

연구논문

한국형 고속철도 노선 주변 지역의 소음 지도 작성과 소음 영향 분석

이진영* · 길현권** · 이찬** · 김진태**

(주) 에이.브이.티 * , 수원대학교 기계공학과 **

(2010년 7월 13일 접수, 2011년 8월 12일 승인)

Development of a Noise Map in Neighboring Areas Around Korean Train Express Line and Analysis of the Related High Speed Railway Noise Influence

Jin-Young Lee* · Hyun-Gwon Kil** · Chan Lee** · Jin-Tae Kim**

AVT Co., Ltd.* , Department of Mechanical Engineering, University of Suwon**

(Manuscript received 13 July 2011; accepted 12 August 2011)

Abstract

The purpose of present study is to develop a noise map around Korean Train Express (KTX) line. It is also to evaluate the high speed railway noise influence in neighboring areas around KTX. In order to develop the noise map, noise source modeling and 3-D noise radiation simulation have been performed by means of SoundPLAN program. The result of the noise map has been verified in comparison with the measured noise level. Noise measurements have been performed at 15 locations around KTX line. At each locations, 6 microphones were located 1.5m and 3m above the ground at each of 25m, 50m and 75 m distances from a center of the KTX track. The noise map showed clearly the high speed railway noise influence in neighboring areas around KTX line. The present study has also showed the noise could be reduced by using noise barriers constructed at severely noise-exposed locations.

Keywords : Railway Noise, Korean Train Express, Noise Map

1. 서론

산업혁명과 이에 따른 공업화, 도시화는 많은 사회구조의 변화를 가져왔으며, 그로인한 인구집중은 교통량의 증대 등 도시생활양식의 변화로 인한 여러

가지 공해문제를 초래하고 있다. 이러한 공해문제 중에 소음에 의한 환경 문제는 국민생활의 질을 심각하게 저해할 뿐 아니라 공해문제의 진정건수 중 소음에 대한 문제가 가장 많이 나타나고 있다. 최근 인구, 교통, 산업의 급속한 팽창이 이루어지면서 차

량의 증가와 토지이용의 극대화에 따른 주거전용지역과 인접한 도로망 확충으로 인한 교통수단에 의한 소음이 큰 문제로 대두되고 있으며 그 중 2004년 4월부터 개통된 한국형 고속철도(Korean Train Express, KTX) 또한 소음 문제를 일으키는 하나의 주요요인으로 나타나고 있다(강대준 등, 2004; 이찬·길현권, 2008).

KTX의 최고 운행속력은 300km/h이며 서울-부산 간 평균속력은 240km/h로 고속운행에 해당하며, KTX는 15분 배차 간격으로 운행되고 있다. 실제로 KTX 노선 주변에서는 상·하행을 합칠 경우 배차 간격이 7~8분이 된다. 그러므로 1 시간동안 8~12대 가량의 차량이 운행이 되고 있어 주거지역에 상당한 소음 피해를 주고 있다(이찬·길현권, 2008). 이러한 소음피해 가능성을 고려하여, EC유럽공동체의 경우, Directive 2002/49/EC 기준에 의하여 소음피해 예상지역에 대하여 소음지도 작성과 소음피해의 영향에 대한 정보공개 등과 같은 사항을 의무화 시키고 있다(조준호 등, 2009; 오진우 등, 2004).

본 논문에서는 KTX 노선 주변에 대하여 소음지도를 작성하고 KTX로부터 발생하는 소음의 영향을 분석하였다. 이 경우 소음지도를 작성하기 위해서는 소프트웨어 SoundPLAN(Sound PLAN, 2004)을 활용하였으며, 소음지도의 예측 결과를 검증하기 위하여 소음 측정을 실시하고 측정 결과와 예측 결과를 비교하였다. 또한, 이러한 분석을 토대로 KTX 노선 주변의 방음벽이 미설치되었거나 방음벽의 높이가 낮은 지역을 고려하여, 기존에 설치되어 있는 같은 종류의 방음벽을 설치 또는 증설하는 경우를 가정하여 소음 영향의 변화를 분석하였다.

II. 고속철도소음 발생 특성 및 평가기준

1. 고속철도소음 발생 특성

고속철도에서 발생하는 주요 소음원은 차륜과 레일사이에서 발생하는 전동소음과 차체에서 발생하는 구동장치소음, 높은 운행속도로 인한 차체와 집전장치의 공력소음 및 구조물과 지반을 통하여 전달되는 저주파 소음이 있다. 이 밖에도 팬터그래프와 전차선사이의 집전소음이 있다. 전동소음은 열차의 속도가 증가할수록 높아져서 약 80km/h 이상의 속도구간에서 지배적 소음이 되고, 그 크기는 속도의 3승에 비례하나 차륜/레일의 작용면 상태에 따라서 변화할 수 있다고 알려져 있다(나희승·Clairbois, 1999). 차체 표면에서의 공력 소음은 저속에서는 문제가 되지 않지만 열차속도가 300km/h를 넘게 되는 경우 지배적 소음이 되고 그 크기는 속도의 6-8승에 비례하게 된다. 추진장치(전동기, 추진축 등)와 각종 보조장치(냉각팬, 에어컨 등)의 소음은 고속 주행 시에는 다른 소음에 비하여 상대적으로 중요도가 떨어지지만 저속 주행 시에는 차륜/레일 소음에 버금가는 중요도를 갖고, 그 크기는 속도에 비례한다고 알려져 있다(나희승·Clairbois, 1999).

