

# 고속철도와 일반철도소음의 성가심 반응에 대한 청감실험 비교 연구

## Jury Evaluation Test for Annoyance Response of KTX(Korea Train Express) and Ordinary Train Noise

전 형 준\* · 김 득 성\* · 고 준 희\* · 장 서 일†

Hyung-Joon Chun, Deuk-Sung Kim, Joon-Hee Ko and Seo-II Chang

(2007년 10월 31일 접수 ; 2008년 2월 15일 심사완료)

**Key Words** : Frequency Characteristics(주파수 특성), Annoyance(성가심), Semantic Differential Method(어의 차이척도법), Bonus Level(보너스 레벨)

### ABSTRACT

In recent years, public complaints against railroad noise by KTX and Ordinary train have been rising. Regulation of railways noise uses same standard without distinguishing the type of railroad cars. According to the type of railroad cars, the frequency characteristics of emitting noise is different. Therefore it is requested to know how the public response vary to each types of railroad cars. The noise annoyance from three types of trains(KTX, electric train, diesel train) was analyzed by jury evaluation test for assessing the effect of frequency characteristics. The numerical results by a semantic differential method showed that annoyance response to three type of trains depended on the frequency characteristics. As a result, this study proposed that the KTX could have a bonus level of maximum 2.9 dB(A) compared to ordinary train.

### 1. 서 론

철도는 국가의 기간산업으로 안전하고 편리한 대용량의 여객 및 화물의 운송수단으로 이용되고 있다. 현재 고속철도와 도시철도를 포함한 철도의 신설 및 증설이 광범위한 지역에서 진행되고 있어 교통 및 수송수단으로서의 비중이 더욱 커질 전망이다. 철도 운행 빈도의 증가와 고속화로 인하여 생기는 환경소음의 문제는 열차 내의 승객뿐만 아니라 선로주변 주민들에게도 영향을 주기도 한다. 철도의 소음·진동 원인으로는 편마모된 차륜과 레일 접촉으로 발생하는 차륜/레일 소음·진동, 디젤엔진과 같은 추진 장치로부터 발생하는 추진소음, 고속으로 운행

하는 차량표면에서 형성되는 난류층에 의해 발생하는 공력소음 등이 있다. 이에 철도소음에 의한 소음성 불쾌감과 관련된 위해성 평가를 위하여 각 철도소음원별로 동일 물리량(Leq)을 사용하여 청감실험을 통하여 각 소음원의 특징 및 영향을 살펴볼 필요가 있다.

### 2. 이론적 배경

#### 2.1 Annoyance(성가심)와 %HA<sup>(1,2)</sup>

이 연구에서는 성가심 척도를 이용한 철도 소음원을 대상으로 청감실험을 실시하였다. Annoyance(성가심)란, 사람들이 거슬린다고 느끼는 원인이나 조건들 같은 불쾌한 감정을 말한다. EU의 새로운 환경소음시행령에는 포함되어 있지 않지만 시행령 제정에 앞서 EC(European Community, 이후 EC라 함) 환경소음 전문가 그룹 1(working group 1)은 환경소음의 위해성 평가를 위한 소음 지시치(complex

† 교신저자 : 정희원, 서울시립대학교 환경공학과  
E-mail : schang@uos.ac.kr  
Tel : (02)2210-2177, Fax : (02)2210-2877

\* 정희원, 서울시립대학교 환경공학과

indicators)에 대해 전체 주민 중 소음성 성가심(annoyance)을 호소하는 주민의 비율을 지표화 하는 방법을 제안하고 있으며, 그 내용은 다음의 세 가지로 구분된다.

- “%HA” : ‘—높게’ 소음성 성가심을 호소하는 주민 백분율(percentage of the population that is highly annoyed)
- “%A” : ‘—보통으로’ 소음성 성가심을 호소하는 주민 백분율(percentage of the population that is annoyed)
- “%LA” : ‘—낮게’ 소음성 성가심을 호소하는 주민 백분율(percentage of the population that is lowly annoyed)

소음에 대한 소음성 성가심의 정도를 0(전혀 불쾌하지 않은, “Not at all annoyed”)에서 100(매우 불쾌한, “Extremely annoyed”)으로 하는 감성척도에서 72 혹은 그 이상의 소음성 성가심을 호소하는 경우를 “-HA(highly annoyed)” 범주로, 감성척도에서 50 혹은 그 이상의 정도의 소음성 불쾌감을 호소하는 경우를 “-A(annoyed)” 범주로, 그리고 감성척도에서 28 혹은 그 이하의 소음성 성가심을 평가하는 경우를 “-LA(less annoyed)” 범주로 각각 구분한다.

2.2 청감실험

이 연구에서 청감실험은 jury evaluation의 형태로 진행되었다. Jury evaluation이란 어떤 자극이 제시되면 평가원들이 자극에 대하여 주관적인 평가를 내리거나, 자극에 대하여 상대적인 비교를 하는 방법이다 그 중 이 연구에서는 semantic differential method(어의차이척도법, SDM)을 사용하였다. SDM은 소음의 특성(불쾌감 등)에 대한 적절한 어휘가 적용된 척도기법으로 관한 평가를 진행한다. 음원에 대해 적절히 묘사할 수 있는 형용사 어구 등을 이용한 척도로 평가를 진행하는데 이러한 형용사 등은 음원의 속성이나 인상으로 이루어져 있다.

2.3 통계기법

이 연구에서는 철도소음원별 세 가지 음원에 결과 도출을 위하여 물리량을 변화하며 청감실험을 통한 성가심 반응을 살펴보았다. 실험결과의 data는 Leq와 Lmax의 차이점을 보기 위하여 단순 집계와 %HA 산정을 위하여 통계기법인 빈도 분석

(frequency analysis)과 %HA와 Leq의 상관성 및 통계검증을 위하여 요인분석(factor analysis)을 사용하였다.

