

교통소음으로 인한 실내소음레벨과 주관반응 분석 - 항공기, 도로교통 및 철도소음을 중심으로

Comparison between Indoor Noise Level and Subjective Response for Transportation Noise - Focusing on the Aircraft, Road traffic and Railway Noise

김 선 우† · 박 현 구*

Sun-Woo Kim and Hyeon-Ku Park

(2007년 2월 27일 접수 ; 2007년 4월 13일 심사완료)

Key Words : Transportation Noise(교통소음), Percentage of People Annoyed(% PA), Percentage of People Highly Annoyed(% HA), Boltzmann Equation(볼츠만 공식)

ABSTRACT

A series of research to seek for the relationship between subjective responses and noise level for transportation noise have been proceeded, and their results showed similar for some cases and different for some other cases as well, which is considered due to the various conditions such as the way of survey, different scale applied, and country etc. This study aimed to analyze the relationship between sound level and subjective response for the different kinds of transportation noise. The noises recorded in real situation were played to thirty subjects with forty nine adjectives. The percentage of people annoyed(% PA) and the percentage of people highly annoyed(% HA) were calculated from the subjective results and compared how many percent of people are annoyed and highly annoyed for the same sound level. As a result of calculating the average, the aircraft noise was highest and the white noise lowest. The relationship between window TL and average point was well correlated except the aircraft noise which was scattered because of high sound level at specific frequency and low TL at corresponding frequency. This means that appropriate rating method for airborne sound transmission should be sought for to evaluate outdoor noise which has different frequency characteristics. The Boltzmann equation for % PA and % HA was applied to predict the sound level corresponding to the percentage. It is concluded that the aircraft noise and road traffic noise have almost same response and the railway noise was same with white noise, used for the reference noise, annoyed lower than other noises about by 3 dB.

1. 서 론

교통소음은 사회의 발전과 더불어 불가분의 관계

† 교신저자 : 정희원, 전남대학교 건축공학부

E-mail : kskwon@sch.ac.kr

Tel : (041) 530-1670, Fax : (041) 530-1550

* 정희원, 전남대학교 건축과학기술연구소

에 있다 할 수 있으며, 그로 인한 장점이 있는 반면 소음 발생과 같은 단점은 해결해야 할 과제로 남아 있다. 이러한 교통소음의 이슈는 국내외를 통해 연구가 진행되고 있는데 특히 불쾌감과 그에 대응하는 물리적인 양에 관한 연구가 많은 비율을 차지하고 있다⁽¹⁻⁵⁾.

사람들의 생활에 영향을 미치는 교통소음으로는

도로교통에 의한 소음과 철도소음 및 항공기소음으로 구분할 수 있으며, 각 소음의 종류에 따른 거주민들에게 미치는 영향의 차이에 관해 비교하고 있으며, 국가적인 차이 및 측정 방법 등 여러 변수적인 차이로 기인해 소음의 종류에 따른 반응 정도는 연구자마다 약간 혹은 상당히 다른 차이를 보이고 있다⁽⁴⁻¹⁰⁾.

이미 연구된 바와 같이 각종 교통소음으로 인한 생활의 방해는 대화, 전화통화, TV 및 Radio 시청 등에 대한 장애를 가져오며⁽⁸⁾, 더 나아가 최근에는 교통소음으로 인한 수면방해에 대한 연구가 진행되었다⁽¹¹⁻¹²⁾.

이와 같이 교통소음은 그 종류에 따라, 또한 방해 받는 대상에 따라 평가의 차이를 가져올 수 있으며, 거주민들에게 직접적인 영향을 미치기 때문에 각 소음원에 따른 반응의 차이에 대한 분석과 이를 바탕으로 한 기준의 설정은 매우 중요하다 할 수 있다.

교통소음과 관련된 국내 기준은, 소음진동규제법 시행규칙 제 37조⁽¹³⁾에 교통소음 및 진동의 한도에 대하여 도로교통과 철도를 달리 규정하고 있으며, 대상 지역을 구분하여 야간을 주간에 비해 엄격한 한도를 규정하고 있다. 또한 항공기 소음은 소음진동 규제법(환경부 제정)과 항공법(건교부 제정)으로 규제하고 있는데, 항공법 시행규칙 274조⁽¹⁴⁾에 따르면 소음레벨의 수준에 따라 시설물의 설치와 용도를 제한하고 있다. 특히 항공기소음에 대한 평가척도는 WECPNL로 규정되어 있어 평가척도의 적절성에 대한 논란 또한 제기되고 있다⁽¹⁵⁾.

이 연구는 교통소음의 종류에 따른 소음레벨과 반응을 분석하기 위하여 실제 상황에서 녹음된 세 가지 소음원(항공기, 도로교통, 철도)을 대상으로 실험실에서 주관반응을 실시하였으며, 도출된 값을 통해 평균 방해 비율(% PA, percentage of people annoyed)과 매우 방해 받는 비율(% HA, percentage of people highly annoyed)의 분석을 실시하였다.

실험을 위해 평가되는 소음은 주택의 실내로 유입되는 것을 가정하였다. 외부소음은 발생위치 및 전달특성이 다르나 궁극적으로는 주택 내부로 유입되게 된다. 주택 내부로 유입되는 경로는 주택의 벽, 창, 지붕 혹은 외벽에 있는 틈을 통해 전달되게 되는데, 이 연구에서는 대부분의 소음이 창을 통해 전달되어진다는 가정을 통해 실험을 계획하였다.

2. 실험의 구성 및 내용

2.1 청감실험을 위한 창의 선정

실험실 실험을 통해 선정된 유리 및 창의 차음특성을 분석한 후, 청감실험에 적절한 창구조를 선정하였다. Table 1에 보이는 5개 창의 구조는 기존의 연구⁽¹⁶⁾를 통해 실험된 삼중창, 이중창, 단일창, 불박이창을 나타낸 것으로, 주택 및 공동주택에서 사용이 많을 것으로 가정되는 창 구조를 선정한 것이다.

W₁는 삼중창으로써, 공동주택 거실 및 침실의 창 외부에 발코니창이 설치된 것을 모사하기 위해 선정한 것이다. W₂ 및 W₃는 이중창으로써 주택 외부에 이중창이 설치되어 있는 경우 이중창을 통해 들어오는 소음에 대한 소음원 제작을 위한 것이다. W₄는 불박이창을 위한 것으로 양쪽 5 mm, 중간공기층 6 mm로 구성된 불박이창을 통과한 소음을 제작하기 위한 것이다. W₅는 주택에서 가장 취약한 창구조를 감안하여 3 mm 두께의 단창이 설치되어 있을 경우 단창을 통과한 소음레벨을 제작하기 위한 것이다.

