

고속철도의 역사형식에 따른 철도소음의 실내 전달특성 분석

Analyses of the Railway Noise Transmission Characteristics of the Rooms in High-speed Train Stations Depending on Building Types

박찬재, 한찬훈[†]

(Chan-Jae Park and Chan-Hoon Haan[†])

충북대학교 건축공학과

(Received December 31, 2014; revised July 15, 2015; accepted August 20, 2015)

초 록: 철도기술의 발달에 따라 열차의 주행속도는 점차 증가하였으며 최근에 들어 400 km/h 이상의 초고속열차가 등장하기에 이르렀다. 최근 우리나라에서도 열차의 주행속도를 300 km/h에서 350 km/h 이상으로 증가시키려고 했으나 주행 시 소음 및 진동의 문제가 발생할 우려가 있어서 현실화되지 못하고 있다. 그러나 고속열차의 주행속도가 증가함에 따라 소음·진동이 증가되는 피해가 우려되며 그 중에서도 철도 역사는 고속열차의 정차 및 통과시에 열차와 가장 근거리에서 위치한 건축물로서 열차소음에 의한 사용자의 피해가 가장 크게 발생한다. 소음의 피해는 고속철도 역사의 건축방식에 따라 다를 것으로 예상되며 본 연구에서는 지하역과 선하역 2종류, 지상역, 선상역 등 총 5가지의 역사형식의 고속철도 역사를 대상으로 소음분석을 실시하였다. 본 논문에서는 고속열차의 속도 증가에 따른 역사의 실내 소음을 예측하고 실내 허용 소음기준(Noise Criteria, NC)과 비교·분석하여 적정성을 평가하였다. 또한 차음성능 예측 공식 및 컴퓨터 프로그램을 활용하여 건축 부위별 마감재의 차음성능을 계산하였다. 최종적으로 마감재 변경을 통해 역사시설의 소음환경이 적정 실내허용소음을 만족할 수 있도록 개선하는 일련의 과정을 도출하고자 한다.

핵심용어: 고속철도, 철도 소음, 역사 형식, 실내허용소음, 투과소음, 차음성능

ABSTRACT: The speed of train has rapidly been increased in accordance with the developed railway technology. Nowadays, high-speed trains were introduced which has the speed faster than 400 km/h. In Korea, a lots of efforts were undertaken to increase the speed of train faster than 350 km/h, however noise and vibration are still the main problems to solve for realization of the high-speed train. In the case of operation speed faster than 350 km/h, it can be easily presumed that the noise and vibration damages could be increased in the train stations which are close to the passing railway tracks. Thus, the noise in the five different types of high-speed train stations were analyzed including stations built on the ground, underground, under rail, and two types on rail. The present paper predicts noises inside the stations depending on the speed of the passing trains and analyze the noise comparing with noise criteria (NC). Sound insulation performance of each part of buildings was calculated using the transmission noise formula and computer modeling. Finally, a series of processes were introduced to satisfy the aural environment with the optimum interior noise criteria by changing interior finishing materials.

Keywords: High-speed train, Railway noise, Construction types of train station, Interior noise criteria, Transmission noise, Sound insulation performance

PACS numbers: 43.50.Lj, 43.55.Rg

1. 서 론

1981년 세계 최초의 고속철도 개통 이후 열차의 속도 증가를 위한 국제적인 노력이 계속되고 있으며

[†]Corresponding author: Chan-Hoon Haan (chhaan@chungbuk.ac.kr)
Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea
(Tel: 82-43-261-2438, Fax: 82-43-260-2438)

최근 중국에서는 주행속도 400 km/h 이상의 고속열차를 운행하기에 이르렀다. 우리나라 또한 고속열차의 속도증가에 대한 요구는 지속적으로 증가하고 있으며 KTX의 성능 또한 시속 400 km/h 이상의 속도로 주행이 가능하지만 주행시 발생하는 소음 및 진동 등에 의한 피해 및 민원으로 인해 상용화되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 문제점에도 불구하고 한국도시설도공사는 현재 300 km/h로 운행 중인 열차의 속도를 350 km/h 이상으로 운행하려는 정책을 추진하고 있어서 이에 따른 주변지역의 소음 및 진동에 의한 피해가 우려되는 실정이다.^[1-3] 그 중에서도 고속열차의 통과시 열차에 가장 인접한 역사 내의 소음피해가 가장 클 것으로 판단된다. 특히 현재 사용 중인 역사시설의 대부분은 건설 당시 역사 내 열차 통과시의 소음에 대한 고려가 이루어지지 않아 소음에 대한 불편함이 제기되고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 열차의 속도가 증가될 경우 역사 내부의 소음에 대한 피해가 더욱 커질 것으로 판단된다.

