) 이 방법은 실험시간이 오래 걸리지 않으면서도 높은 정확성의 값을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있으며 기본 개념은 Fig. 1과 같다.

2.2 청감실험 대상자

청감실험에 참여한 피험자는 청각 질환이 없는 42명의 대학생(남학생 26명, 여학생 16명)으로 평균 연령은 22세였다. 모든 피험자는 정상적인 청력을 가지고 있으며, 전체 피험자 중 절반 가량이 과거 청감실험에 참여한 경험을 가지고 있었다.

2.3 청감실험 조건

청감실험은 1.2×0.9 m의 시창이 한 개 설치된 크기 2.2×2.1×2.5 m(L×W×H)인 실험용 부스에서 진행되었다. 실험용 부스 내부의 천장 및 측벽은 흡음재로 마감되고, 바닥은 카펫이며 배경소음은 NC-20이다. 실 내부의 잔향시간(T60)은 주파수 대역 125 Hz~4 kHz에서 평균 0.2초였다.

피험자를 부스 내부의 중심에서 높이 조절 가능한 의자에 앉게 하였고, 실험이 진행되는 동안 피험자는 창을 통하여 반응하도록 하였다. 가전기기소음과 바닥충격소음은 B&K Type 4100 Head and Torso Simulator로 녹음되었고, 기타 소음은 모노로 녹음되었다. 피험자에게는 실의 음향특성에 따른 왜곡을 최소화하기 위하여 헤드폰(HD 600 Sennheiser)을 사용하도록 하였다.

2.4 소음원

실험에 사용된 생활소음은 가전기기소음(세탁기, 청소기, 냉장고), 바닥충격소음(중량충격음, 경량충격음), 도로교통소음, 사무실 공조소음, 펌크노이즈 등의 8가지이며, 가전기기소음은 한국표준과학연구원 반무향실에서 Head & Torso Simulator를 이용하여 녹음하였다. 세탁기는 D 회사의 용량 6.5 kg 제품으로써 세탁조의 1/2 정도를 물로 채운 상태에서 세탁시 발생하는 소음을, 청소기는 L 회사의

550 w급 제품으로써 청소시에 발생하는 소음을, 냉장고는 S 회사의 400 ㄷ 용량 제품으로써 컴프레서 가동시 발생하는 소음을, 각 가전기기로부터 1 m 떨어진 위치에서 녹음한 것이다.

바닥충격음은 시공이 완료된 A아파트에서 측정하였다. 위층(음원실) 중앙점에서 경량 및 중량충격원으로 가진할 때 아래층(수음실) 중앙점 1.3 m 높이에서 녹음하였다. 그리고 교통소음은 W지구 C아파트 단지 옆 8차선 도로변에서 평일 낮 시간대에 녹음하였으며, 공조기 소음은 소규모 오피스 내의 에어컨 토출부로부터 1 m 떨어진 위치에서 녹음하였다.

각 음원은 2채널 마이크로폰을 통해 디지털 오디오 테이프(DAT)에 녹음하였으며, 3회 이상 녹음된 것 중 배경소음의 영향이 가장 적은 것을 선택하였다. DAT에 저장된 음원은 웨이브 파일(wave-file) 형식으로 변환한 뒤 컴퓨터에 저장하였다. 핑크노이즈는 음원 프로그램에서 직접 웨이브 파일로 만들어 저장하였다. 실험용 음원은 5초 길이로 음압레벨 38~68 dB(A) 범위 내에서 2 dB 레벨차로 각 소음원당 16개의 음원을 제작하였다.

2.5 실험과정 및 측정

총 128(8가지 음원×16음압레벨)개의 음원을 선택적으로 들려주었으며, 음원의 제시는 피험자의 반응오차를 최소화하기 위해 단계법을 사용하였고, 반전(reverse)은 3~4 회로 제한하였다. 실험 실시 전 실험자는 모든 피험자에게 상·하한치 설정 상황에 대하여 동일하게 설명하였다. 실험은 각 음원마다 상·하한치를 설정하기 위하여 총 16회에 걸쳐 실시하였으며, 각 피험자가 전 실험 과정을 마치는데 걸린 시간은 30분 정도였다.

