

교통소음과 컴퓨터 소음의 감성반응에 대한 연구

Subjective Evaluation of Transportation and Computer Noise

정정호** · 전진용* · 송희수** · 조문재***

Jeong-Ho Jeong, Jin-Yong Jeon, Hee-Su Song and Moon-Jae Cho

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose indoor noise level in residential buildings affected by transportation noise (road traffic, railway and air-craft noise) based on subjective evaluations, 30 subjects participated in the experiment to evaluate the noise, Experimental environment reproduced real living and office environment, and in asking subjects' annoyance to the noise. An experiment to investigate the subjective responses to various computer noises (CD-Rom, HDD, Fan) in office environment was also undertaken. The Result shows that the lower limit of transportation noise is 40~41dB(A) and upper limit is 55~60dB(A), whereas the lower limit of various computer noises is 36~40dB(A) and upper limit is 45~52dB(A).

Key Words : 교통소음(Traffic Noise), 컴퓨터 소음 (Computer Noise), 청감실험(Auditory Perception Test), 상·하한치(Upper/Lower Limit)

1. 서론

특히 주거환경내의 바닥충격음, 외부환경소음의 관심 증가와 함께 사무환경에서 이전에는 중요시되지 않았던 미세한 소음에 대해서도 개선에 대한 의도가 증가하고 있다. 사무환경에서의 주요 소음원은 각종 공조 및 설비기기 소음과 함께 사무기기 소음 등이 가장 주요한 소음원으로 알려져 있으며 사무환경 내에서의 각종 소음에 대한 조사가 이루어졌다⁽¹⁾. 그러나 인터넷의 급속한 보급으로 인한 개인용 컴퓨터의 사용증가에 따라 컴퓨터에서 발생하는 소음에 대해서도 불편감 및 업무저하를 호소하는 사례 증가하고 있으며 일부 계층에서는 저소음 컴퓨터를 만들기 위한 동호회까지 결성되어 있는 실정이다.

따라서 사무환경내에서 컴퓨터 소음의 조절을 위해 감성적 평가 및 규제기준 등이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 주된 배경소음원인 교통소음과 컴퓨터 소음의 작업방해에 대한 감성적 한계치를 설정하고 소음의 물리적 특성과 심리음향 요소와의 관계성을 도출함으로써 감성적 만족도를 근거로 실내환경소음 평가 및 음환경 개선을 위한 기본 자료를 제공하고자 한다. 특히 컴퓨터 소음에 대한 감성적 평가를 통해 저소음 컴퓨터 개발을 위한 방향설정 및 기본자료를 제공하고자 한다.

본 연구에서는 청감실험 환경조건에 공간적 특성을 부여하여 생활환경과 흡사한 주거 및 사무환경 챔버(chamber)에서 소음의 방사형태와 유사하게 음원을 제시할 수 있는 음원제시장치를 통하여 청감실험을 실시하였다. 이후 청감실험에서 설정된 Annoyance의 상·하한치에 대해서 Zwicker의 적용해 심리음향 요소 분석을 실시하였다.

* 정회원, 한양대학교 기술공학부
E-mail : ivjeon@hanvns.ac.kr
Tel : (02) 220-1755, Fax : (02) 220-1733

** 정회원, 한양대학교 대학원 건축공학과

*** 정회원, 한국표준과학연구원 음향진동그룹

2. 청감실험

2.1 청감실험 개요

본 연구에서는 주거 및 사무공간에서의 가사나 업무 수행시 소음으로 인한 곤혹도(annoyance)의 평가와 그 상·하한치를 설정하기 위해 한국표준과학 연구원에 구축된 주거 및 사무 환경 챔버에서 청감실험을 실시하였다. 음원의 제시는 챔버내에 배치된 4~8개의 스피커를 통해 소음원의 실제 발생위치에 따라 음원제시가 가능한 음원제시 시스템(Lake DSP, 8-channel)을 통하여 제시하였다. 주거환경 챔버는 면적이 53m²이고 침실, 주방 및 거실로 구성되어 있으며 사무환경 챔버는 면적이 44m²인 한 개의 실로 구성되어 있고 실험당시 배경소음은 두 챔버 모두 25dB(A) 이하였다.