2. 고속철도 소음기준

국내의 철도소음한도는 열차의 운행회수가 영향을 미치는 등가소음 L_{eq} 로 평가하고 있으며, 밤과 낮을 구분하여 적용하고 있다. 이 규정은 1994년 11월 21일 총리령 제473호로 공포되어 2000년 1월 1일부터 시행되었으며, 2010년 1월 1일부터 기준이 변경되어 표 1과 같이 적용되고 있다.

고속철도(KTX)의 환경소음기준은 초기 대전·충

표 1. 국내의 철도소음 기준

대상 지역	소음한도 (Leq dB(A))	
	주간 06:00~22:00	야간 22:00~06:00
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보존지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50m 이내지역	70	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구 외의 지역, 미고시지역	75	65

표 2. 소음협의기준(안)

대지역	소음협의기준 (Leq dB(A))
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50m 이내 지역	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미고시지역	65

표 3. 고속철도 소음기준

대상지역	시험선 외 구간 (Leq dB(A))		시험선 구간 (Leq dB(A))	
	개통시	개통 15년이후	개통시	개통 15년이후
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50m 이내 지역	63	60	65	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미고시지역	68	65	70	65

천권(천안청원구간)건설사업시 고속철도소음에 대한 기준이 없어서, 일본신간선의 기준인 L_{max} 70~75 dB(A)를 적용하도록 협의되었다. 그러나 '99년 9월 건설교통부와 환경부 공동으로 고속철도 소음 기준 설정을 위한 공동조사단이 구성되어 '99년12월 고속철도 환경영향평가 소음협의 기준안(표. 2)을 설정하였다. 그리고 이 기준에 맞는 적절한 방음 시설을 설치하여 지역주민에 대한 소음피해를 최소화 하고자 하였다. 고속철도 소음기준의 단위는 국제적 추세에 따라 L_{max} 에서 L_{eq} 로 전환하였다(나희승 등, 2000).

그러나 건설 중인 고속철도에 대해서는 다음(표 3)과 같이 적용하도록 하였다(나희승 등, 2000; 조준호 등, 2009).

III. 고속철도 소음측정

본 연구에서는 KTX가 운행하는 지방자치단체시의 40km 구간 KTX 노선 주변에 대한 소음지도를 작성하기 전에 우선 소음 영향을 파악하기 위하여 주로 민가 지역을 중심으로 15 지점을 선정하여 소음을 측정하였다. 이러한 소음 측정 결과는 KTX에 대한 소음 영향을 파악하기 위하여 그리고, 본 연구에서 작성되는 소음지도 결과의 검증을 위하여 사

용되어졌다.

1. 고속철도 운행 현황

KTX 경부선과 호남선의 열차들이 대상지역을 통과하고 있으며, 2007년도 KTX 열차운행 일정과 현장에서의 관측결과에 따르면 KTX는 상행인 경우 7:00~0:30 까지, 하행인 경우 6:00~23:00 까지 대상지역을 통과하고 있다. 또한 열차의 통과대수는 평일과 주말의 132~168대 범위 내에서 차이를 보이고 있으며, 1주 동안 이루어지는 열차의 운행을 감안하면 소음 측정 지역을 통과하는 열차의 하루 평균 대수는 150 대이다.

2. 고속철도 노선 주변 현황

KTX는 대상지역을 북에서 남으로 관통하고 있으며, 노선의 구성은 고가가 주를 이루고 있고 그 외 터널, 구릉지대로 이루어져 있다. 또한 노선 주변 곳곳에 축사와 양계장, 돈사 등이 위치하고 있으며 마을과 소규모 공장들도 자리하고 있어 KTX 운행소음으로 인한 영향이 미칠 것으로 판단된다.

KTX 철로 상에 설치된 방음벽들은 철로 변을 따라 연속적으로 설치된 것이 아니라, 철로 주변에 인가, 축사 및 공장 건물들이 있는 경우에만 설치되어 있어, 철로변을 따른 방음벽의 설치가 간헐적으로

이루어지고 있다. 그러나 이러한 방음벽 설치는 과거 대상지역의 지형 및 건물 분포 자료에 근거하여 이루어진 관계로, KTX 운행이 시작된 2004년 이후에 대상지역에 건설된 추가적인 축사, 건물들에 대해서는 그 주위에 방음벽이 설치되지 않아 소음 피해가 발생하는 곳도 종종 발견되고 있다.