Fig. 1은 선정된 창의 주파수별 차음특성을 나타내고 있다. 주파수별로 저주파수 및 고주파수에 걸쳐 다양한 차음특성과 서로 다른 코인시던스 딥(coincidence dip)을 나타내고 있다.

2.2 어휘

교통소음에 대한 피험자의 반응을 실험하기 위해 음원의 선정과 더불어 평가할 어휘는 다양하게 존재할 수 있으며, 이 연구에서는 정광용의 연구⁽¹⁷⁾를

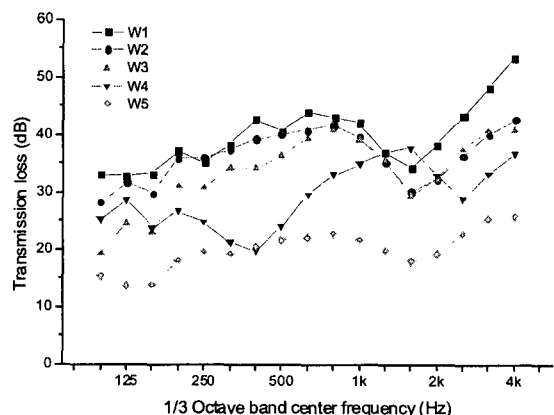


Fig. 1 Sound transmission loss of windows for test

Table 1 Windows for test and TL rating

Symbol	Descriptor ¹⁾	Rating				
		D	STC	Ts	D _{m(1/3)}	AVG ₁₀₀₋₅₀₀₀
W ₁	AP16(1)+ AP16(2)+PF5	30'	38	35	38	41.0
W ₂	F8 + F8	30'	34	30	36	36.7
W ₃	P12 + F3	30'	33	30	33	33.8
W ₄	P16G	20	28	25	29	29.9
W ₅	F3	20	22	20	19	20.2

- ① AP16(1)+ AP16(2)+PF5 : 16 mm(5+ 6A+5) pair glass + 16 mm(5+ 6A+5) pair glass + 5 mm pane
- ② F8+F8 : 8 mm pane + 8 mm pane
- ③ P12+F3 : 12(3+ 6A+ 3) mm pair glass + 3 mm pane
- ④ P16G : 16(5+ 6A+5) mm pair glass
- ⑤ F3 : 3 mm pane

통해 도출된 주거환경소음의 평가어휘를 사용하였다. 그는 주거환경소음을 찾기 위해 먼저 '소음'의 상위개념인 '소리'를 표현할 수 있는 모든 어휘를 대상으로 하여 기초조사를 실시하였다. 문헌 및 컴퓨터 프로그램을 이용하여 조사된 628개의 어휘로 구성된 '예비어휘표'를 작성하고, 예비어휘표의 어휘 중 소음을 표현할 수 있는 어휘를 추출하기 위한 설문조사를 통하여 361개의 어휘로 이루어진 '소리'표현 어휘 및 168개의 어휘로 이루어진 '소음'표현 어휘표를 작성하였다. 다음으로 '소음'표현 어휘표의 어휘 중 '소음'에 대한 표현과 심리측정에 보다 효과적인 어휘의 추출을 위하여 소음에 대한 '표현성'에 대한 설문조사를 실시하였으며, 이러한 일련의 조사 결과를 분석하여 소음심리실험에 사용할 최종 어휘표를 작성하였다. 이 실험에서 사용한 어휘는 기존 연구를 통해 최종적으로 소음의 심리표현에 적합한 것으로 나타난 49개의 어휘를 이용하였다.

2.3 청감실험 음원의 선정 및 녹음

(1) 실험대상음 녹음

실험을 위해 항공기소음, 도로교통소음, 철도소음을 현장에서 녹음하였으며 이들 음원과의 비교를 위해 기준음원으로 화이트 노이즈(white noise)를 사용하였다.

항공기소음에 있어서는 그 주파수 특성 및 영향의 정도가 다른 전투기와 민항기를 녹음하였으며, 도로교통소음은 그 주행속도와 차량통과대수가 다른 고속도로와 일반도로를, 철도소음은 새마을호와 무궁화호 두 가지 음원을 녹음하였다. 최종적으로 각 소음원 중에서 상대적으로 큰 전투기소음, 고속도로

통과소음, 무궁화호 주행소음을 실험대상음원으로 선정하였다. 녹음은 Symphonie(01dB)를 이용하였으며 사용된 기기의 내역은 다음과 같다.

- ① Symphonie Measurement System (01dB)
- ② Laptop Computer(LG IBM)
- ③ Microphone and Preamplifier(B&K Type 4134)
- ④ Calibrator(B&K Type 4231)
- ⑤ Tripod

(2) 적정 청취레벨의 설정

정확한 청감실험을 위해 피험자가 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 음원의 선택도 중요한 문제지만, 외부소음에 대한 적정 청취레벨을 결정하는 것 또한 매우 중요한 문제이다.

이 청감실험에서는 여러 가지 외부소음에 대해 최소치와 최대치를 선정한 후, 레벨 변화를 통해 물리적 파라메타와 심리적 반응치의 상관관계를 분석하였다. 소음레벨 최저치는 낮 시간동안의 환경소음 기준값인 65 dB(A)로 설정하였으며, 최대치는 85 dB(A)로 설정하였다. 최소레벨과 최대레벨의 사이에는 5 dB(A)씩의 간격을 두고 전체 5단계의 레벨을 갖도록 하였다(Table 2).

Fig. 2는 청감실험에 사용된 음원 중 그 레벨이 65 dB(A)인 음원의 주파수별 특성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 기준소음인 white noise를 제외한 모든 음원의 중·저주파수 대역에서 값이 고주파수 대역에 비해 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그 중 철도소음원인 무궁화호의 저주파수 소음이 가장 높게 나타나며, 전투기 소음은 315 Hz, 400 Hz 대역에서 타 소음원에 비해 높은 값을 나타내고 있다.

(3) 청감실험용 음원 제작

청감실험용 음원 제작을 위해 녹음된 음원을 각 단계별로 조정 한 후 창구조를 통과한 레벨을 제작하였다.

