

교통소음의 모노럴과 바이노럴 청감 비교 연구 II: 성가심[#]

Comparison of Human Responses to Transportation Noise in Monaural and Binaural Hearing, Part II: Annoyance

김재환* · 임창우* · 홍지영* · 정원태* · 이수갑† · 정완섭**

Jaehwan Kim, Chang Woo Lim, Jiyoung Hong, Wontae Jeong, Soogab Lee and Wansup Cheung

(2004년 7월 19일 접수 : 2004년 11월 22일 심사완료)

Key Words : Monaural(모노의), Dummy Head(더미헤드), Binaural(양이의), Hearing Screening(청력 스크리닝) Annoyance(성가심, 불쾌감), %HA(매우 높은 수준의 불쾌감 비율)

ABSTRACT

This paper continues companion paper, part I: measurement and analysis. As shown in companion paper, information and energy in monaural signal is quite different from that of binaural signal. In this paper, difference between monaural and binaural signal of transportation noise are investigated in subjective response test. We executed hearing screening test before giving a subject response test and excluded subjects who had physical hearing loss. An annoyance response test was conducted using headphone to avoid cross-talk effect in binaural testing. Percentage of highly annoyed under binaural signal reproduction is higher than percentage of highly annoyed under monaural signal reproduction. Result implies binaural reproduction technique is proper for a study of human response to short-term noise exposure in a headphone simulated-environment.

1. 서 론

21세기에 들어오면서 과학기술과 경제의 급진적 성장과 더불어 사람들이 삶의 질에 대한 관심이 증대되고 있다. 그로 인하여 예전에는 심각하게 여겨지지 않았던 소음 문제가 쾌적한 삶의 저해요소로 작용한다는 인식이 만연해지면서 일종의 선진국형 사회문제

중 하나인 소음관련 민원이 급증하는데 이르렀다.

현행 소음관련 법안 및 규제기준은 단일 마이크로폰으로 측정된 물리량을 사용하고 있으나, Part I: measurement and analysis 에서 언급했던 것과 같이 실제로 사람들의 귀에 들어오는 음향신호는 한 개의 마이크로폰으로 측정된 신호와는 다르다. 또한, 소음원에 따라 사람의 심리적 반응 특성이 다르게 나타나기 때문에 소음원별 세부적인 평가가 행해져야 하며, 인자연구(parametric study)를 통한 소음이 인체에 미치는 영향에 대한 분석이 요구되고 있다.

환경소음에 대한 감성반응 평가와 관련된 연구는 소음의 노출시간에 따라 크게 노출시간이 긴 소음(long-term noise exposure)^(1~4)과 노출시간이 짧은 소음(short-term noise exposure)^(5~7)의 피폭량과 그에 대한 사람의 감성반응과의 상관관계 연구로 나눌 수 있으며, 각 나라의 문화 및 지리적 특성 등에 따

† 책임저자: 정희원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : solee@plaza.snu.ac.kr

Tel : (02) 880-7384, Fax : (02) 875-4360

* 서울대학교 기계항공공학부

** 정희원, 한국표준과학연구원

이 논문은 2004 춘계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

라 동일한 소음이라 할지라도 이에 대한 감성반응 정도가 다르다.

이 논문은 Part I: measurement and analysis 논문의 Part II 부분으로 청감반응실험 결과에 그 초점을 맞추고 있다. 따라서 노출시간이 짧은 소음(short-term noise exposure)의 피폭량과 그에 대한 감성반응과의 상관성 연구의 한 방법으로 가상의 음 재현 환경에서 4가지 교통 소음원의 모노럴(monaural) 및 바이노럴(binaural) 방식에 대한 소음의 피폭량과 심리적 반응과의 관계를 연구하였다.

민간 항공기, 군용 항공기, 기차, 자동차 소음의 모노럴 신호와 바이노럴 신호를 피 실험자에게 40 dB(A)에서 90 dB(A)까지 비순차적으로 들려주고, 이를 듣는 피 실험자가 설문지의 해당 란에 표시하는 방식을 채택하였다.

그리고 청감반응실험을 수행하기에 앞서 피 실험자에 대한 청력 screening 실험을 수행함으로써 피 실험자들의 청력 이상유무를 판단하였다.