고속철도 소음에 관한 연구는 역사 외부의 선로의 주행속도에 따른 거리별 소음 전달 특성에 대한 연구가 대부분이다. 특히 평지구간에서 소음은 거리감쇠 특성에 따라 수평면 상으로 12.5 m, 25 m, 50 m 거리가 약 2배 멀어짐에 따라 평균 4.0~4.7 dB(A) 감쇠하는 양상을 보이고 있다. 수직면에 의한 소음 특성은 열차의 상부에 위치한 집전계의 영향으로 5 m까지의 음압레벨이 증가하다가 5 m 이후부터 감쇠하는 특성을 갖고 있다.^[4] 이러한 열차의 소음전달 특성에 따라 고속열차의 소음은 열차로부터의 거리가 가까운 지역에서 피해가 더욱 클 것으로 예측되며 그 중에서도 열차로부터의 거리가 가장 가깝고 집전계가 실내를 통과하고 있는 역사시설에서의 소음 피해가 더욱 클 것으로 판단된다.

고속철도의 주요 소음원은 빠른 속도에 의한 공력 소음이며 그 속도가 약 330 km/h일 때 음압레벨은 약 88 dB(A)이다. 이러한 결과를 바탕으로 미루어볼 때 고속철도의 주행속도가 현재의 약 300 km/h에서 400 km/h로 증가할 경우 소음의 증가효과는 약 5.5 dB(A)로 상당한 양의 소음이 증가된다.^[5] 이것은 열차에 의해 성가심을 발생하는 소음레벨이 일반열차의 경

우 약 65 dB(A)인 반면 KTX의 경우 약 63 dB(A)로 나타나 고속열차에 의한 소음의 영향이 더 크다는 점^[6]을 감안할 때 심각한 문제다. 특히 일반열차의 경우 소음이 중저주파수대역으로써 대부분 기계소음인데 반해 고속열차의 경우 높은 주행속도에 의한 고주파수대역의 공력소음이 주요 소음원이기 때문에 소음에 의한 성가심의 영향이 더 커서^[7] 고속열차의 속도가 증가할 경우 소음의 영향 또한 커질 것으로 판단되기 때문이다. 한편 고속열차의 공력소음 이외의 소음발생 위치 및 주요 소음원을 분석한 결과 소음의 발생 위치는 주로 대차가 설치되어 있는 지면으로부터 1.5 m 이하이며 차간 및 보기부분(차량의 연결부)에서 가장 높은 소음이 발생하는 것으로 나타났다.^[8]

이 밖에도 최근에는 고속열차 객차 내의 소음 전달 및 실내소음 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 고속열차 객차의 실내소음은 엔진 및 공력소음에 의해 전달되며 주행속도 변화에 따라 소음레벨이 선형적으로 증가되며 이때 실내 소음레벨은 고속열차 차량의 진동가속도에 의한 영향이 크다.^[9,10] 특히 구조체전달음을 제외한 열차소음의 지배적인 전달경로는 객차간 연결통로의 문이며 차음을 위해서는 출입문의 패널과 창호, 측면재 전체의 평균 투과손실을 향상시켜야 한다고 알려져 있다.^[11]

이처럼 현재까지 고속열차에 및 철도의 소음에 대한 연구는 실외 및 객차 실내에 대한 연구는 진행된 바 있으나 소음의 가장 큰 피해 영향권인 역사시설에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다. 초기 고속철도 역사 건설당시 역사 주변시설의 소음전달에 대한 연구가 이루어진 바 있으나 주행속도 역시 기존의 주행속도인 300 km/h를 바탕으로 예측하였으며 연구 대상 또한 플랫폼으로 제한^[12-15]되어 있어서 실제 직원 및 여객이 장시간 이용하는 역무실 및 대합실 등에서 소음의 영향을 파악하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 역사시설 중 사용자의 점유 시간이 길고 사용빈도가 높으며 음향적으로 민감한 실을 대상으로 현재 주행속도에서 고속철도의 소음을 측정하고 이를 바탕으로 속도 증가시 실별 소음을 예측하고자 한다. 또한 그 결과를 공간의 실내허용소음과 비교하여 음환경의 적정성을 평가하고 소

음 저감 방안을 도출하기 위한 과정을 제시하고자 한다. 이를 위해 한국도시철도공사에서 운영 중인 고속철도역사중 5개 역사를 선택하여 주요 실의 300 km/h 운행시 현재 소음도를 측정하고, 이를 바탕으로 주행속도를 350 km/h로 증가하였을 때의 소음도를 예측하여 음환경의 적정성을 평가하였다. 또한 벽체의 투과손실 개선을 통해 실의 소음 저감방안을 마련하고자 한다.

II. 연구의 방법

2.1 현장 측정 대상

국내 고속철도 역사는 선로와 역사건물의 위치에 따라 크게 지하역과 선하역, 지상역과 선상역의 4가지로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 역사형식에 따른 소음의 영향을 알아보기 위하여 각 형식별로 최소 1개소 이상을 선택하였으며 총 5개 역사를 대상으로 실험을 진행하였다. 소음 측정 위치는 고속열차 이용객 및 근무자들의 이용이 잦은 공간인 승강장과 대합실, 역무실과 속소를 대상으로 선정하였다. Table 1은 실험대상으로 선정된 5개 고속철도역사의 형식과 현재 및 속도증가 후 열차의 통과속도, 선로 및 주요 실의 위치를 구분하여 정리한 것이다.