청감실험에서 설정된 감성적 한계상황은 인간의 주관적인 평가를 바탕으로 환경소음 및 컴퓨터소음에 대한 감성적 상·하한치를 조사하기 위한 것이며 공동주택 및 사무실에서 독서, 신문 읽기 상황과 같은 'Activity'에 대한 방해 정도를 기준으로 하였다. 피험자들에 대한 Annoyance 반응을 위한 상하한치 조사를 위한 구체적인 상황설명은 표.1과 같다.

표. 1 상하한계 조사를 위한 작업방해 상황설정

대상소음	하한치	하한치
환경소음	거실 및 사무실에서 잡지, 신문등을 읽고 있을 때 집중력이 저하되는 시점	거실 및 사무실에서 들리는 소음에 의하여 어떤 작업도 진행할 수 없는 경우
컴퓨터소음	집중을 요하는 읽기 및 쓰기 작업 시 들리는 소음에 의해 집중력이 저하되는 시점	단순한 컴퓨터 작업시 들리는 소음에 의해 작업이 방해되기 시작하는 시점

환경소음평가를 위한 작업방해 상황은 이전의 연구⁽²⁾와 동일하게 일반적인 주거환경에서의 실내소음 상황을 기준으로 하였고, 컴퓨터 소음의 경우는 상대적으로 매우 작은 음압레벨로 발생되므로 컴퓨터 사용시 가장 오래 직접적으로 노출이 되는 상황을 고려하여 집중을 요하는 작업의 정도에 따라서 상하한의 상황을 설정하도록 하였다.

또한 청감실험을 통해 도출된 각 음원의 상하한치

사이에서의 주관적 Annoyance 변화에 대한 반응을 확인하기 위하여 상한치 사이의 2개 음원을 추가하여 각 소음원당 총4개의 음원에 대한 백분율 크기 평가를 ME(Magnitude Estimation)방법을 적용하여 실시하였다.

2.2 실험 대상자

20대 초중반 서울, 대전지역의 정상청감자로 판단되는 대학생 및 대학원생 30명을 대상으로 실시하였다. 또한 상하한치 사이의 Annoyance 변화 확인을 위한 실험은 20대 초중반의 대학생 및 대학원생을 대상으로 실시하였다.

2.3 실험 환경

청감실험의 피험자는 주거환경 챔버에 있는 거실 내 쇼파에 앉아 주거 소음을 평가하였으며 사무환경 챔버에서는 컴퓨터가 위치한 사무실내 책상 앞의 의자에 착석한 상태에서 사무환경 소음에 대한 평가를 실시하였다.

주거환경 챔버에서 교통소음은 거실의 발코니 창쪽에 설치된 2채널의 스피커를 통하여 제시하였으며, 컴퓨터 소음은 사무실 책상 하부의 컴퓨터가 일반적으로 위치하는 곳에 1채널의 스피커를 위치시켜 제시하였다. 이때 주관적 반응은 의사소통이 가능한 시창을 통하여 실험자에게 전달되도록 하였다.

상하한치 사이의 Annoyance 변화 실험은 주거 및 사무환경에서 더미헤드에 의해 녹음된 음원을 청감실험용 부스(잔향시간 0.2초)에서 헤드폰으로 제현하였다. 피험자의 주관적 반응은 상하한치 실험과 유사하게 부스의 시창을 통하여 전달하도록 하였다.

2.4 대상 소음원

실험에 사용된 교통소음은 도로소음, 철도소음, 항공기소음의 3가지로 청감실험에 사용된 음원은 해당소음에서 1~2개 이벤트를 기준으로 하였다. 사무환경에서의 컴퓨터소음은 Fan, CD-Rom, HDD 3가지로 음원은 앞의 청감실험용 부스에서 녹음하였다. 교통소음은 15~18초, 컴퓨터 소음은 약 5초로 제시하였으며, 피험자는 음원을 모두 들은 후에 응답하도록 하였다.

