

제 출 문

국토해양부장관 귀하

이 보고서를 "철도 소음/진동 저감 원천기술 개발 기획"과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 12. 31

주관연구기관명 : 홍익대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 김관주

공동연구기관명 : 한국철도기술연구원

공동연구책임자 : 김재철

공동연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단

공동연구책임자 : 장서일

보고서 요약서

과제고유번호	2012-연구기획 -AC-01	해 당 단 계 연구 기 간	2012. 4. 13. ~ 2012. 12. 31.	단 계 구 분	(1)/ (1)
연구사업명	중 사업명	미래 철도기술 개발사업			
	세부사업명	건설교통연구기획사업			
연구과제명	대 과 제 명	철도 소음/진동 저감 원천기술 개발 기획			
	세부과제명	철도 소음/진동 저감 원천기술 개발			
연구책임자	김 관 주	해당단계 참 여 연구원수	총 : 12 명 내부 : 6 명 외부 : 6 명	해당단계 연구비	정부 : 95,000천원 기업 : 천원 계 : 95,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 12 명 내부 : 6 명 외부 : 6 명	총연구비	정부 : 95,000천원 기업 : 천원 계 : 95,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	홍익대학교 산학협력단		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약				보고서면수	191
철도의 고속화 및 수송력 증대로 인하여 철도연변에 주거하는 주민에 대한 소음 및 진동공해는 커다란 사회 문제로 대두되고 있음. 친환경 철도를 구현하기 위한 소음기준의 강화와 철도차량의 소음/진동 저감을 위한 기술적인 답보 상태에서 일반 국민의 삶의 질 향상 추구 및 철도 주행에 따른 저감기술이 종합적으로 개발될 필요가 절실함. 철도 차량과 주변 환경을 포함하는 전반적인 철도 수송기기 전 분야를 대상으로 소음진동 예측의 신뢰성을 높이고 설계초기단계부터 손쉽게 적용하고 평가할 수 있는 철도 소음/진동 저감 원천기술개발이 본 기획과제의 목표임. 본 기획 사업은 철도 수송기기의 소음/진동 저감을 위한 연구사업의 명확한 목표 설정 및 세부 과제 도출, 연구목표 달성을 위한 추진 방안 수립, 합리적인 연구사업비 및 투입인력 산정, 연구 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안을 제시하기 위해서임. 본 과제를 통하여 도출된 연구개발에 대한 정책적, 기술적, 경제적 타당성 검토결과는 국가적으로 지원해야할 대형과제의 요건에 부합하는지를 판단하는데 기초자료로 활용하며, 나아가 타당성이 높다고 판단되는 경우 국가 지원의 대형 연구사업 추진의 필요성 설명자료 및 추진과정에 요구되는 사업타당성에 대한 근거자료로 활용함. 기획연구사업 성과로 도출된 사업요건 분석결과는 본과제 RFP 작성 시 연구목표 설정 및 연구추진 전략 수립에 반영함. 차량, 궤도, 환경에 대한 소음/진동을 고려한 철도 소음/진동 저감방안을 위한 원천기술에 대한 항목도출 및 목표설정 등의 연구결과는 본과제 RFP 작성 시 연구목표 설정 및 연구내용 설정에 반영하고 소요 연구사업비 및 연구비를 합리적으로 추정하는데 반영함. 기획과제를 통하여 수립된 추진전략 및 개발 로드맵은 본과제 RFP 작성 시 추진전략 및 연구추진일정에 적용함.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	철도차량, 공력소음, 환경소음, 궤도소음, 지반진동			
	영 어	railway transit, aerodynamic noise, environmental noise, track noise, ground vibration			

요 약 문

I. 기획연구배경 및 목적

- 철도의 고속화 및 수송력 증대로 인하여 철도연변에 주거하는 주민에 대한 소음 및 진동 공해는 커다란 사회 문제로 대두되고 있으며 도시의 고층화로 인해 방음벽을 이용한 방음 기술의 한계와 차량의 고속, 경량화 추세로 인한 철도의 소음, 진동 문제는 지속적으로 문제가 발생하고 있음. 친환경 철도를 구현하기 위한 소음기준의 강화와 철도차량의 소음/진동 저감을 위한 기술적인 담보 상태에서 일반 국민의 삶의 질 향상 추구 및 철도 주행에 따른 저감기술이 종합적으로 개발될 필요가 대두됨. 이러한 상황에서 철도 차량과 주변 환경을 포함하는 전반적인 철도 수송기기 전 분야를 대상으로 소음진동 예측의 신뢰성을 높이고 설계초기단계부터 손쉽게 적용하고 평가할 수 있는 철도 소음/진동 저감 원천기술개발이 본 기획과제의 목표이며 본 기획 사업은 철도 수송기기의 소음/진동 저감을 위한 연구사업의 명확한 목표 설정 및 세부 과제 도출, 연구목표 달성을 위한 추진 방안 수립, 합리적인 연구 사업비 및 투입인력 산정, 연구 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안을 제시하기 위한 기획 연구임.

II. 기획연구 내용 및 범위

- 철도 소음/진동과제에 대한 3P(논문, 특허, 제품) 분석을 통하여 조사 범위는 국내·외 관련 분야 정책·시장 동향 조사 및 분석, 국내·외 기술개발 동향 조사 및 분석을 수행하고, 제출된 동향 분석 보고서를 바탕으로 철도 분야의 소음/진동 기술개발 로드맵을 작성하였으며, 핵심 기술개발/실용화 추진방향을 정립하였음. 원천 기술 분야별 후보과제 구체화 및 기술개발, 중요도, 시급성, 성공가능성관점에서의 후보과제에 대한 우선순위를 도출함. 연차별·단계별 정량적, 정성적 성과목표와 필수지표를 포함한 성과지표를 설정하였으며 성과 맵을 제시하였음. 기존의 철도차량의 소음/진동 측정 자료를 입수하여 활용하여 후보 과제 연구범위, 수행 항목, 성과물, 소요 예산 등의 적정한 RFP 항목 도출하였고, 본 과제에서도 도출된 소음/진동 저감 원천기술은 전문가 공청회 혹은 세미나를 통해서 기술적 가치를 평가받았음.

III. 기획연구 결과

1. 연구개발 필요성

- 철도의 고속화 및 수송력 증대로 인하여 철도연변에 주거하는 주민에 대한 소음 및 진동 공해는 커다란 사회적 문제로 대두되고 있음. 2010년 현재 우리나라의 경우 주간시간대(06시~22시)에 65 dB(A)이상의 철도소음에 노출된 인구는 140만 명, 야간시간대(22시~06시)에 55 dB(A) 이상의 철도소음에 노출된 인구는 190만 명임.
- 일반적으로 철도 소음은 주행 속도에 따라 저속으로 운영되는 차량은 차륜과 레일의 소음

영향이 많고, 고속철도 등은 공력소음에 영향을 많이 받음. 철도차량의 경량화, 고속화에 따라서 철도소음의 노출인구율은 증가하게 됨. 따라서 차량이 고속화되면서 차량의 실내소음은 공력소음의 영향때문에 급격히 증가하게 됨. 현재 300 km/h로 운행하는 KTX가 400 km/h로 운행하게 된다면, 약 5~7 dB(A)정도 실내소음이 증가하여 차량의 승차감에 커다란 영향을 미치는 것으로 예상되고 있음.

- 도시의 고층화로 인해 방음벽을 이용한 방음기술은 한계가 있으며, 지속적인 민원이 제기되고 있음. 2008년의 경우 소음 진동관련 민원은 전국에서 총 44,784건으로 매년 20%씩 증가하는 추세이며, 대다수가 공사장 소음 등 생활소음이나, 교통관련 민원도 무시 못 할 부분을 차지하고 있음.
- 친환경 철도를 구현하기 위해 2010년 1월부터 철도 환경소음 기준이 기존 대비 5 dB(A) 강화되어 시행되는 등 소음/진동에 대한 기준이 점차 강화되고 있으나, 아직 구체적인 대책 방안을 준비하고 있지 않음.
- 친환경 철도를 구현하기 위해 환경정책기본법등 소음/진동에 대한 기준이 점차 강화되고 있으나, 아직 철도소음의 환경기준이 미비한 실정임. 참고로 2010년 1월부터 철도 환경소음 기준이 기존 대비 5 dB(A) 강화되어 시행되고 있음.
- 현재 철도차량 제작 시부터 소음을 규제하기 위해 제작차량에 대한 환경소음기준이 설정되어 시행되고 있으며, 2017년에는 소음권고기준이 한층 강화되어 실시될 예정이다. 그러나 차량의 소음/진동 저감을 위한 기술은 답보상태에 있어 종합적인 저감방안을 위한 기술이 요구되고 있음.
- 철도차량이 곡선부 통과 시 승객 및 인근 거주민에게 신경을 자극하는 커다란 소음을 발생시켜 많은 민원이 제기되고 있음. 유럽의 철도이용객의 약 10%이 스킬소음에 노출되어 있으며, 스킬소음이 발생하는 곡선구간의 250 m이내에서는 약1000명이상의 거주민이 스킬소음에 고통을 받고 있다. 국내 실정을 고려하면, 도시철도는 유럽보다 인구밀도가 높은 지역을 운행하기 때문에 더 많은 승객과 거주민이 스킬소음에 노출되어있어, 피해를 받고 있는 실정임.
- 국내 도시철도 구간에서는 레일의 파상마모가 많이 발생하고 있으며, 이로 인해서 발생하는 소음은 일반구간보다 약 10 dB(A)이상의 커다란 소음을 발생시키고 있음. 서울 도시철도, 부산 지하철, 신분당선 등 국내 도시철도구간에서 레일의 파상마모가 발생하면서 도시철도 실내소음기준인 80 dB(A)보다 10 dB(A)이상 커다란 90 dB(A)이상의 실내소음이 발생하여 승객에게 커다란 고통을 줄뿐만 아니라, 도시철도 운영 처에서는 레일의 파상마모를 제거하기 위해서 주기적으로 레일 삭정차를 이용하여 삭정작업을 실시하고 있다. 이러한 삭정으로 인해서 레일의 수명이 약1/3로 단축되면서, 레일의 심각한 유지보수 비용이 발생하여, 철도경영에 어려움을 주고 있다. 해당 내용을 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있음.
- 차량의 고속화와 경량화 추세에 따라 철도에 의한 소음/진동문제는 지속적인 문제가 될 것으로 판단되므로 철도 소음/진동 저감을 위한 기술을 기존의 차량, 궤도 등 부품 단위뿐

아니라 총체적인 관점에서 개발할 필요성이 대두됨.

- 철도차량이 터널 내를 주행 시 개활지 대비 5~7 dB(A) 실내 소음이 증가함. 특히 500 Hz 아래의 저주파수 대역에서는 최대 15 dB(A) 상승함. 해당 주파수 대역의 소음 저감을 위한 구조기인, 공기기인 소음의 종합적인 대책이 필요함.
- 차량의 고속화와 경량화, 일반 국민의 삶의 질 향상 추구 등 따라 철도 주행에 따른 소음/진동문제는 지속적인 문제가 될 것으로 판단되므로 철도 소음/진동 저감을 위한 기술이 종합적으로 개발될 필요가 절실함.
- 국내외 동향 및 환경 분석

<차량 소음/진동 저감 기술>

- 일본의 700계 신간선 열차의 개발 목적은 차세대 東海道/山陽 노선 차량으로서 주로 실내 쾌적성 향상, 차내 환경의 개선 및 연선(沿線)에의 환경 적합성 향상을 도모하고 있음. 차내의 환경 개선을 위해 제진재의 2중 구조 및 차음성을 향상시킨 부상구조를 채택하였음.
- 일본의 동력분산식 경량차체 개발의 경우 터널 내에서의 차음성 향상을 위해 내부에 제진재를 강화하였음. 객실의 바닥재는 차내 소음 저감을 위해 딴플 (dimple) 상판을 채용하였으며, 이는 알루미늄판을 딴플 형상으로 함으로서 소음을 저감시키기 위함임. 또, 투과음도 딴플에 의해서 유지된 상면판의 상호 간섭으로부터 소음 저감을 이루었음. 대차 상부에는 대차로부터 고체전달음을 저감시키기 위해 정류격자 상판 아래에 방진고무를 삽입한 부상구조로 했음.
- 국내에서는 철도차량의 바닥구조의 흡차음성능을 분석하거나 압전재료의 특성을 이용한 스마트 패넬에 관한 연구 등이 이루어진 바 있으며, 공기스프링의 스프링 상수 개선, 방음차륜을 통한 소음저감 및 실내소음 해석, 철도차량용 EM/MR 유체이용 능동댐퍼 연구가 시작되고 있는 상황임.

<철도 인터페이스 소음/진동 저감기술>

- 1980년대 후반부터 차륜과 레일에 의해서 발생하는 소음/진동 문제는 유럽의 ERRI(European Rail Research Institute)을 중심으로 전동음과 스킨소음에 대한 연구가 본격적으로 진행되어, 전동음 예측 프로그램(TWINS)를 개발하였음.
- 영국의 University of Southampton내 ISVR연구소에서 전동음에 대한 저감방안과 스킨소음에 대한 발생 메카니즘을 규명하기위한 연구가 활발히 진행되고 있음.
- 현재 프랑스, 독일, 일본, 중국 등 고속철도기술 선진국들은 자체 기술로 400 km/h 대의 고속철도 차량을 개발하고 있으며, 이에 대한 실용화를 위해 많은 노력을 기울이고 있음.
- 특히, 프랑스는 2007년에 574.8 km/h를 주행하여 세계최고 시험 속도를 달성하였으며, 고속철도 개발의 후발주자이면서 고속철도 경쟁국인 중국은 2000년에 481.6 km/h의 시험 속

도를 달성하였음.

- 레일 파상마모에 대한 본격적인 연구는 1970년대부터 시작되어, 1975년 Johnson과 Gray는 디스크머신에서 파상마모의 형태를 이론적 혹은 실험적으로 설명할 수 있다고 보여주었으며, 1977년 오스트레일리아의 Mair는 특정 장파장 파상마모의 원인을 연구하였음. 1978년 Eisenmann은 단파장 파상마모 연구를 발표하였고, 1979년 Daniels은 푸에블로의 FAST 트랙에서 단파장 파상마모에 대한 실험적 연구를 시작하였음
- Frederick과 1987년 박사학위논문에서 Valdivia가 파상마모의 발생 원인에 대한 새로운 이론적 개념을 제시하였으며 BR 연구소의 Frederick, Sinclair에 의한 공동연구에서 단파장 파상마모의 문제에 대한 해결책을 제시하였음.
- 유럽에서는 1996년 Ilias, 1997년 Igeland, Müller 등에 의해서 연구가 지속되었으며 일본의 Suda 등은 1986년에 이론적이고 실험적인 레일 파상마모 연구를 시작하였으며, 1993년부터 Matsumoto등은 주로 리니어 모터 차량에서 발생하는 파상마모를 방지하기 위해 급곡선에서의 파상마모 연구를 시작하였음 Matsumoto, Suda, Ishida는 실험크기의 시험기와 축소모델 시험기, 열차운행 시험, 현지조사 그리고 수치 시뮬레이션을 통해서 급곡선 구간에서 발생하는 파상마모의 대책 연구를 수행하였음.

<철도인프라 소음/진동 저감기술>

- 철도 구조물 가운데 고가교와 철교는 차량 통과 시 소음/진동을 발생시켜 철도연변에 거주하는 주민 혹은 차량에 탑승한 승객에게 커다란 피해를 끼침. 이러한 소음/진동에 관한 연구는 1980년대 중반 TCRP(Transit Cooperative Research Program)에서 도시철도 고가교에서 방사되는 소음을 저감시키기 위한 연구가 진행되었으며, 유럽에서는 1990년대 중반 TNO에서 철교에서 방사되는 예측 프로그램을 개발하여 저감 방안에 활용하고 있음. 일본의 경우 2000년대 초반 신간선의 고가교 소음을 저감시키기 위한 연구가 철도종합기술연구소(Railway Technology Research Institute)에서 수행되었음. 그러나 국내에서는 고가교 혹은 철교의 소음을 저감시키기 위한 연구는 진행되어지지 않고, 단지 구조물에서 방사되는 소음레벨을 파악하는 수준에 머물고 있음.
- 유럽에서 2011년 2월부터 시작되어 2013년까지 수행할 계획인 RIVAS(Railway Induced Vibration Abatement Solutions) 프로젝트의 경우 철도의 상업적 경쟁력 확보와 유지를 위한 지반진동 환경영향 저감을 목표로 하고 있음. 본 프로젝트의 경우 진동저감 toolbox의 제공을 목표로 운영사, 관련 협회 및 제조사 등 25개 기관이 모여 구성되었으며, 광범위하고 신속하게 적용이 가능한 실용적인 결과도출을 위해 연구수행중이임. 또한 RIVAS 프로젝트는 화물선로에서 주로 발생하는 저주파수 진동에 포커스를 맞추고 있으나, 도시철도나 고속철도를 모두 대상으로 하고 있음.
- 열차 주행 시 발생하는 진동은 레일패드, 방진패드, 침목패드 및 방진슬래브 또는 매트 등의 자재나 공법을 이용하여 차륜-레일의 접촉에 의해 발생하는 진동을 차단하거나 흡수하

여 진동의 영향을 최소화 할 수 있음. 현재 국내외에서 철도 주변의 진동과 소음의 영향을 최소화시키기 위해 여러 공법을 적용하여 사용하고 있음.

- 지하철 및 열차 운행에 따른 지반진동과 소음의 예측은 수치해석 기법의 발달과 함께 급속히 발전하여 왔으며 특히 최근 10여년에 걸쳐 지반-구조물 상호작용 이론을 기반으로 한층 업그레이드되고 있다. 최근의 연구동향은 주로 차량과 궤도의 상호작용 및 궤도의 모형화에 주안점을 두고 있으며, 지반진동해석의 경우에는 해석결과에 가장 큰 영향을 미치는 지반의 기하학적 특성과 지반전파속도를 정밀하게 고려하는 해석방법 등이 수행되고 있음.
- 국외에서는 녹색교통 및 녹색도시 창출이라는 명목 하에 Directive 2002/49/EC에 의한 소음지도 작성과 실행계획의 현실화를 위하여 소리의 평균소음도가 아닌, 시간적/주파수 구성적 특성과 그 분포를 심리음향적으로 제시해 주는 심리음향 지도, 교통소음 합성/재생 Tool, 인지과학적 소음원 저감 기술 개발등 대한 기술이 진행되고 있음.

2. 연구개발 내용 및 범위

□ 세부1과제 : 차량 소음/진동 저감기술 개발

- 세부1-1 : 고속철도차량의 제동 스칼소음 저감기술 개발
 - 제동소음 시험평가기술 확보
 - 차량 제동 소음 저감해석기술 개발
 - 저소음 제동패드 개발
- 세부1-2 : 차량 방음/방진 기술
 - 차체 바닥구조의 방음/방진 구조의 최적화 기법
 - 차량 흡/차음재의 재질 및 적층구조 고성능화 기술
 - 스마트 적층재를 이용한 알미늄 압출재의 차음성능 향상 기술
- 세부1-3 : 고속철도차량 실내 소음/진동 제어기술
 - 마스킹 효과를 이용한 실내소음 제어기술
 - 전자기식 에코-스마트 하이브리드 현가시스템 및 첨단 제어기술 개발

□ 세부2과제 : 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술

- 세부2-1 : 공력소음 저감기술
 - 공력소음 해석기술
 - 풍동실험에 의한 공력소음 측정기법
- 세부2-2 : 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 저감기술
 - 곡선부 스칼소음 예측 및 저감기술
 - 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 원인규명 및 해석기술

- 세부2-3 : 레일파상마모에 의한 소음 저감기술
 - 레일 파상마모 관리 시스템 구축
 - 레일 파상마모 저감 기술
- 세부3과제 : 철도 인프라 소음/진동 저감기술 개발
 - 세부3-1 : 궤도 소음/진동 저감기술 개발
 - 휠-궤도-교량/지반 상호작용을 고려한 소음/진동 예측기술 개발
 - 궤도 타입별 소음/진동 성능평가 기술(방법 및 절차 등) 개발
 - 저진동/저소음 궤도 시스템 개발
 - 세부3-2 : 철도 지반 및 교량 소음/진동 저감기술 개발
 - 궤도구조 근접지반 진동 원천 해석기술 개발
 - 지반특성별 진동전파 경로특성 파악기술 개발
 - 철도교량에서 발생하는 소음/진동을 예측·평가·저감할 수 있는 방법 및 절차 개발
 - 실내 및 현장 실험을 통한 소음/진동 전파 모델 및 예측전달식 개발
 - 저소음·저진동 교량의 prototype 개발
 - 세부3-3 : Q-City: 철도변 3차원적 환경소음 저감기술 개발
 - 고효율 방음벽/방음벽상단 소음저감장치 개발
 - 철도용 방음터널 개발
 - 궤도용 흡음블럭 개발
 - 철도변 고층의 주거 및 정온시설의 세대별 소음도 예측을 위한 GIS기반의 소음지도 제작도구 및 평가방법 개발

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

- 철도 소음/진동 원천기술을 달성하기위한 필요한 기술 분야를 고려해 보면 다음과 같이 서술할 수 있음.
 - 철도 각 분야별 소음진동원 예측 및 해석기술
 - 철도 각 분야별 소음진동 전달경로 및 해석기술
 - 철도 각 분야의 세부 기술 해석 및 예측기술 통합
 - 인간의 소음/진동에 대한 감지와 지각 현상에 따른 평가 및 검증기술
 - 철도 각 분야를 고려한 수요자 기반 소음진동 저감기술
- 철도 소음/진동 저감 원천기술 개발을 5년 내에 성공적으로 수행하기 위해서는 각 세부과제별 원천기술 항목에 대한 연구계획 및 타당성 검토를 조기에 선정
- 국내외 타교통분야의 소음/진동 전문인력을 바탕으로 기술역량이 있는 산업체, 학교, 연구소들과 협동체계 구축을 통해서 기 확보된 원천기술을 조사분석
- 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립

- 정부 및 관련 기관들의 유기적 협조체제 구축
 - 상용화시 관련 있는 규정 및 법률 검토
 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련기관 및 산업계 등 기술수요처 의견수립
 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영
- 연구성과물에 대한 활용성 향상 추진을 위한 산학연 공동 연구추진

4. 사전타당성 검토

- 차륜/레일에 의한 소음/진동은 철도차량의 주요한 소음/진동원으로 현재 도시철도 주변에 거주하는 주민에게 많은 불쾌감을 주어 지속적인 민원이 제기되어, 일부 곡선구간 통과 시 소음에 의한 피해로 인한 보상 문제까지 거론되고 있는 실정임. 이러한 문제가 계속적으로 발생한다면, 철도경영에 커다란 피해를 줄뿐만 아니라 철도연변에 거주하는 주민에게 심리적으로 악영향을 끼침. 따라서 차륜/레일에 의해서 발생하는 소음/진동에 대한 저감방안이 조속히 연구되어 친환경적이고 서민에게 안락한 철도환경을 제공할 수 있도록 국가적인 차원에서 지원이 필요함.
- 현재 도시철도 구간에서는 빈번히 발생하는 파상마모에 의해서 커다란 소음이 유발될 뿐만 아니라 레일삭정에 의한 레일의 수명이 단축되어 경제적으로도 철도경영에 커다란 악영향을 미치고 있어, 조속히 이러한 연구가 진행되어야 할 필요가 있음.
- 현재 국토부의 주관으로 최고 시험속도 430 km/h의 차세대 고속철도 차량이 개발 중에 있음. 개발 중인 차량의 고속으로 주행 시 발생하는 공력소음에 대한 연구를 위해서는 전산 공력소음해석을 통한 이론 연구가 수행되어야 함.
- 기존에 국외에서 연구가 수행되지 않은 전산공력소음해석의 기술 기반을 구축함으로써 세계 고속철도 소음기술을 선도할 수 있음.
- 고속철도 차량의 소음에 대한 연구 성과를 통해서 저소음 차량을 개발하여 해외 고속철도 시장에 경쟁력을 확보할 수 있음.
- 현재 국토부의 주관으로 최고 시험속도 430 km/h의 차세대 고속철도 차량이 개발 중에 있음. 개발 중인 차량의 고속으로 주행 시 발생하는 공력소음에 대한 연구를 위해서는 전산 공력소음해석을 통한 이론 연구가 수행되어야 함.
- 철도 선로 변 민원 발생이 빈번히 발생하고 이를 대응하기 위하여 방음벽 등의 소음대책 적용이 이루어지고 있으며, 따라서 과다한 건설비가 투입되고 있음.
- 저심도철도, GTX와 같은 새로운 교통시스템의 출현에 따른 소음진동저감대책 수립이 시급.
- 본 기술 개발을 통하여 선택적이며 효율적인 소음저감 대책을 적용함으로써 건설비 절감과 민원 발생 저감을 통하여 철도 인프라 확대와 함께 교통 문제 해결과 물류비 절감 등에 기여할 수 있음.

5.

6. 연구개발 소요기간 및 예산

○ 총 연구기간 : 2013.01~2017.12(60개월)

- 1차년도 연구기간 : 2013.01~2013.12(12개월)
- 2차년도 연구기간 : 2014.01~2014.12(12개월)
- 3차년도 연구기간 : 2015.01~2015.12(12개월)
- 4차년도 연구기간 : 2016.01~2016.12(12개월)
- 5차년도 연구기간 : 2017.01~2017.12(12개월)

○ 총 정부출연금 : 230억원 이내

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율 (%)
		단가 (연급여)	연평균인 원/참여 율(%)	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도	5 차년도	소계	
인건비	책임연구원	85,000	13/55	571,000	430,750	430,750	477,500	477,500	2,387,500	
	연구원	50,000	16/60	550,000	340,000	310,000	340,000	340,000	1,880,000	
	연구보조 (박사과정)	30,000	16/100	532,100	371,000	341,000	371,000	371,000	1,986,100	
	연구보조 (석사과정)	25,000	17/100	432,792	334,146	333,634	332,933	332,933	1,766,438	
	소 계			2,085,892	1,475,896	1,415,384	1,521,433	1,521,433	8,020,038	35
직접비	연구장비 재료비			850,000	522,000	507,000	600,000	600,000	3,079,000	
	연구활동비			1,607,000	1,111,000	1,053,000	1,156,000	1,156,000	6,083,000	
	연구수당			417,178	295,179	283,077	304,287	304,287	1,604,008	
	소 계			2,874,178	1,928,179	1,843,077	2,060,287	2,060,287	10,766,008	47
위탁연구개발비				500,000	400,000	365,000	410,000	410,000	2,085,000	9
간접비				539,929	395,925	376,539	408,281	408,281	2,128,954	9
합 계				6,000,000	4,200,000	4,000,000	4,400,000	4,400,000	23,000,000	100

(단위 : 천원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	100,000		100,000		100,000		100,000		100,000		500,000	
1세부	743,778		767,592		1,016,105		1,190,961		1,141,883		4,860,318	
1-1	223,133		230,278		304,831		357,288		342,565			
1-2	238,009		245,629		325,153		381,108		365,403			
1-3	282,636		291,685		386,120		452,565		433,915			
2세부	1,190,045		1,228,147		1,625,767		1,905,538		1,827,013		7,776,510	
2-1	357,014		368,444		487,730		571,661		548,104			
2-2	380,814		393,007		520,246		609,772		584,644			
2-3	452,217		466,696		617,792		724,104		694,265			
3세부	1,041,289		1,074,628		1,422,547		1,667,346		1,598,636		6,804,446	
3-1	312,387		322,389		426,764		500,204		479,591			
3-2	333,213		343,881		455,215		533,551		511,564			
3-3	395,690		408,359		540,568		633,591		607,482			

IV. 연구개발결과의 활용계획

- 본 과제를 통하여 도출된 연구개발에 대한 정책적, 기술적, 경제적 타당성 검토결과는 국가적으로 지원해야할 대형과제의 요건에 부합하는지를 판단하는데 기초자료로 활용하며, 나아가 타당성이 높다고 판단되는 경우 국가지원의 대형 연구사업 추진의 필요성 설명자료 및 추진과정에 요구되는 사업타당성에 대한 근거자료로 활용함.
- 기획연구사업 성과로 도출된 사업요건 분석결과는 본 과제 RFP 작성 시 연구목표 설정 및 연구추진전략 수립에 반영함.
- 차량, 궤도, 환경에 대한 소음/진동을 고려한 철도 소음/진동 저감방안을 위한 원천기술에 대한 항목도출 및 목표설정 등의 연구결과는 본 과제 RFP 작성 시 연구목표 설정 및 연구내용 설정에 반영하고 소요 연구사업비 및 연구비를 합리적으로 추정하는데 반영함.
- 기획과제를 통하여 수립된 추진전략 및 개발 로드맵은 본 과제 RFP 작성 시 추진전략 및 연구추진일정에 반영함.
- 구체적인 활용방안
 - 차량 개발시 초기 설계단계부터 저소음/저진동 차량설계 가능
 - 차량 운행 시 곡선부 스킵소음 발생구간의 저감방안 제시
 - 레일 파상마모 발생구간의 저감방안 제시
 - 궤도 신설 및 개량시 저소음 궤도 시스템 설계
 - 현재 운행 중인 고속철도 구간 및 향후 운행예정인 경량전철의 콘크리트 고가교의 소음 저감방안 제시
 - 과거 건설된 철교의 저소음/저진동 방안 도출
 - 고속차량 개발시 전두부 형상 및 판토품상 등 공력소음 발생위치의 저소음 형상 설계
 - 철도 운행구간의 소음지도를 통한 건물 및 아파트 건설시 환경소음 평가

목 차

제출문	1
보고서요약서	2
요약문	3
I. 기획연구 배경 및 목적	3
II. 기획연구 내용 및 범위	3
III. 기획연구결과	3
1. 연구개발 필요성	3
2. 국내외 동향 및 환경분석	5
3. 연구개발 내용 및 범위	7
4. 연구개발과제 구성 및 추진전략	8
5. 사전타당성 검토	9
6. 연구개발 소요기간 및 예산	10
IV. 연구개발결과의 활용계획	12
목차	13
제1장 원천기술의 정의 및 기술분류	17
제1절 원천기술의 정의 및 필요성	17
1. 원천기술의 정의	17
2. 기술의 필요성	18
3. 세부과제별 기술정의	22
제2절 기술분류 및 내용	25
1. 기술분류	25
2. 기술내용	27
제2장 국내외 동향 및 환경 분석	28
제1절 국내외 정책동향	28
1. 국내 정책동향	28
2. 해외 정책동향	29

제2절 국내외 시장현황 및 전망	30
1. 국내 시장현황	31
2. 해외 시장현황	35
3. Industry Value Chain 분석	38
4. 시장경쟁 현황분석	38
제3절 기술동향분석	39
1. 소음/진동 기술개발 동향	39
제4절 특허동향분석	57
1. 분석개요	57
2. 국가별/기술별 특허동향분석	58
3. 논문 동향 분석	59
4. 철도차량 소음저감에 대한 유럽의 동향	63
제5절 종합분석	80
1. 국내 철도 소음수준 현황	80
2. 분석결과 종합	82
제3장 소요기술 항목 도출	86
제1절 기술수요조사 및 분석	86
1. 전문가 자문회의	86
2. 전문가 설문조사	88
3. 국내연구기관에서 수행한 소음/진동관련 연구 조사 및 분석	99
제2절 세부과제 및 중장기 과제 도출	102
1. 세부과제 및 소요기술 항목 도출	102
2. 중장기 개발과제 도출	103
3. 기존 기술과의 차별성	103
제3절 사업의 구조	105
제4장 연구개발과제 구성 및 추진전략	106
제1절 비전 및 목표	106
1. 비전	106
2. 연구목표 및 세부과제별 목표	107
제2절 기술개발에 따른 미래상	109
1. 세부과제 1의 미래상	109
2. 세부과제 2의 미래상	109

3. 세부과제 3의 미래상	110
제3절 연구개발과제 구성	111
제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	112
1. 철도 차량 소음/진동 저감기술 연구분야	112
2. 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 연구분야	113
3. 철도 인프라 소음/진동 저감기술 연구분야	114
제5절 세부과제간 연계관계	116
제6절 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵	117
1. 과제별 기술 로드맵	117
2. 연차별 기술 로드맵	118
제7절 성과의 활용방안	121
제8절 연구수행체계 제안	122
제5장 사전타당성 검토	123
제1절 정책적 타당성	123
1. 정부 주요 정책과의 부합성 검토	123
제2절 기술적 타당성	124
1. 철도차량 소음/진동 저감 기술분야	124
2. 철도 인터페이스 소음/진동 저감 기술분야	125
3. 철도인프라 소음/진동 저감 기술분야	125
제3절 경제적 타당성	127
1. 철도시스템 관점의 효과	127
2. 철도소음에 의한 민원 감소효과	127
3. 방음벽 감소에 의한 절감효과	128
4. 저소음 차량 수출효과	128
5. 주요 예상성과에 따른 무형적 경제효과	128
6. 활용방안에 의한 경제적 효과	129
제4절 타당성 검토 종합	131
1. 기술개발투자의 시의성, 시급성('13년)	131
2. 정부 상위계획과의 부합성	132
3. 국토부 주도의 개발 및 지원 필요성	132
4. 정부 미지원시 문제점	132

제6장 인력투입계획 및 소요예산 산정	134
제1절 연구일정에 따른 인력투입계획	134
1. 전체사업 인력투입계획	134
2. 세부과제별 인력투입	134
제2절 소요예산 산정	135
1. 예산 산정방법	135
2. 전체사업 소요예산	135
3. 세부과제별 소요예산	136
제7장 과제 제안요구서	139
제1절 과제 제안요구서(RFP)	139
1. 연구단 과제 제안요구서	139
2. 세부 과제별 제안요구서	149

제1장 원천기술의 정의 및 기술분류

제1절 원천기술의 정의 및 필요성

1. 원천기술의 정의

- 국내외적으로 저탄소, 녹색성장을 추구하면서 다양한 분야에서 친환경적 연구가 많이 진행되고 있으며, 철도분야에서도 점차 타교통수단과의 경쟁력 확보 및 고속화를 계획하면서 철도를 이용하는 승객과 철도 주변지역에 거주하는 주민에 대한 친환경적 철도를 구현하려는 요구가 점차 증가하고 있음.
- 철도가 대중교통수단으로 자리를 잡으면서, 철도인근주변에 많은 아파트 단지가 조성되어 점차 철도 소음/진동에 대한 민원이 증가하고 있어, 철도에 대한 소음/진동을 저감하기 위한 기술이 요구되고 있음.
- 현재 철도분야에서는 차량의 고속화를 추진하여, 400km/h급 고속차량을 개발하여 시운전을 계획하고 있음. 차량의 속도증가와 함께 소음/진동은 급격히 증가하기 때문에 소음/진동 문제를 해결하기 위한 새로운 기술이 요구되고 있음.
- 철도의 소음/진동 저감기술은 철도의 편의성, 친환경성을 위한 필요기술로서, 국외 철도선진국에서는 차량, 궤도 및 차량과 시설물의 인터페이스 등 다양한 분야에서 저감기술을 개발하여 활용하고 있음.
- 철도 소음/진동 저감 원천기술은 소음/진동 저감을 위해서 꼭 필요한 기술로서, 저소음/저진동 차량의 개발 혹은 소음/진동 문제점을 해결할 수 있는 기반기술을 의미함.
- 철도 소음/진동 저감 원천기술은 현재 철도에서 적용되지 않고 있으나, 타 분야에서 소음/진동 저감을 위해서 활발히 적용되고 있는 해석, 예측 및 저감기술로서 이러한 기술이 철도차량에 적용에 적용되는 새로운 기술을 의미함.
- 기존의 철도 분야의 소음/진동 저감기술은 신차량 개발 시 관심 대상 부품에 국한하여 해석, 실험을 진행하였음. 차량개발 및 철도건설 이후에 발생하는 소음/진동 문제들을 해결하기 위한 흡/차음재 처리 혹은 방음벽 설치 등 사후 대책은 근본적인 소음진동을 저감하기에는 한계가 있으며, 소음/진동 대책 마련에 경제적으로 부담이 많았음.
- 일반적인 연구를 Research 와 Development로 구분한다면 본 기획과제는 철도 소음/진동 분야의 Research를 중점적으로 수행하는 과제로서 향후 새로운 철도차량 개발시 철도 소음/진동 분야에서 요구되는 연구인적 자원 및 관련 기법을 원활히 제공하기 위한 과제임.

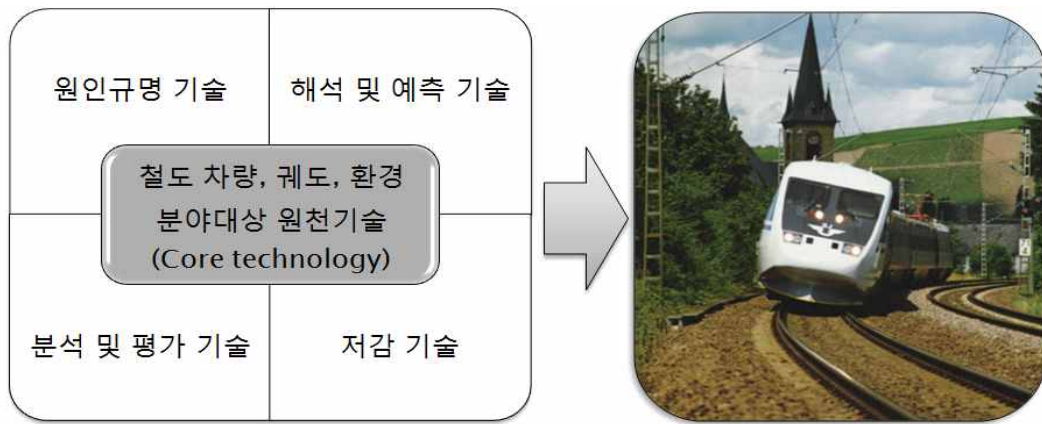


그림 1. 철도 소음/진동 저감 원천기술의 성격은 research 중심임

2. 기술의 필요성

- 철도의 고속화 및 수송력 증대로 인하여 철도연변에 주거하는 주민에 대한 소음 및 진동 공해는 커다란 사회적 문제로 대두되고 있음. 2010년 현재 우리나라의 경우 주간시간대(06시~22시)에 65 dB(A)이상의 철도소음에 노출된 인구는 140만 명, 야간시간대(22시~06시)에 55dB(A) 이상의 철도소음에 노출된 인구는 190만 명임.
- OECD 회원국 중 일부국가의 철도소음 노출인구는 표4와 같음. 우리나라인 경우 낮시간대 등가소음도 65dB(A) 이상의 철도소음의 노출인구율은 독일(3.2%),스위스(5.9%) 및 슬로바키아(5.0%)보다 낮고, 네덜란드(0.6%)보다는 다소 높음. [표 1] 참조
- 일반적으로 철도 소음은 주행 속도에 따라 소음을 발생하는 부품을 다음 그림처럼 나타냄. 즉 저속으로 운영되는 차량은 차륜과 레일의 소음영향이 많고, 고속철도 등은 공력소음에 영향을 많이 받음. 철도차량의 경량화, 고속화에 따라서 철도소음의 노출 인구율은 증가하게 됨.

표 1 OECD국과 우리나라 인구의 철도소음 노출도

State	Population ratio (%)					Remarks
	75 dBA <	75~70 dBA	70~65 dBA	65~60 dBA	60~55 dBA	
USA		0.2	0.8	0.4	1.0	24 hr
Denmark		0.2	0.6	1.5		24 hr
Germany	0.1	0.7	2.4	5.9	9.5	Day(06~22)
Netherlands	0.1	0.2	0.3	0.9	4.5	Day(06~22)
Switzerland	0.9	1.6	3.4	7.1	10.4	Day(06~22)
Slovakia		0.1	4.9	5.0	15.0	Day(06~22)
Korea	0.1	0.3	1.5	3.1	4.6	Day(06~22)
		0.1	0.2	1.5	3.1	Night(22~06)

- 또한, 차량이 고속화되면서 차량의 실내소음은 공력소음의 영향 때문에 급격히 증가하게 된다. 현재 300km/h로 운행하는 KTX가 400km/h로 운행하게 된다면, 약5~7dB(A)정도 실내소음이 증가하여 차량의 승차감에 커다란 영향을 미치는 것으로 예상되고 있음.

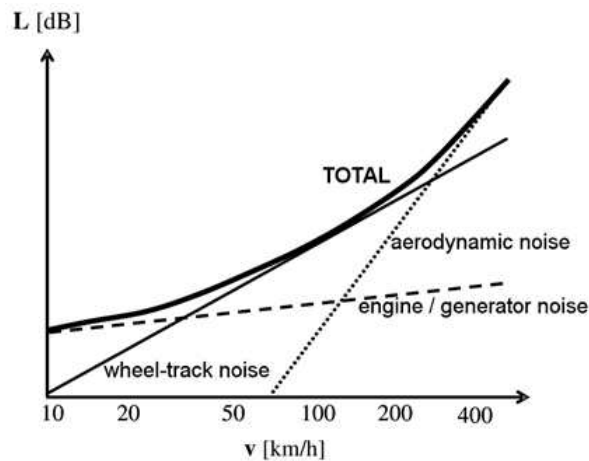


그림 2. 고속철도 차량의 속도와 소음과의 관계

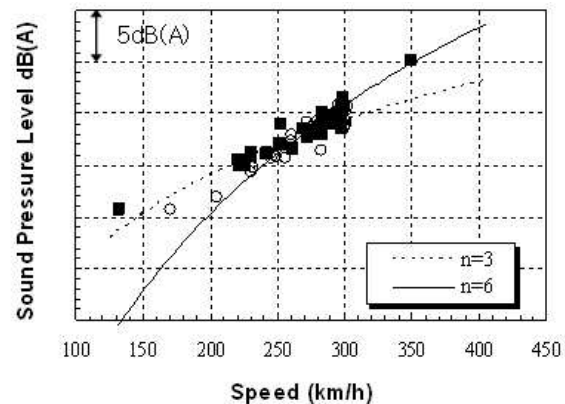


그림 3. 차량의 속도증가에 따른 실내소음 증가량

- 도시의 고층화로 인해 방음벽을 이용한 방음기술은 한계가 있으며, 지속적인 민원이 제기되고 있음. 2008년의 경우 소음 진동관련 민원은 전국에서 총 44,784건으로 매년 20%씩 증가하는 추세이며, 대다수가 공사장 소음 등 생활소음이나, 교통관련 민원도 무시 못 할 부분을 차지하고 있음.
- 친환경 철도를 구현하기 위해 2010년 1월부터 철도 환경소음 기준이 기존 대비 5dB(A) 강화되어 시행되는 등 소음/진동에 대한 기준이 점차 강화되고 있으나, 아직 구체적인 대책 방안을 준비하고 있지 않음.
- 친환경 철도를 구현하기 위해 환경정책기본법등 소음/진동에 대한 기준이 점차 강화되고 있으나, 아직 철도소음의 환경기준이 미비한 실정임. 참고로 2010년 1월부터 철도 환경소음 기준이 기존 대비 5dB(A) 강화되어 시행되고 있음.
- 현재 철도차량 제작시부터 소음을 규제하기 위해 제작차량에 대한 환경소음기준이 설정되어 시행되고 있으며, 2017년에는 소음권고기준이 한층 강화되어 실시될 예정이다. 그러나 차량의 소음/진동 저감을 위한 기술은 답보상태에 있어 종합적인 저감방안을 위한 기술이

요구되고 있음.

- 환경부 고시 제2010-73호 「소음·진동 관리법」 제 45조 2의 “철도차량의 소음권고기준 및 검사방법”은 다음과 같음.

표 2 정차소음에 대한 철도차량의 소음권고기준

(단위 : L_{eq}dB(A))

적용시기 \ 차량종류	전기동차 (EMU)	기관차	디젤동차 (DMU)
2011.1.1.~2013.12.31	70	81	82
2014.1.1.~2016.12.31	69	78	80
2017.1.1.~	68	75	78

표 3 주행소음에 대한 철도차량의 소음권고기준

(단위 : L_{eq}dB(A))

적용시기 \ 차량종류	전기동차 (EMU)	기관차	디젤동차 (DMU)	객차	화차	고속철도 차량
2011.1.1.~2013.12.31	87	91	86	83	87	92
2014.1.1.~2016.12.31	84	88	83	82	87	92
2017.1.1.~	81	85	82	80	82~87	92

- 철도차량이 곡선부 통과 시 승객 및 인근 거주민에게 신경을 자극하는 커다란 소음을 발생시켜 많은 민원이 제기되고 있다. 유럽의 철도이용객의 약 10%이 스킬소음에 노출되어 있으며, 스킬소음이 발생하는 곡선구간의 250m이내에서는 약1000명이상의 거주민이 스킬소음에 고통을 받고 있다. 국내 실정을 고려하면, 도시철도는 유럽보다 인구밀도가 높은 지역을 운행하기 때문에 더 많은 승객과 거주민이 스킬소음에 노출되어있어, 피해를 받고 있는 실정임.
- 국내 도시철도 구간에서는 레일의 파상마모가 많이 발생하고 있으며, 이로 인해서 발생하는 소음은 일반구간보다 약10dB(A)이상의 커다란 소음을 발생시키고 있다. 서울 도시철도, 부산 지하철, 신분당선 등 국내 도시철도구간에서 레일의 파상마모가 발생하면서 도시철도 실내소음기준인 80dB(A)보다 10dB(A)이상 커다란 90dB(A)이상의 실내소음이 발생하여 승객에게 커다란 고통을 줄뿐만 아니라, 도시철도 운영 처에서는 레일의 파상마모를 제거하기 위해서 주기적으로 레일 삭정차를 이용하여 삭정작업을 실시하고 있다. 이러한 삭정으로 인해서 레일의 수명이 약1/3로 단축되면서, 레일의 심각한 유지보수 비용이 발생하여, 철도경영에 어려움을 주고 있다. 해당 내용을 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있음.
- 차량의 고속화와 경량화 추세에 따라 철도에 의한 소음/진동문제는 지속적인 문제가 될 것으로 판단되므로 철도 소음/진동 저감을 위한 기술을 기존의 차량, 궤도 등 부품 단위뿐 아니라 총체적인 관점에서 개발할 필요성이 대두됨.

