

고속철도의 소음발생과 그 대책

박진모*·최강윤**

(한국고속철도건설공단 차량연구실 실장*·팀장**)

1. 머리말

1960년대 이후 국가 경제규모가 급속히 늘어남에 따라 사회, 경제 활동 영역의 확대로 수송수요가 지속적으로 증가하게 되었으며, 기존의 철도와 고속도로 등 주요 교통 시설은 이미 포화 상태에 이르렀다. 이러한 교통으로 타개방안으로 정부에서는 경부 고속철도 건설사업을 시행하게 되어 1992년 6월 착공하였다.

경부고속철도의 건설로 교통애로 개선, 운송시간 단축으로 인한 지역개발, 공로교통의 고속철도로의 전환에 따른 유류절감과 대기오염물질의 감소등으로 고속철도는 사회전반에 막대한 공헌을 할 것으로 기대된다.

반면에 속도 및 운행횟수의 증가에 따라 열차로 부터 발생하는 소음과 진동은, 최근의 환경오염에 대한 최근의 인식과 생활 수준의 향상에 더하여 중요한 환경문제의 하나가 될 것으로 예상된다. 과도한 소음은 생활에 불편을 줄뿐만 아니라 청력을 손상시키며 심리적, 생리적 문제까지 야기시킨다.

또한 철도의 소음공해는 선로 주변 주민으로부터 불평, 불만, 소송등을 유발시키며, 자동차에 대한 대안으로서 철도수송에 대한 대중

의 지지를 감소시킬 수도 있다.

철도의 소음저감 기술 개발은 환경보존과 승객의 안락감 향상이라는 두가지 목적을 갖고 있으며, 철도의 속도향상에 있어서 필수적인 연구분야의 하나가 되었다. 특히 인구밀집지역의 통과가 많은 우리나라에서는 앞으로 고속철도 운행시 발생할 수 있는 소음문제에 대비하여 적극적인 소음 저감 대책을 수립할 필요가 있다. 여기서는 고속철도의 소음발생특성과 그에 대한 대책, 철도소음 기준에 대하여 소개하며 앞으로의 소음저감을 위한 연구에 대하여 제언한다.

2. 고속철도의 주요 소음 발생원과 그 대책

경부고속철도의 소음관련 특성을 살펴보면

열차의 최고 운행속도는 시속 300km이며 서울 부산간 평균속도는 240km/h이다.

열차의 운행 간격은 개통 초기에는 10~12분 예정이며 최대 운행 간격은 4분이다. 선로의 구성은 연장 411km의 선로중 토공부분이 28%, 교량이 30% 터널이 42%로 구성되어 있다.

이와 같은 고속 주행과 빈번한

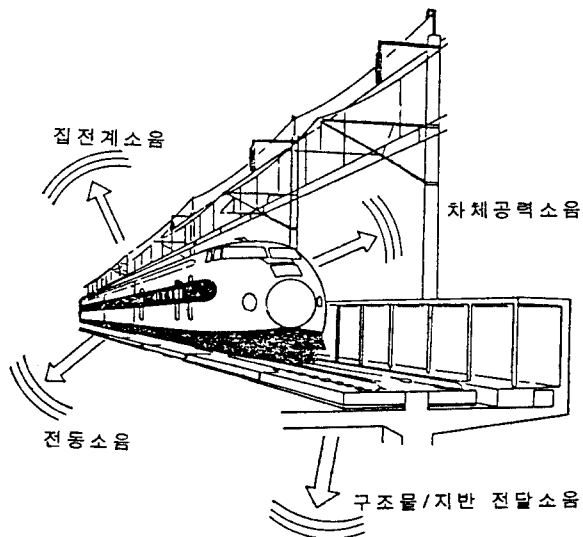


그림 1 고속철도의 주요 소음 발생원

운행으로 인하여 높은 소음이 예상되고 있으며 이에 대한 대책으로 용접레일을 이용한 레일의 장대화, 궤도 방진 mat와 자갈 도상 등 궤도 부분에서의 방음·방진 설계를 채택하며, 소음전달 경로차단을 위하여 소음 피해 예상지역에서는 방음벽을 설치할 계획이고, 선로변 근접지역에서는 주민 이주대책등을 마련하고 있다.

고속철도의 주요소음 발생원으로는 그림 1에서 보는 바와 같이 차륜과 레일 사이에서 발생하는 전동소음과, 높은 운행속도로 인한 차체의 공력소음, 전차선과 집전장치 사이에 발생하는 집전계 소음 및 구조물과 지반을 통하여 전달되는 저주파 영역의 소음, 진동 등이 있다.