(1) 빈도분석(Frequency Analysis)<sup>(3)</sup>

빈도분석(frequency analysis)이란 분류형(범주형) 변수에 대한 빈도표(frequency table)를 작성하고 그에 적절한 그래프(바 차트, 파이 차트)를 그리는 분석 방법이다. 빈도표에는 변수의 수준별 빈도(frequency), 상대비율이(relative percentage %) 모두 나타나 있으나 그래프는 상대비율로 그리면 된다.

(2) 요인분석(Factor Analysis)<sup>(3)</sup>

요인분석은 다수 변수들 간의 상관관계를 이용하여 변수들 간의 체계적인 구조를 밝히고 서로 유사한 변수끼리 묶어주는 다변량 통계기법 중의 하나이다. 즉, 여러 개의 변수들이 서로 어떻게 연결되어 있는가를 분석하여 이들 변수간의 관계를 공동요인을 이용하여 설명하는 분석기법이다. 따라서 요인분석은 과다한 정보로 인한 문제를 해결해 주고, 자료의 성격을 쉽게 파악할 수 있도록 도와준다.

2.4 선행연구의 검토<sup>(4)</sup>

이 연구와 같이 각열차별로 외부소음도를 이용하여 비교한 연구는 네덜란드교통국에서 법률제정을 위하여 진행하였다. 평균노출도에서의 결론으로 일반열차와 고속열차의 성가심의 차이가 크지 않은 것으로 나왔으나, 이 연구와 비교하여 열차별 주파수 분석에서 다른 레벨들을 보였다. 이에 이 연구와 비교 할 수 있는 결과로는 Fig. 1과 같다.

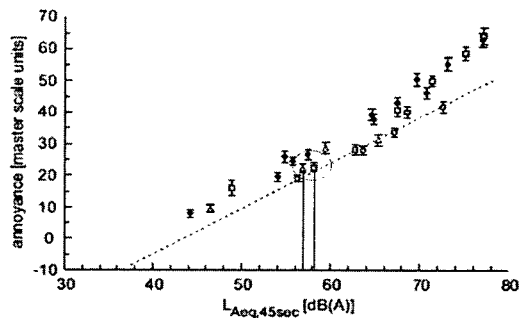


Fig. 1 Average master scaled annoyance versus LAeq, 45s for the conventional listening test, for different types of train sounds: (△)IC train, (□)TGV and (◆)maglev train. In comparison, the annoyance for the highway traffic (○) is also shown

Fig. 1에서 보듯이 △일반열차와 □고속열차(TGV)를 비교해보면, 일반열차의 경우 레벨별 성가심도가 고속열차에 비하여 적기에 비슷한 성가심 25%에서의 레벨비교는 일반열차가 56.5 dB(A), 고속열차가 58.5 dB(A)로 약 2 dB(A)의 차를 보이고 있다. 이는 이 연구에서 진행된 레벨별 비교에서 나온 50% 성가심 차이인 2.9 dB(A)와 유사한 값을 보인다.

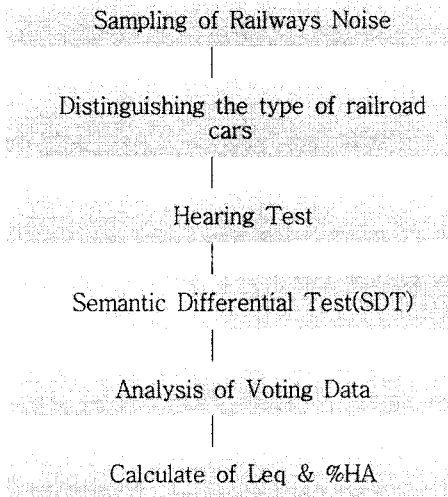


Fig.2 Flow chart of jury evaluation test and annoyance model

### 3. 연구방법

#### 3.1 연구방법

이 연구에서는 소음 특성이 다른 철도소음원별로 청감실험에 의한 성가심 결과를 이용하여 철도소음의 평가인자를 비교하는 연구를 수행하였다. 이를 위하여 철도종류별로 철도소음원이 지나갈 때(pass-by) 발생하는 소음을 녹음하여 물리량 변화를 통한 실험자들의 반응을 평가·비교하여 철도소음원별로 평가인자의 적합성 및 특징들을 찾아보았다.

#### 3.2 철도소음 측정·분석

##### (1) 철도소음원 측정

철도소음원의 측정은 청감실험을 위하여 녹음 장비로써 Head Acoustics사의 HMSIII(dummy head)를 이용하였다. 소음원별 측정방법은 Table 1과 같다.

##### (2) 철도소음원 분석

철도소음원별 특성을 알아보기 위하여 각 샘플별 주파수 성분 분석을 실시하였다. 더미헤드의 left 채널을 기준으로 샘플의 Leq 70 dB(A)를 예로 들어 분석 한 것이다. Fig. 3 중 위의 그림은 시간에 따른 주파수 변화이고, 아래 그림은 시간에 따른 레벨 변화이다.