실험에 사용된 기기 및 사양은 다음과 같다.

- Bang Machine (T-Type, FI-02, Rion)
- Tapping Machine (FI-01, Rion)
- Head and Torso Simulator (Type 4100, B&K)
- Symphonie (01dB)
- DAT Recorder (TCD-D10, SONY)
- Directional Microphone & Preamplifier (Type 4165, B&K)
- Headphone (HD 600, Sennheiser)
- Notebook & Desktop Computer

3. 실험 결과 및 분석

3.1 등가소음레벨(Leq) 분석

각 소음원별 상·하한치는 피험자들이 각각 선택한 상·하한치 음원의 Leq 값을 평균한 것으로 나타내었다.

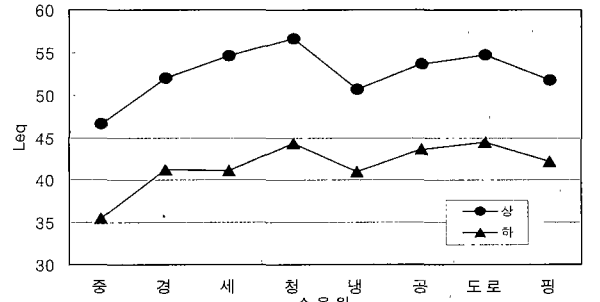


Fig. 2 Upper and lower annoyance limits

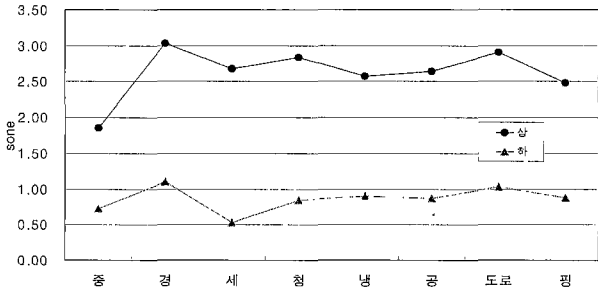
각 생활소음원에 대해 등가소음레벨을 비교한 결과 세탁기와 청소기 소음이 다른 소음에 비해 높게 나타났으며 바닥충격소음인 중량충격음과 경량충격음만을 비교하면 중량충격음이 경량충격음에 비해 상·하한치값 모두 5~6 dB 정도 낮게 나타났다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 등가소음레벨의 상·하한치 폭이 가장 넓은 것은 세탁기 소음이고, 그 다음 넓은 것은 청소기 소음이며, 평균치가 가장 높은 것은 청소기 소음이고, 그 다음 높은 것은 도로교통 소음으로 나타났다.

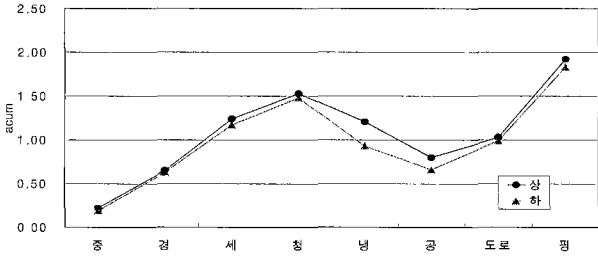
3.2 Zwicker 파라미터 분석

각 생활소음원별 상·하한치에 대해 Zwicker 파라미터 (psychoacoustic parameters)로 분석하였으며, 분석 항목으로서는 소음의 크기(loudness, 단위: sone), 소음의 날카로움(sharpness, 단위: acum), 저주파(20 Hz 이하) 대역의 주기적 변동(fluctuation strength, 단위: vacil), 소음의 크기에 대한 주파수별 조화정도(tonality, 단위: tu), 저주파(20~300 Hz)의 음조변화(roughness, 단위: asper), 곤혹도(unbiased Annoyance, 단위: au) 등이다. 여기서 unbiased annoyance는 sharpness와 fluctuation strength의 함수로 구성되어졌다. 입력 변수는 시간대 '낮(day)'으로, 공간은 '확산(diffuse)'을 선택하였다.