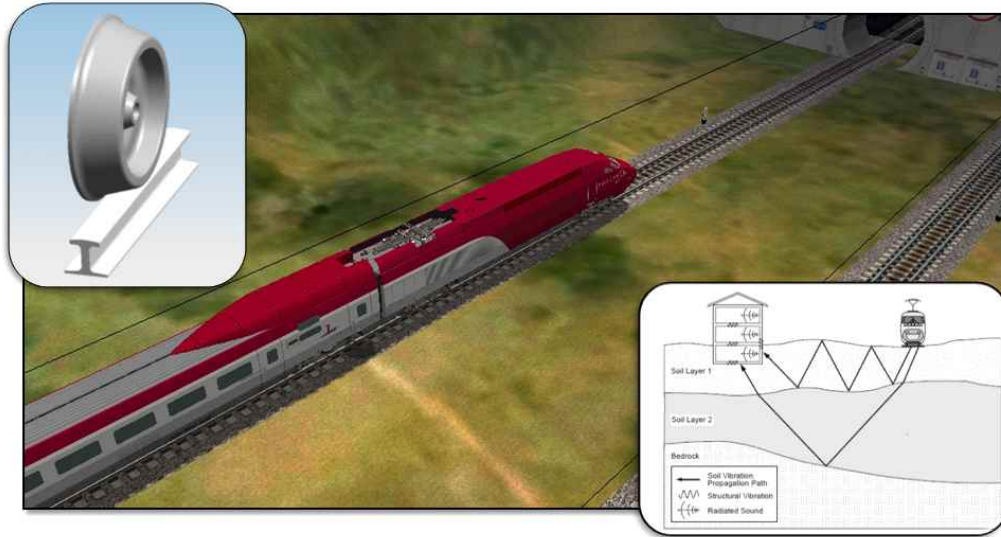


그림 4. 총체적 관점에서의 철도 소음/진동 저감 기술 적용의 필요성

- 현재 철도차량 제작 시부터 소음을 규제하기 위해 제작차량에 대한 환경소음기준이 소음 진동 관리법 시행규칙 제25조 등에 설정되어 시행되고 있으나, 차량의 소음/진동 저감을 위한 체계적인 기술은 답보상태에 있어 종합적인 저감방안을 위한 기술이 요구됨.
- 철도차량이 터널 내를 주행 시 개활지 대비 5~7dB 실내 소음이 증가함. 특히 500Hz 아래의 저주파수 대역에서는 최대 15dB 상승함. 해당 주파수 대역의 소음 저감을 위한 구조기인, 공기기인 소음의 종합적인 대책이 필요함. 관련 내용은 <그림 5>에서 나타내었음.
- 철도 차량의 경량화를 위해서 적용되고 있는 차체의 적층 구조의 일례를 들면 다음 <그림 6>과 같음. 차량 벽면 외부로부터 알루미늄 압출재-유리섬유-노맥스 하니콤 구조물로 적층되어 있으며, 관련 적층 구조물에 대한 심도있는 차음 특성 및 효과적인 재진제 선정에 관한 연구가 필요함.

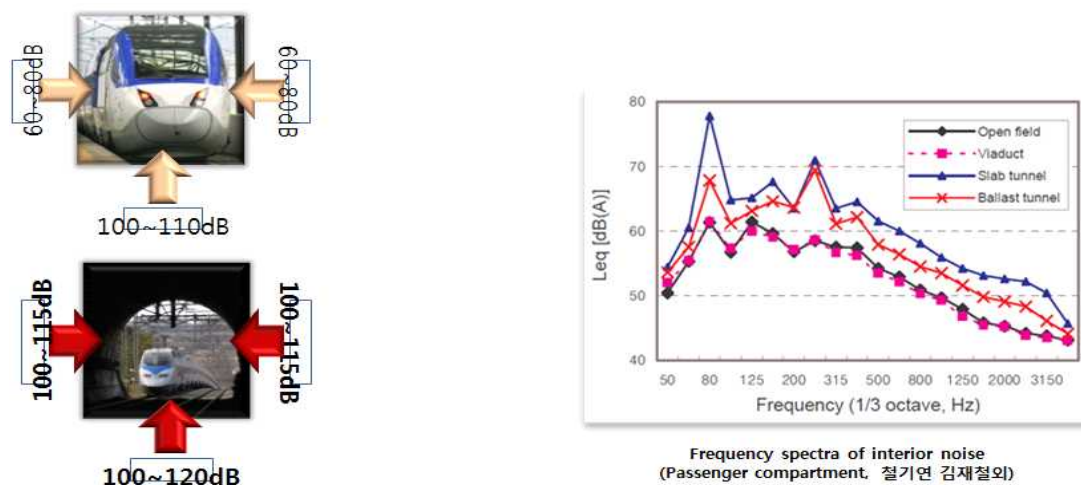


그림 5. 철도 차량의 개활지, 터널 주행 시 벽면의 소음 차이

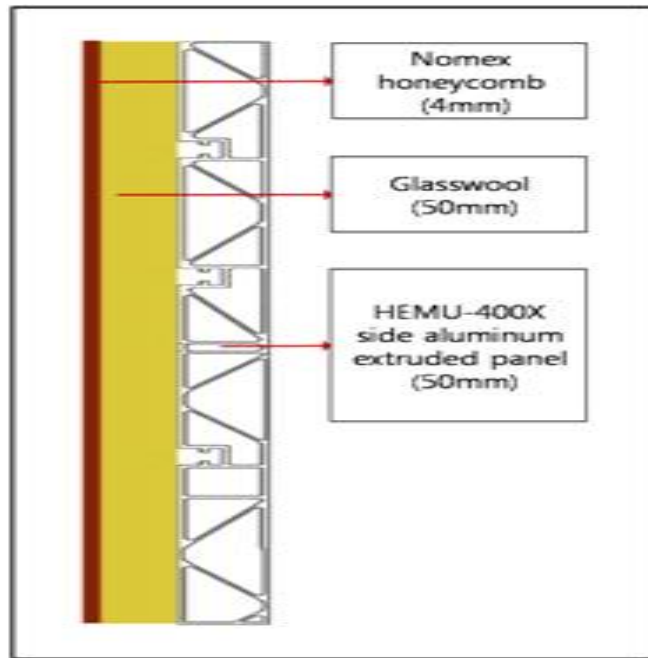


그림 6. 고속철도 차량 벽면의 적층 구조 형태 예

- 차량의 고속화와 경량화, 일반 국민의 삶의 질 향상 추구 등 따라 철도 주행에 따른 소음/진동문제는 지속적인 문제가 될 것으로 판단되므로 철도 소음/진동 저감을 위한 기술이 종합적으로 개발될 필요가 절실함.

3. 세부과제별 기술정의

가. 철도차량 소음/진동 저감기술

- 철도차량 소음진동 저감기술은 차량의 추진장치 및 제동장치에서 발생하는 소음/진동과 차량 실내소음/진동으로 구분되며, 차량의 실내외 소음/진동 저감기술은 차량에서 발생하는 소음/진동, 차량 실내로 전파되는 소음/진동 및 이러한 소음/진동의 제어로 구분됨.
- 차량의 추진장치 및 제동장치에 대한 소음/진동은 차량의 감가속 및 제동 시 발생하는 소음/진동으로 현재 철도차량 제작 시부터 소음을 규제하기 위한 제작차량에 대한 환경소음 기준을 만족하기 위해서는 많은 연구가 필요하다.
- 차량의 실내 소음/진동 저감기술은 저진동/저소음 차량을 설계할 경우 매우 필요하기 때문 국외에서는 제작사를 중심으로 많은 연구가 진행되고 있음.
- 차량의 실내 소음/진동 제어기술은 자동차, 항공기 등 타 분야에서 능동적인 소음/진동 제어기술이 적용되어 실용화 단계까지 많은 연구가 진행되고 있으며, 점차 철도차량분야에서도 고속차량 개발 시 차량의 실내 소음/진동을 저감하기 위해서 능동적 제어방법을 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

나. 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술

- 철도 인터페이스 소음진동 저감기술은 차량과 공기의 접촉에 의한 공력소음과 차륜과 레일의 접촉에 의한 소음/진동으로 구분되며, 차륜과 레일의 접촉에 의한 소음/진동은 차륜과 레일 표면의 미세한 거칠기에 의해서 발생하는 전동음, 곡선부 통과 시 발생하는 스کیل 소음 및 레일의 파상마모에 의해서 발생하는 소음/진동으로 분류됨.
- 차량과 공기 접촉에 의한 공력소음에 대해서 국외에서는 고속철도 차량의 소음원 특성을 분석하기 위한 다양한 연구가 수행되었음. 국외에서 수행된 대표적인 연구로는 마이크로폰 어레이 시험, 풍동 시험을 이용하여 소음을 측정하는 시험, 차량에 직접 마이크로폰을 부착한 시험, 음향반사판을 이용한 시험 등을 들 수 있음.
- 고속철도 차량의 풍동시험은 풍동시험 장치를 이용하여 판토품에 대한 축소 모델을 통해서 수행되며, 이를 통해서 판토품에서 발생하는 소음의 위치를 규명하거나, 해당 소음의 특성을 도출함.
- 고속철도 차량에서 발생하는 유동의 특성을 파악하기 위해 전산유체역학을 통한 수치해석 연구가 수행되고 있음. 그러나 일반적으로 소음의 크기는 유동 크기의 만분의 일 크기 정도로 수치해석적 오차보다 그 크기가 작기 때문에 유동해석을 통한 소음의 특성 파악은 어려움이 있음.
- 차륜과 레일의 표면에 미세한 거칠기에 의해서 발생하는 전동음은 유럽의 ERRI에서 예측 프로그램이 개발되어 전동음 저감방안에 활용되고 있음.
- 곡선부 통과 시 발생하는 스کیل소음은 레일위의 차륜의 크리피지와 마찰력 추출 등 발생 메카니즘의 연구를 수행하고 있으며, 이와 함께 새로운 저감방안을 도출하기 위한 연구가 진행되고 있음.
- 국내에서 레일 파상마모에 대한 연구는 거의 진행되지 않고 있으며, 단지 발생 현황에 대해서 분석이 이루어지고 있음.



그림 7. 파상마모의 형상

- 레일 파상마모에 대한 본격적인 연구는 1970년대부터 시작되어, 1975년 Johnson과 Gray는

디스크머신에서 파상마모의 형태를 이론적 혹은 실험적으로 설명할 수 있다고 보여주었으며, 1977년 오스트레일리아의 Mair는 특정 장파장 파상마모의 원인을 연구하였음. 1978년 Eisenmann은 단파장 파상마모 연구를 발표하였고, 1979년 Daniels은 푸에블로의 FAST 트랙에서 단파장 파상마모에 대한 실험적 연구를 시작하였음.

- (1) 레일 파상마모의 발생 원인은 과도한 공격각과 횡크리프 및 내외측 궤도의 차륜회전반경 부족과 과도한 종크리프에 의한 것으로 알려져 있음.

다. 철도 인프라 소음/진동 저감기술

- 프랑스, 일본, 독일의 고속철도 특성과 300km/h 이상 운행 시의 소음방사에 부합한 방음벽 성능 향상기술을 개발하고 있으며, 도심지 통과 철도가 증가함에 따라서 진동전달, 소음전달 등에 대한 경로 규명 및 다양한 도심지 소음저감 설계기술을 개발하여 도시계획과 접목하고 있음.
- 철도 구조물 가운데 고가교와 철교에서 방사되는 소음/진동 저감에 대한 연구는 소음/진동에 대한 연구는 1980년대 중반 TCRP(Transit Cooperative Research Program)에서 도시철도 고가교에서 방사되는 소음을 저감시키기 위한 연구가 진행되었음. 유럽에서는 1990년대 중반 TNO에서 철교에서 방사되는 예측 프로그램을 개발하여 저감 방안에 활용하고 있음. 또한 일본에서는 2000년대 초반 신간선의 고가교 소음을 저감시키기 위한 연구가 철도총합기술연구소(Railway Technology Research Institute)에서 수행되었음.
- 지하철 및 열차 운행에 따른 지반진동과 소음의 예측은 수치해석 기법의 발달과 함께 급속히 발전하여 왔으며 특히 최근 10여년에 걸쳐 지반-구조물 상호작용 이론을 기반으로 한층 업그레이드되고 있다. 최근의 연구동향은 주로 차량과 궤도의 상호작용 및 궤도의 모형화에 주안점을 두고 있으며, 지반진동해석의 경우에는 해석결과에 가장 큰 영향을 미치는 지반의 기하학적 특성과 지반전파속도를 정밀하게 고려하는 해석방법 등이 수행되고 있음.
- 궤도분야의 소음, 진동 저감기술 분야는 도심지, 공장 통과하는 지역의 고속철도, 도시철도 통과구간, 선하역사에 중심으로 기술개발이 이루어져 왔음. 주로 개발되는 제품의 고무패드, 코일스프링 방진재의 일부 생산기술을 확보하고 있고 자체적인 소음, 진동평가기술을 확보하고 있으나 고효율 방진시스템의 설계, 제작기술과 시스템의 방진, 방음 설계기술, 구성요소 및 시스템의 소음진동 평가기술은 국외 의존도가 높은 것으로 판단됨.
- 최근에는 유지보수비용이 적은 콘크리트궤도가 많이 적용되고 있지만 자갈궤도보다 소음이 3dB(A)이상 증가하는 것으로 알려져 있음. 이에 대한 대책으로 철도 운영 중 차륜-레일의 접촉부에서 발생하는 전동소음, 차량의 공력소음 및 집전계 소음 등의 소음은 철도연변의 민원인에게 불쾌감을 줄 수 있음. 이런 경우에는 도상과 벽체에 흡음재질의 소음저감제품을 이용하여 차량 내부로 유입되는 소음을 효과적으로 감소시킬 수 있음. 국외의 경우 콘크리트 도상에 흡음률을 보완할 수 있는 도상흡음판(Noise Absorber)이나 터널 또는

기차역 내벽에 흡음재를 부착하는 벽체흡음벽을 개발하여 적용하고 있음.

- 열차 주행 시 발생하는 진동은 레일패드, 방진패드, 침목패드 및 방진슬래브 또는 매트 등의 자재나 공법을 이용하여 차륜-레일의 접촉에 의해 발생하는 진동을 차단하거나 흡수하여 진동의 영향을 최소화 할 수 있음.

제2절 기술분류 및 내용

1. 기술분류

- 철도 전 분야를 고려하여 소음진동 예측의 신뢰성을 높이고 설계초기단계부터 손쉽게 적용하고 평가할 수 있는 “철도소음진동 저감 원천기술” 확보를 비전으로 설정하였으며, 이를 실현하기 위한 다음 3가지 세부 핵심기술 분야로 분류함.

- 철도 차량의 소음/진동 저감기술
- 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술
- 궤도/구조물 진동 및 환경 소음 저감기술

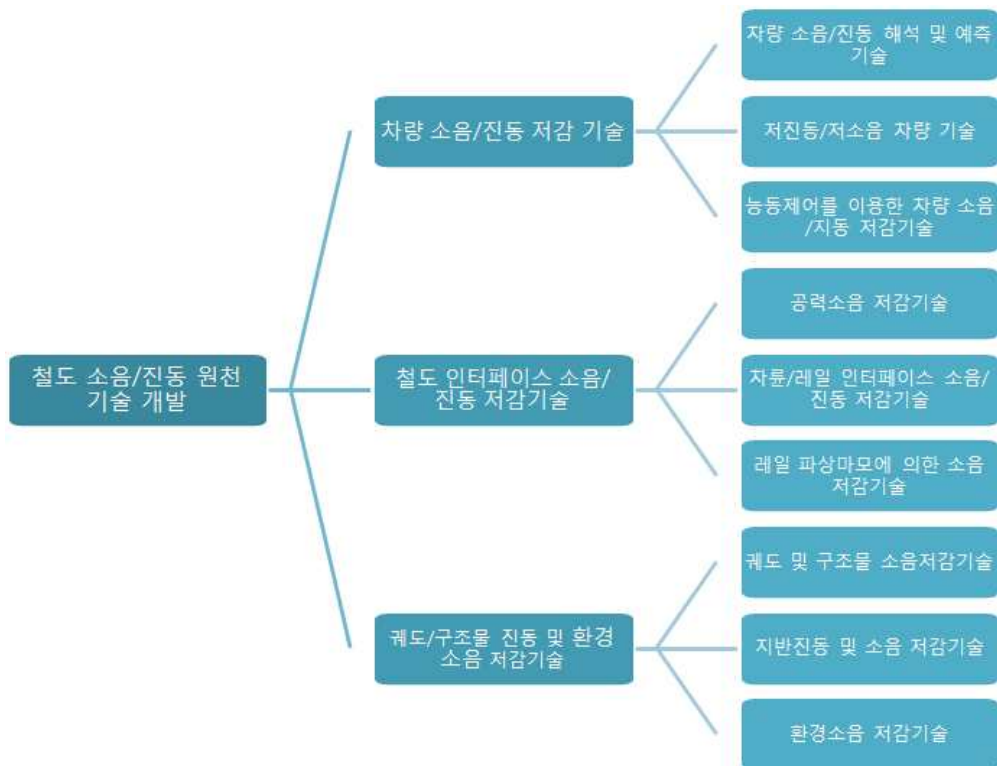


그림 8. 철도 소음/진동 기술 분류

- 본 기획과제에서는 철도차량, 차량과 궤도의 인터페이스, 공력소음, 궤도 및 구조물(교량, 고가교)등 철도 전체 시스템에 대해서 종합적인 소음/진동 저감을 위한 원천기술을 개발하고자 함.

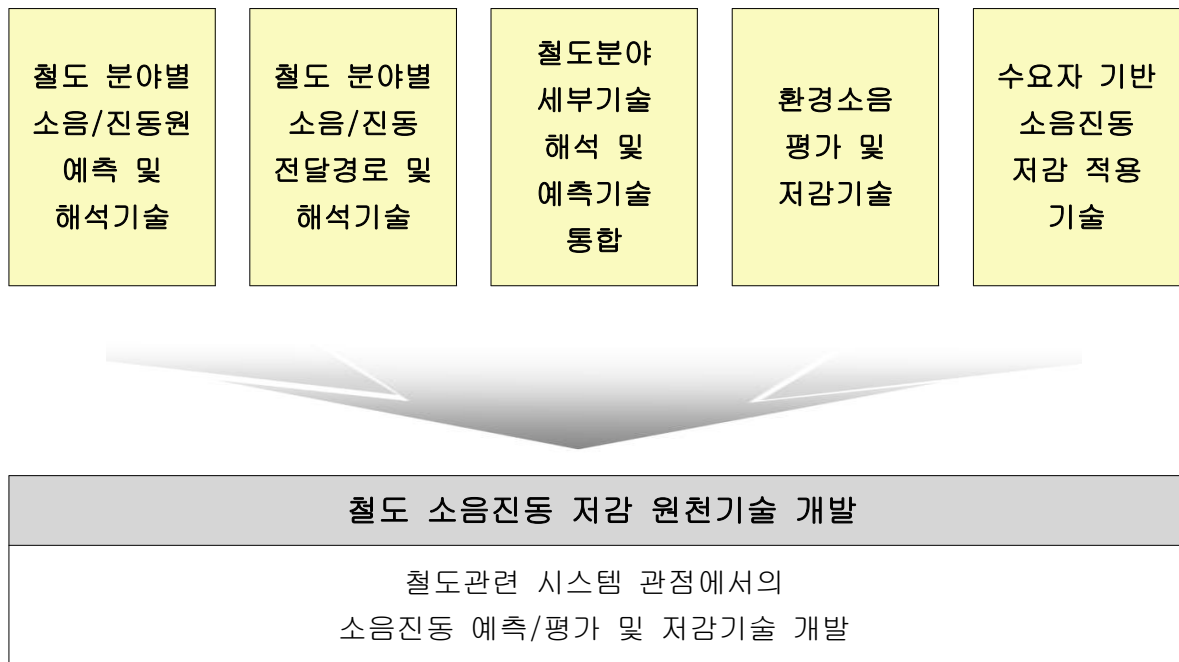


그림 9. 철도 소음/진동 저감 원천기술 개발 기획과제의 연구개요

2. 기술내용

표 4 철도 소음/진동 저감 기술 내용

목표 기술	철도 소음/진동 저감		
철도 소음/진동 저감 원천기술	세부과제	세부기술	소요기술
	차량 소음/진동 저감기술	차량 소음/진동 해석 및 예측 기술	- 차량 실내소음 예측 및 기여도 분석기술 - 공기 및 고체전파음에 의해서 전파되는 소음/진동 예측기술
		저소음/저진동 차량 기술	- 차량 추진 및 제동장치에서 발생하는 소음/진동 저감기술 - 차량 흡/차음재의 재질 및 위치 최적화 기술
		능동제어를 이용한 차량 소음/진동 저감기술	- 마스킹 효과를 이용한 실내소음 제어기술 - 신개념 댐퍼를 이용한 차량진동 저감기술
	철도 인터페이스 소음/진동 저감기술	공력소음 저감기술	- 전산유체역학에 의한 공력소음 해석기술 - 풍동실험에 의한 공력소음 측정기술
		차륜/레일 인터페이스 소음/진동 저감기술	- 곡선부 스킵소음 예측 및 저감기술 - 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 원인규명 및 해석기술
		레일 파상마모에 의한 소음 저감기술	- 레일 파상마모 관리 시스템 구축 - 레일 파상마모 저감 기술
	궤도/구조물 진동 및 환경소음 저감기술	궤도 및 구조물 소음/진동 저감기술	- 궤도의 각 요소별 진동 저감기술 - 콘크리트 궤도의 흡음성능 향상기술 - 교량 및 고가교에서 방사되는 예측 및 소음 저감기술
		지반진동 및 소음 저감기술	지반진동 예측 및 저감기술
		환경소음 저감기술	- 차량종류 및 지형조건에 따른 소음전파 예측기술 - 인간청감을 이용한 맵작성 및 평가기법 구축 - 철도 환경소음 평가방법 개발기술 - 축소모델을 이용한 소음 평가 및 예측기술 - 고효율 방음벽/방음벽상단 소음저감장치의 개발

제2장 국내외 동향 및 환경 분석

제1절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

- 경제성장에 대비 급증하는 교통수요에 능동적으로 대응하기 위해 막대한 건설비가 소요되는 철도보다 도로중심의 교통정책을 추진하였으나, 최근 도시의 지속가능한 성장과 인간중심의 교통체계 복원 등을 위해 철도가 관심이 증대되고 있음.
- 철도는 다른 교통수단 가운데 친환경적이며, 대량수송에 유용한 수단으로 인식되고 있는데 반해, 주요 철도망은 일제 강점기에 건설, 해방 이후 철도투자는 산업철도 건설과 노후된 기존선 개량에 치중되고 있는 실정.
- 도시경영에서 환경, 에너지, 복지, 기후대책 등의 중요성이 부각되면서 철도사업의 활성화 필요성 재인식.
- 이산화탄소저감 정책에 따라 정부는 온실가스 배출량을 2020년까지 전망치 대비 63~67% 수준까지 감축키로 하고 철도에 대한 투자계획 확대.
- 국내 철도시장은 국책사업으로 추진되고 있는 고속철도망의 증가로 더욱 성장할 것으로 예상됨.
- 경부선과 호남선에 투입될 고속전철의 지속적인 추가물량 증가와 함께 평창 동계올림픽의 유치로 동서지역을 연결하는 200Km/h급 이상 고속차량의 수요증가 및 장기적인 관점에서는 서울과 제주도를 연결하는 고속철도 수요의 증가가 예상됨.
- 이는 향후 중국과 러시아를 잇는 대륙 간 고속철도로 발전될 가능성이 매우 높음.
- 한편 국토해양부에서는 세계적인 지구온난화 방지를 위한 이산화탄소 절감을 국가적 목표로 삼고, 국가의 교통정책의 도로중심에서 철도중심으로 변화하는 ‘국가기간교통망계획’을 새롭게 수정함에 따라 철도산업의 획기적인 성장이 예상됨.
- 이러한 계획으로 향후 국내 철도시장의 전반적인 확대와 더불어 고속화된 차량수요 및 전기기관차, 전동차, 고속전철, 경전철, 자기부상열차 등과 같이 친환경 고부가가치 차량의 수요증가가 예상됨.
- 2000년대에 들어 첫 도시철도가 개통된 광주와 대전뿐만 아니라, 서울을 비롯하여 이미 도시철도를 보유하고 있는 부산, 대구, 인천 등 지방자치단체들도 지속적인 증설계획을 추진 중에 있음.
- 2011년 4월 정부가 총 사업비 88조원 규모의 ‘제2차 국가철도망 구축 계획(2011~2020)’을 확정·발표하면서 2020년까지 주요도시가 KTX 고속철도망에 연결돼 전국이 ‘90분대’, 광역·급행 철도망(GTX)이 구축되는 수도권은 ‘30분대’ 생활권으로 계획 될 전망이어서 향후 철도투자가 더욱 활발해 질 것으로 예상됨.



그림 10. GTX(左)와 KTX(右)

2. 국외 정책동향

- 해외 대부분의 국가에서 교통수단 간 균형을 통한 지속가능한 발전, 기후변화협약에 대한 대응의 일환으로 철도투자 확대 추세.
- 독일, 일본, 프랑스 등 고속철도가 운행함에도 불구하고 효율적인 교통체계의 구축을 위하여 일반철도의 고속화를 위한 투자 증대.
- 러시아 등의 국가도 신선 건설과 일반 철도의 고속화를 동시에 진행하고 있으나, 막대한 건설비가 소요되는 신선보다 일반철도의 고속화를 우선적으로 추진하고 있음.

가. 독일

- 고속철도와 일반철도를 하나의 네트워크로 통합하여 일반철도를 활용하면서 단계적으로 새로운 라인을 건설하는 추세.
- 독일연방교통계획(FTIP 2003)에 의하면, 2001~2015년 동안 철도, 도로, 해운에 대한 총 투자규모는 약 1,500억 유로 규모에 달함.

표 5 독일의 교통부분 투자계획

부분		FTIP 1992 (1991 ~ 2000)		FTIP 2003 (2001 ~ 2015)	
		금액(억 유로)	비중 (%)	금액(억 유로)	비중(%)
총예산	철도	362	42.3	639	42.9
	도로	441	51.6	775	52.1
	해운	52	6.1	75	5.0
계		885	100.0	1,489	100.0

출처 : Federal Ministry of Transportation, Building and Housing. 2005.
Federal Transportation Infrastructure Plan 2003.

나. 프랑스

- 지속적인 신선건설로 부채증가에 따라 일반철도를 활용하는 방향으로 정책을 전화하고, 일반철도의 전철화 및 선로 개량, 차량의 경량화와 고속화를 통해 서비스 지역을 확대하고 철도 경쟁력 강화.
- 2000년 2009년 동안 중앙정부의 120억 프랑을 포함하여 향후 1,320억 프랑을 투자할 계획임.

다. 일본

- 재래간선철도와 신칸센의 접근성 향상 및 접속의 원활화가 목표이며, 신칸센과 연결되는 재래간선의 고속화, 가변궤간 열차를 이용한 신칸센 직통 운전화 등 추진.

제2절 국내외 시장현황 및 전망

- 철도산업은 크게 한 도시나 지역에 철도를 건설하는 것에서부터 금융까지 모든 것을 포함하는 범위가 넓은 국가 기간산업이자 사회 간접자본으로서의 성격이 강함.
- 그 중에서도 철도차량사업은 출도운송수단의 연구개발, 제작, 판매 및 유지보수와 연관된 전체 사업 분야임.
- 철도 소음 및 진동 주체는 크게 철도차량, 궤도, 차륜/레일, 구조물에 의한 소음으로 분류됨.

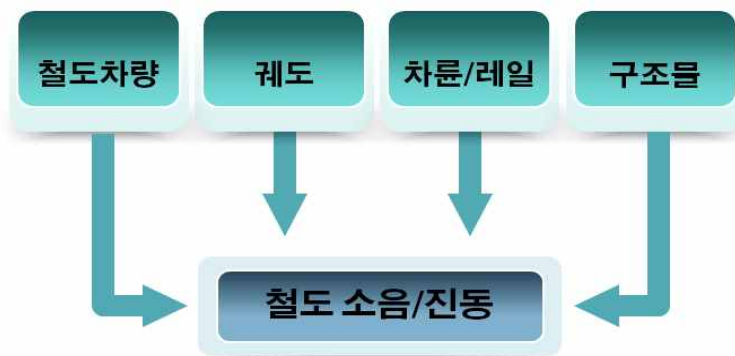


그림 11. 철도 소음 및 진동 주체

- 철도 소음 및 진동과 관련한 철도기술의 분야별 비율은 철도차량에 집중되어 있으며 그 수치는 절반이 넘는 58%를 나타냄. 31%를 차지하는 철도인프라와 관련한 철도 소음/진동의 주체로는 궤도를 꼽을 수 있음.
- 본 분석은 철도 기술의 상당 부분을 차지하고 있는 철도차량과 궤도 시장을 중심 내용으로 다루도록 함.

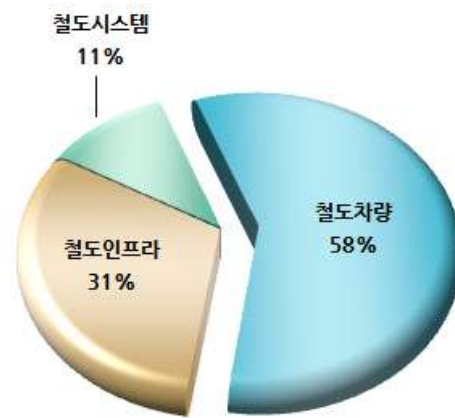


그림 12. 철도기술 분야별 비율

1. 국내 시장현황

- 국내 지형적 요인으로 도로건설 위주의 자동차 산업 육성에 주력해온 국내 철도시장은 환경비용 등 사회적 문제점이 제기되면서 대체 교통수단으로 주목 받고 있음.
- 1990년대 중반까지 외국 기술에 의존하던 국내 철도기술은 연구기관을 중심으로 한 기술 개발과 철도차량 완성차 업체 및 부품업체의 상생노력을 통해 성장하며 글로벌 경쟁구도에 참여하게 되었음.
- 철도산업은 공익산업이라는 특성과 함께 대규모의 자금투입이 필요한 사업으로 정부나 지방자치단체가 주도하는 집행예산에 따라 철도차량의 수량과 가격이 결정되며, 최근 각 지방자치단체와 민간투자자와의 역할분담을 통한 민자사업이 점차 확대되는 추세이며, 해외 시장의 경우도 이와 유사함.

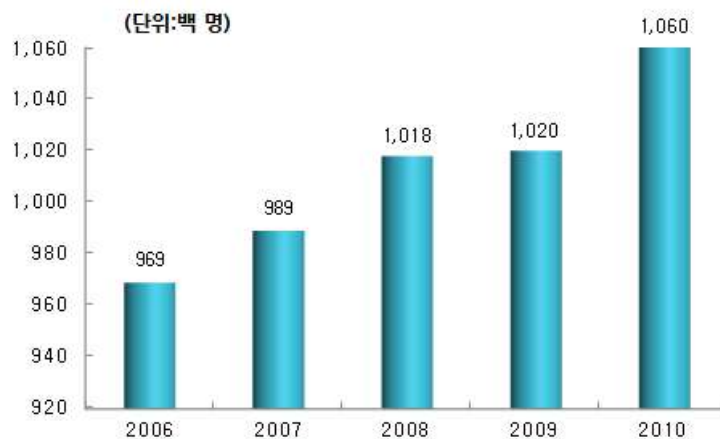


그림 13. 여객 수송 인원



그림 14. 차종별 여객 수입비

가. 국내 철도차량 시장현황

- 국내 철도시장은 1970년대부터 시작된 지하철 건설사업을 중심으로 도시철도차량 수요가 증가하면서 성장하였음.
- 철도공사에서 매년 6,000억 원 이상의 고속전철, 기관차, 전동차, 객차, 화차 등 철도차량이 발주되면서 물량이 꾸준히 유지되고 있음.

표 6 국내 도시철도 차량 현황

				
Maglev:인천	철제차륜AGT:우이	철자차륜AGT:인천	모노레일:대구	고무차륜AGT:광명
				
고무차륜AGT:부산	선로유동전동기:용인	철제차륜AGT:김해	고무차륜AGT:의정부	유도전동:일반지하철

자료: 한국철도협회

- 신조차량 수요가 큰 아시아, 유럽시장을 중심으로 세계 철도차량시장은 매년 20억 달러에 가까운 꾸준한 성장을 하고 있는데 국내 철도차량 산업은 그 동안 일구어 온 기술과 품질 경쟁력을 바탕으로 앞으로 미주, 유럽, 남미 등지의 시장에서 고부가가치 차량수출을 확대할 계획임.
- 2000년대 초반 홍콩으로 수출했던 전동차의 경우, 철도 선진국인 영국의 표준을 그대로 적용한 최상급 차량으로 세계시장에서 그 품질과 기술을 인정받았으며 인도, 터키, 브라질, 그리스 등에서도 전동차 및 지하철 시스템사업을 진행하였음.
- 철도의 본 고장인 유럽을 포함하여 2006년에는 북미 시장 진출, 2007년에는 뉴질랜드 전동

차와 튀니지 전동차를 수주하며 6개 대륙의 시장에 진입하였음.

- 또한, 카자흐스탄 알마티 전동차, 우크라이나 CS2 전동차사업을 진행함으로써 전통 러시아 시장인 CIS지역에 성공적으로 진입하는 등 수출지역의 다변화가 확대되고 있음.
- 최근 경기활성화에 대한 기대로 화물운송 확대에 따른 기관차 및 화차시장과 급격한 도시화로 인한 승객 수송용 고속전철 및 전동차 시장이 더욱 성장할 것으로 전망됨.
- 특히 시장의 규모가 큰 아시아와 서유럽뿐만 아니라 향후 개발의 여지가 상존하는 중남미, CIS지역의 성장가능성이 주목 받고 있음.

표 7 국내 도시철도 현황

구 분	노 선	영업길이/ 차량수	수송인원/운수수익
	경부선(서울~구로) 경인선(구로~인천) 경원선(소요산~청량리) 중앙선(용산~국수) 안산선(금정~오이도) 과천선(남태령~금정) 분당선(선릉~보정) 일산선(지축~대화)	329.4KM 2,088량	905,879(천명) 579,074(백만원)
	1호선(서울~청량리) 2호선(성수~성수, 순환선) 3호선(지축~수서) 4호선(당고개~남태령)	134.9KM 1,944량	1,446,924(천명) 790,899(백만원)
	5호선(방화~상일동,마천) 6호선(응양~봉화산) 7호선(장암~온수) 8호선(모란~잠실)	152KM 1,561량	846,925(천명) 456,832(백만원)
	1호선(신평~노포동) 2호선(장산~양산) 3호선(대저~수영)	95.8KM 776량	256,832(천명) 185,722(백만원)
	1호선(계양~국제업무 지구)	29.4KM 200량	73,300(천명) 48,046(백만원)
	1호선(대곡~안심) 2호선(문양~사월)	53.9KM 384량	110,434(천명) 66,765(백만원)
	1호선(판암~반석)	20.5KM 84량	29,314(천명) 19,576(백만원)
	1호선(녹동~평동)	20.5KM 92량	15,790(천명) 8,696(백만원)

자료: 통계로 보는 한국철도 2010

- 최근에는 친환경 운송수단인 철도차량의 속도향상에 대한 요구가 늘어나, 기존의 차량을 대체할 최선의 고속화, 전기화된 차량의 수요가 급격히 증가 할 것으로 예상됨.
- 또한, 서울시 도시철도 9호선 사업과 같은 민자사업의 활성화로 각 지방자치단체들이 추진하고 있는 경전철 건설사업은 철도차량 산업의 새로운 시장으로 떠오르고 있음.
- 이는 철도차량을 포함하는 철도시스템(E&M) 및 부대사업까지, 민간자본을 이용한 턴키사업으로 이어지면서 국내 철도차량 산업은 단순한 차량 제작에서 종합 철도시스템공급의 사업영역으로 확장되고 있음.
- 국제 지자체들의 민자사업 추진은 철도차량 산업이 단순 차량제작의 경계를 넘어 건설, 신호, 통신, 철도운영과 부대시설 개발 등으로 사업영역을 넓히는 계기를 마련하였음.



그림 15. 국내 철도차량 수량

나. 국내 철도궤도 시장현황

- 철도궤도시장은 철도교통시장 중 노반공사 및 궤도부설공사를 의미하며, 정부의 정책사업으로 교통난 해소를 위해 필수불가결한 지속적인 성장사업인 동시에 이산화탄소 감축을 위한 녹색교통사업으로 향후 큰 폭의 성장이 예상되는 시장임.



그림 16. 호남고속철도 오송고가 건설구간(左), 부산3호선 반송선 경전철(右)

- 이와 관련하여 2009년 11월 녹색성장위원회에서는 SOC 투자의 29%인 철도사업에 대한 투자를 2020년까지 50%까지 확대할 것을 결의한 바 있으며, 특히 경전철, 호남고속철도, 대도심 광역철도 등의 대규모 철도사업과 4대강 사업 등으로 지속적인 성장이 예상되고 있음.

2. 국외 시장현황

가. 국외 철도차량 시장현황

- 세계 철도산업의 시장규모는 2009년~2011년 평균 약 196조원으로 추산되며, 이 중에서 철도차량 분야는 신규차량을 기준할 때 약 30% 규모로 이는 항공이나 도로 등 타 교통수단에 비해 작은 수준임.
- 해외시장의 경우 1990년 이전에는 객·화차 중심의 수출이 대부분이었으나, 1990년 이후부터 전동차, 경전철 등의 수출이 시작되어 꾸준한 기술개발과 품질관리로 고속철, 자기부상열차 등 고부가치의 철도차량 및 시스템 엔지니어링 분야로까지 시장을 확대해 나가고 있음
- 세계 철도차량 시장은 신차 시장과 판매 후 시장의 규모가 거의 비슷하며, 서유럽과 아시아 시장이 비슷한 규모로 가장 큰 부분을 차지하고 있음.
- 판매 후 시장은 상대적으로 차령이 높은 서유럽 지역에서 신차시장보다 조금 큰 규모를 나타내며, 아시아의 경우에는 일본을 제외하고는 차령이 상대적으로 낮음으로 인하여 판매 후 시장의 규모는 작음.
- 신규 사업에 따른 철도기술시장은 서유럽과 아시아가 주도하며, 그 다음으로 CIS지역이 이들 시장의 1/3 규모, 동유럽, 아프리카/중동 등이 1/5 규모를 차지함.
- 중남미와 오세아니아 시장은 현재까지 전체 시장에서 차지하는 비중이 낮음.
- 판매 후 시장은 철도 시스템 구축 역사가 오래된 서유럽과 북미 지역이 가장 큰 규모를 나타냄.
- 아시아와 아프리카/중동 시장과 같은 최근 철도망이 확장된 지역을 제외한 전 지역에서 판매 후 시장의 규모는 이미 신규 시장의 규모보다 큰 상태임.
- 세계 철도시장은 고속철도를 중심으로 유럽과 아시아를 기반으로 지속적으로 시장이 성장할 것으로 예상됨 (평균 증가율 4%).

표 8 세계 철도차량 시장 규모 및 분류

(단위: 백만 EUR)

		서유럽	동유럽	북미	중남미	아시아	아프리카/ 중동	CIS	오세아 니아	계	
										(백만 EUR)	(조원)
전기 기관차	신차	1,030	170	40	0	1,320	190	700	70	3,520	5.4
	판매후	1,100	310	20	10	520	60	340	20	2,380	3.7
디젤 기관차	신차	490	80	1,170	130	900	90	490	230	3,580	5.5
	판매후	1,350	570	3,020	420	1,040	190	780	230	7,600	11.7
고속 열차	신차	1,425	75	0	0	2,455	35	100	0	4,090	6.3
	판매후	1,535	10	15	0	850	0	5	10	2,425	3.7
EMU	신차	3,340	330	220	60	1,250	210	250	340	6,000	9.2
	판매후	1,980	240	140	110	2,050	130	480	170	5,300	8.2
DMU	신차	750	70	15	5	75	75	30	50	1,070	1.6
	판매후	810	135	10	15	225	10	35	20	1,260	1.9
객차	신차	680	180	370	70	1,050	320	1,020	10	3,700	5.7
	판매후	1,190	540	220	70	1,250	150	580	40	4,040	6.2
화차	신차	1,040	265	2,070	215	2,450	80	2,075	155	8,350	12.9
	판매후	1,470	790	4,190	260	1,310	290	1,660	120	10,090	15.6
경전철	신차	865	275	245	4	120	130	55	15	1,709	2.6
	판매후	950	370	280	5	55	30	185	35	1,910	2.9
도시 철도	신차	1,180	120	965	290	1,320	280	45	0	4,200	6.5
	판매후	950	80	860	90	480	30	110	0	2,600	4.0
계(백만 EUR)		22,135	4,610	13,850	1,754	18,720	2,300	8,940	1,515	73,824	113.8
신차 시장		10,800	1,565	5,095	774	10,940	1,410	4,765	870	36,219	55.8
판매후 시장		11,335	3,045	8,755	980	7,780	890	4,175	645	37,605	58.0

자료: The Worldwide Railway Technology Market 2009~2014, SCI/Verkehr 2009

※ 신차: 신설노선에 차량이 최초(신규) 투입된 경우

※ 판매 후: 신설/기존선 최초(신규) 투입 이후 노후교체 및 유지보수 비용

- 북미 시장의 규모가 급속히 커질 것으로 예상되며, 이때 서유럽과 일본 등 선발주자 및 한국, 중국 등 후발 주자들까지 시장점유를 위한 치열한 경쟁이 예상됨.
- 서유럽과 일본 사례에서 나타난 바와 같이, 향후 10년 이후 판매 후 시장의 규모가 급속히 커질 것으로 예상되는 바, 판매 후 시장 진출에 대한 기술력과 판로 확보가 필요함.
- 아시아의 경우 중국 시장의 전체 시장규모에 대한 영향력이 절대적이며, 이미 철도인프라가 완성단계에 있는 일본의 경우에는 신규 시장보다는 판매 후 시장이 규모를 좌우할 것으로 예상됨.

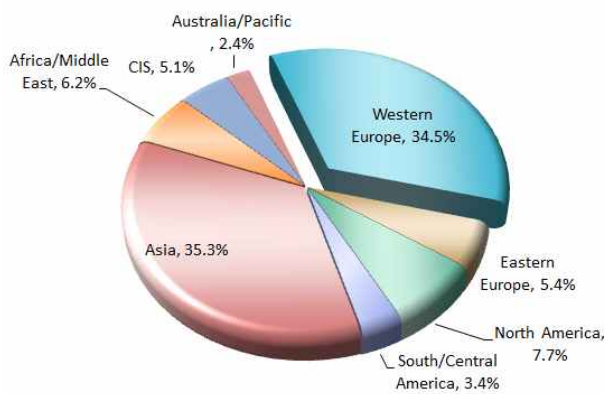
나. 국외 철도제도 시장현황

- 건설시장과 밀접한 궤도시스템의 지역별 현재 시장규모와 향후 성장률(%)은 아래 표와 같음.
- 주목할 만한 내용은 최근 중국의 4중4횡과 같은 광역철도망구축계획 실천 등으로 인하여 아시아 지역의 신설 및 개량분야에 대한 시장규모가 서유럽보다 높은 수준을 나타내고 있는 점임.

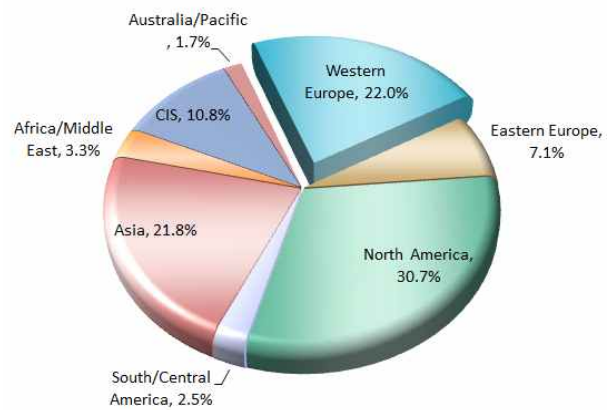
표 9 궤도시스템의 지역별 시장규모

지역	신설 및 개량 분야(신규)			유지보수 및 교체 분야(판매 후)		
	현재 시장규모		2009~2014 성장률(%)	현재 시장규모		2009~2014 성장률(%)
	백만유로	십억원		백만유로	십억원	
Western Europe	3,170	4,945	+4.8	5,450	8,502	+2.6
Eastern Europe	500	780	+6.9	1,760	2,746	+2.8
North America	710	1,108	+24.5	7,600	11,856	+2.6
South/Central America	310	484	+16.6	610	952	+3.9
Asia	3,250	5,070	+7.8	5,380	8,393	+6.8
Africa/Middle East	570	889	+9.8	820	1,279	+6.8
CIS	470	733	+3.1	2,680	4,181	+3.0
Australia/Pacific	220	343	+18.0	430	671	+2.6
총계	9,200	14,352	+9.0	24,730	38,579	+3.8

자료: 세계 철도기술 시장의 현황과 한국철도의 해외진출추진, 오지택 (2010. 06)



신설 & 개량



유지보수

그림 17. 궤도시스템 시장 분포

3. Industry Value Chain 분석

가. 판매경로 및 방법

- 철도사업부문의 수주방식은 입찰방식에 따라 △한국철도공사 및 한국철도시설관리공단으로부터 직접 수주하는 방식, △한국철도공사 또는 철도시설관리공단으로부터 1차 수주를 받은 대우건설, 삼성엔지니어링, GS건설, 대림건설 등 1차 공급자로부터 재수주하는 방식으로 이루어지고 있음.