2.2 현장 음향 측정

역사별 주요 실의 소음 현황을 측정하기 위하여 현장에서의 소음측정 실험을 진행하였다. 수음점은 선로를 포함해 각 실의 중앙부에 1개소 설치하였으며 각 측정장비를 동기화하여 300 km/h로 주행하던 고속열차가 속도를 낮춰 역사를 통과할 때 발생하는 소음을 동시에 측정하였다. 측정시 배경소음과 소음레벨의 신호대잡음비는 모든 실에서 13 dB 이상으로 나타나 열차 통과시의 소음레벨 영향을 분별할 수 있도록 하였다. Table 2는 역사별 음향측정위치를 나타낸 것이다.

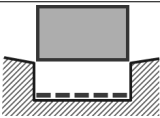
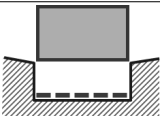
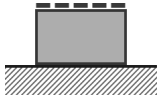
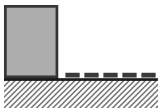
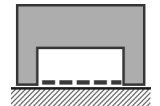
2.3 속도 증가에 따른 소음 예측 공식

열차의 음향파워레벨(Power Level, PWL)과 음압레벨(Sound Pressure Level, SPL) 간의 관계를 이용하여 열차속도 변화 V 에 따른 소음을 예측하였으며 그 수식은 다음과 같다.^[16,17,18]

$$PWL = 23 \log V + 65. \tag{1}$$

Eq.(1)의 공식을 통해 속도에 따른 열차의 음향파워레벨(PWL) 예측공식에 따라 속도증가에 따른 열차의 소음레벨(SPL)을 계산할 수 있다.

Table 1. Information of target stations and floor location of major rooms.

Name	Contents		Passing speed (km/h)	Location (floor)				
	Type			Railway	Platform	Waiting room	Office	Lodging facilities
A	under ground		140* (190**)	B2	B2	1	1	2
B	under rail		280* (330**)	4	4	3	2	2
C			280* (330**)	4	4	3	2	2
D	ground		280* (330**)	2	2	1	1	2
E	on rail		110* (160**)	1	1	3	3	1,3

*The passing speed when the driving speed is 300 km/h, **The passing speed when the driving speed is 350 km/h, ■■■ Railway and Platform, ■ Station, ▨ Ground.

Table 2. Measured points of each station.

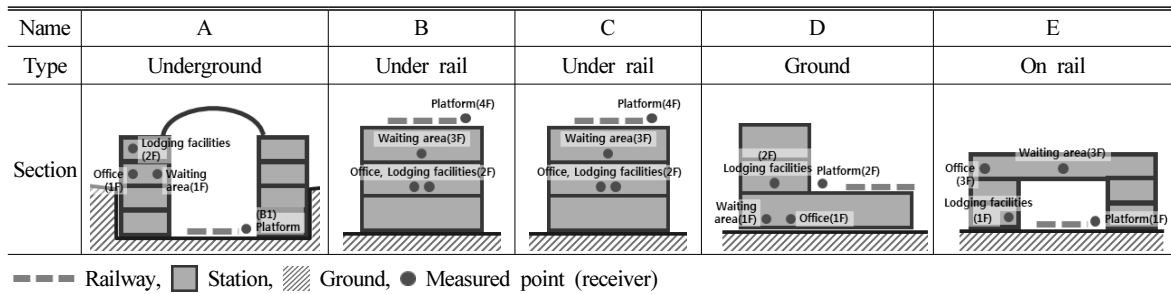


Table 3. Noise Criteria of each room in station.

Room type	NC	dB(A)*
Waiting room	50	56
Office	40	47
Lodging facilities	30	39

*Equivalent Level [dB(A)]

2.4 실내허용 소음기준

본 연구는 고속열차의 속도증가에 따른 주요 실의 음환경에 대한 적정성을 평가하기 위한 연구이다. 그러나 현재 국내에는 역사 내 공간의 소음에 대한 허용기준이 없어서 음환경 평가에 대한 기준이 또한 수립할 수 없는 실정이다. 따라서 각 실의 음환경 평가에 대한 기준으로써 Beranek에 의해 제안된 실내 허용 소음 중 실용도가 유사한 음환경을 선정해 음향기준을 설정하였다. Table 3은 실용도별 실내허용 소음의 기준을 나타내고 있다.

2.5 실별 차음성능 예측

소음 증가에 따른 실별 소음을 예측하고 공간의 사용목적에 맞게 설정한 실내허용소음기준을 초과한 공간의 소음개선방안을 제시하기 위하여 차음성능을 예측하였다. 즉, 예측된 실내 소음이 실내허용 소음기준을 초과한 실을 대상으로 구조체별 차음성능을 산출한 뒤 이를 바탕으로 실별 차음성능의 부족분을 산출하였다. 그 뒤 부위별 실 마감재를 보완하여 앞에서 계산한 차음성능 부족분을 보강함으로써 실내에 유입되는 소음을 차단하고자 하였다. 벽체의 차음성능을 예측하는 공식은 아래 Eq.2와 같다.

$$TL = 20 \log(m \times f) - 43. \tag{2}$$

여기서 TL : transmission loss,
 m : surface density of materials,
 f : frequency,

그러나 TL 공식에 의한 차음성능 계산은 단일 재료로 이루어진 벽체에 대한 예측 공식으로써 중공층 및 연결재의 종류에 의한 성능을 예측하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 보다 면밀한 차음성능을 예측하기 위하여 차음성능 예측 전문 프로그램인 INSUL 5.1을 사용하였다. INSUL은 차음성능 예측시 벽체를 이루고 있는 각 재료의 밀도 및 연결재 연결 형태, 벽체 내부의 흡음재 충전 여부를 모두 입력하여 TL 공식을 바탕으로 계산되며 저주파수대역의 공명과 고주파수대역의 일치효과의 영향 등을 고려할 수 있는 프로그램이다. 이밖에도 실내 표면에 흡음재가 설치되어 있는 경우 흡음률을 입력하여 실내 흡음에 의한 소음 저감의 영향을 예측할 수 있다.

