Transactions of the KSNVE, 24(2) : 146~153, 2014
http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2013.24.2.146

한국소음진동공학회논문집 제24권 제2호, pp. 146~153 2014
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

KTX 의자 설계에 따른 객실 Speech Privacy 평가

Evaluation of Speech Privacy on the Seat-design in High-speed Train Passenger Cars

장 형 석*·김 재 현*·전 진 용†

Hyung Suk Jang, Jae Hyeon Kim and Jin Yong Jeon

(Received December 20, 2013 ; Revised January 29, 2014 ; Accepted January 29, 2014)

Key Words : High-speed Train(고속열차), Room Acoustics(실내음향), Speech Privacy(스피치프라이버시), Seat-design (의자 설계), Acoustic Comfort(음향 쾌적성)

ABSTRACT

This study investigates the effects of seat-design elements such as seating arrangement, shape, and height on speech privacy in high-speed trains. For the evaluation of speech privacy, acoustic simulation software was used to reproduce room acoustical conditions in passenger cars on the basis of in-situ measurement data. The influences of speech source directivity and source height on privacy distance (r_P) were investigated, and it was found that r_P determined using an omni-directional source was relatively shorter than that determined using a directional source. It was also found that r_P decreased when the source height was lower than the height of the seat-back because the seat-back blocked the propagation of speech from the sound source. The effect of seating arrangement was not significant when comparing the vis-a-vis seating and one-side seating arrangements. In addition, among the alternative seat-designs, the seats that block the space between the seats and cover the space near the ear were found to show significantly enhanced speech privacy in high-speed train passenger cars.

Nomenclature

$D_{2,S}$: 거리 2배 증가시 음압레벨 감쇠비율[dB]
$L_{p,A,S,4\ m}$: 음원으로부터 4 m 떨어진 지점의 음압레벨[dB]
r_P : Privacy distance, STI가 0.2로 감소되는 지점과 음원간 거리[m]

1. 서 론

고속열차의 고속화, 고급화 추세에 따라 객차 내부 환경의 쾌적성에 대한 관심이 높아지고 있다. 2012년 코레일에 의한 열차 민원조사에 의하면 환경과 관련된 민원이 소음, 온도, 공기질 순으로 발생하고 있는 것으로 나타났으며[1], 이에 대해 각종 연구기관들은 KTX 실내소음 특성 규명을 통한 소음 문제 해결에 관한 연구를 진행하고 있다[2,3]. 또한 차량측면의 대책방안으로 차량사이 공력소음을 제거하기 위한 머드플랩 설치를 통하여 80 Hz 성분의 실내소음 문제를 일부 해소하였다[4].

한편, Khan[5]은 고속열차에서 차량의 실내소음뿐만 아니라 휴대전화 소리, 아이들 소리 등의 주변사람 소리도 승객에게 성가심을 유발하는 소음원으로

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

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

제시하였다. Kuwano 등[6]은 대화소리와 열차소음간의 레벨 차이에 관한 청감평가를 통해, 열차소음 및 대화소리의 성가심을 최소화할 수 있는 열차의 적정 마스킹 레벨을 50~60 dB로 제시하였다. 이와 같이 승객의 대화 소리에 대한 청감적 반응에 관한 연구는 진행된 바 있으나 객차 내부 실내 음향 설계를 통한 speech privacy 개선에 관한 연구는 미비한 상황이다.

Speech privacy 평가 지표는 오픈플랜오피스의 음장에 대한 평가 및 설계에 활용되고 있다. Virjonen 등[7]은 16개 오픈플랜오피스를 조사하여 speech privacy/speech intelligibility에 있어서 새로운 지표(r_D, r_P, $D_{2,S}$, $L_{p,A,S,4\,m}$)를 제안하였으며, 이를 바탕으로 ISO 3382-3이 제정되었다[8]. Keranen 등[9]은 평가 지표를 이용한 오피스의 실내음향 평가를 통하여 마스킹 레벨, 실내 공간의 흡음력, 파티션의 높이, 음원으로부터 거리 등이 speech privacy에 영향을 미치는 것으로 나타내었다.

