

# 경부고속철도 시험선구간의 방음시설 설계현황

## Design of Soundproof Facilities for the Test Track

나 회 승\*, 이 준 석\*\*, 황 승 현\*\*\*, J.P.Claibois\*\*\*\*, D. Gardin\*\*\*\*\*  
Na, Hee-Seung Lee, Jun-Seok Hwang, Seung-Hyun J.P.Claibois D. Gardin

---

### ABSTRACT

This paper sums up the study of the soundproof facilities to be placed on the test track section within the Seoul-Pusan H.S.T. project. The objective of this study is to determine optimum design of soundproof including height, length, location, sound absorbing materials for test track(chonan-taejon). This paper shows the model to design the shape and materials of noise barrier for high speed trains(TGV, ICE, etc). Noise prediction is to be conducted by MITHRA. Various parameters affecting the noise propagation outdoors are surveyed and discussed in relation to H.S.T. noise.

---

### 1. 서론

최근 국가경제규모가 급속히 늘어남에 따라 수송수요가 지속적으로 증가하게 되고 이에 따라 재래선과 고속도로등 기존 시설들이 포화상태에 이르게 되었다. 정부는 이러한 문제점을 해결하기 위해 경부고속철도 사업을 시행하게 되었고 1992년 6월 착공하여 현재 진행중이다. 경부고속철도가 완공되면 지역개발의 활성화, 유틸비절감, 교통애로 개선, 대기오염물질의 감소등 사회전반에 미치는 파급효과가 막대할것으로 기대된다. 반면 속도 및 운행횟수의 증가로 소음진동에 의한 환경민원도 증가할것이다.

소음 및 진동공해는 일상생활중에서 가장 빈번히 접하는 환경오염으로 도시인의 심리적, 정신적, 신체적 피로를 가중시키고 있다. 따라서 정온한 생활환경 유지는 시급히 해결해야 할 과제로 대두되고 있으며, 육상 교통수단에 의한 소음은 승객들의 쾌적한 생활환경욕구를 감안할경우 중요한 관심사로 등장할 것이다.

본 논문에서는 현재 건설중인 경부고속철도 시험선구간(천안~대전)의 방음시설 설계용역 현황에 대해 기술하고자한다. 이 연구에서는 먼저 고속철도연변에서의 소음원특성에 관하여 다양한 검토를 수행한후 국내 시험선에 대한 방음시설의 일반적인 방법론에 대해 기술하였다. 고속전철은 일반열차와는 다른 소음발생 메카니즘을 갖고며 다른각도에서의 접근방법이 마련되어야할 것이다. 다음은 이를 기초로 경부 고속철도 소음모델을 만들고 국내에서 수집된 설계관련 데이터를 분석하였다. 특히 고속철도소음원은 속도에따라 다양하게 분석, 검토되어야한다. 방음시설의 음향설계에서 필요한 자료는 환경소음기준, 국내 지형, 기후, 고속철도 소음원 데이터, 시험선구간의 특성(교량, 성토, 절토, 터널등), 국내방음자재특성등이 있다. 이자료의 충분한 분석후 소음감쇠 목표를

---

\* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 시스템개발팀, 정회원

\*\* 한국고속철도건설공단, 비회원

\*\*\* 한국고속철도건설공단, 비회원

\*\*\*\* Acoustical Technologies, 비회원

\*\*\*\*\*TUC-Rail, 비회원

따라 소음예측을 시뮬레이션하고, 이를 최적화하여 방음벽의 형태, 위치, 높이, 길이, 재료등을 결정한다. 이를 바탕으로 고속철도의 풍압과 시공성을 고려한 방음벽 구조설계가 수행된다[1,2]. 구조설계는 안정성, 유지보수, 미관등을 고려하여 설계하고, 최소비용으로 최대방음효과를 얻을수 있도록 디자인을 설정하여 설계최적화를 수행한다. 이를 기초로 표준도면을 작성하고 시공에 들어간다. 참고로 본 용역에 참여한 Acoustical Technologies는 1986년 TGV-A를 시작으로 스페인의 AVE와 TGV-Nord, 벨기에의 TGV건설 사업등에서 소음 영향 평가, 방음 대책 설계, 정거장 소음대책 등 여러분야에서 용역을 수행하였다. 그림 1, 2는 TGV 북부선과 파리근교에 시공한 방음벽이다.