철도에서의 소음문제는 선로변 주민에 피해를 가져오는 환경소음 문제와 승객의 안락감을 해치는 차량실내 소음의 두가지 문제로 나눌 수 있으나, 대부분의 소음원은 선로변 소음과 차실내 소음에 다같이 영향을 미치게 된다. 여기서는 주로 선로변의 환경소음 문제에 대하여 소개한다.

2.1 전동소음

전동소음은 차실내부와 중, 저속에서 선로변 소음의 주요원인이 되며 차륜과 윤축의 공진에 의하여 발생한다. 저주파 성분은 차축의 굽힘 모드와 관련되어 있으며 그 영향은 그리 크지않다.

보다 높은 주파수 성분의 소음은 차륜의 비틀림 모드와 반경방향 팽창모드와 관련되어 있다. 차량의 전동소음은 속도와 차륜/레일의 표면거칠기에 영향을 받으며 일반적으로 $15\log V \sim 40\log V$ 의 관계를 갖는 것으로 알려져 있다. (여기서 V는 속도를 나타냄)

(1) 차륜/레일 표면 거칠기의

영향

레일의 표면 거칠기는 전동소음과 차량의 진동에 많은 영향을 미친다.

고속철도와 통행량이 많은 선로에서는 연결부위에서의 충격소음을 줄이기 위하여 일반적으로 용접된 장대화 레일을 사용한다.

레일표면에 파상형의 이상마모(Corrugation pitch 50mm이상, 깊이 수십 μ m)가 있을때 소음은 10 dBA까지 증가하게 되며, 이에 대한 대책으로써 이상 마모된 레일에 대하여 연삭하여 표면거칠기를 관리한다.

한편, 차륜에서도 레일 접촉부위(답면)에서 발생하는 수십 μ m 깊이의 불규칙 마모와 가속시 및 제동시의 차륜 미끄럼에 의하여 발생하는 wheel flat 현상에 의하여 소음레벨이 많이 증가되므로 마모된 차륜에 대한 차륜 정삭과, 차륜의 미끄럼 방지 장치가 필요하다. 그림 2는 차륜의 마모 정도에 따른 소음레벨의 증가량을 보여주고 있다.

(2) 플랜지 미끄럼 소음(Flange Squeal)

플랜지 미끄럼 소음은 차륜이 곡선 궤도를 주행할 때 공진에 의하

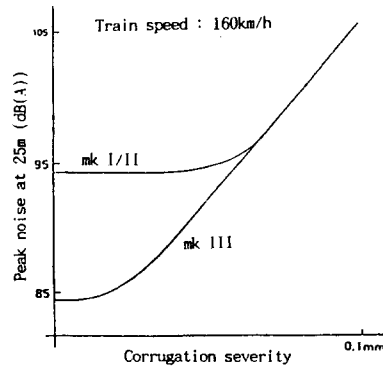


그림 2 차륜 마모 정도에 따른 소음레벨의 증가(mk I/II: 답면 브레이크, mk III: 디스크 브레이크)

여 발생하는 소음이다. 2축 대차에서 차축은 평행하게 설치되어 있으며 곡선 주행시 차축이 반경방향과 어긋나 차륜이 레일 상부에서 측면으로 미끄러짐이 발생하여 곡률반경이 작을 경우 플랜지 접촉이 발생한다. 차축의 방향이 잘못되고 바퀴의 이동거리가 달라 주행방향으로 미끄럼이 발생하고 측면으로도 미끄럼이 발생하며, 이러한 미끄럼 발생시의 stick-slip 현상이 차륜에 공진현상을 일으켜 squeal 소음을 발생시킨다. 측면 방향 미끄럼 현상에 대하여는 곡률반경이 보기 축간거리(wheel base)의 100 배 이하일때 발생한다고 알려져 있다.

플랜지 squeal 소음의 감소방법은 일반적으로 차륜과 레일사이의 윤활을 통한 차륜의 미끄럼 소음 감소, 탄성차륜이나 댐핑차륜을 이용한 소음/진동의 흡수, 방음벽에 의한 소음의 차단, 조항가능한 대차(steerable truck)를 이용한 차륜/레일 사이의 stick-slip의 방지 등이 있다.

표 1에 차륜의 wqueal 소음 감소대책과 효과가 나와있다⁽³⁾.

(3) 선로조건에 따른 소음레벨의 변화

선로변에서의 소음레벨은 선로조건에 따라 크게 변화한다.