3. 소음측정

KTX 노선 주변 지역의 열차 통과시 발생하는 소음을 측정하기 위하여 주거지역을 대상으로 15개 측정 지점을 선정하였다. 측정 지점의 선정은 다양한 환경, 즉 방음벽이 설치되어 있지 않은 구간, 방음벽



그림 1. 소음 측정 장면

표 4. 측정 지점 및 측정 결과 (dB(A))

지점	측정 거리 (m)	측정 높이 1.5m		측정 높이 3.5m		기존 방음벽 높이(m)	비고
		주간	야간	주간	야간		
1	25	67.1	64.9	68.8	67.1		
	50	63.7	62.1	64.8	63.2		
	75	60.1	58.3	60.7	58.7		
2	25	53.0	51.6	53.8	52.6		
	50	53.6	53.4	52.2	50.6	1.5	
	100	50.7	49.0	50.2	48.4		
3	25	60.7	60.6	57.3	57.1		
	50	55.6	57.0	56.4	58.5	1.5	고가 구간
	75	55.1	57.8	56.3	58.1		
4	25	55.9	57.5	55.8	56.1		
	50	56.7	55.8	54.5	54.2	1.0	
	100	52.6	52.7	54.5	51.8		
5	25	54.3	53.7	56.8	53.7		
	50	56.4	53.5	54.0	55.4	1.0	고가 구간
	75	54.6	54.0	56.9	54.8		
6	25	56.1	56.5	58.0	57.8		
	50	54.1	53.6	55.2	55.0	1.5	
	75	53.0	53.2	54.0	53.5		
7	25	63.0	65.9	66.6	64		
	50	61.4	61.3	62.8	61.6	2.0	
	75	54.4	56.7	55.5	58.1		
8	25	53.4	52.8	56.0	55.3		
	50	55.7	54.9	56.0	55.2	2.0	
	75	54.8	53.1	56.1	54.8		
9	25	67.8	66.9	69.3	68.3		
	50	59.5	59.1	62.6	62.1		
	75	57.5	57.7	61.2	61.0		
10	25	60.6	59.9	62.2	61.4		
	50	59.3	58.0	60.8	59.5	1.5	
	75	58.5	57.6	59.8	58.9		
11	25	68.1	67.4	69.1	69.2		
	50	67.4	66.7	68.0	67.1		
	100	63.3	62.2	64.2	63.4		
12	25	59.3	58.3	59.7	58.5		
	50	58.2	57.6	58.7	58.4	1.5	
	75	57.7	58.8	57.4	58.3		
13	25	69.3	68.1	71.4	70.2		
	50	66.6	65.2	67.3	65.9		
	75	62.5	61.1	64.0	62.4		
14	25	60.8	60.7	65.6	65.6		
	50	52.1	52.3	55.7	55.9		
	75	50.7	50.4	53.6	53.7		
15	25	65.5	64.8	68.5	68.5		
	50	64.1	67.1	66.4	67.2		
	75	62.0	62.0	63.0	62.8		

이 설치되어 있는 구간 및 고가 구간을 고려하여 선정하였다 (방음벽 및 고가 구간 지점은 표 4 참조).

KTX 소음측정 지점으로는 ISO 3095(ISO, 1975)를 준용하여 반자유 음장이 만족되는 환경에서 선로 중앙으로부터 각각 25, 50, 75 m 떨어진 지점을 고려하였으며, 지역에 따라 장애물 또는 지형적인 문제로 75 m 지점의 측정이 어려운 경우 100 m 지점을 고려하였다. 그리고 각 지점에서 지면으로부터 1.5m와 3m 위치의 두 높이를 고려하였다. 그러므로 거리당 3지점과 2 종류의 높이를 고려하여, 6개의 소음계를 이용하여 동시에 등가소음도($Leq(A)$)를 측정하였다. 소음의 측정 방법은, 환경부에서 2000년 3월 14일자로 고시한 “소음·진동공정시험방법”의 소음편 제5장 제2절 (철도 소음)에 따라 실시하였으며, 삼각대는 1.5m와 3.5m 동시 측정을 위해 자체 제작을 하였다. 그림 1은 자체 제작한 삼각대를 이용하여 측정하고 있는 모습이다. 이 경우 소음 측정은 낮 시간대에는 2시간 간격을 두고 1시간씩 등가소음을 측정하여 산술 평균하였으며, 밤 시간대에는 1회 1시간 동안 등가소음을 측정하였다.

4. 소음측정결과

표 4는 15 측정 지점의 측정 결과를 나타낸다. KTX 소음협약기준에 의하면 주거지역과 녹지지역에 대해서는 60 dB(A)를 소음을 한도로 규정하고 있다. 본 연구에서의 측정 지점들은 주거 지역을 대상으로 선정되었고, 측정 결과들을 고려하면, 50m, 75m (혹은 100m) 대부분 지점이 60dB(A)보다 낮은 소음도를 나타내고 있다. 하지만, 일부지점에서는 50m 떨어진 지점에서 65dB(A)를 초과하고 있고, 75m 떨어진 지점에서도 60dB(A)를 초과하는 지점이 있어서, KTX 운행에 따른 소음피해를 받을 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 소음지도 작성을 위한 모델링 및 해석

1. 소음지도 작성 프로그램 개요

본 연구에서는 소음지도 작성을 위하여 환경소음

해석프로그램인 SoundPLAN을 활용하였다. SoundPLAN은 독일의 Braunstein + Berndt GmbH 회사에서 1986년 출시된 이후 독일의 표준 소음해석프로그램으로 등록되어 사용되고 있는 프로그램이며, 도로소음, 철도소음, 항공기소음, 산업용 소음 등 다양한 소음 해석에 적용 되어져 왔다. SoundPLAN은 음원(도로, 철도, 항공기, 산업용 소음)이 환경에 미치는 영향을 등소음도 곡선을 이용하여 이차원과 삼차원 소음지도 결과를 보여주게 된다. 본 논문에서는 SoundPLAN의 Rail Noise Propagation Module을 이용하여 고속철도소음을 예측하고 소음 지도를 작성하였다.