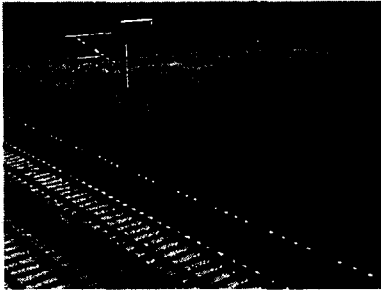


그림 1. TGV 북부선의 방음벽내부



그림 2. 파리근교의 고속철도 방음벽

## 2. 고속철도건설시 환경소음저감 대책

고속철도의 소음대책에 관한 연구는 새로운 고속철도 노선 프로젝트 도출 및 설계과정에서 동시에 병행해서 이루어져야 가장 효율적이다[3]. 외국의 경우 고속철도의 소음대책은 다음과 같은 4단계로 수행된다.

**1단계 :** 건설 사업 이전의 소음 레벨 측정은 건설 후에 어느 정도 소음 레벨이 증가하였는가에 대한 판단이 되며, 건설후의 법적 대응에 대한 준비 자료가 된다. 측정은 주간과 야간, 평일과 주말에 걸쳐 같은 시간대에 측정하여야 한다. 측정방법은 Short Leq(적분시간 125ms)를 이용한다. 방음 설비 설치 이후에도 측정하여, 방음 시설 설치 후의 소음 레벨의 증가와 방음 시설의 효과등을 분석한다. 암소음도측정은 매우 민감한 문제이며 민원의 소지가 있는 즉, 환경규제에 의해 규제대상이 될 수 있는곳을 선택하여 측정한다. 그림 3은 시험선구간의 암소음도를 측정한 결과이다.

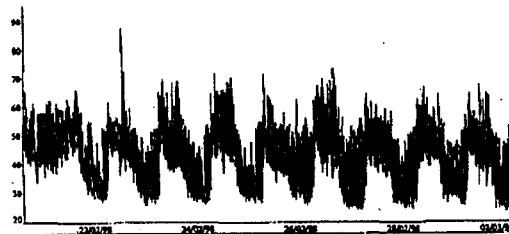


그림 3. 시험선구간의 암소음도 측정

**2단계 :** Extensive Study는 선택적으로 수행할 수 있으며, 이과정에서는 소음에 의한 영향을 최소화 하도록 선로를 결정하는 과정이다. 예를 들어 새로운 고속철도 노선을 건설할 경우 도시간 연결을 위한 가장 적절한 노선을 선정하는 것이다. 이때 여러 가지 가능한 연결노선을 선정하여 분석하고, 이 노선이 환경에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 이 연구는 음향적인 측면과 더불어

다른 동물군, 식물군, 지형, 역사적인 유적등 사회적, 환경적인 영향을 고려하고 프로젝트 수행시 시공성, 비용등을 포괄적으로 포함한다. Extensive Study를 이용하여 철로 위치를 결정한 후에는 새로운 고속철도 노선에 대한 Intensive Study가 수행된다.

3단계 : Intensive Study는 새로운 고속철도 노선에 대한 건설 후의 운행 소음에 의한 정확한 영향을 평가하고, 주어진 소음 기준을 초과하는 지역을 예측하여 소음 기준 초과 지역에 대하여 3차원 소음 전파 해석을 한다. 이를 기초로 흡음형, 반사형, 직립형, 경사형 방음벽등 일반적인 방음 대책을 결정한다. 앞으로 설명할 내용은 대부분 이러한 Intensive Study를 고려한 내용이다.

4단계 : 앞의 결과를 이용하여 소음 기준 초과 지역에 대하여 소음원의 특성 및 방향성 등을 고려하여, 시간에 따른 소음 레벨의 변화를 3차원 해석한다. 이 과정에서 소음 감소 필요량에 따른 방음벽의 형상, 흡음재 부착 여부등을 방음벽 건설비와 관련하여, 최적의 방음벽을 결정한다.

### 3. 시험선구간의 방음벽설계

#### 3.1 TGV-K의 소음특성

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. 이밖에 판도그래프와 전차선사이의 집전소음이 있다[4].

차륜/레일의 소음(전동소음)은 열차의 속도가 증가할 수록 높아져서 대개 80km/h이상의 속도구간에서 지배적 소음이 된다고 알려져 있다. 그 크기는 속도의 3승에 비례하나 차륜/레일 작용면의 상태에 따라 변화할 수 있다. 차체 표면에서의 공력소음은 저속에서 문제가 되지 않지만 속도가 증가할 수록 소음의 크기가 커져서 열차속도가 300km/h를 넘게 되면 지배적 소음이 되고 그 크기는 속도의 6~8승에 비례한다. 추진장치(전동기, 추진축등)와 각종 보조장치(냉각팬, 에어컨등)의 소음은 고속주행시에는 다른 소음에 비해 상대적으로 중요도가 떨어지지만 저속주행시에는 차륜/레일 소음에 버금가는 중요도를 갖는다. 그 크기는 속도에 비례한다.