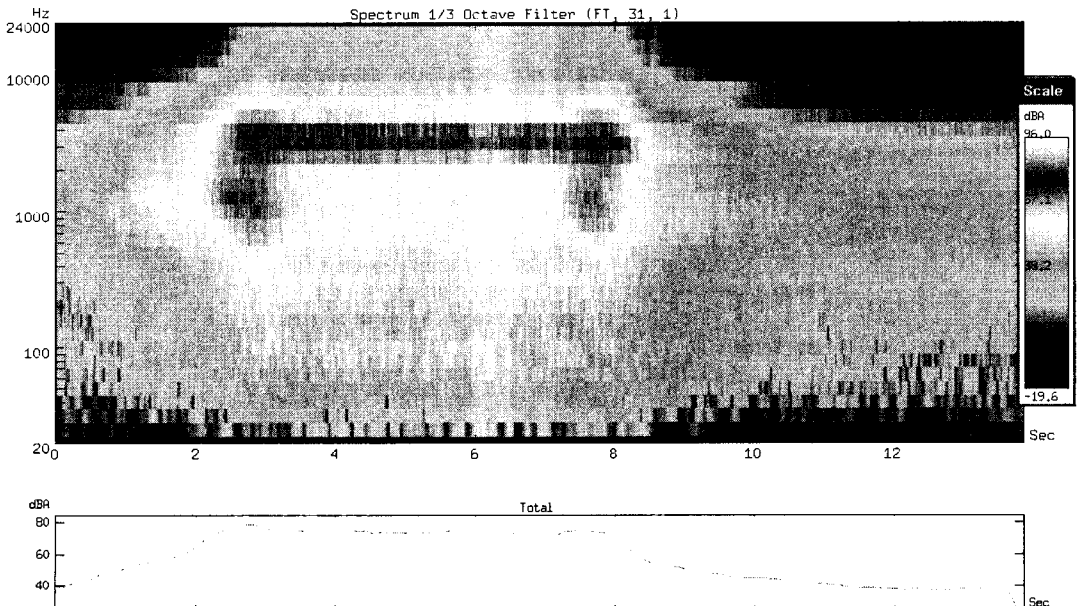


Fig. 3 Sonogram and time series of sound sample(KTX 70 dB(A))

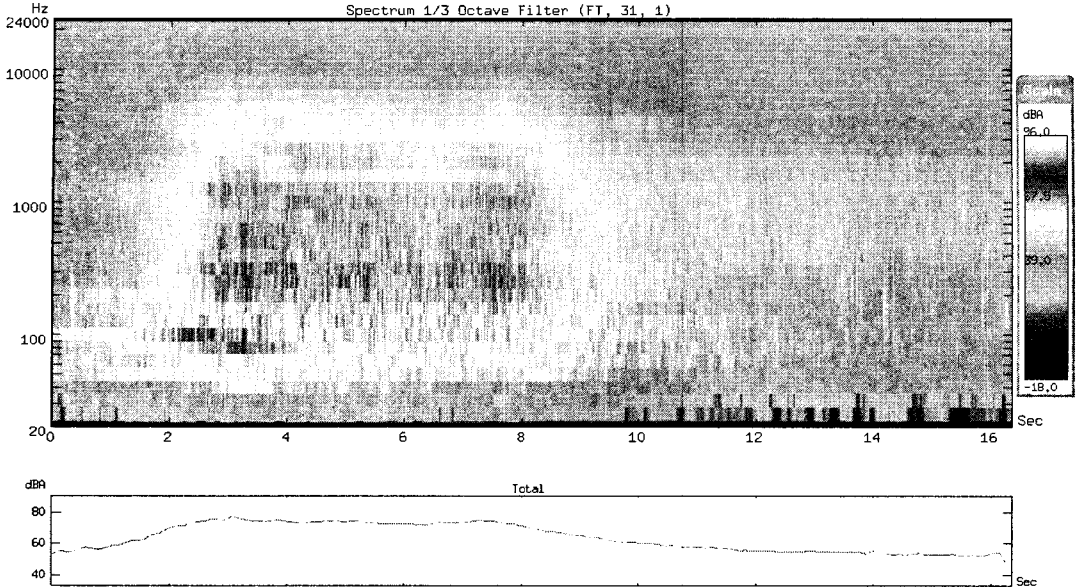


Fig. 4 Sonogram and time series of sound sample(electric 70 dB(A))

Table 1 Method of noise measurement

Type	Railroad noise		
	KTX	Ordinary train	Note
Topography	Flatness		Similarity
Height	1.5 m		
Distance	15 m		
Wall	No wall		
Speed	295 km/hr	Avg. 80~90 km/hr	-
Wind	3 m/sec	1 m/sec	-
Background noise	Traffic noise	-	-
Event	3 unit / 1 hour	4 unit / 1 hour	-

가. 고속철도(KTX)

KTX의 주파수 성분의 특징은 고주파 영역에서 70 dB(A)이상의 높은 레벨로 약 6초 정도의 지속시간을 보이고 있다. 주된 주파수대역은 4000 Hz 이며, 100 Hz 이하와 10000 Hz 이상에서는 아주 낮은 레벨을 보이고 있다. 또한 3초 부근과 8초 부근의 1000~4000 Hz 대역의 높은 레벨은 KTX 객차가 앞·뒤로 연결 되어 있어 지나가는(pass-by) 객차의 공력소음 등으로 판단되어진다. 이러한 고주파성분의 주파수 성분은 향후 청감실험 결과에 크게 영향을 줄 것으로 예상된다.

나. 전기기관차

전기기관차의 주파수 성분은 KTX에 비하여 전 주파수 대역에서 널리 분포 하며, 높은 레벨을 보이고 있다. 특히 100 Hz~4000 Hz 사이에서 5초 이상의 70 dB(A)내외의 높은 레벨을 보인다. 10 kHz 이상에서도 KTX에 비하여 높은 레벨인 40 dB(A)을 보이며, 50 Hz 이하에서만 낮은 레벨 20 dB(A)로 분포되고 있다. 시간에 따른 레벨 변화도 KTX에 비하여 완곡한 모습을 보이고 있는데, 이는 같은 전기를 동력으로 쓰는 객차지만 객차 속력의 차이와 객차 길이 등으로 다른 주파수 성분을 가지는 것으로 보인다.