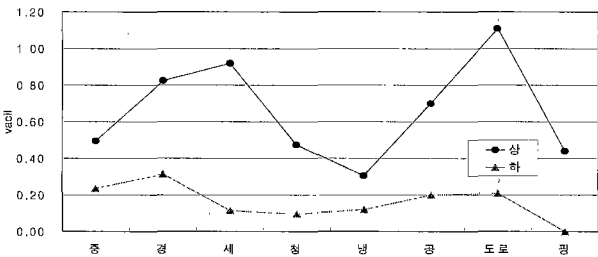
생활 소음원에 대해서 roughness와 unbiased annoyance 파라미터를 분석한 결과, 상한치 값이 높게 나타났던 청소기 소음이 두 파라미터에서는 비교적 낮게 나타났다. 이것은 청소기 소음의 음압레벨은 높지만 감성에는 영향을 덜 미치기 때문인 것으로 사료된다. 반면 상한치 값이 낮게 나타났던 중량충격음의 경우, loudness 값은 낮게 나타났지만 unbiased annoyance 값은 높게 나타났다. 이것은 소음원의 크기와 감성적인 곤혹도는 반드시 비례하지 않는다는 것을 보여준다. Fig. 3은 생활소음별 Zwicker 파라미터 6가지 분석 결과이다.



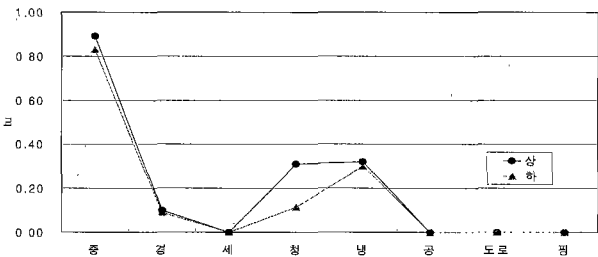
(a) Loudness



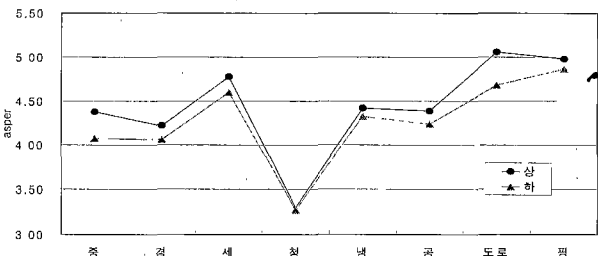
(b) Sharpness



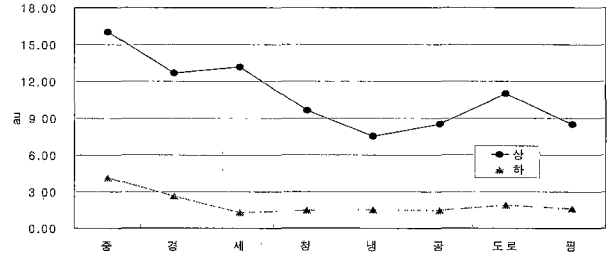
(c) Fluctuation Strength



(d) Tonality



(e) Roughness



(f) Unbiased Annoyance

Fig. 3 Values of Zwicker parameters for the noise sources

Table 2 Correlation analysis of Zwicker parameters for upper annoyance levels (bold, p<0.05)

	Loud	Sharp	Fluc	Tonal	Rough	Annoy	Leq
Loud	1.00						
Sharp	0.33	1.00					
Fluc	0.50	-0.23	1.00				
Tonal	-0.76	-0.54	-0.49	1.00			
Rough	-0.12	0.06	0.40	-0.36	1.00		
Annoy	-0.39	-0.67	0.35	0.52	0.04	1.00	
Leq	0.79	0.55	0.41	-0.71	-0.22	-0.42	1.00

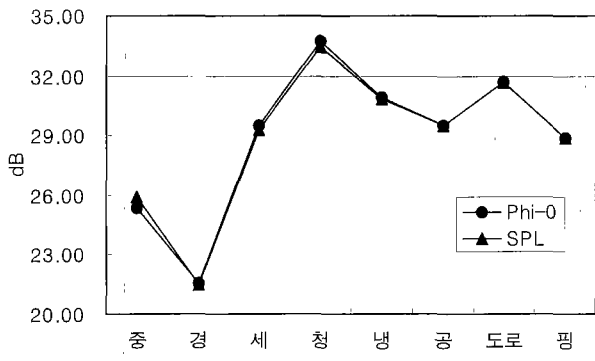
Table 3 Correlation analysis of Zwicker parameters for lower annoyance levels (bold, p<0.01)

