Transactions of the KSNVE, 24(3) : 253~260, 2014
http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2013.24.3.253

한국소음진동공학회논문집 제24권 제3호, pp. 253~260, 2014
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

터널 주행을 고려한 고속열차의 실내소음 특성 평가

Evaluation of Interior Sounds of High-speed Trains Considering the Condition of Tunnel Running

김 재 호*·김 호 준*·전 진 용†

Jae Ho Kim, Ho Jun Kim and Jin Yong Jeon

(Received January 3, 2014 ; Revised February 20, 2014 ; Accepted February 20, 2014)

Key Words : Interior Noise of Passenger Car(객차 실내소음), High-speed Train(고속열차), Tunnel Noise(터널 내부소음), Acoustic Camera(음향카메라), Perception Model(주관반응 모델)

ABSTRACT

In the present study, physical and subjective evaluations of interior noise of high-speed train were conducted. In-situ measurements were conducted to investigate the noise characteristics in high-speed trains such as KTX and KTX-Sancheon. Binaural microphones and spherical microphone were adopted to record and evaluate the spectral characteristics and noise incidence characteristics at the seats in the passenger cars. Environmental elements were also recorded during the noise measurements using a camcorder and GPS application. In addition, auditory tests were conducted to investigate annoyance of interior noise of high-speed trains. Based on the objective measure and subjective responses on interior noise, statistical analysis such as correlation and regression analyses were carried out. From the results perception models for evaluating the interior noise of high-speed train were derived.

1. 서 론

국내 고속열차는 1999년 최초 도입된 이래 국내 주요 대중교통 수단 중 하나로 자리매김 하였다. 일본, 프랑스, 독일 등의 고속열차 선진국에서는 현재 400~500 km/h 이상으로 속도로 주행할 수 있는 열차개발이 활발하게 진행되고 있으며, 국내 또한 최대속도 430 km/h 열차를 개발하여 경부 고속철도 구간에서 시험주행을 진행하고 있다. 그러나 열차의 운행속도에 따라 증가하는 객차 내 소음도 문제는 열차의 고속화 추세에 따라 새로운 과제로서 부각되고 있다.

소음도는 객차 내 쾌적성을 판별하는 주요 요인 중 하나로 국내에서도 객차 내 소음 발생원인 및 저감방법에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 주행 속도 변화에 따라 엔진 및 공력소음에 의해 소음레벨이 선형적으로 증가하며 실내 소음도는 차체의 진동가속도레벨과도 상관관계가 있는 것으로 보고되었다[1~3]. 또한 콘크리트, 자갈 등의 도상 종류와[4,5] 터널 진입 시[3,5,6] 등이 객차 실내 소음 특성에 영향을 주는 주요 요인으로 분석되었다.

고속열차 객차 실내소음의 물리적 특성들이 활발하게 연구되고 있는데 반해 소음에 대한 주관반응

† Corresponding Author ; Member, Hanyang University
E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr
Tel : +82-02-2220-1795, Fax : +82-02-2220-4794
* Department of Sustainable Architectural Engineering, Hanyang University

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

연구는 박범 등[2]의 연구가 유일한 실정이다. 박범 등[2]은 총 3종류의 고속열차에서 속도에 따른 소음 특성을 측정하고 loudness, sharpness 등의 음질지표를 분석에 적용하였다. 또한 물리지표 평가결과와 청감평가결과를 비교함으로써 L_{Aeq} 보다 loudness 지표가 객차 내 소음에 대한 주관반응을 설명하는데 적합함을 밝혔다. 그러나 loudness 등은 별도의 필터나 소프트웨어를 활용한 분석이 필요해 현장평가 지표로 사용하기 어렵다는 단점을 갖는다. 또한 객차 실내소음에 영향을 주는 요소 중 터널 소음에 대한 주관반응 검토가 이루어지지 않아 이에 대한 보완이 필요한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 도상, 터널 등 주행 조건별로 소음특성을 분석하고 spherical microphone을 활용한 음장측정을 통해 각 주파수 대역별 소음의 입사 방향을 분석하였다. 또한 주관평가 결과를 일반 소음계를 이용해서도 측정 가능한 물리지표와 비교함으로써 객차 실내소음 평가에 적합한 실용적 지표를 제시하고자 하였다.