최근의 철도시스템에서는 용접레일과 탄성레일 체결구등을 채택하여 종래의 철도 시스템의 경우보다 훨씬 조용하다. 일반적으로 경량의 강 구조물 선로에서 가장높은 선로변 소음이 발생하며 자갈 도상궤도에서 소음레벨은 낮다. 그림 3에 선로종류와 속도에 따라 소음레벨이 어떻게 변화하는가를 보여주고 있다⁽²⁾. 그림에서 볼 수 있듯이 용접레일에서 소음은 상당히 감소되고 있으며, 경량 강구조 교량에서의 소음은 콘크리트 구조물이나 토

표 1 차륜의 squeal 소음 대책과 그 효과

Method	Reduction at Squeal Frequencies (dB)	Comments
Resilient Wheels	15 to 30	Most resilient wheels essentially eliminate wheel squeal noise.
Ring Dampers	10 to 25	Very effective at controlling squeal above 1500 Hz. Appear to be one of the most cost-effective methods of controlling noise.
Viscoelastic Damping	10 to 25	Although not widely used or tested, constrained layer viscoelastic damping can reduce squeal noise.
Tuned Dampers	20 to 30	Made by Krupp of Germany. Although moderately expensive, they appear very promising.
Articulated Trucks	10 to 30	Still in experimental stage, little measurement results available.
Sound Barriers	5 to 15	Attenuation depends on barrier configuration.
Rail Grinding	+5 to -5	Inconsistent results have been achieved with rail grinding.
Wheel Truing	0 to -5	Marginal reductions of wheel squeal have been observed after wheel truing.
Rail Lubrication	0 to 25	Grease, water spray and water-and-oil mixtures have been used with varying degrees of effectiveness.

공부분에서보다 훨씬 큼을 알 수 있다.

2.2 차체 공력소음^(1,4)

차량의 속도가 증가함에 따라 공력소음이 주요 소음원의 하나로 등장하였으며, 공력소음의 발생은 난류 경계층 소음과 공기의 박리(shear) 현상에 의한 소음의 조합이다. 공력소음의 발생은 차체 외부의 불일치 구조부위에서 크게 발생하며 하부의 대차저항과도 밀접한 관계가 있다.

그림 4에 ICE 열차의 속도에 따른 소음레벨을 소음원에 따라 분류

하여 보여주고 있다. 250km/h 이상의 속도에서 차체와 판토품에서 발생하는 공력소음이 상당히 커짐을 볼 수 있다.

차체 공력소음을 줄이기 위하여는 선두부 형상의 유선형상화 및 창문, 연결부, 하부에 설치된 기기류 등 불연속이 발생하기 쉬운 차체 표면부위를 평활화 하여야 한다. 공력소음의 발생은 차체 전체에 퍼져 있으며 이러한 현상을 고려하여 방음효과를 높일 수 있는 방음벽 설계에 대한 연구가 외국에서는 진행되고 있다⁽⁵⁾.

2.3 집전계 소음⁽¹⁾

집전계 소음은 판토품 그래프 마찰음, 판토품과 전차선이 떨어질 때 발생하는 아크발생음과 고속주행시 판토품 그래프에서 발생하는 공력소음 등이 있다.

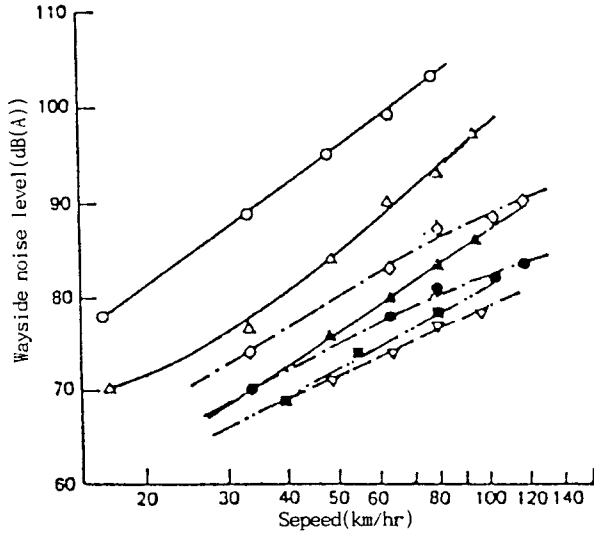
집전계에서 발생하는 소음은 음원의 높이가 높아(레일상면에서 약 5m) 방음벽으로 차단이 곤란한 문제가 있다.

이러한 집전계 소음의 대책으로 가선의 장력증가, 행거(hanger) 간격의 축소 등 가선계의 콤프라이언스를 균일하게 만드는 것과, 판토품 그래프 집전판이 설치된 가동부위의 관성저항 감소에 의한 이선 및 아크소음 대책, 집전재료 개선과 윤회등에 의한 윤회성능향상, 고전압 급전선 설치를 통한 판토품 그래프 숫자의 감소, 공기저항이 적은 판토품 그래프의 공역학적 설계등이 있다. 일본 신간선의 경우 집전장치 주위에 cover를 설치하여 집전장치 주위의 공기유동을 감소시켜 공력소음을 감소시킨 예가 있으나 주행속도 상승에 따라 cover 자체에서 또다른 공력소음을 발생시킬 수 있으므로 궁극적인 해결책이라고 볼 수 없다.