4. 시장경쟁 현황분석

가. 철도차량 시장

- 세계 철도차량 시장은 서유럽을 근거로 하는 선진업체의 주도 속에 기타 유럽 업체들과 내수물량을 바탕으로 빠르게 성장하는 중국 등 아시아권의 후발업체들이 치열한 경쟁구도를 형성하고 있음.
- 세계 철도차량은 봄바르디에, 알스톰, 지멘스 등과 함께 급성장한 중국대표 철도차량기업인 CSR(중국 남차집단)과 CNR(중국 북차집단)이 전체 철도차량 시장의 약 40% 이상을 차지하고 있음.
- 국내 철도차량 기업은 △현대로템(주), △(주)뉴레일, △(주)기성엔지니어링, △(주)고려차량, △(주)베스트엔지니어링, △(주)성신알에스티, △(주)신성시스템, △에스엘에스중공업(주), △유진차량(주), △홍일기업(주) 등이 있음.
- 국내 철도차량 시장 점유율은 수주금액 기준으로 현대로템(주)이 85~90%로 대부분을 차지하고 있음.
- 현대로템(주)의 세계시장 점유율은 수출주력 차종인 교외통근형 전동차, 메트로 및 디젤동차 등을 포함하여 약 2%대의 점유율을 유지하고 있음.

나. 철도궤도 시장

- 철도궤도시장은 정부의 SOC예산 증가 및 4대강 살리기 사업에 힘입어 시장이 확대될 것으로 전망되나 시장 참여업체가 30여개이며, 상위 10여개 업체가 전체 수주액의 80~90%를 점유하고 있음.
- 한편, 정부의 건설사 구조조정에 의해 경쟁력이 미약한 철도궤도 전문공사 업체의 시장 퇴출이 우려됨에 따라 철도궤도 전문공사 산업 시장의 부익부빈익빈 현상은 가속화될 전망이다.
- 삼표이앤씨(주)와 한국철도시설공단, 철도기술연구원이 공동 개발한 콘크리트궤도용 고속철도 분기기는 경부고속철도 2단계 구간에서 현장 합동점검과 종합시험운행 평가를 통과하여 성능검증을 성공적으로 완료하였음.
- 지식경제부 세계일류상품 인증(2009.12), 국토해양부 교통신기술 지정(2010.11) 등을 통해 그 기술력을 인정받아 2015년에 개통될 호남고속철도 및 수도권고속철도 등에 적용될 것

으로 전망되고 있는 등 고속철도용 궤도자재 100% 국산화를 적극 선도해 나가게 될 것으로 예상됨.

- 국내의 대표적 철도 전문기업인 삼표이앤씨(주)는 6년 연속 궤도시공능력평가 1위의 경쟁력을 기반으로 베트남 하노이 엔비엔~라오까이 2공구 철도 개량공사에 남광토건과 J/V방식으로 참여하여 발주처인 베트남 철도청(VNR)과 2011년 11월 15일 본 계약을 체결하였음. 이번 계약을 통해 국내 업계로는 최초로 베트남 정부 발주의 철도 공사 시장에 참여 하는 것이기에 그 의미가 큼.

제3절 기술동향분석

1. 소음/진동 기술개발 동향

가. 차량의 소음진동 기술개발

- 차체의 바닥구조와 외벽에 대한 차음성능을 향상시키기 위한 연구가 수행되고 있으며, 차체 경량화에 따른 소음/진동 문제 해결을 위해 이중격자 구조의 알루미늄 등과 같은 차체 프레임 등 차음특성을 최적화하는 기술이 연구, 개발 중에 있음.
- 국내에서는 철도차량의 바닥구조의 흡차음 성능을 분석하거나 압전재료의 특성을 이용한 스마트 패넬에 관한 연구 등이 이루어진 바 있으며, 공기스프링의 스프링 상수 개선, 방음 차륜을 통한 소음저감 및 실내소음 해석, 철도차량용 EM/MR 유체이용 능동댐퍼 연구가 시작되고 있는 상황임.
- 고속철도 차량의 실내소음 예측방법은 프랑스 Alstom에서 90년대 초부터 통계적 에너지 해석법(Statistical Energy Analysis)을 이용하여 실내소음 저감방안에 대한 연구를 수행하였으며, 현재에도 이 방법이 널리 사용되고 있음.

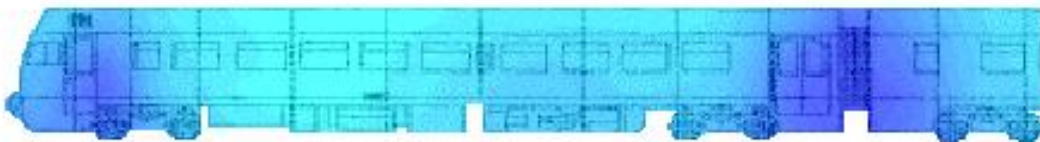


그림 18. 철도차량을 대상으로 통계적 에너지 해석법(Statistical Energy Analysis)을 이용한 실내소음 분포 예측 결과 예

- 국내에서도 이 방법을 사용하여 차량내의 실내소음을 해석하였으며 그 외에 기하음향 기법을 적용한 한국형 고속철도 실내소음 저감 방안, 소음원 기여도 해석 및 벽면 투과손실에 대한 민감도 해석에 의한 한국형 고속철도의 실내소음 예측, 광음향기법을 이용한 한국형 고속전철의 실내소음 예측 등이 이루어지고 있음.
- 철도차량의 실내소음을 저감하는 기술은 소음원 자체 음향파위를 저감하는 방법, 차량 실내에 이르는 경로를 차단하는 방법, 실내에 저감기술은 적용하는 방법 등 소음의 전달 경로에 따라서 여러 가지 기술이 존재함. 따라서 저감기술 적용이전에 차량 실내 소음의 주

된 원인을 정확하게 규명하는 연구, 기술이 선행되어야 하며 이에 따라서 효과적인 저감기술이 적용됨.

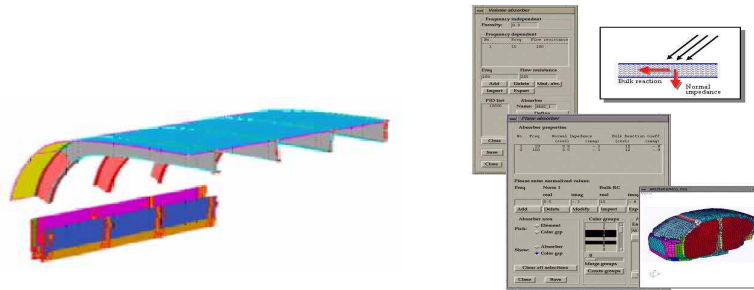


그림 19. 차량내부의 소음해석을 위한 시뮬레이션 Tool Akusmod, Concept Rail의 예

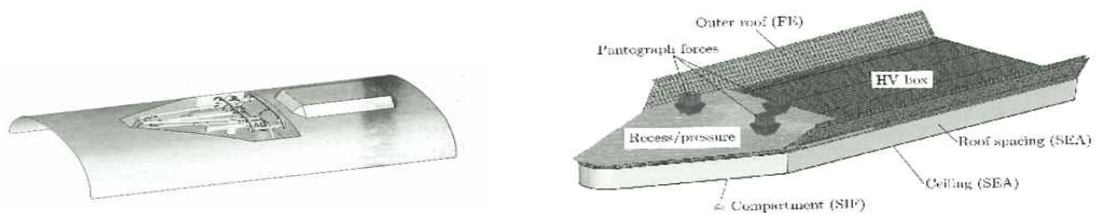


그림 20. Hybrid FE-SEA 방법을 이용한 Bombardier사의 철도 차량소음 해석 일례

(가) 차량하부 대차구조로부터 차량실내로 전달되는 경로를 규명함으로써 가장 취약한 전달 부분을 차단하는 차량설계기술을 개발하여 소음저감설계에 활용하고 있음.

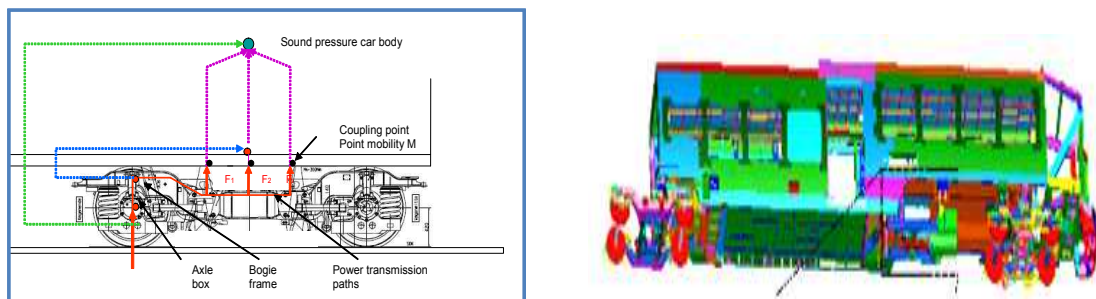


그림 21. 차량전달 소음전달경로 제시 및 기여도 정량화

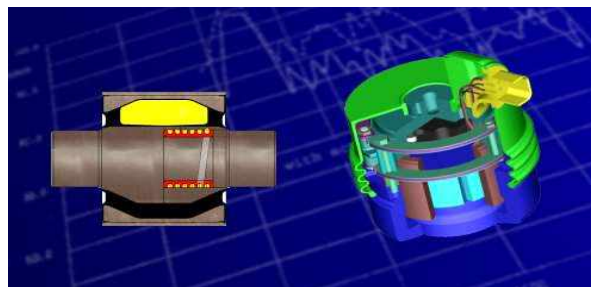


그림 22. Schwab GmbH의 능동 흡진기
실례

나. 차륜/레일 인터페이스 소음/진동

- 현재 차륜과 레일의 표면에 미세한 거칠기에 의해서 발생하는 전동음은 유럽의 ERRI에서 예측 프로그램이 개발되어 전동음 저감방안에 활용되고 있음.
- 곡선부 통과 시 발생하는 스킬소음은 레일위의 차륜의 크리피지와 마찰력 추출 등 발생 메카니즘의 연구를 수행하고 있으며, 이와 함께 새로운 저감방안을 도출하기 위한 연구가 진행되고 있음.

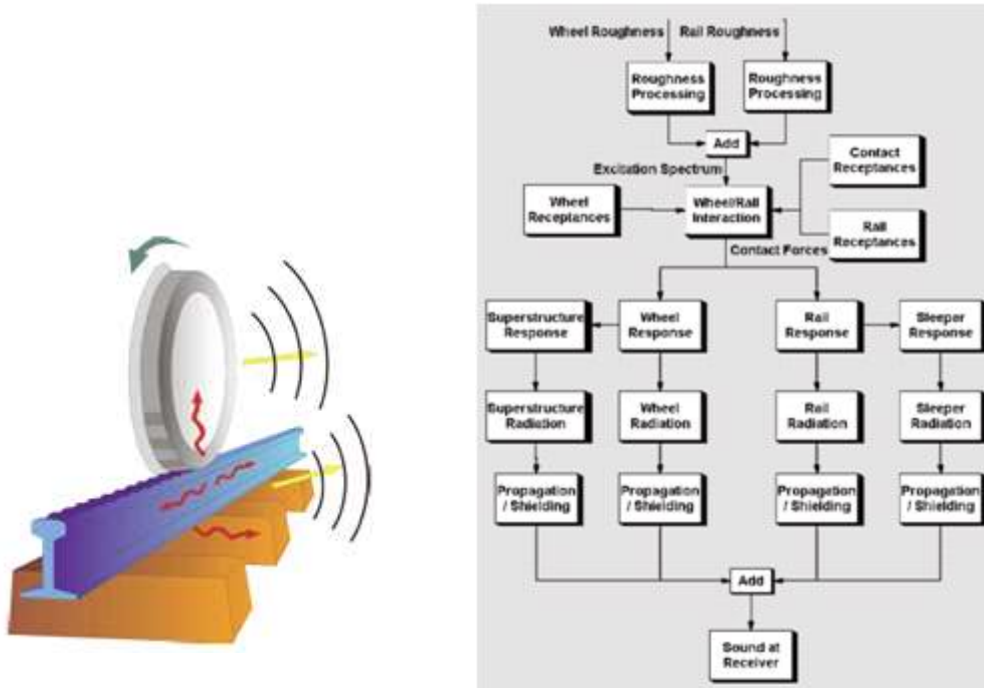


그림 23. TNO연구소의 TWIN 차륜/레일 전동소음 예측 프로그램 흐름도

- 국내에서는 차륜과 레일에 의해서 발생하는 전동음에 대한 연구는 한국철도기술연구원과 홍익대학교에서 전동음에 대한 연구가 2000년도 초반에 수행되었지만, 유럽과 비교하여 볼 때 아직도 초보적인 단계에 있음.
- 곡선부 통과 시 발생하는 스킬소음은 점차 국내 도시철도에서 커다란 문제로 대두되면서 많은 민원이 제기되고 있음. 특히 국내 도시환경은 유럽과 다르게 고층 아파트가 많기 때문에 방음벽으로 철도차량에서 발생하는 소음문제를 효과적으로 해결하지 못함. 곡선구간에 거주하는 아파트 주민으로부터 많은 민원이 제기 되고 있는 상황이지만, 아직도 스킬소음 저감방안에 대한 연구는 미흡한 상태임.
- 국내에서 레일 파상마모에 대한 연구는 발생메커니즘의 복잡함으로 인하여 거의 진행되지 않고 있으며 발생 현황에 대하여 보고되고 있는 실정임.
- 레일 파상마모에 대한 본격적인 연구는 1970년대부터 시작되어, 1975년 Johnson과 Gray는 디스크머신에서 파상마모의 형태를 이론적 혹은 실험적으로 설명할 수 있다고 보여주었으며, 1977년 오스트레일리아의 Mair는 특정 장파장 파상마모의 원인을 연구하였음. 1978년 Eisenmann은 단파장 파상마모 연구를 발표하였고, 1979년 Daniels은 푸에블로의 FAST 트랙에서 단파장 파상마모에 대한 실험적 연구를 시작하였음.

- Frederick과 1987년 박사학위논문에서 Valdivia가 파상마모의 발생 원인에 대한 새로운 이론적 개념을 제시하였으며 BR 연구소의 Frederick, Sinclair에 의한 공동연구에서 단파장 파상마모의 문제에 대한 해결책을 제시하였음.
- 유럽에서는 1996년 Ilias, 1997년 Igeland, Müller 등에 의해서 연구가 지속되었으며 일본의 Suda 등은 1986년에 이론적이고 실험적인 레일 파상마모 연구를 시작하였으며, 1993년부터 Matsumoto등은 주로 리니어 모터 차량에서 발생하는 파상마모를 방지하기 위해 급곡선에서의 파상마모 연구를 시작하였음 Matsumoto, Suda, Ishida는 실험크기의 시험기와 축소 모델 시험기, 열차운행 시험, 현지조사 그리고 수치 시뮬레이션을 통해서 급곡선 구간에서 발생하는 파상마모의 대책 연구를 수행하였음.
- 국내에서 레일 파상마모에 대한 연구는 매우 미비한 단계에 있어, 레일 파상마모의 발생 메카니즘조차 정확히 파악하기 못하고 외국의 연구사례에 의존하고 있는 상황이기 때문에 조속한 연구가 필요함.

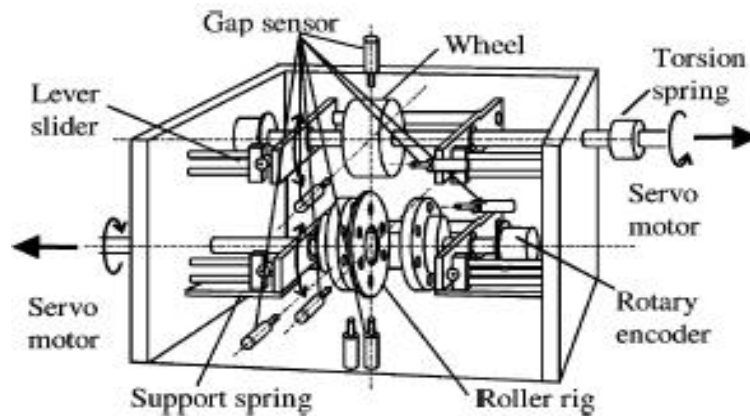


그림 24. 파상마모 시뮬레이터 개략도

다. 차량 공력소음 기술개발

- 국외에서는 고속철도 차량의 소음원 특성을 분석하기 위한 다양한 연구가 수행되었음. 국외에서 수행된 대표적인 연구로는 마이크로폰 어레이 시험, 풍동 시험을 이용하여 소음을 측정하는 시험, 차량에 직접 마이크로폰을 부착한 시험, 음향반사판을 이용한 시험 등을 들 수 있음.
- 마이크로폰 어레이를 이용하여 고속철도 차량의 소음원의 위치를 특정하는 연구가 독일과 프랑스 등에서 수행되었음. 독일에서는 90개의 마이크로폰으로 이용하여 고속철도의 소음을 측정하였으며, 프랑스에서는 73개의 마이크로폰을 개발하여 고속철도의 소음원의 위치를 도출하였음. 마이크로폰 어레이를 이용한 소음 측정은 고속철도 차량의 소음원의 위치를 측정하는 데는 유용하나, 짧은 시간의 주행 소음 측정을 바탕으로 하고 있기 때문에 정확한 소음의 특성을 도출하지 못하는 단점을 가지고 있음.

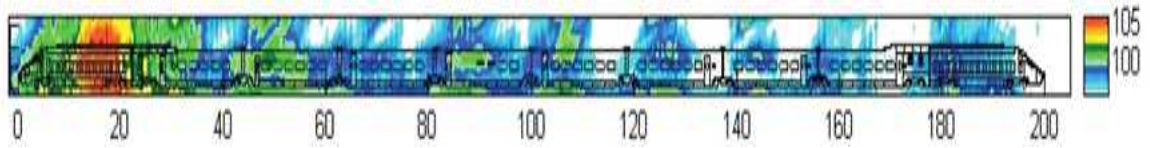


그림 25. 고속철도 차량의 소음 지도

- 풍동시험을 이용하여 고속철도 차량의 축소 모델을 통해서 소음원의 위치 및 소음 특성을 도출하는 연구가 독일과 일본 등에서 수행되었음. 독일과 일본에서는 마이크로폰을 이용한 풍동 시험을 통해서 고속철도 차량의 소음원의 위치와 특성을 도출하는 연구를 수행하였음. 풍동 시험을 통한 소음 측정은 축소 모델에 의한 결과를 실제 차량의 경우에 적용에 어려움이 있음.

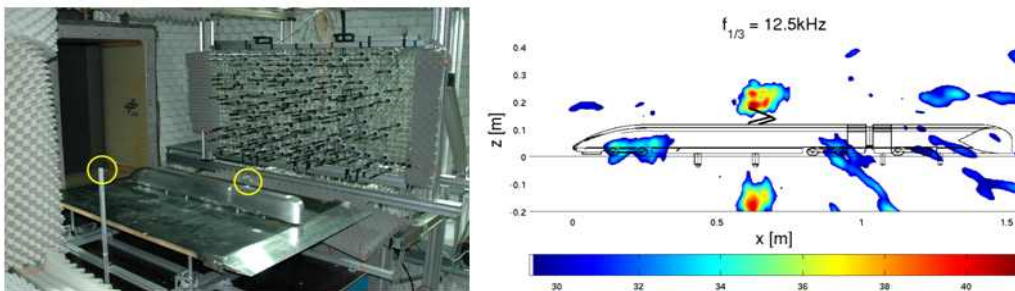


그림 26. 풍동시험 및 소음지도결과 예

- 주행 중인 고속철도 차량에 직접 마이크로폰을 부착하여 소음을 측정한 시험이 국외에서 수행되었음. 특히 프랑스에서는 고속철도의 차간 부위와 대차 부위에 다수의 마이크로폰을 부착하여 소음의 특성을 도출하는 연구를 수행하였음. 이 시험은 고속철도 차량의 주행의 조건의 변화에 대한 소음값을 얻을 수 있으나, 고속으로 주행 시 발생하는 공력 소음으로 인해서 정확한 측정값을 얻기 어려움.

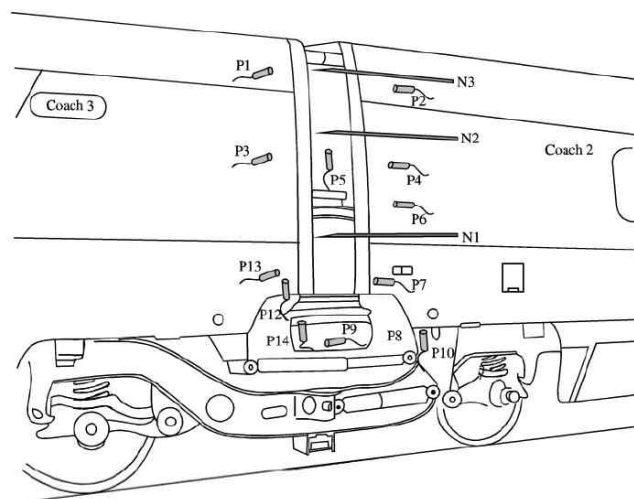


그림 27. 마이크로폰 직접 측정법

- 음향반사판(Acoustic mirror)를 이용한 시험은 측정하고자 하는 높이에 반사판을 설치하여, 방사되는 소음을 측정하는 방법임. 음향반사판 시험은 차량의 높이에 따른 소음의 방사의 특성의 파악하기에는 유용하나, 저주파영역에서는 측정의 신뢰도가 떨어지며 특정한 높이에서의 소음의 특성만을 측정한다는 단점이 있음.

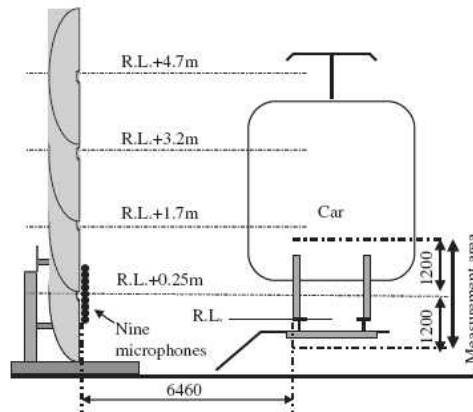


그림 28. 음향반사판 측정법

- 국내에서는 한국철도기술연구원에서 96개의 방사형 마이크로폰 어레이를 이용하여 고속철도 차량에서 발생하는 소음원의 위치를 도출하는 연구를 수행하였음. 이 연구를 통해서 고속철도차량의 전두부, 차간, 판토틀래프, 대차부분이 주 소음원으로 규명됨.

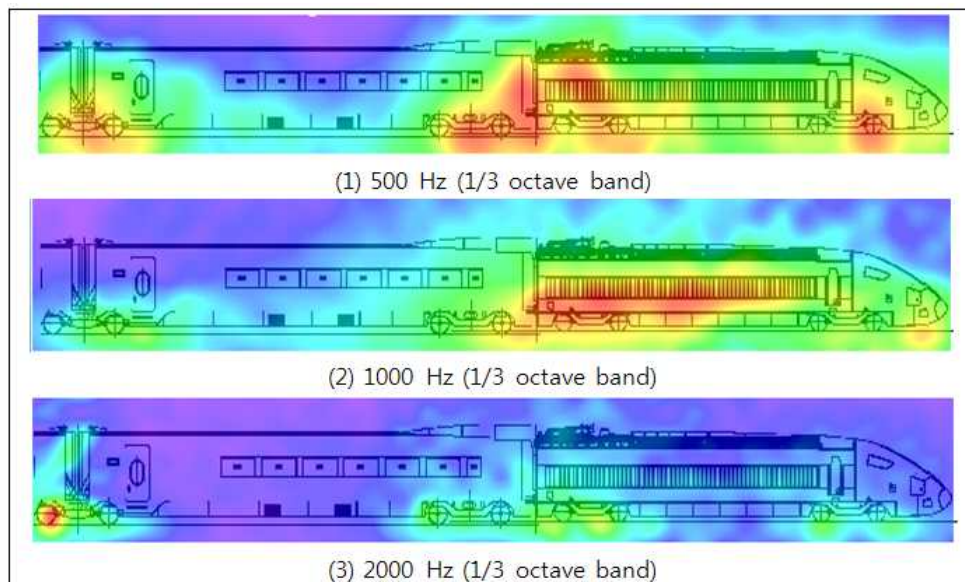


그림 29. 한국형 고속철도차량의 주파수별 소음 지도

- 고속철도 차량의 풍동시험은 한국항공우주연구원의 풍동시험 장치를 이용하여 판토틀래프에 대한 축소 모델을 통해서 수행되었음. 이를 통해서 판토틀래프에서 발생하는 소음의

위치를 규명하였으며, 해당 소음의 특성을 도출하였음.

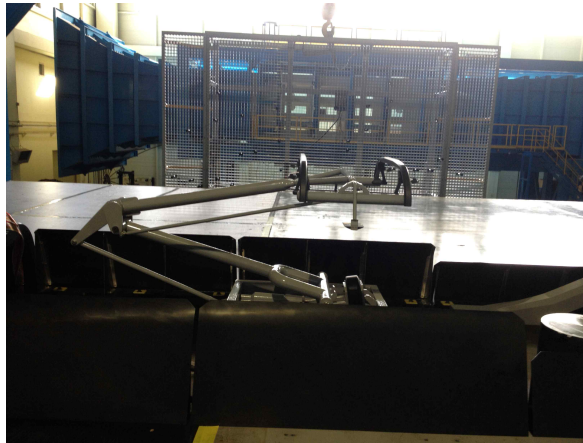


그림 30. 판토타그래프 풍동시험

- 고속철도 차량에서 발생하는 유동의 특성을 파악하기 위해 전산유체역학을 통한 수치해석 연구가 수행되었음. 특히, 고속철도 차량의 차간 부위와 판토타그래프에 대한 전산해석이 한국철도기술연구원, 한국항공우주연구원, 서울대학교 등에서 수행되었음. 하지만 일반적으로 소음의 크기는 유동 크기의 만분의 일 크기 정도로 수치해석적 오차보다 그 크기가 작기 때문에 유동해석을 통한 소음의 특성 파악은 어려움이 있음.

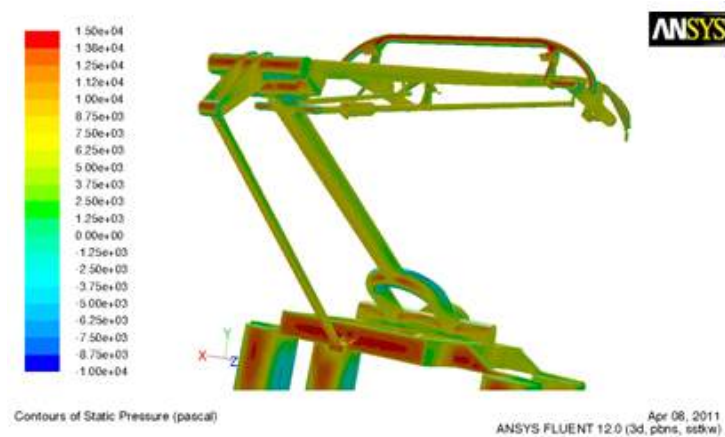


그림 31. 판토타그래프 유동해석결과

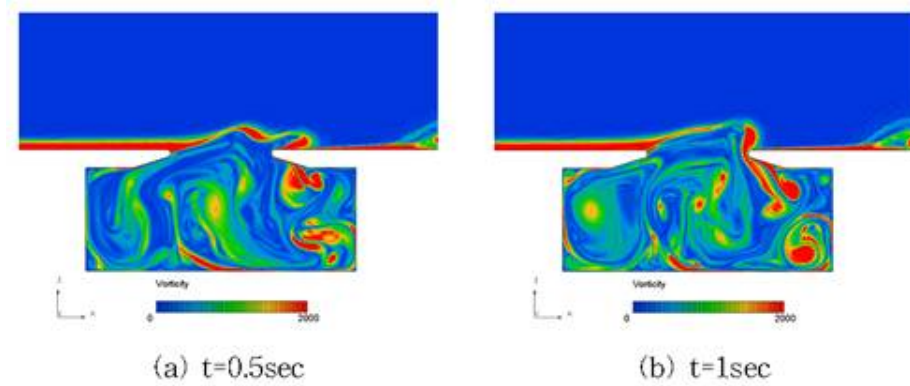


그림 32. 차간부위의 유동해석 결과

- 마이크로폰 어레이를 이용한 측정 기술은 고속철도 차량의 소음의 발생 위치를 도출하는데 유용한 방법이나, 어레이를 설치할 수 있는 장소가 한정되어 있고 짧은 시간 동안의 측정값만을 사용하기 때문에 소음의 특성을 도출하는 데는 한계를 가지고 있음.
- 풍동 시험을 통한 소음의 특성을 도출하는 기술은 축소된 모형에서 소음원의 위치와 소음 특성을 도출하는데 유용한 방법이나, 축소된 모형을 통한 풍동 시험 환경이 실제 주행의 상황을 정확하게 구현하지 못하는 한계가 있음.
- 주행 중인 차량에 마이크로폰을 부착하여 소음을 측정하는 방법은 주행의 조건 변화에 따른 소음 발생의 차이를 파악하는데 유용하나, 측정되는 위치가 한정되고 공기의 유동으로 인해서 정확한 소음 측정에는 어려움이 있음.
- 음향반사판을 이용한 측정은 특정 위치에서 방사되는 소음의 특성의 파악하기에는 유용하나, 저주파 영역에서 신뢰성을 갖기 어려운 단점을 가지고 있음.
- 전산유동해석은 유동의 흐름을 파악하는 데는 유용하나, 일반적인 소음원의 크기보다 큰 격차를 통한 해석으로 인해서 소음의 특성을 파악하는데 한계를 가지고 있음.

라. 철도 환경소음 예측기술

- 국내에서는 전동소음원 모델에 대한 해석적인 연구가 수행된 바 있으나, 차륜 또는 레일에 대한 음향 조도(Acoustic Roughness)를 측정하여 검토한 사례가 없음. 또한 국내 철도에서는 소음 저감 관점에서의 주기적인 레일 연마 관리를 시행하고 있지 않음. 반면 국외에서는 체계적인 레일 연마 관리법을 도입하고 있는 추세이며, 이를 통하여 소음 저감 효과를 얻고 있음.
- 철도방음벽에 대한 연구와 신기술 개발은 도로분야에 비하여 활발히 수행되지 않았으며, 한국철도기술연구소를 중심으로 속도향상에 따른 고속철도의 소음방사 특성으로 인한 현존 방음벽의 성능한계를 극복하고자 하는 향상대안으로써 소음저감 장치에 대한 연구들이 수행되고 있음. 이러한 방음벽 향상기술은 다양해지는 차량시스템과 유형에 부합하게 그

형태와 물리적 기능이 다양하게 발전하도록 기술이 개발되어야 하고, 철도변 밀집지역의 주거환경, 고속철도의 주기적인 고속운행 등을 고려하여 토지활용, 주거지 측면에서의 방음기술, 방음기술의 유지 보수 향상 등 실질적인 국내 여건의 요구사항에 부합하게 적용되도록 기술발전계획이 수립되어야 하며, 기술의 검증을 위한 시험인프라가 구축되어야 함.

- 국립환경과학원, 환경부 등을 중심으로 소음예측식 향상, 소음지도 활성화 연구 등 국내 소음예측에 관한 기술을 향상하고자 하는 연구 등이 진행되었으나, 철도분야의 경우 현재 운행 중인 철도차량과 선로의 특성이 반영된 향상 혹은 개발 연구는 수행되지 않았고, 현재 철도연을 중심으로 철도소음예측식의 정확도를 높이기 위한 예측식 개선, 고속철도 소음예측모델 개발 등의 기술이 개발됨. 국제 추세에 맞추어 예측식과 실측값과의 오차를 개선하기 위한 철도변 축소모형시험설비 등과 같은 국토개발 측면에서의 기술개발이 추가적으로 필요함.
- 국내 철도에서 인간청감 특성을 고려한 소음 설계를 수행한 사례가 미흡함. 음질평가나 음질평가를 이용한 설계(sound design)는 주로 자동차 개발에 적용 되어 브랜드 별 경쟁에서 고객확보의 주요한 요소가 되고 있음. 철도분야에서는 투자대비 소음저감 만족도와 효용을 향상하기 위하여, 환경부 고시 소음기준으로 만족하지 못하여 발생하는 민원 해소의 기술적 지원을 위하여 저감기술설계에 음질평가와 음질디자인 기술을 개발하기 위한 원천기술과 평가시설이 필요함.
- 국외에서는 고속열차, 화물열차 등으로 인한 전동소음 피해를 저감하기 위하여 레일의 음향조도 관리와 차륜 표면의 음향조도 관리를 체계적인 연구결과를 기간으로 하여 수행하고, 소음발생과의 전달함수 관계, 거칠기 조도 발전주기, 소음저감과의 정량적 역학관계 등에 대한 지속적인 연구를 수행함으로써 원천적 소음발생원 제거에 투자를 하고 있음.

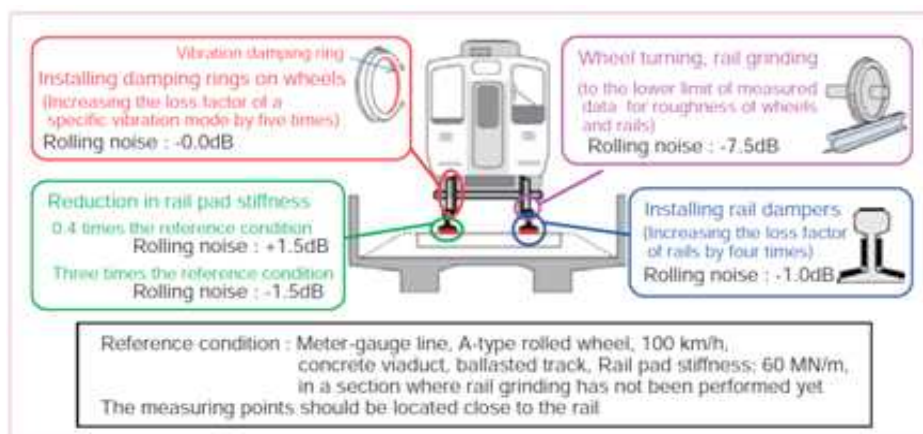


그림 33. 전동소음 저감효과

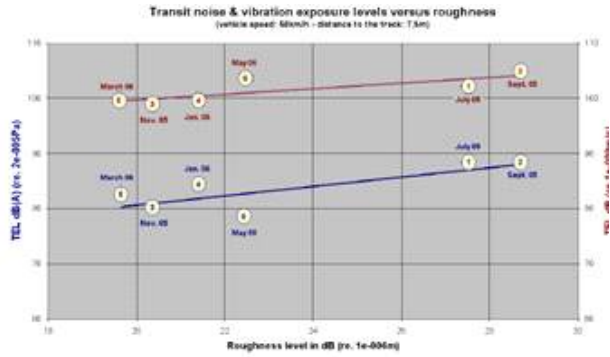


그림 34. 레일의 음향조도 측정 및 레일의 거칠기 측정과 관리로 인한 소음 및 진동 저감

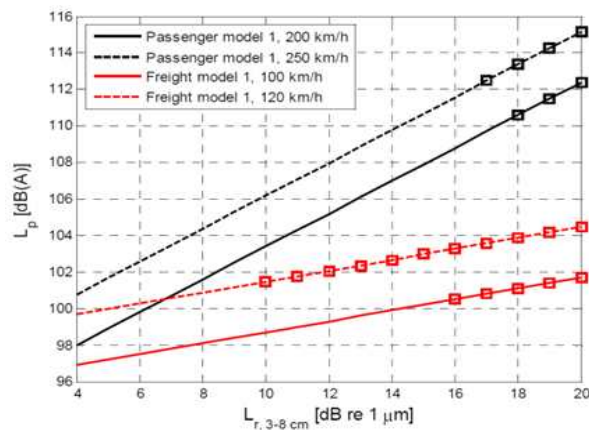


그림 35. 레일의 음향조도 파장과 소음방사의 관계 연구

- 프랑스, 일본, 독일의 고속철도 특성과 300km/h 이상 운행 시의 소음방사에 부합한 방음벽 성능 향상기술을 개발하고 있으며, 도심지 통과 철도가 증가함에 따라서 진동전달, 소음전달 등에 대한 경로 규명 및 다양한 도심지 소음저감 설계기술을 개발하여 도시계획과 접목하고 있음.

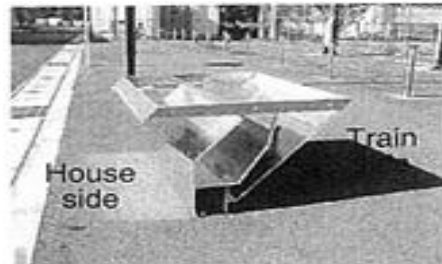
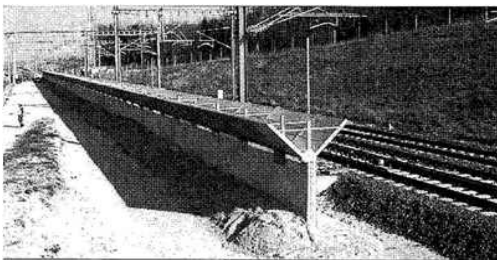


그림 36. 300km/h 이상 고속철도 전용 방음벽 소음저감장치(프랑스, 일본의 경우)

- 프랑스 일본 등은 철도소음의 보다 더 전문적인 예측을 위하여 예측식의 지속적인 개선과 더불어 소음원이 속도에 의존하여 급격하게 바뀌는 고속대의 차량의 소음원 우선순위와 정량적 기여도 평가를 위하여 소음원 기여도 예측 및 저감효과 시뮬레이션 Tool을 개발하

여 실용화 함.

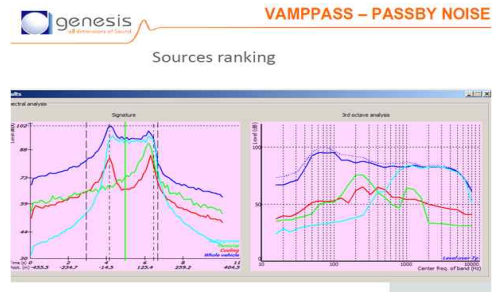
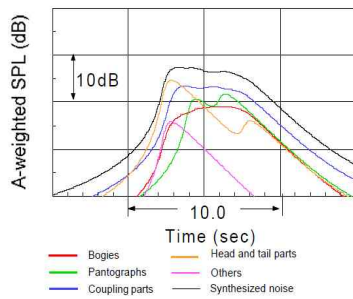


그림 37. 철도외부 방사 소음원 기여도 분석 프로그램 (프랑스, 일본의 예)

- 국외에서는 녹색교통 및 녹색도시 창출이라는 명목 하에 Directive 2002/49/EC에 의한 소음지도 작성과 실행계획의 현실화를 위하여 소리의 평균소음도가 아닌, 시간적/주파수 구성적 특성과 그 분포를 심리 음향적으로 제시해 주는 심리음향 지도, 교통소음 합성/재생 Tool, 인지 과학적 소음원 저감 기술 개발 등 대한 기술이 진행되고 있음.

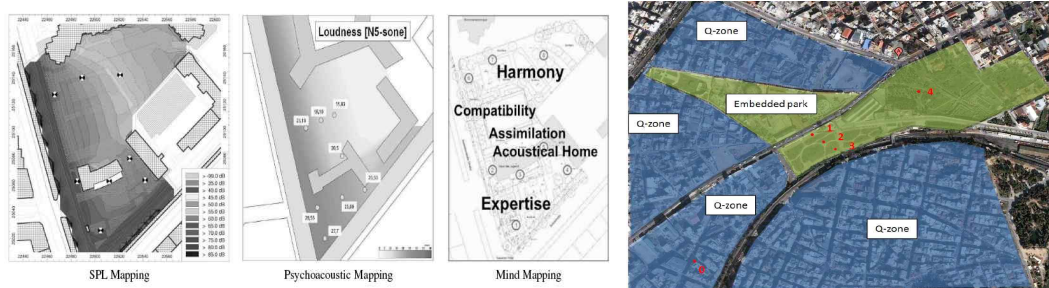


그림 38. 소음지도와 병합된 심리음향지도, 음질평가를 이용한 도시설계



그림 39. 차내 음장조성을 위한 Eco-Sound Studio (Bombardier)

마. 궤도 및 구조물 소음/진동 기술

- 철도 구조물 가운데 고가교와 철교에서 방사되는 소음/진동 저감에 대한 연구는 소음/진동에 대한 연구는 1980년대 중반 TCRP(Transit Cooperative Research Program)에서 도시철도 고가교에서 방사되는 소음을 저감시키기 위한 연구가 진행되었음. 유럽에서는 1990년

대 중반 TNO에서 철교에서 방사되는 예측 프로그램을 개발하여 저감 방안에 활용하고 있음. 또한 일본에서는 2000년대 초반 신간선의 고가교 소음을 저감시키기 위한 연구가 철도 총합기술연구소(Railway Technology Research Institute)에서 수행되었음. 그러나 국내에서는 고가교 혹은 철교의 소음을 저감시키기 위한 연구는 진행되어지지 않고, 단지 구조물에서 방사되는 소음레벨을 파악하는 수준에 머물고 있음.

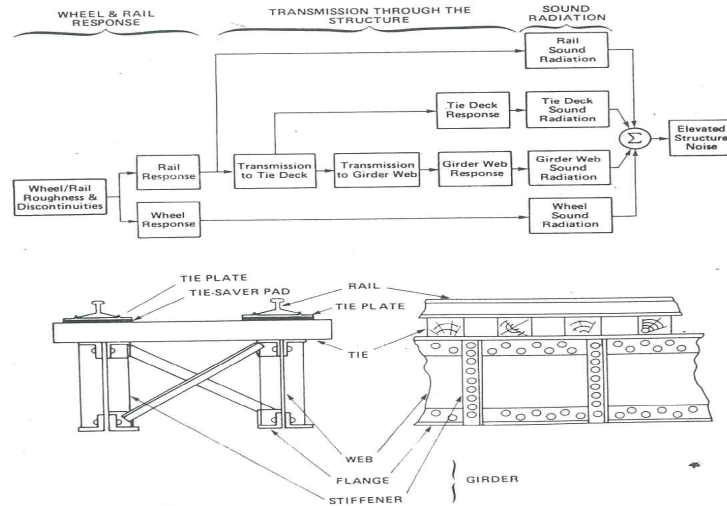


그림 40. 도시철도 고가교 소음/진동 해석방법

- 지하철 및 열차 운행에 따른 지반진동과 소음의 예측은 수치해석 기법의 발달과 함께 급속히 발전하여 왔으며 특히 최근 10여년에 걸쳐 지반-구조물 상호작용 이론을 기반으로 한층 업그레이드되고 있다. 최근의 연구동향은 주로 차량과 궤도의 상호작용 및 궤도의 모형화에 주안점을 두고 있으며, 지반진동해석의 경우에는 해석결과에 가장 큰 영향을 미치는 지반의 기하학적 특성과 지반전파속도를 정밀하게 고려하는 해석방법 등이 수행되고 있음.