III. 고속열차의 소음 측정 결과

고속열차 통과시 역사 내 주요 실의 실내소음 현황을 파악하기 위하여 소음레벨을 측정하였다. 다음의 Fig. 1은 속도증가 전 현재의 소음레벨 측정 결과를 도식화하여 각 실의 역사별 소음특성을 비교한 것이다.

3.1 승강장

승강장은 선로에 직접 노출된 공간으로써 열차 탑승 및 대기 위한 이용객의 분포가 가장 높은 공간이다. 따라서 역사 내에서 열차에 의한 소음이 가장

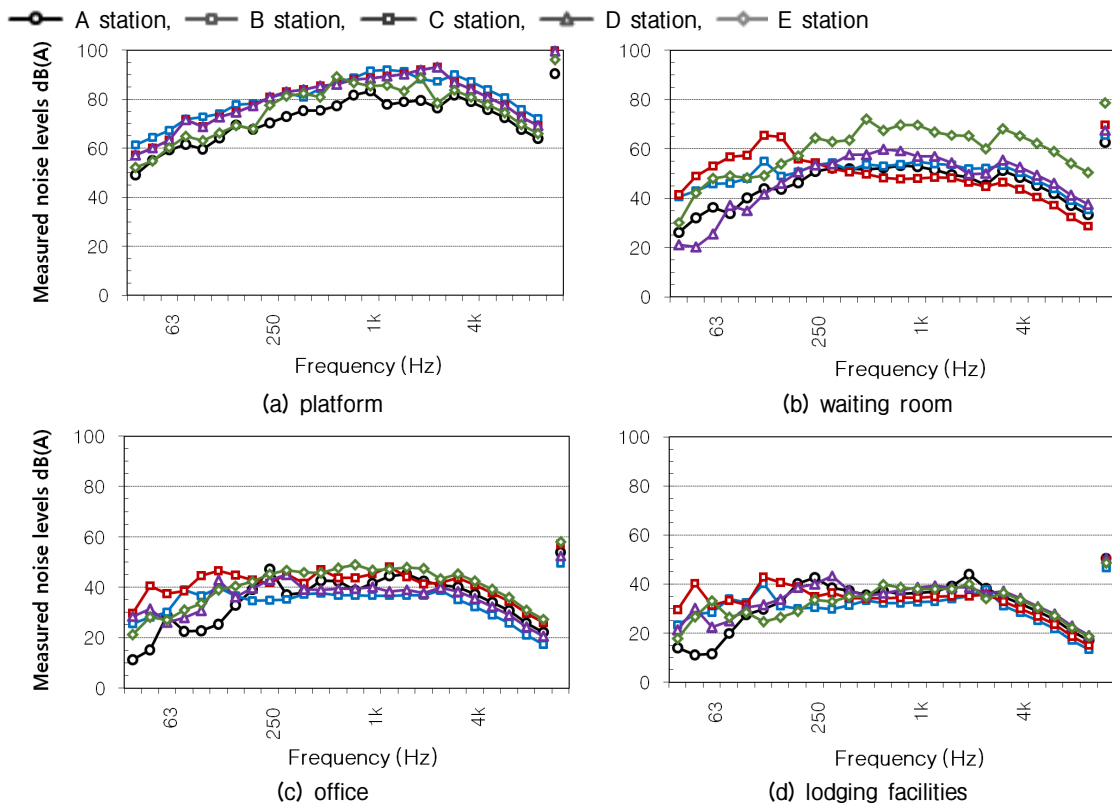


Fig. 1. Measured noise levels of passing trains.

큰 공간으로써 열차 소음에 의한 피해가 가장 크게 발생할 것으로 판단된다.

소음측정결과 속도가 증가되기 전의 승강장 소음 레벨은 평균 97.1 dB(A)로 나타났다. 승강장의 소음이 가장 큰 역사는 B역사로 소음레벨이 99.8 dB(A)로 나타났다. 그러나 C역사 및 D역사에서 측정된 소음 레벨 역시 모두 99.6 dB(A)로 매우 크게 나타났다. B, C, D역사는 역을 통과하는 열차의 속도가 280 km/h 로써 가장 빠른 역사이다. 한편 E역은 통과열차의 속도가 110 km/h로 가장 낮은 반면 소음레벨은 약 96 dB(A)로 상대적으로 매우 높게 나타나고 있다.