그림 4는 속도 300Km/h에서의 통과소음도를 측정하여 모델링한 결과이다. 한국형 고속전철은 400mL의 차량길이나 2량의 동력차를 갖고 있으며, 프랑스의 TGV-R(TGV Réseau)과 유사한 특성을 갖는다. TGV의 소음은 객차보다 동력차에서 소음 레벨이 높으며, 후두부보다 전두부에서 다소 높은 소음이 발생한다. 현재 경부고속철도 차량 계약서에 의거하면 속도 300Km/h, 열차길이 400m에서 차량에 대한 기준소음도는 이격거리 25m에서  $Leq, passby = 91dB(A)$ 이고, 이 경우  $Lmax$ 는 92.5dB(A)이다. 이때 환경기준과 관련된 소음도는 1시간당 20.5대(K-TGV 328대/06시 ~ 22시)를 운행할 경우  $Leq = 77.80dB(A)$ 이다.

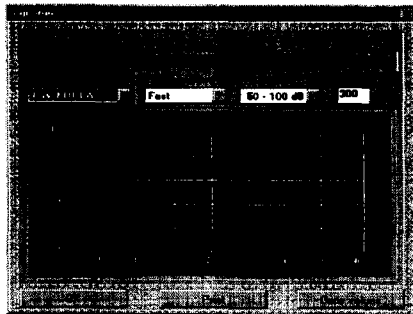


그림 4. 속도 300Km/h에서의 통과소음도

#### 3.2 소음예측을 위한 입력데이터

소음저감은 소음원 모델링에 기초한 소음예측이 선행되어야 한다. 소음 예측 기술의 경우 소음원과 모델링에 대한 데이터 베이스가 구축되어 있어야 하는데 선진국의 경우 오래 전부터 이 분야에 대한 연구가 진행되어 왔다. 많은 국가들에서는 도로소음, 철도소음, 항공소음등 소음원 유형별로 환경여건을 고려하여 소음예측식을 제안하고 있다. 국내의 경우 환경부는 도로교통소음과 철도소음에 대한 소음예측 모델을 제시하고 있다. 이러한 소음예측 모델은 각 국의 여건에 따라 다소 차이가 있으나 실제 소음레벨과 잘 맞는 것으로 알려져 있다. 프랑스는 고속전철 소음 예측용 프로그램인 MITHRA를 판매하고 있으며, 이를 이용한 방음벽 설계용역을 활발히 수행하고 있다 [5].

시험선구간의 방음시설설계용역은 한국고속철도건설공단의 요구에 따라 상용 소프트웨어를 이용하여 수행하였으며, 소음예측 및 방음벽설계는 MITHRA를 이용하여 시뮬레이션되었다. MITHRA는 프랑스(Grenoble)의 건설기술연구소인 CSTB에 의해 개발되었으며 판매원은 01dB (Lyon)로 현재 국내에서도 윈도우버전을 판매하고 있다. 개발처인 CSTB는 MITHRA소프트웨어의 신뢰성을 검증하기 위하여 특정한 구역을 선정하였고, 실험과 시뮬레이션을 통하여 이 소프트웨어의 신뢰성을 검증하였다.

소음예측은 소음원 특성, 소음전달경로사이의 지형조건, 지면조건, 바람, 온도차이등에 의해 복합적으로 결정되며, 이에 대한 많은 연구가 진행되어 상당히 정확한 예측을 할 수 있게 되었다. 소음예측에 미치는 중요한 몇가지 인자는 다음과 같다.

1. 거리감소
2. 대기의 흡수에 의한 감소
3. 기상조건에 의한 영향
4. 지면효과에 의한 소음감소
5. 방음벽에 의한 회절감소
6. 소음원의 지향성에 따른 보정

본 연구에서 소음예측을 위한 입력데이터는 다음과 같다.

- 가. 지형데이터 : 시험선구간의 평면지도, 국립지리원의 지형 데이터, 풍향, 신축 건물의 위치, 건물의 높이, 사용용도 등이며, 시험선구간에서 가장 일반적인 지표임피던스는  $\sigma=600,000$ 이다. 표 1은 Mithra에서 제공하는 지표 임피던스이다.