우리는 Part I에서 단일 마이크로폰으로 들어오는 신호의 A특성으로 보정된(A-weighted) 음압레벨이 더미헤드의 양 귀에 들어오는 신호의 그것과 큰 차이가 있음을 확인하였다. Part II에서는 모노럴 신호의 A특성으로 보정된 음압레벨을 기준으로 모노럴 신호와 바이노럴 신호에 대한 주관적 반응을 %HA (percentage of highly annoyed)를 지표로 하여 비교하였다.

2. 표본음 및 실험 자극음 구축

단 시간 소음노출(short-term noise exposure)에 대한 피폭량과 성가심 반응의 상관관계 연구의 수행을 위하여 각 소음원 별 표본음을 모노럴 및 바이노럴 측정장치를 이용하여 측정하였으며 이를 토대로 청감반응실험에 사용할 실험 자극음을 구축하였다. 여기서 측정과 관련된 내용은 Part I: measurement and analysis를 참조하기 바란다.

2.1 표본음 구축

측정을 통하여 얻어진 음압 데이터를 Matlab을 이용하여 Wave file을 생성하였으며 $L_{eq}(A)$ 40 dB에서부터 각 소음원의 L_{peak} 값이 출력장치 (Sennheiser HD25)의 최대 지원 출력을 넘지 않는 범위 내에서 소

음원 별 표본음을 생성하였다.

2.2 실험 자극음 구축

각 소음원 별로 서로 다른 소음도를 갖는 표본음을 랜덤하게 나열하여 총 6개 테스트 셋으로 실험 자극음을 구성하였다.

3. 청력 Screening

이 연구에서는 청력 screening을 통하여 청각에 장애가 없는 피 시험자에 대한 자료만을 정량화 모델 개발에 활용하기 위해 국제표준(ISO)안을 근거로 청력검사 장치와 절차를 구축하고 이를 이용한 청력 screening을 수행 하였다.⁽⁸⁻¹⁰⁾

국제표준안은 세 종류의 음장 조건을 권장하고 있다. 첫째가 반사음이 없는 무향실의 자유음장(free field) 조건, 두 번째가 모든 방향으로 전파되는 음압 크기가 균일한 확산음장(diffuse field) 조건, 그리고 준 잔향실(quasi-anechoic room) 조건을 만족하는 준 자유음장(quasi-free field) 조건이다. 또, 위의 표준안은 표준화된 청력(hearing threshold) 시험체계를 양귀를 둘러싼 수화기(supra-aural earphones) 혹은 귀구멍에 삽입형 수화기(insert earphones)를 이용한 기

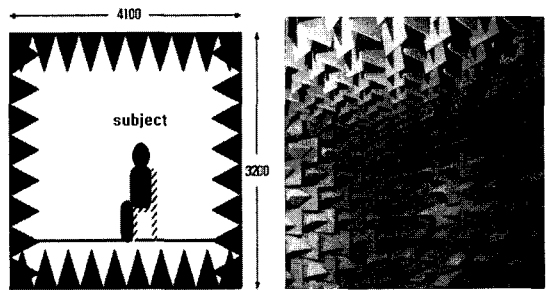


Fig. 1 Interior of anechoic chamber

Table 1 Properties of anechoic chamber

Size	4100 × 4100 × 3200 mm
Test section	3200 × 3200 × 2100 mm
Cutoff frequency	200 Hz
Absorb material	Urethane foam
Background noise	19~23 dB(A)
Purpose	Far field noise measurement

도 청력검사 장치(air conduction audiometry)를 이용하는 방법과 무향실이나 잔향실을 이용한 음장 청력검사 장치(sound field audiometry)로 구분하고 있다.

이 연구에서는 국제표준과의 소급성을 위하여 위의 청력 시험에 관한 국제표준규격을 만족하는 양 귀를 둘러싼 수화기를 사용한 기도 청력검사 방법을 이용한 청력 screening 표준 절차서⁽¹¹⁾를 개발하여 청력 screening에 이용하였다.

청력 검사장치는 양 귀의 최소 가청역치를 측정함으로써 청력손실을 판정하게 된다. 청력 검사장치는 피검자의 최소 가청 음압레벨(minimum threshold sound pressure level)을 측정하는 장치로 측정 시 최소 가청 음압레벨보다 큰 배경소음(background noise)에 의해 쉽게 차폐(masking)된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 영향을 최소화하기 위해 무향실에서 청력 screening 실험을 수행하였다. Fig. 1과 Table 1은 실험에 이용된 무향실 내부모습과 제원을 나타낸 것이다.