3.2 대합실

실내허용 소음기준(NC)에 의한 대합실의 용도에 알맞은 실내 소음기준은 NC-50으로써 이를 소음레벨로 환산하면 약 56 dB(A)이 된다. 이를 기준으로 각 역사의 대합실 소음레벨(SPL) 측정을 평가해 볼 때 모든 역사의 실내 소음이 60 dB(A)을 초과하고 있음을 알 수 있다. 그 중에서 가장 높은 소음레벨을 나타

내고 있는 역사는 E역사로 나타났는데, E역사는 역사건물이 선로 위에 터널 형식으로 위치하는 선상역으로써 통과속도가 약 110 km/h 임에도 불구하고 통과속도가 가장 높은 B, C, D역보다 더욱 크게 나타났다.

또한 역사 형식에 따른 소음의 특성을 확인할 수 있는데 선로가 건물에 직접 면해있는 B, C역(선하역)이 A역에 비해 저주파수대역의 소음이 크게 나타난다. 이것은 선로가 역사의 구조체에 직접 연결되어 있기 때문에 진동에 의한 소음이 전달되었기 때문으로 판단된다.

3.3 역무실

역무실은 철도역사를 운영하는 근로자들이 근무 시간동안 사용하는 공간으로써, 사용자들이 긴 시간 동안 점유하며 사용함에 따라 소음에 의한 영향이 더욱 크다. 역무실과 같은 중·대규모 사무실의 실내 허용소음레벨은 약 47 dB(A)(NC-40)이다.

소음측정결과 E역사의 소음레벨이 약 58.1 dB(A)로써 5개 역사 중 소음레벨이 가장 크게 나타났다. 그

러나 B역사를 제외한 거의 모든 역사의 소음레벨이 역무실의 소음 기준인 50 dB(A)을 초과하는 것으로 나타나 현재 역무실의 음환경이 실의 사용용도에 부적합한 것으로 판단된다. 한편 B역사 역무실의 소음레벨은 약 49.6 dB(A)로써 역무실의 소음기준으로 설정한 49 dB(A)에 근사한 값을 나타내고 있다.

역사 형식별 소음 특성을 비교해보면 대합실과 마찬가지로 선하역인 B, C역에서 저주파수대역의 소음이 중고주파수대역에 비해 상대적으로 높게 나타난 것을 알 수 있다. 또한 선상역인 D역 또한 저주파수대역의 소음 비중이 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 대합실에 비해 역무실의 위치가 선로와 가까운 곳에 위치하고 있어서 진동의 영향을 더욱 많이 받았기 때문인 것으로 판단된다.

3.4 숙소

열차 승무원의 야간열차의 운행 및 휴양을 위해 역사는 수면 및 휴식을 위한 숙소가 제공된다. 숙소는 앞서 말했듯이 수면을 위한 공간으로써 소음이 민감한 공간이므로 매우 엄격한 소음기준이 요구된다. 따라서 실내허용소음기준 중 숙소의 소음기준은 NC-30으로 이를 소음레벨로 환산시 39 dB(A)이 된다.

소음측정 결과 5개 역사에 대한 숙소의 평균 소음레벨은 약 49.2 dB(A)로 나타나 소음레벨 기준을 약

10 dB(A) 정도 초과하고 있음을 알 수 있었다. 특히 소음레벨이 가장 작게 나타난 B역사의 측정결과가 약 46.6 dB(A)임을 감안할 때 숙소의 소음도가 매우 높은 것으로 판단된다.

역사의 건립 형식별 소음특성 분석결과 선로와 직접 면해있는 B, C역(선하역)과 D역(선상역)이 저주파수대역에서 상대적으로 높은 소음도를 보이고 있다. 특히 D역의 경우 대합실에서 역무실, 숙소에 이르기까지 저주파수대역의 소음 비중이 점차 증가하고 있는 것을 볼 수 있는데 이것은 선로로부터의 거리가 가까워짐에 따라 진동에 의한 영향이 더욱 커짐을 나타내는 것이다.

IV. 고속열차의 속도 증가에 따른 소음 예측 및 평가

고속열차 통과시 역사 내 주요 실의 실내소음 현황을 파악하기 위하여 소음레벨 측정결과를 바탕으로 열차의 주행속도 증가시 발생할 수 있는 소음레벨을 예측하였다. 2.3장에 명시한 공식에 통해 속도 증가 후 역사별 각 실의 소음을 예측한 결과, E역사의 소음 증가량이 약 3.7 dB(A)로 가장 높았으며 A역사의 소음이 약 3.5 dB(A) 증가했고 B, C, D역사는 1.6 dB(A) 증가하는 것을 알 수 있었다. 이를 실용도에 적