2. 측정 셋업

2.1 측정구간 및 측정점

이전연구[7,8]의 객차 실내소음 측정사례를 참고하여 서울~부산 구간을 운행하는 KTX(train A)와 KTX-산천(train B) 열차의 객실 소음측정 및 녹음을 진행하였다. 객차 내부 소음도 측정은 train A의 경우 부산-서울 구간, train B의 경우 서울-부산 구간 전체를 대상으로 하였으며 각 열차별로 2회 반복하여 진행하였다. Fig. 1에 표시된 것처럼 소음 측정점으로 객실 중앙부 창측 좌석(순방향, 7A)과 통로측 좌석(순방향, 7B) 두 지점을 선정하였다.

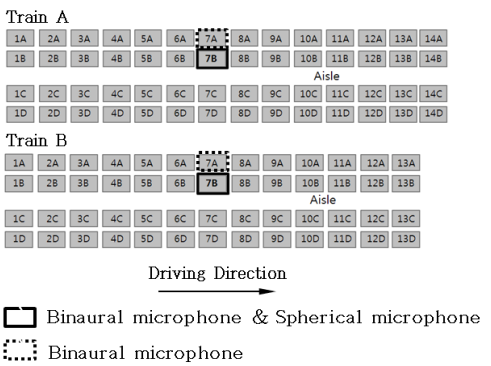


Fig. 1 Measurement positions

2.2 측정장비

객차 실내소음 측정 및 녹음을 위해 Binaural microphone(B&K, Type 4101) 및 레코더(Zoom H4n)를 사용하였다. 또한 미국 MH acoustics사의 EM32 Eigenmike microphone array를 사용하여 열차의 주행 조건별로 주파수 대역별 소음 입사 방향을 분석하였다. 실내소음 측정 중 주행조건을 판별하기 위해 비디오 레코더를 사용하여 외부환경을 녹화하였고, 스마트폰 GPS 정보 어플리케이션을 활용하여 주행속도와 지리 정보를 기록하였다.

3. 소음특성 분석

3.1 서울 - 부산구간 소음레벨 분포

서울-부산 노선 전 구간 운행시 열차 실내 소음레벨을 Fig. 2에 나타내었다. 열차 A의 경우 서울-부산 구간에서 측정하였으며, 열차 B의 경우는 부산-서울 구간에서 측정한 결과를 서울-부산 순으로 변환하여 소음레벨을 분석하였다. 소음레벨은 Binaural microphone을 사용하여 측정한 결과를 좌우 평균하여 사용하였으며 고속열차별로 10초간 평균 음압레벨($L_{Aeq,10s}$)의 변화를 0.1초 간격으로 나타내었다. 본 연구에서는 열차 A, B가 각각 상행과 하행 다른 노선을 주행할 때 제한된 특정위치에서 측정되었다. 따라서 이 연구의 측정결과는 각 열차의 특성을 대표하는 일반적인 결과라고 말할 수는 없다.

분석결과 열차 A, B 모두 역사 부근에서 정차 및 서행 주행으로 소음도가 낮은 반면 터널구간에서의 소음도가 높은 것으로 분석되었다. 특히 터널이 밀

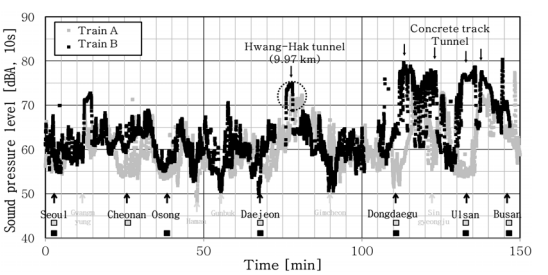


Fig. 2 L_{Aeq} variations during the entire measurement periods

집되어 있는 동대구-부산 구간에서의 소음도가 서울-동대구 사이의 소음도보다 평균 10 dB 가량 높은 것으로 나타났다. 열차 종류에 따른 실내 소음레벨 차이는 크지 않은 것으로 나타났으나 터널구간의 경우 열차 B가 열차 A 보다 평균 2~7 dB 낮은 값을 나타내었다.