음원의 크기는 약 25~65dB 정도로 1dB 차이로 제작하였으며 피험자의 반응에 따라 각기 2~3dB 간격으로 제시하였다.

상하한치 사이의 소음레벨에 대한 Annoyance 반응

실험을 위한 음원은 선정된 상하한치를 사이의 음압 레벨을 등간격으로 나누어 선정하여 제시하였다.

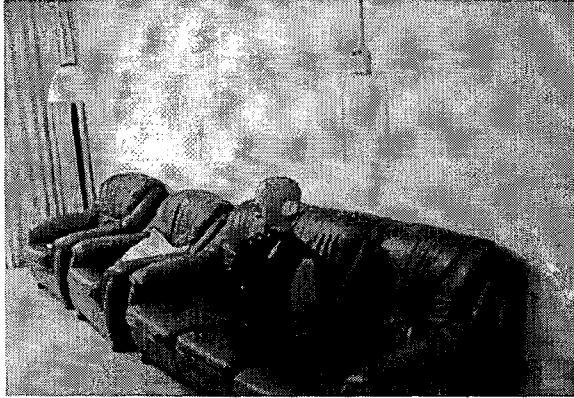


그림. 1 주거환경챔버

2.5 음원의 제시

청감실험에서 각각의 음원은 컴퓨터의 음원출력 및 제시 강치를 통하여 주거/사무환경챔버의 스피커로 피험자에게 제시되었다. 실험실시전 모든 피험자에게 상·하한치 설정 상황에 대하여 동일하게 설명하였으며 각 음원마다 상·하한치를 조사하기 위하여 음원 레벨을 단계적으로 증가하였다.

소음의 작업방해에 대한 상·하한치 설정을 위하여 피험자의 반응오차를 최소화하기 위한 단계법(staircase)을 사용하였다⁽³⁾⁽⁴⁾. 이 방법은 실험시간이 단축되면서도 정확성이 높은 결과를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

각 대상 음원별 하한치와 상한치 값을 피험자로 하여금 40과 80이라는 숫자로 1차 대응하도록 한 후 2차로 피험자의 주관적인 상하한치 값을 재평가 하기 위해 단계법을 사용하여 피험자의 반응을 조사하였으며, 반전(reverse)은 3~4회로 제한하여 최종적으로 피험자의 주관적인 상·하한치를 설정하였다. 음원제시는 모든 피험자들에게 동일한 조건(위치, 수, 방향)으로 제시되었으며 피험자의 피로에 의한 반응오차를 줄이기 위하여 실험중간에 충분한 휴식을 취하도록 하였다.

재현된 실험 대상 음원의 분석을 위하여 피험자에게 제시된 모든 음원을 청감실험이 종료된 후에 다시 모두 챔버내에서 녹음하였다. 교통소음 및 컴퓨터소음의 녹음은 B&K Type 4100 Head and Torso Simulator에 의해 바이노럴로 녹음하며, 청감실험과

챔버에서 제시된 음원 녹음에 사용된 기기 및 사양은 다음과 같다.

- Head and Torso Simulator (B&K Type 4100)
- Symphonie (01dB)
- DAT Recorder (SONY 208 Ax)
- Omni-Directional Microphone & Preamplifier (B&K Type 4165)
- Notebook & Desktop Computer

상하한치 사이에서 Annoyance 변화에 따른 반응 조사를 위한 실험은 배경소음이 낮은 청감실험용 부스에서 실시하였다. 주거 및 사무환경 챔버에서 각각 바이노럴로 녹음된 음원을 헤드폰(STAX-3030, Electrostatic Type)을 통하여 재현하였다.