2. 고속철도 소음지도 작성과정

본 연구에서는, 고속철도로부터 발생하는 소음을 고려하였으며, 관련된 소음지도의 작성은 다음과 같은 절차에 따라 이루어졌다. 각 단계별 상세한 작성 과정 및 내용은 표 5와 같다.

3. 소음 예측식 선정

SoundPLAN에서의 철도소음에 대한 대표적인 예측식은 표. 6과 같다. 이와 같이 SoundPLAN에서는 각 나라의 고속철도의 특성에 알맞은 예측식을 적용하도록 되어 있으나, KTX에 관련된 기종은 아직 적용되어있지 않다. 그러므로 한국형 고속철도에 가장 가까운 모델로서 TGV-R이 적용된 French Rail을 적용하였다.

4. 소음 예측모델링

소음 예측 모델링에서는 사용된 French Rail 모델의 TGV-R에 대해 다음과 같은 계산과정을 거쳐 철도 주변지역의 소음도를 계산하게 된다.

- (a) 소음원에 대한 옥타브 밴드별 음향 파워 정의
- (b) 소음원의 지향지수 정의
- (c) 기하학적 각 소음원과 수음점 사이의 소음전파경로 정의 : 직접 경로, 간접 경로 및 회절 경로
- (d) 기하학적 확산 효과에 의한 감쇠 고려

표 5. 소음지도의 작성 절차

구분	내용
대상지역의 선정 및 분석 방향의 결정	- 고속철도 소음 평가기준 설정 - 대상지역 선정 - 고속 철도의 소음영향은 어느 정도인가? - 방음벽 설치시 소음저감은 어느 정도인가?
지리정보시스템 자료 확보	- 공간자료: 위치, 고도 - 건물 및 시설정보
현장조사 및 자료의 검토, 보완	- 선정된 주요 측정 지점에 대한 소음도 현장 측정 - 음원자료, 열차의 시간대별 통과량, 열차 속도
철도소음 모델링	- 지형도 제작 - 철도, 건물, 시설, 터널, 교각 및 방음벽/장애물 모델 제작 - 음원의 설정(음향출력, 방향성 등)
소음지도 제작을 위한 계산	- KTX 에 적합한 철도소음 예측식 적용(TGV-R 모델 이용) - SoundPLAN 6.4를 이용한 3차원 소음방사 계산
계산결과 검토 및 소음지도 출력	등소음선, 횡단면 소음분포 등

표 6. SounPLAN 내의 대표적인 철도 소음 예측식

구분	예측식
Germany	Schall03, DIN 18005, Schall Transrapid
Austria	ÖAL 28/ÖAL 30/ÖNORM S5011
Netherlands	RMR 2002 (Dutch train model)
Japan	Narrow-Gauge Railways
UK	Calculation of Railway Traffic Noise (CRN)
Scandinavia	Kilde Report 130; Noise from Railway Traffic Railway Traffic Noise 1996:524
French Rail	SNCF(TGV-R 모델)

- (e) 공기 흡음에 의한 감쇠 고려
- (f) 지면에 의한 감쇠 고려
- (g) 구조물에 의한 회절 효과 고려
- (h) 수음점에서의 옥타브 밴드별, 경로별 방사되는 소음성분의 합성

앞서의 (a)-(g) 계산 단계들을 통해 얻어지는 소음 예측 결과들은 (h)단계에서의 다음과 같은 식을 통해 최종적인 장기간 등가소음도(LAeq, LT)로 산출될 수 있다.

$$L_{Aeq, LT} = 10 \log \left[\sum_{j=1}^6 10^{0.1 L_{Aeq, LT}(j)} \right] \quad (1)$$

이때 식 (1)의 합산기호는 열차 소음 스펙트럼 옥타브 구간(중심주파수 125 Hz-4000 Hz 구간에서의 6개 대역)별 소음 성분의 중첩을 나타낸다. 그리고 여기서 장기간은 소음레벨의 평균 값에 영향을 주지 않을 정도의 충분한 시간을 의미한다. 또한 각