3.2 열차별, 주행조건별 소음특성

열차 주행시 주변 환경조건에 따른 소음특성 분석을 위해 도상의 종류 및 터널 등의 조건에 따라 대표 소음원 샘플을 선정하였다. 도상의 종류의 경우 콘크리트 도상 및 자갈도상으로 구분하여 선정하였으며 각 구간에서 열차 A, B 모두 고속(300 km/h)으로 주행한 소음을 5초 단위로 샘플링 하였다. 터널 주행 소음 또한 두 열차 모두 고속으로 주행한 황학터널 주행시 소음원을 대상으로 하였다. 소음레벨특성은 binaural microphone을 통해 녹음된 좌우 소음레벨 분석결과의 평균값을 사용하였다.

자갈도상의 개활지, 콘크리트도상의 개활지, 콘크리트 도상의 터널주행 소음원의 주파수 특성을 Fig. 3(a), (b), (c)에 각각 나타내었다. 주행 구간에 따른 소음특성 분석결과 개활지에서 콘크리트 및 자갈 도상에 따른 소음레벨 차이는 L_{Aeq} 기준 1 dB 미만으로 나타났다. 반면 터널 주행의 경우 개활지 주행소음에 비해 9 dB 이상 높은 소음레벨을 나타내는 것으로 분석되었다.

열차 종류에 따른 소음특성 분석결과 개활지의 경우 열차 A가 B에 비해 자갈도상 1.4 dB, 콘크리트 도상 1.5 dB 높은 레벨을 나타내었다(L_{Aeq} 기준). 반면 터널구간의 경우는 열차 A에 비해 B가 1.9 dB 높은 값을 갖는 것으로 나타났다. 주파수 특성의 경우 전 구간에서 열차 A가 B보다 저주파 레벨이 높은 반면 중고주파 대역의 경우 열차 B가 A에 비해 높은 레벨을 나타내는 것으로 분석되었다. 이런 특성은 특히 터널 구간에서 두드러지게 나타나는데 Fig. 3(c)에 표시한 황학터널의 경우 각 열차간 소음레벨 차이가 80 Hz 대역에서 5-10 dB, 500-2 kHz 대역에서 약 10 dB 의 큰 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.

샘플링한 소음 중 통로측 좌석에서 측정된 소음을 활용하여 loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength 등의 음질지표를 분석하여 그 결과를 Table 1에 나타내었다[9,10]. 주행조건에 따른 loudness는 음압레벨 지표와 동일하게 터널에서 가장 높은 레벨을 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 동일한 터널 소음이라고 할지라도 열차 A에 비해 B에서 5 sone 높은 값을 보이는 것으로 분석되었다. 개활지에서의 열차간 loudness 차이는 자갈도상에서 열차 A가 3 sone 정도 더 높게 나타났으며 콘크리트 도상의 경우에도 열차 A가 1.5 sone 높은 값을 나타냈다.