이 연구는 세계 고속열차의 사례조사를 통하여 객차 내 speech privacy에 영향을 미칠 것으로 사료되는 설계요소로 객실의자의 형상을 택하였다. Fig. 1과 같이 각국의 고속열차 의자들은 등받이 상부에 이격이 있는 형태, 인접한 두 좌석 사이가 밀폐된 형태, 머리 받침이 등받이 상부에 부착되어있는 형태로 분류된다. 의자 형태 이외에 음원의 지향성과 높이, 의자 배치, 의자 높이 변화에 따른 speech privacy 영향 요인을 컴퓨터 시뮬레이션으로 평가하였다.

Fig. 1 Examples of seat-design in high-speed trains

Table 1 Dimensions of high-speed trains. Width(W), Length(L), Height(H) of simulation model were compared with TGV and Eurostar. Hc and Wc indicate the height and width of chairs. S is floor area and V is volume of the passenger car

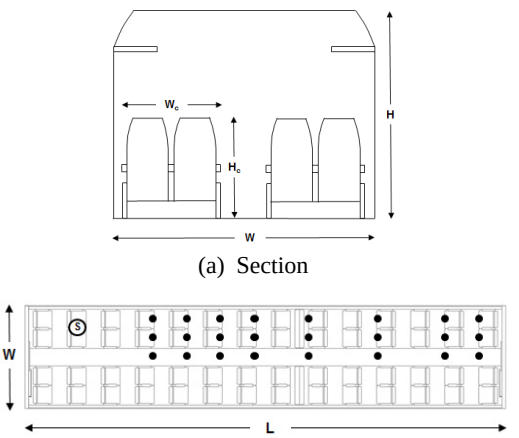
	W [m]	L [m]	H [m]	Hc [m]	Wc [m]	S [m^2]	V [m^3]
Model	2.7	13.0	2.2	1.1	1.1	35.1	77.2
TGV	2.7	13.0	2.2	-	-	35.1	77.2
Eurostar	2.55	13.0	2.1	-	-	33.2	69.6

2. 연구방법

2.1 시뮬레이션 모델

컴퓨터 시뮬레이션 모델링을 위해 KTX 일반실 열차 한 량의 내부 치수를 실측하였다. Fig. 2와 같이 객차의 폭(W), 높이(H), 길이(L)는 각각 2.7 m, 2.2 m, 13.0 m 이었으며, 의자 높이(Hc)는 1.1 m, 의자 2석의 폭(Wc)은 1.1 m로 측정되었다. Table 1에서와 같이 KTX 객차의 치수는 TGV와 Eurostar 등 유럽의 고속열차의 내부 치수와 유사하다. 기존 KTX 의자 형상을 기본으로 하여 실내음향 예측프로그램인 Odeon v11.23을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구축하였다.

시뮬레이션 열차 내부 음장 특성은 Korail 정비단에서 정비중인 KTX 일반실 차량 내부에서 측정한 잔향시간(RT) 0.17 s와 명료도(C50) 17.0 dB를 비교평가 기준으로 설정하였다[10]. 시뮬레이션 모델에서 흡음계수와 확산계수를 조정하여 실제 측정결과의



(a) Section

(b) Floor plan

Fig. 2 Simulation modeling of a high-speed train

평균값과 주파수대역 별 특성이 가장 유사한 모델을 구현하였다[10]. 최종 시뮬레이션 모델의 전 주파수 대역 평균 RT는 0.18 s, C50은 16.9 dB로 실제 측정치와 유사한 음향특성을 나타냈다. 선정된 부위별 재료의 흡음계수는 Table 2와 같다. 구축된 시뮬레이션 객차는 전체 용적이 74.4 m^3의 좁고 긴 공간이며 평균흡음계수가 0.5 이상인 의자가 전체 용적의 약 20 %를 차지하고 있다. 이와 같은 공간적 특성으로 인해 잔향시간이 짧고 명료도가 높게 나타난 것으로 보인다.