청감실험용 음원 작성의 기본개념은 외부소음에 대한 레벨 및 주파수 특성을 바탕으로, 이 음이 특정 투과손실값을 갖는 창을 통과하여 피험자에게 전달되는 음으로 가정하는 것이다. 즉, 선정된 창의 투과손실값을 외부소음레벨에서 주파수 별로 저감시킨 새로운 청감음원을 작성하는 것이다. 청감실험용 음원을 작성하기 위한 음원의 편집은 음향편집프로그램(Cool-Edit Program version 1.1)을 사용하였고, 창의 투과손실값을 저감시킨 청감음원의 개념도는 Fig. 3과 같다.

Table 3은 이상과 같은 방법을 사용하여 제작한 음원의 주파수별 레벨 계산을 정리한 것으로, 외부음원레벨에서 창의 투과손실값을 뺀 값을 나타낸 것이다.

(4) 청감실험 내용 및 방법

청감실험은 우선 피험자들은 실험 시작 전 실험의

목적을 충분히 설명 받은 뒤 참여하도록 하였다. 소음에 대한 주관적인 평가는 소음에 노출된 사람들의 태도측정을 통해 주로 시행된다. 태도측정을 위해서는 일반적으로 몇 단계로 구분한 리커트 척도(Likert scale)를 사용한다. Yano 등의 연구⁽⁴⁾에 따르면 교

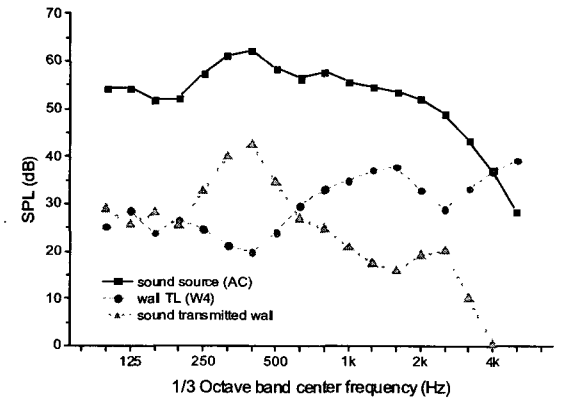


Fig. 3 Example of sound editing

Table 2 Sound level of noises

Type of source		Sound level(Leq dB(A))				
		ref.	+5	+10	+15	+20
Aircraft(AC)	Fighter	A65	A70	A75	A80	A85
Road traffic(RT)	Highway	R65	R70	R75	R80	R85
Railway(RW)	Mugoongwha	T65	T70	T75	T80	T85
White noise(WN)	White noise	W65	W70	W75	W80	W85

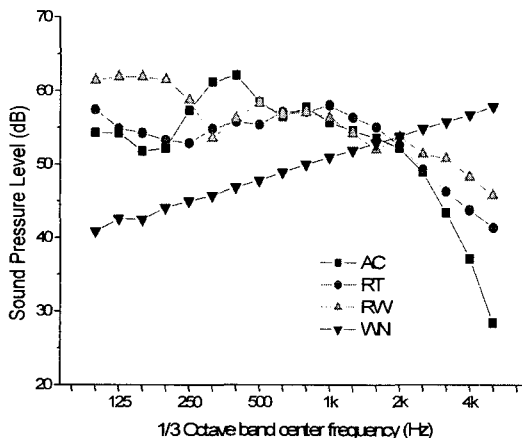


Fig. 2 Spectrum of sound sources(AC : aircraft, RT : road traffic, RW : railway, WN : whitenoise)

Table 3 Calculated SPL of the noise substracted by window TL

Sound level of source (dBA)	Window	Sound level of transmitted sound(dB)			
		AC	RT	RW	WN
65	W ₁	30.5	30.4	35.0	23.6
	W ₂	32.9	33.6	37.9	28.1
	W ₃	38.7	40.2	45.2	30.2
	W ₄	45.5	41.3	44.6	33.9
	W ₅	49.4	49.0	53.7	43.0
70	W ₁	35.5	35.4	40.0	28.6
	W ₂	37.9	38.6	42.9	33.1
	W ₃	43.7	45.2	50.2	35.2
	W ₄	50.5	46.3	49.6	38.9
	W ₅	54.4	54.0	58.7	48.0
75	W ₁	40.5	40.4	45.0	33.6
	W ₂	42.9	43.6	47.9	38.1
	W ₃	48.7	50.2	55.2	40.2
	W ₄	55.5	51.3	54.6	43.9
	W ₅	59.4	59.0	63.7	53.0
80	W ₁	45.5	45.4	50.0	38.6
	W ₂	47.9	48.6	52.9	43.1
	W ₃	53.7	55.2	60.2	45.2
	W ₄	60.5	56.3	59.6	48.9
	W ₅	64.4	64.0	68.7	58.0
85	W ₁	50.5	50.4	55.0	43.6
	W ₂	52.9	53.6	57.9	48.1
	W ₃	58.7	60.2	65.2	50.2
	W ₄	65.5	61.3	64.6	53.9
	W ₅	69.4	69.0	73.7	63.0

통소음에 의해 신경 쓰이는 정도는 척도의 수에 영향을 받지 않는다고 하였다. 따라서 이 연구에서는 리커트 척도를 통해 실험을 하였으며, 기존의 연구를 통해 많이 사용되었던 7단계 반응척도를 이용하였다. 실험 시 각 항목간의 미묘한 차이를 판단하기 어려울 경우가 있으므로 사전에 충분한 설명과 예비 실험을 통하여 실험의 내용을 인지하도록 하였다.

주관반응 평가를 통해 도출된 값은 등가소음레벨(Leq dB(A))과의 관계에 중점을 두고 평균 방해받는 비율 및 매우 방해 받는 비율과의 관계를 분석하였다. 회귀식의 분석을 위해 많이 사용되는 다차함수 곡선은 최대 극한값(자극 즉 소음레벨이 아주 작거나 아주 커질 경우에 해당하는 예측값의 오류가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 오류를 최소화할 수 있도록 자극과 반응의 관계를 잘 표현할 수 있는 볼츠만 식(Boltzmann equation)을 사용하여 회귀식을 도출, 방해의 정도에 따른 소음레벨의 관계를 예측하였다. 볼츠만 식을 이용한 곡선은 다음과 같이 정의되어진다⁽¹⁸⁾.