다. 디젤기관차

디젤기관차의 주파수 성분은 전 주파수 대역에서 널리 분포 하며, 100 Hz~10 kHz 사이에서 지속시간이 가장 짧은 3초간 70 dB(A) 내외의 높은 레벨을 보인다. 특히 100 Hz~200 Hz 대역에서 가장 높은 레벨을 보인다. 디젤기관차의 특징은 저주파 대역에서 높은 레벨을 보이고, 높은 레벨의 지속시간이 짧고, 객차가 지나간 후 소음이 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 특징은 청감실험에서 급격한 레벨차이와 저주파대역에서의 높은 레벨로 인하여 성가심 유발이 클 것으로 보인다.

3.3 청감실험

(1) 청감실험실 환경 및 장비 설정

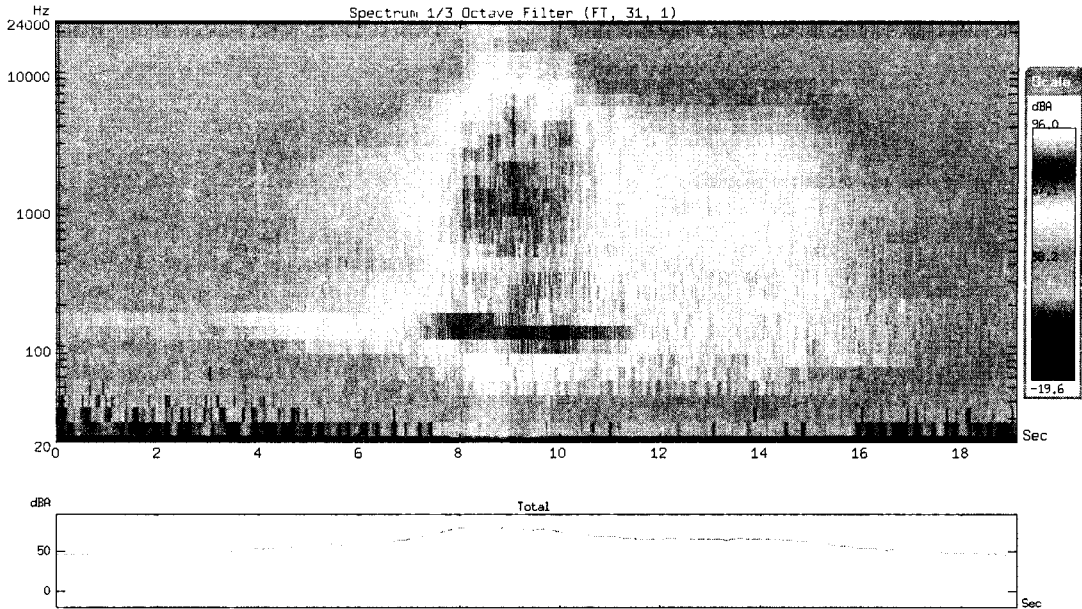


Fig. 5 Sonogram and time series of sound sample(diesel 70 dB(A))

가. 음향환경

이 연구에서 청감실험이 진행된 곳은 무향실이 아닌 청감실이다. 헤드폰은 ‘Sennheiser’사의 소음 재현성이 뛰어난 ‘HD 580’기종을 사용하여, 각 평가원들마다 동일한 주파수 특성과 소음레벨을 들려주었다.

나. 실내환경

청감실은 실내에 공조시설로 급기(에어컨), 배기

(흡기 팬)와 전기시설 백열조명(6구), PDP 모니터를 갖추고 있다. 또한 평가원들이 편안함을 느낄 수 있도록 아이보리색의 천으로 마감한 벽으로 이루어져 있으며, 테이블과 의자 역시 편안한 상태를 유지할 수 있는 것으로 구성 되어 있다.

다. 음원설정

1차 측정 시 4회 이상 측정된 데이터에서 동일 조건을 고려하였다. 최소한의 배경소음 유입 지점에서 샘플의 지나가는(pass-by) 지속시간은 전체 배경소음에서 10 dB 올라가는 지점으로 선택하였다. 즉, 열차가 수음자에게 들리는 레벨을 배경소음 보다 10 dB 높게 선택하여 그 레벨부터 열차소음을 인지하게 하였다. 이런 작업을 통하여 각 샘플의 청음시간은 KTX 13.7초, 전기관차 19.0초, 디젤기관차 16.0초로 하였다. 각 소음원별로 동일한 작업을 수행하여 샘플은 5 dB(A)간격으로 50 dB(A)~70 dB(A) 까지 5개의 동일 물리량(Leq 기준)으로 15개로 변환하였다.