2.2 평가 지표

실내 음향 지표는 ISO 3382 part 1[11]과 part 3[8] 기준 따라 평가하였다. 객차 내 실내음향은 잔향시간(RT)과 명료도(C50)로 평가하였다. Speech intelligibility와 speech privacy는 4 m 떨어진 지점의 음압레벨을 나타내는 $L_{p,A,S,4\,m}$와 거리 2배 증가시 음압레벨 감쇠비율을 나타내는 $D_{2,S}$를 통해 근접 위치의 음압레벨과 거리에 따른 음압 감쇠량을 평가하였다. 또한 변조전달함수(modulation transfer function)와 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)기반의 speech intelligibility 평가지표인 음성전달지수(speech transmission index, STI)를 평가하였다. STI는 용적, 잔향시간, 배경소음, 음성 레벨, 화자와 청자의 거리에 영향을 받는다[12]. Speech privacy가 확보되는 거리를 나타내는 r_P (Privacy distance)는 STI가 0.2로 감소되는 지점과 음원간 거리로 결정된다.

Fig. 2(b)와 같이, 음원은 객차 2번째 열 중앙에 배치하였으며, 수음점은 4번째 열부터 창측, 복도측 좌석과 통로에 각각 8지점씩 총 24지점을 선정하였다. RT와 C50은 24개 전 지점 평균값으로 나타내었으며, $L_{p,A,S,4\,m}$, $D_{2,S}$, STI, r_P는 거리별 음성전달특성 평가가 중요하기 때문에 상대적으로 speech privacy가 취약한 통로측 좌석 8개 지점에서 예측하였다. STI의 단일값은 통로측 좌석 8지점의 산술평균으로 나타내었다.

Table 2 Absorption and scattering coefficients for the materials in simulation model[10]

Material	Absorption coefficients[Hz]						Sc.	Surface area [m^2]
	125	250	500	1k	2k	4k		
Floor	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	42.9
Seats cushions	0.14	0.36	0.63	0.50	0.48	0.36	0.30	32.5
Seat-back	0.42	0.38	0.68	0.66	0.65	0.64	0.50	40.6
Seat-frame	0.45	0.07	0.17	0.17	0.10	0.10	0.20	37.0
Fabric wall	0.23	0.30	0.35	0.40	0.45	0.47	0.30	45.6
Reflective wall	0.44	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	13.1
Fabric ceiling	0.23	0.30	0.35	0.40	0.45	0.47	0.30	31.6
Reflective ceiling	0.28	0.12	0.10	0.17	0.13	0.09	0.20	10.4
Table	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	1.6
Door	0.20	0.13	0.07	0.08	0.06	0.06	0.10	3.0
Windows	0.17	0.11	0.05	0.08	0.06	0.12	0.05	11.5
Wall with curtain	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.50	4.1
Tray	0.30	0.20	0.16	0.12	0.15	0.20	0.20	12.2
Video screen	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	0.4

2.3 배경소음

STI는 배경소음레벨에 따라 변화하므로 개활지 300 km/h 주행시 객차 중앙 통로측 좌석에서 측정한 배경소음레벨 66 dBA로 STI를 도출하였다.

3. 음원 지향성 및 높이의 영향

3.1 음원 지향성

ISO 3382-3에는 남녀 음성의 평균 주파수 특성이 제시되어 있다. Table 3과 같이 무향실에서 음원과 1 m 거리에서 측정한 무지향성 음원의 A특성보정레벨($L_{p,S,1\,m}$)은 57.4 dB이며, 지향성 음원은 59.5 dB로 ISO에 제시되어있다. 지향성 음원은 Odeon에서 제공하는 지향성 BB93으로 설정하였다[13].

무지향성과 지향성 음원 특성에 따른 $D_{2,S}$, $L_{p,A,S,4\,m}$ 거리별 STI 분포를 Fig. 3에 나타내었다. $D_{2,S}$는 무지향성 음원과 지향성 음원을 사용 하였을 때 거의 유사하게 나타났으나, $L_{p,A,S,4\,m}$는 지향성 음원이 52.9 dB로 무지향성 음원보다 1.2 dB 더 크게 나타났다.