3. 청감실험 결과

3.1 생활소음의 감성적 상·하한치

각 소음원별 상·하한치는 피험자들이 각각 선택한 음원의 L_{eq} 값을 평균하여 나타내었다. 피험자가 선택한 상하한치 값에 대하여 분산 및 표준편차를 검토하여 통계적으로 이산치로 판단되는 값은 평균치의 계산에서 제외하였다. 각 생활소음원에 대해 작업방해에 대한 상하한 L_{eq} 값을 그림 2, 3에 나타내었다. 오차막대로 표시한 자료는 해당음원의 상하한치 실험에 대한 피험자 반응의 표준편차를 나타낸 것이다.

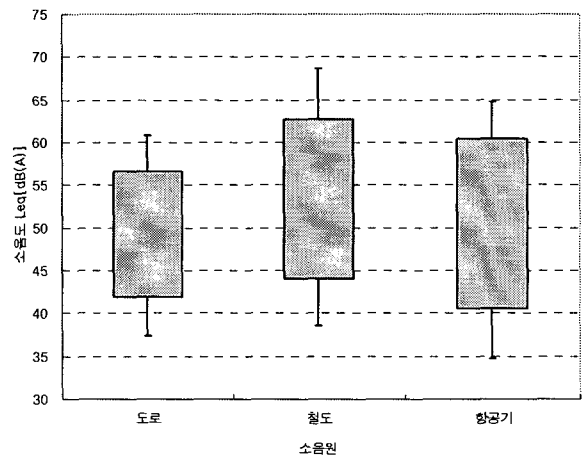


그림. 2 교통소음의 감성적 상하한치

주거환경에서 각종 교통소음의 감성적 상하한치는

그림 2와 같이 도로소음은 42~57dB, 철도소음의 경우 44~63dB, 항공기 소음은 L_{eq} 로 40~60dB로 나타났다. 실험 결과 항공기 소음의 상하한치가 가장 낮으므로 항공기 소음으로 인해 발생하는 Annoyance가 가장 큰 것으로 나타났으며, 도로소음, 철도교통소음의 순으로 Annoyance가 큰 것으로 나타났다. 따라서 교통소음은 대부분의 주거환경에서 주된 배경소음의 원인이 되므로 주거환경에서 각종 교통소음에 의한 실내배경소음 한계는 약 40dB인 것을 알 수 있으며, 이는 피험자의 평균반응을 기준으로 한 것이므로, 쾌적한 생활을 위한 최소한의 기준이 될 수 있을 것이다. 그림2에서 개인별 편차를 고려할 때 주거환경에서의 교통소음의 권장치는 35dB 정도 이하가 적절한 것으로 판단된다.

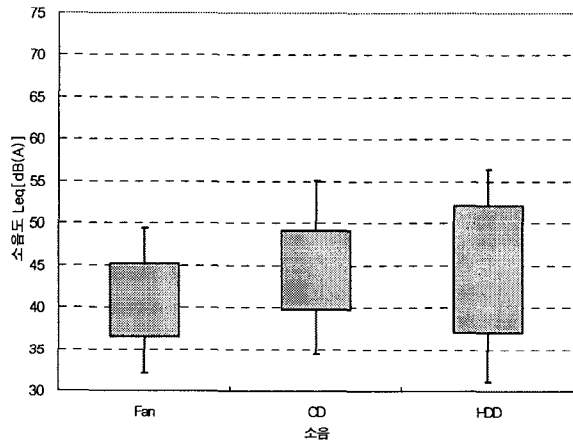


그림. 3 컴퓨터소음의 감성적 상하한치

사무환경에서 각종 컴퓨터소음의 감성적 상하한치는 그림 3에서와 같이 Fan 소음은 L_{eq} 로 37~45dB, HDD소음은 37~52dB, CD-Rom 소음의 경우 40~49dB로 나타났다. 컴퓨터 소음의 감성적 상하한치 실험 결과 Fan소음의 상하한치가 가장 낮게 나타나 Fan소음으로 인해 발생하는 Annoyance가 가장 큰 것으로 나타났으며, HDD, CD-Rom의 순으로 Annoyance가 큰 것으로 나타났다. 사무환경 내에서 각종 컴퓨터소음의 한계는 약 37dB인 것을 알 수 있으며, 이는 피험자의 평균반응을 기준으로 한 것으로 쾌적한 업무 및 업무효율 향상을 위한 최소한의 기준이 될 수 있을 것이다. 사무환경에서 효율적인 업무 환경을 위해서는 각종 컴퓨터 소음이 32dB 이하가 적절한 것으로 판단된다.