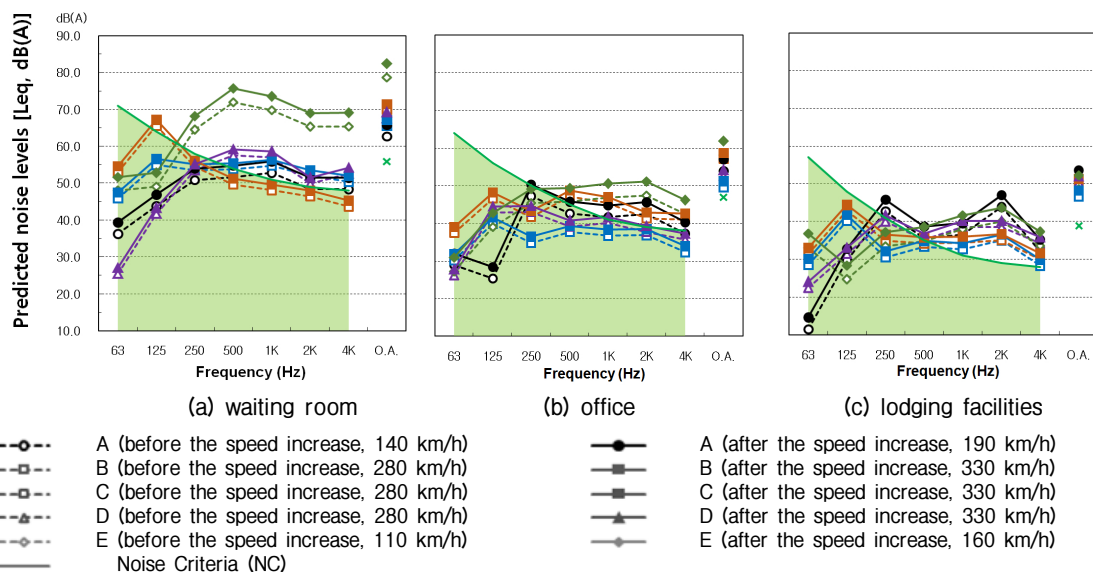


Fig. 2. Predicted noise levels of high speed trains passing the station with different speeds.

합한 실내허용소음기준과 비교하여 보다 쉽게 평가하기 위하여 다음의 Fig. 2와 같이 도식화하였다. Fig. 2에 표시가 없는 실선은 실별 실내허용소음기준(NC)을 주파수대역과 총합 값으로 표기한 것이다. 또한 Fig. 2에서 점선으로 표시된 그래프는 속도증가 전인 현재의 측정결과를 표기한 것이며, 실선으로 표시된 값은 속도증가에 따른 소음예측치를 나타낸 것이다.

4.1 대합실

대합실의 경우 속도증가시 모든 역사에서 소음기준인 56 dB(A)를 초과하고 있음을 알 수 있었다. 특히 선상역인 E역사의 경우 열차의 주행속도를 기존의 300 km/h에서 350 km/h로 증가시킬 경우 소음레벨이 약 82 dB(A)로 나타나 소음기준을 약 26 dB(A) 이상 초과하는 것으로 나타났다. 이 경우 대합실의 실용도에 부적합할 뿐만 아니라 이용객으로 하여금 불편함을 야기할 수 있다.

4.2 역무실

열차의 주행속도 증가에 따른 소음예측 결과 B역사의 소음레벨이 51.2 dB(A)로 가장 작게 나타났으며 역무실의 소음기준으로 설정한 49 dB(A)에 근사한 값으로 나타났다. 그러나 이를 제외한 대부분의 역사에서 예측된 역무실의 소음레벨이 최소 5.1 dB(A)에서 최대 9.1 dB(A) 크게 나타남으로써 속도증가시 역무실의 소음에 의한 피해가 우려되는 바이다. 특히 역무실의 경우 일반 사무 및 작업을 수행하는 공간으로써 사용자의 점유시간이 다른 공간에 비해 길어 더 큰 피해가 우려된다.

4.3 숙소

본 연구에서 설정한 숙소의 실내허용소음 기준은 NC-30으로써 이를 소음레벨로 환산했을 때 약 39 dB(A)로 나타낼 수 있다. 이는 매우 조용한 상태로써 수면을 위한 공간과 같이 음에 민감한 공간의 소음 환경에 해당된다. 그러나 고속열차의 속도를 350 km/h로 증가시켰을 때 실내 소음레벨은 소음기준을 최소 9.2 dB(A)에서 최대 14.6 dB(A) 초과하는 것으로

나타났다. 결론적으로 소음증가에 의해 숙소에서의 수면 등 휴게활동에 큰 방해받을 것으로 평가된다.

V. 고속열차의 속도 증가시 역사 실내 소음개선방안

앞에서 실시한 실내 소음 예측결과를 통해 실내허용소음기준을 초과하는 실을 분류하고 차음성능 부족분을 산출할 수 있었다. 이를 바탕으로 벽체 및 바닥, 천정에 대한 현재상태의 차음성능을 분석하고 마감자재의 종류 및 구성방식을 변경함으로써 차음성능 부족분을 보완함으로써 실내 소음기준을 만족시킬 수 있는 방안을 제시할 수 있다.

본 장에서는 본 연구의 대상인 5개 역사 중 C역의 대합실을 대표적 케이스로 삼아 소음개선방안을 제시하였으며, 차음성능을 TL 공식과 프로그램을 이용해 계산한 결과를 그래프로 도식화하였다. 또한 실내마감재로 보완 전·후의 C역 역무실의 실내소음 예측결과를 나타내고 실내허용소음과 함께 비교함으로써 그 적정성을 평가하고자 하였다.