라. 장비설정

청감실험에 사용한 샘플의 음은 청감실험 프로그램을 사용하여 컴퓨터 내에 사운드카드를 거쳐 앰프(Amplifier, Samson사의 SX-1200)와 믹싱콘솔(Mixing Console, Yamaha사의 O1V-96)을 통하여 6채널의 분배기(splitter)로 연결되어 4명의 평가자

Table 2 Comparison of the characteristic between listening room and ASE standard or SAE guideline<sup>(5-7)</sup>

Listening environment	AES	SAE	Listening room
Working area (m <sup>2</sup> )	+20	-	19.7
Minimum ceiling height (m)	2.1	-	2.445
Volume (m <sup>3</sup> )	50~150	-	63.4 <sup>[Note1]</sup>
NRC <sup>[Note4]</sup>	-	-	0.835
Ambient noise	dB(A)	35	22.6
	dB(C)	50	45.4
	NCB <sup>[Note5]</sup>	-	20
NR(dB) <sup>[Note6]</sup>	-	-	20
Temperature	-	72~75°F <sup>[Note3]</sup>	22~24°C <sup>[Note2]</sup>
Relative humidity	-	45~55% <sup>[note2]</sup>	45~55%

Note : 1. Volume includes of CR volume(15.3m<sup>3</sup>).  
 2. a thermo-hygrostat  
 3. 72~75°F is 22.2~ 23.9°C.  
 4. NRC=Noise reduction coefficient  
 5. NCB=Balanced noise criterion  
 6. NR=Noise reduction.

들에게 각각의 헤드폰으로 들려준다. 평가원 개인별 키패드는 키패드 허브로 연결되어 컴퓨터 프로그램에 입력된다. 실험방법과 설명, 실험과정 등은 정면에 위치한 고화질 PDP 모니터 화면을 사용하여 진행하였다.

(2) 청력검사

이 연구에서는 청력검사(screening)는 평가원 모두가 20~30대의 신체 건강한 남녀로써 청력의 정상/비정상 기준인 산업안전보건법 규정의 순음청력 검사에 준하는 간이 청력검사를 실시하였다. 회화영역에 속하는 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 및 고주파 대역에 4000 Hz, 8000 Hz, 16000 Hz의 순음을 left, right를 랜덤하게 순차적인 레벨 변화를 주면서 평가원들에게 들려주었다. 실험에 참여한 전 인원은 정상청력을 보였다.

(3) 청감실험

가. 평가원

이 청감실험에서는 본교 대학생과 대학원생 중 본 연구실에서 청감실험을 경험 했던 이들을 주된 대상으로 53명(남자 32명, 여자 21명)이 청감실험에 참여하였다.

나. 평가원의 사전교육

평가원들은 샘플에 대한 자신의 의견을 선택하는 임무만 주어지기 때문에 특별한 교육의 필요성은 없었다. 다만, 평가 수행과정에 대해서 키패드 사용법과 평가방법의 설명을 하였다.

다. Semantic Differential Method(어의차이 척도법, SDM)

음원에 대한 평가는 감각의 크기나 심리적으로 느낀 특성에 대한 7점 척도(7-points numerical scale)를 사용하였다. 하나의 샘플을 들은 후 10초

내에 “전혀-별로-조금-보통-꽤-매우-엄청나게”로 1점부터 7점까지 점수화 시킨 데이터를 수집 하였다. 데이터들은 컴퓨터 프로그램에 저장되어 %A(annoyed)와 %HA(highly annoyed)를 이용한 각 소음원별 소음기준의 기준치 비교와 그에 따른 ‘bonus level’<sup>(8~10)</sup>을 위하여 “빈도분석” 및 “요인분석”을 실시하였다.

4. 연구결과

SDM을 이용하여 각 소음원별 물리적 크기에 대한 성가심(annoyance) 정도 즉, “전혀-별로-조금-보통-꽤-매우-엄청나게”척도를 사용하여 보통으로 성가심을 호소하는 %A(annoyed)를 이용한 철도소음기준을 찾아보고, 높은 성가심을 호소하는 %HA(highly annoyed)를 이용한 샘플별 비교를 하였다.

4.1 철도소음기준의 비교

데이터를 이용하여 각 레벨별 성가심 척도로 빈도 분석(frequency analysis)하여 %A(annoyed)인 보통의 성가심으로 등가물리량(Leq)과 최고소음도(Lmax)의 철도소음기준을 비교하였다.

(1) Leq 비교

각 소음원 별로 %Annoyance인 “보통 성가심, 4점”에서 Leq를 비교해보면 Table 3과 Fig. 7과 같다. 청감실험에 의한 결과를 이용하여 등가물리량

Table 3 Leq of %A(annoyed)

%A(annoyance)	KTX	Electric	Diesel
Leq	57.3 dB(A)	54.7 dB(A)	54.4 dB(A)

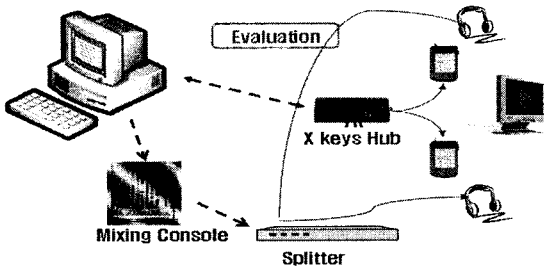


Fig. 6 Hardware setting of auditory perception experiment

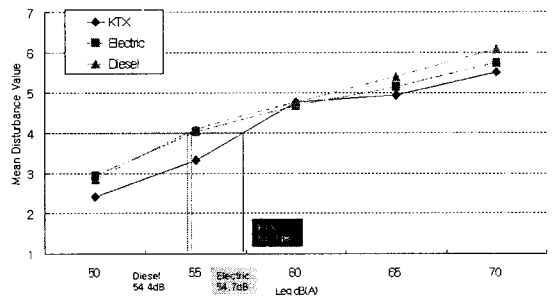


Fig. 7 Leq of %A(annoyed)

Table 4 Lmax of %A(annoyed)

%A(annoyance)	KTX	Electric	Diesel
Lmax	63.7 dB(A)	64.2 dB(A)	62.4 dB(A)

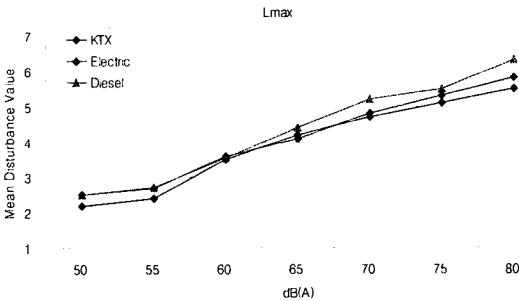


Fig. 8 Lmax of %A(annoyed)

(Leq)의 레벨을 확인한 결과 KTX가 57.3 dB(A), 전기기관차와 디젤기관차는 약 54.4 dB(A)와 54.7 dB(A)에서 보통의 성가심을 느낀다고 나타났다.