각 생활소음원별 상·하한치에 대해 Zwicker의 심리음향 파라미터를 분석하여 표 4.에 나타내었다.

표. 4 환경소음과 컴퓨터 소음의 상하한치

소음원		Leq	Lmax	Loud	Sharp	Fluc	Tonal	Rough	Annoy
		[dB(A)]	[dB(A)]	[sone]	[acum]	[vacil]	[tal]	[asper]	[ua]
항공기	하한	40.6	46.0	4.9	1.07	1.15	0.00	5.9	32.2
	상한	60.4	65.9	16.4	0.86	1.44	0.00	5.1	219.5
도로	하한	41.9	47.7	5.8	1.44	0.96	0.08	6.1	47.1
	상한	56.6	62.5	12.2	1.02	1.13	0.03	5.9	170.9
철도	하한	44.0	48.6	6.7	1.68	2.05	0.06	4.9	69.6
	상한	62.5	67.5	19.4	1.53	1.76	0.04	4.2	387.6
CD	하한	39.8	49.1	5.0	1.64	0.96	0.52	4.3	30.5
	상한	49.2	59.4	8.3	1.36	0.92	0.90	3.3	66.2
Fan	하한	36.6	39.6	4.6	1.73	1.77	0.79	4.0	29.3
	상한	45.2	47.4	8.5	1.35	1.38	0.87	2.4	67.2
HDD	하한	37.0	40.3	4.4	1.75	1.00	0.57	4.5	26.4
	상한	52.1	59.1	11.1	1.28	0.98	0.91	2.3	108.9

3.2 각 소음원의 Annoyance 변화

각 소음원의 Annoyance 반응 변화를 확인하기 위하여 본 연구에서는 이미 도출된 상하한치를 포함하고 상하한치 사이의 2개의 음원을 추가로 등간격 레벨로 선정하여 ME 실험을 실시하였다. 이때 ME실험의 주관적 반응의 표시는 상하한치 실험에 적용하였던 상황을 적용하였으며 반응척도도 상하한치 실험의 방법을 동일하게 적용하여 실시하였다.

각 소음원의 Annoyance 실험 결과는 소음의 물리적 기준을 나타내는데 가장 널리 사용되고 있는 L_{eq} , L_{max} 와 심리음향학적 특성을 잘 나타내는 Zwicker 파라미터로는 각종 소음의 주관적 반응과 상관관계가 높게 나타났던 Loudness, Unbiased Annoyance를 적용하였다. 그림4~7은 Annoyance 변화 실험의 결과를 나타낸다.

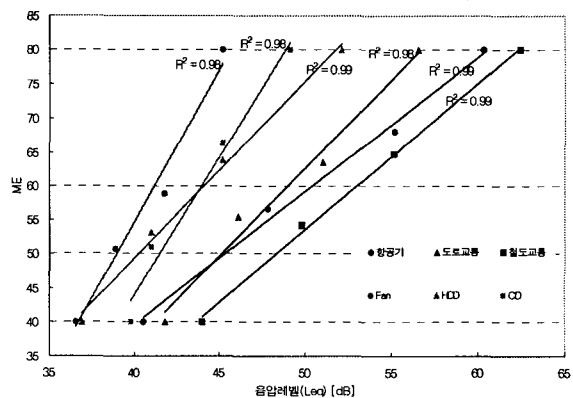


그림. 4 교통소음 및 컴퓨터 소음의 Annoyance 변화(감성반응과 L_{eq})