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x - x_0)/dx}} + A_2 \quad (1)$$

여기에서, x 는 소음레벨, y 는 방해정도(%) 그리고 A_1 은 $x = -\infty$ 일 때 y 값 (0% 혹은 100%), A_2 는 $x = +\infty$ 일 때 y 값 (0% 혹은 100%), x_0 는 y 의 평균값에 대한 x 값, 즉 y 값이 50%인 경우의 x 값이며, dx 는 회귀선 중간부분의 기울기를 나타낸다. 이 연구에서는 방해정도가 0%에서 100%인 점을 감안하여 각 극한값에 해당하는 값 즉, A_1 및 A_2 를 각각 0%와 100%로 고정하여 분석을 하였다.

(5) 피험자

피험자는 정상적인 청력을 가진 20~40대의 대학생 및 대학원생 30명을 대상으로 실시하였다. 이는 실험을 통해 얻어진 데이터를 통계 처리할 때, 그 데이터가 정규분포를 이루기 위한 사례수가 30이상이어야 하기 때문이다⁽¹⁹⁾. 실험에 참여한 피험자의 성별은 남자가 23명, 여자가 7명이다. 실험은 전남대학교 음향연구실에서 배경소음레벨이 낮은 야간에 응접실에서의 실내소음 평가기준인 NC 30~35(40~45 dB(A))에 해당, 일상생활의 “시끄럽다”라고 느끼지 않을 정도)보다 낮은 배경소음레벨에서 실시

하였으며, 측정당시의 배경소음레벨은 31~32 dB(A)였다.

Table 4는 편집된 음원을 실험 조건에서 재생한 후 청취자의 위치에서 측정된 실측값을 나타내는 것으로서, 특히 낮은 음압레벨의 경우 Table 3에서의 계산된 값과 차이를 나타내고 있다. 이는 Fig. 3과 같은 개념에 따라 편집할 경우 제작음원이 배경소음

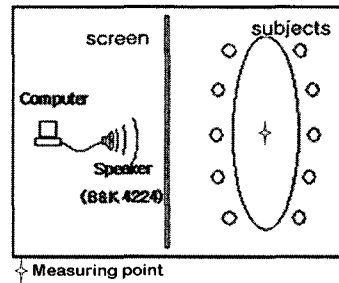


Fig. 4 Schematic diagram for subjective test

Table 4 Sound level measured at listener's position while testing

Sound level of source (dBA)	Window	Sound level of transmitted sound(dB(A))			
		AC	RT	RW	WN
65	W ₁	32.3	32.4	32.8	33.3
	W ₂	35.5	34.4	33.9	33.7
	W ₃	34.1	34.2	34.6	33.9
	W ₄	40.2	34.5	38.6	37.8
	W ₅	45.3	46.4	46.6	44.0
70	W ₁	34.0	34.3	33.9	33.9
	W ₂	38.0	36.4	36.6	36.7
	W ₃	38.6	37.1	37.6	36.6
	W ₄	44.7	42.5	44.1	39.4
	W ₅	50.1	50.0	50.2	48.6
75	W ₁	38.6	38.4	38.8	36.4
	W ₂	40.1	40.9	40.6	40.7
	W ₃	41.9	41.5	41.5	40.6
	W ₄	49.3	46.3	47.7	45.2
	W ₅	55.0	56.5	55.3	53.6
80	W ₁	41.2	43.2	41.5	40.2
	W ₂	44.6	45.6	45.0	45.0
	W ₃	45.7	46.3	46.2	45.2
	W ₄	55.4	51.2	52.7	49.9
	W ₅	61.1	60.4	61.4	58.6
85	W ₁	45.8	46.7	46.0	44.8
	W ₂	49.4	50.4	49.8	49.9
	W ₃	50.6	51.2	50.9	49.9
	W ₄	60.3	56.2	58.5	53.5
	W ₅	65.1	65.5	65.0	63.6

보다 낮은 주파수 대역이 발생하게 되어, 계산된 레벨과 실제 청취 레벨이 달라질 수 있음을 의미한다.

실험은 편집한 음원을 Fig. 4와 같이 스피커를 통해 재생하고 재생된 음을 편안한 공간에 앉아 청취하는 방법으로 하였다. 실험의 일관성을 확보하기 위하여 피험자가 음원을 청취하기 전 기준음원 측정을 통하여 레벨을 일정하게 조절하였다.

청감실험에 사용된 기기의 내역은 다음과 같다.

- ① Symphonie Measurement System(01dB)
- ② Notebook Computer(LG IBM)
- ③ Calibrator(B&K Type 4231)
- ④ Cool-Edit Program, version 1.1 (Syntrillium)
- ⑤ Speaker(B&K 4224)

청감실험을 위해 제작된 음원은 100개(4개 음원×5개 창구조×5개 음레벨)로, 순서에 의한 효과를 배제하기 위해 무작위 배열 후 재생하였다. 실험은 현장감을 극대화하기 위하여 창을 통해서 들려오는 소음임을 주지시키고, 거주자의 집안이라는 느낌이 들도록 최대한 편안한 자세에서 실시하도록 하였다. 즉 피험자가 평소에 생활하는 편안한 분위기를 조성하여, 실험에 임하는 피험자가 너무 긴장하지 않도록 하였다. 청감음원은 1회 들려주어 그 반응을 선택하도록 하였으며 Fig. 5와 같이 음의 제시시간을 1분으로 하고 다음 음원을 듣기까지 10초간의 간격을 두었다. 피험자는 이 음원을 들으면서 청감실험용 sheet에 표시하도록 하였고, 음원의 종료를 알리는 두 번의 순음과 음원의 시작을 알리는 1번의 순음을 들려줌으로써 실험의 마무리 및 준비를 대비하도록 하였다. 청감실험 경험이 없는 피험자를 고려하여, 청감실험 시작 전 연습을 통해 실험에 익숙해지도록 하였다. 실험하는 도중에는 대화, 휴식을 자주 함으로써 심리적인 부담감을 줄이도록 하였으며, 실험 중간에 휴식시간을 여러 차례 두어 지루함을 느끼지

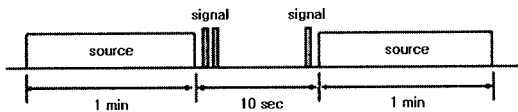


Fig. 5 Playback of sound

Table 5 Answer sheet

Adjective	Extremely	Not at all
Annoy	7 - 6 - 5 - 4 - 3 - 2 - 1	

않도록 했다.