그림 5에 집전계 이외의 소음과 집전계 소음에 대하여 속도에 따른 각 소음원의 기여도를 보여주고 있다.

2.4 구조물 전달 소음과 지반 전달 소음^(2,3)

차륜과 레일사이의 진동은 궤도 구조물은 가진시키며 이는 노반을 통하여 전달된다. 궤도구조물 소음과 지반전달 소음은 주로 300 Hz 이하의 저주파 대역 성분으로 구성되어 A 가중치 소음레벨에 크게 기여하지 않으나 지반을 통하여 멀리 전달되며 소음/진동의 차단에 어려움이 있다.



- Steel elevated structure(Cars 2147/8) } Chicago transit Authority-jointed rail
- △ At-grade ballast and tie(Cars 2147/8) } Chicago transit Authority-jointed rail
- ▲ At-grade ballast and tie(Cars 2147/8) } Chicago Transit Authority-welded rail
- ▽ At-grade ballast and tie(Cars 2401/2) } Chicago Transit Authority-welded rail
- At-grade ballast and tie(Car 103). } Chicago Transit Authority-welded rail
- NFTA(Buffalo)-welded rail
- ◇ Concrete aerial structure(Cars 124/5) } BART(San Francisco)
- standard } BART(San Francisco)
- Concrete aerial structure(Cars 124/5) } -welded rail
- with sound barrier wall }

그림 3 궤도종류와 속도에 따른 선로변 소음

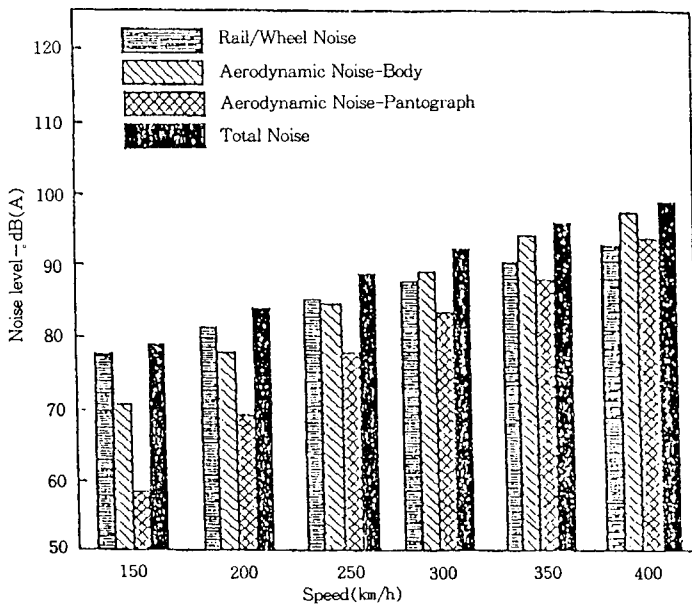


그림 4 ICE 열차의 속도에 따른 전체 소음레벨과 소음원별 기여도

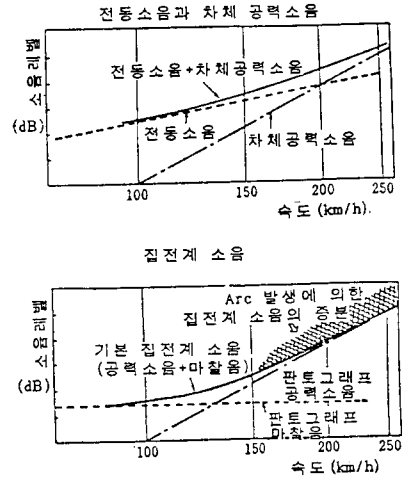


그림 5 속도증가에 따른 주요 소음원의 기여도

2.5 기타소음 발생원

(1) 추진장치 및 보조기기 소음⁽²⁾
 견인전동기, 추진축, 감속기, 냉각팬, inverter 등 추진장치의 소음과 압축기, 공조기기등의 보조기기 소음은 중, 저속에서 차량 실내외의 소음에 영향을 미친다. 견인전동기 소음은 주로 냉각장치에 의하여 발생되며 덕트화된 강제 통풍방식은 자체 통풍방식에 비하여 6~10 dB 정도 감소시키는 것으로 알려져있다.