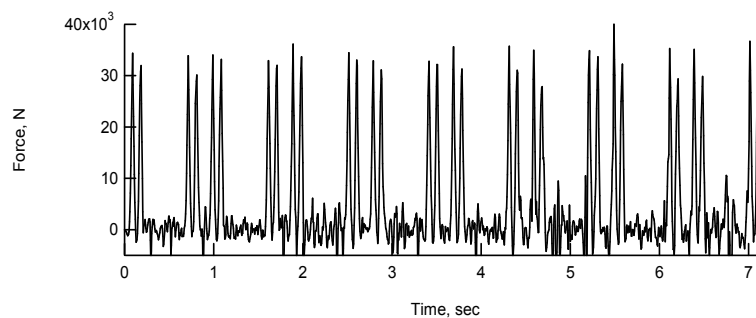


그림 41. 이동축중과 레일의 조도를 고려한 하중성분의 조합

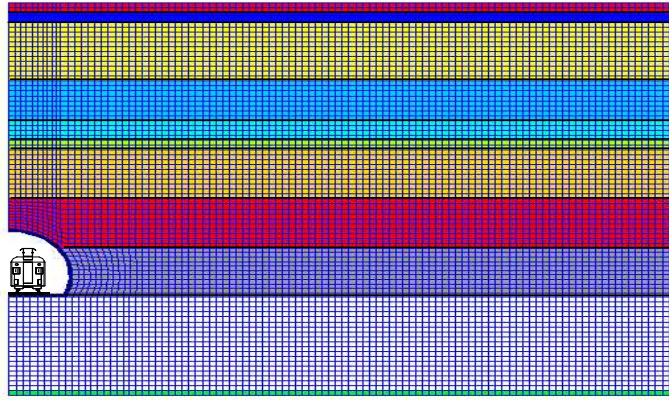


그림 42. 지반의 기하학적 특성과 지반의 전파속도를 고려한
지반진동해석 모델

- 궤도분야의 소음, 진동 저감기술 분야는 도심지, 공장 통과하는 지역의 고속철도, 도시철도 통과구간, 선하역사에 중심으로 기술개발이 이루어져 왔음. 주로 개발되는 제품의 고무패드, 코일스프링 방진재의 일부 생산기술을 확보하고 있고 자체적인 소음, 진동평가기술을 확보하고 있으나 고효율 방진시스템의 설계, 제작기술과 시스템의 방진, 방음 설계기술, 구성요소 및 시스템의 소음진동 평가기술은 국외 의존도가 높은 것으로 판단됨.
- 최근에는 유지보수비용이 적은 콘크리트궤도가 많이 적용되고 있지만 자갈궤도보다 소음이 3dB(A)이상 증가하는 것으로 알려져 있음. 이에 대한 대책으로 철도 운영 중 차륜-레일의 접촉부에서 발생하는 전동소음, 차량의 공력소음 및 집전계 소음 등의 소음은 철도 연변의 민원인에게 불쾌감을 줄 수 있음. 이런 경우에는 도상과 벽체에 흡음재질의 소음저감제품을 이용하여 차량 내부로 유입되는 소음을 효과적으로 감소시킬 수 있음. 국외의 경우 콘크리트 도상에 흡음률을 보완할 수 있는 도상흡음판(Noise Absorber)이나 터널 또는 기차역 내벽에 흡음재를 부착하는 벽체흡음벽을 개발하여 적용하고 있음.



그림 43. 도상 흡음판과 벽체 흡음재 예

- 열차 주행 시 발생하는 진동은 레일패드, 방진패드, 침목패드 및 방진슬래브 또는 매트 등의 자재나 공법을 이용하여 차륜-레일의 접촉에 의해 발생하는 진동을 차단하거나 흡수하

여 진동의 영향을 최소화 할 수 있음. 현재 국내외에서 철도 주변의 진동과 소음의 영향을 최소화시키기 위해 여러 공법을 적용하여 사용하고 있음.

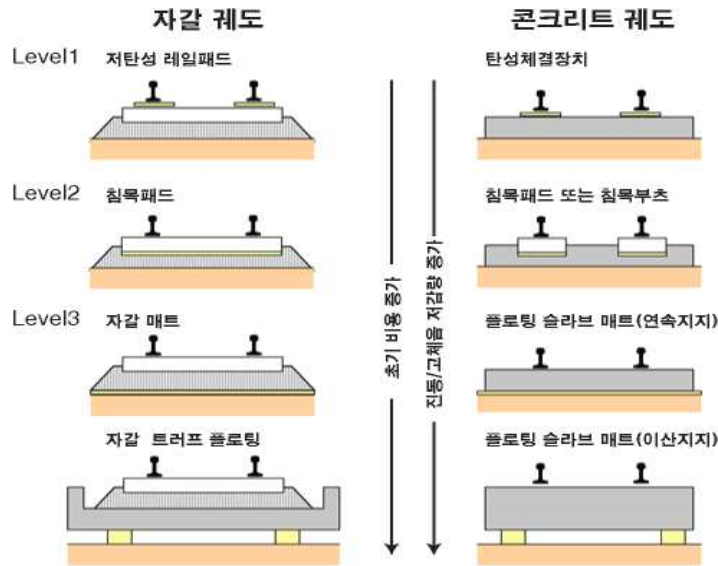


그림 44. 궤도구조별 방진공법 개요

(1) 플로팅 시스템

- 자갈도상 trough와 콘크리트 슬래브 하부에 탄성패드, 고무마운트, 코일스프링을 설치하여 궤도하부를 분리시키는 공법이 대표적이며 다른 궤도 방진공법과 비교하여 가장 높은 방진효과를 기대 할 수 있음.

(2) 방진침목 시스템

- 방진침목 시스템은 침목하부에 탄성패드를 적용한 방진침목 공법임. 일반적으로 침목하부에 패드를 접착하거나 침목제작 시 와이어메쉬 등을 이용하여 직접 패드와 침목을 결합시키는 방법이 있으며, 또는 침목을 부츠 등을 감싸거나 부츠와 침목 사이에 저탄성의 패드를 설치하여 열차 주행에 의한 진동을 절연시키도록 되어 있음. 이 공법들은 자갈궤도 또는 콘크리트 궤도에 적용할 수 있는 공법이며, 도시철도 및 일반철도용으로 적용되고 있음.

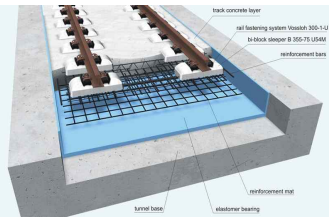
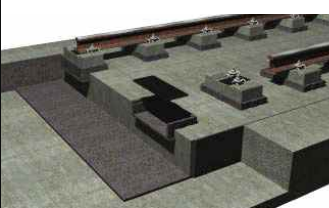
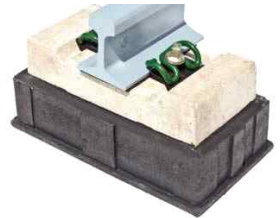
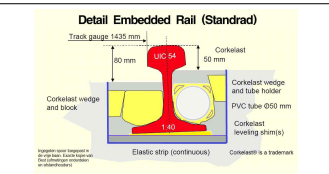
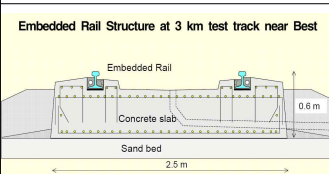
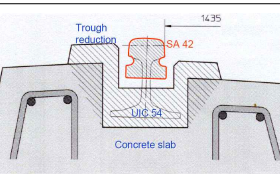
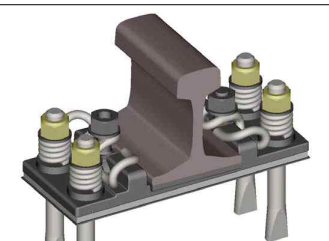
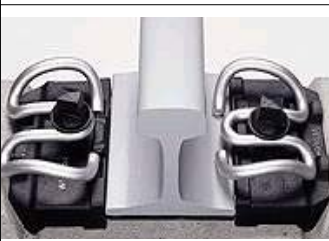
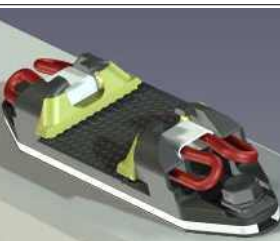
(3) 매입형 레일 시스템

- ERS(Embedded Rail System) 공법은 특수 합성 진동소음 방진재를 이용하여 레일의 측면을 연속 지지시켜 진동을 흡수하는 구조임. 레일의 두부를 제외한 레일 웹과 저부를 모두 감싸는 구조로서 차량-레일 접촉에 의한 진동을 방진재가 흡수하는 공법임. 그러나 이 공법의 경우 고속철도 등의 하중이 큰 차량에 대해서는 적용이 쉽지 않고 트램, 경전철, 중량철도 등에 이용이 가능하며, 일반구간, 건널목, 역사, 차량기지 및 강판형교 철도교량 등에 적용이 가능함. 기존의 유도상궤도와 비교하여 적어도 5~7dB 정도의 소음 및 진동 저감이 가능한 것으로 알려져 있음.

(4) 방진체결 시스템

- 방진체결 시스템은 그 형식 및 체결장치별로 레일패드 또는 방진패드 등에 의해서 도상으로 전달되는 하중을 저감시켜 진동의 발생을 줄일 수 있는 장치임. 방진체결 시스템의 방진효과는 레일패드 또는 방진패드의 동특성(동적강성, 감쇠특성)과 체결구의 설치간격 등 여러 요인에 의해 달라질 수 있음. 국내/외로 적용되고 있는 고속철도 방진체결은 대표적으로 Max Bögl, Rheda 2000과 KCT-II가 있음.

표 10 저진동 궤도 시스템

플로팅 시스템			
방진침목 시스템			
매립형 레일 시스템			
방진체결 시스템			

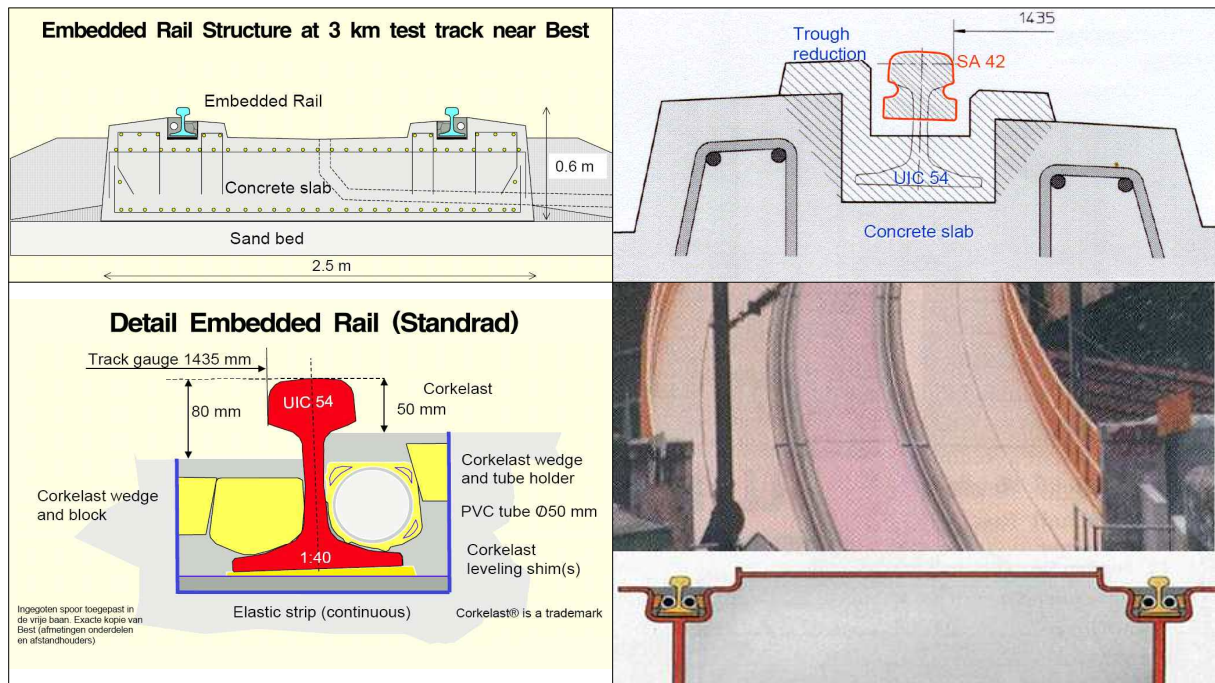


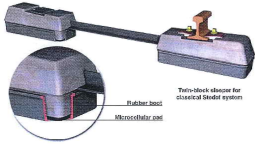
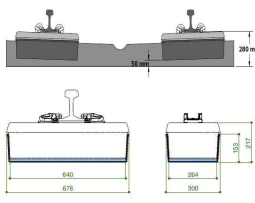
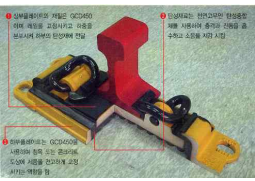
그림 45. Embedded Rail System의 다양한 형태

○ 이러한 저진동 궤도 시스템이 국내에서 주로 적용된 주요 사례를 보면 다음과 같음.

표 11 국내 방진/방음궤도 적용

구 분		국내주요적용사례
방진궤도시스템 및 대책	방진형 슬래브궤도	서울메트로, 고속철도 천안역사, 고속철도 광명역사
	플로팅 궤도시스템	부천역사 궤도, 고속철도 천안역사, 부산지하철 2호선, 지하철 3호선
방음궤도시스템 및 대책	급곡선부 도유시스템	서울메트로, 도시철도, 부산지하철, 김해경전철

표 12 국내 방진궤도 종류 및 특징

종류	종류	시스템개념도	부설현장	특징
방진침목 궤도(In-situ concret with elastically supported(bo- oted)sleeper	Stedef twin		·서울시 2기 지하철 (5~8호선 전구 간) ·대구/부산/지하철	- 침목매립식(방진침목식) 현장타설형 - 프랑스 STEDEF - Twin Block 침목,방진패드 상자 - 침목하부의 microcellular pad에 탄성 - 자갈궤도 대비 30~125Hz대역 12~18dB(A) 진동저감
	LVT		·서울지하철 9호선, 인천1호선,분당선, 대구 2호선,부산 3 호선,신공항1단계 ·전라선,중앙선,경춘 선,경전선	- 침목매립식(방진침목식) 현장타설형 - 미국 Sonnevile - Mono Block 침목,방진패드 상자 - RS-Stedef궤도 단침목연결Tie-Bar 제거 외에는 STEDEF와 유사 - LVT HA(High Attenuation)인 경우는 50Hz대역 5~10dB(A) 진동저감
직접체결식 콘크리트궤도	ALT		·서울 1,2기 지하철 ·경의선,안산선	- 독일 clouth 및 호주 DELKOR기술 이전 국내 자체생산(1980년대 개발) - 상하부 플레이트 사이에 방진재삽입 및 레일직하부에 탄성제공과 구조물 전달소음, 2차공기전달 소음을 감소 - 자갈도상 대비 6~8dB의 감소효과

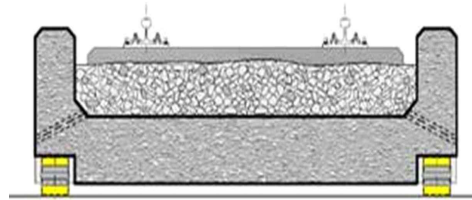


그림 46. 부천역사에 설치된 플로팅 슬래브궤도

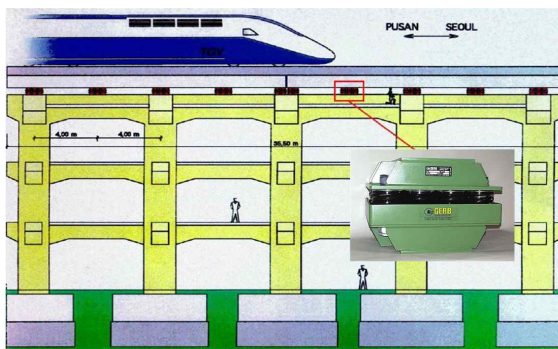
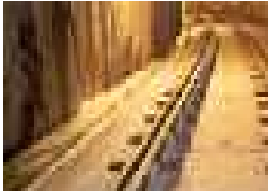


그림 47. 고속철도 천안역사에 설치된 플로팅 슬래브궤도

○ 국외경우 방진체결장치, 플로팅궤도, 매립형궤도와 같은 저진동 궤도구조시스템이 개발되어 적용되고 있음. 다음 표 14에 정리하여 나타냄.

표 13 국외 방진궤도현황

종류	국 가	부설전경	특 징
홍콩 West Rail Precast FST	홍콩 (KCRC) 컨설팅 영국 AEA Tech.		◆ 궤도 전구간의 44% 부설실적 ◆ 프리캐스트 콘크리트 슬래브 ◆ 탄성패드 사용 (이산지지시스템, 호주 Trelleborg Queensland Rubber Co.) ◆ 구조물 발생 소음 10db(A) 감소
Railtech Precast FST	프랑스 (Railtech)		◆ 스페인, 이탈리아 등지 부설실적 ◆ 프리캐스트 콘크리트 슬래브 ◆ 방진고무 탄성패드 사용 (이산지지시스템) ◆ 평균 24dB의 진동 저감 ◆ Independent Blocks, Stopper 사용
Gerb	독일 (Gerb)		◆ 저진동수 진동 및 소음 제어 탁월 ◆ 스프링 이용 post-alignment가 용이 ◆ 연속 타설식, track bed이용
Floating Ladder (방진장치식)	일본 (RTRI)		◆ 약 20dB의 진동저감효과 ◆ 방진 장치가 Stopper 역할 ◆ 1.5m간격으로 Ladder 침목 지지
수지고정형 매립형 궤도	네덜란드		◆ 슬래브 홈에 액상수지로 레일체결고정 ◆ 다방향연속탄성지지구조 진동, 소음저감 20dB(A) 저감 ◆ 시간당 경화율과 낮은 온도신축율
Q-track 지그궤도 (TRACK JIG)	벨기에 (CDM)		◆ Q track 시스템으로서 Top-down 방식시공, 지그를 통해 신속한 설치가능 ◆ 탄성재 부착형으로 시공시 기후영향 최소화 ◆ 탄성재 강성변화 가능하며 진동저감 성능 조절
Q-track 빔 궤도 (TRACK BEAM)	벨기에 (CDM)		◆ 고품질의 RC빔을 사전제작하여 현장시공 ◆ 레일지지 스프링계수 조절하며 N&V성능 확보 및 유지보수 이점 ◆ 레일지지부는 기존의 도로표층과 구분됨
코컨트랙 (COCONTRAC K)	벨기에 (CDM)		◆ H형 프레임 침목에 탄성재 부착 ◆ 궤도의 매우 낮은 반사소음수준(6dB이상 감소)과 구조물 진동수준의 상당한 감소 (15dB이상 삽입 손실) ◆ 침목 간격확대(0.6m⇒1.2m)

제4절 특허동향분석

1. 분석개요

○ 분석 배경 및 목적

- 본 특허동향 분석의 목적은 철도 진동소음 저감기술과 관련된 대분류와 세부 기술의 특허동향을 분석하여, 주요 국가의 특허출원 동향 및 경쟁력 현황 등을 파악하고 각 분야별 핵심 특허 및 출원자 분석을 통해 철도 소음/진동 저감과 관련된 원천기술 개발 기획연구에 객관적인 타당성을 제공하기 위함.

○ 분석기준

- 양적인 통계를 의미하는 정량분석과 각 특허들이 보유한 기술적인 내용을 의미하는 정성 분석으로 구분하여 분석기법을 확정기로 함.

표 14 분석기준 설정

구분		분석방법
정량적 분석	- 세부기술 분야별 기술개발 현황과 주요 기술혁신 리더의 기술개발 활동을 분석함	국가별/기술별 특허동향분석
		주요 출원인별 특허동향분석
		주요 출원인별 역점분야 및 공백기술 분석
정성적 분석	- 기술분야별 핵심 특허 및 주요 출원인의 특허를 심층 분석하여 기술개발 이슈 및 기술개발 방향성의 분석을 수행함.	주요 핵심 특허 분석
		핵심 출원인 분석

○ 분석범위

- 활용 DB : WIPS 데이터베이스.
- 검색 범위 : Title(제목)/Abstract(요약)/Claim(청구항)을 대상으로 검색하되, 검색범위를 광범위하게 설정.
- 분석 구간 : 1990.01.01~2011.12.30 데이터.
- 검색식 작성 방법 : 대상기술의 범위를 넓혀 핵심 키워드 도출 및 조합을 통해 세부 기술 분야별 특허 검색식을 작성.

표 15 한글/영문 검색식

구분	한글 검색식	영문 검색식
철도/소음	(철도 or 열차 or railroad or train) and (진동 or vibra*) and (소음 or noise)	(railroad or train) and (vibra*) and (noise)

○ 분석대상 특허 선정

- 1차 대상 건 추출 시 447건이 추출되었으며, 전수검사를 통해 대상기술과의 연관성이 낮은 특허를 유무를 확인하고 아래 표와 같이 분석대상 특허 추출함.

표 16 국가별 분석대상 특허건수

국가	분석기간	분석대상 특허(건)
한국	1990. 1. 1 ~ 2011. 12	135
미국	1990. 1. 1 ~ 2011. 12	85
유럽	1990. 1. 1 ~ 2011. 12	7
일본	1990. 1. 1 ~ 2011. 12	170
중국	1990. 1. 1 ~ 2011. 12	50
계		447

2. 국가별/기술별 특허동향분석

○ 국가별 특허건수 추이 분석

- 국가별로 일본의 경우, 2000년대 초반부터 특허 출원이 증가하였으며, 한국도 2000년대 초반부터 출원 건수가 증가하였으나, 일본이 한국과 비교하여 대상 기술의 트렌드가 좀 더 빠르며 출원건수도 높음.
- 국가별 특허 점유율을 살펴보면, 일본의 특허 점유율이 가장 많았으며, 미국, 한국, 중국, 유럽의 순서로 점유율이 높게 나타나 대상기술에 대한 수요 및 시장형성이 비교적 일본, 미국 등 특정국가에 편중되어 있는 것으로 분석됨.

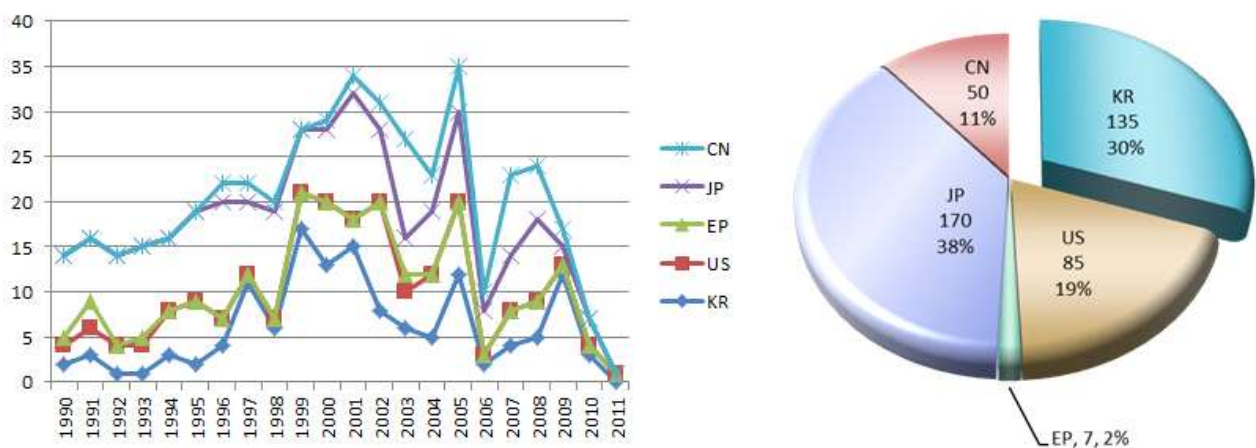


그림 48. 국가별 특허 점유율 및 특허건수 추이

- 특허출원 경향은 세부 기술별 특허동향 조사결과, 국내 특허는 궤도(침목등) 관련 기술이 다수를 차지하는 반면 미국, 일본 등은 철도차량 특허가 다수 등록된 것으로 확인됨.

3. 논문 동향 분석

가. 분석 개요

○ 분석 배경 및 목적

- 본 논문동향 분석의 목적은 철도 소음/진동 저감 기술과 관련하여 세부기술에 대한 논문동향을 분석하여, 주요국가의 연구개발 동향 및 경쟁력 현황 등을 파악하고 각 분야별 핵심 논문 및 연구자 분석을 통해 공백기술 도출 및 원천기술개발 수립 및 IP 전략 확보의 근거자료를 제시하고자 함.

○ 분석 기준

- 정량적 분석으로는 연도별 논문발표 추이 분석, 국가별 연구동향 분석, 공동연구 동향 분석, 주요 연구기관 분석을, 정성적 분석으로는 핵심논문 분석과 핵심 연구자 분석을 통해서 분석대상기술 관련한 논문동향에 대한 분석을 실시할 수 있도록 함.

표 17 논문분석기법

구분	분석 방법
정량적 분석	연도별 논문발표추이 분석
	국가별 연구동향 분석
	공동연구 동향분석
	주요 연구기관 분석
정성적 분석	핵심 논문 분석
	핵심 연구자 분석

○ 분석 범위

- 논문 DB : Scopus 데이터베이스.
- 검색범위 : Title/ Abstract/ Keyword를 대상으로 검색.
- 분석 기간 : '1990년~'2011년 현재 데이터.
- 검색식 작성 : railroad*noise*vibration.

○ 분석대상 논문 선정

- 1차 대상 건 추출 시 506건이 추출되었으나, 분석대상기술과의 기술연관성이 낮은 논문을 배제하여 분석대상논문을 추출하였으며, 본 연구과제의 개발목표와 용도에 부합하는 철도 소음/진동에 대한 핵심 논문을 다시 한정하여 정성적으로 분석을 수행하였음.

○ 연구논문 발표 동향

- 세부 기술별 논문동향을 분류한 결과, 차량 및 환경 소음/진동에 대한 연구 논문이 다수를 차지하며, 최근 차륜/레일 및 궤도기술, 공력 소음에 대한 기술에 관심이 증대되고 있는 것으로 조사됨.

나. 연도별 논문 발표 추이 분석

- 다음 표에서 보는 바와 같이 철도 소음진동 저감 관련기술은 최근 활발하게 연구되고 있으며, 2000년대 초반부터 꾸준히 논문 발표가 이뤄지고 있으므로 연구가 활발해지는 추세를 보이는 것으로 나타남.

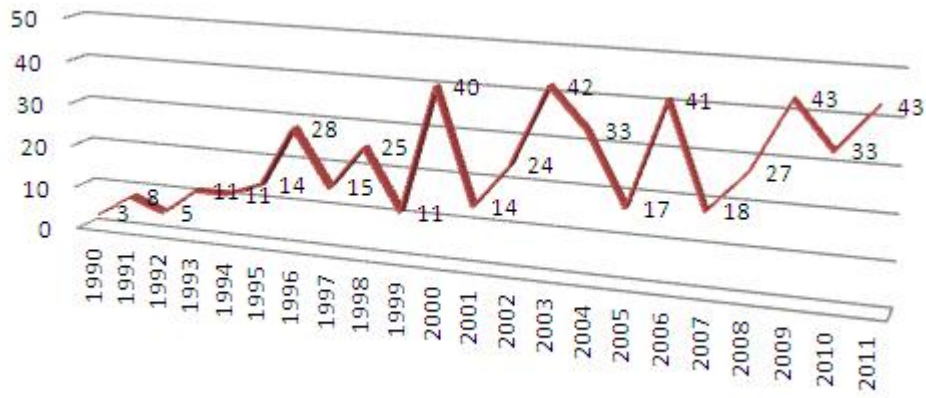


그림 49. 연도별 관련 논문 발표 현황

다. 국가별 연구동향 분석

- 국가별 연구논문 발표 현황
 - 1990~2012년까지 철도 소음/진동 저감과 관련하여 국가별 논문발표 건수에 대한 분석결과 상위 5개 국가에서 발표한 논문건수가 267건으로 전체 발표논문의 52.7% 비율을 차지하고 있음. 아래에 제시된 상위 10개국에서 활발히 연구가 진행되고 있는 것으로 파악됨.

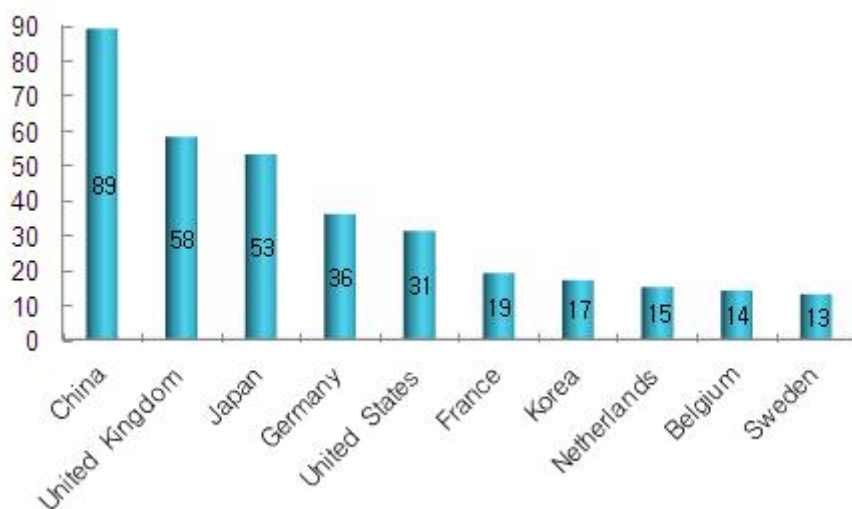


그림 50. 국가별 논문발표 동향

○ 국가별-구간별 논문발표 증감분석

- 연도별-국가별 통계 분석 결과를 살펴본 결과, 중국은 2005년부터 소음/진동 저감 연구에 관심을 가진 것으로 파악되며, 현재까지 압도적인 연구 결과를 발표하고 있음. 한국의 경우 연구중심 국가인 중국, 영국, 일본의 평균 66건 대비 17건에 그쳐 미진한 연구단계임인 것으로 판단됨.

표 18 국가별-연도별 논문발표 추이

국적	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	합계
중국																14	8	7	11	15	16	18	89
영국		1		3	2	4	4	1	4		7	1	5	5	5	2	7	2		1	1	3	58
일본		3	1	5	4	3		4	4	2		1	2	3	3	3	2	1	3	3	2	4	53
독일			1			1	5		5	2	1		4	3	1	2		7		3		1	36
미국		1			1	2	4		1	2	1	2	4	4	3				2	1	1	2	31
프랑스							3	1		1	4			3			2		1	1	1	2	19
한국								1			1					1	1	1	1	5	3	3	17
네덜란드									2		7	1		2	1		2						15
벨기에				1		1			1					3	1	1				3		2	13
스웨덴							2	1	3	1	2	1		1						1			12
합계	0	5	2	9	7	11	18	8	20	8	23	6	15	24	14	23	22	18	18	33	24	35	343

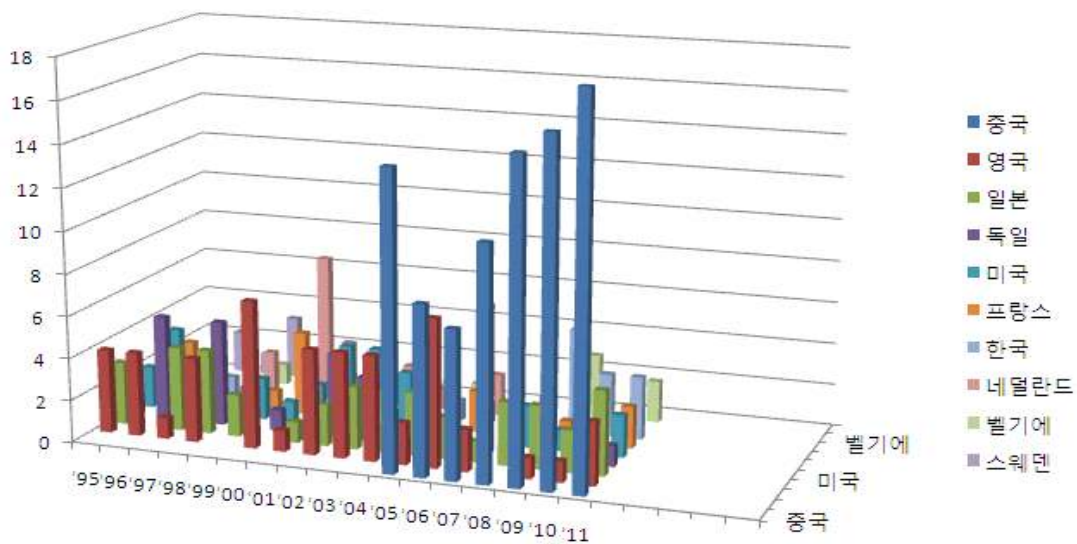


그림 51. 국가별-연도 대비 논문발표 추이

- 또한, 한국의 경우 다음 표에서 보는 바와 같이 대부분의 주요 국가에서 2007~2011년도에 논문발표가 크게 증가한 것으로 나타나고 있음. 영국의 경우에는 1990년도 초반부터 활발한 논문 발표를 한 것으로 하였으나, 최근 감소세에 있으며, 이후 중국이 선두자리를 지키고 있음.

표 19 국가별-구간별 논문발표 추이

국적	1990 ~ 2001	2002 ~ 2006	2007 ~ 2011	전체
중국		22	67	89
영국	27	24	7	58
일본	27	13	13	53
독일	15	10	11	36
미국	14	11	6	31
프랑스	9	5	5	19
한국	2	2	13	17
네덜란드	10	5		15
벨기에	3	5	5	13
스웨덴	10	1	1	12
합계	117	98	127	343

○ 국외 연구동향 조사 및 분석

표 20 국외 논문 조사결과

	9th IWRN	10th IWRN	WCRR	STECH	Applied Acoustics & JSV	합계
환경소음	16	28	1	1	34	80
차량 소음/진동	3		14	5	24	46
차륜레일 인터페이스 소음/진동	14	15	7	1	37	74
공력소음	4		3	1	4	12
궤도 소음/진동	20	9	2	1	19	51
지반진동	3	7	2		6	18
철도 인프라 소음진동		7	3	2	5	17

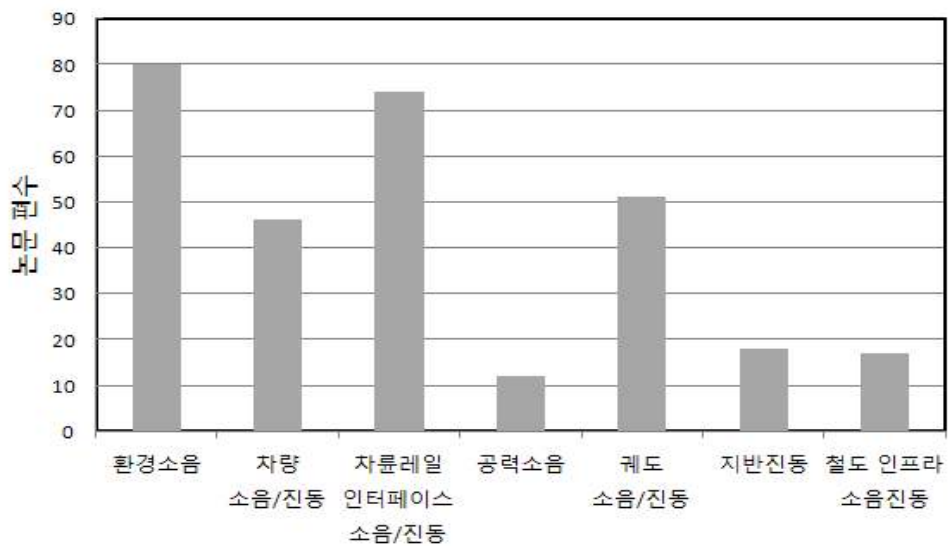


그림 52. 분야별 논문 편수

4. 철도차량 소음저감에 대한 유럽의 동향

- UIC는 친환경적인 철도 시스템을 추구하고 있으며 이를 구현하기 위해서 워크숍을 개최하고 있음.
- UIC 워크숍은 2일에 걸쳐 개최하고 있으며, 프로젝트의 소개, 현재 각 개개의 철도시스템 및 각 국가에서의 소음감소에 대한 내용을 발표하고 있다. UIC 프로젝트의 소개에서는 아래와 같은 주제가 토론되었음.
 - 미래의 연구 방향
 - 레일댐퍼, 낮은 높이의 방음벽, 유럽철도의 레일 그라인딩
 - LL 브레이크 블록의 진보
 - 감내할만한 소음한계
 - 소음 불쾌감 보정치
 - 소음감소에 대한 비용
- 각 개개의 철도시스템 및 각 국가의 소음 감소 대책 분야에서는 아래와 같은 주제가 논의되었다.
- 각 국가의 철도 소음의 논쟁에 대하여 벨기에, 덴마크, 노르웨이, 독일, 네덜란드, 스위스, 체코, 이탈리아, 영국에 대해 소개하였으며, 철도소음 관리 방법(계획 및 관리)에 대하여 스페인이 발표하고, 철도소음의 감소 방향(현재와 미래)에 대해 프랑스, 소음원의 소음감소를 위한 행위에 대하여 오스트리아의 발표가 있었다.
- 소음이 없는 화물 철도의 구현을 위한 축제로는 다음과 같은 이슈가 발표되었음.
 - EU의 정책 및 현재의 발전
 - 철도시스템의 현지표
 - 소음이 구별되는 궤도
 - 소음의 논쟁 - 로테르담 ~ 제네바 라인
 - TSI Revision
 - ERRAC 소음 로드맵 및 연구 (2030년을 향한)
- 일반적인 연구를 Research 와 Development로 구분한다면 본 기획과제는 철도 소음/진동 분야의 Research를 중점적으로 수행하는 과제로서 향후 새로운 철도차량 개발시 철도 소음/진동 분야에서 요구되는 연구인적 자원 및 관련 기법을 원활히 제공하기 위한 과제임.

가. 유럽에서의 적용되는 소음

- 유럽에서 적용되는 소음의 TSI의 기본원칙은 철도차량의 특성에 대한 최대소음에서 출발하며, TSI 소음은 새로운 차량에 적용되며, 차량에 대한 삭제 및 Upgrade를 제외한 기존 철도시스템의 개량을 규정하지 않음.
- TSI 소음레벨이 신뢰할 만 하다면 이를 적용하는 구성 국가는 차량에서의 더 많은 소음 저감을 요구하지 않을 것이다. 국부적으로 더 많은 소음 저감이 필요할 경우에는 다른 수단을 들면 하부구조물이나 방음벽의 개선을 통해서 달성되어야 한다. 이러한 TSI의 변경은 TSI의 Revision에 의해 지속적으로 변화 될 것이며, 3개의 부분에서 Revision이 이루어졌다. 첫째는 ① Directive 2001/16/EC~Directive 2008/57/EC의 Reference의 Update, ② EN/ISO 3095의 Revision과의 조정, ③ 새로운 모듈의 언급으로 나누어짐.
 - ① Directive 2001/16/EC~Directive 2008/57/EC의 Reference의 Update 부분은 Pass-by 소음시험에서 Non-reference 궤도에서의 시험의 허용과 향후 미래의 전체적인 수정을 위해 비교될만한 데이터 기록 및 수집임.
 - ② EN/ISO 3095의 Revision과의 조정 부분은 적용을 OTM으로 설명하는 것으로 교통모드의 범위, 중량 기관차의 경우 요구 조건 등에 관한 것임.
 - ③ 새로운 모듈의 언급 부분은 하나의 철도차량에 대해 서로 다른 RST에 대해 단순한 평가방법(Simplified Evaluation)를 허용한 것임.
 - Pass-by 시험의 기본원리는 다음 그림과 같이 수행됨.

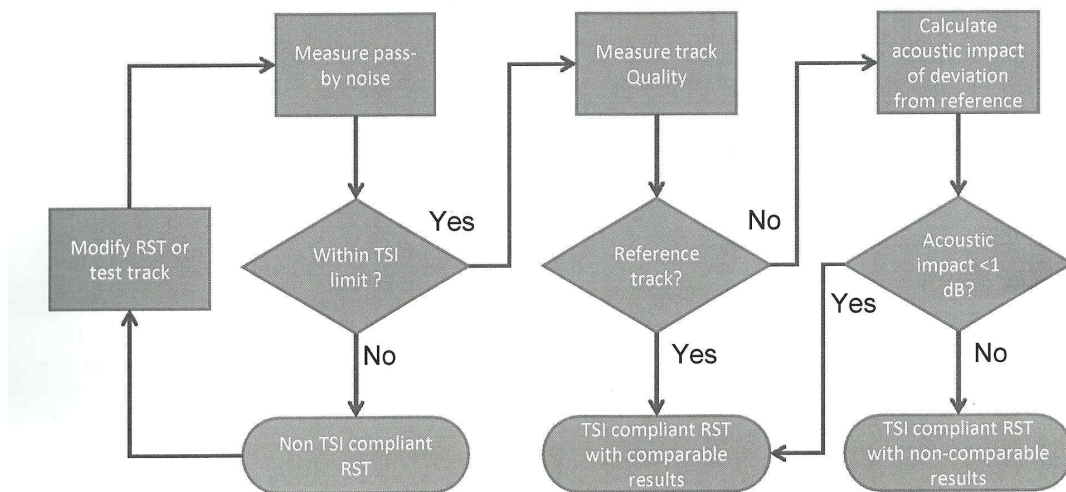


그림 53. Pass-by 시험의 기본원리

- 동일 타입에 대한 단순한 평가(Simplified evaluation)는 변화에 따라 더 높은 소음의 방사가 되지 않는다는 것을 보여주는 증빙을 제공하며, 이러한 단순화된 평가는 계산에 의하거나, 단순한 소음원의 측정(둘 다 측정도 가능)에 의하여 이루어진다. 레퍼런스 타입과 다른 소음과 관련된 시스템은 기술적으로는 동일시 되어야함.

나. 유럽의 철도 소음 프로젝트 및 미래방향

- UIC EES Core Group와 CER 환경전략 Group는 각 회원국 간의 더 접근된 공동 연구에 대해 기본적인 합의를 이루었으며, 전반적인 유럽에서의 소음과 관련된 환경활동에서의 Framework 상태에 대한 전반적인 검토하기도 합의하였으며, 두 기구의 더욱더 공조를 공공히 하기로 하였음. 매년 회의의 주요한 부분은 2030년까지의 장기적인 전략에 대한 검토임. 이러한 합동 회의는 유럽철도가 수행하는 프로젝트가 전략적으로 장기적인 목표에 도달하기 위해서는 물론 현재의 우선시되는 영역에서 필요한 활동을 고려함.
- 환경에서의 에너지, 소음, 배출가스, Sustainable Mobility, 토지 사용 등을 중요도를 표로 나타내면 다음과 같음.

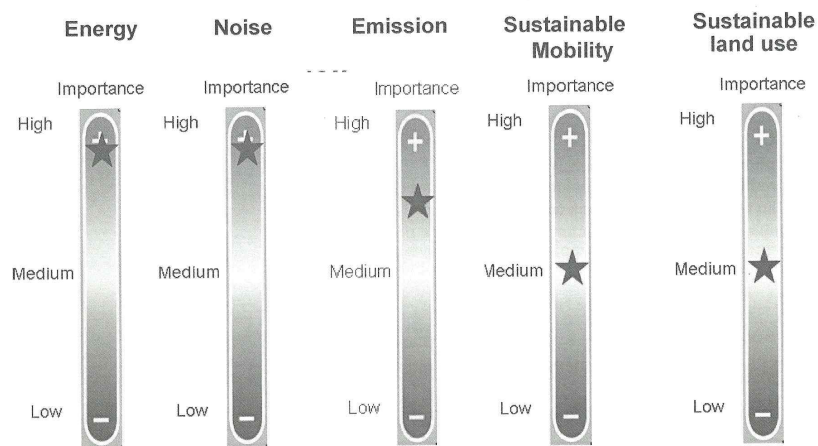


그림 54. 환경에서의 에너지, 소음, 배출가스, Sustainable Mobility, 토지사용 등의 중요도

- 분야별 추천된 소음 및 진동에 대한 활동 항목입니다. 이중 R&D와 관련된 부분이 주요한 이슈가 될 듯함.

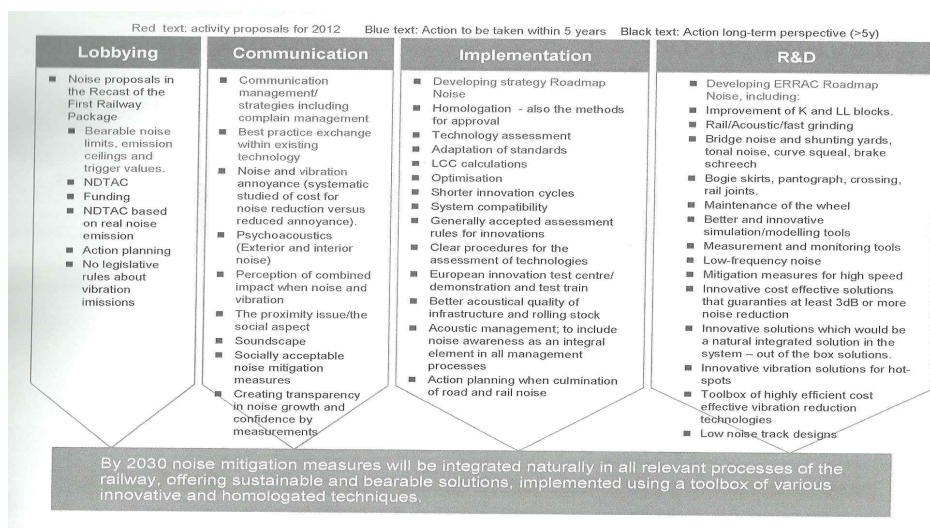


그림 55. 기술적 방법을 활용한 소음감소 측정

- 2030년까지 여러 가지 혁신적이고 공인된 기술적 방법을 활용해서 소음감소 측정은 철도의 모든 관련된 프로세서로 집약 될 것이다.