	Loud	Sharp	Fluc	Tonal	Rough	Annoy	Leq
Loud	1.00						
Sharp	-0.06	1.00					
Fluc	0.38	-0.85	1.00				
Tonal	-0.22	-0.63	0.28	1.00			
Rough	-0.07	0.18	-0.24	-0.28	1.00		
Annoy	0.05	-0.71	0.59	0.84	-0.17	1.00	
Leq	0.38	0.59	-0.27	-0.87	-0.01	-0.81	1.00

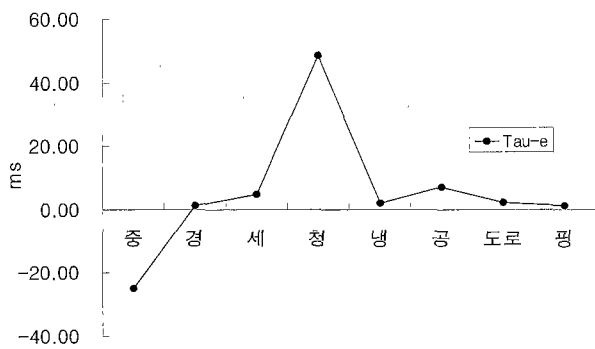
생활 소음원과 Zwicker 파라미터 상관관계를 분석한 결과 상한치에서는 소음의 크기를 나타내는 loudness가, 하한치의 경우에는 소리의 각 tone의 레벨변화가 두드러지는 tonality가 Leq와 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

3.3 ACF / IACF Factors 분석

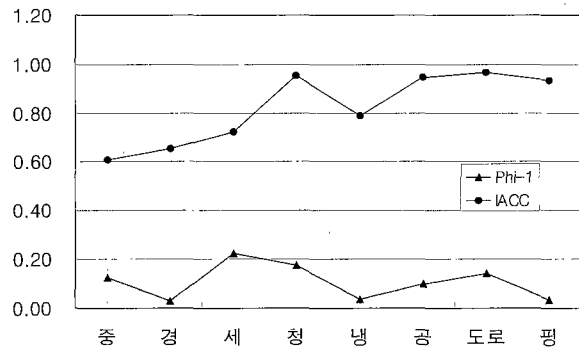
각 생활소음원별 상·하한치에 대해 ACF (Auto Correlation Function) / IACF (Interaural Crosscorrelation Function) 요소를 분석하였다. 이 요소들은 일본의 Ando가 제안한 것으로써 ACF에는 초기 시간에 존재하는 에너지인 $\phi(0)$, ACF function에서 10 dB 감소시간인 τ e, 최초 피크치의 진폭(피치의 세기)인 ϕ_1 , 최초 피크치의 지연시간인 τ_1 4가지, IACF에는 음원의 시간별 음압인



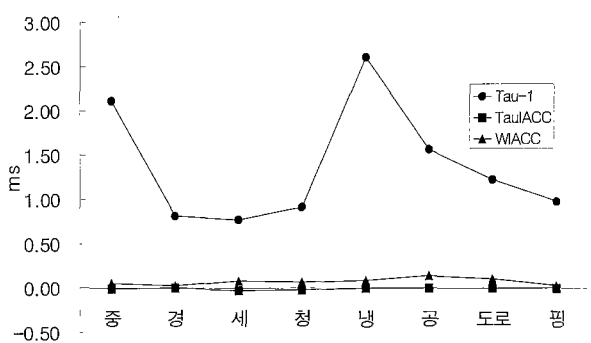
(a) $\varphi(0)$ & SPL



(b) τ_e



(c) φ_1 & IACC



(g) τ_1 , τ_{IACC} , WIACC

Fig. 4 생활소음별 ACF/IACF factors 분석

SPL, 음원의 방향성을 나타내는 IACC, τ_{IACC} , WIACC 4가지 총 8가지 요소로 구성되어 있다.⁽¹²⁾

생활소음원에 대해서 ACF/IACF 요소를 분석한 결과, Fig. 4에서와 같이 바닥충격음은 $\varphi(0)$ 값에서 볼 때 초기 지연시점에서 음에너지가 가장 낮은 소음이나 가장 민감하게 느껴진다. 초기 음압의 지연에 해당하는 τ_e 가 가장 긴 것은 청소기 소음으로써 이것은 청소기 소음이 가장 정상 소음에 가까운 음원임을 나타내며, 가장 덜 민감하게 느껴지는 음원으로 분석되었다.