표 1. 지표임피던스

	ground impedance
highly reflective ground	$20,000 * 10^3$
reflective ground	$2,000 * 10^3$
compacted earth, lawn	$600 * 10^3$
green fields	$300 * 10^3$
highly absorptive ground	$150 * 10^3$

- 나. 열차데이터 : 한국형 고속철도는 400mL의 차량길이와 2량의 동력차를 갖고 있으며, 프랑스의 TGV-R(TGV Reseau)과 유사한 특성을 갖는다. 시험선구간에서 열차의 속도선도, 속도 300Km/h에서의 통과소음도(그림 4)등이 필요하다. 이밖에 시험선구간(천안역~대전역)의 기차운행 계획표는 다음과 같다. 차량운행수는 상행과 하행을 포함하여 1시간당 20.5대(328대/06시~22시)이다.

표 2. 시험선구간의 차량운행계획표

		서울발 부산행(6-22시)	부산발 서울행(6-22시)
천안역	정차선	17	17
	통과선	147	147
	총량	164	164
대전역	정차선	164	164
	통과선	0	0
	총량	164	164

### 3.3 방음벽 형태에 따른 소음예측

환경소음기준은 어느지역에 어느정도의 방음대책을 세워야하는지를 결정하는 기준이 된다. 그러나 현재 고속철도의 환경소음기준이 결정되지 않아 환경소음대책에 많은 어려움을 갖고 있다. 본 용역에서는 고속철도 보유국의 환경기준과 한국소음진동공학회에서 수행한 고속철도 환경소음기준안을 검토하여  $Leq = 65dB(A)$ 를 소음의 감쇠목표로 설정하였다. 이는 앞으로의 기준이 용역에 사용하는  $Leq=65dB(A)$ 를 중심으로  $\pm 5dB$ 범위내에서 채택되는 한 그에 따른 방음대책의 변화는 그다지 크지 않다는 많은 소음전문가들의 판단에 따른 것이다[6]. 참고로 국내의 철도소음기준은 1994년 11월 21일 총리령 제 473호로 공포되어 2000년 1월 1일부터 시행되고 주거지역(주간)  $Leq = 70dB(A)$ 를 적용하는 것으로 되어 있다. 많은 고속철도를 운행하고 있는 유럽은  $Leq$ 를 채택하고 있으며, 주간  $60 \sim 66dB(A)$  야간  $50 \sim 61dB(A)$ 이 사용되고 있다.  $Lmax$ 를 유일하게 사용하고 있는 일본은 주간과 야간을 동일한  $70dB(A)$ 로 채택하고 있다. 다음은 방음벽(2.4m) 설치전후의  $Leq$ ,  $Lmax$ 에 대한 이격거리를 시뮬레이션한 결과이다. 교각의 높이는 15m로 가정하였다.

표 3. 소음기준에 따른 방음벽 설치전후의 이격거리

소음기준	방음벽 설치전 이격거리	방음벽 설치후 이격거리
$Leq = 65dB(A)$	265m	25m
$Leq = 60dB(A)$	505m	55m
$Lmax = 75dB(A)$	365m	45m
$Lmax = 70dB(A)$	575m	115m

철도의 소음저감기술개발은 환경보존과 승객의 안락감향상이라는 두가지 목적을 갖는다. 철도소음은 수음자위치에 따라 차내소음과 선로연변 소음으로 나뉠 수 있으며 이것은 어디까지나 수음자위치에서의 구분일뿐 소음원은 결국 동일하다. 따라서 철도소음을 감소시키기 위해서는 결국 소음원을 없애거나 감소시키는 것이 가장 좋은 방법이나 선로변과 같이 근본적으로 소음원을 차단시키지 못하는 경우 간접적인 방법, 즉 소음전파 경로를 차단하거나 분산시키는 방법을 사용하여야 한다. 경로차단에 의한 대표적인 소음대책수단으로는 방음벽을 들수 있다.