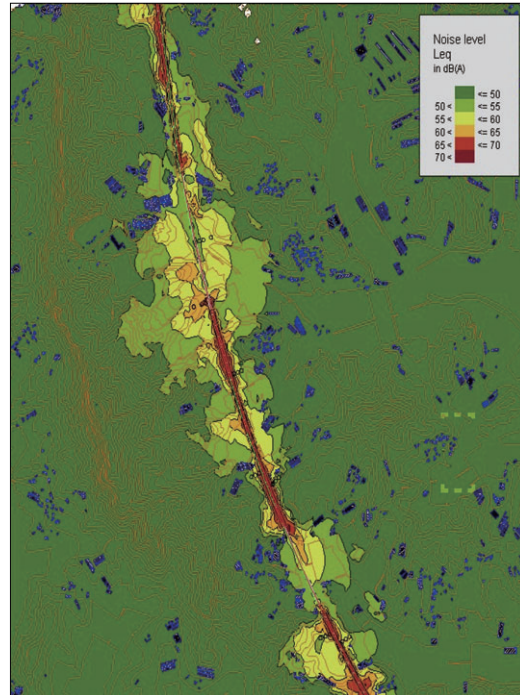


그림 2. 면 단위 지역에 대한 소음지도

소음성분들, $L_{Aeq, LT}(j)$ 은 앞서 소음원에 대한 옥타브 밴드별 음향 파워 데이터로부터 (b)-(g) 단계의 소음의 지향성 효과 및 철로 주변에 대한 지형적, 대기권 흡수, 지표면 및 회절에 의한 소음의 감쇠 효과들을 고려하여 계산한다. 이러한 자세한 계산 과정은 참고문헌(AFNOR, 2007)을 참고 할 수 있다.

SoundPLAN에서 사용된 TGV-R 모델의 대표

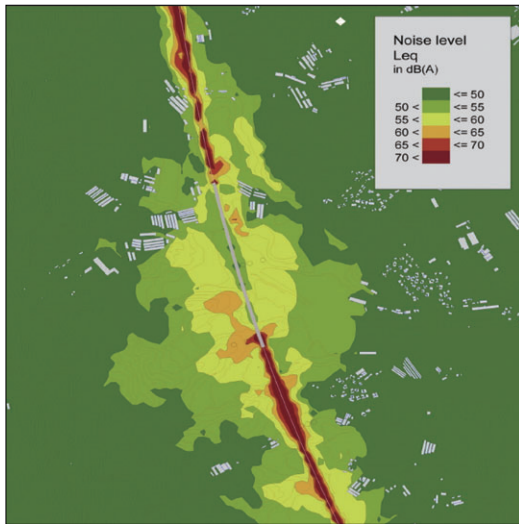


그림 3. 리 단위 지역 (A)에 대한 소음지도

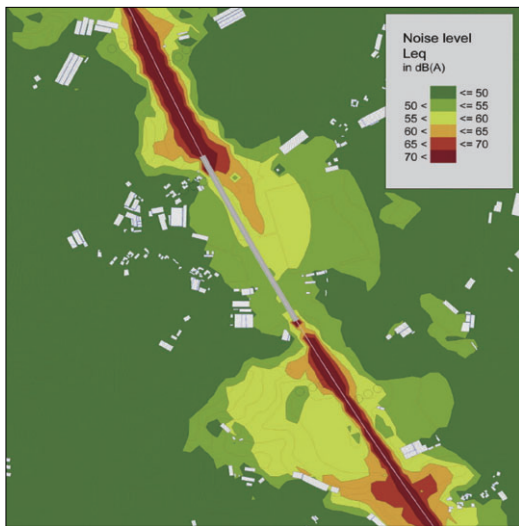


그림 4. 리 단위 지역 (B)에 대한 소음

적 주요인자는 속도(km/h), 주·야간 운행 대수 등이 있으며, 좀 더 정확한 계산을 위해 실제 측정결과를 이용한 보정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 TGV-R 모델을 근간으로 KTX의 제원, 특성을 감안하여 수정, 적용하였으며, 실제 KTX 열차운행 표에 의한 운행 대수를 적용하였다. 또한, 주요 인자인 KTX의 단위 길이당 음향파위를 추정하기 위하여 철로변 평탄 지역에서 철도 트랙 중심으로부터 25m 떨어진 지점에서 고속철 운행시 측정된 최

대 소음도를 활용하여 음향파위를 추정하였다(김정태 · 은희준, 1996).

5. 해석결과

SoundPLAN을 이용해 해석한 결과, 표 4의 일부 지점을 포함하는 행정 구역인 면 규모 지역에 대한 소음 지도는 그림 2와 같다. 예측 범위는 5dB 단위로 50~70dB 범위에서 예측하였으며 그림 3과 4는 그림 2의 면 규모지역 내의 (A)와 (B)리에 대한 소음지도를 나타낸다. 그림 3과 4의 (A) 및 (B)리 지역의 중앙 부분 지역은 고가가 놓인 지역이다. 그리고 철도주변으로 소음이 멀리 퍼져 나가는 지역은 철도변으로부터 완만한 경사로 인하여 고도가 서서히 높아가는 언덕 지역이며, 이러한 이유로 고속철도 소음원으로부터 공기 중으로 방사되는 소음이 보다 멀리 퍼져 나아가게 된다. 또한 그림 3의 (A)리 지역의 윗부분 지역은 철도 주변에 방음벽이 설치되어 있어서 상대적으로 큰 소음이 철도 주변 가까이에만 국한되어 발생됨을 알 수 있다. 그림 4의 (B)리 지역의 윗부분 지역에서도 상대적으로 큰 소음이 철도 주변에 국한되어 나타나는데 이는 철도가 절토 지역에 놓여 있어서 나타나는 현상에 해당한다. 그림 3과 4의 소음 지도 결과로부터 일부 지역이 소음 피해 예상 지역으로 보임을 확인 할 수 있으며, 특히 그림 4의 (B)리 지역의 아래 부분에서는 큰 소음이 상대적으로 멀리 퍼져 나타나고 있음을 알 수 있다. 그림 5는 특정 지점에서의 철도 소음의 3차원 방사 형태를 나타낸다. 고속철도 소음원의