추진축 및 감속기에서의 하이포이드 기어 사용은 다른 기어시스템에 비하여 높은 치차접촉율을 가져 소음을 감소시킬 수 있다.

(2) 궤도보수 소음⁽²⁾

궤도보수에는 여러종류의 크고작은 장비들이 사용되며 소음이 문제가 되는 작업은 도상정비 작업(ballast cleaning, tamping)과 레일 연마 등이다.

(3) 정비창 소음⁽²⁾

정비창에서의 소음은 선로변에서의 소음과는 다르며 주요 소음원은 다음과 같다.

- 차량의 전동소음(squeal, 충격소음 등)
- 차량연결시의 충격음

- 경적음, 경고음
- 수리 보수 소음
- 차량세척
- 제동시의 squeal 소음
- 공기방출 소음 등

적절한 소음대책(정비 작업 절차, 방음벽등)에 의하여 정비창 소음은 사회 환경 소음에 미치는 영향을 최소화 할 수 있다.

(4) 정거장 소음⁽³⁾

정거장에서 주요소음원은 정거장에 들어오고 나가는 열차의 소음과 HVAC, 에스칼레이터등의 정거장 설비, 군중소음, 안내방송등이 있으며 지상역의 경우에는 도로소음이 있다. 미국의 여객철도 협회(APTA; American Public Transit Association)에서는 정거장의 위치별로 다음의 소음기준을 제시하고 있다.

위 치		소음기준 (dBA)
플랫폼	열차진입, 출발	80~85
	통과열차	85
	정지하고 있는 열차	68
플랫폼, 통로	HVAC등 정거장 설비만 작동시	55
정거장내의 직원 사무실 등		50

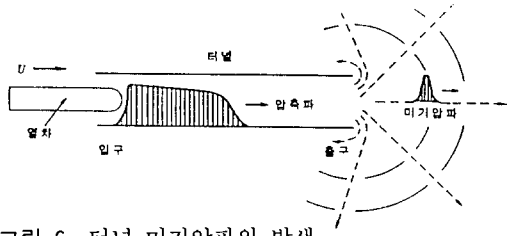


그림 6 터널 미기압파의 발생

정거장에서 소음에 대한 대책으로는 잔향시간 조절을 위한 벽면과 천장에서의 흡음재 처리와 정거장 설비의 소음제어설치, 음원으로부터 소음 차단을 위한 차음벽의 설치 등이 있다. 정거장 소음의 특징의 하나는 주요소음원(전동소음)이 플랫폼보다 하부에 존재하고 있는 것이다.

(5) 터널 미기압파⁽¹⁾

열차가 터널에 고속으로 진입할 때 터널내의 공기가 압축되며 이 압축파가 터널내에서 음속으로 전파되어 반대편 출구에 도달하여 압축파의 일부가 펄스형태의 압력파(미기압파)로 방사되면서 구배에 비례한다. 길이가 긴 슬라브케도 터널에서는 압력과 전면의 구배가 커져 미기압파가 커지게 되어(파열음 동반), 선로변 주민에 피해를 미친다(그림 6). 미기압파의 대책으로는 터널 출구에 도달하는 압력과 전면의 압력구배를 작게 하여야 하며, 이를 위하여 터널 입구에 완충공의 설치, 터널내에 가로방향터