(2) Lmax 비교

각 소음원 별로 Leq와 동일한 방법으로 %Annoyance 인 “보통 성가심, 4점”에서 Lmax를 비교해보면 Table 4과 Fig. 8과 같다. Lmax의 경우 이 청감실험의 샘플이 Leq를 기준으로 변환하였기에 각 레벨별로 다른 레벨을 가지고 있다.

Lmax의 경우 전기 기관차에서 가장 높은 소음도에서 %A를 느낀다고 나타나며, KTX에서 0.5 dB(A) 낮은 63.7 dB(A), 디젤기관차에서는 전기기관차에 비해 1.8 dB(A) 낮은 62.4 dB(A)에서 %A가 나타난다.

4.2 %HA(Highly Annoyed)의 비교

각 소음원의 level별 성가심 정도에 7점 척도(전혀-별로-조금-보통-꽤-매우-엄청나게)중 6,7(매우-엄청나게)에 대한 비율을 %HA(highly annoyed)라 하고, 이를 빈도 분석하였다.

(1) 평가원 전체에 대한 %HA의 비교

전체 데이터를 이용하여 평가원 전체가 느끼는 %HA는 Fig. 9와 같다.

이 실험의 결과 디젤기관차 %HA가 가장 높게 나오고, KTX가 %HA가 낮게 나왔는데 이는, 레벨이 높아질수록 고주파대역에 의한 성가심의 반응보다 저주파대역에 의한 성가심 반응이 큰 것으로 보인다.

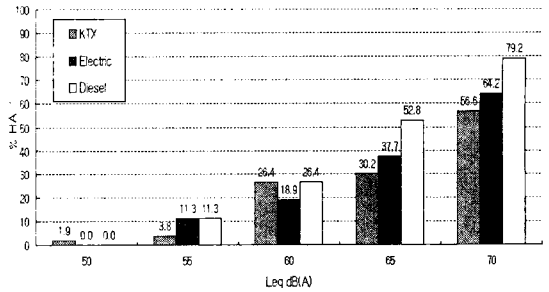


Fig. 9 Relationship between %HA and Leq(all value)

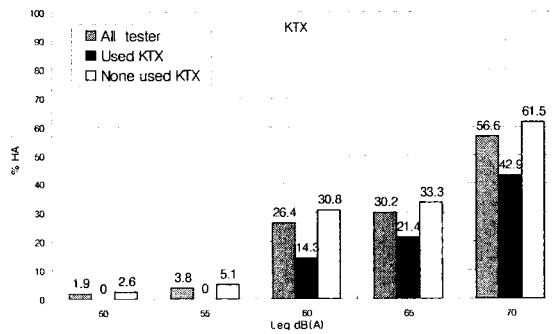


Fig. 10 Relationship between %HA and Leq(KTX sample)

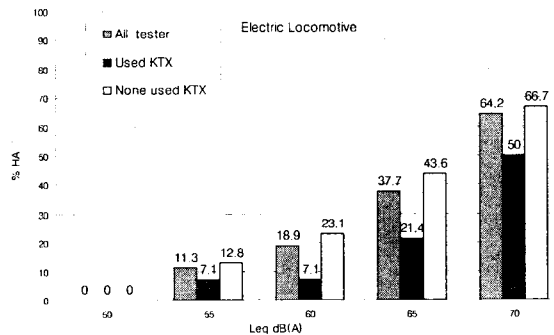


Fig. 11 Relationship between %HA and Leq(electric sample)

(2) KTX 이용자와 미 이용자에 대한 %HA의 비교

KTX 이용자의 경우 패턴은 전체 인원과 비슷하며, 레벨이 올라 갈수록 디젤기관차가 다른 소음원에 비하여 %HA가 높게 나타나고 있다. 이는 KTX 이용자들이 이용하지 않은 사람들에 비하여 KTX 음원에 대하여 성가심을 덜 느끼는 것으로 분석된다. KTX 미이용자의 경우도 %HA가 전체 인원과 비슷

한 패턴을 보인다. KTX의 경우 60 dB(A), 전기기관차와 디젤기관차는 65 dB(A)부터 사람들이 성가심을 크게 느끼는 것으로 볼 수 있다.

(3) 남자와 여자에 대한 %HA의 비교

남자는 전체 평가원과 비슷한 패턴을 보여주나, 전체 레벨에서 여자가 남자보다 높은 %HA를 보여주며, 높은 음원으로 갈수록 그 차이는 더 커진다. 55~60 dB(A)사이에서 KTX와 디젤기관차는 높은 증가율을, 전기기관차는 60~65 dB(A)사이에서 높은 증가율을 보인다. 특히, KTX의 경우 60 dB(A)과 65 dB(A)에서 같은 %HA를 보이다가 70 dB(A)에서 3 배 이상의 높은 증가를 보이고 있다.

(4) 요인분석을 이용한 결과 분석

앞서 살펴본 각 소음원별 Leq 성가심반응에 따른 분석에서 나온 데이터의 특징과 %HA의 관계가 어떠한 요인에 의하여 변화가 생기는지 요인분석을 이용하여 알아보았다.