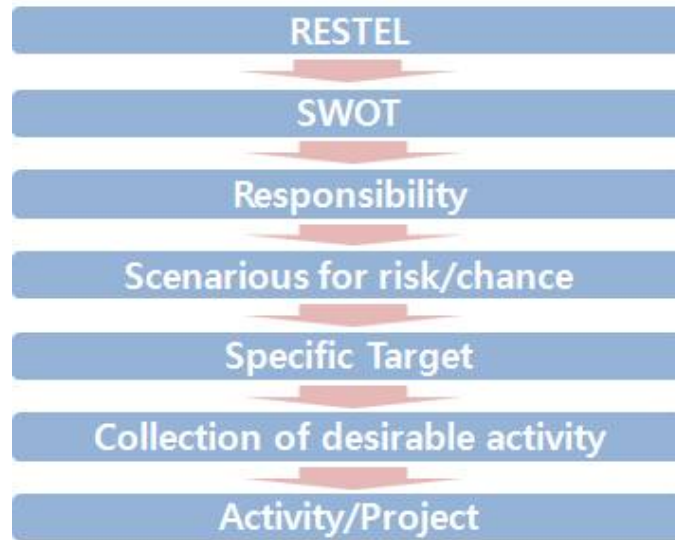


그림 56. 전략적 소음감소 프로세서

- 전략적인 소음 감소 방법은 다음과 같은 프로세서에 의해 진행된다.
 - PESTEL (정치적 이슈, 환경적 이슈, 사회적 이슈, 기술적 이슈, 경제적 이슈, 법적 이슈)
 - SWOT (Strength ⇒ Weakness ⇒ Opportunity ⇒ Threat)
- 강점, 약점, 기회로는 더 큰 시장 확대나 환경에서의 이득을 더 크게 만드는 외적기회가 있고, 비즈니스에 대한 문제를 야기시키는 환경에서의 외적인 요소가 있다.

다. 유럽의 차량소음과 소음맵

- 첫 번째는 100 km 철도연장에 대한 환경적인 소음 평가이고, 둘째로는 350 km 철도연장을 다루는 것임.
- 낮은 철도 소음 방음벽은 어떻게 설치되어야 하는가 ?
 - 소음원에 근접하여 설치
 - 흡음성능
 - 차단 능력
 - 서비스 및 유지보수로 크게 나누어 짐
- 핀란드에서의 낮은 철도 소음 방음벽의 예를 보면 아래와 같으며, 2011년에 건설되고 시험이 완료 되었으며 최대 1 0dB(A)까지의 효과를 보았음.

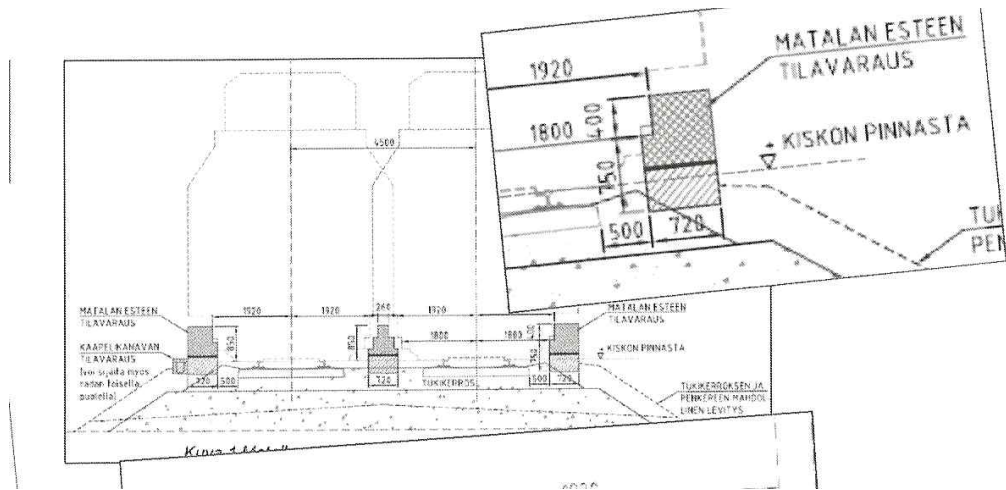


그림 57. 방음벽 설계도(출처 : www.liikennevirasto.fi)

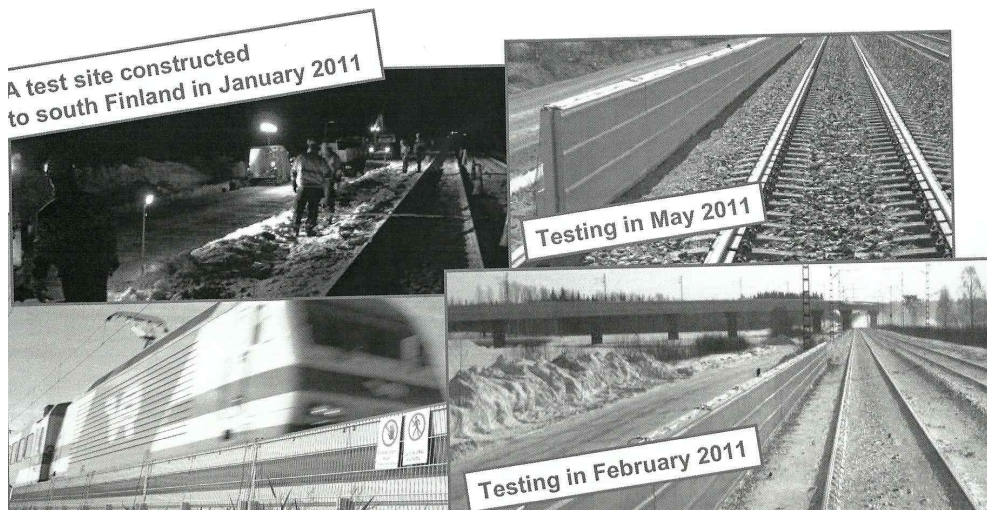


그림 58. 방음벽 실제 설치

- 본 연구는 회사(www.soundim.fi)와 공동으로 연구되고 설치되었으며 다음 그림과 같은 형상이며, 특성은 다음과 같으며 Insulation은 B3(26 DLR), 흡음은 A4(14 DLa)로서 ISO 354-2003, EN17993-1/3 1998에 근거해서 VTT에 의해 시험되었음.



그림 59. 형상에 따른 방음벽

라. 유럽에서의 소음정책

- 소음은 유럽의 철도에서의 환경적인 중요한 아킬레스임. EU 시민의 10 %는 “심각한 불쾌감”의 위협에 철도소음으로 노출되어 있음. 연간 이를 위해 2.4조 유로가 들고 있음.
- 유럽의 철도 소음 정책의 목표는 철도교통의 경쟁력의 저감없이 소음을 줄이는 것임.
- 레일 소음을 줄이기 위한 법적인 규약으로는 다음에서 명시되어 있으며 첫 번째로 소음원에서의 측정으로 고속전철의 경우 기술적 사양이 2002년에 제정되었으며, 기존선에 대해서는 2005년에 제정되고 2011년에 개정됨. 환경소음의 내역 및 관리는 Directive 2002/49/EC(Enviromental Noise Directive)에 나타나 있음. 이러한 일환으로 소음이 적은 시스템에 대해 추가적인 혜택을 주고자하는 논의가 있었음. 예를 들면 조용한 화차를 운영하는 운영자에게는 궤도 사용료를 더 적게 들도록 하고, 새로운 차륜이나 조용한 컴포지트 브레이크 블록을 사용하는 개량된 화차에 대하여 인센티브를 주는 것임.
- NDTAC가 제안한 상세내역은 다음과 같음. 첫째로 TSI Noise에 의해 제안된 한계치를 준수한 차량구성에 대해서는 차별적으로 부가될 것이며, 우선적으로 화차에 대해 적용될 것임. 화차의 소음방사 레벨에 의한 차별성은 유용한 저소음 제동기술에 가장 경제적으로 상응할만한 기간내에 재투자 되도록 할 것임. 더 많은 요소들이 차별적으로 고려될 것임
- 기술적인 측면에서 큰 측면에서의 개량에서의 성공은 적절한 컴포지트 브레이크 블록의 시장에서의 유용성에 의존함. LL 블록이 K 블록에 비해 상당히 싸지만 여전히 보증하기는 어려움. 현재 UIC는 European Railway Agency에 의해 LL 블록의 승인을 유도할 기술적 시험과 보증에 대한 책임을 가지고 있음.
- TSI Noise 개정에 대해서 제한적으로 논의되고 있으며 주요한 이슈는 다음과 같음. EN/ISO 3095 개정에 대한 부합성, Pass-by 소음시험, OTMs(다른 궤도 재료) 적용에 따른 설명이며 소음 한계치와 범위는 변화되지 않음. 많은 일들이 진행되었고, EU에서 철도소음을 줄이는 일은 계속되고 있음.

(http://ec.europa.eu/transport/rail/index_en.htm)

마. 유럽에서 곡선부 스킵소음 저감대책

- 레일의 마찰 관리에 기초한 궤도로서 레일 야드에서 소음저감 프로그램으로 다음과 같은 일이 이루어 짐.
 - 새로운 규제 및 측정
 - 곡선 스킵 방지
 - Peak 레벨의 감소
- 위와 같은 일을 위해 수행해야하는 일로서 레일헤드 및 레일 사이드에 대한 FM, 200 m 궤도상에서 효과, Field에서의 측정, 소음효과 10d B, FM 중요성 인식 등에 대한 일이 이루어져야 함.

- On-board 레일 마찰력의 관리측면에서 차륜과 레일의 상태에 대한 새로운 접근이 필요하며, 스킨소음의 감소, 차량에 의한 점검, 초도폼에 대한 소음 저감(9 dB)등이 이루어져 초도폼에 대한 다음차량의 효과성, 적용한 모델의 발전, 장착의 최적화 등이 뒤따르도록 해야 함.

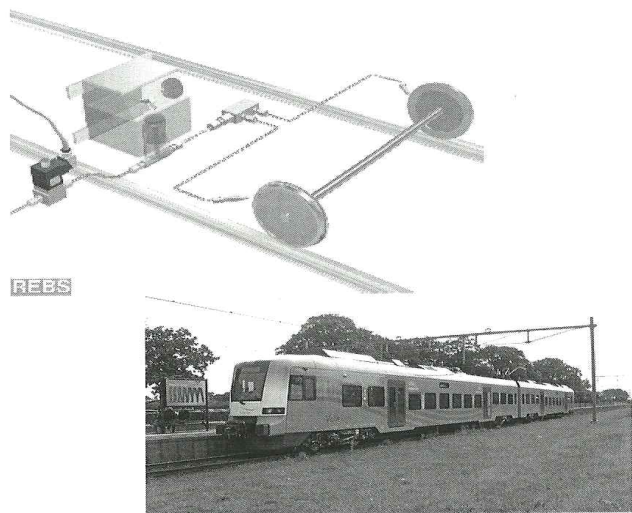


그림 60. 스킨소음 실험

- 이러한 방법으로 스킨방지 차륜형상이 제안(아래 그림)되었으며, 안티 스킨 프로파일에 대해 현장시험이 수행되었고, 소음감소효과가 -3 dB 정도이고, 더 많은 연구가 필요함.

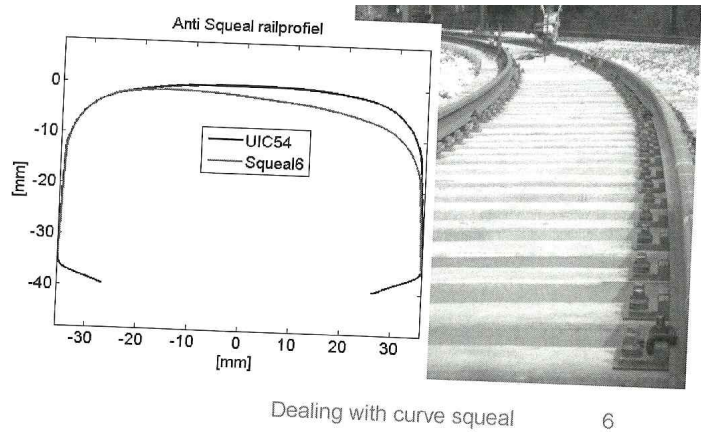


그림 61. 스킨 방지 차륜형상

- 소음저감 효과에 대한 확신을 위해서는 소음효과에 대한 측정을 통한 표준 시험을 사용하고, 다른 날짜나 장소에서의 측정, 샘플수의 증가를 통해 확인하여야 함.

바. ERRAC(The European Rail Research Advisory Council)의 소음 및 진동에 대한 로드맵

- ERRAC는 2020년 더 나아가서는 2030년을 바라보고 전략적인 비전을 세우는데 있어 미래 에너지 및 환경적인 연구는 에너지 효율을 더욱 더 강조하게 될 것임. 이러한 주제는 더욱 광범위하게 환경적으로 친근하고 중기적인 미래의 변화를 가져올 혁신적인 기술을 탐구하는 영역을 제공함. 이러한 것들이 광범위한 기술의 변화를 자극하고, 창조적인 생각을 불러일으킴. 3년간 에너지, 소음 및 진동의 시스템 접근, 환경에 대한 설계 분야를 주제로 하여 운영자, 생산자, 대학 등의 여러 유럽의 멤버(UNIFE, UIC, Alstom, Bombardier, Knorr-Bremse, TNO, DBAG, SNCF, NS등)이 참여하여 연구를 하게 됨.
- ERRAC의 에너지 로드맵에서 현재의 현황으로 일반적인 사항(EMU, NAFTA등), 정책 방향, 구속조건, 재정적인 현황, 법적 framework(때, 국가, 지역 간), 용량관리에 대한 증가된 압력, 레일 생산 요소, 목표 등이 다루어지고, 소음, 진동, 주요 기술적 목표에 대해 현재와 진행연구에 대해 알아보며, 향후 비전 및 로드맵 발전(소음저감을 위한)에 대한 설명이 될 것임.
- 2030년까지 소음저감을 위한 측정은 여러 가지 혁신적이고 인정된 기술의 방법을 활용해서 환경 파괴가 없고 실제적인 방법을 제공하여 철도의 관련된 프로세서에서 자연적으로 집약될 것임.
- 유럽철도는 소음과 진동에 대해 소음레벨이 사회적으로나 경제적으로 받아들일 수 있고 24-hours 승객이나 화물에 대해 노력할 것임
- 철도섹터에서 소음 및 진동저감의 전략은 주요한 이슈임. 이러한 것으로 소음원, 전달경로, 승객의 소음에 대한 안락감 측면에서 소음과 진동의 제어와 외부 철도라인의 수음점에서의 소음 제어는 소음원이나 전달경로에 비해 덜 효과적임.
- 첫 번째로 소음원에서의 소음 및 진동 제어는 차량, 궤도, 차량한계 주변에서의 방사 및 전달을 모두 포함하며, 다른 것에 비해 더욱 효과적이며 비용이 효율적이다. 이러한 항목으로는 다음과 같음.
 - Smooth 차륜/레일
 - 적은 소음 방사를 가진 차량/궤도
 - 궤도 유지보수의 절감
 - 내부 소음
- 두 번째로 전달경로에서의 소음 및 진동제어는 차량한계 근처에서 이루어지며 소음방음벽(Noise barrier), 제방(Embankment), 커버 등임. 이에는 혁신적인 소음 방음벽으로 혁신적이고 조경성이 있고 친근하며 사회적으로(Innovative, landscape friendly, socially acceptance) 받아들일 수 있는 설계가 중요함.

- 전주기에 걸쳐 시스템(차량과 인프라 구조)의 소음성능을 유지하는 방법을 구상해야 함.
- 첫 번째로 상업적이며 운행환경에서 이행을 위한 비용이 효율적인 해결책이 필요하다. 이러한 것으로는 운행과 유지보수 관점에서 레일 그라인딩, 궤도 및 차륜 흡음장치 등이 고려될 수 있음. 이외에도 저비용 화차용 디스크 브레이크 또는 Single Wheel set running gear도 고려해 볼 수 있음.
- 두 번째로 유지보수 관점에서 차량과 인프라 구조의 관리 및 유지보수이며 다음과 같은 항목이 있음.
 - 모니터링 장치의 표준화 및 차량(차륜 상태에 대해) 통과에 대한 방법 모니터링
 - 소음측면에서 차륜 편평도의 관리
- 5-10 dB 그이상의 소음 감소를 위한 새로운 돌파구로 다음과 같은 것들을 생각할 수 있음. 기본적으로는 Smooth한 레일과 차륜을 가지는 것이며 거칠기의 더 많은 진전이 없는 것임.
- 첫 번째로 차량측면에서 아래와 같은 것들을 생각할 수 있음.
 - New wheel/rail 재료 또는 Surface Coating (초기 거칠기 및 낮은 거칠기 성장)
 - 방어벽 : 낮은 방음벽과 차량 스커트
 - 더 효율적인 레일 및 차륜 댐퍼
 - 더 적은 거칠기 성장 (점착, 견인, 제동을 유지한 채)
 - 철재 교량에서의 효율적인 소음저감
 - 저소음 차륜 및 궤도 부품의 제작
- 두 번째로 고속차량에서의 공력소음, 전파, 방사, 제어에 대한 더 많은 연구가 필요하며 이를 위해 개선된 예측방법, 설계 방법이 연구되어야 함.
- 세 번째로 소음과 음질 소음의 목표를 정해야 하며 이를 위해 견인소음, 구성품 소음, 스크레치 소음을 줄여야 하며 이에 대해서는 음질과 스킬소음의 모든 것들이 고려되어야 하며 조용한 것과 불쾌한 것들이 고려 되어야함. 그중 주요 불쾌한 것에 대한 저감이 주요한 이슈이며 다음과 같은 항목이 있음.
 - 새로운 냉각 시스템(냉각팬 소음저감, 조합에서의 저감)
 - Smart 관리 기법 (정차시 견인, 제동시 보조전원의 관리)
 - 제동시 전기 제동의 효율적 운영방법
 - 새로운 제동 패드 재료(제동 스크레치 제거를 위해)
 - 곡선 스킬소음 제거를 위한 Active Radial 스티어링 등이 있음

사. 소음저감을 위한 유지보수 및 재투자 비용

- 내용으로는 연구의 범위, 소음저감에 대한 옵션, 선택적 옵션에 대한 비용, 선택적 옵션에 대한 LCC 해석, 데이터 수집, 예상결과 순으로 검토해 보고자 함.
- 연구의 범위는 소음저감을 위한 유지보수와 재투자 비용, 소음저감을 위한 실제 비용(즉 LCC 의미)에 대한 범위를 정할 필요가 있음.
- 비용 이득 측면에서 현재 비용(유로화)에 대한 현재의 이득에 대한 그래프를 아래에 보여 주고 있으며 이는 방음벽 또는 제동블럭, 궤도 흡음재 등에 따른 이득의 그래프임.
- 비용의 정의는 LCC, 총비용(=LCC+연결된 간접고정비용), 총수명비용(=TOC+연결된 간접고정비용)로 정의됨.
- 소음 방음벽의 LCC는 투자비용으로 조달 및 구입, 재료 및 설치, 절차비용(허가, 설계, 지반조사, 케이블 및 파이프등)으로 나누어지며, 연간비용으로 유지보수(검사, 손상부 교환, 페인팅 및 코팅등), 교환, 높이증가, 에너지 등의 비용이 추가 될 수 있다. 이외에도 다른 항목으로 피할 수 없는 터널, 커팅, 스판 수명, 레일댐퍼, 그라인딩의 비용이 추가될 수 있음.
- 데이터 취득을 위해 2가지 레벨의 접근이 필요한데 인프라 관리자에게의 질문지를 통한 전화, 인터뷰등과 제조 및 공급자가 제공하는 데이터에 기초하여 추정할 수 있음.
- 현재는 이론적인 모델은 90%가 준비되었으며, 데모를 위한 질문지, NL(베리어, 댐퍼, 외벽 차단에서의 가격 데이터의 취득), 질문을 위한 NL 데이터 사용의 계획, 접촉 가능한 리스트의 준비(약30%), 이해할만한 그래프에 대한 해석(약 60%)가 준비된 상태임.
- 이에 대한 예상되는 결과는 실제가격과 더 나은 체계적 기초에 대한 통계적 접근이 가능할 것임.

아. 유럽 철도의 개념 및 실험현황

- 유럽을 통해 달리는 32개의 대표되는 화물은 운행상태에서 LL-브레이크가 사용되는 실험된다. 이에 대한 실험에는 기후상태를 고려한 1년간의 실험기간이 소요되고, 최소 200,000Km의 마일리지가 성취되었으며, 모든 운행조건에서 기후 및 국소적인 조건을 만족하는 즉 상구배, 하구배, 냉기후, 온기후, 운행의 다른 모드에 대해 고려될 것이다. 이외에도 공차 및 만차 조건도 고려 될 것임. 주행상태의 연속적 측정을 위해 9 데이터 로깅시스템을 가진 장치도 장착될 것임. 각각의 주행서비스와 측정이 독일 DB에 의해 수행될 것이다. 여기서 화차의 다음의 브레이크 블록(IB116, IB116-combined Block, C952-1, 주철 블록)에 대해 해석 될 것임.
- 이러한 실험의 목적은 LL-브레이크 블록에 대한 유용한 정보를 얻는 것으로 유효답면구배의 점진적 변화에 따른 새로운 블록의 형상, 위치의 효과를 검증하는 것, 운행시 유효답면구배의 한계치와 효과에 대한 깊은 이해도 증진, LL-브레이크를 가진 차륜 및 블록의 마모

에 대한 현장 경험의 축적에 있음.

- 이를 위해 유럽의 대표되는 운행여건, 국지적 요인, 기상학적 조건을 가진 다른 루트를 고려하여 실험하였으며, On-Board 측정, 민덴에서의 정차실험, UIC518 실험이 수행되었음. 이러한 루트로 4개의 루트가 선정되었으며, 스웨덴 루트, 독일루트, 프랑스 루트, 폴란드 루트가 선정되고 실험되고 있음.
- 현재까지는 40,000Km 정도가 실험되었으며, 현재까지의 주요 결론은 다음과 같음.
 - 브레이크 블록의 마모는 루트의 환경에 따라 매우 심하게 변함(기후의 영향이 크다는 것임.)
 - 채택된 브레이크 블록의 형상과 위치를 가진 화차에서 차륜과 블록 형상의 해석에서 보면 더 구체적으로는 실험이 더 진행되어야 하지만 이해할만한 효과를 알기 위해서는 더 자세한 측정이 이루어져야 한다는 것을 보여줌.
 - UIC518에 의한 안정성 측정은 화차 운행 시 UIC518의 안전한계에는 여전히 부합되며 유효답면구배가 0.23보다 훨씬 더 크다는 것을 보여주나 측정된 거동은 부분적으로 요구되지 않은 결과를 측정되었으며 더 깊이 있는 연구가 진행되어야 함.

자. 향후 고속철도의 소음저감 방향

- 고속철도에 대한 발표는 2026년에 오픈하는 런던과 서미들랜드(맨체스터, 리버풀, 스코틀랜드 통과하는 노선)와 2032년에 개통하는 맨체스터와 리즈를 확장하는 노선에 대한 소음 고려사항을 발표하였음.
- 이를 위해 SoundLab(아래 그림)에 대한 고려를 하였는데 SoundLab은 미래의 철도나 역에서의 예측된 소음의 증명, 소음 측정과 소음감소설계의 예측된 효과성을 알 수 있으며, 이를 통해 승객들이 친근한 소음환경에 접근시키는 경험을 할 수 있었음.

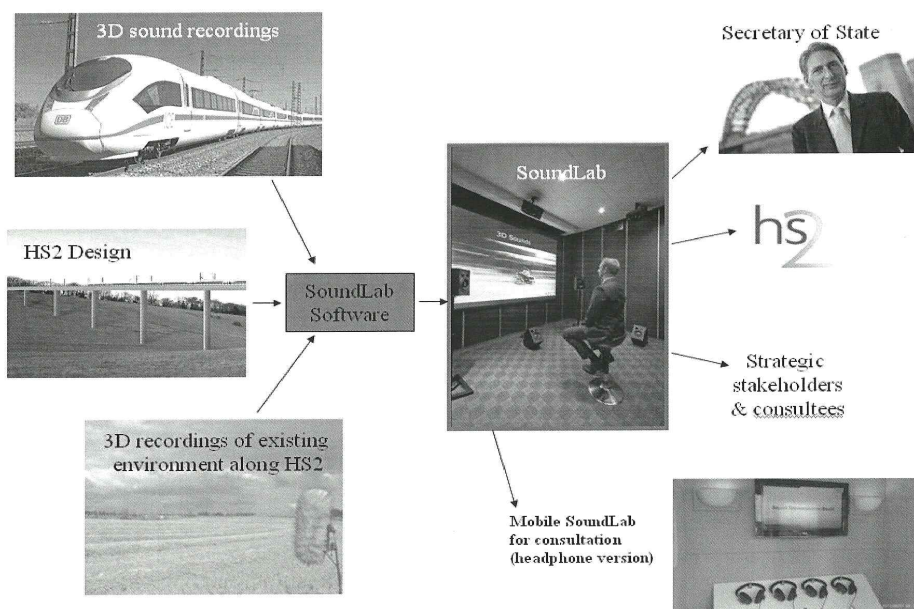
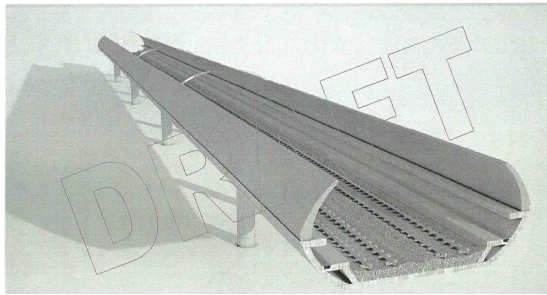
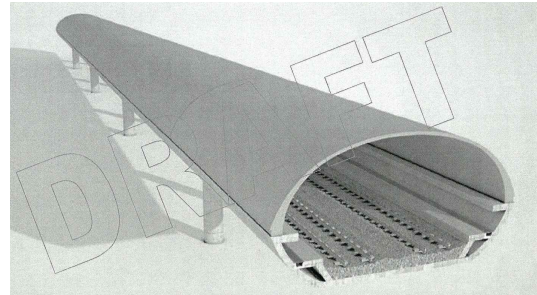


그림 62. SoundLab

- 본 노선에서 새로운 철도차량에 대해 아래의 2008년의 TSI Recommendation을 2010년1월 이후 고려하도록 하였음.
- 250Km/h에서 2dB(A) 저감, 300Km/h~320Km/h에서는 3dB(A) 저감
- 특히 고속화에서 소음 방음벽으로 쉽게 저감되지 않는 상향된 소음원에 의한 공력소음원 문제와 TSI는 최고속도 360Km/h까지는 고려되어야 함.
- 본 노선에서 고려되는 소음 방음벽의 다양한 형태(안)가 3m, 5m, Enclosed 시스템으로 아래와 같이 개념화 되었음.



(a) 5m Barrier



(b) Enclosure

출처 : Draft Concept Noise Barrier Design Provided for HS2 Ltd. by Arup 12.05.11

그림 63. 방음벽 형상

차. 소음저감용 부품개발

- 이러한 3가지 형태의 소음저감에 대한 연구에서 레일댐퍼, 레일 그라인딩, 낮은 방음벽의 설치상태에서의 측정 및 결과의 수집을 하고자 하며, 이러한 3가지에 대한 측정은 서로 다른 이유 때문에 논쟁이 되며, 수많은 철도시스템은 변화되는 결과를 가지고 측정이 이루어졌으며, 각각의 결과는 측정을 통해 철도에 많은 도움을 주는 결과를 가져 올 것임.
- 첫 번째의 레일댐퍼는 레일에 의해 방사되는 소음을 줄이기 위해 레일의 아래나 옆쪽에 설치하는 부속품임.

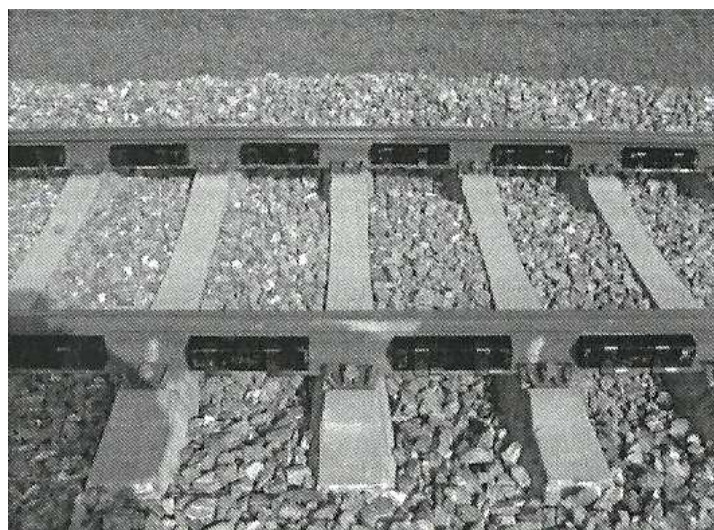


그림 64. 레일댐퍼

- 아래에 보여주는 것처럼 총소음을 3dB 이상 줄이는데 있어 레일 댐퍼의 역할을 보여주고 있다.

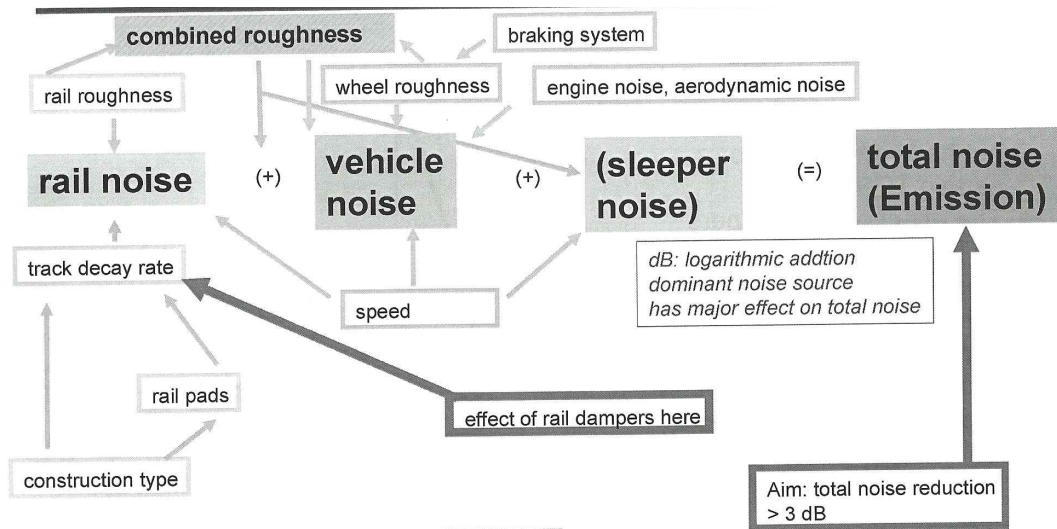


그림 65. 레일 댐퍼의 역할

- 레일댐퍼의 경우 Track Decay Rates(TDR)을 증가시키며, 보통 일정 TDR상에서 효과를 가지지 않는다. 소음에 대한 궤도부품으로서 레일댐퍼의 효과는 초기상태에 의존한다. 초기의 TDR에서는 큰 변화가 없기 때문에 예측효과를 알기가 어려움.
- 최종적인 효과는 초기의 TDR, 레일거칠기 등에 의존하며, 효과 측면에서 매우 큰 변화가 있음.
- 소음측면에서 레일 그라인딩은 낮은 거칠기를 생성하고 이것이 소음을 줄이는 효과가 있으며 아래 그림과 같이 거칠기의 모니터링을 통하여 그라인딩을 통해 3dB의 효과를 볼 수 있음.

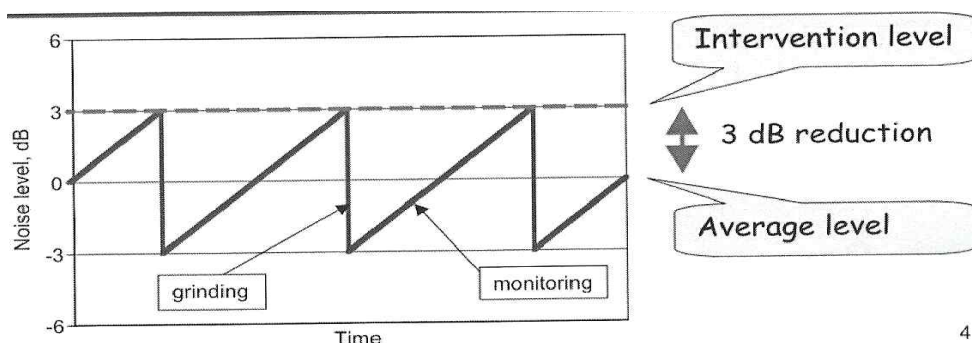


그림 66. 그라인딩을 통한 효과

- 소음적인 측면에서 그라인딩을 통해 네덜란드의 경우 디스크 브레이크를 장착한 차량의 경우 2-2.5dB의 효과를 보았으며, 독일의 경우 3.0dB의 효과를 보았다고 한다. 이러한 효과는 궤도의 건설 및 교통과 같은 변수에 의존하며 레일이나 차량댐퍼와 같은 소음감소 요소와의 연관성을 가짐.

- 낮은 높이의 방음벽은 레일에 근접하여 설치하며 아래와 같은 이론에 의해 이론적으로 멀리 있는 높은 방음벽과 같은 효과를 가짐.
- 낮은 방음벽은 유지보수의 어려움, 사고시 문제점, 궤도에서 차량 유지보수시 접근성의 어려움 등이 있음. 일반적으로 멀리 있는 높은 방음벽과 유사한 결과를 보이며 방음벽의 위치, 표면상태 등에 의존함. 좋은 결과를 얻기 위해서는 추가 낮은 방음벽은 궤도 사이에 설치하는 것이 좋으며, 비용은 높은 방음벽과 유사함.

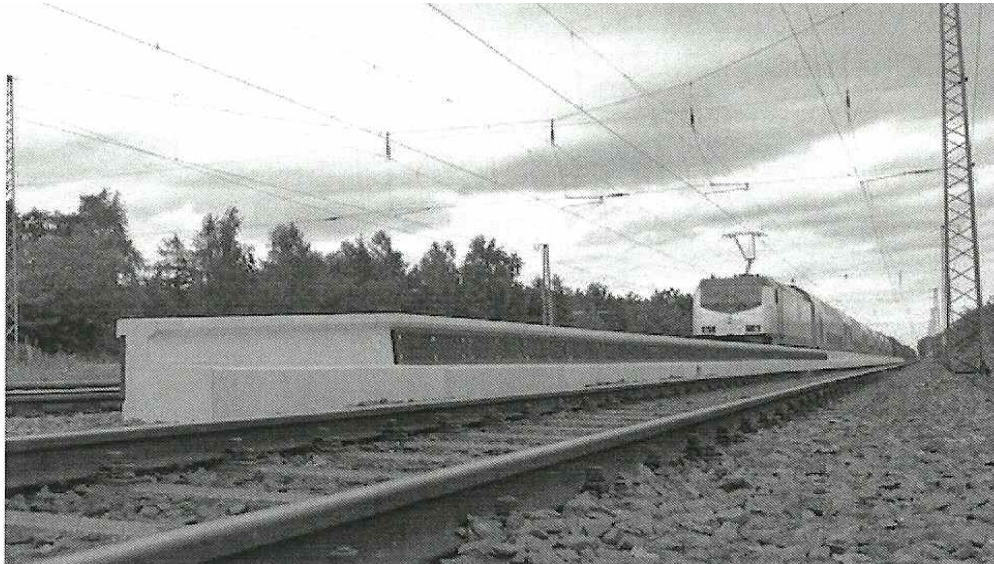


그림 67. Pilot project low height barrier in Germany

카. 유럽의 소음저감에 대한 연구동향

- 유럽 각국 및 철도차량에 대한 현재의 소음저감은 다음과 같음.
- TSI 규정에 의거 인프라 구조 및 철도차량에 대한 저감을 측정하고 있으며, European Directive 2002/49CE에 의거 매 5년마다 소음지도 작성, 대중과의 소통, 실행계획을 수립하고 있으며, 각국은 국가규격에 의거 한계치에 대한 시험을 하고 이에 대한 실행계획을 유럽규격과의 상호 협력하여 수행함.
- 현재의 유럽에서는 인프라 구조 및 철도차량에 대해 저감에 대한 측정을 실시하고 있으며, 인프라 구조의 경우는 소음방음벽, 레일댐퍼, 레일 그라인딩을 고려하여 하고 있고, 차량의 경우 블레이크블럭/디스크브레이크, 차륜댐퍼, 최적화된 팬 및 냉각장치, 대차스커트, 차량 앞쪽 형상, 판토품을 고려하여 측정함.

○ 속도에 따른 각 항목별 저감범위는 대략적으로 다음과 같음.

	Standstill & low speed <80km/h	Conventional speed 80km/h < - <250km/h	High Speed today ~320km/h	HS tomorrow ≥360 km/h
Noise barrier	~ 8 dB(A)	~ 8 dB(A)	< 8 dB(A)	< 5 dB(A)
Rail dampers	0 dB(A)	~ 3 dB(A)	~ 1 dB(A)	< 1 dB(A)
K&LL blocks / discs	-	~8 dB(A)	-	-
Optimised fan	~7 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)
Wheel dampers	0 dB(A)	~ 2 dB(A)	~ 1 dB(A)	< 1 dB(A)
Rail + wheel dampers	0 dB(A)	~ 5 dB(A)	~ 2 dB(A)	< 2 dB(A)
Rail grinding	0 dB(A)	~3 dB(A)	?	?
Bogie skirts	0 dB(A)	0 dB(A)	< 1 dB(A)	~ 1 dB(A)
Optimised front shape	0 dB(A)	0 dB(A)	? dB(A)	? dB(A)
Optimised pantograph	0 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)	? dB(A)

(relevant behind noise barrier)

4 | SNCF Innovation & Recherche | 08-09/11/2011

SNCF

그림 68. 속도에 따른 각 항목별 저감범위

- 위의 그림에서 보듯 방음벽의 경우 설치가 수직이며 반사형태이다. EMU 및 고속전철의 경우 판토 및 공력학적 소음원에 의해 루프쪽에 소음원이 존재하므로 반사 방음벽은 항상 가장 최적은 아님. 이에는 방음벽의 형상, 높이, 회절하는 모서리 수를 고려해 교통량과 위치에 따라 최적화 되어야 함.
- 소음저감을 위해 K블럭을 통해 8dB(A)까지 저감을 달성하였으며, 화물수송을 위해 소음저감을 해야 하는 목소리가 매년 확산되고 있음.
- 레일댐퍼를 통해 3dB(A)의 소음저감을 달성하였으며, 프랑스에서 2개의 생산품이 생산되고 있음. 레일댐퍼는 모든 장소에서 적절한 것은 아니며 궤도구성품만이 아닌 TDR에 의존함.
- 레일 그라인딩에 의해 3dB(A)의 저감을 달성하였으며, 그라인딩 과정을 최적화 할 수 있음. 이러한 일이 프랑스에서 진행되고 있다. 레일 및 차륜의 거칠기의 성장에 관한 연구는 미래의 중요한 연구과제임.
- 차륜댐퍼를 통해 2dB(A)의 소음저감을 달성하였으며, 몇몇 제품은 시장에서 유용하나 프랑스에서는 이에 대한 제품은 생산되지 않고 있음. 레일 및 차륜댐퍼는 약 5dB(A)의 소음저감을 위하여 조합하여 설치하여야 함.

타. 유럽 각 국가의 소음저감 정책 및 방향

- 스웨덴의 경우 소음 지시계로 $Leq,24h$ 와 L_{max} 를 쓰고 있으며, 외부과 내부의 기준이 설정되어 있는데 1997년 장기적인 소음 목표로 외부의 경우 55dB(A) $Leq,24h$, 70dB(A) L_{max} 이며, 내부는 30dB(A) $Leq,24h$, 45dB(A) L_{max} (야간)으로 하고 있다. 교통소음의 경우 외부의 경우 주민이 55dBA $Leq,24h$ 에 노출되어 있다고 보고 있음. 장단기적 소음저감을 위해 정책을 세우고 있으며 장기적으로는 소음원을 줄이는 전략을 구사하고 있음.
- 독일의 경우 화차의 교통량의 증가에 따른 소음감소에 고민하고 있으며, 화물수송의 증가에 따른 환경정책적인 고민, 화물수송 증가에 따른 커진 반대, 수송력의 증가가 두드러진 노선, 신선 및 개량된 노선에서의 용량증가에 따른 소음문제가 발생하고 있다. DB의 경우 특히 주요노선의 소음노출에 따른 소음감소에 대한 시민의 압력하에 있음. 이를 위해 DB는 2020년까지 2000년 기준으로 소음을 반으로 줄이고자 (약 10dB(A) 감소함. 이를 위해 Composite 브레이크 블록을 적극적으로 확대하고 있으며 인프라 구조의 소음감소를 위해 혁신적인 기술을 찾아내려고 하고 있으며, 우선시된 적합품에 대하여 일반적 사용을 위해 충분히 성숙되도록 시험을 확대하고 있음.
- 이를 위해 아래와 같은 장소 및 기술이 92곳에서의 측정과 14개의 혁신적인 기술이 소음과 진동을 감소를 위해 시험되고 있음.

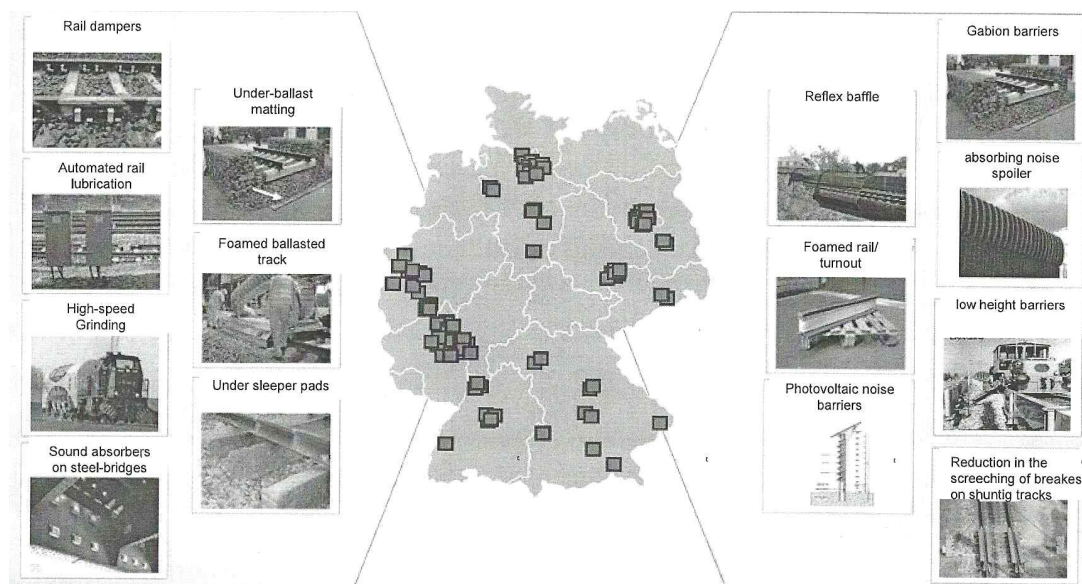


그림 69. 혁신적인 기술로 소음/진동 감소 시험하는 장소

- 이탈리아의 경우 Law Decree n.459/1998의 기준을 쓰고 있으며, 궤도의 바깥쪽에서 100m 구간인 Zone“A“에서는 70/60 dB(A), 100~150m 구간인 Zone“B“에서는 65/55 dB(A)를 기준으로 하고 있음. 향후 EU 소음저감 프로그램을 따를 것으로 보이며, 2008년 RFI는 60,000편성/년 이상 운행하는 철도에 대해 소음지도를 하기로 결론지었으며, 향후 30,000편성/년 이상 되는 철도차량에 대해 소음지도를 작성할 예정임.

- 현재의 소음방음벽은 360Km가 계획 되어 있으며 차음창문에 대해 다음으로 예상되고 있음. 그라인딩 프로젝트는 시작단계이며 새로운 레일댐퍼 시험이 계획되어 있음.
- 노르웨이의 경우 50,000명이상이 $L_{den} > 55dB$ 에 노출되어 있으며 2010년 소음지도를 작성하였음. 현재 상태에서 국가적인 목표는 1999년에 비해 2020년 내에 10%의 NAI(Noise annoyance index)을 줄일 계획이며, 2005년에 비해 2020년 내에 실내에서 38dBA 이상에 노출된 인구의 30%mf 줄이는 것임. 이를 위해 새로운 차량, 레일 그라인딩, 소음방음벽, 레일삭정 등에 대한 따른 측정을 수행할 것임. 연구해야할 것으로는 야간 소음계수, 개량되거나 새로운 차량에 대한 방사 데이터, 열차 정차나 터미널로 부터의 소음연구가 2012년에 진행 될 것임.
- 스페인의 경우 13,354Km의 연장을 가지며 460백 만명을 승객을 수송하고 있음. 환경 소음의 관리 및 내역과 관련된 2002/49/ DIRECTIVE에서 소음구역과 질적 기준과 관련된 Royal Decree 1367/2007에 의거 새로운 상황과 기존노선에 대해 이중으로 관리 목표를 세워 신선의 경우 더욱 강화된 소음 레벨을 적용하여 L_{day} 60dB(A), $L_{evening}$ 60dB(A), L_{night} 50dB(A), L_{max} 85dB(A)을 현재 적용하고 있으며, 기존선에 대해서는 L_{day} 65dB(A), $L_{evening}$ 65dB(A), L_{night} 55dB(A)의 기준을 적용해 2020년까지 줄이겠다는 목표를 가지고 있음.
- ADIF는 2005년 680Km에 대한 전략적인 소음맵을 하였으며 230Km에 대해 실행계획을 세워놓았음. 주거지역별로 보면 거주지는 L_{day} 66dB(A), $L_{evening}$ 65dB(A), L_{night} 55dB(A)이며, 학교 및 병원은 L_{day} 60dB(A), $L_{evening}$ 60dB(A), L_{night} 50dB(A)의 기준을 정하고 있음. 소음원 측면에서는 기존의 철도레일의 경우 소음이 적은 차량을 유도하고, 화차의 브레이크블럭의 교체, 차륜거칠기의 소음전달 계통을 줄이는 방안, 궤도의 거칠기를 줄이는 궤도 유지보수, 운할, 레일댐퍼, 슬리퍼 패드, 궤도 재삭정, 레벨크로싱 제거 등을 고려하고 있으며, 전달계통으로는 소음방음벽, 터널, 흡음 피복재등을 연구하고 있음.