그림 5. 3차원 소음지도

표 7. 실측치와 예측치의 비교 (dB(A))

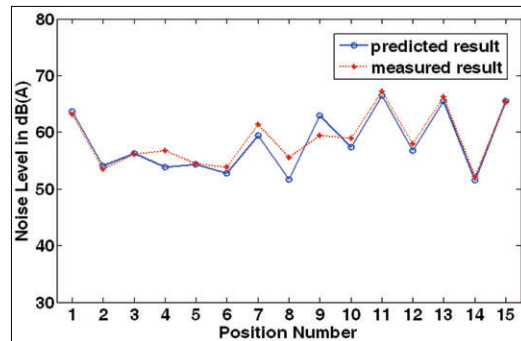
지 점	측정 거리	측정 높이 1.5m		측정 높이 3.5m	
		예측치	실측치	예측치	실측치
1	25	70.4	66.5	70.7	68.0
	50	63.7	63.2	66.2	64.2
	75	62.1	59.6	63.4	59.9
2	25	54.9	52.6	55.9	53.6
	50	54.1	53.5	54.6	52.0
	100	51.0	50.2	50.4	50.2
3	25	58.6	56.1	61.1	58.2
	50	56.3	56.2	58.0	56.5
	75	55.4	56.5	56.9	56.4
4	25	54.1	57.3	55.5	56.6
	50	53.8	56.7	54.7	55.6
	100	54.9	56.8	55.4	56.2
5	25	55.8	55.6	55.3	57.9
	50	54.3	54.4	54.9	54.7
	75	54.3	55.0	55.3	58.2
6	25	54.9	56.3	56.2	58.1
	50	52.8	53.9	53.7	55.3
	75	52.6	53.1	53.5	54.5
7	25	60.6	64.2	63.1	66.6
	50	59.4	61.4	60.3	62.6
	75	57.8	55.3	58.7	56.5
8	25	52.5	53.2	53.0	56.0
	50	51.7	55.5	52.4	55.9
	75	51.1	54.3	51.8	55.1
9	25	69.2	67.5	70.6	69.8
	50	62.9	59.4	66.2	62.7
	75	61.0	57.6	63.3	61.3
10	25	58.1	60.4	58.7	62.3
	50	57.4	58.9	58.1	60.9
	75	57.6	58.2	57.8	60.1
11	25	66.4	67.9	71.1	69.2
	50	66.5	67.2	67.9	68.3
	100	61.9	63.0	62.1	64.1
12	25	56.0	59.0	57.9	59.6
	50	56.7	58.0	57.4	58.1
	75	56.0	58.1	57.5	56.9
13	25	70.5	68.9	71.3	71.8
	50	65.5	66.2	66.7	67.6
	75	62.2	62.1	63.4	64.2
14	25	56.9	60.8	65.9	65.8
	50	51.6	52.1	54.7	55.3
	75	53.1	50.6	55.6	53.2
15	25	62.2	65.3	68.8	68.6
	50	65.5	65.4	66.5	66.7
	75	63.4	62.0	64.2	62.9

로부터 소음이 지상보다는 공기 중으로 보다 더 퍼져 나가며 방사되고 있음을 알 수 있다.

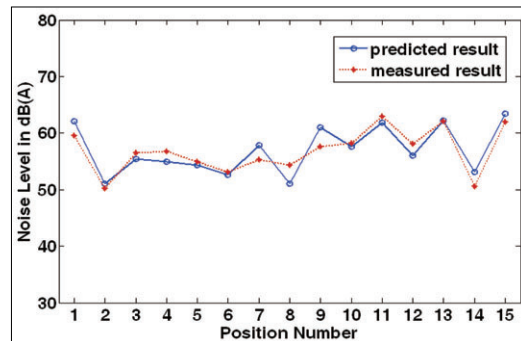
표 7은 15개의 소음 측정 지점에 대해서 소음 측정 결과와 SoundPLAN에 의한 예측결과를 비교한 것이다. 표 7에서 측정 결과는 표 4의 각 측정 지점에서의 주간과 야간 소음 측정값의 평균값을 고려하였다. 그림 6은 민가가 주로 위치하는 측정 거리 50m와 75m 지점에서 높이 1.5m에서의 소음 예측결과와 실측결과와의 비교를 그림으로 보여준다. 표 7과 그림 6으로부터 소음 예측결과와 실측결과간의 차이가 3.9dB 이하의 오차 범위 내에서 잘 일치함을 알 수 있다.

V. 방음벽을 활용한 소음저감방안 적용

철도소음저감방안은 일반적으로 궤도, 구조물,



(a) at distance of 50m



(b) at distance of 75m

그림 6. 15개 측정 지점에서의 예측 결과와 측정 결과의 비교 (측정 높이 1.5m) (a) 측정 거리 50m 고려, (b) 측정 거리 75m (지점 2, 4, 11에서는 거리 75m 대신 100m) 고려.