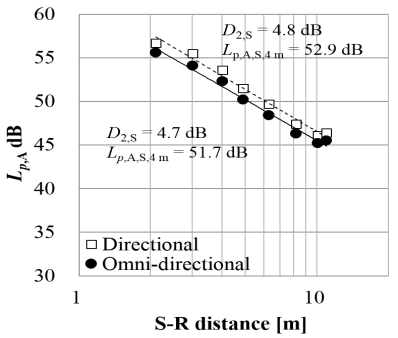
음원으로부터 2.1 m 떨어진 지점의 STI는 지향성 음원의 경우 0.34, 무지향성 음원의 경우 0.27로 지향성이 0.07 더 크게 나타났다. 또한 speech privacy

거리를 평가하는 r_P가 지향성에서 4.8 m, 무지향성에서 3.3 m로 나타났다. 즉, 지향성 음원이 무지향성에 비해 음성전달이 더 잘 일어나는 것으로 나타났다.

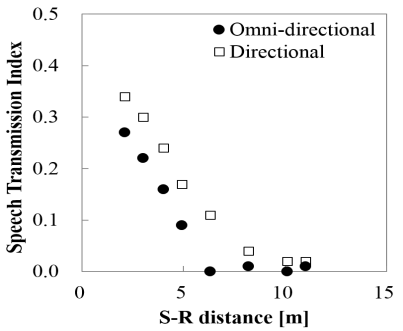
음원음성의 지향성 특성은 아직 표준화 되지 않았으며, 실제 객차 내에서 동행인과 대화와 전화통화 등의 행동 방식에 따라 음원의 지향성이 달라지며, 그에 따른 결과 해석이 달라질 수 있다[7,14].

Table 3 Sound pressure levels of speech in anechoic chamber

Source characteristic	Frequency bands[Hz]							L_{Aeq} [dBA]
	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
$L_{w,s}$ [dB re 1pW]	60.9	65.3	69.0	63.0	55.8	49.8	44.5	68.4
$L_{p,S,1m}$ Directional [dB re 20 μPa]	51.2	57.2	59.8	53.5	48.8	43.8	38.6	59.5
$L_{p,S,1m}$ Omnidirectional [dB re 20 μPa]	49.9	54.3	58.0	52.0	44.8	38.8	33.5	57.4



(a) The determination of $D_{2,S}$ and $L_{p,A,S,4\,m}$



(b) Spatial distribution of STI

Fig. 3 The spatial decay rate of speech level and STI for omni and directional sources

무지향 음원을 사용하는 것이 3차원 공간내의 반사 및 흡음에 대한 음향현상을 평가하는데 타당하고, 표준화된 무지향 음원을 사용함으로써 실용적 측면에서 현장 측정 등 연구결과 활용에 용이할 것으로 사료된다. 따라서 이 연구는 ISO 3382-3에서 권장하고 있는 무지향성 음원을 사용하였다.

3.2 음원 높이

음원의 높이는 KTX를 이용하는 승객들이 의자에 착석했을 때 입 높이를 고려하여 1.1 m를 기본 음원 높이로 설정하였다. 또한 Table 4와 같이 승객들의 앉은키, 착석 위치나 자세에 따른 영향을 고려하여 음원의 높낮이를 조정하여 0.1 m 간격으로 1.0 m에서 1.2 m 범위 내에서 변화를 주었다. 의자의 높이는 1.1 m로 동일하게 고정하여 음원의 높이에 따른 음향 지표의 영향 평가를 진행하였다.

시뮬레이션 결과, Table 4와 같이 음원의 높이 변화가 음향 지표에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 음원 높이가 등받이 높이보다 0.1 m 낮아짐에 따라 STI는 0.06 감소, $L_{p,A,S,4\,m}$는 3.6 dB 감소하였다. $D_{2,S}$의 경우 0.4 dB 증가하였으며, r_P는 음원 높이 1.1 m에서 1.0 m로 낮아짐에 따라 3.2 m에서 1.2 m로 2 m 감소하여 speech privacy가 더 확보되는 것을 알 수 있었다. 이는 음원 높이에 따라 등받이가 음성전달을 차단하는 정도가 달라지기 때문이다. 음원 높이 1.1 m에서 1.2 m로 높아진 경우, 음원 높이 1.0 m의 경우보다 의자 등받이 음성전달 차단영향 변화가 작기 때문에 음향 지표 변화는 크지 않았다.