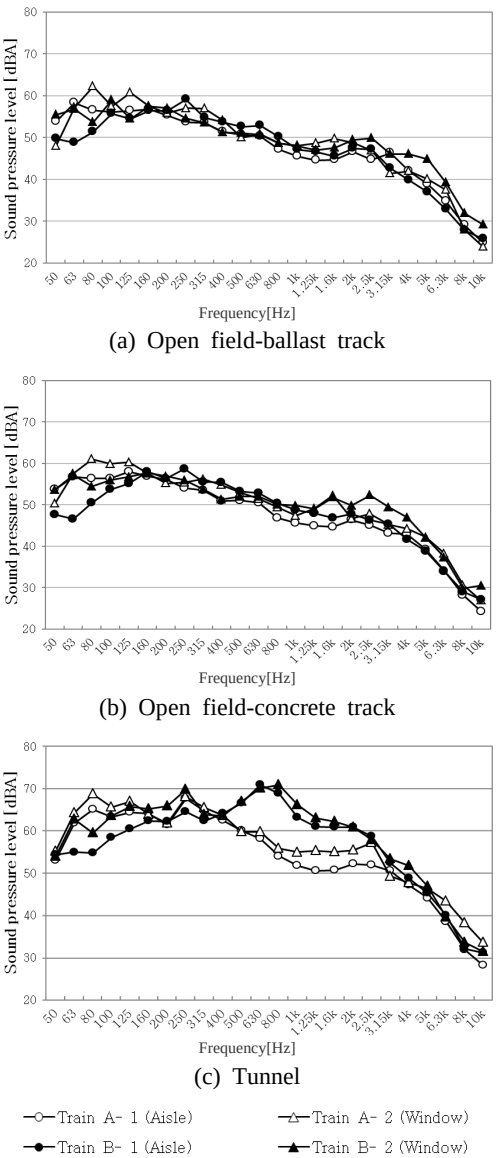


Fig. 3 Spectral characteristics of train noise

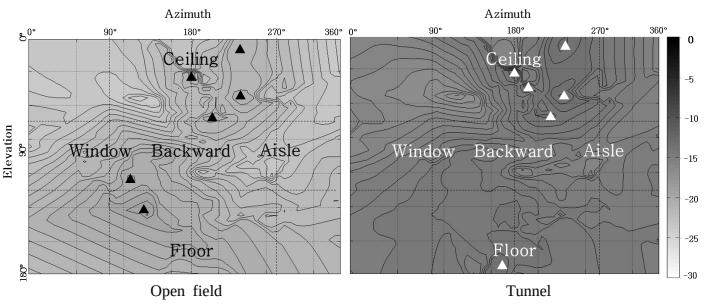
Sharpness 분석결과는 열차 B가 열차 A에 비해 다소 높게 나타났으며 roughness는 열차 B가 자갈 도상의 개활지를 주행할 때 녹음된 소음원에서 가장 높은 값이 나타났다. 반면 fluctuation strength는 열차 A가 콘크리트도상의 개활지를 주행하는 경우에서 가장 높은 값이 관측되었다.

Table 1 Sound quality characteristics of measured noises(left, right channel average)

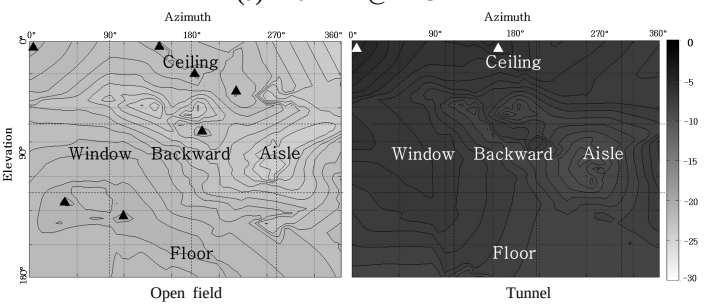
SQ parameter (Unit)	Train	Open field		Tunnel (with concrete track)
		Ballast track	Concrete track	
Loudness (sone)	A	24.80	24.55	37.80
	B	22.25	23.05	42.80
Sharpness (acum)	A	0.90	0.88	0.84
	B	0.94	1.00	0.99
Roughness (asper)	A	1.75	1.78	1.49
	B	1.83	1.61	1.78
Fluctuation strength (vacil)	A	1.54	2.00	1.38
	B	1.52	1.53	1.54

3.3 객차 내 소음 분포 특성

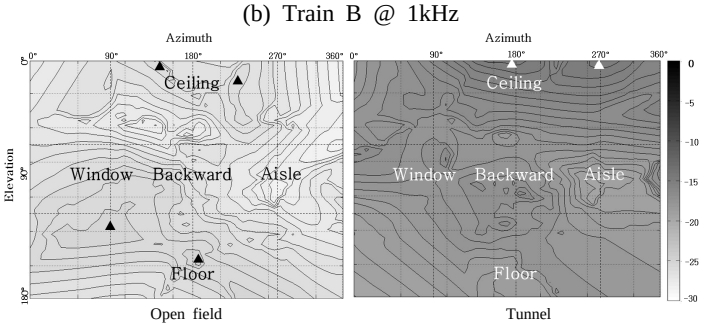
이 절에서는 spherical microphone을 활용하여 열차 A. B가 고속으로 개활지 및 터널구간을 주행할 때 좌석으로 입사되는 소음특성을 비교였다. 입사특성은 주파수 특성분석에서 큰 차이를 나타냈던 열차 A의 저주파(125 Hz), 열차 B의 중, 고주파(1 kHz, 4 kHz)를 Fig. 4의 (a), (b), (c)에 각각 나타내었다. Fig. 4내의 등고선은 0.3 dB 간격으로 표시되었으며, 삼각형은 가장 높은 레벨의 등고선을 나타내고 있다.