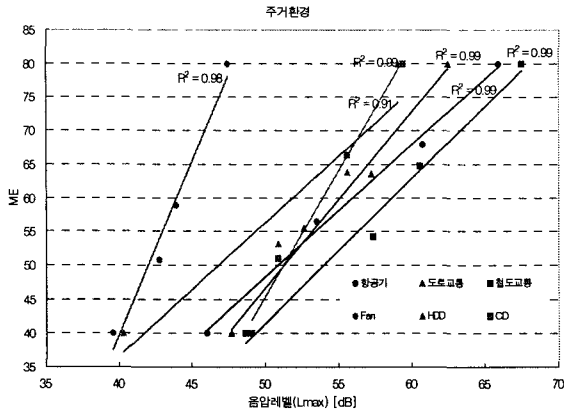


그림. 5 교통소음 및 컴퓨터 소음의 Annoyance 변화(감성반응과 L_{max})

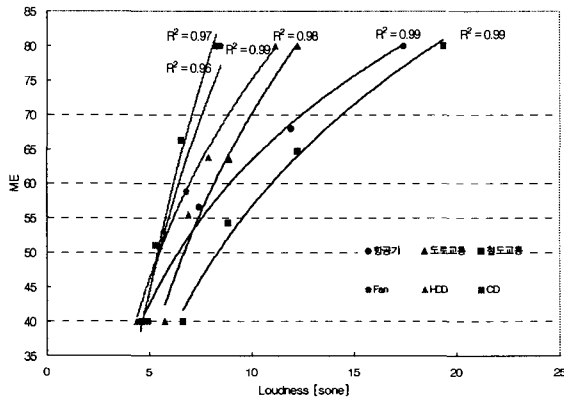


그림. 6 교통소음 및 컴퓨터 소음의 Annoyance 변화(감성반응과 Loudness)

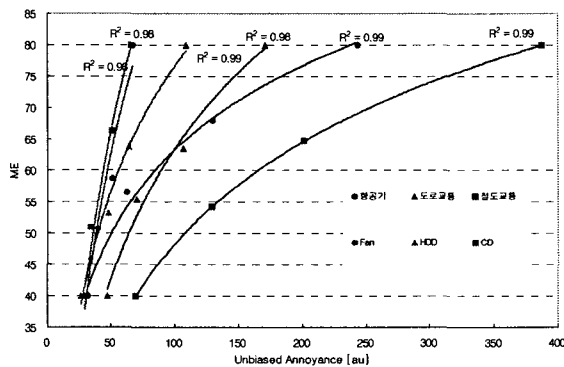


그림. 7 교통소음 및 컴퓨터 소음의 Annoyance 변화(감성반응과 Unbiased Annoyance)

그림 4, 5는 각 소음에 대한 감성반응과 물리적 평가량(L_{eq} , L_{max})과의 관계를 표시한 것으로 소음의 상하한 내에서의 반응의 변화는 물리적 평가량에 직선적 상관관계를 갖는 것을 나타낸다. 그림 6, 7은 Zwicker 파라메타와 감성반응과의 관계를 나타낸 것

으로 Loudness와 Unbiased Annoyance는 대수함수에 비례하여 변화하는 것을 잘 알 수 있다. 또한 그림 4~7에서와 같이 교통소음 중에서는 도로소음의 변화 기울기가 가장 급한 것을 알 수 있다. 즉 도로소음의 하한치는 항공기 소음보다 높게 나타나지만 소음의 레벨이 증가함에 따라 Annoyance가 급히 증가하고 있다. 따라서 도로교통 소음은 조금만 증가해도 거주자가 느끼는 불편감은 다른 소음에 비해 크게 증가되는 것으로 사료된다. 컴퓨터 소음의 경우도 Fan 소음이 가장 급한 기울기를 나타내고 있다. Fan 소음의 경우 컴퓨터 소음에 대한 설문조사 결과⁽⁶⁾가장 시끄러운 소음원으로 선정되었으며 청감적으로도 레벨이 조금만 증가해도 불편감이 크게 증가되므로 컴퓨터 소음 중에서 가장 개선해야 하는 소음으로 사료된다. CD-Rom의 작동 소음도 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타났으나 HDD 소음의 경우는 다수의 이용자들이 컴퓨터의 작동 정보를 HDD의 소음 등으로 인해 얻는 것으로 인식하고 있어 다른 소음원에 비해 불편감의 증가가 덜 한 것으로 판단된다.