3.1 청력 Screening장치 구성

Fig. 2는 청력 screening을 위한 장치 구성도를 나타낸 것이며, 청력 screening에 사용된 순음 자극음은 Matlab을 사용하여 필요한 주파수에 대한 순음을 만들었다. B&K의 Type 4100 표준HATS를 사용하여 기준 주파수인 1 kHz, 94 dB의 순음에 대한 보정을 실시한 후 청력 screening 실험을 수행하였다.

3.2 청력 Screening 방법

측정 장치를 사용한 청력 screening 측정 및 평가 방법은 다음과 같다.⁽¹¹⁾

(1) 헤드폰은 음원의 중심부가 의이도 중심축과 직각이 되도록 착용 시켜 주어야 한다.

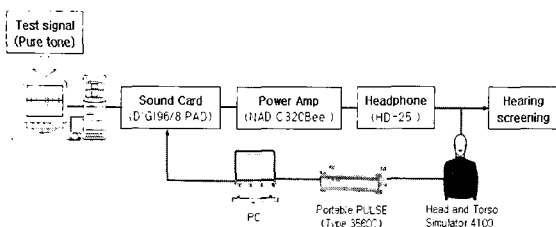


Fig. 2 Schematic diagram for hearing screening test

(2) 청력측정은 1 kHz부터 시작하여 고주파수대로 검사한 후 다시 1 kHz를 재검사하고 저주파수대로 하강하며 검사한다.

단, 1 kHz에서 재검사한 결과가 10 dB 이상 차이를 보이면 재검사를 실시하거나 해당 피검자의 청감 반응 실험의 결과를 screening시키며, 10 dB이하의 차이를 나타내면 낮은 역치를 사용한다.

(3) 각 주파수에 대한 자극음의 지속시간(on-time)은 1~2초로 하고, 동일 자극음은 3회 들려준다. 자극음의 자극간격(off-time)은 3초 이상 불규칙적으로 한다.

(4) 하강법(높은 스펙트럼 레벨부터 레벨 수준을 낮춰 가며 측정)을 이용하여 위의 자극음을 들려준다.

(5) 각 주파수에 대해 3회의 자극음 중 2회 이상 들을 수 있는 자극음을 측정지에 표시한다.

(6) 청력 screening 측정지를 이용하여 피검자의 청력도(audiogram)를 작성한다.

3.2 피검자의 청각 이상유무 판단

청력 screening 평가 절차서⁽¹¹⁾에 따라 얻어진 결과를 ISO 6189:1983, ISO 389-7:1996 및 ISO 7029:2000⁽¹¹⁾에서 정하고 있는 기준 가청 역치 레벨(reference hearing threshold sound pressure level)을 구하고 이를 이용하여 피 시험자에 대한 screening을 수행하였다. Table 2는 성별과 연령에 따른 기준 가청 역치 레벨을 나타낸 것으로 피 실험자가 각 순음에 대한 최대 가청 역치 레벨 이하의 음을 들으면 정상으로 판단하였다.

4. 청감 반응 실험

청감실험은 각종 소음이 인간에게 미치는 영향에 대해 물리적, 생리적(physiological) 그리고 심리적 영향과의 상관성을 규명하는데 중점을 두고 있다. 즉 소음이라는 물리적 자극(does)과 이에 대한 인간의 감성 반응을 측정함으로써 소음의 영향 정도를 평가하는 것이다. 이를 위해서는 소음의 물리적 양을 측정하고 해당 물리량으로 인해 인간에게 나타나는 주관적 반응을 객관적으로 정량화함으로써 개인별 또는 음원 간의 직접적인 비교가 가능토록 하는 과정이 요구된다. 소음으로 인해 야기되는 주관적 반응을 정량화 하는 평가 방법으로는 심리 측정학적 방법(psychometric methods)

과 심리물리학적방법(psychophysical methods)들이 사용되고 있으며, 이 연구에서는 심리측정학적 방법 중에서 음원을 피검자에게 들려주고 이에 대한 주관적 느낌을 제공된 카테고리(category)를 이용하여 표현하는 평정척도(categorical scale)를 활용하여 연구를 수행하였다. 일반적으로 각 카테고리에는 감각의 크기나 심리적 특성의 증가 또는 감소의 순으로 표시하는 서열척도(ordinal scale)가 사용되며, 이 연구에서는 Table 3에서 보는 것과 같이 0(전혀 성가시지 않음)에서 10(매우 성가심)까지의 11개의 스케일을 사용하여 피검자의 소음에 대한 청감반응 실험을 수행하였다.