(a) Train A @ 125Hz



(b) Train B @ 1kHz



(c) Train B @ 4kHz

Fig. 4 Interior noise contour maps of high-speed trains

열차 A의 저주파 (125 Hz) 분석결과 개활지의 경우 주로 천장면과 창문 쪽에서 상대적으로 높은 소음레벨이 나타났다. 반면, 터널 주행시에는 객차 바닥의 저주파 소음레벨이 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 엔진 및 궤도로부터 차체로 전달되는 저주파 소음이 터널 구간에서 크게 증폭되기 때문인 것으로 사료된다. 열차 B의 중고주파(1 kHz, 4 kHz) 소음레벨 분석결과 개활지 주행시에는 천장 및 창문 근처의 소음레벨이 상대적으로 높은 반면, 터널 주행시에는 천정근처에서 가장 높은 소음레벨이 측정되었다. 천정으로부터 객차 내 좌석으로의 소음 유입은 (1) 외부 소음이 천장으로부터 유입되는 경우, (2) 유입된 실내 내부 소음이 천장으로부터 반사되어 좌석으로 입사되는 경우 로 나눌 수 있다. 본 측정결과만으로는 둘 중 어떤 경우인지 단정 짓는 것은 불가능하다. 그러나 고주파 측정결과 창문 등에 비해 천장면에서 가장 높은 소음레벨이 나타나고 있는 점 등은 천장으로 유입되는 외부 소음이 존재함을 암시한다고 판단된다. 둘 중 어떤 경우이든 열차 내부 고주파 소음 저감을 위해서는 객차 천장면에 추가적인 조치가 필요하다고 사료된다.

4. 청감실험

4.1 실험개요

고속열차 A, B의 주행 조건별 실내소음 성가심도 평가를 위한 청감실험을 진행하였다. 실험음원은 각 열차가 (1) 개활지 자갈도상, (2) 개활지 콘크리트도상, (3) 터널 등을 10초 이상 고속 정속 주행하는 경우를 샘플링하여 선정하였다. 선정된 음원들은 쌍대비교법과 11점 척도법 방법론을 적용하여 실험 세션을 구성하였다. 쌍대비교법 실험에서는 각 음원을 두 개씩 조합하여 총 15개 쌍의 음원을 피실험자에게 제시하고 더 성가신 음원을 선택하게 하였다. 11점 척도법 실험의 경우 각 음원을 피실험자에게 10초간 제시한 후 전혀 성가시지 않음(0점) 부터 매우 성가심(10점)까지 각각 평가하도록 하였다. 청감실험은 배경소음이 낮은(34 dBA) 청감실험 부스에서 진행되었으며, 실험음원은 헤드폰(Senheise HD 650)을 활용하여 제시하였다. 실험에는 20~30대의 정상청력 성인남녀 20인이 참여였다.

4.2 Annoyance 평가 결과

고속열차 종류와 주행구간에 따른 실내소음 성가심도 평가결과를 Fig. 5와 6에 나타내었다. Fig. 5는 쌍대비교법 실험에 의한 성가심도 scale value를 나타내고 있으며, Fig. 6은 11점 척도법에 의한 성가심도 점수를 나타내고 있다. 각 실험에서 도출된 성가심도 평가결과는 서로 유사한 경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 특히 두 실험 모두 개활지 주행소음에 비해 터널주행 소음의 성가심도가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 일원 분산분석을 통한 평균비교 결과 터널 주행 음원들의 평가결과가 다른 그룹 음원들과 유의한 차이를 나타내는 것으로 분석되었다. 반면 개활지의 도상이 주관반응에 미치는 영향은 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 열차의 종류에 따른 성가심도 평균비교 결과 터널 구간에서 열차 A와 B의 평가 결과가 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 열차 A와 B의 터널주행 소음이 주파수 특성 및 SQ 특성에서 큰 차이를 보이기 때문