분석자료의 통계적 의미(귀무가설 성립)를 알 수 있는 유의확률은 KTX 70 dB(A)와 전기기관차 70 dB(A)를 제외하고 0.05이하로 통계적으로 유의하다.

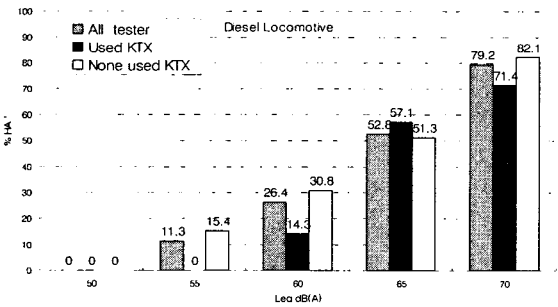


Fig. 12 Relationship between %HA and Leq(diesel sample)

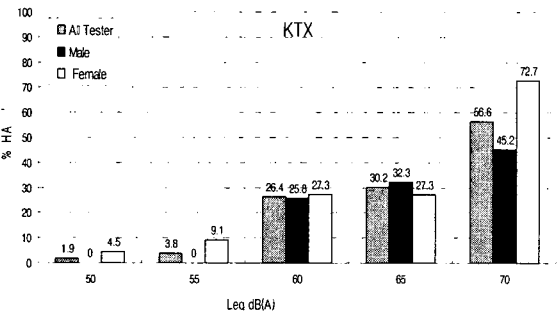


Fig. 13 Relationship between %HA and Leq(KTX sample)

요인분석에서 나온 결과들은 %HA와 %LA(a little annoyed)와 긴밀한 관계를 맺는다. 첫 번째 요인(factor)인 “Factor A”는 %HA가 전혀 없거나 낮은 샘플인 50 dB(A)~55 dB(A)에 분포한다.

“Factor A”의 특징은 성가심 척도의 평균은 3점

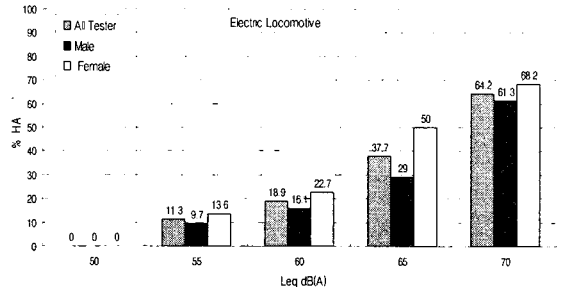


Fig. 14 Relationship between %HA and Leq(electric sample)

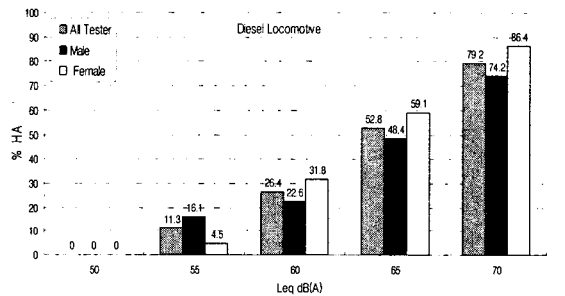


Fig. 15 Relationship between %HA and Leq(electric sample)

Table 5 Consequence of factor analysis

Section	Consequence of		
	Factor A	Factor B	Factor C
KTX 50 dB(A)	0.808	-0.013	0.149
Electric 50 dB(A)	0.824	0.321	0.116
Diesel 50 dB(A)	0.744	0.453	-0.013
KTX 55 dB(A)	0.762	0.041	0.453
Electric 55 dB(A)	0.769	0.370	0.261
Diesel 55 dB(A)	0.727	0.483	0.028
Electric 60 dB(A)	0.457	0.727	0.291
Diesel 60 dB(A)	0.456	0.615	0.386
Electric 65 dB(A)	0.152	0.825	0.238
Diesel 65 dB(A)	0.437	0.727	0.230
Electric 70 dB(A)	0.107	0.852	0.284
Diesel 70 dB(A)	0.172	0.834	0.155
	0.412	0.199	
	0.192	0.268	
	-0.018	0.397	



미만으로 %LA에 들어간다. 이는 “Factor A”는 평가원들이 소음원에 대하여 철도소음, 소리라고 인식하는 요인으로써 “철도소음에 대한 인식”이라고 설명할 수 있겠다. 레벨 60 dB(A) 이상에서는 다른 요인들이 주된 요인으로 나온다. 그 이유는 샘플의 레벨 차이에서 찾을 수 있다. 60 dB(A) 이상의 샘플에서는 그 이하의 샘플에서 보인 %HA에 비해서 급격히 높은 %HA를 보이고 있다.

두 번째로 “Factor B”는 60 dB(A) 이상에서 전기기관차와 디젤기관차에만 나타나는 요인으로서 중·저주파와 관련된 전기기관차와 디젤기관차에 대한 요인이다. 즉 “Factor B”는 “중·저주파로 생기는 요인”이라고 본다.

세 번째 “Factor C”는 고주파가 강한 KTX 샘플에 대한 요인으로 설명될 수 있는데, 이는 “Factor B”와는 주파수 성분이 다르기에 나타난다고 분석된다. “Factor C”중에서 전기기관차 65 dB(A)가 속해 있는 이유는 %HA가 KTX 65 dB(A)과 전기기관차 65 dB(A)가 서로 같아서 나온 것이며, KTX 60 dB(A)과 디젤기관차 60 dB(A)가 서로 같음에도 요인이 다른 이유는 “KTX 이용자 Factor B”와 유사한 수치인 것으로 설명된다.