4.1 실험장치 구성

음 재현 장치는 헤드폰을 통해서 재생되는 음 환경에 대한 인간의 감성평가를 수행하기 위해서 재생될 때 녹취된 교통소음 표본음이 녹취될 당시의 표본 원음과 같아야 한다. 따라서 음 재생 시 실제 환경과 유사한 주파수, 크기 등과 같은 음향특성에 대한 왜곡이 없어야 한다. 따라서 가능한 원음의 왜곡을 최

Table 3 Annoyance scale used in annoyance response test

Not at all							Extremely			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Table 2 Reference hearing threshold SPL (dB)⁽¹²⁾

Ages	Sex	Q	Frequency (Hz)									
			125	250	500	1 K	1.5 K	2 K	3 K	4 K	6 K	8 K
20~29	Male	0.9	38	20	7.5	1.5	0.5	2	3.5	4	6	4.5
		0.5	45	27	13.5	7.5	7.5	9	11.5	12	16	15.5
		0.1	54	36	21.5	15.5	16.5	18	21.5	23	28	29.5
	Female	0.9	38	21	7.5	1.5	0.5	2	4.5	4	7	4.5
		0.5	45	27	13.5	7.5	7.5	9	11.5	12	16	15.5
		0.1	54	35	21.5	15.5	16.5	18	20.5	22	28	29.5
30~39	Male	0.9	38	20	7.5	1.5	1.5	2	4.5	5	8	6.5
		0.5	45	27	14.5	8.5	8.5	10	13.5	14	19	18.5
		0.1	55	36	22.5	16.5	17.5	20	24.5	26	32	34.5
	Female	0.9	38	21	7.5	1.5	1.5	3	4.5	5	8	5.5
		0.5	45	27	14.5	8.5	8.5	10	12.5	13	18	17.5
		0.1	54	36	22.5	16.5	17.5	19	22.5	24	28	32.5
40~49	Male	0.9	38	21	8.5	2.5	2.5	3	6.5	8	11	10.5
		0.5	47	29	15.5	9.5	10.5	12	17.5	20	25	26.5
		0.1	57	38	24.5	18.5	20.5	24	30.5	35	42	45.5
	Female	0.9	39	22	8.5	2.5	2.5	4	6.5	6	10	8.5
		0.5	47	29	15.5	9.5	9.5	12	15.5	16	22	22.5
		0.1	56	37	24.5	18.5	19.5	22	26.5	29	37	40.5
50~59	Male	0.9	39	22	9.5	3.5	3.5	3	9.5	12	16	16.5
		0.5	48	30	17.5	11.5	13.5	16	23.5	28	34	38.5
		0.1	59	40	22.5	21.5	24.5	30	40.5	48	57	64.5
	Female	0.9	40	22	9.5	3.5	3.5	6	8.5	9	14	18.5
		0.5	48	30	17.5	11.5	12.5	15	19.5	21	28	30.5
		0.1	58	40	27.5	21.5	24.5	27	32.5	36	47	53.5
60~69	Male	0.9	41	23	10.5	5.5	5.5	8	14.5	19	24	25.5
		0.5	50	32	19.5	14.5	17.5	21	31.5	40	48	54.5
		0.1	63	44	31.5	26.5	31.5	38	53.5	67	78	90.5
	Female	0.9	41	24	10.5	5.5	5.5	8	8.5	9	14	18.5
		0.5	48	30	17.5	11.5	12.5	20	24.5	28	37	42.5
		0.1	62	43	31.5	26.5	29.5	34	41.5	47	61	70.5

Q : Fractile of normal population

소화 할 수 있는 장비들을 사용하여 음 재현 장치를 구성하였다.

Fig. 3은 청감반응실험 장치의 구성도를 나타낸 것이며, 녹취된 표본음의 출력 크기를 보정하기 위한 시스템을 포함하고 있다. 표본음은 재생장치의 동작 상태(예, sound card 및 power amp의 볼륨 상태)에 따라 헤드폰을 통해 출력되는 음의 크기가 달라지게 된다. 따라서 헤드폰을 통해 피검자가 듣게 될 표본음의 크기를 녹취될 당시의 표본음과 같도록 보정해 주어야 하는데 본 보정 시스템에서는 음 보정을 위하여 주파수가 1kHz, 94dB의 크기를 가지는 순음을 기준으로 하여 보정을 수행하였다.