4. 분석 및 고찰

각종 소음에 대한 주관적 반응에 대한 각 소음원의 물리적, 심리음향적 요소들의 분석결과와의 상호관계에 있어서 통계적 분석방법 등을 적용하면 거주자의 소음에 대한 감성반응 예측을 위한 회귀식 및 예측 프로그램의 개발이 가능하게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 통계적 선형다중회귀분석 방법을 적용하여 주관적 반응과 물리적 평가량, Zwicker 파라메타를 적용한 예측식을 도출하여 표 5에 나타내었다. 이때 예측되는 감성의 상한치는 -1, 하한치는 0의 값을 갖도록 스케일을 변화시켜 도출하였다. 이는 일반적으로 시끄럽고 불편함은 부정감성(-1)으로 표현하여 음수로 표기하였다.

표. 5 환경소음과 컴퓨터 소음의 선형예측식

음원	선형다중회귀분석
항공기	$Y = -0.837S - 0.519R - 0.0688L_{max} + 6.916$
도로교통	$Y = 0.06457L_{eq} - 0.136L - 6.344FS + 4.174$
철도	$Y = -0.0729S + 0.333R - 0.0408L_{max} + 0.474$
Fan	$Y = 0.634FS - 0.0664R - 0.11L_{max} + 3.48$
CD	$Y = 0.19T - 0.367R - 0.139L_{max} + 8.28$
HDD	$Y = -0.0215L_{max} + 0.06887FS - 0.00721UA + 0.987$

5. 결론

본 연구에서는 인간의 감성적 반응(Annoyance)을 기반으로 주거환경 내에서 각종 전시간대역에서 가장 인식도가 높은 소음원인 교통소음의 한계치 및 사무환경에서 저소음이나 제실자가 가장 오랜 시간 노출되는 컴퓨터 소음의 한계치를 제안하였다.

실험결과 교통소음의 한계치는 하한치에서 상한치가 약 40~63dB, 컴퓨터 소음은 37~50dB 범위로 나타났다. 또한 교통소음 중 항공기 소음이 가장 낮은 한계치를 보이나 도로소음이 레벨증가에 보다 더 높은 민감도를 나타냈다. 또한 컴퓨터 소음에 대한 설문조사 결과 가장 시끄러운 컴퓨터 소음은 Fan, CD-Rom, HDD소음으로 나타났다.

컴퓨터 소음의 경우도 항상 작동되고 있는 컴퓨터의 Fan 구동음이 가장 한계치가 낮고 민감도도 높은 것으로 나타났다.

따라서 주거 및 사무환경에서의 음환경 쾌적성을 향상시키기 위해서는 이와 같은 주소음원에 대한 대처 방안이 소음원과 건물의 외피구조 등에서 각각 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 전진용, 정정호, 2001, "표준음원에 대한 Annoyance 평가 및 차음등급 설정에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 17권 7호, pp.179-185.
- (2) 전진용, 2001, "생활소음의 감성적 평가에 관한 연구" 한국소음진동공학회지 제11권 제 3호, pp. 443-448.
- (3) Dixon, W. J. and Mood, A. M., 1969, "A method for obtaining and analyzing sensitivity data," J. Am. Stat. Ass. 43, pp. 109-126.
- (4) Levitt, H., 1971. "Testing for Sequential Dependences," J. Acoust. Soc. Am. 43, pp. 65-69.
- (5) 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.

- (6) 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.
- (7) Tachibana, Hideki.; Hiroshi Tanaka; Masato Yasuoka; Sho Kimura. 1998, "Development of New Heavy and Soft Impact Source for the Assessment of Floor Impact Sound of Building," Inter-noise 98.
- (8) 정정호, 송희수, 전진용, 조문제, 2002, "사무음환경 개선을 위한 컴퓨터 소음의 감성적 평가" 한국감성과학회 2002 춘계발표대회, pp.101~106.