4. 의자 설계요소에 따른 영향

이 장에서는 의자의 설계요소가 객차내 음장 및 speech privacy에 미치는 영향을 검토하였다. 의자의

Table 4 Results of acoustical parameters according to the variation of source height

Source height [m]	RT [s]	C50 [dB]	$D_{2,S}$ [dB]	$L_{p,A,S,4\,m}$ [dB]	STI	r_P [m]
1.0	0.18	16.9	5.1	48.1	0.04	1.2
1.1	0.22	16.8	4.7	51.7	0.10	3.2
1.2	0.20	17.2	4.9	51.6	0.10	3.3

설계요소는 사례조사를 통해 배치 형태, 의자 등받이의 형상 및 높이로 선정하여 모델링하였다.

4.1 의자 배치형태

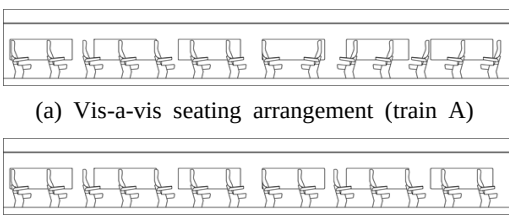
좌석배치 형태는 Fig. 4와 같이 열차 진행방향에 대해 순방향과 역방향을 혼합하여 배치하는 KTX (train A)와 순방향으로 일괄배치 하는 KTX -Sancheon (train B) 두 가지로 분류하여 각각 시뮬레이션 평가를 진행하였다. 평가시 객차 의자는 기존 KTX의 의자 형상을 기본으로 하였으며, 흡음력 통제를 위해 train A, B 모두 총 56개의 동일한 숫자의 의자를 배치하였다.

음장 및 speech privacy 평가결과는 Table 5에 나타내었다. 음장특성을 나타내는 RT와 C50의 실내음향지표는 각각 RT는 5 %이내, C50은 1 dB미만의 차이를 나타냈다. 이는 의자의 형상 및 배치 숫자가 통제되어 train A, B 객차 내부의 흡음력이 동일하기 때문인 것으로 사료된다. $L_{p,\mathrm{A,S,4\,m}}$, STI, r_{P} 또한 좌석배치에 관계없이 거의 동일한 값을 나타내 좌석배치가 객차 음장 및 speech privacy 에 미치는 영향은 미미한 것으로 평가되었다.

4.2 의자 형상변화

의자 형상에 따른 speech privacy 변화를 조사하기 위해 국내외 고속열차의 의자 형상을 기반으로 다양한 형태의 의자를 모델링하여 시뮬레이션 평가를 수행하였다. 시뮬레이션 케이스 설정을 위해 등받이 상부 형상, 인접 좌석 등받이 사이의 틈 유무, 머리 받침대(headrest) 유무 등을 의자 형상설계요소로 선정하였다.

최종 선정된 의자 모델은 Fig. 5와 같이 1) 사다리꼴 형태의 등받이를 가진 Open (OP), 2) 등받이 사이 간격이 60 mm인 사각 형태의 Rectangular (RE), 3) 등받이가 사각 형태이며 서로 밀착되어있는 Closed (CL), 4) RE 형상에 돌출된 머리 받침을 부착한 Rectangular + Headrest (RE + H), 5) CL



(a) Vis-a-vis seating arrangement (train A)

(b) One side seating arrangement (train B)

Fig. 4 Section of the seating arrangement in high-speed train

Table 5 Results of acoustical parameters according to the seating arrangements

Seat arrangement	RT [s]	C50 [dB]	$D_{2,\mathrm{S}}$ [dB]	$L_{p,\mathrm{A,S,4\,m}}$ [dB]	STI	r_{P} [m]
A	0.22	16.8	4.7	51.7	0.10	3.2
B	0.21	17.2	4.7	51.7	0.10	3.2