4.2 실험 장소 및 방법

청감반응실험은 청력 screening 테스트와 마찬가지로 배경소음에 의한 음의 차폐를 막기 위하여 기본적으로 무향실에 하는 것을 원칙으로 하였다. 청감반응 실험에 사용된 무향실의 내부모습 및 전경은 Fig. 1과 Table 1과 같다. 청감반응실험은 소음원 별 모노럴, 바이노럴 신호를 랜덤하게 구성한 총 6개 셋의 실험 자극물 피 실험자에게 들려주고 기 작성된 청감반응 실험 용지(Table 3 참고)에 각 음에 대한 0~10까지의 annoyance scale에 표시 하는 방식으로 진행되었

Table 4 Subjects status in annoyance response test

Ages	Sex	
	Male	Female
20~29	232	124
30~39	50	35
40~49	44	23
50~	59	48

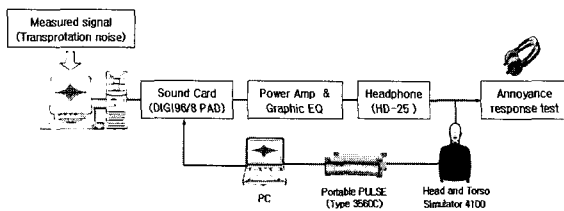


Fig. 3 Schematic diagram for annoyance response test

다. 또한, 재생되는 자극물들 사이에는 충분한 시간적 여유를 줌으로써 앞서 들려준 소음에 대한 반응이 현재에 듣는 소음에 대한 반응으로의 영향이 최소화 되게 하였으며, 양질의 데이터를 확보하기 위하여 반응 실험에 임하는 피 실험자의 실험 목적과 실험 방법, 유의점에 대한 충분한 사전 교육을 실시하였다.

4.3 피 실험자 현황

교통소음에 대한 감성반응과 모노럴 및 바이노럴 방식에 의한 음의 물리적 특성과 사람의 감성반응과의 상관성 등을 비교, 분석하기 위해 615명의 피 실험자를 대상으로 소음도에 대해서 랜덤하게 제시되는 물리량에 대한 annoyance scale을 작성하도록 하는 청감반응실험을 수행하였다.

Table 4는 청감반응실험에 참가한 피 실험자들의 현황을 나타낸다.

5. 데이터 분석

615명의 피실험자를 대상으로 수행한 청감반응실험을 통하여 얻어진 데이터를 SPSS ver. 10.0을 사용하여 회귀분석을 수행하였다.

민간 항공기, 군용 항공기, 기차, 자동차 소음에 대한 회귀분석 결과는 Fig. 4~7과 같다.

모노럴 방식에 비하여 바이노럴 방식의 A특성으로 보정된 소음도가 콧바퀴 효과에 의한 고주파 대역에서의 증폭으로 인하여 상대적으로 높게 나타나고 있

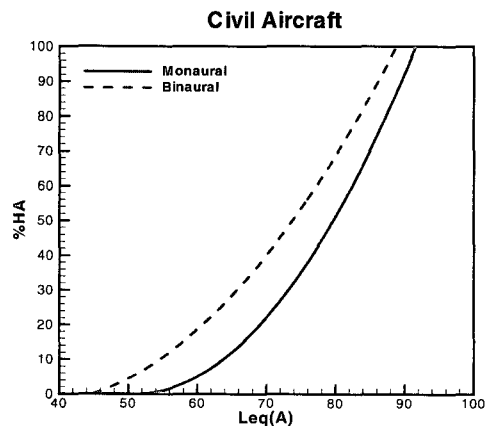


Fig. 4 Comparison of annoyance response to civil aircraft (monaural: solid line, binaural: dashed line)

음을 Part I.에서 확인하였다. 따라서 이로 인하여 바이노럴 방식의 경우가 성가심, 불쾌감 정도가 높게 나타남을 아래 그림들을 통해 알 수 있다.