청감실험용 sheet에서 피험자의 청감반응에 대한 평가는 기존 연구를 통해 추출된 49개의 어휘에 대해 7단계 단극 척도를 이용하여 판단하도록 하였다. 자극이 강할수록 “7”, 자극이 약할수록 “1”에 가까운 수치를 나타내고 있다. 실험에 사용된 sheet는 Table 5와 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 음원종류에 따른 어휘별 득점값

사용된 각 어휘에 대하여 음원의 종류에 따른 평균값을 계산하였으며, 음압레벨과의 상관관계 분석을 통해 분석에 사용할 어휘를 선택하고자 하였다. 사용된 모든 어휘는 음압레벨과 평균 0.83 이상의 높은 상관관계를 보이고 있으며, 거의 모든 어휘가 0.80 이상의 상관관계를 나타냈다(Table 6). 따라서 전체의 어휘를 사용하여 분석하는 것은 무의하며 그 가운데 annoyance와 관련이 높은 단어이면서 가장 높은 평균값을 갖는 ‘신경쓰인다’를 사용하여 음압레벨과의 관계를 분석하고자 한다.

Fig. 6은 어휘의 평균득점을 음원 종류에 따라 그래프로 나타낸 것으로 항공기 소음에 대한 득점 평균값이 가장 높으며, 화이트 노이즈에 대한 값이 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 7은 음원의 음압레벨과 해당 음원에 대해 사용된 전체 어휘의 평균값을 나타낸 것으로, 제시된 음원의 소음레벨은 45 dB(A) 정도로 비슷한 반면, 어휘의 평균값은 항공기소음이 가장 높게 나타났다.

3.2 창 종류별 반응의 차이 분석

사용된 어휘 중 가장 높은 반응값을 보였던 ‘신경쓰인다’의 어휘를 사용하여 창의 종류에 따른 반응 평균값을 분석하였다. 비교 대상은 기존 연구결과⁽¹⁶⁾ 창의 차음성능과 가장 상관관계가 높았던 산술평균값(100-5 kHz)을 사용하였다. Fig. 8은 창의 종류별 차음성능과 그에 대응하는 음원종류별 득점평균값을 나타낸 것으로, 대부분의 음원들이 선형적인 관계를 보이고 있으나 항공기소음(AC)의 경우 W₄에서 득점값이 상승하고 있음을 알 수 있다. 이는 창의 주파수별 차음성능(Fig. 1)과 음원의 주파수 특성(Fig. 2)을 통해 볼 때, 400 Hz 대역 부근의 항공기소음의

Table 6 Average point of adjectives and correlation coefficient between sound level and subjective response

Category Adjective	Sound source					Cor.
	AC	RT	RW	WN	Average	
1.시끄럽다	4.21	4.00	4.43	3.60	4.07	0.89
2.듣기싫다	4.37	4.00	4.39	3.73	4.13	0.87
3.소란스럽다	4.34	3.98	4.38	3.64	4.09	0.87
4.거슬린다	4.56	4.21	4.52	3.91	4.30	0.85
5.신경쓰인다	4.59	4.31	4.53	3.97	4.35	0.85
6.깜짝놀라게한다	3.64	3.44	3.69	3.12	3.48	0.88
7.짜증스럽다	4.29	4.01	4.14	3.71	4.04	0.85
8.요란하다	4.17	3.98	4.20	3.57	3.99	0.86
9.떠들썩하다	4.12	3.91	4.15	3.46	3.92	0.86
10.방해된다	4.61	4.24	4.47	3.95	4.32	0.83
11.싫다	4.61	4.30	4.38	4.05	4.34	0.82
12.불쾌하다	4.50	4.12	4.27	3.95	4.21	0.83
13.놀라게한다	3.82	3.55	3.67	3.22	3.57	0.87
14.괴롭다	4.04	3.80	3.86	3.55	3.81	0.85
15.교통스럽다	3.98	3.78	3.81	3.46	3.76	0.86
16.혼란스럽다	4.21	3.99	4.05	3.66	3.98	0.84
17.산만하다	4.40	4.15	4.25	3.83	4.16	0.83
18.나쁘다	4.51	4.22	4.28	3.98	4.25	0.82
19.어수선하다	4.39	4.23	4.19	3.80	4.15	0.83
20.곤혹스럽다	4.08	3.82	3.88	3.58	3.84	0.83
21.자극적이다	4.03	3.80	3.86	3.49	3.80	0.86
22.성가시다	4.46	4.17	4.20	3.91	4.19	0.83
23.못마땅하다	4.48	4.17	4.25	3.91	4.21	0.83
24.불안하다	4.15	3.93	3.94	3.67	3.93	0.83
25.불안정하다	4.19	3.91	3.90	3.64	3.91	0.82
26.까무러치게한다	3.38	3.14	3.13	2.95	3.15	0.84
27.거세다	3.76	3.52	3.60	3.15	3.51	0.87
28.소름끼친다	3.55	3.28	3.27	3.13	3.31	0.80
29.불편하다	4.24	3.95	3.84	3.72	3.94	0.80
30.불만족스럽다	4.36	4.09	4.07	3.79	4.08	0.82
31.날카롭다	3.86	3.44	3.44	3.27	3.50	0.84
32.섬뜩하다	3.48	3.24	3.13	3.03	3.22	0.81
33.섬뜩하다	3.45	3.18	3.09	3.05	3.19	0.80
34.격하다	3.72	3.38	3.43	3.09	3.41	0.86
35.야단스럽다	4.01	3.69	3.75	3.44	3.72	0.83
36.귀찮다	4.29	3.98	4.01	3.90	4.05	0.79
37.무질서하다	4.14	3.83	3.80	3.66	3.86	0.78
38.(가슴이)철렁한다	3.29	3.07	3.11	2.83	3.08	0.81
39.거칠다	3.92	3.73	3.68	3.36	3.68	0.82
40.지긋지긋하다	4.05	3.70	3.71	3.60	3.77	0.80
41.크다	3.97	3.66	3.89	3.35	3.72	0.88
42.강하다	3.89	3.62	3.78	3.26	3.64	0.89
43.강렬하다	3.71	3.42	3.56	3.13	3.46	0.88
44.끔찍하다	3.48	3.28	3.26	3.04	3.27	0.82
45.납작하다	3.77	3.56	3.55	3.35	3.56	0.80
46.위압적이다	3.67	3.31	3.38	2.98	3.34	0.85
47.복잡하다	3.85	3.58	3.63	3.36	3.61	0.80
48.불규칙적이다	3.91	3.68	3.62	3.40	3.65	0.78
49.바람직하지않다	4.48	4.12	4.14	3.93	4.17	0.80
Average	4.06	3.79	3.87	3.51	3.81	0.83
Leq dB(A)	45.5	44.9	45.2	43.8		

레벨이 높은 반면, 창의 차음성능은 매우 낮아지게 되어 있어 창의 차음성능과는 매우 다른 응답 반응을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 음원에 따른 공기전달음의 차음성능을 적절히 평가할 수 있는 척도의 모색이 뒷받침되어야 함을 알 수 있다.