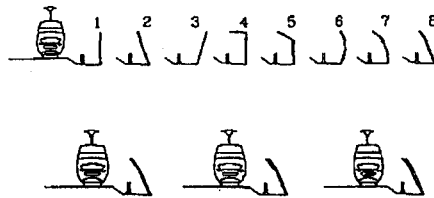


그림 5. 방음벽의 8가지 형태와 흡음재 부착정도

그림 5는 8가지 형태의 방음벽과 흡음재 부착정도(반사형, 부분흡음형, 흡음형)를 나타낸다[7]. 그림 6, 7은 방음벽의 형태 및 흡음재부착정도에 따른 소음예측의 결과이다. 각각의 그림은 선로부터 10m~150m의 거리, 상하  $-15m \sim 45m$ 범위에 대해 등가소음레벨을 보여주고 있다. 흡음형 방음벽은 반사형보다 지상에서  $3 \sim 8dB(A)$  저감효과를 갖으며, 반사형에 비해 내구성이 떨어지나 국내와 같은 인구 밀집지역에 최대 소음저감효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 특히 흡음형 방음벽은 방음효과면에서 가장 효과적이며, 방음벽의 높이와 길이를 최소화하는 장점을 갖고 있다. 따라서 시험선구간에서는 흡음형을 기준으로 설계되었다. 형태 1과 형태 5를 비교했을 때 같은 높이에서 형태 5가 소음저감효과면에서 우수한 결과를 나타냈으나 고속철도의 경우 보수유지가 어렵다. 따라서 본 용역에서는 방음성능이 우수하고, 시공성, 안전성, 경제성, 보수유지등이 종합적으로

고려된 직립흡음형 방음벽을 선택하였다. 표 3은 방음벽의 형태와 높이에 따른 소음예측값을 비교한 것이다. 동일한 소음저감을 위하여 형태 1이 형태 5보다 30cm정도 높게 시공되어야함을 알 수 있다.

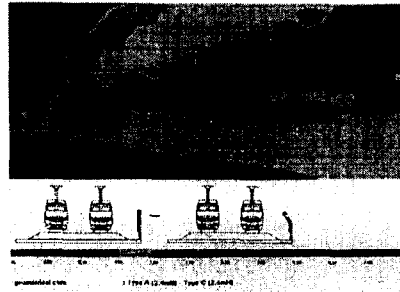
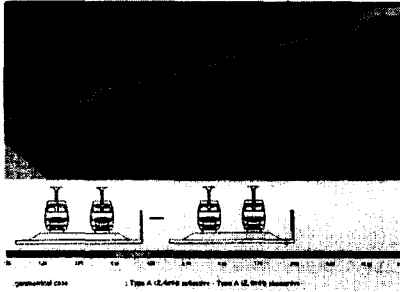


그림 6. 흡음형과 반사형의 소음저감차 예측

그림 7. 방음벽형태(1,5)의 따른 소음저감차 예측

표 3. 방음벽의 형태와 높이에 따른 소음예측값 비교

방음벽 형태 (높이)	형태1(3.0m)	형태5(2.4m)	형태5(2.7m)	형태5(3.0m)
소음예측값	61.0dB(A)	61.5dB(A)	60.9dB(A)	60.4dB(A)

참고로 흡음재는 250Hz, 500Hz주파수대를 중심으로 흡음성능이 우수한 재질 및 두께를 설정하고 최소의 면적으로 최대의 효과를 거둘수 있도록 적절한 크기, 각도 및 위치등을 선정하여야한다. 본 용역에서는 흡음율 CEN 10을 사용하였다. 재질은 난연성, 자기소화성은 물론 연소에 따른 유독가스발생이 적어야하고, 열차풍압과 분진의 발생 및 비산이 없어야하며 습기, 시공성, 유지관리, 경제성등을 종합검토 하여야한다.

### 3.4 방음벽 위치결정을 위한 시험선구간의 소음예측

다음은 위에서 기술한 입력데이터를 기초로 시험선 특정구간에 대해 소음예측 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 그림 8에서 처럼 선로변의 대부분가옥들이 75dB(A)이상의 소음영역에 위치하고 있으며, 적절한 방음대책이 필요함을 알 수 있다. 그림 9는 위의 형태와 재질에 일정길이를 갖는 방음벽을 설치한후 소음예측을 시뮬레이션한 결과이다.



그림 8. 방음벽 설치전 선로변의 소음예측

그림 9. 방음벽 설치후 선로변의 소음예측

대부분 선로변 가옥들의 소음도는 60dB(A)로 매우 정온한 환경을 유지하고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 시뮬레이션과정을 거쳐 최적화된 방음벽의 높이, 길이, 위치, 재료, 형태등이 결정된다. 이를 바탕으로 고속철도의 풍압과 시공성을 고려한 방음벽의 구조설계가 수행된다.

### 3.5 사양결정시 고려사항

방음벽은 방음성능이외에도 다음의 사항을 만족해야한다.