청감이 가장 민감한 대역은 약 2~5 kHz로⁽¹³⁾ 이는 컷바퀴 효과에 의해 증폭이 되는 대역이 맞물림으로써 청감에 적지 않은 영향을 미치며, 이러한 효과가 성가심(annoyance) 반응에 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

회귀 모델은 Quadratic 모델과 Cubic 모델을 소음의 결정 계수 크기(물리적 크기로 사람의 감성반응을 나타낼 수 있는 정도의 척도)에 따라 선택적으로 사용하였으며, 소음원 별 모노럴과 바이노럴 방식의 회

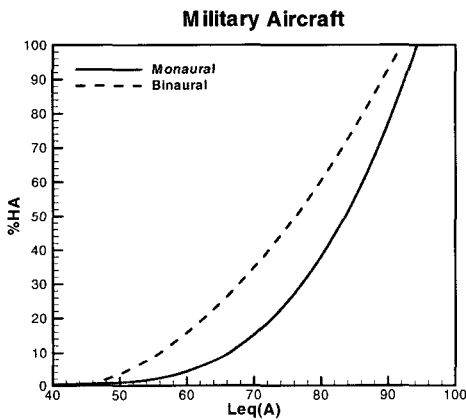


Fig. 5 Comparison of annoyance response to military aircraft (monaural: solid line, binaural: dashed line)

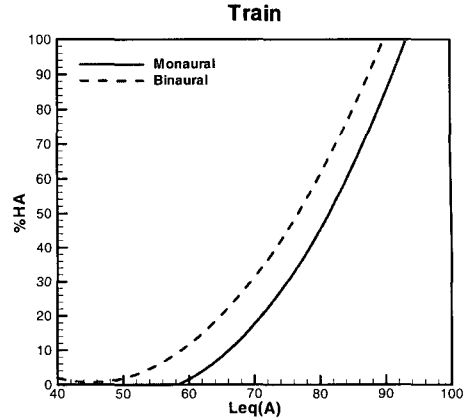


Fig. 6 Comparison of annoyance response to train (monaural: solid line, binaural: dashed line)

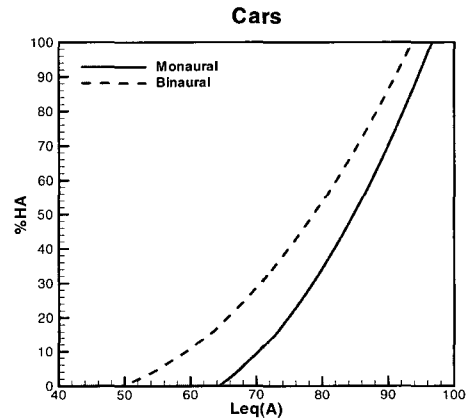


Fig. 7 Comparison of annoyance response to road traffic noise (monaural: solid line, binaural: dashed line)

Table 5 Regression equations (monaural)

Noise source	Regression equation	R ²
Civil aircraft	$% HA = 155.867 - 6.133 Leq(A) + 0.060 [Leq(A)]^2$	0.971
Military aircraft	$% HA = 288.046 + 4.307 Leq(A) - 0.098 [Leq(A)]^2 + 0.00075 [Leq(A)]^3$	0.996
Road traffic	$% HA = 141.918 - 5.744 Leq(A) + 0.055 [Leq(A)]^2$	0.925
Train	$% HA = 148.75 - 5.928 Leq(A) + 214.697 [Leq(A)]^2$	0.977

Table 6 Regression equations (binaural)

Noise source	Regression equation	R ²
Civil aircraft	$% HA = 43.088 - 2.596 Leq(A) + 0.036 [Leq(A)]^2$	0.961
Military aircraft	$% HA = 42.123 - 2.439 Leq(A) + 0.334 [Leq(A)]^2$	0.983
Road traffic	$% HA = 57.13 - 2.954 Leq(A) + 0.0364 [Leq(A)]^2$	0.965
Train	$% HA = 101.552 - 4.472 Leq(A) + 0.807 [Leq(A)]^2$	0.959

귀식은 Table 5~6과 같다.

각 표에 나타난 결정계수(R^2)는 총 분산에 대한 회귀 분산의 비(여기서 총 분산은 회귀분산과 오차분산의 합이다)로 정의되며, 소음의 물리적 크기에 대한 사람의 감성반응에 대한 설명력의 크기를 나타내는 척도를 나타낸다.

6. 결 론

615명의 피 실험자를 대상으로 청력 screening 실험을 통해 물리적 요인에 의한 청력손실 유무를 파악하였고, 청감반응실험을 수행하였다. 분석에 사용된 데이터는 청력에 이상이 있는 피 실험자들의 데이터는 모두 배제시켰으며, 그것을 제외한 나머지 데이터를 바탕으로 소음원 별 모노럴과 바이노럴 방식에 대한 감성반응 비교를 하였다.