ACF/IACF 요소 중에서 하한치에서는 음압레벨이 낮아 결과치가 나타나지 않았으며, 상한치는 결과를 비교할 수 있었다. 생활소음의 상한치 ACF/IACF 상관관계를 분석한 결과, Table 4에서 나타난 것처럼 소리의 음압 한계인 Leq는 사람의 감성적 한계를 ACF 함수에서 10dB 감소시간을 나타내는 τ_e 가 잘 정의하고 있는 것으로 나타났다.

Table 4 Correlation analysis of ACF/IACF factors for upper annoyance levels (bold, $p < 0.01$)

	$\varphi(0)$	τ_e	τ_1	φ_1	SPL	IACC	τ_{IACC}	WIACC	Leq
$\varphi(0)$	1.00								
τ_e	0.61	1.00							
τ_1	0.07	-0.44	1.00						
φ_1	0.44	0.29	-0.32	1.00					
SPL	1.00	0.58	0.10	0.44	1.00				
IACC	0.76	0.58	-0.20	0.05	0.75	1.00			
τ_{IACC}	-0.26	-0.33	0.36	-0.85	-0.25	0.21	1.00		
WIACC	0.52	0.10	0.32	0.35	0.53	0.46	0.06	1.00	
Leq	0.59	0.84	-0.64	0.46	0.56	0.66	-0.32	0.32	1.00

4. 결론

본 연구에서는 주거생활 환경에서 발생하는 다양한 생활 소음에 대한 감성적 기준치(상·하한치)를 설정하기 위해 청감실험을 실시하였다. 본 연구에 대한 주요 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 각 생활소음원에 대해 곤혹도 한계를 비교한 결과 세탁기, 청소기 소음이 다른 소음에 비해 높게 나타났다. 이는 청감자들이 소음의 발생에 대해 기기의 정상작동으로 인식하여 덜 민감하게 평가되기 때문인 것으로 사료되며, 객관적 평가요소인 Zwicker 파라미터와 ACF/IACF 요소에서도 낮게 나타났다.

(2) 8가지 생활소음 중에서 곤혹도 한계가 가장 낮게 나타

난 중량충격음은 피험자들에게 가장 시끄럽게 느껴지므로 주거환경의 음환경 향상을 위해서 우선적으로 저감되어야 할 것으로 사료된다.

(3) 중량충격음에 대해서 Zwicker 파라미터 중 loudness와 unbiased annoyance를 비교해 보면 loudness는 낮게 나타난 반면 unbiased annoyance는 높게 나타났다. 이것은 중량충격원이 다른 소음원에 비해 큰 곤혹도를 나타낸다는 것을 의미한다.

(4) 바닥충격음인 중량충격음과 경량충격음을 비교해보면 경량충격음에 비해 중량충격음의 주관적 평가치가 5 dB 정도 낮게 나타났다. 이것은 기존 연구 결과⁽¹³⁾에서도 밝혀진 것처럼 간헐소음인 중량충격음이 정상소음인 경량충격음에 비해 청감자들에게 더 신경이 쓰인다는 것을 나타낸다.

(5) 생활소음을 Leq와 Zwicker 파라미터, ACF/IACF 요소 각각의 상관관계를 분석한 결과 상한치에서는 Zwicker 파라미터 중 loudness가, ACF/IACF 요소 중 τ e가, 하한치에서는 Zwicker 파라미터 중 tonality가 잘 정의하는 것으로 나타났다.

후 기

이 논문은 한국표준과학연구소의 2000년 감성공학국제연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- (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関する研究," 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/IACF," J. Sound Vib., Vol. 241, pp. 147~155.