Table 4는 C역 대합실의 차음성능을 개선하기 위한 벽체의 구성을 보강한 것을 나타내고 있다. 이를 위해 현재상태의 부위별 차음성능을 계산하고 일부 마감재를 밀도가 높은 차음재로 교체하여 차음성능을 개선한 사례이다. 또한 Fig. 3은 C역 대합실의 실용도에 적합한 실내허용소음레벨을 기준으로 현재의 소음레벨과 함께 Table 4에 나타난 바와 같이 구조체의 차음성능을 보강한 후 대합실의 소음레벨 예측결과를 비교한 것이다.

예측 결과 실내마감재 일부를 밀도가 높거나 흡음률이 높은 자재로 대체함으로써 부위별 구조의 차음성능이 향상되었으며 결과적으로 대합실의 실내소음도 또한 실내허용소음 기준인 NC-62 이하로 개선되었음을 알 수 있었다.

VI. 결 론

본 연구는 고속열차의 주행속도를 기존 300 km/h에서 350 km/h로 증가시켰을 때의 소음 증가량을 예

Table 4. Interior finishing materials and sound transmission losses of waiting room in the C station.

Contents	Note	Before the sound transmission loss improvement							After the sound transmission loss improvement								
Wall	Interior finishing materials	concrete walls 200 mm + steel stud 70 mm (air cavity) + granite stone 30 mm							concrete walls 200 mm + steel stud 70 mm (air cavity) + granite stone 30 mm + polyester(150k) 20 mm								
	Sound transmission loss	Frequency (Hz)							STC	Frequency (Hz)							STC
		63	125	250	500	1k	2k	4k		63	125	250	500	1k	2k	4k	
53	57	46	59	75	92	110	59	43	46	53	72	89	106	124	65		
Floor	Interior finishing materials	concrete slab 175 mm + cement mortar 50 mm + granite stone 30 mm							concrete slab 175 mm + cement mortar 50 mm + steel stud 100 mm (air cavity) + polyester (50k) 100 mm + cement mortar 50 mm + granite stone 30 mm								
	Sound transmission loss	Frequency (Hz)							STC	Frequency (Hz)							STC
		63	125	250	500	1k	2k	4k		63	125	250	500	1k	2k	4k	
43	44	51	59	66	71	76	63	49	51	57	64	72	80	87	68		
Ceiling	Interior finishing materials	concrete slab 175 mm + light gage steel frame ceiling system 2000 m + gypsum board 9.5 mm 2ply + water based paint							concrete slab 175 mm + light gage steel frame ceiling system 2000 m + gypsum board 9.5 mm 2ply + mineral sound absorbing textile 12 mm								
	Sound transmission loss	Frequency (Hz)							STC	Frequency (Hz)							STC
		63	125	250	500	1k	2k	4k		63	125	250	500	1k	2k	4k	
53	59	64	72	80	88	96	76	53	61	71	85	96	104	112	85		

측하고, 이를 통해 선로에서 가장 인접한 건축물인 역사 내 주요 실의 소음피해에 대한 영향을 파악하고자 한 것이다.

역사별 주요 실의 소음측정 및 속도 증가에 따른 소음 예측결과 대부분의 실에서 속도를 증가시키기 전인 현재 상태 350 km/h에서도 이미 실의 허용소음을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 만약 열차의 주행속도를 350 km/h 이상으로 증가시킬 경우 소음기준 초과량은 더욱 더 커질 것이며 이로 인해 실 사용시 소음에 의한 피해가 더욱 커질 것으로 판단된다. 따라서 고속열차의 주행속도 증가시 고속철도 역사 건축물의 마감재 변경 및 실용도에 따른 건축계획 변경 등의 시설개선 등을 통해 역사 건축물을 이용하는 이용자의 피해를 최소화해야 할 것이다.

특히 역사의 형식에 따라 소음의 전달 방식에 조금씩 차이를 보이게 된다. 선로가 건물에 직접 면해 있는 B, C역(선하역)과 D역(지상역)의 경우 모든 실에서 A역에 비해 저주파수대역의 소음이 크게 나타난다. 이것은 선로가 역사의 구조체에 직접 연결되어 있기 때문에 진동에 의한 소음이 전달되었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 경우 대합실 및 역무

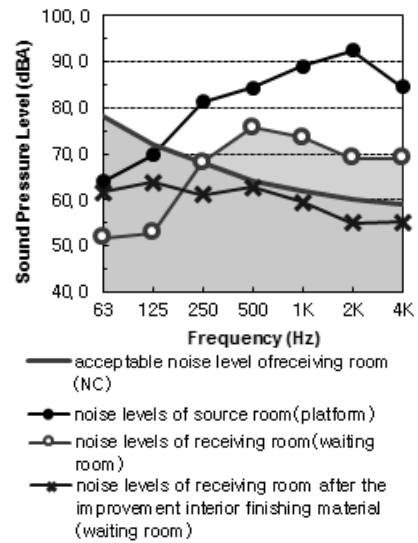


Fig. 3. Noise prediction result of a waiting room in the C station.

실, 숙소와 같이 소음의 피해가 발생될 것으로 판단되는 실들을 선로로부터 되도록 멀리 배치하는 것이 바람직하다.