그 결과 4가지 소음원 모두 바이노럴 방식에 대한 성가심 반응이 모노럴 방식에 비해 높게 나타났다. 이는 앞서 설명했던 Part I: measurement and analysis에서 분석된 결과로부터 A특성으로 보정된 바이노럴 신호의 음압레벨은 동 특성을 고려한 모노럴 신호의 음압레벨보다 5 dB 이상 높게 나타남을 알 수 있었다. 이는 곧, 바이노럴 방식의 소음 피폭량이 모노럴 방식의 피폭량에 비해 훨씬 크다고 간주할 수 있다.

그리고 바이노럴 신호의 컷바퀴 회절에 의한 증폭 효과가 나타나는 주파수 대역은 청감이 가장 민감한 부분과 거의 일치한다. 이러한 이유로 인해 바이노럴 방식의 성가심 반응이 더 높게 나타난 것으로 생각된다.

이상의 결론을 바탕으로 소음을 녹취하는 방법으로 피폭량과 감성반응의 상관관계 연구를 하고자 할 때에는 소리의 물리적 현상에 대한 정보를 많이 포함하고 있는 바이노럴 방식을 채택하여 수행하는 것이 타당하다고 할 수 있으며, 모노럴 방식이나 모노럴 신호의 인위적 시간지연, 위상변화, 신호의 증폭으로는 정확한 감성반응 평가가 될 수 없다.

끝으로 현재의 소음규제 방법 및 관련 법안은 소음에 대한 감성 반응뿐만 아니라 사람이 가지고 있는 대칭형 청각기관인 양귀의 특성 또한 전혀 고려하지 않고 있다. 따라서 규제기준 및 관련 법규에서 제시

하고 있는 물리량은 실제로 사람에게 피폭되는 물리량과는 상당한 차이가 있다.

후 기

이 연구는 한국환경기술진흥원, 차세대 핵심환경기술 개발 사업의 일환으로 연구된 것임.

참 고 문 헌

- (1) T. J. Schultz, 1978, "Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 64, No. 2, pp. 377~405.
- (2) Henk M. E. Miedema and Henk Vos, 1999, "Demographic and Attitudinal Factors that Modify Annoyance from Transportation Noise," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 105, No. 6, pp. 3336~3344.
- (3) Lawrence S. Finegold, 2003, "Progress on Developing a Model Community Noise Ordinance as a National Standard in the U.S.," *Internoise 2003*, (N589).
- (4) Lawrence S. Finegold, Michiko S. Finegold, 2002, "Development of Exposure-response Relationships Between Transportation Noise and Community Annoyance," Japan Net-Symposium on Annoyance, Stress and Health Effects of Environmental Noise, November-December 2002.
- (5) G. Labiale, 1983, "Laboratory Study of the Influence of Noise Level and Vehicle Number and Annoyance," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 90, No. 3, pp. 361~371.
- (6) E. ÖHSTRÖM, M. BJÖRKMAN and R. RYLANDER, 1980, "Laboratory Annoyance and Different Traffic Noise Sources," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 70, No. 3, pp. 334~341.
- (7) S. Kurra, M. Morimoto, Z. I. Maekawa, 1999, "Transport Noise Annoyance - A simulated - Environment Study for Road, Railway and Aircraft Noises, Part 1: Overall Annoyance," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 220, No. 2, pp. 251~278

(8) ISO 8253-1: 1989, Acoustics - Audiometric test methods - Part 1: Basic Pure Tone Air and Bone Conduction Threshold Audiometry.

(9) ISO 8253-2: 1992, Acoustics "Audio-metric Test Methods - Part 2: Sound Field Audiometry with Pure Tone Air and Narrow-band Test Signals.

(10) ISO 8253-3: 1996, Acoustics "Audiometric Test Methods - Part 3: Speech Audiometry.

(11) 임창우, 이수갑, 2003, "청력 Screening 평가 절차서," CENVR-2003-04.

(12) ISO 7029: 2000, Acoustics - Statistical Distribution of Hearing Thresholds as a Function of Age.

(13) E. Zwicker, H. Fastl, 1999, "Psychoacoustics: Facts and Models", Second Updated Edition, Section 8.