제5절 종합분석

1. 국내 철도 소음수준 현황

- 2010년 1월 1일부터 국내 환경소음(야간) 권고기준이 65dB(A)에서 60dB(A)로 강화되면서, 도시철도 연변지역의 환경소음은 대부분 환경소음 권고기준을 초과하고 있음. 그림 69와 같이 서울 도시철도 2호선 지역의 환경소음 측정결과 주간의 소음 권고기준은 만족하지만, 야간의 소음권고기준은 대부분 지역이 초과하고 있어 민원 발생시 소음피해에 대한 보상 문제가 향후 증가될 것으로 판단됨.

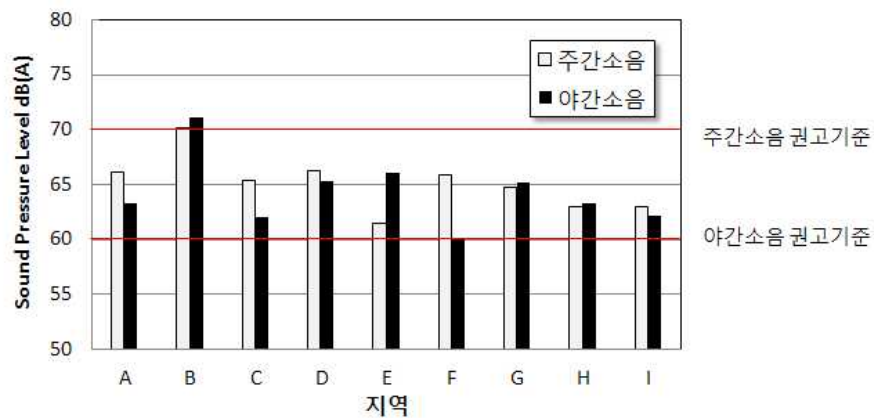


그림 70. 서울 도시철도(2호선) 환경소음 측정결과

- 대부분의 도시철도차량은 인구밀도가 높은 도시를 통과하고 있기 때문에 곡선부에서 발생하는 스کیل소음은 차량 실내소음뿐만 환경소음에도 커다란 영향을 미쳐 철도를 이용하는 승객과 인근지역에 거주하는 주민에게 소음피해를 주고 있다. 국내 대부분의 도시철도는 곡선구간에서 스کیل소음이 발생하며, 이 소음으로 인해서 차량 실내소음 기준치 80dB(A)를 초과할 뿐만 아니라 인간에게 고통을 주는 순음성분이 발생하기 때문에 승객과 주민에게 정신적 피해를 주고 있는 실정임.

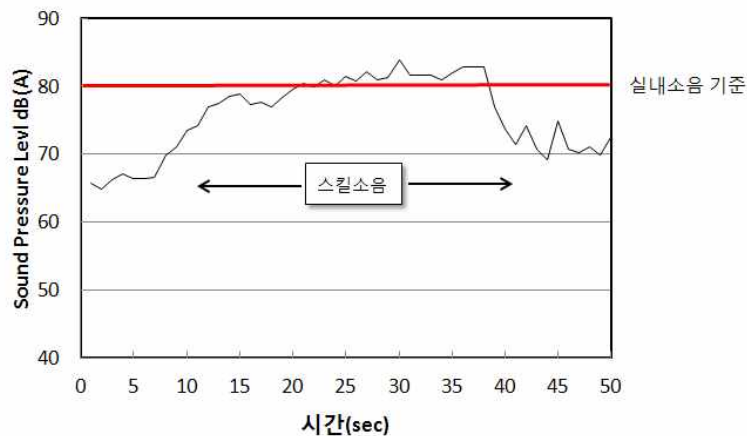


그림 71. 서울 도시철도(4호선)의 곡선부 차량 실내소음 측정결과

현재 국내 철도에서는 레일에 파상마모가 발생하는 구간이 점차 증가하고 있음. 이러한 레일의 파상마모는 커다란 소음을 유발하여 철도 이용객에게 커다란 소음피해를 주고 있어 철도 운영사에서는 레일의 파상마모를 제거하기 위해 주기적으로 레일 삭정을 하고 있음. 현재 레일의 파상마모는 서울 도시철도 5호선, 7호선, 부산 지하철 2호선, 신분당선 등 많은 곡선구간에서 발생하고 있으며, 표 21과 그림 71과 같이 차량의 실내소음이 약8~10dB(A)정도 증가하고 있음.

표 21 부산 지하철 곡선구간 차량 실내소음 측정결과

단위 : dB(A)

	곡선구간			
	200m이하	200m	250m	300m
1호선	-	80~84	80~84	80~84
2호선	91	86~94	83~93	82~91
3호선	87~90	85~92	-	83~85

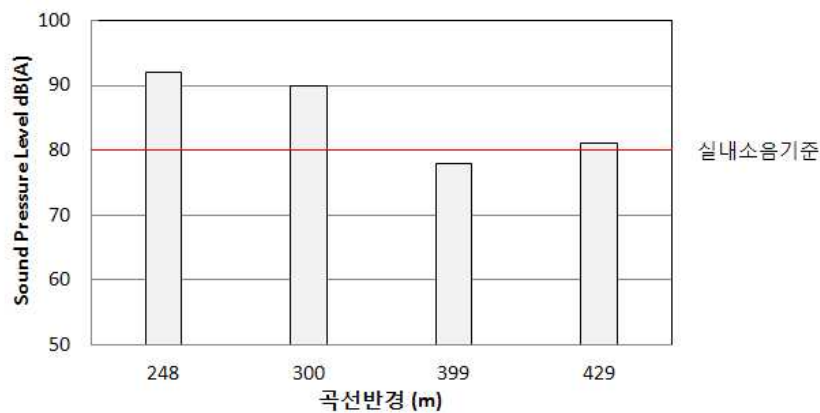


그림 72. 서울 도시철도(5호선) 차량 실내소음 측정결과

- 환경부에서 철도 환경소음을 저감하기 위해서 철도차량 제작시 소음권고기준을 정하여 2011년 1월 1일부터 차량 소음을 규제하고 있음. 이 소음권고기준은 2017년 1월 1일부터는 전동차의 경우 6dB(A)강화되어 시행될 예정임. 그러나 현재 운행 중인 전동차는 이 소음권고기준을 만족하지 못하며, 향후 제작되는 차량은 차량에서 발생하는 소음을 저감시키기 위해서 많은 연구가 필요할 것으로 생각됨.

표 22 철도차량 측정결과 및 제작차 소음권고기준 및 현재차량의 소음측정결과

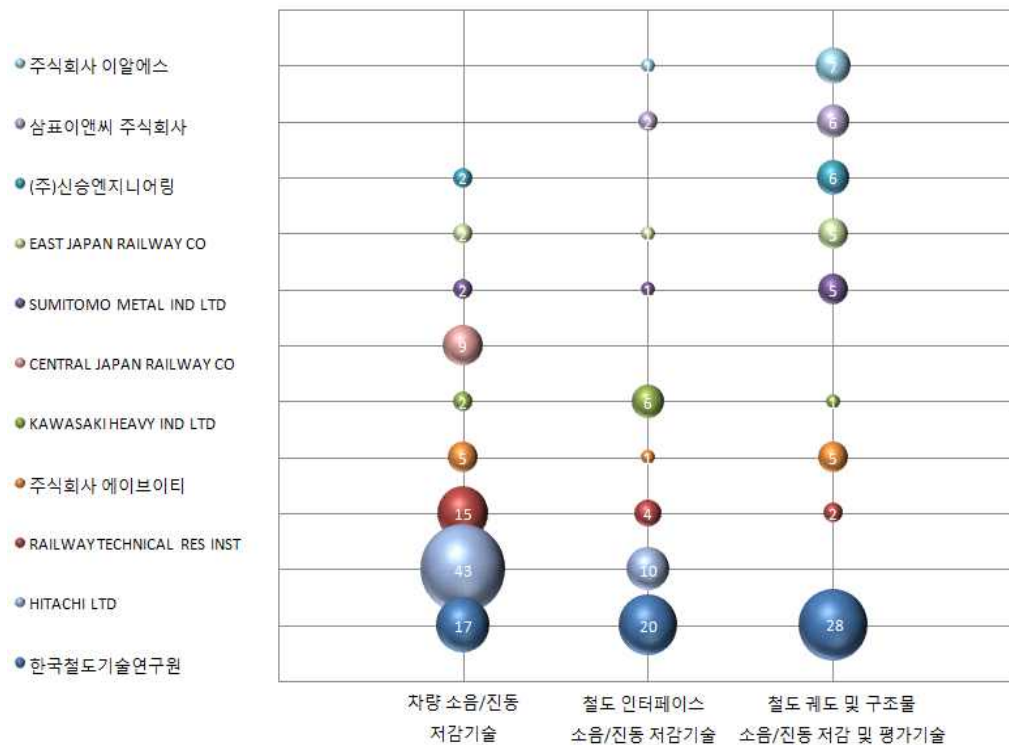
단위 : dB(A)

구분		측정결과	소음권고기준			
			2011.1.1.~ 2013.12.31	2014.1.1.~ 2016.12.31	2017.1.1.~	
정차소 음	전동차	63~73	70	69	68	7.5m 위치
	전기기관차	71~77	81	78	75	
	디젤기관차	74~87	81	78	75	
	디젤동차	79~83	82	80	78	
주행소 음	전동차	83~90	87	84	81	80km/h 7.5m 위치
	전기기관차	81~94	91	88	85	
	디젤기관차	85~97	91	88	85	
	새마을동차	83~89	86	83	82	
	객차	79~87	83	82	80	
	화물열차	82~90	87	87	82~87	3000km/h 7.5m 위치
	고속열차	87~92	92	92	92	

2. 분석결과 종합

○ 철도 소음/진동 저감기술은 크게 “차량 소음/진동 저감기술“, “철도 인터페이스 소음/진동 저감기술”, “철도/궤도 및 구조물 소음/진동 저감 및 평가기술”로 구분되며, 국내외에서 가장 많은 특허 출원 분포를 보인 분야는 “차량 소음/진동 저감기술” 분야로 주요 출원인의 출원건수(1990.1.1~2011.12)가 97건으로 가장 많았고, 다음으로 “철도/궤도 및 구조물 소음/진동 저감 및 평가기술” 분야 65건, “철도 인터페이스 소음/진동 저감기술” 분야 46건으로 각각 조사되었음

- 한국의 주요 출원인은 “한국철도기술연구원”이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 주식회사 에이브이티, 주식회사 이알에스, 삼표이앤씨주식회사, (주)신승엔지니어링 등의 업체가 관련 기술에 대한 출원한 비중이 8~11건으로 유사한 수준으로 조사되었음
- 해외 주요 출원인은 일본의 HITACH LTD, RAILWAY TECHNICAL RES INST社가 가장 큰 출원 비중을 차지하고 있었으며, 차량 소음/진동 저감 기술분야에 특허 분포가 집중되는 경향이 조사되었음



- 역점기술분야는 기술개발 경쟁이 타 분야에 대비해 비교적 치열한 구간(Red Ocean)을 의미하며 철도 소음/진동 저감기술 분야가 선정되었고, 그 중에서도 “차량 소음/진동 해석 및 예측기술분야”, “저소음/저진동 차량 해석 및 설계기술” 분야가 가장 치열한 기술개발 경쟁을 보이고 있는 것으로 조사되었음
 - 이미 관련기술의 개발이 “성숙기”에 접어든 것으로 판단되며, 관련 기술의 선점 기업이 존재하는 바, 관련 기술개발 시 “회피설계”가 중요한 기술개발 성공요인으로 파악됨
- 공백기술분야는 기술개발 경쟁이 타 분야에 대비해 비교적 낮은 구간(Blue Ocean)을 의미하며 철도/궤도 및 구조물 소음/진동 저감 및 평가기술 분야가 선정되었고, 그 중에서도 “지반진동 및 소음 저감기술”이 비교적 낮은 경쟁강도를 보였으며 “철도 환경소음 저감기술” 분야가 기술개발 경쟁이 낮은 것으로 조사되었음
 - 최근 중국 연구기관의 해당분야 출원이 급증하고 있으며, “발전기”에 속한 것으로 파악되어 향후 기술의 활용, 적용 수요가 존재할 것으로 파악됨

mathematical model for its generation)“등이 조사되었음

- 궤도 및 구조물 소음/진동저감 및 평가기술분야에서는 핵심특허로 “철도 궤도용 프리캐스트 레일슬래브 및 이를 이용한 매립식 철도궤도 구조(주식회사 이알에스)”, “철도 교량용 침목 체결시스템 기술(주식회사 에이브이티)”, “노면트램용 궤도구조기술(주식회사 이알에스)” 이 선정되었으며, 피인용 횟수가 높은 핵심 논문은 “고속열차에서 생성되는 그라운드 진동 트랙특성의 효과(Effects of Track Properties on Ground Vibrations Generated by High-Speed Trains)”, “철도소음 장벽의 규모 모델링(Scale modelling of railway noise barriers)“등이 조사되었음
- 핵심특허와 경쟁우위를 차별화하기 위한 공백기술 분야 중 “발전분야” 로는 “레일 파상마모에 의한 소음저감기술” 분야, “궤도 및 구조물 소음 저감기술” 분야가 존재하며, “유망분야” 로는 “지반진동 및 소음저감기술” 분야와, “철도환경소음 저감기술” 분야가 존재하는 것으로 나타남
 - 특히 지반진동 및 소음저감 기술과 파상마모 소음저감기술, 공력소음 저감 기술은 출원 빈도가 낮은 부분으로 파악되어 향후 기술개발 필요성이 더욱 클 것으로 전망됨
- “철도인프라 건설 제도 합리화”, “철도인프라 비용/성능 최적화를 위한 설계기준 선진화”, “고효율 신개념 시공기술 개발” 의 비전을 달성하기 위한 기획 연구과제는 다음과 같이 정리됨
- 각 기획과제는 과제수행의 효율성을 고려하여 궤도, 노반, 교량, 터널 등 분야로 공동과제를 포함하는 것이 필요할 것으로 판단되며, 제도부분의 경우는 철도 소음 관리제도와 관리실행방안에 대한 공동과제의 수행이 필요할 것으로 판단됨.

제3장 소요기술 항목 도출

제1절 기술수요조사 및 분석

1. 전문가 자문회의

가. 1차 자문회의

(1) 자문일시 : 2012년 9월 3일

(2) 장소 : 한국철도기술연구원 회의실

(3) 자문내용

- RFP를 3가지로 만든 것에 대해 국토해양부과제라는 것을 충분히 고려하여, 이러한 예산이 주어지는 목적에 연구방향 또한 맞춰져야 하며, 지식경제부나 교육과학기술부의 과제와는 달리 연구로만 끝나지 않고 제작사와 운영사에게 실제적으로 와 닿을 수 있는 방향으로 연구를 진행해야함을 강조.
- 연구과제를 4가지 차량분야, 공력분야, 인터페이스 인프라분야, 환경분야로 분류하는 것이 필요
- 연구과제에 정확하고 필요한 목표를 제시하고 연구진행방향을 명확히 할 필요가 있음을 제시.
- 오래전부터 지금까지 R&D는 고속철도 위주로 진행이 되어왔으며, 도시철도에 대해서는 미비한 실정임을 강조.
- 도시철도는 이용승객이 많으므로, 목표수준의 소음저감 정도가 아니라도 조금의 소음저감이 있다면, 금방 주변에서의 소음저감에 대한 반응을 알 수 있음.
- 소음/진동저감 원천기술이 왜 필요한지, 문제제기가 왜 되고 있는지부터 더 많은 검토가 필요.
- 소음에 대해 경험식으로 접근한 많은 연구결과가 있지만, 환경부에 제시를 해도 인정받지 못함을 강조하며, 이러한 문제들의 재검토와 해결책을 만들 필요가 있음.
- 철도 소음/진동에 관해 발생하는 정확한 메카니즘을 만들 필요가 있음.
- 설계/구조시설 등의 소음/진동저감 연구가 이루어져 실제 현장에서 적용되어 질 수 있는 과제방향으로 수정 필요.
- 소음/진동에 관한 연구는 지속적으로 이루어져 온 것으로 알고 있으나, 명확히 운영사에 적용이 되어 질 수 있을만한 연구가 필요함.
- 이러한 연구기획과제가 시작되는 문제가 무엇이고, 이번 과제를 통해 무엇을, 어디를, 명확히 포커스를 잡고 집중적으로 수행하여 어떤 저감기술 들을 도출할 것인가가 중요함.
- 열차의 실내/실외의 소음진동 특성을 파악하고, 가장 문제가 되는 것부터 저감방안을 모색하는 것이 중요.
- 현재 국내의 소음/진동의 명확한 문제점이 무엇이며, 기술력은 해외에 비해 어느 수준이며, 이러한 연구과제를 통해 어느 단계까지 도약할 수 있는 지에 대한 검토 필요

요.

- 연구방향이 각 과제별로 겹치는 부분이 없도록 연구방향 설정 필요.
- 연구의 최종적인 방향은 인프라 해석을 통해 이루어 질 수 있도록 강조

나. 2차 자문회의

(1) 자문일시 : 2012년 10월 9일

(2) 장소 : 한국철도기술연구원 회의실

(3) 자문내용

- 철도 소음/진동 필요성
- 차량별 소음진동 특성 연구
- 궤도 구조별 소음진동 특성 연구
- 지하, 지표, 고가 공법에 따른 소음진동 특성 연구
- 운영 및 유지 관리 특성에 따른 소음진동 특성 연구
- 구조물에 따른 소음진동 특성 연구
- 전동차 운행 중 소음/진동 문제는 크게 ‘차륜-레일’, ‘기기소음’으로 나눌 수 있음

차륜-레일 분야	기기소음 분야
♦ 차륜 답면 관리 측면에서 답면 기울기 종류에 의한 주행 소음/진동 ♦ 차륜 답면 경화·찰상에 의한 소음/진동 영향 ♦ 장대레일 용접부 불균형 마모에 의한 소음/진동 영향 ♦ 분기구 및 레일 이음매부 통과 소음/진동 ♦ 방음 차륜 적용에 따른 소음 영향	♦ 냉방장치에서 발생하는 소음 저감대책 필요 ♦ 인버터의 견인 소음 저감대책 필요 ♦ CM 기동 소음 저감대책 필요 ♦ 잦은 방송 소음

- 고속열차 정차 시 제동 소음 개선 문제를 단기해결 과제로 해결
- 차량기지(저속)에서의 전철기-곡선에서의 스컬소음 저감
- 고속차량 차륜형상문제(XP55, GV40), KTX-산천 단부대차 진동특성 개선
- 현재 환경영향평가 시 차량의 조건, 속도를 고려할 수 있는 모델 이용하지 않고 경험식 등을 통해 소음/진동 예측하고 있음
- 주변 지형 조건 등을 예측할 때 반영이 미흡함
- 소음진동저감 대책 제시할 때 구체적인 검토사항 없이 각 방법 별 저감예상치만 제시
- 차량의 각 부별 소음발생에 따른 소음대책 마련해야 함
- 차량 조건, 속도 등을 반영한 소음/진동 예측모델 개발
- 전달경로에 따른 예측모델 개발
- 저감 대책별 저감 특성 산출방법 및 데이터베이스 구축

- GIS, 항공사진 등을 활용한 민원 예상 지역 및 저감 대책 확인 시스템 구축
- 차량에 사용하는 재료별 TL 값에 대한 데이터 부족 및 재료 조합에 따른 최적화 기술 필요
- 에어컨 덕트 소음 저감 기술 필요
- 철도 건설 또는 기존 철도선로 주변 도심화로 소음/진동 문제 증가
- 도심 고층화에 대한 대책 필요
- 진동 체결장치 등의 탄성계수 등의 관리 필요
- 국내 실정에 맞는 경제적이고 효율적인 소음/진동 저감기법 필요
- 업체의 영세함으로 인한 경제적 어려움 존재(인력·장비·데이터 부족, 장비 및 해석틀이 있다하더라도 용역이 없거나 용역비 자체가 작음)
- 철도차량, 궤도, 구조물 등의 소음진동 발생에 대한 주기적 또는 지속적인 데이터 축적이 필요 → 비용이 적게 들며 공인성도 높아 질 것임

2. 전문가 설문조사

가. 1차 전문가 설문조사

(1) 개요

- 일시 : 2012년 4월 26일~27일
- 장소 : 한국소음진동공학회, 제주 라마다르네상스호텔
- 설문조사인원: 철도 전문가 21명

(2) 설문조사 항목

- 설문항목은 기획과제에 부응하는 항목으로 분야별 전문가들의 자문에 의하여 큰 부류와 소 항목으로 선별

○ 각 항목의 중요성

- 현장 실무자 및 전문가들이 생각하는 각 항목의 중요 척도를 확인하고, 가중치를 부여하여 기획에 적용

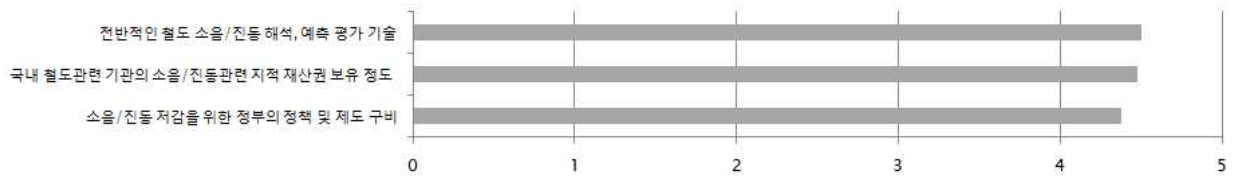
○ 각 항목의 국내현황

- 국내의 연구 분야에 대한 연구 현황과 주요 업체의 관심도를 각 항목별로 종합하여 기획에 난이도 부분과 보다 세부항목에 적용하고 기획 하는 부분에 적용

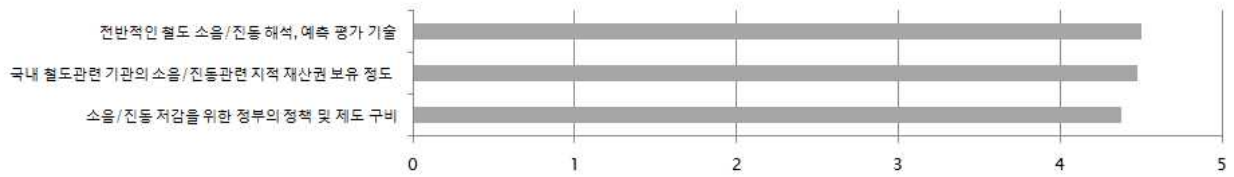
(3) 설문조사 결과

○ 중요성관련 설문조사 결과

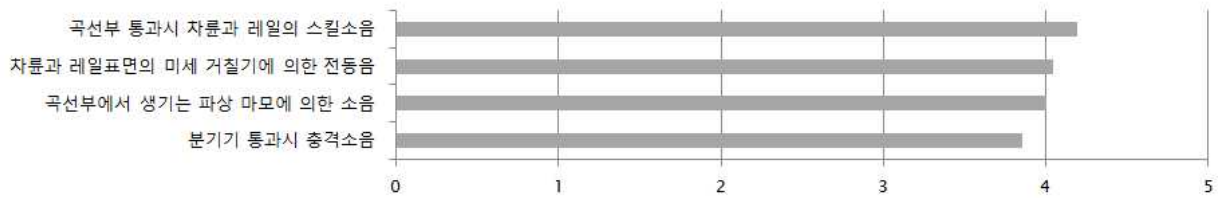
- 일반 항목



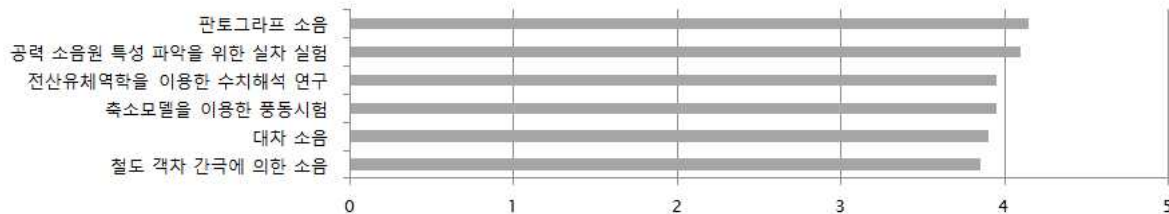
- 철도 차량의 소음 진동 기술의 중요성



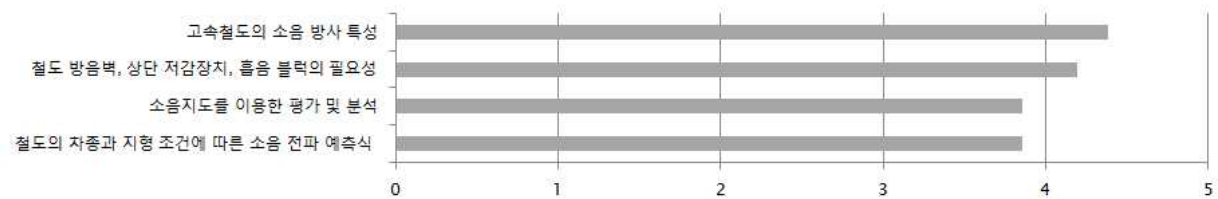
- 차륜과 레일의 인터페이스의 중요성



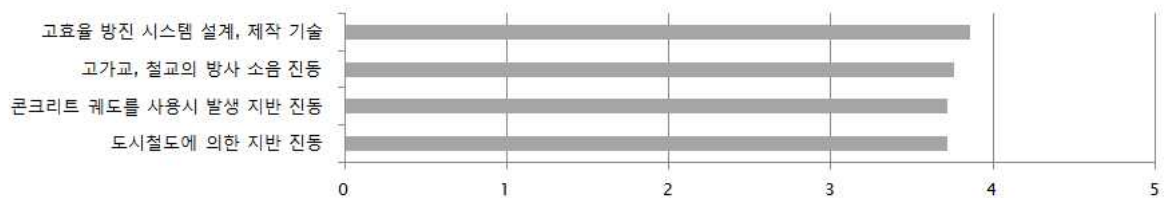
- 공력소음의 중요성



- 환경 소음/진동의 중요성

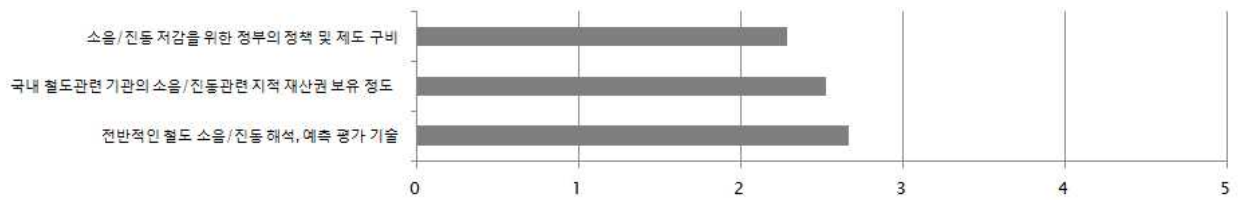


- 철도구조물 소음/진동의 중요성

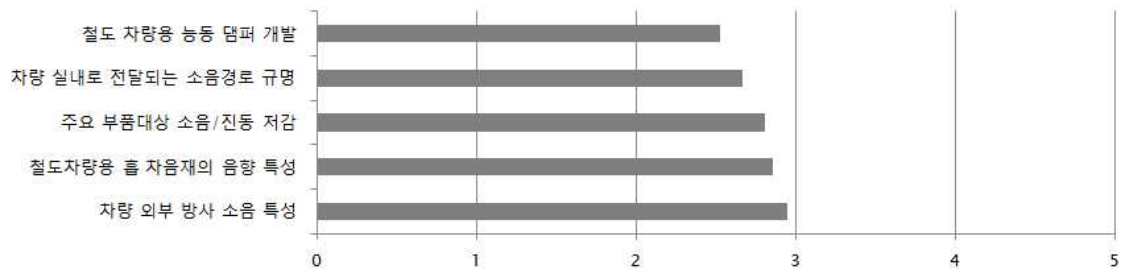


○ 국내 수준에 대한 설문조사 결과

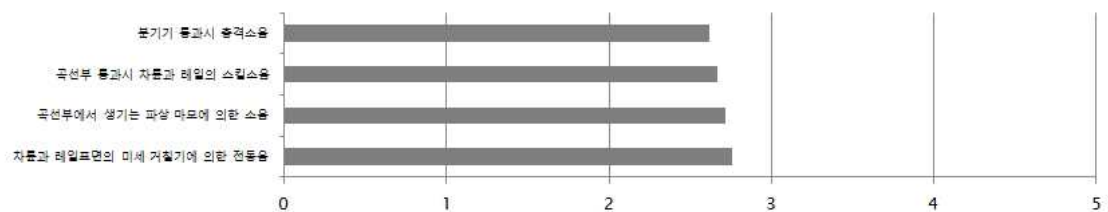
- 일반 항목



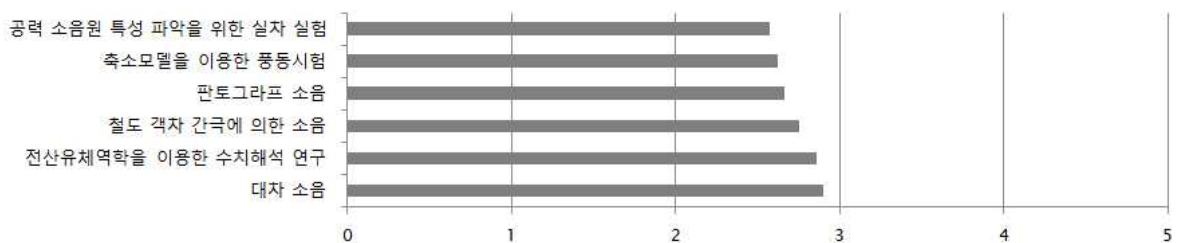
- 철도 차량의 소음 진동 기술의 국내 수준



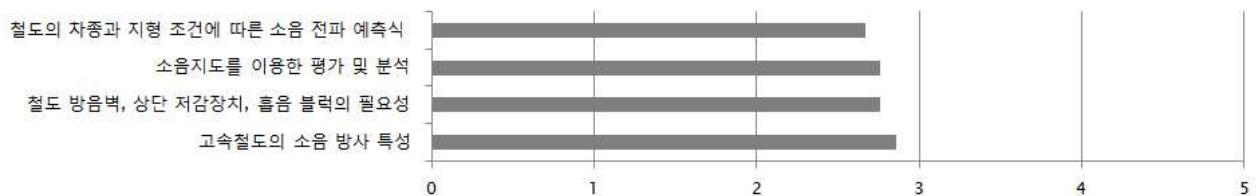
- 차륜과 레일의 인터페이스의 국내 수준



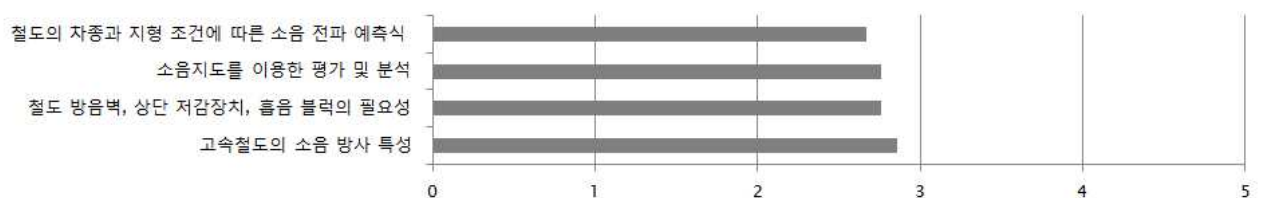
- 공력소음의 국내 수준



- 환경 소음/진동의 국내 수준



- 철도구조물 소음/진동의 국내 수준



(4) 분석 결과

○ 중요도 분석

- 해석, 예측평가 기술, 지적 보유권, 정책적인 측면이 전반적으로 중요하다고 판단하는 연구원이 많았다.
- 철도차량 소음/진동기술, 차량-레일 인터페이스, 공력소음, 환경 소음/진동의 중요도가 전반적으로 고루 퍼져 있는 것을 확인할 수 있었다.
- 철도구조 소음/진동이 전반적으로 약한 중요도를 보여주고 있으나, 설문조사 대상자의 많은 부분이 기계,소음 분야 실무자인 관계로 토목부분의 중요도에 깊이 관여하지 않아 낮은 결과를 보여주었다고 고려되고, 계속 진행되는 설문 조사에서 토목분야의 실무자의 의견도 수렴하는 것이 조사의 평균오차를 줄일 수 있다고 고려되어진다.

○ 국내 수준 분석

- 국내 현황은 각 항목에서 보여지듯 전반적으로 2-3 Point의 설정에 배치되어 있다.
- 결과적으로 국내현황은 설문조사의 의미에서 전반적으로 진보되어 있지 않으며, 시작은 하였으나 커다란 진전이 없는 답보적인 상황으로 파악될 수 있다.
- 특히, 해석,예측 평가 기술, 지적 보유권, 정책적인 보조측면이 전반적으로 낮은 통계수치가 나왔으면, 충분한 보안이 필요한 부분으로 평가할 수 있다.

나. 2차 전문가 설문조사

(1) 개요

- 일시 : 2012년 5월 17일~18일
- 장소 : 한국철도학회, 목표 신안비치호텔
- 설문조사인원: 철도 전문가 43명

(2) 평가기준

표 23 전문가 설문조사 평가기준

평가항목	정의	배점
개발 기술 중요성	기술적 목표가 도전적이며 기술개발 성공시 기존 기술 대비 개선 효과가 매우 높거나 기술의 신규성이 높아 선진국 대비 우리나라의 기술 수준을 크게 향상시킬 수 있음	1~10
연구개발 실행가능성	우리나라의 해당 분야 기술수준으로 판단할 때 전략적 기술개발투자를 통해 기술적 목표를 충분히 달성할 수 있음	1~10
기술우위성 및 도전성	국내외 기술수준과 비교할 때 해당기술이 도전할만한 가치가 있으며, 성공하면 현재 톱(top) 기술수준보다 우위에 설 수 있음	1~10

(3) 평가항목

표 24 전문가 설문조사 평가항목

기술항목	매우낮음		낮음	보통		높음		매우높음	
차량 외부소음 방사특성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
차량 실내로 전달되는 소음경로 규명	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
철도차량용 흡/차음재 개발	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
철도차량용 주요 부품대상 소음/진동 저감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
차량 동력장치 소음/진동 저감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
저소음 방음차륜 개발	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
차량 브레이크 소음/진동 저감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
철도차량용 능동댐퍼 개발	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
능동제어를 이용한 차량 실내소음 저감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
차륜/레일표면의 미세 거칠기에 의한 전동음	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
곡선부 통과 시 차륜/레일의 스컬소음	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
레일 파상마모에 의한 소음 저감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
공력 소음원 특성파악을 위한 실차시험	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
축소모델을 이용한 풍동시험	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
철도 객차간극에 의한 공력소음	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
대차에서 발생하는 공력소음	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
전산유체를 이용한 공력소음 수치해석	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
철도 방음벽, 상단 저감장치, 흡음블록 개발	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
철도 차종과 지형조건에 따른 소음전파 예측식	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
소음지도를 이용한 평가 및 분석	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
인간 청감도를 고려한 환경소음 평가방법	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
고가교 및 철교의 소음/진동 저감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
철도 지반진동 해석 및 예측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
고효율 방진 궤도시스템 설계 기술	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
저소음 체결장치 개발	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

(4) 분석방법 및 결과

- 설문지 조사결과의 분석방법은 의사결정권자들이 지원, 희망하는 결과 혹은 목표, 인력, 그룹 등 상호 연관된 복잡한 시스템에 직면하는 경우 이를 예측, 통제, 분석하는 과정에서 사용하는 의사결정 도구인 AHP(Analytical Hierarchy Process)를 이용하였음. 이 방법은 대안들을 도출하여 기획업무를 수행할 경우(예: 핵심기술 및 연구개발사업의 우선순위 설정, 프로젝트 및 프로그램의 평가 등)에 적용되고 있음.

- 소요기술의 우선순위 결정을 위한 중요한 판단기준은 연구개발의 중요성, 연구개발 실현 가능성, 기술우위성 및 도전성을 기준으로 하여, 쌍대비교를 통해 각 기준의 중요성을 평가한 후 각 기준들에 대한가치평가를 통해 우선순위를 선정하였음.
- 또한, 철도 소음/진동에 대해서 환경소음, 차량소음/진동, 인터페이스 소음/진동, 구조물 소음/진동등 4개의 분야로 구분하여 각 분야에 대해서 쌍대비교를 하여 분야별 소음/진동에 대한 중요성을 평가하였음.
- 분석결과, 철도 소음/진동 기술은 기술개발 중요성이 전체 설문조사대상가운데 50%를 차지하여 철도 소음/진동 기술은 국민을 위한 공공교통으로서 중요성이 인정되었음.
- 철도 소음/진동 분야별 설문조사 결과에서는 철도의 소음/진동원인 철도 인터페이스 소음/진동이 가장 중요한 것으로 나타났으며, 환경, 차량, 구조물 순으로 철도 소음/진동을 해결하기 위해서 중요한 것으로 나타났음.

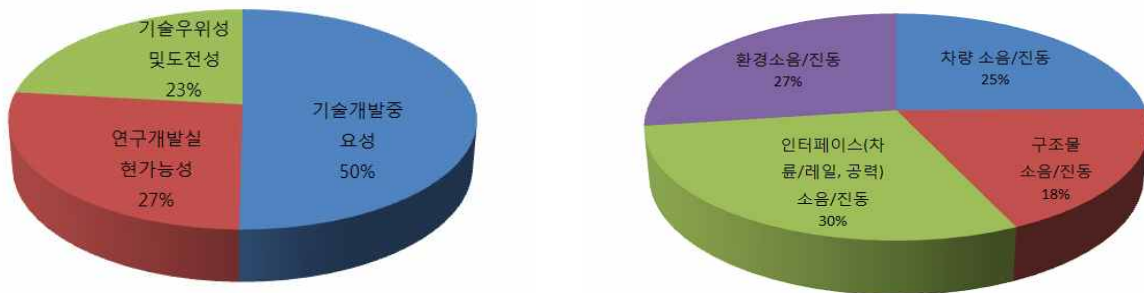


그림 75. 철도 소음/진동 기술의 사회적 중요성 및 분야별 기술 중요성의 분석결과

○ 기술개발중요성에대한 순위 결과

표 25 전문가 설문조사 기술개발 우선순위

순위	기술항목
1	곡선부 통과 시 차륜/레일의 스킵소음
2	철도 방음벽, 상단 저감장치, 흡음블록 개발
3	철도차량용 주요 부품대상 소음/진동 저감
4	철도차량용 흡/차음재 개발
5	고효율 방진 궤도시스템 설계 기술
6	차량 실내로 전달되는 소음경로 규명
7	레일 파상마모에 의한 소음 저감
8	공력 소음원 특성과악을 위한 실차시험
9	차량 동력장치 소음/진동 진동
10	차량 외부소음 방사특성
11	대차에서 발생하는 공력소음
12	철도 객차간극에 의한 공력소음
13	차량 브레이크 소음/진동 저감
14	저소음 체결장치 개발
15	고가교 및 철교의 소음/진동
16	저소음 방음차륜 개발
17	전산유체를 이용한 수치해석
18	철도 지반진동 예측식
19	인간 청감도를 고려한 환경소음 평가방법
20	축소모델을 이용한 풍동시험
21	철도차량용 능동댐퍼 개발
22	소음지도를 이용한 평가 및 분석
23	차륜/레일표면의 미세 거칠기에 의한 전동음
24	능동제어를 이용한 차량 실내소음 저감
25	철도 차종과 지형조건에 따른 소음전파 예측식

○ 연구개발 실현가능성에 대한 순위 결과

표 26 전문가 설문조사 실현가능성 우선순위

순위	기술항목
1	차량 외부소음 방사특성
2	철도차량용 능동댐퍼 개발
3	고가교 및 철교의 소음/진동
4	차량 실내로 전달되는 소음경로 규명
5	철도 방음벽, 상단 저감장치, 흡음블록 개발
6	축소모델을 이용한 풍동시험
7	능동제어를 이용한 차량 실내소음 저감
8	저소음 체결장치 개발
9	철도 지반진동 예측식
10	고효율 방진 웨도시스템 설계 기술
11	인간 청감도를 고려한 환경소음 평가방법
12	소음지도를 이용한 평가 및 분석
13	철도 객차간극에 의한 공력소음
14	철도차량용 흡/차음재 개발
15	철도 차종과 지형조건에 따른 소음전파 예측식
16	차량 브레이크 소음/진동 저감
17	레일 파상마모에 의한 소음 저감
18	곡선부 통과 시 차륜/레일의 스킵소음
19	차륜/레일표면의 미세 거칠기에 의한 전동음
20	대차에서 발생하는 공력소음
21	전산유체를 이용한 수치해석
22	철도차량용 주요 부품대상 소음/진동 저감
23	차량 동력장치 소음/진동 진동
24	공력 소음원 특성파악을 위한 실차시험
25	저소음 방음차륜 개발

○ 기술우위성 및 도전성에 대한 순위 결과

표 27 전문가 설문조사 기술우위성 및 도전성에 관한 순위

순위	기술항목
1	차량 실내로 전달되는 소음경로 규명
2	고가교 및 철교의 소음/진동
3	차량 외부소음 방사특성
4	고효율 방진 궤도시스템 설계 기술
5	저소음 체결장치 개발
6	대차에서 발생하는 공력소음
7	철도 객차간극에 의한 공력소음
8	곡선부 통과 시 차륜/레일의 스컬소음
9	철도 방음벽, 상단 저감장치, 흡음블록 개발
10	차량 동력장치 소음/진동 진동
11	소음지도를 이용한 평가 및 분석
12	철도 차종과 지형조건에 따른 소음전파 예측식
13	저소음 방음차륜 개발
14	차량 브레이크 소음/진동 저감
15	철도차량용 흡/차음재 개발
16	철도차량용 주요 부품대상 소음/진동 저감
17	인간 청감도를 고려한 환경소음 평가방법
18	전산유체를 이용한 수치해석
19	철도차량용 능동댐퍼 개발
20	능동제어를 이용한 차량 실내소음 저감
21	차륜/레일표면의 미세 거칠기에 의한 진동음
22	공력 소음원 특성파악을 위한 실차시험
23	철도 지반진동 예측식
24	축소모델을 이용한 풍동시험
25	레일 파상마모에 의한 소음 저감

○ 종합결론 순위

표 28 설문조사 우선성 종합 결론

순위	기술항목
1	철도 방음벽, 상단 저감장치, 흡음블록 개발
2	곡선부 통과 시 차륜/레일의 스킬소음
3	차량 실내로 전달되는 소음경로 규명
4	능동제어를 이용한 차량 실내소음 저감
5	고효율 방진 궤도시스템 설계 기술
6	철도차량용 흡/차음재 개발
7	고가교 및 철교의 소음/진동
8	철도차량용 주요 부품대상 소음/진동 저감
9	축소모델을 이용한 풍동시험
10	차량 동력장치 소음/진동 진동
11	철도 객차간극에 의한 공력소음
12	대차에서 발생하는 공력소음
13	레일 파상마모에 의한 소음 저감
14	차량 브레이크 소음/진동 저감
15	철도차량용 능동댐퍼 개발
16	공력 소음원 특성과악을 위한 실차시험
17	인간 청감도를 고려한 환경소음 평가방법
18	소음지도를 이용한 평가 및 분석
19	철도 지반진동 예측식
20	철도 차종과 지형조건에 따른 소음전파 예측식
21	저소음 방음차륜 개발
22	전산유체를 이용한 수치해석
23	차량 외부소음 방사특성
24	저소음 체결장치 개발
25	차륜/레일표면의 미세 거칠기에 의한 진동음

표 29 차량 소음/진동 저감기술분야 순위

순위	기술항목
1	차량 실내로 전달되는 소음경로 규명
2	특성능동제어를 이용한 차량 실내소음 저감
3	철도차량용 흡/차음재개발
4	철도차량용 주요부품 대상 소음/진동저감
5	차량 동력장치 소음/진동
6	차량 브레이크소음/진동저감
7	철도차량용 능동댐퍼 개발
8	저소음 방음차륜 개발
9	차량 외부소음 방사

표 30 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 분야 순위

순위	기술항목
1	곡선부 통과 시 차륜/레일의 스킵소음
2	철도 객차간극에 의한 공력소음
3	대차에서 발생하는 공력소음
4	레일 파상마모에 의한 소음 저감
5	공력 소음원 특성과악을 위한 실차시험
6	전산유체를 이용한 수치해석
7	차륜/레일표면의 미세 거칠기에 의한 전동음

표 31 철도 인프라 소음/진동 저감기술 분야의 순위

순위	기술항목
1	철도 방음벽, 상단 저감장치, 흡음블록 개발
2	고효율 방진 궤도시스템 설계 기술
3	고가교 및 철교의소음/진동
4	축소모델을 이용한 풍동시험
5	인간 청감도를 고려한 환경소음 평가방법
6	소음지도를 이용한 평가 및 분석
7	철도 지반진동 예측식
8	철도 차종과 지형조건에 따른 소음전파 예측식
9	저소음 체결장치 개발

3. 국내연구기관에서 수행한 소음/진동관련 연구 조사 및 분석

- 1997 ~ 2012년까지 한국철도기술연구원에서 수행한 철도 소음/진동관련 연구보고서를 조사 분석하였음. 연구주제별로 분석한 결과 환경소음과 차량 실내소음관련 연구보고서가 60%이상 차지하고 있으며, 그 외에 분야에서는 연구 거의 미비하게 수행되었으며, 연구내용별로 분류하면 철도 소음/진동의 측정 및 평가 혹은 해석 및 예측 등이 65%정도 수행되었으며, 문제점에 대한 저감대책을 세우는 연구도 약 26%정도 차지하고 있으며, 철도 소음/진동 기술개발에 대한 연구는 약 7%로 대부분의 연구가 소음/진동에 대한 문제점 해결을 위한 연구로 편중되어있음을 알 수 있고, 기술개발에 대한 연구는 미비한 것으로 나타났다.