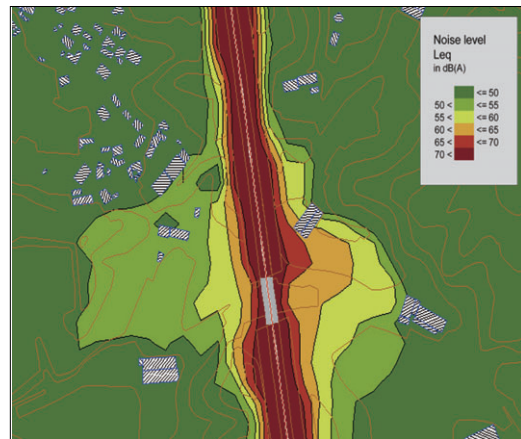
표 8. 방음벽 데이터

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Sound Absorptive Rate(%)	50	80	90	95	90	70
Sound Absorptive Coefficient	0.50	0.80	0.90	0.95	0.90	0.70
Transmission Loss(dB)	16.7	32.8	35.8	38.9	39.0	38.6

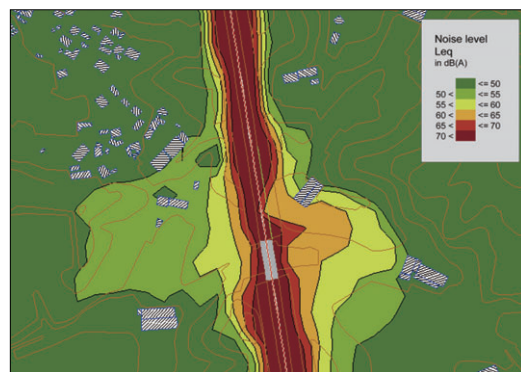
차량분야에 대하여 각각 구분하여 적용할 수 있다. 본 논문에서 대상으로 하고 있는 KTX 노선의 경우 현재 운행 중으로 궤도 분야와 차량 분야에 있어 저감방안을 적용하는데 있어 어려움이 있다. 그러므로 본 논문에서는 구조물을 이용한 소음 전파의 차단과 흡음을 통한 저감방안이 적합하다고 판단하여 비교적 시공이 쉽고 저감효과를 가져올 수 있는 방음벽을 이용하여 해석을 진행하였다.

본 연구에서 조사한 철도변 주변 민가 지역의 대부분은 방음벽이 설치되어 있었으며, 미설치구간은 산간 지역과 몇몇 신규 건물이 들어선 지역이었다. 하지만 방음벽 설치 구간의 많은 지역이 방음벽 높이가 매우 낮은 약 1m~1.5m 정도로 KTX의 바퀴만 가리고 있을 정도였다. 그러므로 KTX의 통과시 소음이 방음벽을 타고 넘어와 많은 피해를 발생시킬 것으로 판단되었다. 따라서 SoundPLAN을 이용하여 방음벽을 신설 또는 높이와 길이보강을 하여 그 소음 분포의 변화를 알아보았다. 이때, 방음벽의 제원은 실제 KTX 노선에 설치된 실제 방음벽의 제원 표 8을 사용하였다(철도청, 2001).

SoundPLAN을 이용한 해석 결과, 소음 피해 예상 지역에서 방음벽을 신설 또는 연장 설치를 통하여 대부분의 지역이 소음규제기준 이내로 소음 저감을 이룰 수 있음을 확인하였다. 그림 7과 8은 예측한 지역들 중 규제 기준을 넘는 지역에 대한 소음 저감대책을 적용한 결과를 보여주고 있다. 그림 7은 측정 지점 13 주변 지역에 대해 방음벽을 연장 설치한 경우의 소음지도이다. 그림 7(a)에서 보여 지듯이, 중앙부분 오른쪽 지역의 경우 소음저감 대책 전에는 오른쪽에 위치한 건물이 65~70dB의 소음에 노출되어 있었으나, 그림 7(b)에서 보듯이 철로 변에 높이 3m, 길이 112m의 방음벽을 설치함으로써 소음이 55~60 dB 수준으로 저감되는 것을 알 수