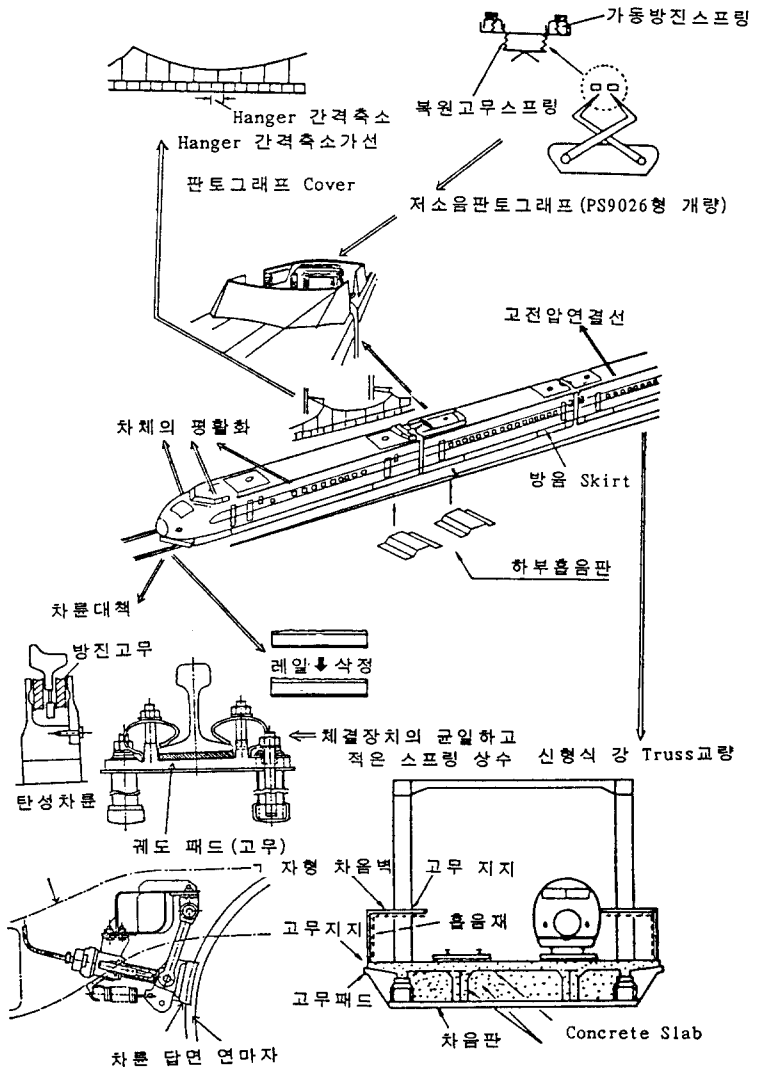


그림 7 신간선의 소음저감 대책

표 2 주요소음원과 대책 및 연구방향

구분	요인별 방음 대책 연구 방향		
소음발생원 해석	<ul style="list-style-type: none"> · 소음 발생 원인 · 각각의 소음원의 특성 · 각각의 소음원의 전체소음에 대한 기여도(집전계소음, 공력소음, 구조물 소음, 전동소음 등) 		
각각 소음 요인에 대한 소음저감 대책	집전계 소음	이선시의 아크 소음	<ul style="list-style-type: none"> · 전차선 개선(균일한 Compliance) · 판토그래프 개선(동특성 개선)
		집전마찰음	<ul style="list-style-type: none"> · 판토그래프 집전재 개선
	공력소음	<ul style="list-style-type: none"> · 차량유선형 설계 및 차량연결부위 개선(flush type) · 공기저항의 적은 판토그래프 설계 · 판토그래프 Cover를 이용한 판토주위의 공기유동 개선 · 공력소음 고려한 방음벽 설계 	
	구조물소음	Steel beam	<ul style="list-style-type: none"> · 거더 하부에 차음판 설치
		콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> · 구조 형태 개선
	전동소음	차량	<ul style="list-style-type: none"> · 방음차륜(Resilient & Damping Wheel) · 차체 Skirt 구조개선 · 차륜 정삭
		궤도	<ul style="list-style-type: none"> · 진동흡수 레일 · 궤도 구조개선(체결구조, 강성, 질량 등) · 흡음효과 개선(자갈도상) · 레일 연마
		차음/흡음 대책	<ul style="list-style-type: none"> · 수직형 방음벽 · T자형 방음벽 · 궤도표면의 흡음처리
	추진장치 및 보조기기 소음	<ul style="list-style-type: none"> · 전인전동기, 냉각 fan, 전장품 등의 소음 제어 설계 · 압축기, 공조기기 등의 소음 제어 설계 	
	터널 미기압파	<ul style="list-style-type: none"> · 입구와 출구의 완충부위 설계 · 터널 내부의 횡, 경사 터널 설계 · 터널 내부 흡음 처리 	
수음점 소음저감 대책	<ul style="list-style-type: none"> · 선로변 건물에서의 방음설비 		
기타	<ul style="list-style-type: none"> · 소음이 신체에 미치는 영향 		

널등 공간 부위를 설치하는 방법이 있다.

그림 7은 신간선에서의 차량, 궤도, 집전계에 대하여 소음저감대책을 보여주고 있으며 표 2에서는 주요소음원과 그 대책 및 연구방향을 제시하였다⁽⁷⁾.

3. 소음의 예측^(2,3)

새로운 철도를 건설하거나 선로

변 지역을 개발할 경우 선로변에서의 소음 피해 정도를 예측하는 일이 필요하며, 소음피해 예측 결과는 방음벽 등 소음대책수립에 필요하다. 소음피해 상황을 예측하기 위하여는 소음레벨의 크기에 영향을 주는 여러 인자들을 정량화 할 필요가 있다. 소음의 예측방법은 일반적으로 다음과 같다.