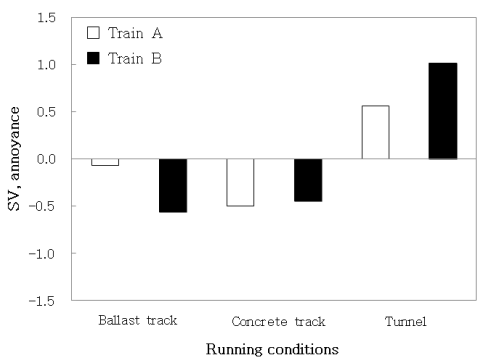


Fig. 5 Subjective responses: $SV_{annoyance}$

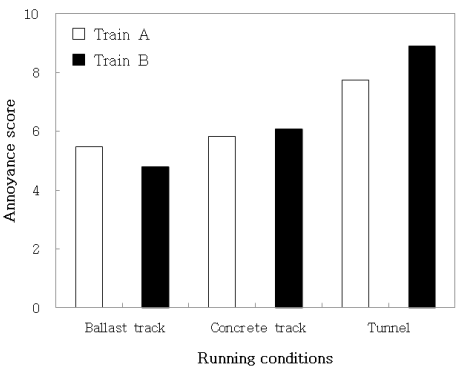


Fig. 6 Subjective responses: annoyance score

Table 2 Relationship between physical parameters and subjective responses

Parameter	Correlation coefficient						
	Rating	$L_{eq,low}$ (63-250 Hz)	$L_{eq,middle}$ (500-1 kHz)	$L_{eq,high}$ (2k-4 kHz)	L_{Aeq}	Loudness	Sharpness
SV of annoyance	0.65**	0.72**	0.79**	0.87**	0.82**	0.89**	0.01
Annoyance score	-	0.58**	0.66**	0.74**	0.69**	0.74**	0.08
$L_{eq,low}$(63-250 Hz)		-	0.64**	0.76**	0.89**	0.97**	-0.45**
$L_{eq,middle}$(500-1 kHz)			-	0.98**	0.92**	0.93**	0.35**
$L_{eq,High}$(2k-4 kHz)				-	0.97**	0.98**	0.19**
L_{Aeq}					-	1.00**	-0.03
Loudness						-	0.01
Sharpness							-

*: P<0.05, **: P<0.01

인 것으로 사료된다.

4.3 실내소음 평가지표 검토

주관평가결과와 물리적 요소사이의 관계를 파악하기 위해 물리지표와 주관반응의 상관분석 및 회귀분석을 진행하였다. L_{Aeq}, L_{eq} 등의 평균음압레벨 및 loudness, sharpness 등의 음질지표 뿐만 아니라 주파수 대역별 소음레벨을 나타내는 63-250 Hz 대역의 평균 L_{eq}($L_{eq,low}$), 500-1k Hz 대역의 평균 L_{eq}($L_{eq,mid}$), 2k-4k Hz 대역의 평균 L_{eq}($L_{eq,high}$) 등의 물리지표를 상관분석 및 회귀분석에 적용하였다.

주관반응 및 물리지표 사이의 상관관계를 Table 2에 나타내었다. 분석결과 음원의 크기를 나타내는 물리지표들은 서로 높은 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 또한 음원의 크기를 나타내는 지표들은 주관반응과 모두 유의한 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 특히 loudness와 주관반응 사이의 상관계수가 0.89(SV of annoyance), 0.74(annoyance score)로 가장 높은 값을 갖는 것으로 나타나 박범[2] 등의 이전연구와 유사한 경향을 갖는 것으로 분석되었다. 또한 loudness 보다는 약간 작지만 고주파수 대역 평균 L_{eq}(2-4 kHz) 또한 주관반응과 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 반면 L_{Aeq}, 저주파 평균 L_{eq}(63-250 Hz) 등의 물리지표는 loudness 및 고주파 평균 L_{eq} 등에 비해 낮은 상관계수를 갖는 것으로 분석되었다. 이는 고주파 소음이 고속열차 객차 내부 소음에 대한 성가심도를 유발하는 주요 요인 중 하나임을 의미하며, 고속열차 실내소음 평가시 A-weighting을 대체할 수 있는 새로운 보정회로의 검토가 필요함을 의미한다.

각 물리지표를 활용한 주관평가 예측모델 검토 및 주파수 특성 보정회로 제안을 위한 초기 분석을 위해 회귀분석을 진행하였다. 분석결과는 SV of annoyance 와 annoyance score 나눠 각각 Tables 3, 4에 나타내었다. 회귀모형 도출시 (1) L_{Aeq}, (2) loudness, (3) L_{eq}(low, mid, high), (4) L_{eq}(mid, high) 총 4가지 물리지표 변수조합을 사용하여 분석을 진행하였다.