본 논문은 역사 내에서 측정된 열차의 총합 소음 레벨을 기준으로 벽체의 차음성능을 개선해 소음을 저감하는 방법을 제시하였다. 그러나 이 방법은 속

도 증가시 복잡한 소음 전달과정 및 진동에 의한 소음의 영향을 예측할 수 없다는 한계점을 가지고 있다. 따라서 향후 추가적인 연구를 통해 이에 대한 보완이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. Korea Rail Network Authority, *Environmental Noise and Vibration Standards of High-speed train Stations depending on the Increase of Train Speed and Terminal Types* (in Korean, Korea Rail Network Authority, Uiwang, 2012).
2. C. J. Park, S. S. Hong, and C. H. Haan, "Prediction and Analysis of Noise inside the High-speed Train Terminals depending on the Increase of the Speed" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr. Suppl.* 2(s) **31**, 171-174 (2012).
3. C. H. Haan and C. J. Park, "Improvement of the acoustic environment inside the high-speed train stations depending on the increase of the speed," 21st International Congress on Acoustics, Montreal **133**, 3452-3452 (2013).
4. D. J. Kang, J. W. Lee, and J. C. Park, "Status and Characteristics of High Speed Railway Noise" (in Korean), *Trans. Kr. Soc. Nois. Vib. Engi.* **14**, 1161-1165 (2004).
5. J. T. Kim, J. S. Kim, and S. H. Kim, "High Speed Rail : Prediction of Aerodynamic Noise" (in Korean), *J. Kr. Soc. Railw. Suppl.*, 101-106 (2007).
6. K. M. Kim and S. H. Lee, "Study on the subjective response for each railway vehicle by jury evaluation test" (in Korean), *J. Kr. Soc. Railw. Suppl.*, 1279-1283 (2012).
7. H. J. Chun, D. S. Kim, J. H. Ko and S. I. Chang, "Jury Evaluation Test for Annoyance Response of KTX(Korea Train Express) and Ordinary Train Noise" (in Korean), *Trans. Kr. Soc. Nois. Vib. Engi.* **18**, 335-344 (2008).
8. H. M. Noh, J. H. Cho, S. h. Choi, and S. Y. Hong, "Noise Sources Localization on High-Speed Trains by using a Microphone Array" (in Korean), *J. Kr. Soc. Railw.* **15**, 23-28 (2012).
9. B. Park, D. Kim, J. Y. Jeon, S. Choi, and J. Park, "Sound Quality Characteristics for Interior Noise of High Speed Train" (in Korean), *Trans. Kr. Soc. Nois. Vib. Engi.* **20**, 774-781 (2010).
10. H. M. Noh, S. Choi, S. W. Kim, and S. Y. Hong, "A Study on Interior Noise Characteristics of High-speed Trains" (in Korean), *J. Kr. Soc. Railw.* **16**, 14-19 (2013).
11. J. C. Kim and C. W. Lee, "Analysis of Interior Noise of KTX in Tunnel with Concreted Track" (in Korean), *Trans. Kr. Soc. Nois. Vib. Engi.* **17**, 1037-1042 (2007).
12. C. H. Haan, *Noise Impact Assessment of Chon-an High-speed train Stations* (in Korean, Korea High Speed Rail Construction Authority, Seoul, 1995), pp.51-84.
13. C. H. Haan, *Noise Impact Assessment of Nam-Seoul High-speed train Stations* (in Korean, Yonsei Institute of Architectural Technology, Seoul, 1998), pp.99-106.
14. C. H. Haan, S. W. Lee, J. O. Koo, and K. H. Lee, "An Analysis on the Noise Abatement of A High Speed Train Terminal" (in Korean), *J. Archit. Inst. Kr.* **12**, 123-132 (1996).
15. S. W. Lee, J. O. Koo, and C. H. Haan, "Physical Characteristics of Noise of the High-Speed Train and the Evaluation of the Exterior Noise around Stations" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **15**, 12-17 (1996).
16. M. B. Mauclair, "Noise generated by high speed trains," *Proc. of Inter-Noise*, 371-374 (1990).
17. J. P. Clairbois, P. Houtave, E. Weyers, and V. Trefois, "High speed train noise abatement; Important parameters and case study," in *Proc. Inter-Noise*, 85-90 (1995).
18. I. L. Jeong, J. Y. Kim, S. Ch. Yoon, and T. H. Lee, *Theory and Practice of Noise and Vibration Control* (in Korean, DongHwa Technology Publishing, Paju, 2001), pp.29-32.

저자 약력

▶ 박 찬 재 (Chan-Jea Park)



2006년 2월: 충북대학교 건축공학과 학사
2009년 2월: 충북대학교 건축공학과 석사
2014년 2월: 충북대학교 건축공학과 박사
2014년 3월 ~ 현재: 충북대학교 건축음향 연구실 연구원

▶ 한 찬 훈 (Chan-Hoon Haan)



1983년 2월: 홍익대학교 건축학과 학사
1985년 2월: 연세대학교 건축공학과 석사
1993년 12월: University of Sydney 박사
1994년 9월 ~ 현재: 충북대학교 건축공학과 교수