3.3 소음레벨과 불쾌도 분석에 따른 적정레벨
다음은 전체 소음원의 청감실험 시 측정된 레벨과

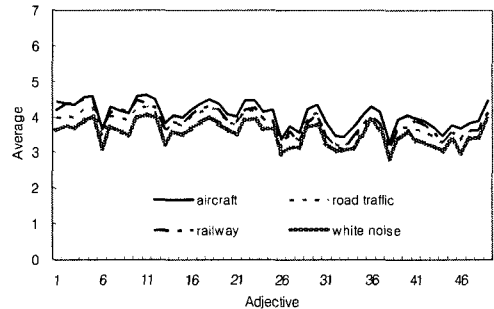


Fig. 6 Average point by sound source

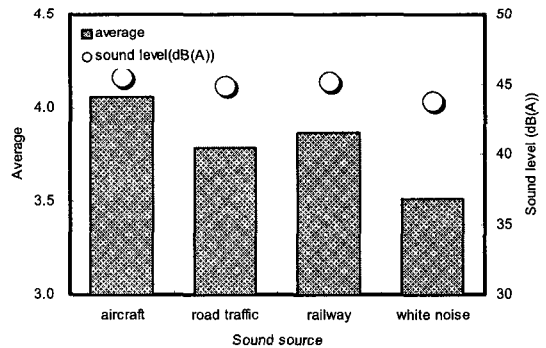


Fig. 7 Sound level played and average point

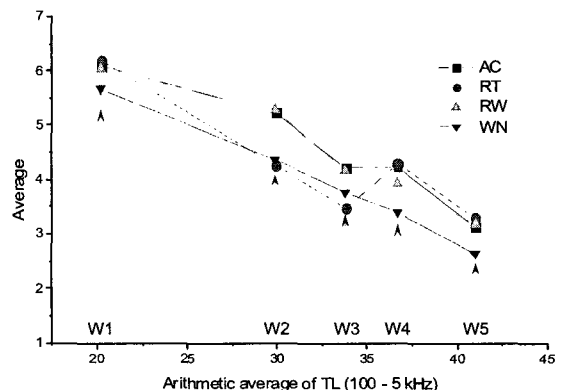


Fig. 8 Relation between window TL and subjective response

주관적 반응치와의 상관관계를 분석하기 위하여 실내로 유입되는 소음레벨에 대한 주민 반응의 정도를 알아냄으로써 피해 정도를 규명하는데 기초적인 단계의 연구를 진행하고자 하였다.

분석을 위해서는, 앞에서 언급한 바와 같이 소음계의 연구를 진행하고자 하였다. 원에 따른 청취레벨과 평균 방해 비율(% PA, percentage of people annoyed) 및 매우 방해 받는 비율(% HA, percentage of people highly annoyed)을 사용하여 분석하였다. % PA는 청취음원에 대한 평균 득점값을 이용하는 것이며⁽⁸⁾, % HA는 매우 신경쓰이는 사람들의 비율을 나타내는 것이다. Shultz는 불쾌도 비율(percent highly annoyed)에 대하여 정리하고 있는데, 사람들이 소음에 의해 '아주 많이 방해받을 때 (highly annoyed)' 비음향적인 변수의 영향은 배제되어지며, 개인 혹은 집단에서의 소음노출정도와 주관반응값 사이에는 높은 상관관계가 있게 된다고 한

다. 다시 말해, 소음노출이 극도(extreme)로 느껴질 때에는 사람들이 비음향적인 태도로부터 소음에 대한 그들의 감정을 구분해 내는 데에는 거의 어려움이 없다는 것이다⁽²⁰⁾.

이 연구에서는 이상에서 본 것처럼 제공된 소음원에 대하여 평균적인 반응과 극한적인 반응에 대하여 분석하고자 하였다. 분석에 사용된 어휘는 불쾌도 (highly annoyed)에 관련하여 가장 높은 득점평균값을 보였던 '신경쓰인다'를 이용하였으며 불쾌만 식을 이용하여 분석을 하였다. Table 7은 불쾌만 식을 통해 분석된 파라미터값과 결정계수(R²)를 보여주고 있다. 각 음원에 대해 화이트노이즈(WN)와 가장 높은 상관관계를 보이며, 도로교통소음(RT)과는 상대적으로 낮은 상관관계를 보이고 있다. 이는 청취자들의 반응이 더욱 자유롭게 반응하고 있다는 것을 암시한다. Table 8은 % PA 및 % HA의 평균, 표준편차 및 표준오차를 나타낸 것으로 % PA의 평균은 약 56~65% 범위인데 비해 % HA는 약 27~38%로 30% 정도의 평균차이를 보였다.

Fig. 9, 10은 소음레벨(Leq dB(A))과 반응의 정도(% PA, % HA)와의 관계를 불쾌만 식을 통해 그래프로 나타낸 것이다. Table 7에 나타난 것처럼 평균값(% PA)이 % HA에 비해 높은 기울기 값을 나타내고 있으며, % HA값은 음원별 차이가 % PA에 비해 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

위의 과정을 통해 도출된 예측식을 통해 평균 방해받는 사람의 비율과 매우 방해받는 사람의 비율에

Table 7 Boltzmann equation's parameter and determination coefficient

		AC	RT	RW	WN
% PA	x_0	39.0	40.0	39.0	41.0
	dx	6.5	6.8	6.9	7.3
	R ²	0.92	0.84	0.88	0.94
% HA	x_0	48.0	48.0	48.0	49.5
	dx	4.5	4.9	2.9	3.4
	R ²	0.87	0.79	0.85	0.95