분석결과 도출한 모든 모형이 99 % 신뢰수준 기준으로 유의한 것으로 나타났다. 특히 L_{Aeq}를 이용하여 예측된 1번 모델을 제외한 2, 3, 4번 모델의 결정계수가 0.69-0.70(SV of annoyance), 0.51-0.55 (annoyance score)로 서로 유사한 값을 나타내었다. 이 중 2번은 loudness를 이용한 모델인 반면, 3, 4번은 주파수 대역별 평균 음압레벨을 이용한 모델로 일반적인 소음계(옥타브 필터 포함)로 측정이 가능한 물리지표들을 변수로 갖는다. 따라서 소음계를 활용한 측정결과만으로도 loudness 모델과 유사한 예측력을 갖는 모델을 도출 가능한 것으로 나타났다.

특히 주파수 대역별 소음레벨을 포함하는 3번 모델의 경우 각 대역이 주관반응 변화에 미치는 기여도의 비가 표준화회귀계수 기준 0.05(저주파), 0.29 (중주파), 1(고주파) 로 분석되었다. 따라서 주관반응을 고려한 고속열차 실내소음 평가지표에는 고주파 대역의 음압레벨이 중, 저주파 대역에 비해 상대적으로 부각될 수 있는 주파수 필터 적용이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

Table 3 Regression model: $SV_{annoyance}$

No.	Regression analysis results, SV				
	Model	R^2	Parameters	Unstandardized coefficient	Standardized coefficient
				B	Beta
1	$SV_{Annoyance}$ = a L_{Aeq}	0.64	Constant	-9.10	
			L_{Aeq}	0.13	0.82
2	$SV_{Annoyance}$ = a Loudness	0.69	Constant	-2.02	
			Loudness	0.07	0.83
3	$SV_{Annoyance}$ = a $L_{eq,low}$ + b $L_{eq,middle}$ + c $L_{eq,High}$	0.70	Constant	-7.03	
			$L_{eq,low}$	0.01	0.04
			$L_{eq,middle}$	0.05	0.43
			$L_{eq,High}$	0.22	1.28
4	$SV_{Annoyance}$ = a $L_{eq,middle}$ + b $L_{eq,High}$	0.70	Constant	-7.27	
			$L_{eq,middle}$	0.04	0.38
			$L_{eq,High}$	0.21	1.20

Table 4 Regression model: annoyance score

No.	Regression analysis results, annoyance score				
	Model	R^2	Parameters	Unstandardized coefficient	Standardized coefficient
				B	Beta
1	Annoyance score = a L_{Aeq}	0.44	Constant	-15.17	
			L_{Aeq}	0.31	0.66
2	Annoyance score = a Loudness	0.55	Constant	1.69	
			Loudness	0.17	0.66
3	Annoyance score = a $L_{eq,low}$ + b $L_{eq,middle}$ + c $L_{eq,High}$	0.53	Constant	-9.22	
			$L_{eq,low}$	0.04	0.06
			$L_{eq,middle}$	0.07	0.22
			$L_{eq,High}$	0.48	0.93
4	Annoyance score = a $L_{eq,middle}$ + b $L_{eq,High}$	0.51	Constant	-2.32	
			$L_{eq,middle}$	0.04	0.13
			$L_{eq,High}$	0.41	0.78

5. 결 론

이 연구에서는 서울-부산 구간의 KTX 및 KTX-산천 열차에서 실내 소음을 측정하고 주행 조건별 소음특성을 분석하였다. 또한 spherical microphone 측정결과와 비교를 통해 저주파 및 중, 고주파 소음의 입사경로를 분석하였다. 이후 청감평가를 통해 주관반응을 설명할 수 있는 물리지표 및 회귀모형을 검토하였다.

이 연구를 통해 도출된 열차별 소음특성은 각 열차의 주행방향이 다르며, 1개의 특정 좌석에서 측정된 것으로 각 열차의 일반적인 특성을 대표할 수 없다는 한계를 갖는다. 그러나 각 열차에서 서울-부산 전구간의 주행 조건별 소음특성 차이를 분석하고 그 영향을 청감적으로 검증하였다는 점에서 의의를 갖는다. 이 연구에서 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

(1) 서울-부산 전 구간에서 열차 실내 소음레벨은 역사를 지나는 경우와 터널을 주행하는 경우에서 각각 최대, 최소 레벨을 나타내며 그 편차는 약 20~30 dB 정도로 분석되었다.