$$L = L_0 - C_s - C_g - C_b$$

여기서

L : 원하는 위치에서의 소음 레벨

L_0 : 특정열차의 주어진 위치에서의 소음레벨

C_s : 차량의 길이를 고려한 거리에 따른 소음감소량

C_g : 지표면과 대기에서의 흡수에 의한 소음감소량

C_b : 방음벽, 방음독 등 지형 지물에 의한 소음감소량

3.1 기준 소음레벨

특정위치에서의 기준소음레벨은 차량의 종류, 운전속도, 궤도종류 등에 따라 다르게 된다. 용접레일을 사용하고 차량의 종류가 정하여질 때 소음의 크기는 주로 운행 속도에 의하여 결정이 된다.

$$L_{max} = k \log V + C$$

중저속 범위에서 k 값은 20~40의 범위내에 있으며 고속주행시 공력 소음이 주요 소음원이 될 때 k 값은 60 정도가 되는 것으로 알려져있다.

또한 소음의 주파수 성분에 따라 소음의 전파특성이 달라지게 되므로 소음원의 주파수 성분을 알 필요가 있다.

3.2 거리에 따른 소음감소

일반적으로 차량의 전동소음은 dipole 특성을 갖는 선음원으로 모델을 만든다. Dipole 선음원 모델의 예로서 선음원의 중간에서 거리 d 만큼 떨어진 위치에서의 음압은 다음과 같이 표시된다.

$$L_{max} = 10 \log \frac{\rho c W}{\pi} + 10 \log \left[\frac{\ell}{\ell^2 + d^2} + \frac{\ell}{2d} \tan^{-1} \frac{\ell}{2d} \right]$$

여기서,

W : 단 위 길 이 당 음 원 출 력 (watts/m)

ρc : 공 기 의 Characteristic impedance (NS/m^3)

ℓ : 선음원의 길이 (m)

d : 음원으로 부터의 수직거리(m)

이 경우에 차량의 길이와 수직거리에 따른 소음의 감쇠는 그림 8과 같은 특성을 갖는다. 차량의 길이보다 짧은 거리에서는 거리가 2배 늘어남에 따라 3dB의 감소효과가 있으며 거리가 멀어지면 ($d > \ell$) 6 dB의 감소효과가 있다.

3.3 지표면과 대기중에서의 소음 감쇠

궤도로부터의 거리가 멀어짐에 따라 지표면과 공기중에서의 소음 흡수, 온도 차이와 바람의 영향 등은 소음 전달 특성에 영향을 미친다. 공기 중에서의 소리의 흡수는 속도, 주파수 성분등에 따라 달라지며 100 m 이내의 거리에서는 크게 영향을 미치지 않는다.

3.4 소음 전달 경로 차단에 의한 소음 감소량

방음벽이나 방음독에 의한 소음 전달 경로 차단에 의한 소음감소량은 주파수와 소음 전달 거리 차이에 의존하게 된다⁽⁶⁾.

$$C_b = 20 \log \left[\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \right] + 5dB$$

여기서,

C_b : 방음벽에 의한 소음 감소량

N : $(F/172) \Delta \ell$

F : 주파수(Hz)

$\Delta \ell$: 소음전달 거리차(m)

방음벽 설계시 소음원 주위에 건물 또는 천정등 음을 방사할 수 있는 구조물이 있을 때 방음벽의 효과를 크게 감소시킬 수 있음을 고려하여야 한다.

방음벽의 효과를 크게 하기 위하여 소음전달 경로 차이를 크게 하여야 하며 이를 위하여 방음벽의 높이를 크게하거나 음원 또는 수음점 가까이에 방음벽을 설치할 필요가 있다(그림 9).

4. 철도 소음 기준

철도에서의 소음기준은 선로변 주민의 생활환경 보호를 위한 환경 소음 기준과 승객의 안락감을 위한 차실내의 소음 기준이 있다.