Table 8 Average value, standard deviation and standard error

		Dataset	N	Mean	SD	SE
% PA	AC	Leq dB(A)	25	45.476	8.8738	1.77476
		% PA	25	65.538	23.2871	4.65742
	RT	Leq dB(A)	25	44.900	8.86345	1.77269
		% PA	25	61.504	25.50648	5.1013
	RW	Leq dB(A)	25	45.192	8.81679	1.76336
		% PA	25	64.644	22.85224	4.57045
WN	Leq dB(A)	25	43.800	8.15409	1.63082	
	% PA	25	56.756	23.18944	4.63789	
% HA	AC	Leq dB(A)	25	45.476	8.8738	1.77476
		% HA	25	38.856	34.67343	6.93469
	RT	Leq dB(A)	25	44.900	8.86345	1.77269
		% HA	25	36.928	34.52326	6.90465
	RW	Leq dB(A)	25	45.192	8.81679	1.76336
		% HA	25	35.052	34.07149	6.8143
	WN	Leq dB(A)	25	43.800	8.15409	1.63082
		% HA	25	27.6	32.94788	6.58958

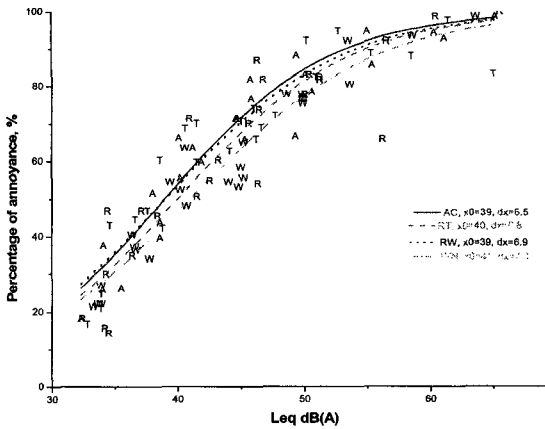


Fig. 9 Relation between sound level and % PA

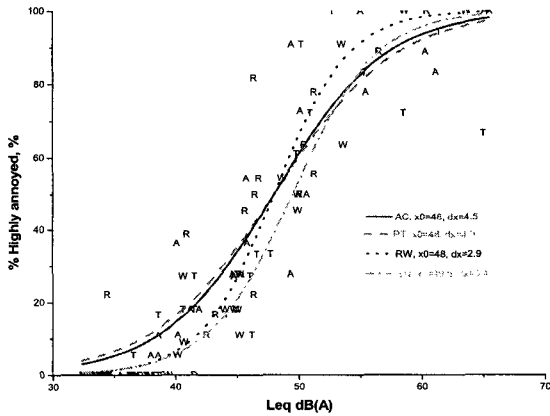


Fig. 10 Relation between sound level and % HA

따른 소음레벨의 값을 예측하였으며, Table 9와 같이 두 값 사이에는 선형적으로 일정한 상관($R^2=1$)이 있음을 알 수 있다.

전반적으로 % HA 20%를 통해 음원을 비교해 보면 AC, RT이 각각 41.8 dB(A), 41.3 dB(A)로 비슷한 값을 보이며, RW, WN은 이들 음원보다 약 3 dB 정도 낮은 44.0 dB(A) 및 44.8 dB(A)로 나타났다. 이를 통해 항공기소음과 도로교통소음에 의한 방해정도는 비슷하며, 철도소음은 이들 소음에 비해 덜 방해받는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 기존의 연구들 중 각 음원에 따른 차이를 보여주는 결과를 통해 뒷받침될 수 있으며^(5,6,8), 그 가운데에는 국가적인 차이에 따른 반응의 차이가 존재할 수도 있을 것이다.

항공기소음(AC)의 경우 % HA의 20%에 해당하는 값(41.8 dB(A))이 % PA에서는 약 60%에 해당하는 값을 보이고 있으며, 도로교통소음(RT)은 % HA 20%에 해당하는 % PA의 비율이 55%에 해당하여 항공기소음과 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 철도소음(RW)에 대해서는 % HA 20%에 해당하는 값이 약 67% 정도로 나타나 앞의 두 소음원에 비해 평균적으로 방해받는 사람의 비율이 더 적다는 것을 보여주고 있다. 화이트노이즈(WN)도 % HA 20%에 해당하는 값이 약 63%를 나타내 음원 별로 % HA의 정도와 % PA의 정도가 다르게 나타

Table 9 Predicted value corresponding to the % PA and % HA

Percentage	AC		RT		RW		WN	
	% PA	% HA	% PA	% HA	% PA	% HA	% PA	% HA
10	24.8	38.2	25.1	37.3	23.9	41.7	25.0	42.1
20	30.0	41.8	30.6	41.3	29.5	44.0	30.9	44.8
30	33.5	44.2	34.3	43.9	33.2	45.6	34.9	46.7
40	36.4	46.2	37.3	46.1	36.3	46.9	38.1	48.2
50	39.0	48.0	40.0	48.0	39.0	48.0	41.0	49.5
60	41.7	49.9	42.8	50.0	41.8	49.2	44.0	50.9
70	44.6	51.9	45.8	52.2	44.9	50.5	47.2	52.4
80	48.1	54.3	49.5	54.8	48.6	52.1	51.2	54.3
90	53.3	57.9	55.0	58.8	54.2	54.4	57.1	57.0
95	58.2	61.3	60.1	62.5	59.4	56.6	62.5	59.6
Regression equation*	$y = 0.6916x + 21.04$		$y = 0.7189x + 19.262$		$y = 0.4203x + 31.633$		$y = 0.4662x + 30.415$	
R^2	1		1		1		1	

* In the regression equation, x is the percentage of annoyance(PA) and y is % highly annoyed(HA).

남을 알 수 있다.

4. 결 론

교통소음은 그 종류에 따라 또한 방해 받는 대상에 따라 평가의 차이를 가져올 수 있으며, 거주민들에게 직접적인 영향을 미치기 때문에 각 소음원에 따른 반응의 차이에 대한 분석과 이를 바탕으로 한 기준의 설정은 매우 중요하다 할 수 있다.

이 연구는 교통소음의 종류에 따른 소음레벨과 반응을 분석하기 위하여 실제 상황에서 녹음된 세 가지 소음원(항공기, 도로교통, 철도)을 대상으로 실험실에서 주관반응을 실시하였으며, 도출된 값을 통해 평균 방해 비율(percentage of people annoyed)과 매우 방해 받는 비율(percentage of people highly annoyed)의 분석을 실시하였다.