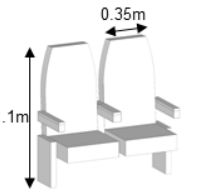
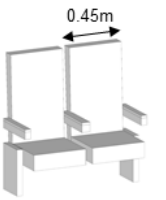
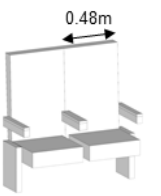
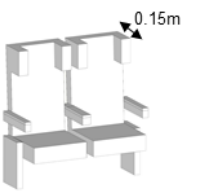
Seat-design	Model
1) Open (OP)	
2) Rectangular (RE)	
3) Closed (CL)	
4) Rectangular + Headrest (RE + H)	
5) Closed + Headrest (CL + H)	

Fig. 5 Seat-designs considered in this study

형상에 돌출된 머리 받침을 부착한 Closed + Headrest (CL + H) 등 총 5가지 형태의 의자를 선정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 의자 형상 변화에 대한 상대적인 비교를 위하여 의자의 높이 및 폭은 동일하게 모델링되었다.

각 케이스별 음장 및 speech privacy 예측 결과를 Table 6에 나타내었다. 음장평가결과 RT와 C50 등의 지표에서 시뮬레이션 케이스별 차이는 각각 5 %, 1 dB 미만인 것으로 나타났다. 이는 설계요소에 따른 흡음력 변화가 전체 흡음력에 비해 상대적으로 작기 때문인 것으로 사료된다. 반면 speech privacy를 나타내는 r_P 및 STI 등의 지표에서는 각 케이스별로 의미 있는 차이가 나타났다. 특히 OP 형상의 경우 r_P가 다른 형상에 비해 높은 값을 나타내는 것으로 평가되어 다른 케이스들에 비해 낮은 speech privacy를 가질 것으로 예측되었다. $L_{p,A,S,4\ m}$가 다른 케이스보다 약 3 dB 높게 평가된 바와 같이 OP 형상 이 다른 케이스에 비해 의자 사이로 투과되는 음에너지의 양이 많기 때문인 것으로 분석되었다.

Table 6 Results of acoustical parameters according to the seat-design

Seat-design	RT [s]	C50 [dB]	$D_{2,S}$ [dB]	$L_{p,A,S,4\ m}$ [dB]	STI	r_P [m]
OP	0.22	16.8	4.7	51.7	0.10	3.2
RE	0.23	16.3	4.6	48.9	0.05	1.5
CL	0.22	15.7	4.5	48.8	0.04	1.2
RE+H	0.21	16.4	4.5	48.3	0.04	1.0
CL+H	0.22	16.7	4.6	48.4	0.04	0.8

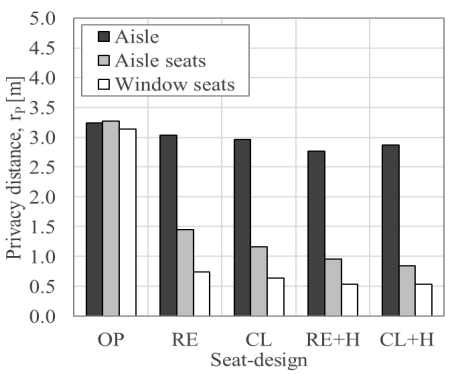


Fig. 6 Results of r_P in different seats with variation of seat-design

따라서 위치별 STI가 높게 나타났으며, 그 결과 r_P가 상대적으로 큰 값을 나타내었다. 이와는 반대로 의자가 서로 밀착되어 있는 CL 형상의 경우 STI 0.04, r_P 1.2 m로 speech privacy 확보에 용이한 것으로 나타났다. 또한 RE, CL 등의 케이스에 머리받침이 추가된 경우 STI 0.01, r_P 0.4~0.5 m감소하여 speech privacy 확보에 추가적인 효과가 있는 것으로 나타났다.

좌석 열별 차이를 비교하기 위해 창측, 통로측 좌석 및 통로에서의 r_P를 각각 분석하여 Fig. 6에 나타내었다. 창측 좌석의 r_P값이 통로측 좌석보다 대체로 작게 나타났다. 이는 의자 등받이의 좌석 열간 음에너지 차단 효과가 나타났다. 객차 통로에서의 r_P값은 2.7~3.2 m로 각 케이스별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

결과적으로 의자 등받이 사이 간격을 최소화하고 음선의 전달 경로를 차단 할 수 있는 사각형 형태의 의자 형상으로 설계하는 것이 speech privacy를 확보하는 데 효과적인 것으로 사료된다.