1) 방음벽은 안전시방조건을 만족하고 고속운행시 열차에 의해 발생하는 풍압 및 슬립스트림 효과를 고려해야 한다. 선로변에 위치한 구조물은 슬립스트림 효과에 의해 압력과 흡인력을 교대로 받게된다. 그림 10은 열차속도 120, 160, 200, 250, 300Km/h에 대한 측면에서 작용하는 슬립스트림 효과를 나타낸것이다. 이 효과는 열차속도의 제곱, 열차의 공기역학적 형상, 구조물의 형상, 선로와 구조물간의 거리에 따라 결정되어진다. 또한 차량의 앞뒤에 거의 동일한 부하가 작용한다.

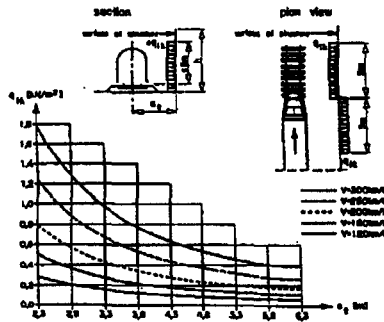


그림 10. 열차에 의해 발생하는 슬립스트림 효과

- 2) 방음벽은 내화 시방조건을 만족해야한다.
- 3) 방음벽은 낙석으로 인한 충격을 견뎌야하며, 표면손상만 있고 자재자체에 영향은 없어야 한다.
- 4) 방음벽은 장기간에 걸친 노화 및 부식을 방지해야한다. 방음재는 수분이 침투하지 않도록한다. 방음판에 흐르는 물은 파이프를 통하여 배수되어야한다. 환기를 위해 매트뒤에 공기층을 둔다. 금속보호를 위해 리벳, self-drilling screw의 사용을 금한다.
- 5) 방음벽은 유지 보수가 용이해야한다. 표면은 청소가 용이하고 일부손상이 있을 경우 인접 요소를 손상시키지 않고 보수 및 교체가 가능해야한다. 부피가 적을수록 좋다. 낙석을 지우기 쉬운 방음판을 선택한다. 기타 보수가 필요치 않은 제품을 선택한다.

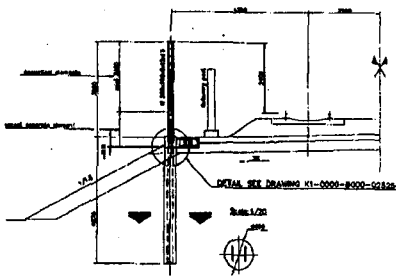


그림 11. 방음벽의 표준도면  
(성토구간의 파일기초방식)



그림 12. 방음벽 시공후의 시험평가

그림 11은 이상의 과정으로부터 설계된 방음벽의 표준도면이다. 시험선구간은 선로가 대부분 시공

되어 있기 때문에 연속기초방식보다는 선로구축물의 손상을 최소화하는 파일 기초방식이 우선되었다. 방음벽의 시공완료후 열차가 운행할 경우 그림 12와 같은 시험평가가 수행되어야 한다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 경부고속철도 시험선구간에서 방음시설에 의한 고속철도 소음예측 및 저감설계에 대해 연구를 수행하였다 고속철도 소음예측은 지형 및 차량데이터가 필요하며, 보다 정확한 소음예측을 위하여 소음발생의 원인 및 특성을 면밀히 분석해야만 한다. 이를 기초로 소음저감대책에 필요한 방음벽의 형태 및 자재를 선택하고, 소음예측을 통하여 방음벽의 높이, 길이, 위치등을 최적화 하였다. 이를 바탕으로 고속철도의 풍압과 시공성을 고려한 방음벽의 구조설계가 수행되었다.

향후 체계적이고 종합적인 소음저감 기술에 대한 연구가 필요하며, 이에 따른 연구결과는 관련 기술의 향상에 크게 기여할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] 소음진동편람, 한국소음진동공학회, 1995
- [2] C.E.T.U.R., Guide du bruit des transports terrestres/Prevision des niveaux sonores (Minist. Fr. Environ. & Cadre de Vie, rev. 1990).
- [3] 시험선구간 방음벽설계용역, 한국고속철도 건설공단, 1998
- [4] Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, NTIS, 1982
- [5] MITHRA V3.0 매뉴얼, 01dB,1996
- [6] 고속철도환경소음기준 및 진동기준에 대한 연구, 한국고속철도 건설공단, 1995
- [7] P. Houtave and J. P. Clairbois, "Specific Designs of Noise Barriers for Tains," Proceedings of Internoise 97, vol. I, Budapest, Hungary, August, 1997.