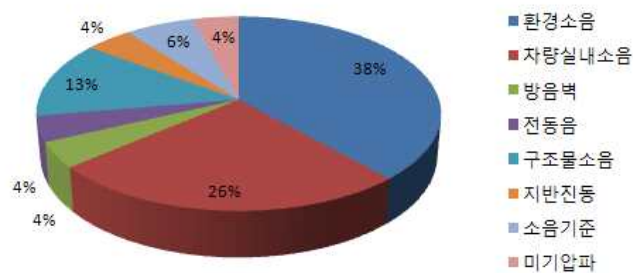


그림 76. 철도 주제별 연구 보고서 분포

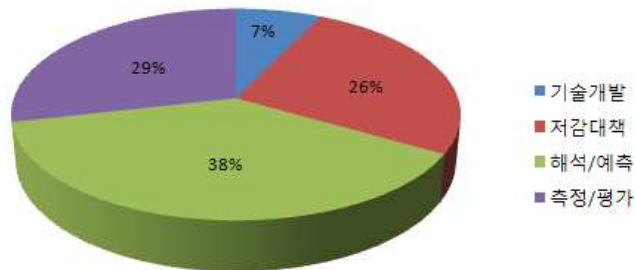


그림 77. 소음/진동 연구내용별 연구 보고서 분포

표 32 국내 연구기관에서 수행한 소음/진동관련 연구목차

보고서명	연구책임자	발주기관	연구 분야
철도 소음진동의 효율적 저감방안 연구 (1차년도)	신민호	철도청	방음벽, 환경소음평가
고속전철 소음저감기술개발	황철호	건교부, 산자부, 과기부	소음예측
진동 소음해석 및 저감기술 개발	박철휘	건교부, 산자부, 과기부	차량실내소음
전동차 차내소음원 규명 및 저감대책 연구보고서	최성규	건설교통부	차량실내소음

보고서명	연구책임자	발주기관	연구 분야
전동차 공기조화시스템 연구보고서	최성규	건설교통부	차량실내소음
철도 소음진동의 효율적 저감방안 연구 (2차년도)	황선근	철도청	구조물소음
경인선 방음벽 설치를 위한 음향기본 설계	조준호	철도청	방음벽
경춘선 조종천 2교 연변 소음 진동 예측	조준호	동명기술공단	환경소음예측
차륜/레일의 전동음 저감방안 연구	김재철	기관고유사업	전동음
철도 소음진동의 효율적 저감방안 연구	황선근	기관고유사업	역사소음
방음터널의 소음저감효과에 관한 연구	나희승	포항산업과학연구원	방음벽
표준전동차 차실 내부 소음 특성 연구	김정태	건설교통부	차량실내소음
고속전철 시스템 엔지니어링 기술개발 (2단계 1차년도)	정홍채	건교부,산자부,과기부	소음기준, 소음예측
G7 고속철도 터널 공력설계 및 터널 후드개발	김동현	한국철도기술연구원	미기압파
철도 소음진동의 효율적 저감방안	황선근	기관고유사업	소음 저감대책
전라선 용당고가교 인근 소음 진동 저감대책에 관한 연구	엄기영	철도청	소음 저감대책
지하철 9호선 9-10공구내 열차운행시 연변 소음, 진동영향평가	황선근	동일기술공사	환경소음 및 지반진동 평가
고속전철 시스템 엔지니어링 기술개발 (2단계 2차년도)	김기환	건교부,산자부,과기부	소음기준
철도소음 저감용 방음벽 상단 간섭장치의 성능평가 연구	조준호	유니슨산업주식회사	방음벽
철도 대기환경 최적화 및 소재성능향상 분야	정우성	한국철도기술연구원	환경소음 저감대책
G7 고속철도 터널 공력설계 및 터널 후드개발	김동현	건교부	미기압파
터널 내부 소음저감을 위한 흡음기술 개발 연구보고서	조준호	건설교통부	소음 저감대책
곡선부 소음 저감대책 (보고서 부록)	양신추	서울시지하철공사	방음벽, 구조물소음, 소음 저감대책
고속철도 차량 주행특성 연구	김재철	고속철도건설공단	차량실내소음
고속전철 시스템 엔지니어링 기술개발 (최종보고서)	박춘수	건교부,산자부,과기부	소음기준, 차량실내소음예측
철도차량의 실내소음 해석 및 전동음	김재철	철도청	차량실내소음예측

보고서명	연구책임자	발주기관	연구 분야
예측			
시속 180 KM/H급 틸팅EMU 운행시 환경소음예측연구	황철호	한국철도기술연구원	환경소음 예측
천안아산역사 진동소음 계측보고서	이준석	고속철도건설공단	역사소음
지능형 패널의 차음특성 해석 및 측정 시스템 구축방안 연구	최성훈	한국철도기술연구원	차량실내소음 저감대책
틸팅열차에 의한 환경소음 예측 연구 (3차년도)	황철호	철도청	환경소음 예측
터널 주행 시 KTX차량의 실내소음 저 감방안 도출을 위한 기초영역	김재철	철도청	차량실내소음 저감대책
차량 성능향상 핵심기술 개발	이찬우	한국철도기술연구원	환경소음예측
곡선부 소음에 대한 발생 메커니즘 규 명 및 예측방안 연구	김관주	한국철도기술연구원	전동음
KTX 차량 운영 현안에 대한 고속철도 기술자문	서승일	한국철도공사	차량실내소음 저감대책
철도소음원 특성규명 및 환경소음 예 측모델 개발: 소음진동 배출 특성 및 음질 평가 관리기술	조준호	환경부	환경소음예측
차량 성능향상 핵심기술 개발	이찬우	한국철도기술연구원	환경소음 평가
용인경량전철 민간투자시설사업의 교 량 소음/진동 분석 용역	김성일	대림산업주식회사	구조물소음 평가
고성능강 적용 철도교의 진동 및 소음 성능평가 연구	김성일	포항산업과학연구원	구조물소음 평가
철도차량 성능향상 기술개발	구병준	한국철도기술연구원	환경소음 평가
400km/h 고속철도 소음원 모델 구축 및 소음원 기여도 분석기수 개발	고효인	한국건설기술평가원	고속철도 소음예측
고속철도의 실내음질평가 및 음질 인 텍스 개발	박준홍	한국건설기술평가원	고속철도 실내소음 음질 평가
철도 소음진동 저감대책 수립을 위한 영향예측 방안연구	황선근	한국철도시설공단	지반진동 및 환경소음 예 측

제2절 세부과제 및 중장기 과제 도출

1. 세부과제 및 소요기술 도출

- 본 기획에서 제시한 비전 및 목표에 따라 철도 소음/진동 저감기술을 효과적으로 개발하기 위하여, 차량 소음/진동 저감기술, 철도 인터페이스 저감기술 및 인프라 소음/진동 저감기술 개발의 3개 세부과제로 도출하였음.
- 각 세부과제는 설문조사 및 자문회의 등을 통해서 기술개발의 효율성을 위하여 각각 3개의 공동과제를 포함하고 있음.

표 33 세부과제별 소요기술

세부과제	세부기술	소요기술
차량 소음/진동 저감기술	고속철도차량의 제동 스킨소음 저감기술	제동 스킨소음 해석 및 시험평가 기술 ◆ 저소음 제동패드 개발 기술
	고속철도차량 적층재의 중량 대비 차음 및 제진 성능 향상을 위한 기술	◆ 차체 바닥구조의 방음/방진 최적화 기술 ◆ 차량 흡/차음재의 재질 및 위치 최적화 기술 ◆ 차량 실내소음 예측 및 기여도 분석기술 ◆ 압전필름을 이용한 스마트 차음재 설계
	고속 철도 차량 실내 소음/진동 제어기술	◆ 마스킹 효과를 이용한 실내소음 제어기술 ◆ 신개념 댐퍼를 이용한 차량진동 저감기술
철도 인터페이스 소음/진동 저감기술	공력소음 저감기술	◆ 공력 소음원 해석 및 시험 기반 기술 ◆ 철도 공력 소음 저감 기술
	차륜/레일 인터페이스 소음/진동 저감기술	◆ 곡선부 소음/진동 원인규명 및 해석기술 ◆ 진동소음 예측 및 저감기술
	차륜/레일 파상마모에 의한 소음 저감기술	◆ 차륜/레일 파상마모 관리 시스템 구축 ◆ 레일 파상마모 저감을 위한 예측 모델 구축 및 관련 해석 기술
철도 인프라 소음/진동 저감기술	궤도 소음/진동 저감기술	◆ 횡-궤도-교량 상호작용을 고려한 소음/진동 예측기술 ◆ 횡-궤도-지반 상호작용을 고려한 소음/진동 예측기술 ◆ 저진동/저소음 궤도 시스템 기술
	철도 지반 및 교량 소음/진동 저감기술	◆ 궤도구조 근접지반 진동 원천 해석기술 ◆ 지반 진동저감/차단 설계 및 시공기술 ◆ 철도교량의 형식별 소음/진동 성능 평가 기술 ◆ 저소음·저진동 교량의 prototype 개발
	철도변 3차원적 환경소음 저감기술	◆ 고효율 방음벽 개발 ◆ 철도용 방음터널 개발 ◆ 궤도용 흡음블럭 개발 ◆ 철도변 고층의 주거 및 정온시설의 세대별 소음도 예측을 위한 GIS기반의 소음지도 제작도구 및 평가방법 개발

2. 중장기 개발과제 도출

- 상기 3개의 세부과제에 대한 세부기술 현재 고속철도와 도시철도 구간에서 레일의 파상마모에 의한 소음은 커다란 문제로 대두되고 있지만, 국내에서는 아직 연구되지 않았기 때문에 이러한 소음문제를 해결하기 위해서는 중장기적 계획을 세워 저감 및 해결방안을 세워야 할 것으로 판단됨.

3. 기존 기술과의 차별성

(1) 철도차량 소음/진동 저감기술

- 철도차량에 대한 소음/진동 저감기술은 차량 제작사를 중심으로 고속차량개발 시 차체의 방음/방진에 대한 연구가 진행되었으나, 바닥의 방음/방진 구조에 대한 연구는 유럽과 일본의 설계기술에 못 미치고 있음
- 또한 차량 제작 시 설계단계부터 저소음/저진동을 고려한 해석 및 평가기술이 미흡한 단계에 있기 때문에 차량을 완성하여 운행 시 소음/진동에 대한 문제가 빈번히 발생하고 있음.

(2) 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술

- 현재 국내에서는 차륜/레일에 의한 소음/진동에 관한 연구가 거의 진행되고 있지 않기 때문에 이러한 소음/진동의 저감방안에 대한 체계적인 연구가 요구되고 있음. 차륜/과 레일의 표면 거칠기에 의해서 발생하는 전동음, 곡선구간 통과 시 발생하는 스킬소음 및 레일의 파상마모에 의해서 발생하는 소음에 대한 연구 사례가 거의 없는 상태여서 철도차량에서 이러한 소음/진동에 대한 문제가 발생되면 저감방안을 해외의 연구사례나 저감방안 등에 의존할 수밖에 없음. 이러한 상황을 고려한다면 차륜/레일에 의해서 발생하는 소음/진동 저감을 위한 기술개발을 위한 연구가 조속히 요구되고 있음.
- 현재 고속차량이 고속화되면서 공력소음 문제는 빈번하게 대두되고 있지만, 차량의 공력소음을 해석하는 기술은 국외의 상용S/W에 의존하고 있으며, 정확하게 공력소음을 해석할 수 기술은 확보되지 않은 상태에 있음.
- 이러한 해석기술이 확보되지 않았기 때문에 차량 개발 시 효과적으로 공력소음을 저감할 수 있는 방안도 미흡한 단계임.

(3) 철도 인프라 소음/진동 저감 기술

- 국내에 적용된 저소음/저진동 궤도시스템은 국외에서 개발된 궤도시스템을 적용하였을 뿐, 국내기술에 의해서 저소음/저진동 궤도시스템을 개발하여 상용화한 연구는 미흡한 상태에 있음.
- 또한, 고가교 및 교량과 같은 철도 구조물에 대한 저소음/저진동 기술은 체계적으로 연구가 진행되지 않아서, 소음/진동에 효율적인 구조물 설계가 이루어지지 않고 있음.
- 효율적이고 경제적인 레일 음향조도 관리를 통하여 선로변 소음도 저감기술은 국내에서는 레일 또는 차륜에 대한 음향조도 측정 및 관리 기법 연구를 수행한 바 없음.
- 음질 관점의 소음 저감 목표 수립 및 소음저감 대책 적용을 통하여 선로변 민원 발생 저감

및 열차 내 승객의 승차감 및 쾌적성 향상을 위한 연구는 음질 평가 기법과 관련한 연구가 수행된 바 있으나 철도 구성품별 음질 DB 구축과 소음 합성을 통한 음질 모사 기술 연구가 수행된 바 없음.

- 자동차분야에서는 음질 평가 기법과 관련한 연구는 수행된 바 있으나 철도 소음과 관련하여 음질평가 기법이 적용된 연구는 미비한 상태이기 때문에 철도연변 주민과 승객에게 커다란 불쾌감을 주는 영향인자를 파악 및 분석하는 연구가 요구되고 있음.
- 본 과제에서 개발 예정인 기술은 현재 미흡한 저감기술 혹은 국내에서 발생하는 소음/진동 문제를 저감시키지 못하는 기술 등과 함께, 타 분야에서는 이용되는 저감기술을 철도분야에 적용하는 새로운 기술 및 신개념을 도입한 저감기술을 발굴하여 철도 소음진동 저감 원천기술의 개발을 추진할 것임. 따라서, 본 기획과제를 통해서 기존의 소음/진동 기술과 차별이 되도록 연구항목, 목표 및 추진체계를 설정할 것임.

표 34 기존기술과 개발 예정인 기술의 차이점

기존의 소음/진동 기술	개발 예정인 소음/진동 기술
◆ 현재 철도차량 및 궤도시스템 개발 혹은 문제점 발생 시 철도 분야에서 이용되는 소음/진동 기술	◆ 기존의 미흡한 소음/진동 저감기술의 Up-grade된 기술 ◆ 타 수송분야에서 이용되는 소음/진동 저감 기술을 철도분야에 적용한 새로운 기술 ◆ 신개념의 철도 소음/진동 기술

제3절 사업의 구조

- 본 기획의 방향은 철도 소음진동을 저감시키기 위한 원천기술을 개발하는 과제로서 230억 원의 정부출연금으로 5년의 연구기간이 소요되므로 연구단의 형태로 추진하는 것을 제안 하였으며, 연구단 내에는 3개의 세부과제와 9개의 세부과제로 구성하였음.
- 1세부과제는 “차량 소음진동 저감기술” 과제로 철도차량을 설계단계에서부터 저소음/저진동 차량을 설계할 수 있는 기술을 구축하며, 차량 운행 시에 발생하는 소음진동 문제를 해결할 수 있는 기술을 확보하는 것이 목표임.
- 2세부과제는 “철도 인터페이스 소음진동 저감기술” 과제로 차량과 환경, 차량과 궤도 사이에서 발생하는 소음진동을 저감시키는 것이 목표임. 철도시스템에서 차량과 궤도사이의 인터페이스 문제는 차량 제작사와 철도 건설사가 해결하지 않는 영역으로 인터페이스에 대한 원천기술을 개발을 통해서 친환경적인 철도시스템을 구현할 수 있음.
- 3세부과제는 “철도 인프라 소음/진동 저감기술” 과제로 철도 연변지역의 소음진동을 시키기 위한 원천기술을 개발하는 것이 목표임. 점차 철도 연변지역에서 소음진동에 대한 민원이 증가하고 있어 향후 민원해결에 커다란 역할을 할 것으로 판단됨.

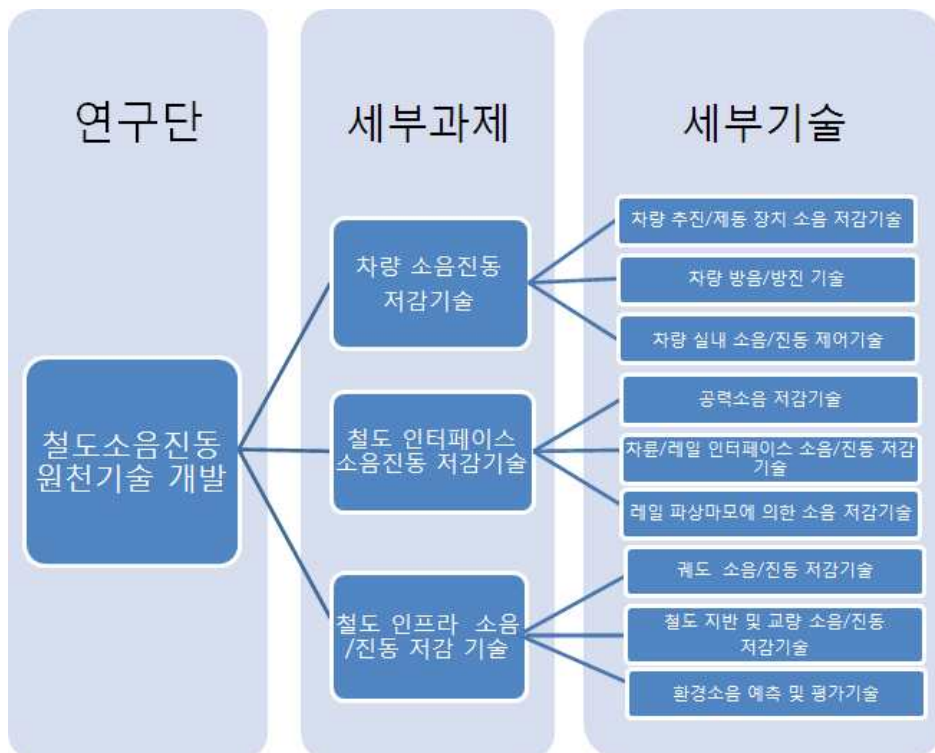


그림 78. 연구단 세부 구성도

제4장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

1. 비전

- 정부는 저탄소 녹색성장기본법(안)에 따라 철도여객수송 분담률 목표 30%(2050년 목표수준) 달성을 위해서 철도 중심의 녹색기간교통망을 확충(복선화 및 전철화)하여 녹색교통 네트워크를 확대하는 추진전략 발표.
- 2013년 예상 철도 여객수송 분담률은 22%로 2050년까지의 목표수준 30%달성을 위해서는 철도교통망의 효율화 및 안전성, 편의성 개선이 요구되며 철도교통의 편의성 및 친환경성 향상을 위해서는 철도 소음/진동에 대한 저감대책이 요구됨.
- 철도정책 비전을 반영하고 정책목표를 달성하기 위해서는 친환경적인 철도 구축을 위한 기술개발과 적용이 요구됨.
- 이러한 친환경적인 철도 구현을 위해서는 환경소음 및 차량의 쾌적성을 향상시키는 종합적인 원천기술이 필요함.
- 차량, 철도 인터페이스, 철도 인프라 등에 대한 종합적인 소음/진동 저감방안을 구축하기 위한 독보적인 기술을 이룩해야함.



그림 79. 연구개발과제 구성 및 추진전략

2. 연구목표 및 세부과제별 목표

가. 최종목표

- 철도 소음/진동 원천기술을 달성하기 위해서 핵심 기술 분야를 고려해 보면 다음과 같이 서술할 수 있음.
- 철도차량 소음/진동 해석 및 저감기술
- 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 해석 및 저감기술
- 공력소음 해석 및 저감기술
- 철도 인프라 소음/진동 해석 및 저감기술
 - 철도 환경소음 평가 및 저감기술

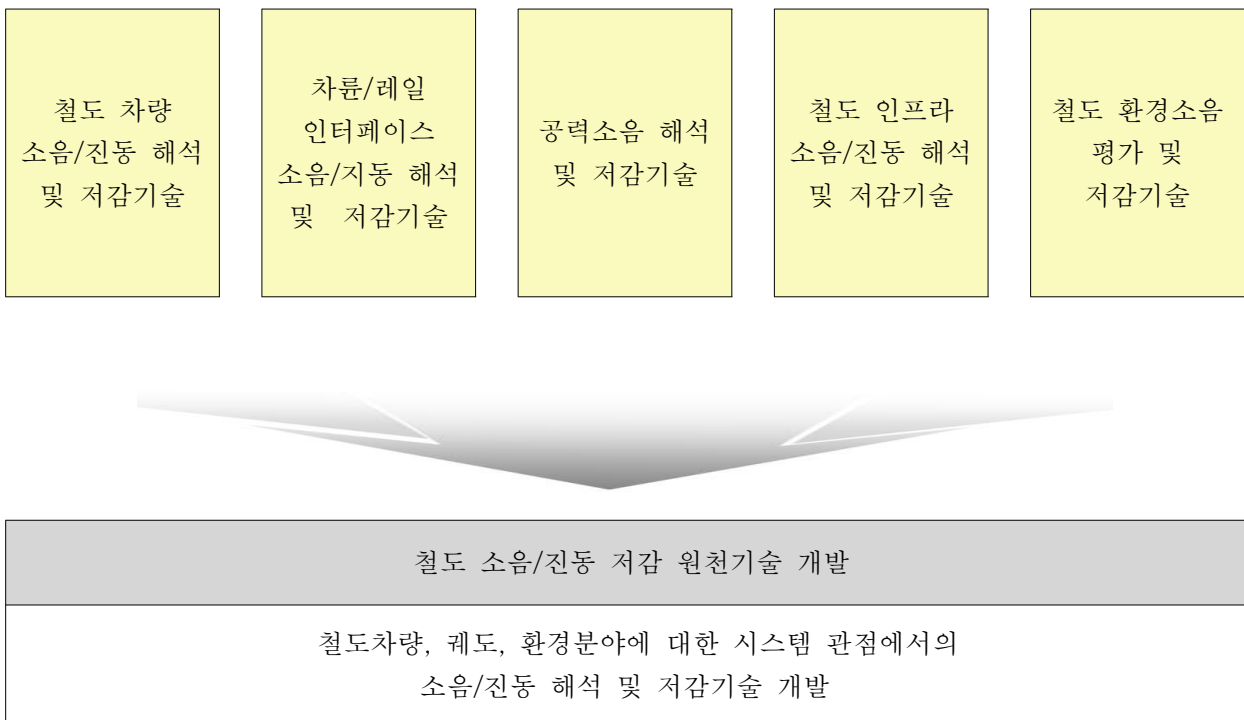


그림 80. 철도 소음/진동 저감 원천기술 개발 기획과제의 연구개요

- 철도 소음/진동의 저감을 위한 차량, 궤도 및 환경분야의 종합적인 소음/진동 원천기술 개발.

가. 세부과제별 목표

- 본 과제를 통해서 철도 소음/진동 저감을 위한 원천기술을 개발하는 것으로서, 이러한 최종목표를 달성하기 위해서 각 세부기술별로 다음과 같이 정량적 목표를 설정하여 저감기술을 개발함.

제1세부과제 철도 차량 소음/진동 저감기술

- 차량 실내 소음 최고 5dB(A) 저감
- 차량 외부 소음 최고 5dB(A) 저감

제2세부과제 철도 인터페이스 소음/진동 저감 기술

- 공력 소음 최고 5dB(A) 저감
- 차륜/레일에 의한 소음 약 4dB(A)저감 및 순음성분 10dB(A) 까지 저감

제3세부과제 철도 인프라 소음/진동 저감 기술

- 전달 및 발생 소음 3- 5dB (A) 저감
- 환경 소음 5dB(A) 저감

그림 81. 세부 과제별 목표

제2절 기술개발에 따른 미래상

1. 세부과제 1의 미래상

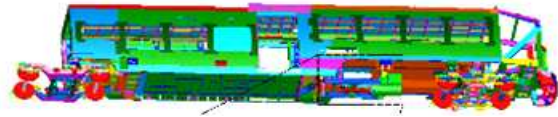
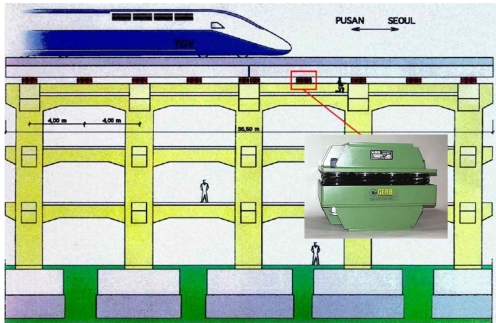


그림 82. 철도 차량 소음/진동 저감기술 예

- 철도차량 제작 시 설계단계에서부터 저소음/저진동 차량의 설계에 의한 차량 운행 시 소음/진동 문제 해결 및 차량의 수출 증대.
- 철도차량에서 방사되는 소음 저감으로 인한 승객 및 인근연변지역 주민의 민원 해소.
- 국내에서 개발된 효율적인 철도 차량 실내소음 해석 및 예측기술의 해외이전 및 상업화.

2. 세부과제 2의 미래상

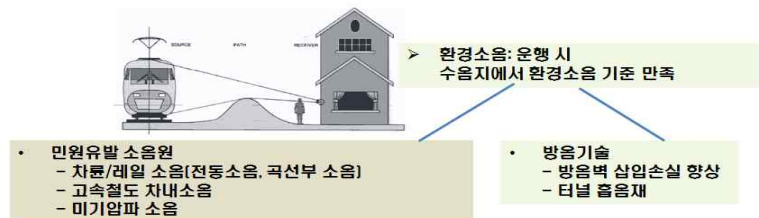


그림 83. 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 예

- 스킨소음 해석 및 예측기술을 이용한 곡선부 스킨소음 저감에 의한 인근지역주민의 민원 및 피해보상 해소.
- 스킨소음 저감기술을 통한 곡선부 차륜 및 레일마모 저감에 의한 철도 운영사의 유지보수 절감을 통한 경영 효율화 증대.
- 레일 파상마모 저감을 이용하여 철도차량의 실내소음 저감을 실현함으로써 승객의 안락성 제공을 통한 민원해소.
- 레일 파상마모 저감기술을 구축함으로써 국외의 레일 파상마모 문제 해결을 위한 기술자

문 및 수출을 함으로서 국내 철도기술의 선진화를 이룩.

- 공력소음 저감기술을 이용하여 향후 고속차량 개발 시 전두부 형상 및 판토크래프 등 공력소음 발생위치의 저소음 형상 설계를 통한 환경소음 저감.

3. 세부과제 3의 미래상

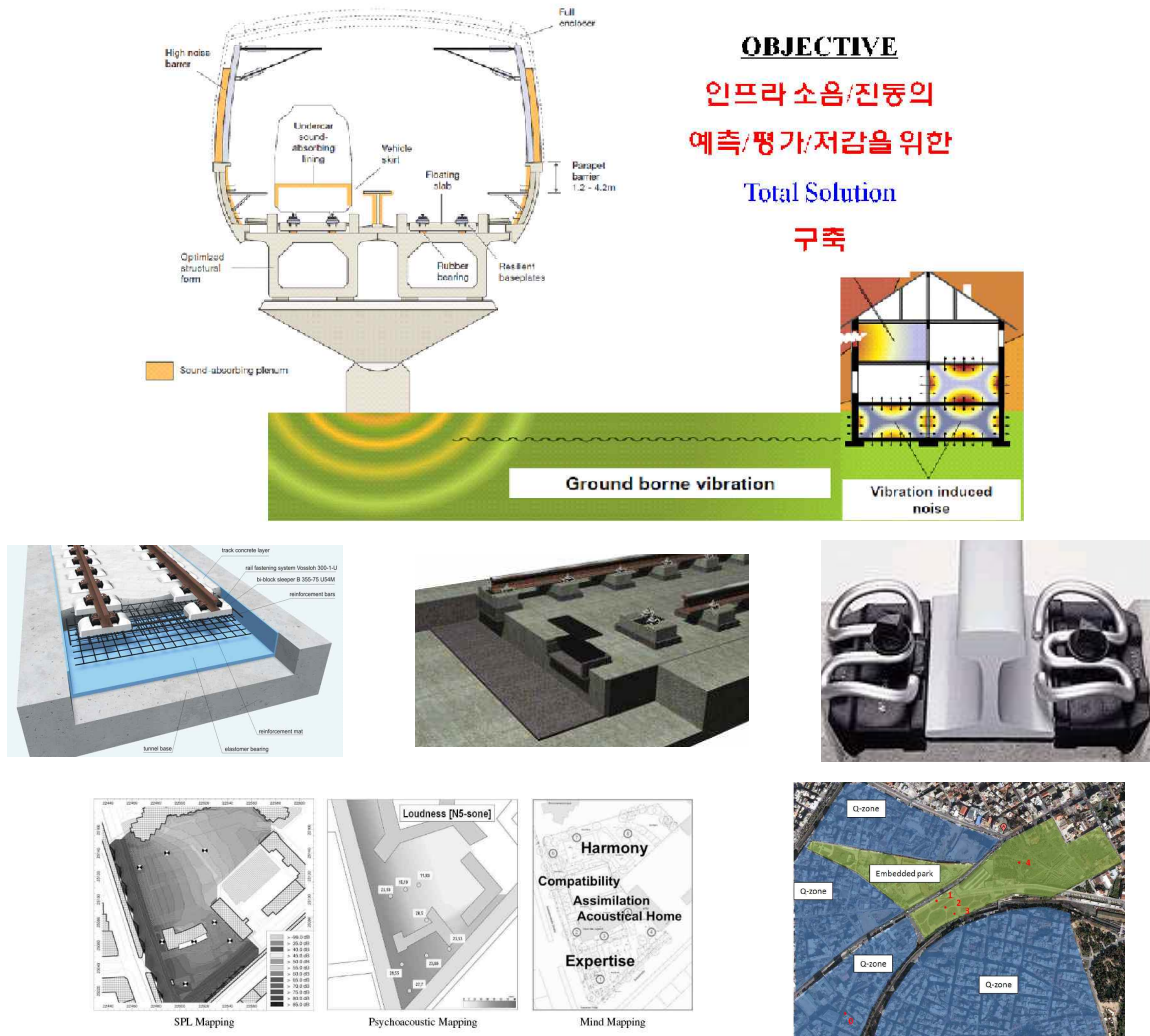


그림 84. 철도인프라 소음/진동 및 환경소음 저감기술

- 효율적 철도소음 예측기술과 방음시설 설계 및 자문 기술 해외이전 및 상업화.
- 저진동/저소음 궤도 시스템 기술을 이용한 궤도 신설 및 개량 시 국내 기술에 의한 저소음 궤도 시스템 시공.
- 현재 운행 중인 고속철도 구간 및 향후 운행예정인 경량전철의 콘크리트 고가교의 소음 저감방안 제시.
- 구조물(철교, 고가교)의 소음/진동 기술을 이용하여 과거 건설된 철교 및 고가교의 저소음/저진동 방안을 도출.

- 철도 운행구간의 소음맵을 구축함으로써 건물 및 아파트 건설시 정확한 환경소음 평가를 실시하여 환경관련 민원 등의 사유로 계획이 완료된 고속철도 공사 지연에 따른 시간 비용 및 운영비 증가와 승객 미확보로 얻는 손실 비용 절감.

제3절 연구개발과제 구성

- 철도 소음/진동 저감 원천기술개발 사업은 철도차량, 궤도 및 환경분야에 대해서 종합적인 시스템 측면에서 철도 소음/진동을 저감할 수 있는 기술을 개발하고자 함.
- 본 개발 과제의 목표는 철도 소음/진동 저감 원천기술 개발을 통해서 철도 소음/진동을 차량, 궤도 및 환경분야에 걸쳐서 종합적이고 시스템적으로 저감할 수 있는 기술을 개발하는 것이 중요한 연구목표임.
- 이러한 연구개발 목표를 달성하기 위해서는 산학연의 의견을 반영하여 국내 철도 소음/진동 저감을 위한 기술과 함께 개발된 기술을 적용하기 위한 시스템적인 역할이 중요함.
- 이를 위하여 철도 차량 소음/진동 저감기술 연구, 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 연구, 철도 인프라 소음/진동 및 환경소음 저감기술 연구의 3개 세부과제를 기술개발 추진하고자 함.

철도 차량 소음/진동 저감기술 연구	철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 연구	철도 인프라 소음/진동 저감기술연구
◆ 차량 추진/제동장치 소음 저감기술 ◆ 차량 방음/방진 기술 ◆ 철도 차량 실내 소음/진동 제어기술	◆ 공력소음 저감기술 ◆ 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 저감기술 ◆ 레일 파상마모에 의한 소음 저감기술	◆ 궤도 및 지반진동 저감기술 ◆ 철도 구조물 소음/진동 저감기술 ◆ 환경소음 저감기술

제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

- 본 사업은 4개의 과제로 수행되지만 철도 환경소음/진동 저감에 중점을 두고 개발되는 과제로서 개발된 기술의 적용성을 고려하면 과제간 유기적 연계성 있음.
- 이러한 과제간 연계성 및 시너지 효과를 위해 기술개발 방향 및 활용방안에 대한 추진전략을 조정해야 하기때문에 연구단의 역할이 중요하며, 최종 개발되는 기술이 목표에 부합하는지 지속적인 모니터링과 점검이 필요함.

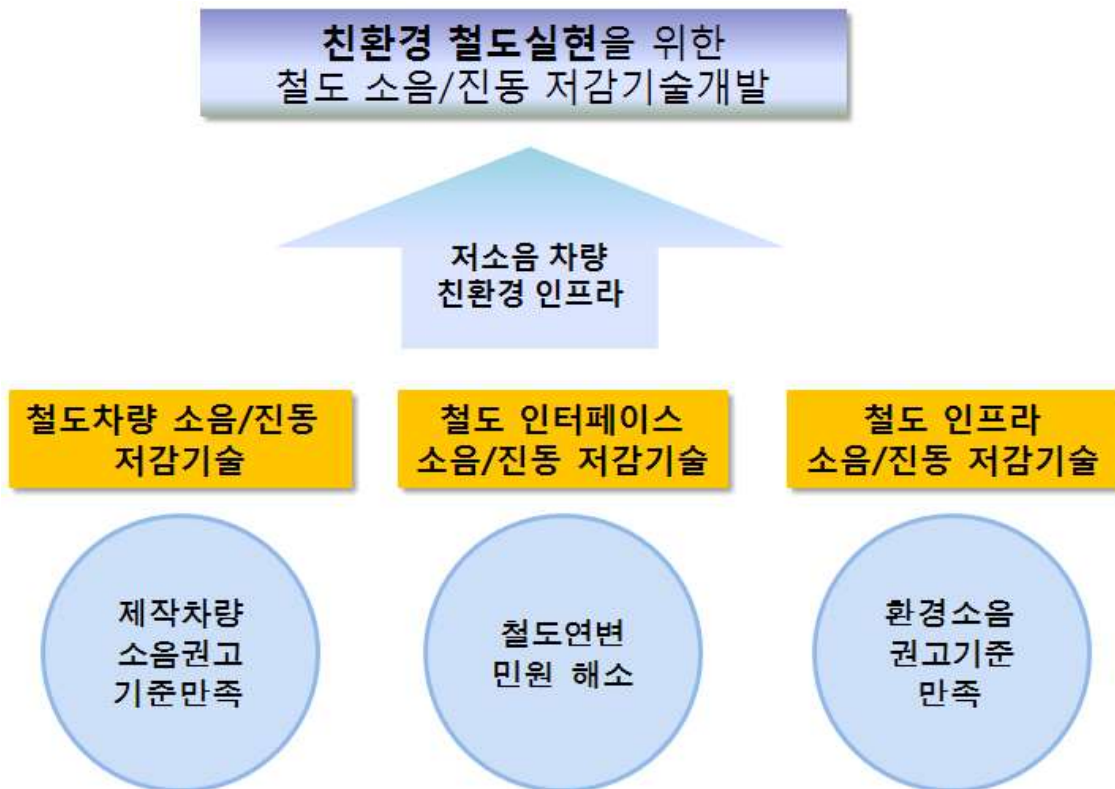


그림 85. 기술개발 방향 및 활용방안에 대한 추진전략

1. 철도 차량 소음/진동 저감기술 연구분야

가. 연구개발 목표

(1) 최종목표

- 철도 차량 실내소음 5dB(A) 저감 및 실외소음 6dB(A) 저감

(2) 세부목표

- 차량 추진/제어 소음/진동 저감기술 개발
- 차량 방음/방진 기술 개발
- 차량 실내 소음/진동 제어기술 개발

나. 연구개발 필요성

- 철도차량의 경량화, 고속화에 따라서 철도소음의 노출인구율은 증가하게 됨
- 타 교통수단과의 경쟁력 확보를 위한 친환경 철도차량의 필요.
- 향후 개발되는 차량의 저소음/저진동 설계기술의 필요

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 기존 연구개발 결과를 토대로 타 연구개발과 차별화되는 철도 소음/진동 저감기술을 개발할 수 있도록 사업의 관리 및 목표지향적 사업 운영 과제로 기술관리

2. 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 연구분야

가. 연구개발 목표

(1) 최종목표

- 공력소음 5dB(A) 저감, 차륜/레일에 의한 소음 3dB(A)~10dB(A) 저감

(2) 세부목표

- 공력소음 저감기술 개발
- 차륜/레일에 의한 소음 및 곡선부 스킵소음 저감기술 개발
- 차륜/레일에 의한 이상마모에 의한 소음/진동 저감기술 개발

나. 연구개발 필요성

- 차량이 고속화되면서 차량의 실내소음은 공력소음에 의해서 급격히 증가함.
- 철도차량이 곡선부 통과 시 승객 및 인근 거주민에게 신경을 자극하는 커다란 소음을 발생시켜 많은 민원이 제기되고 있음.
- 국내 도시철도 구간에서는 레일의 파상마모가 많이 발생하고 있으며, 이로 인해서 발생하는 소음은 일반구간보다 약10dB(A)이상의 커다란 소음이 발생됨.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 기존 연구개발 결과를 토대로 타 연구개발과 차별화되는 철도 소음/진동 저감기술을 개발할 수 있도록 사업의 관리 및 목표지향적 사업 운영 과제로 기술관리

3. 철도 인프라 소음/진동 저감기술 연구분야

가. 연구개발 목표

(1) 최종목표

- 철도 인프라를 통해서 전달되는 소음/진동 3~5dB 저감 및 발생 소음 3~5dB(A) 저감

(2) 세부목표

- 궤도 및 지반 소음/진동 저감기술 개발
- 철도 교량 소음/진동 저감기술 개발
- 환경소음 저감기술 개발

가. 연구개발 필요성

- 친환경 철도를 구현하기 위해 환경정책기본법등 소음/진동에 대한 기준이 점차 강화되고 있음.
- 도시의 고층화로 인해 방음벽을 이용한 방음기술은 한계가 있으며, 지속적인 민원이 제기되고 있음.
- 2012년부터 제작차량에 대한 환경소음기준이 설정되어 시행되고 있으며, 2017년에는 소음 권고기준이 한층 강화되어 실시될 예정임.

나. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 기존 연구개발 결과를 토대로 타 연구개발과 차별화되는 철도 소음/진동 저감기술을 개발할 수 있도록 사업의 관리 및 목표지향적 사업 운영 과제로 기술관리.

	세부과제	세부기술	현황 및 문제점	저감목표	연구내용
철도 소음/진동 저감 원천기술	차량 소음/진동 저감기술	차량 추진/제동장치 소음 저감기술	- KTX 정차시 발생하는 제동 스킵 소음 - KTX 및 KTX-산천차량의 모터에서 발생하는 소 음 - 도시철도차량 가감속시 발생하는 추진장치에서 발생하는 소음	- KTX 제동소음 10dB(A)이상 저 감기술 - 주요 차음재 차음성능 3dB~5dB 저감기술	- 철도차량 제동 시 발생하는 소음 저감기술 - 추진장치에서 발생하는 소음/진동 저감기술
		고속철도차량 적층재의 차음 및 제진 성능 향상을 위한 기술	- 승차감 향상을 위한 실내소음 저감 요구 - 콘크리트 터널 통과 시 차량 실내소음 증가	- 차량 실내소음 3dB(A) 저감기술	- 차량외부에서 유입되는 소음 차단기술 - 차량 소음원에서 전달되는 진동 예측 및 저감기 술
		차량 실내 소음/진동 제어기술	- 승차감 향상을 위한 KTX 및 KTX-산천차량의 실내소음/진동 저감 요구	- 차량 실내소음/진동 제어에 의한 승차감 향상	- 차량 실내소음/진동을 능동적 혹은 반능동적 제 어기술
	철도 인터페이스 소음/진동 저감기술	차량/환경 인터페이스 소음 저감기술	- 고속차량 주행 시 관토티프, 전두부 및 차량사 이에서 에서 발생하는 공력소음	- 고속차량에서 발생하는 공력소음 5dB(A) 저감기술	- 고속차량의 관토티프, 전두부 및 차량사이에서 발생되는 소음 예측 및 저감 기술
		차륜/레일 접촉에 의한 소음/진동 저감기술	- 곡선부 통과 시 차륜/레일에서 발생하는 스킵소 음 - 차량주행 시 차륜/레일에 의한 전동음 발생(특히 화차)	- 곡선부 스킵소음 10dB(A) 저감기 술 - 차륜/레일에 의한 전동음 3dB(A) 저감기술	- 곡선부 통과 시 발생하는 스킵소음의 순음성분 예측 및 저감기술 - 차량 주행 시 발생하는 전동소음 저감기술
		차륜/레일 마모에 의한 소음/진동 저감기술	- 도시철도의 레일 파상마모에 의한 소음 발생 - 철도차량의 차륜 이상마모에 의한 소음/진동 발 생	- 레일 파상마모에 의한 소음 6dB(A) 저감기술 - 차륜 이상마모에 의한 소음 5dB(A) 저감기술	- 레일 파상마모 제어 및 저감기술 - 차륜 이상마모 발생 저감기술
	철도 인프라 소음/진동 저감기술	궤도 소음/진동 저감기술	- 차량 주행 시 콘크리트 궤도에서 반사되는 소음 증가 - 차량 주행 시 궤도에서 소음/진동 발생	- 콘크리트 궤도의 흡음성능 5dB(A) 향상기술 - 궤도에서 지반으로 전파되는 진 동 5dB 저감기술	- 궤도에서 지반으로 전파되는 진동 저감기술 - 고효율성 콘크리트 궤도개발 기술
		철도 지반 및 구조물 소음/진동 저감기술	- 무도상 철교 통과 시 소음/진동 발생 - 지반에서 전파되는 진동에 의한 소음 발생	- 무도상 철교에서 발생하는 소음 5dB(A) 저감기술 - 고가교에서 발생하는 진동5dB 저 감기술 - 지반에서 건물에 전파되는 진동 차단 기술	- 교량에서 발생하는 소음/진동 예측 및 저감기술 - 지반에 전파되는 진동 예측 및 저감기술
		Q-City: 철도변 3차원적 환경소음 저감기술 개발	- 철도연변 고층아파트의 소음문제는 방음벽으로 해결할 수 없음 - 국내실정에 적합한 환경소음/진동 평가방법 필요	- 철도변 고층건물의 7층 이상 환경 소음 5dB 저감 - 철도변 환경소음기준초과 노출인구 수 40% 감소	- 철도용 방음터널 개발 - 철도변 고층의 주거 및 정온시설의 세대별 소음 도 예측을 위한 GIS기반의 소음지도 제작도구 및 평가방법 개발

제5절 세부과제간 연계관계

- 본 연구사업의 최종목표는 달성을 위해서 철도차량에서 발생하는 소음/진동, 차량과 환경 및 레일의 인터페이스에서 발생하는 소음/진동 및 철도 인프라를 통해서 전파되는 소음/진동을 저감해야하기 때문에 각 세부과제에 대한 목표와 연구가 연계되어 수행되어야 함.
- 철도차량의 연구내용은 차량의 추진장치 및 제동장치에 의한 소음/진동 저감, 차량 실내소음 저감 및 소음/진동 제어에 대한 연구 등으로 이루어지고, 차량과 환경 및 레일의 인터페이스에 대한 연구내용은 공력소음 저감, 차량과 레일의 인터페이스에 의한 소음/진동 저감 및 레일 파상마모에 의한 소음/진동 저감에 대한 연구 등으로 구성되어있으며, 철도 인프라 소음/진동 및 환경소음에 대한 연구는 철도 인프라를 통해서 전파되는 소음/진동 저감 및 환경소음 저감에 관한 연구 등으로 이루어져 있으며, 최종적으로 철도 차량의 실내외 소음/진동 및 환경소음의 저감에 대한 기술을 개발 예정임.
- 철도 소음/진동 저감기술 개발을 위한 연구가 차량, 인터페이스 및 인프라 등 종합적이고 시스템측면에서 이루지면 철도 소음/진동 저감기술에 대한 세계적 경쟁력 확보가 가능한 분야임.
- 현재까지 수행된 철도분야와 타 분야(자동차, 항공기, 선박, 건축)에서 수행된 소음/진동 연구결과를 이용하면 외국의 철도선진국과 경쟁 할 수 있는 충분한 기술의 확보가 가능함.
- 본 과제를 통하여 학교, 연구소 및 기업의 연구개발로 산재되어 있는 요소기술을 통합하여 종합적인 철도 소음/진동 저감기술을 개발하여 실용화 보급정책에 반영하고자 함.