4.3 의자 높이변화

4.2절에서 평가한 CL 형상을 기본으로 의자 높이 변화가 객차내 음장 및 speech privacy에 미치는 영향을 평가하였다. 의자 높이는 1.1 m를 기준으로 등받이 부분을 0.05 m 간격으로 2단계씩 증감하여 총 5개의 모델을 시뮬레이션 평가하였다.

Table 7에서와 같이 의자 높이 변화에 따라 RT는 0.17~0.22 s, C50의 경우 15.7~17.8 dB로 각각 의미 있는 차이를 보였다. 높이 감소에 대한 두 음향지표의 변화는 대체로 등받이가 높은 경우 실내 잔향이 감소하고 명료도가 증가하는 것으로 나타났다.

Table 7 Results of acoustical parameters according to the variation of seat height

Seat height [m]	RT [s]	C50 [dB]	$D_{2,S}$ [dB]	$L_{p,A,S,4\ m}$ [dB]	STI	r_P [m]
1.00	0.22	16.7	4.7	52.1	0.11	3.4
1.05	0.21	16.8	4.6	51.9	0.10	3.3
1.10	0.22	15.7	4.5	48.8	0.04	1.2
1.15	0.17	17.8	5.1	48.0	0.04	1.0
1.20	0.17	17.5	6.3	47.2	0.03	0.5

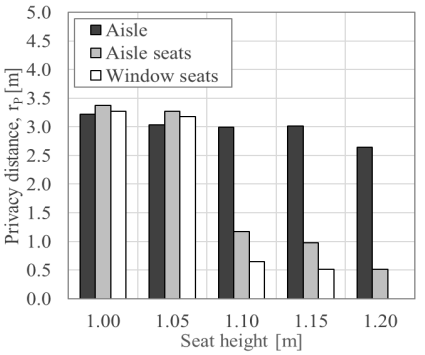


Fig. 7 Results of r_P in different seats with variation of seat height

Fig. 7의 speech privacy 분석 결과 의자 등받이의 높이가 음원의 높이보다 낮아지는 경우, 1.05 m 의자높이에서 r_P가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 의자와 음원 위치 관계에서 의자 높이 1.1 m는 직접음이 차단되고 회절음이 발생하는 시점으로, Table 7의 $L_{p,A,S,4\,m}$ 결과에서 의자높이 1.05 m는 51.9 dB, 의자높이 1.1 m는 48.8 dB로 음성레벨이 크게 감소하고 있으며, 이는 의자 높이 변화에 따른 영향으로 분석된다. STI에 영향을 주는 요소의 하나로 음성레벨 감소에 따라 STI가 감소하였고, 그 결과 r_P가 감소한 것으로 사료된다. 따라서 승객의 귀높이보다 높은 의자 등받이를 사용하는 것이 객차 내 speech privacy에 확보에 효과적인 것으로 나타났다.

5. 결 론

이 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 음원특성 및 의자 형상 변화에 따른 고속열차 내 실내음향 특성 및 speech privacy를 평가하였다.

음원의 지향성 특성에 따른 speech privacy 비교 결과, r_P가 무지향성보다 지향성 음원에서 더 높게 나타났다. 음원 높이에 대한 speech privacy 평가 결과, 음원이 등받이보다 하부에 위치하였을 때 의자등받이의 음성 전달 차단 효과에 의해 speech privacy가 향상됨을 알 수 있었다.

좌석배치, 등받이의 형상 및 높이를 의자 설계요소로 선정하고 다양한 형상의 좌석을 모델링하여 객차 음장 및 speech privacy를 평가한 결과 RT 0.17~0.22 s, C50 15.7~17.8 dB로 객차 내부 음장은 전반적으로 잔향시간이 매우 짧고 명료하였다. 좌석배치에 변화에 따른 speech privacy 평가는 순방향 역방향 혼합 배치와 순방향 일괄배치 간에 r_P의 차이가 나타나지 않았다. 의자 등받이의 형상평가 결과, 의자의 등받이 사이 간격을 차단하고 등받이 높이를 높게 설정하여 음성 전달을 차단할 수 있도록 하는 것이 speech privacy 확보에 효과적임을 확인하였다.