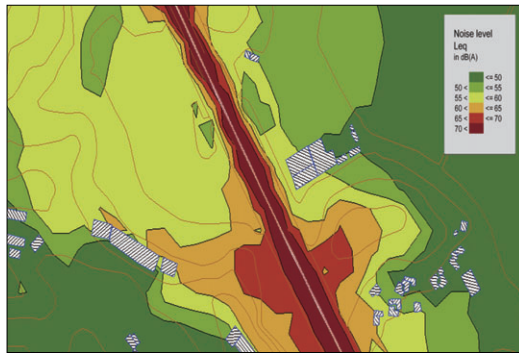
(a) 방음벽 적용 전



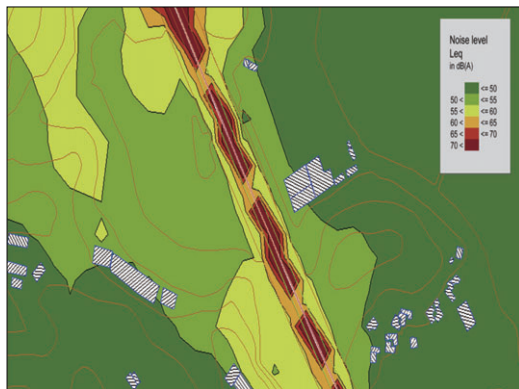
(b) 방음벽 적용 후

그림 7. 측정 지점 13 주변에서의 소음 지도

있다. 그림 8은 측정 지점 15 주변 지역 철로변 양쪽에 방음벽을 새로이 설치한 경우의 소음저감 효과를 보여주고 있다. 그림 8(a)에서 보여 지듯이, 해당 지역의 경우 소음저감 대책 전에는 철로 변에 인접한 가옥이 60 dB의 소음에 노출되어 있었으나, 그림 8(b)에서와 같이 철 (a) (b)로 변에 높이 2m, 길이 362m의 방음벽을 좌측에 보강하고 높이 3m, 길이 367m의 방음벽을 우측에 보강한 결과 소음을 55 dB 이하로 저감됨을 알 수 있다. 실제 방음벽의 경우 풍압 및 구조적 안정성 그리고 시공 현실성 등



(a) 방음벽 적용 전



(b) 방음벽 적용 후

그림 8. 측정 지점 15 주변에서의 소음 지도

을 매우 신중하게 검토하여야 한다. 본 연구에서는 기존 고속철도 구간에 이미 설치되어 있는 방음벽을 기준으로 부분 연장 혹은 높이 보강 또는 일부 시설을 고려하는 경우 소음 저감 효과를 분석하여 본 결과이다.

VI. 결 론

본 연구에서는 KTX 노선 주변에 대하여 소음지도를 작성하고 KTX로부터 발생하는 소음의 영향을 분석하였다. 이 경우 소음지도를 작성하기 위해서는 소프트웨어 SoundPLAN를 활용하였으며, 소음지도의 예측 결과를 검증하기 위하여 소음 측정을 실시하고 측정 결과와 예측 결과를 비교하였다. 그 결과, 예측 및 측정된 지역 중에서 민가에 속한 일부 지역을 소음피해 지점으로 분류할 수 있어서, 소

음저감이 필요한 지역이 존재함을 알 수 있었다. 그리고 기존 고속철도 구간에 이미 설치되어 있는 방음벽을 기준으로 부분 연장 혹은 높이 보강 또는 일부 시설을 고려하는 경우 소음 저감 효과를 분석하였다. 실제 방음벽의 경우 풍압 및 구조적 안정성이 확보되어야 하며 단순 이론식에 의해서만 결론을 도출하기에는 어려움이 있다. 하지만 KTX가 운행 중에 있는 현 실정에서는 구조물에 의한 소음의 전파경로를 차단 및 흡음하는 방음벽 저감대책이 적절할 것으로 판단되어진다. 그리고 아직 국내에는 한국형 고속철도에 대한 소음예측모델이 규정화 되어 있지 않아, 이에 대한 연구가 보다 더 필요한 실정이다. 향후 유럽 공동체와 같이 소음피해 예상지역에 대하여 소음지도 작성이 의무화될 가능성을 고려하면, 고속철도 소음피해 지역에 대한 소음지도를 활용한 소음영향 평가 연구가 보다 활발히 진행될 것으로 생각되며, 본 연구가 그러한 연구들에 대한 기초 자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 강대준, 이재원, 박준철, 2004, 고속철도소음 현황과 특성, 한국소음진동공학회 논문집, 14(11), 1161-1165.
- 이찬, 길현권, 2008, 고속철도 KTX 노선 주변 소음 지도작성 용역, 화성시.
- 조준호, 고효인, 유원희, 2009, 철도소음기준동향, 소음·진동, 19(1), 9-15.
- 오진우, 장서일, 이기정, 2004, 국내의 소음지도 제작과 활용에 대한 연구, 한국소음진동공학회 추계학술대회는 문집, 778-781.
- SoundPLAN User's Manual, 2004, SoundPLAN International LLC.
- 나희승, J. P. Clairbois, 1999, 고속열차 주행시 주변에서의 소음예측 및 방음시설 설계, 한국소음진동공학회지, 9(6), 1106-1115.
- 나희승, 이희성, 김기환, 양신추, 최강운, 현승호, 2000, 고속전철의 기존선 운행시 소음평가,

- 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, 518-523.
- 조준호, 고효인, 유원희, 2009, 철도소음기준동향, 한국소음진동공학회, 소음진동, 9-15.
- International Standard Organization, 1975, Acoustics measurement of noise emitted by railbound vehicles, ISO 3095-1975(E).
- AFNOR, 2007, Bruit des infrastructures de transports terrestres, NF S31-133.
- 김정태, 은희준, 1996, 고속철도의 소음 특성과 전파 현상, 한국소음진동공학회 논문집, 6(3), 349-355.
- 철도청, 2001, 철도 소음 진동 편람.
- 최종원고채택 11. 08. 20