일본에서는 소음의 최대치를 규제하며 신간선에 대하여 주거지역

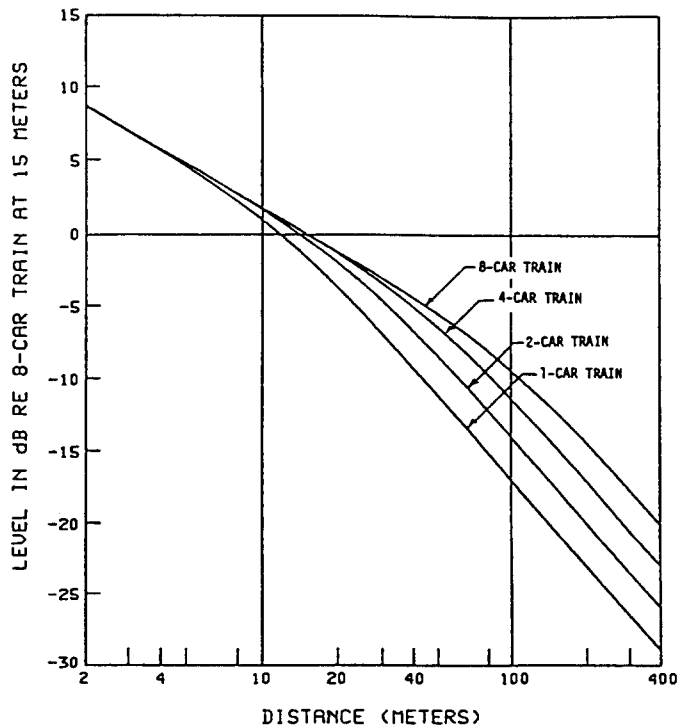


그림 8 차량길이와 거리에 따른 소음레벨의 변화(차량1량 길이: 21.3m)

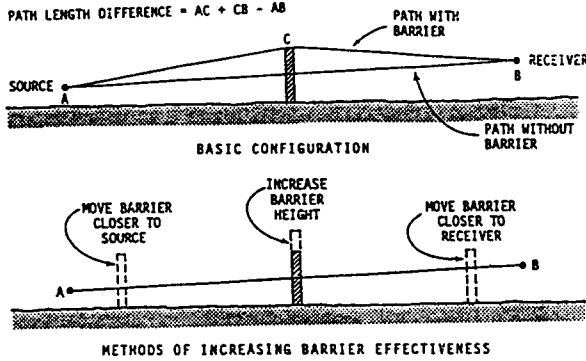


그림 9 방음벽에 의한 소음의 차단

에서 70phon 이하로 규제하고 있으나 기존철도에서는 규제치와의 차이에 따라 유예기간을 두고 소음 기준치 달성을 유도하고 있다.

유럽지역에서는 등가소음으로 규제하며 밤과 낮, 그리고 지역별로 규제하고 있다. 국내에서는 아직 철도소음기준법은 없으나, 환경처에서 일반철도와 고속철도에 대하여 소음기준 제정을 추진중에 있다(표 3).

실내소음 기준은 미국의 여객철도협회에서 개활지에서는 70dBA, 터널내에서 80dBA를 추천하며, 고속철도 제의 요청서에서 요구한

기준이 표 4에 나와있다.

5. 맺음말

고속철도를 포함한 철도운행에 있어서 소음문제는 중요한 환경문제의 하나이다.

지금까지 철도소음에 관한 국내에서의 연구는 철도소음 기준과 관련된 일부 연구를 제외하고는 거의 없는 상황이다.

앞으로 고속철도의 성공적인 운영을 위하여는 선로변에서의 소음 저감 대책으로 지형과 궤도조건에 따른 소음피해 예측과 소음원 특성

을 고려한 효과적인 방음설계에 대한 연구가 필요하다. 또한 경부고속 철도 노선에 터널이 많으므로 터널 미기압과의 발생과 그 대책에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이와 더불어 국산화 차량 개발을 위하여 차체와 관토히그래프에서의 공력소음감소를 위한 공력해석, 전동소음과 구조물 소음 감소를 위한 차륜과 궤도의 개선, 추진장치와 보조장치의 소음제어설계 등 각각의 소음발생원에 대한 이해와 소음 저감 기술의 개발이 필요하다.

참고문헌

- (1) 小野純郎, 1986 “철도의 Speed-up ; 속도향상의 이론과 실천,” 일본철도운전협회.
- (2) Nelson, P.M., 1987, “Transportation Noise Reference Book”, Butterworth & Co.
- (3) “Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control,” Wilson, Ihrig and Associates, Inc., 1982.
- (4) C. E. Hanson, “HSR System Noise Assessment,” 1990 Annual Meeting, TRB.
- (5) Francois Lacote, “Research determines Super-TGV formula,” Railway Gazette International, 1993.
- (6) B. Fader, “Industrial Noise Control,” John Wiley & Sons, 1981.
- (7) Shinichi Tanaka, “Environmental Preservation Problems Involving Railways in Japan”.

표 3 환경처 선로변 철도소음 기준(안) 단위 : Seq(1H) dBA

적용대상지역	기 준 치		비 고
	낮(06:00-22:00)	밤(22:00-06:00)	
주거지역, 관광휴양지역	65	60	· 시행일 이후 준공되는 신설철도에 적용
상업지역, 준공업지역	70	65	· 기존철도는 제한적 적용

표 4 차량 실내소음 기준 단위 : dBA

구 분	제의요청서 요구기준(300 km/h 운행시)		APTA* Guideline
	객 실	운 전 실	
개활지	65	75	70
터널	73	80	80

* American Public Transit Association