이 연구에서는 개활지 300 km/h 주행시 객차 중앙 통로측 좌석에서 측정한 배경소음레벨로 STI를 도출하였다. 그러나 KTX의 소음은 주행조건과 주행속도에 따라 소음레벨과 특성이 변화하게 때문에 주행 속도가 100 km/h 대로 감소하여 소음 레벨이 감소할 경우 전체적으로 위치별 STI와 r_P가 증가하여 speech privacy가 취약해진다. 또한 이 연구에서는 약 60 dB의 일반적인 대화 레벨을 대상으로 시뮬레이션 평가를 진행하였으나, 동일한 배경소음 조건에서 대화 레벨이 증가할 경우에 speech privacy가 더 열악하게 평가될 수 있다. 이러한 실제 상황을 고려해 볼 때 객차 내에 효과적인 speech privacy 확보를 위하여 의자 설계 등 실내음향 설계 요소에 대한 고려가 필요하다. 향후 의자 외 천장이나 선반 등 객차 내부 설계 요소가 음장 및 speech privacy에 미치는 영향을 고찰할 예정이다.

후 기

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

References

(1) Korea Railroad Research Institute, 2013, Improvement Technique of Train Passenger Convenient Facilities, Ministry of Land Infrastructure and Transport R&D Report. pp. 129~130.

(2) 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.

(3) 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.

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

(5) Khan, M. S., 2002, Evaluation of Acoustical Comfort in Passenger Trains, Acta Acustica United With Acoustica, Vol. 88, pp. 270~277.

(6) Kuwano, S., Namba, S. and Okamoto, T., 2004, Psycholollgical Evaluation of Sound Environment in a Compartment of a High-speed Train, Journal of Sound and Vibration, Vol. 277, pp. 491~500.

(7) Virjonen, P., Keranen, J. and Hongisto, V., 2009, Determination of Acoustical Conditions in Open-plan Offices: Proposal for New Measurement Method and Target Values, Acta Acustica United With Acustica, Vol. 95, pp. 279~290.

(8) BS EN ISO 3382-3:2012, Acoustics-Measurement ofroom acoustic parameters Part 3: Open plan offices.

(9) Keranen, J., Hongisto, V., Oliva, D. and Hakala, J., 2012, The Effect of Different Room Acousitc Elements on Spatial Decay of Speech-a Laboratory Experiment, Proceedings of the Euronoise 2012, pp. 624~629.

(10) Jeon, J. Y., Jang, H. S. and Hong, J. Y., 2013, Evaluation of Speech Privacy in Passenger Cars of High-speed Trains Based on Toom Acoustic Parameters, Acta Acustica United with Acustica, Submitted.

(11) ISO 3382-1:2009, Acoustics-Measurement of Room Acoustic Parameters Part 1: Performance Spaces.

(12) Houtgast, T., Steeneken, H. J. M., Plomp, R., 1980, Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function. I. General Room Acoustics, Acta Acustica United With Acustica, Vol. 46, No. 1, pp. 60~72.

(13) Christensen, C. L., 2011, ODEON Room Acoustics Software, Version 11, Chapter 10, pp. 95~96.

(14) Rindel, J. H. and Christensen, C. L., 2012, Acoustical Simulation of Open-plan Offices According to ISO 3382-3, Proceedings of the Euronoise 2012.

Hyung Suk Jang received a B.S. degree in the Department of Civil Engineering in Hanyang University in 2009. He is working as a Ph.D. candidate in the Department of Architectural Engineering in Hanyang University. His research interests are in the fields of architectural acoustics and noise.

Jae Hyeon Kim received his B.S. degrees in Architectural Engineering in Hyupsung University in 2013. He is working as a M.S. candidate in the Department of Architectural Engineering in Hanyang University. His research interests are in the fields of architectural acoustics and soundscape.

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.”