(2) 열차별로 터널 구간 소음 주파수 특성은 서로 다른 특성을 나타냈다. 열차 A의 경우 125 Hz 미만의 저주파가 크게 증가하는 것으로 분석된 반면, 열차 B의 경우 500-4 kHz 중고주파 대역의 소음이 크게 증가하는 것으로 분석되었다.

(3) 열차 A의 저주파 소음은 차체 바닥 근처에서,

열차 B의 중고주파 소음은 주로 천장 부근에서 가장 높은 레벨이 측정되었다. 따라서 각 고속열차의 객차 실내소음 저감을 위해서는 해당 부위에 대한 추가적인 조치가 필요하다고 사료된다.

(4) 고속열차 실내소음에 대한 주관반응은 중 고주파수 대역의 소음레벨과 높은 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 또한 주파수 대역별 소음레벨을 활용한 회귀모형은 loudness를 활용한 회귀모형이 유사한 설명력을 갖는 것으로 분석되었다. 따라서 일반적인 소음계를 활용한 측정에서도 주관반응을 고려한 평가지표 도출 가능할 것으로 사료된다.

(5) 저, 중, 고주파수 대역이 주관반응 변화에 미치는 기여도는 회귀모형의 표준화회귀계수 기준 0.05(저주파), 0.29(중주파), 1(고주파)로 분석되었다. 따라서 주관반응을 고려한 고속열차 실내소음 평가지표를 도출하기 위해서는 고주파 대역의 음압레벨을 상대적으로 부각할 수 있는 주파수 필터의 도입이 필요하다고 판단된다.

후 기

이 연구는 국토교통부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(13PRTD-C061727-02)에 의해 수행되었습니다.

References

(1) Kim, J. C. and Lee, C. W., 2007, Analysis of Interior Noise of KTX in Tunnel with Concreted Track, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 11, pp. 1037~1042.

(2) Park, B., Kim, D., Jeon, J. Y., Choi, S. and Park, J., 2010, Sound Quality Characteristics for Interior Noise of High Speed Train, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 8, pp. 774~781.

(3) Noh, H. M., Choi, S., Kim, S. W. and Hong, S. Y., 2013, A Study on Interior Noise Characteristics of High-speed Trains, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 16, No. 1, pp. 14~19.

(4) Choi, S. H., Park, J. H. and Parck, C. K., 2006, Noise Generated From The Inter-Coach Spacing of a High-speed Train, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 1449~1452.

(5) Kim, J. C., Lee, C. W. and Jeong, S. C., 2007, Comparison of Interior Noise for High Speed Trains in Korea, Proceeding of the KSR Annual Autumn Conference, pp. 87~91.

(6) Choi, S. H., Kim, J. C., Lee, C. W. and Cho, J. H., 2004, Interior Noise of a KTX Vehicle in a Tunnel, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 49~52.

(7) ISO 3381:2005, Railway Applications–Acoustics–Measurement of Noise Inside Railbound Vehicles.

(8) Hammershoi, D. and Moller, H., 2002, Method for Binaural Recording and Reproduction, Acta Acustica United with Acustica. Vol. 88, pp. 303~311.

(9) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, Psychoacoustics – Facts and Models, 2nd Updated Ed., Springer Verlag, Berlin u.a.

(10) ISO 532:1975, Acoustics-Method for Calculating Loudness Level.

Jae Ho Kim received his B.S. degrees in Department of Architectural Engineering from Hanyang Univ. in 2007. Currently he is a Ph.D. candidate at Architectural Acoustics Lab. in Hanyang University.

Ho Jun Kim received his B.S. degrees in Acoustics in Daelim University in 2011. Currently he is a M.S. student at Architectural Acoustics Lab. in Hanyang University.

Jin Yong Jeon is a professor of Architectural Engineering at the Architectural Acoustics Laboratory, Hanyang University. His main research interests are in the fields of architectural acoustics, noise, vibration and soundscape. He is also an Associate Editor of the international journal on acoustics, “Acta Acustica united with Acustica.”