이러한 요인분석(factor analysis)은 앞서 살펴본 각 소음원별 %A(annoyed)에 따른 철도소음한도기준과 철도소음원에 따른 %HA(highly annoyed)를 설명해주는데, 샘플별 레벨에 따른 평가원의 성가심 척도 선택은 앞서 살펴본 “Factor A, B, C”와 같은 요인들에 의해서 결정되어지며, 이러한 요인들에 따라 철도소음기준과 %HA의 변화를 통계적으로 뒷받침해준다.

## 5. 고 찰

국내에서 운행 중인 철도의 종류는 크게 고속열차, 전기기관차, 디젤기관차가 있다. 각기 다른 주파수 특성과 지속시간에 따른 소음도를 가지고 있음에도 현재 국내에 철도소음한도기준은 동일한 물리량으로 평가하고 있다. 이 연구에서는 국내 철도 소음원 세 종류를 분석하여 청감실험을 통한 평가원들의 성가심(annoyance) 반응을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) %A(annoyed)를 이용 각 소음원에 소음도

(Leq, Lmax)를 비교하여 철도소음한도기준을 검토하였다. Leq의 경우 고속철도가 가장 높은 레벨인 57.3 dB(A), 전기기관차와 디젤기관차는 고속철도보다 낮은 54.7 dB(A)와 54.4 dB(A)에서 %A를 보였다. 고속철도가 전기기관차와 디젤기관차보다 성가심을 덜 느끼는데 그것은 최대 2.9 dB(A)의 차이이다.(고속철도가 일반철도에 비해 ‘2.9 dB(A)의 bonus level’이라 한다.) 또한 Lmax의 경우 현재 국내에서 철도소음한도기준으로 제한하지 않는데 Leq와는 다소 다른 결과가 나타났다. 이러한 연구를 통하여 동일하게 적용되어 있는 철도소음한도기준이 철도소음원별로 세분화하여 제정할 수 있는 기초 연구 결과로 생각된다.

(2) 평가원들 중 고속철도 이용자와 미 이용자에 대해서 Leq실험에 의한 결과로 %HA를 비교한 결과, 고속철도 이용자들이 이용하지 않은 사람들에 비하여 철도 소음원에 대하여 성가심을 덜 느끼는 것으로 사료된다.

(3) 남자와 여자에 대한 %HA 비교에서 여자가 남자보다 전체적으로 높은 %HA를 보여주고 있다. 이는 남자에 비해서 여자가 소음에 대하여 더 민감하다는 것을 보여준다.

(4) 전체 평가원에 대한 %HA는 샘플의 레벨이 올라갈수록 성가심을 크게 느끼는 것으로 나타났다. 이 결과를 요인분석에 적용해 보면, 철도 소음원별로 지니고 있는 고유한 주파수 특성 때문인 것으로 분석되었다. 즉, 고주파대역의 KTX와 중·저주파대역의 전기기관차와 디젤기관차의 차이인 것으로 보인다. 첫 번째 결론에서의 소음원에 따른 성가심의 차이인 ‘bonus level’ 역시 주파수 특성에 따른 것으로 분석된다.

(5) 이 연구결과를 바탕으로 향후 더 많은 평가원과 다양한 구성과 평가 방법으로 외국과 같은 종합적인 철도소음에 대한 환경영향평가 및 국내에 적합한 철도소음한도기준의 평가인자와 소음기준을 정립할 수 있을 것이라 판단된다.

## 후 기

이 연구는 과학재단 특정기초과제 “폭발성 충격소음의 생성 및 전파 시뮬레이션과 위해성 분석”(R01-2006-000-10301-0)을 위한 자료로, 이에 관계자

여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) An, J.-H., 2006, "Study on Sound Quality Attributes causing Annoyance of Road Traffic Noise with Identical Linear Sound Pressure Level", University of Seoul.
- (2) Lim, C. W., 2006, "Assessment Methods of Adverse Effects on Health from Environmental Noise", Seoul, Seoul National University.
- (3) Kwon, S. H., 2004, "SAS., SPSS Practical Use-analysis of Survey", Freedom Academy, pp. 95~115.
- (4) Bert De Coensel, et al., 2007, "Experimental Investigation of Noise Annoyance Caused by High-speed Trains", Acta Acustica United with Acustica, Vol. 93, pp. 589~601.
- (5) AES20-1996, 1996, "AES Recommended Practice for Professional Audio-Subjective Evaluation of Loudspeakers", Audio Engineering Society Standard, New York.
- (6) Otto, N. and Amman, S., et al., 1999, "Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds", SAE 1999-01-1822, 1999 SAE Noise and Vibration Conference, May 1999, Traverse City, MI, USA.
- (7) Baranek, L. L., 1989, "Balanced Noise-Criterion (NCB) Curves", J. Acoust. Soc. Am. Vol. 86, No. 2, pp. 650~664.
- (8) Miedema, H. M. E. and Oudshroom, C. G. M., 2001, "Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals", Environmental Health Perspect, Vol. 109, pp. 409~416.
- (9) Takashi Morihara, et al, 2004, "Comparison of Dose-response Relationships between Railway and Road Traffic Noises: The Moderating Effect of Distance", Journal of Sound and Vibration, Vol. 277, pp. 559~565.
- (10) Kryter, K. D., 1994. "Community Annoyance from Aircraft and Ground Vehicle Noise", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 72, pp. 1222~1242.
- (11) Lim, C. W., et al, 2005, "Community Annoyance from Civil Aircraft Noise in Korea", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 900~904.