그 결과 사용된 대부분의 어휘가 음원의 레벨과 밀접한 상관관계(0.8 이상)를 보였으며, '신경쓰인다'의 어휘가 가장 높은 평균득점값을 나타냈다. 세부 분석을 위해 '신경쓰인다'의 어휘만을 사용하였다. 전반적인 득점평균값은 항공기소음이 가장 높은 득점을 한 반면, 화이트노이즈가 가장 낮은 득점값을 나타냈다. 음원의 음압레벨과 해당 음원에 대해 사용된 전체 어휘의 평균값을 비교한 결과, 제시된 음압레벨은 기차소음이 가장 높은 반면 득점평균값은 항공기소음이 가장 높게 나타났다. 이는 항공기소음이 다른 소음원에 비해 더 불쾌함을 주는 소음원으로 생각된다.

창의 차음성능에 대한 산술평균값(100~5 kHz)과 그에 대응하는 음원종류별 득점평균값을 비교한 결과 대부분의 음원들이 선형적인 관계를 보인 반면, 항공기소음(AC)의 경우 특정 창(W₄)에서 득점값이 매우 다르게 나타났다. 그 이유는 음원이 갖는 특정 주파수 대역에서의 높은 레벨을 창의 낮은 차음성능으로 인해 효과적으로 차단하지 못하였기 때문이었다. 이와 같은 결과는 음원에 따른 공기전달음의 차음성능을 적절히 평가할 수 있는 척도의 모색이 뒷받침되어야 함을 보여주는 결과라 할 수 있다.

불편만 식을 통해 % HA를 분석한 결과, 항공기 소음 및 도로교통소음이 20% 수준에서 각각 41.8 dB(A), 41.3 dB(A)로 비슷한 정도의 불쾌감을 갖는 것으로 나타났으며, 이에 비해 철도소음은 % HA

20%에서 3 dB 정도 낮은 값인 44.0 dB(A)로 나타났다. 또한, % PA와 % HA는 밀접한 관련을 가지고 있으나 음원에 따라 피해 정도가 다르게 나타나기 때문에 소음에 대한 기준설정 등의 문제에 있어서는 적절한 방법과 비율이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

이 연구는 세 가지 교통소음(항공기, 도로교통 및 철도)의 실내소음레벨과 피험자의 주관반응의 비교 분석에 중점을 둔 것으로 교통소음에 대한 실내소음레벨 기준설정을 위해서는 음원별 특성을 고려한 소음기준과 기준의 직접적 비교가 가능하도록 평가척도의 단일화가 필요할 것으로 사료된다. 추후 교통소음에 대한 실내소음레벨 기준 설정을 위해서는 보다 다양한 조건에서의 소음레벨과 피해규모의 산정 및 교통소음에 노출된 실제 상황에 대한 다양한 조사가 추가되어야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(지방연구중심대학육성사업/바이오하우징연구사업단).

참 고 문 헌

- (1) Schultz, T. J., 1978, "Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance", J. Acoust. Soc. Am. Vol. 64, No. 2, pp. 377~405.
- (2) Schomer, P. D., 2005, "Criteria for Assessment of Noise Annoyance", Noise Control Eng. J. Vol. 53, No. 4, pp. 125~137.
- (3) Kim, S. W., Lee, J. Y., Song, M. J. and Jang, G. S., 2005, "A Study on the Indoor Noise Limits of Apartment Houses from the Road Traffic Noise," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 9, pp. 1084~1091.
- (4) Yano, T., Yamashita, T. and Izumi, K. 1997, "Comparison of Community Annoyance from Railway Noise Evaluated by Different Category Scales", J. Sound Vib. Vol. 205, No. 4, pp. 505~511.
- (5) Fields, J. M. and Walker, J. G. 1982, "Comparing the Relationships between Noise Level

and Annoyance in Different Surveys: A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison, J. Sound Vib. Vol. 81, No. 1, pp. 51~80.

(6) Kryter, K. D., 1982, "Community Annoyance from Aircraft and Ground Vehicle Noise", J. Acoust. Soc. Am. Vol. 72, No. 4, pp. 1222~1242.

(7) Osada, Y., 1991, "Comparison of Community Reaction to Traffic Noise", J. Sound Vib. Vol. 151, No. 3, pp. 479~486.

(8) Hall, F. L., 1984, "Community Response to Noise: Is All Noise the Same?" J. Acoust. Soc. Am. Vol. 76, No. 4, pp. 1161~1168.

(9) Miedema, H. M. E. and Henk Vos, 1998, "Exposure-response Relationships for Transportation Comparison between Laboratory and Field Settings", J. Sound Vib. Vol. 290, No. 6, pp. 3~16.

(10) Morihara, T., Sato, T. and Yano, T. 2004, "Comparison of Dose-response Relationships between Railway and Road Traffic Noises: the Moderating Effect of Distance", J. Sound Vib. Vol. 277, No. 3, pp. 559~565.

(11) Skånberg, A, Öhrström, E., 2006, "Sleep Disturbances from Road Traffic Noise: A Comparison between Laboratory and Field Settings", J. Sound Vib. Vol. 290, pp. 3~16.

(12) Griefahn, B., Marks, A. and Robens, S., 2006, "Noise Emitted from Road, Rail and Air Traffic and Their Effects on Sleep", J. Sound Vib. Vol. 295, pp.

129~140.

(13) Enforcement Regulations of the Noise and Vibration Law, an Act of the Ministry of Environment Issue. 224 Partly Revision, 2006. 12. 29.

(14) Enforcement Regulations of the Air Law, An Act of the Ministry of Construction and Transportation Issue.532, Partly Revision, 2006. 08. 18.

(15) Jeon, J. H., An, B. O., Kim, S. W., Song, M. J. and Jang, G. S., 2001, "A Compare Study on the Evaluation Method of Aircraft Noise", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, p. 705.

(16) Kim, S. W., Park, H. K., Jeong, J. Y. and Song, H., 2002, "A Study on the Evaluation of Sound Insulation Performance for Window through Psycho-acoustic Experiment," J. AIK, Vol. 18, No. 5, pp. 169~176.

(17) Jung, G. Y., 2000, "A Study on the Psychological Evaluation for Environmental Noise Using Korean Vocabulary," Doc. Dissertation, Chonnam National University.

(18) Origin, 1997, "Origin user's manual version 5", Microcal Software Inc.

(19) Yang, B. H., 1998, "Comprehension and Application of Multivariate Data Analysis", Hakjisa.

(20) Schultz, T. J. 1982, "Community Noise Rating Second ed.," Applied Science publishers, pp. 239~245.