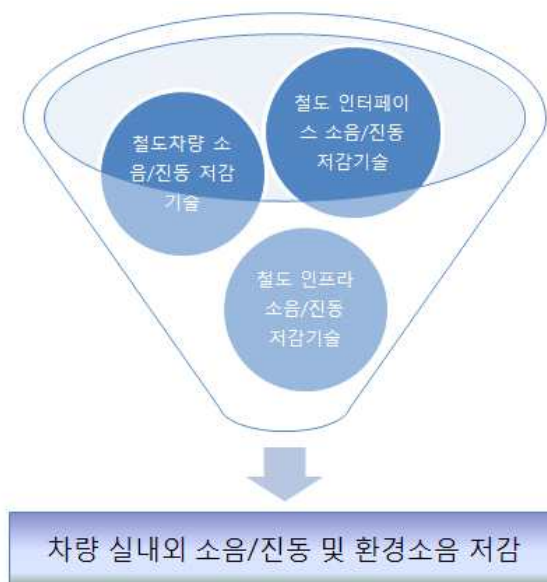


그림 86. 철도 소음/진동 저감 과제 세부기술간의 연관성

제6절 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

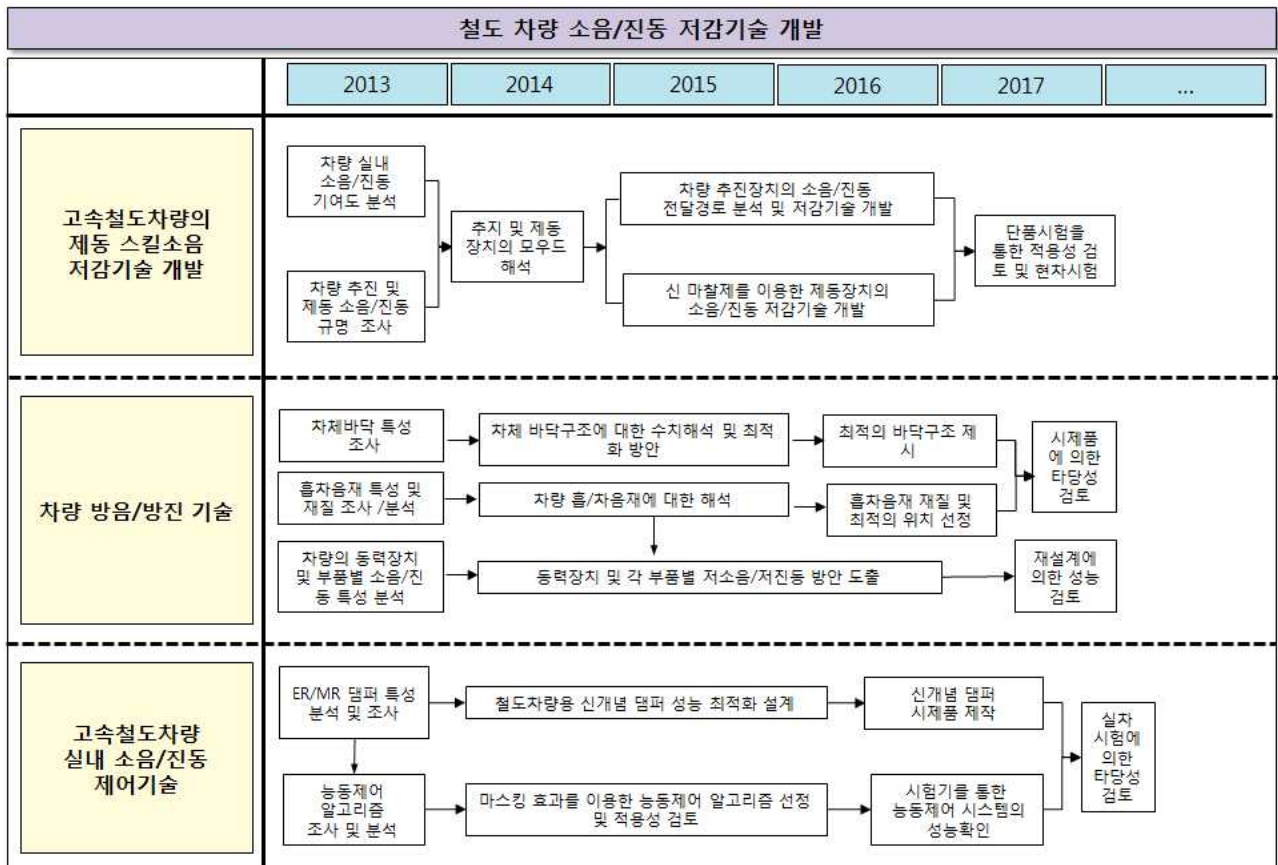
1. 과제별 기술 로드맵



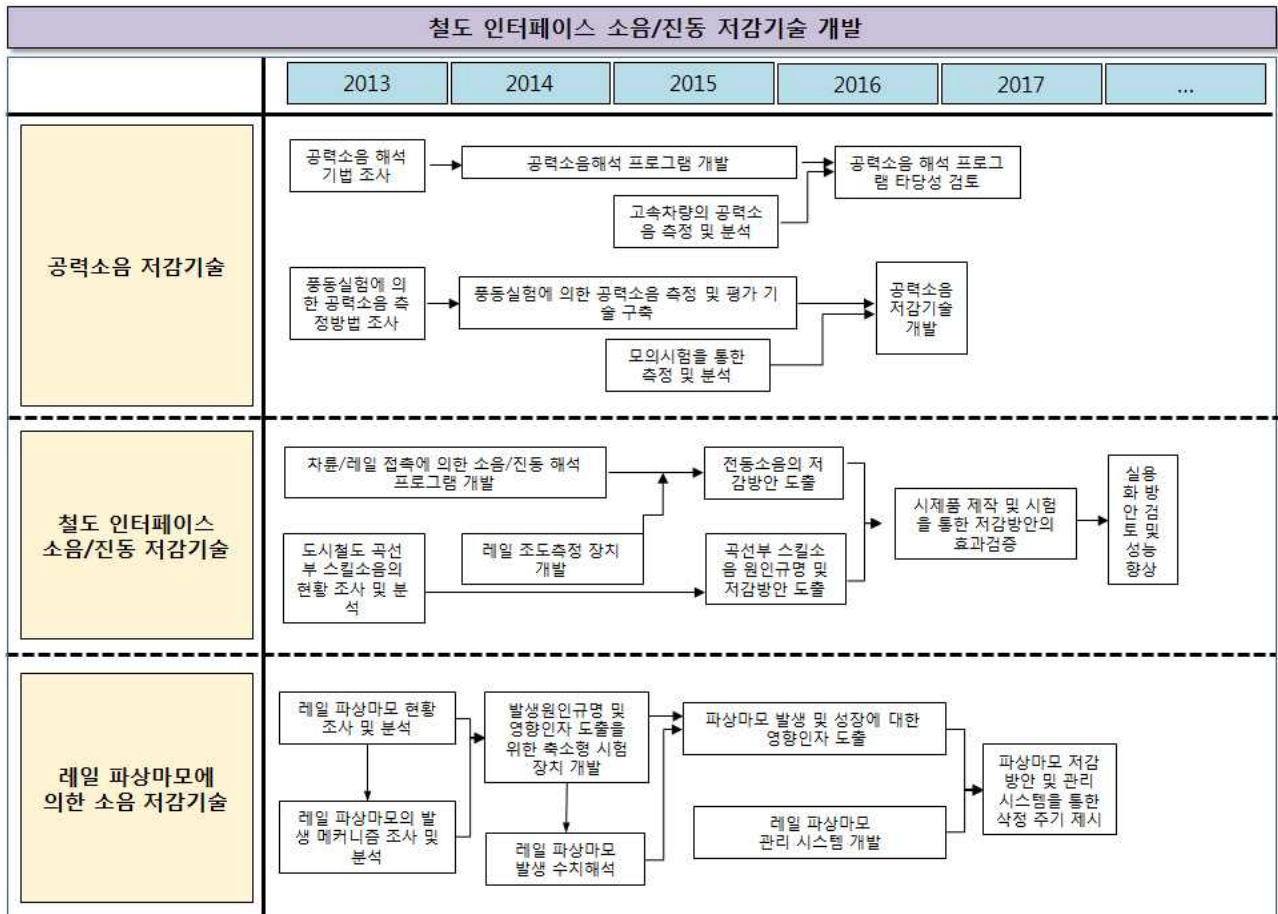
그림 87. 철도 소음/진동 저감 원천기술 개발 로드맵

2. 연차별 기술 로드맵

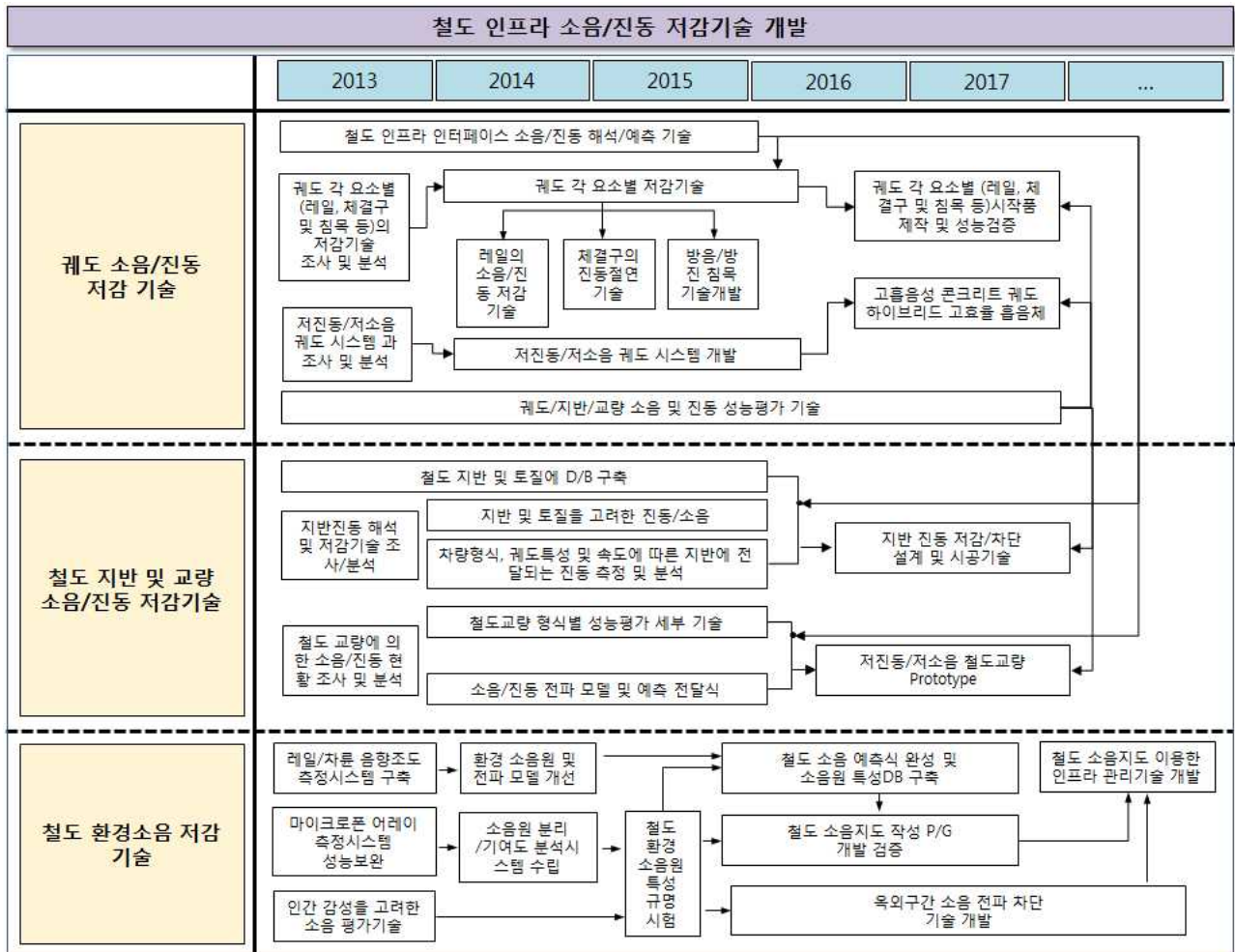
가. 철도차량 소음/진동 저감기술 개발



나. 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 개발



다. 철도인프라 소음/진동 저감기술 개발



제7절 성과의 활용방안

- 고속차량 차륜과 레일의 경제적 운영으로 유지보수비 저감.
- 효율적 철도소음 예측기술과 방음시설 설계 및 자문 기술 해외이전 및 상업화.
- 환경관련 민원 등의 사유로 계획이 완료된 고속철도 공사 지연에 따른 시간 비용 및 운영비 증가와 승객 미확보로 얻는 손실 비용 절감.
- 국내 철도 운행 실정과 특성에 상응하는 기술개발로 호남고속철도 및 국외 고속철도 수출시 품질 경쟁.
- 차량 개발 시 저소음/저진동 차량설계.
- 차량 운행 시 곡선부 스킵소음 발생구간의 저감방안 제시.
- 레일 파상마모 발생구간의 저감방안 제시.
- 궤도 신설 및 개량 시 저소음 궤도 시스템 설계.
- 현재 운행 중인 고속철도 구간 및 향후 운행예정인 경량전철의 콘크리트 고가교의 소음 저감방안 제시.
- 과거 건설된 철교의 저소음/저진동 방안 도출.
- 고속차량 개발 시 전두부 형상 및 판토틀라프 등 공력소음 발생위치의 저소음 형상 설계.
- 철도 운행구간의 소음맵을 통한 건물 및 아파트 건설시 환경소음 평가.

제8절

제9절 연구수행체계 제안

- 본 연구사업은 각각의 과제에 목표가 정해져 있지만, 최종적인 친환경 철도 시스템을 구축하기 위해서는 각 과제간 유기적인 연계가 필요하다. 따라서, 연구사업 운영 체계는 각자 나누어진 과제의 목표를 달성하면서, 과제간 보완 및 조정을 통한 각 과제의 연구개발결과를 사업 추진 단계마다 점검 및 검토가 이루어져 세부적인 연구개발의 수정이 이루어져야 최종적인 목표 달성이 가능함. 그러므로 각 과제가 독립적인 형태로 수행되지만, 1개의 사업으로 이루어지는 연구단 체제로 사업이 이루어져야 함.
- 연구단의 형식으로 이루어져야 과제간 연구개발 결과의 보완 및 수정, 예산조정, 확대 및 축소가 단계적으로 연구단에서 조정되어 최종적인 목표달성이 가능함.
- 본 연구단은 원천기술 개발과 함께 연구성과물에 대한 활용성을 향상시키기 위한 철도제작사, 건설사 및 운영기관을 포함한 산학연 공동 협조 체계 구축으로 추진하며 과제의 특성상 연구개발 체계에서 대학의 주도적 참여를 권장할 필요가 있음
- 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모하고 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용

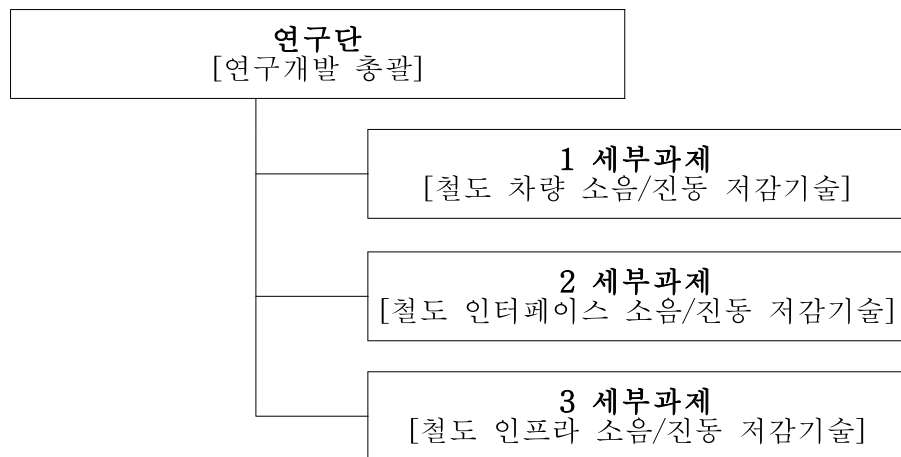


그림 88. 연구단 구성도

제5장 사전타당성 검토

제1절 정책적 타당성

1. 정부 주요 정책과의 부합성 검토

가. 녹색성장 국가 전략 수립

- 저탄소 녹색성장기본법(안)에 따라 철도여객수송 분담률 목표 30%(2050년 목표수준) 달성을 위해서 철도 중심의 녹색기간교통망을 확충(복선화 및 전철화)하여 녹색교통 네트워크를 확대하는 추진전략 발표.
- 2013년 예상 철도 여객수송 분담률은 22%로 2050년까지의 목표수준 30%달성을 위해서는 철도교통망의 효율화 및 안전성, 편의성 개선이 요구되며 철도교통의 편의성 및 친환경성 향상을 위해서는 철도 소음/진동에 대한 저감대책이 요구됨.

나. 철도정책 비전 및 목표

- 국토해양부 2010년 업무보고 시 철도정책 비전과 정책목표는 [녹색성장과 지역발전을 선도, 국민에게 사랑받는 철도]와 [전국을 하나로 묶는 빠르고 안전하며 편리한 철도망 구축]으로서 교통부분 녹색화를 위해 철도교통을 중심으로 운영 효율성을 제고하는 정책을 중심으로 철도부문 투자비중의 2020년 50%목표로 확대화 철도여객수송 분담률의 2020년 30% 조기달성을 위해 “녹색교통을 구현하는 철도 인프라 확충”, “철도건설·운영 전반의 비용절감과 효율화”, “쾌적하고 안전하고 편리한 이용환경 조성”, “철도산업 경쟁력 강화기반 구축”을 중점 추진과제로 선정하여 추진.
- 철도정책 비전을 반영하고 정책목표를 달성하기 위해서는 친환경적인 철도 구축을 위한 기술개발과 적용이 요구됨.
- 친환경철도를 구현하기 위해서는 다양한 철도분야의 소음/진동 저감을 위한 신기술 개발이 필요하며, 철도의 경쟁력확보와 국민에게 사랑받는 철도를 구축 위한 철도 소음/진동 저감 원천기술 개발을 위해서 정부의 적극적인 지원이 요구됨.

다. 국토해양부 철도정책 방향

- 현재 국토부의 주관으로 최고 시험속도 430 km/h의 차세대 고속철도 차량이 개발 중임. 개발 중인 차량의 고속으로 주행 시 발생하는 공력소음에 대한 연구를 위해서는 전산공력소음해석을 통한 이론 연구가 수행되어야 함.
- 환경부는 철도로 인한 야간소음도 등 기준을 하향하고 있는 추세에 대하여 국토부는 화물 열차 증 운영을 증대하는 정책을 발표하였고, 또한 철도로의 모달시프트를 시행하고자 함. 정부의 녹색성장과 해외시장진출을 위해서는 친환경 교통수단인 철도로의 기술 국제화와 선진화가 필요하며, 소음에 대한 민원으로 해외에서도 상업속도향상이 실현화 되지 못하고

있음. 본 과제에서 제시하는 철도 소음/진동 저감 원천기술 및 차량과 인프라에 대한 저감 설계기술 실현은 미래 국가교통개발 및 국토개발 정책에 필수적인 요소로 판단됨.

- 고속철도차량 개발은 국가의 신성장 동력 산업 중에 하나로서, 저소음 고속차량을 개발함에 따라 타 철도차량 개발국과의 경쟁력을 향상 확보하여, 철도차량의 해외시장 진출 및 수출효과를 증대할 수 있음.

제2절 기술적 타당성

1. 철도차량 소음/진동 저감 기술분야

- 국외의 철도선진국에서는 차량의 실내소음 저감을 위해서 소음원의 기여도와 만족해야 하는 실내소음 제작사양에 따라서 차체의 구조나 재질 뿐 아니라, 차내소음 저감을 목표로 하는 궤도소음 발생원 차단, 대차에서 차체로의 소음전달 경로 차단 등 종합적인 시스템 차원에서 소음원을 차단하는 기법을 적용하여 차량개발을 진행하고 있음.
- 일본의 700계 신간선 열차의 개발 목적은 차세대 東海道/山陽 노선 차량으로서 주로 실내 쾌적성 향상, 차내 환경의 개선 및 연선(沿線)에의 환경 적합성 향상을 도모하고 있음. 차내의 환경 개선을 위해 제진재의 2중 구조 및 차음성을 향상시킨 부상구조를 채택하였음.
- 일본의 동력분산식 경량차체 개발의 경우 터널 내에서의 차음성 향상을 위해 내부에 제진재를 강화하였음. 객실의 바닥재는 차내 소음 저감을 위해 딴플 (dimple) 상판을 채용하였으며, 이는 알루미늄판을 딴플 형상으로 함으로서 소음을 저감시키기 위함임. 또, 투과음도 딴플에 의해서 유지된 상면판의 상호 간섭으로부터 소음 저감을 이루었음. 대차 상부에는 대차로부터 고체전달음을 저감시키기 위해 정류격자 상판 아래에 방진고무를 삽입한 부상구조로 했음.
- 국내에서는 철도차량의 바닥구조의 흡/차음 성능을 분석하거나 압전재료의 특성을 이용한 스마트 패널에 관한 연구 등이 이루어진 바 있으며, 공기스프링의 스프링 상수 개선, 방음차륜을 통한 소음저감 및 실내소음 해석, 철도차량용 EM/MR 유체이용 능동댐퍼 연구가 시작되고 있는 상황임.
- 국내의 철도차량의 실내소음 해석기술은 통계적 에너지 해석법을 활용한 VA1 등의 소음 해석 상용 프로그램을 이용하고 있음. 철도차량전용 전달경로규명이나 실내소음 기여도 등을 분석하기 위한 해석 Tool을 확보하지 않은 실정임.
- 현재 철도차량 제작 완료 후, 차량의 실내소음 및 진동이 문제가 발생하면, 이를 저감시키기 위한 개선 방안을 도출하기가 매우 제한적이며, 소요비용이 많이 들어 차량 제작사 및 운영사가 이를 극복하기 위해서 차량 설계단계부터 저소음 차량을 위한 연구가 체계적으로 수행되어야 하지만, 아직 이러한 기술단계까지 확보되지 못한 상태임.

2. 철도 인터페이스 소음/진동 저감 기술분야

- 현재 스킨소음에 대한 발생 메카니즘에 대한 많은 원인이 규명된 상태임. 스킨소음 저감방안에 대한 연구가 진행되어 여러 가지 저감방안이 적용되었지만, 스킨소음 발생 장소, 환경에 따라 저감방안에 대한 효과가 다르고, 설치비용이 많이 소요되기 때문에 더욱 효과적인 저감방안에 대한 연구가 필요한 상황임.
- 국외의 연구 상황과 비교해볼 때 국내에서는 차륜과 레일에 의해서 발생하는 전동음과 스킨소음에 대한 연구는 미비한 상태에 있으며, 특히 곡선부 통과 시 발생하는 스킨소음 문제는 현재 국내 도시철도에서 커다란 사회문제가 되고 있지만, 이에 대한 본격적인 연구는 미미한 상태임.
- 현재 국내 도시철도의 경우 대부분의 대도시를 중심으로 건설되어 있어서 차량통과 시 차륜과 레일에 의한 소음/진동문제에 대한 민원이 계속적으로 증가하는 상황이므로 이러한 소음/진동에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 상황임.
- 도시철도의 곡선선로에서 철도차량 주행에 따른 레일의 파상마모에 의한 전동소음 소음발생, 손상에 의한 레일과 차륜의 연마주기 갱신 또는 레일 교체주기에 따른 본격적인 해법이 필요한 상황임.
- 국내의 경우 열차에 대한 환경 소음 민원은 예전의 경우는 화물 열차의 야간 운행으로 인한 피해호소가 대부분이었으나, 최근 들어서는 철도의 고속화로 인해서 환경 소음에 관한 민원이 계속 증가하는 추세임. 400km/h 이상의 고속철도 차량을 실용화하기 위해서는 아직 고속철도 선진국들도 해결하지 못한 많은 기술적 어려움이 있음. 이러한 철도소음에 대한 민원의 증가는 향후 고속철도 차량의 실용화를 위해서는 반드시 해결되어야 할 과제임.
- 이에 대한 대책으로 국내에서는 흡음블록과 방음벽 설치를 통해서 해결하는 방법 등이 제시되어 왔음. 하지만, 도상에 설치하는 흡음블록은 고속으로 주행 시 발생하는 공력소음에 대해서는 효과를 보기 어려우며, 고속철도 차량의 소음원의 특성에 대한 지식을 바탕으로 하지 않은 방음벽의 설치 또한 큰 효과를 기대하기는 어려움.

3. 철도인프라 소음/진동 저감 기술분야

- 철도소음으로 인한 철로 연변 주민들의 민원이 발생하고 있으며 신규 철도 노선의 건설 단계에서 소음 발생을 우려한 주민 반대에 직면하기도 하고 있으나, 운영 처에서 방음벽 이외에는 별 다른 저감대안을 수립하지 못하는 실정이며, 고속철도의 경우 차체의 상부 부위에서 방사하는 소음은 현존 방음벽에 의한 저감성능이 미흡함.
- 고속철도 300 km/h 이하 및 기존철도의 속도 대역에서 가장 중요한 철도 소음원은 레일과 차륜 조도(거칠기)의 가진에 의해 발생하는 전동소음원이나, 국내에서는 아직 이에 대한 전문적인 측정이나, 평가, 저감대안에 대한 기술적 정책적 전략이 부재한 상황임. 전동소음이 주요한 환경소음의 저감을 위해서는 차륜과 궤도 구성품의 설계뿐만 아니라 레일과

차륜의 음향조도(acoustical roughness)를 관리하는 것이 필요함.

- 철도노선 근접 연변 주거지와 향후 주거 도심지를 통과하는 트램과 경량전철 운행에 따른 소음전달경로 및 차단을 통한 도심공간 저소음설계 핵심기술이 도출되어야 함.
- 현재 철도신설 및 개보수 관련 환경영향평가 시에 2000년 초반에 도출된 소음예측식과 국외 예측프로그램을 활용하고 있는 바, 이를 바탕으로 한 실시설계는 실측값과의 상당한 오차, 과대설계로 인한 비용낭비 등이 문제임. 국내 지형과 차량, 선로 특성을 고려한 신뢰도와 정확도가 향상된 예측모델과 철도변 소음 축소모형시험 등의 선진기술 개발을 통한 소음설계가 시급함.
- 철도 소음도는 현재 대부분 A가중치 소음도 레벨을 이용하여 평가하고 있으나 동일한 소음도라 하여도 음질 특성에 따라서 성가시거나 짜증을 유발하는 정도 또는 주관적으로 듣기 좋은 정도는 차이가 커서 환경부 소음 기준만으로는 민원해소와 승객의 만족도를 목표로 하는 철도시스템 설계에 어려움이 있음.
- 기존에 철도 소음도 레벨을 줄이고자 하는 노력을 계속하고 있으나, 인간청감 특성을 고려한 철도 차량 또는 인프라 설계가 수행되지 못하고 있음.
- 국외에서는 20여 년 전부터 전동소음의 근본적 발생원인인 차륜과 레일의 음향조도에 대한 발생역학과 수명주기, 방사소음과의 관계를 연구하여 소음측정 기준수립, 소음평가 절차 표준화, 저감기술에 대한 비용편익 정책에 필수적으로 반영하고, 운영 차에서 효율적으로 그 연구결과들을 활용하여 소음을 저감하고 있음.
- 국외에서는 단일 등가소음도dB(A) 로 소음을 평가하고 저감기술을 설계하는 데 있어 인간의 청감 만족도와 불쾌도를 만족하지 못하는 한계점을 감안, 투자한 설계비용 대비 소음저감효과 만족도를 향상하기 위하여 심리 음향적 평가척도를 개발하여 국제 규격화하였으며, 소음예측과 도시설계와 민원지 소음해소 등에 적극 활용하고 있음.
- 국외의 경우 고속철도, 트램 등 그 차량의 소음방사 특성과 주변의 주거지의 소음피해예상 특성에 따라서 높이나, 물리적 특성, 성능 면에 있어서 매우 다양 한 방음시설을 상용화하고 있으며, 민원지 주거지 창문 구조나, 건물의 벽체, 주변시설과 토지활용 유형 등 방음벽의 도시설계적 측면에서 다양한 효율적 방안을 적용하고 시도하고 있음. 프랑스나 일본 등 철도 주요국가에서는 철도소음에 대한 예측식을 이용한 소음예측과 함께 철도변 주변의 환경과 주거지를 축소 모형화 하여 그 전파현상을 측정함으로써 예측식과 현장노선 실측값과의 오차로 인한 실질적 문제를 해소 하고 있음.
- 철도 구조물 가운데 고가교와 철교는 차량 통과 시 소음/진동을 발생시켜 철도연변에 거주하는 주민 혹은 차량에 탑승한 승객에게 커다란 피해를 끼침. 이러한 소음/진동에 관한 연구는 1980년대 중반 TCRP(Transit Cooperative Research Program)에서 도시철도 고가교에서 방사되는 소음을 저감시키기 위한 연구가 진행되었으며, 유럽에서는 1990년대 중반 TNO에서 철교에서 방사되는 예측 프로그램을 개발하여 저감 방안에 활용하고 있음. 일본

의 경우 2000년대 초반 신간선의 고가교 소음을 저감시키기 위한 연구가 철도총합기술연구소(Railway Technology Research Institute)에서 수행되었음. 그러나 국내에서는 고가교 혹은 철교의 소음을 저감시키기 위한 연구는 진행되어지지 않고, 단지 구조물에서 방사되는 소음레벨을 파악하는 수준에 머물고 있음.

- 향후에는 고속철도 및 경량철도를 비롯하여 도심지내 지하 10m이내에 건설되는 저심도철도, 지하 40m이상 심도에 건설되는 GTX 등 건설패턴이 다양화되기 때문에 이에 대한 지반진동전파특성에 대한 규명과 진동을 저감하기 위한 노력이 요구됨. 특히 경량철도 및 GTX의 경우에는 대부분이 노선이 도심지내에 건설되기 때문에 각 건설방식에 대한 방진 대책 수립이 요구됨.
- 철도 선진국에서는 건설비용의 증가에도 불구하고 유지보수 등 여러 이점을 가지고 있는 콘크리트궤도를 이전부터 부설·운영하고 있으며 지속적으로 연구 발전시키고 있는 실정임. 따라서 국내 고속철도 또는 일반철도 역시 시공비는 증가되나 유지관리의 효율성에 대한 장점이 높이 부각됨에 따라 그 구조는 다양하나 전 구간 콘크리트 궤도구조를 적용하고 있는 추세임.

제3절 경제적 타당성

1. 철도시스템 관점의 효과

- 고속차량 차륜과 레일의 경제적 운영으로 유지보수비 저감.
- 효율적 철도소음 예측기술과 방음시설 설계 및 자문 기술 해외이전 및 상업화.
- 환경관련 민원 등의 사유로 계획이 완료된 고속철도 공사 지연에 따른 시간 비용 및 운영비 증가와 승객 미확보로 얻는 손실 비용 절감.
- 국내 철도 운행 실정과 특성에 상응하는 기술개발로 호남고속철도 및 국외 고속철도 수출시 품질 경쟁.
- 도시철도 곡선구간 주행 시 차륜과 레일의 과도한 마모는 차륜과 레일의 교체주기를 약1/3로 단축하기 때문에 철도 운영기관의 유지보수 비용의 저감.

2. 철도소음에 의한 민원 감소효과

- 환경관련 민원 등의 사유로 계획이 완료된 고속철도 공사 지연에 따른 시간비용 및 운영비 증가와 승객 미확보로 얻는 손실 비용이 하루에 70억이며, 천성산 관련 공사 중단에 경우 9개월 이상 중단되었으며 이로 인해 총 1조 9000억원 이상의 손실이 발생되었다고 보고됨.
- 철도소음에 의한 민원감소 절감효과 = 민원 기간을 30일 정도로 감소시킬 경우 2100억 이상의 비용 절감이 가능함.
- 철도 건설시 노선선정에 따른 환경영향평가에 정부고속철도 1단계(연장 230km) 기준 5건

으로 총 35억의 예산이 투입되었음. 이중 소음 관련하여 영향평가의 부실에 대한 지적이 끊임없이 제기 되고 있으며 이는 철도소음 예측에 대한 기술이 국가적으로 정립되지 않기 때문이며, 이로 인해 국민과 사업 시행기관의 경우 갈등으로 인해 비용 산출이 어려운 물적, 정신적 피해가 심각함.

3. 방음벽 감소에 의한 절감효과

- 경부고속철도 1단계 공사를 기준으로 총 300여 개소에 총연장 74km의 방음벽이 시공되었으며, 이러한 공사에 740억 정도의 비용이 소요됨. 또한 고속철도 운영 시 소음관련 민원은 운행개시일 인 2004년 4월 1일부터 2005년 6월 30일기준 총 50건이며 현재 기존선을 통과하는 구간까지 포함되면 90건에 이름. 본 연구 개발 사업이 성공적으로 완료되어 철도소음 예측 및 그에 따른 효율적인 저감기술이 개발되어 목표한 대로 소음을 3 ~ 5dB(A) 저감시키면 이러한 민원의 50% 이상 줄어 들 것으로 예상되며, 소음저감을 위한 방음벽 시공 개소 및 비용이 30% 이상 저감 되리라 판단됨.

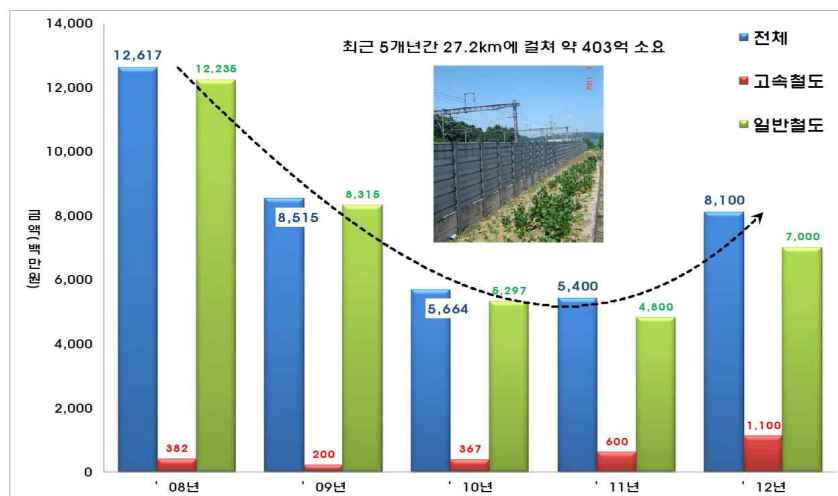


그림 89. 신선 건설부문의 방음벽 설치비용

4. 저소음 차량 수출효과

- 개발된 기술이 호남고속철도 및 국외 고속철도 수출시장에서 품질 경쟁에 우위를 차지하리라 예상되어 수출에 의한 외화수입의 기여가 크리라 판단됨.

5. 주요 예상성과에 따른 무형적 경제효과

- 철도 소음/진동관련 특허 및 논문.
- 저소음 차량 해석 및 설계기술 확보에 의한 차량 수출효과 증대.
- 차륜과 레일에 의한 예측 프로그램 및 레일 조도측정 시스템.
- 레일 파상마모 발생 시험장치 시제품 및 시스템(H/W), 평가프로그램(S/W)개발을 통한 레일 유지보수관리.

- 레일 파상마모 저감에 의한 레일 교체비용 및 유지보수 비용 절감.
- 궤도 시스템의 요소별 진동 저감기술 확보를 통한 저진동 궤도 개발 기술의 자립화.
- 효율적이고 경제적인 레일 음향조도 관리를 통하여 선로변 소음도 저감기술.
- 인간의 청감도를 고려한 소음맵 작성용 프로그램 확보.
- 공력소음 해석기술 확보를 통한 국외 철도선진국과의 기술 경쟁력 향상.
- 철도 구조물(고가교 및 철교)의 소음/진동 예측 및 저소음 설계기술 확보를 통한 기술적 자립화.

6. 활용방안에 의한 경제적 효과

- 차량 개발 시 저소음/저진동 차량설계.
- 차량 운행 시 곡선부 스کیل소음 발생구간의 저감방안 제시.
- 레일 파상마모 발생구간의 저감방안 제시.
- 궤도 신설 및 개량 시 저소음 궤도 시스템 설계.
- 현재 운행 중인 고속철도 구간 및 향후 운행예정인 경량전철의 콘크리트 고가교의 소음 저감방안 제시.
- 과거 건설된 철교의 저소음/저진동 방안 도출.
- 고속차량 개발 시 전두부 형상 및 판토크래프 등 공력소음 발생위치의 저소음 형상 설계.
- 철도 운행구간의 소음맵을 통한 건물 및 아파트 건설시 환경소음 평가.

표 35 철도 소음진동 저감기술 획득에 따른 경제적 이득 산출 예상액

경제성 항목	산출 근거 계산	산출액
고속철도 건설 자연손실 절감	70억/1일×30일기준=2,100억원	2,100 억원
방음시설 건설비용 절감	경부고속철도:74km방음벽×10억/km×50% (소음저감에따른설치절감)=370억원 호남고속철도:11.8km방음벽×10억/km×50% (소음저감에따른설치절감)=59억원 일반철도:50km방음벽×10억/km×50% (소음저감에따른설치절감)=250억원	779 억원
철도 차량 수출	고속차량:440억/20량한편성×50편성×5% (총액대비소음분야비용)=1,100억원 일반차량:150억/10량한편성×100편성×5% (총액대비소음분야비용)=750억원	1,850 억원
차륜 교체비용	차륜가격800백만원/1량×100편성(10량)×2 (사용연수단축:8년→4년)=160억원	160억원
레일교체비용	5.2억/km×50km×2 (사용연수단축:30년→10년)=520억원	520 억원
저진동궤도수입대 체비용절감	총공사비46.8억/km×200km×68% (핵심장치수입비용)=6,324억원	6,324 억원
계		11,733 억원

제4절 타당성 검토 종합

1. 기술개발투자의 시의성, 시급성('13년)

- 차륜/레일에 의한 소음/진동은 철도차량의 주요한 소음/진동원으로 현재 도시철도 주변에 거주하는 주민에게 많은 불편감을 주어 지속적인 민원이 제기되어, 일부 곡선구간 통과 시 소음에 의한 피해로 인한 보상 문제까지 거론되고 있는 실정임. 이러한 문제가 계속적으로 발생한다면, 철도경영에 커다란 피해를 줄뿐만 아니라 철도연변에 거주하는 주민에게 심리적으로 악영향을 끼침. 따라서 차륜/레일에 의해서 발생하는 소음/진동에 대한 저감방안이 조속히 연구되어 친환경적이고 서민에게 안락한 철도환경을 제공할 수 있도록 국가적인 차원에서 지원이 필요함.
- 현재 도시철도 구간에서는 빈번히 발생하는 파상마모에 의해서 커다란 소음이 유발될 뿐만 아니라 레일삭정에 의한 레일의 수명이 단축되어 경제적으로도 철도경영에 커다란 악영향을 미치고 있어, 조속히 이러한 연구가 진행되어야 할 필요가 있음.
- 현재 국토부의 주관으로 최고 시험속도 430km/h의 차세대 고속철도 차량이 개발 중에 있음. 개발 중인 차량의 고속으로 주행 시 발생하는 공력소음에 대한 연구를 위해서는 전산 공력소음해석을 통한 이론 연구가 수행되어야 함.
- 기존에 국외에서 연구가 수행되지 않은 전산공력소음해석의 기술 기반을 구축함으로써 세계 고속철도 소음기술을 선도할 수 있음.
- 고속철도 차량의 소음에 대한 연구 성과를 통해서 저소음 차량을 개발하여 해외 고속철도 시장에 경쟁력을 확보할 수 있음.
- 현재 국토부의 주관으로 최고 시험속도 430km/h의 차세대 고속철도 차량이 개발 중에 있음. 개발 중인 차량의 고속으로 주행 시 발생하는 공력소음에 대한 연구를 위해서는 전산 공력소음해석을 통한 이론 연구가 수행되어야 함.
- 철도 선로 변 민원 발생이 빈번히 발생하고 이를 대응하기 위하여 방음벽 등의 소음대책 적용이 이루어지고 있으며, 따라서 과다한 건설비가 투입되고 있음.
- 저심도철도, GTX와 같은 새로운 교통시스템의 출현에 따른 소음진동저감대책수립이 시급.
- 본 기술 개발을 통하여 선택적이며 효율적인 소음저감 대책을 적용함으로써 건설비 절감과 민원 발생 저감을 통하여 철도 인프라 확대와 함께 교통 문제 해결과 물류비 절감 등에 기여할 수 있음.

2. 정부 상위계획과의 부합성

- 현재 국토부의 주관으로 최고 시험속도 430km/h의 차세대 고속철도 차량이 개발 중임. 개발 중인 차량의 고속으로 주행 시 발생하는 공력소음에 대한 연구를 위해서는 전산공력소음해석을 통한 이론 연구가 수행되어야 함.
- 환경부는 철도로 인한 야간소음도 등 기준을 하향하고 있는 추세에 대하여 국토부는 화물 열차 증 운행을 증대하는 정책을 발표하였고, 또한 철도로의 모달시프트를 시행하고자 함. 정부의 녹색성장과 해외시장진출을 위해서는 친환경 교통수단인 철도의 기술 국제화와 선진화가 필요하며, 소음에 대한 민원으로 해외에서도 상업속도향상이 실현화 되지 못하고 있음. 본 과제에서 제시하는 철도 소음/진동 저감 원천기술 및 차량과 인프라에 대한 저감설계기술 실현은 미래 국가교통개발 및 국토개발 정책에 필수적인 요소로 판단됨.
- 고속철도차량 개발은 국가의 신 성장 동력 산업 중에 하나로서, 저소음 고속차량을 개발함에 따라 타 철도차량 개발국과의 경쟁력을 향상 확보하여, 철도차량의 해외시장 진출 및 수출효과를 증대할 수 있음.

3. 국토부 주도의 개발 및 지원 필요성

- 차륜/레일에 의한 소음/진동은 철도차량의 주요한 소음/진동원으로 현재 도시철도 주변에 거주하는 주민에게 많은 불쾌감을 주어 지속적인 민원이 제기되고 있음. 특히 차륜과 레일에 의한 소음/진동문제는 차량과 궤도사이에서 발생되기 때문에 차량제작사와 궤도 건설사가 소음/진동에 해결하지 못하는 경계영역으로, 친환경적이고 서민에게 안락한 철도환경을 제공하기 위해서는 국가적인 차원에서 지원이 필요함.
- 현재 정부에서 추진하는 녹색성장에 부합되는 친환경 철도환경을 구현하기 위해서는 공공 교통수단인 철도의 소음/진동 문제를 종합적이고 체계적인 연구를 통해서 소음/진동을 저감시킬 수 있는 원천기술을 습득해야하기 때문에 국토부를 중심으로 산학연이 공동으로 연구를 수행할 수 있도록 정부가 지원해야 함.
- 현재 철도 건설사는 궤도 및 구조물 설계와 건설시 안전성과 건설비용을 우선적으로 고려하기 때문에 건설 후 소음/진동 문제가 발생하면 해결방안을 도출하려는 하고 있으며, 시스템적으로 저소음/저진동 궤도 및 구조물을 개발하지 않은 상황임. 따라서 정부가 저진동/저소음 궤도 시스템개발과 철도 구조물의 소음/진동 저감방안에 대한 연구를 주도해야할 것임.

4. 정부 미지원시 문제점

- 차륜과 레일에 의한 소음/진동문제는 차량과 궤도사이에서 발생되기 때문에 차량제작사와 궤도 건설사가 소음/진동에 해결하지 못하는 경계영역으로 민간 기업에서는 이러한 소음/진동 문제에 대해서 거의 연구가 수행되지 않고 있으며, 유럽 등과 같은 철도선진국에서도 차륜과 레일에 의한 소음/진동에 관한 연구는 정부기관 연구소가 주도적으로 연구를 수행하고 있음. 따라서 정부기관이 이러한 소음/진동 문제를 해결하지 않을 경우, 도시철도 연

변에 거주하는 민간인과 승객의 민원을 지속적으로 발생할 것이며, 이에 대한 보상 문제로 인하여 상당한 비용이 지출 될 것으로 판단됨.

- 고속철도의 발생하는 소음에 대한 이론적인 이해가 없다면, 추후 차량 개발에서도 설계단계부터 소음 저감 기술을 반영하기 어려움.
- 소음이 많이 발생하는 차량은 차량의 성능이 우수하더라도, 시장 경쟁력이 없기 때문에 수출을 통한 해외시장의 진출이 어려움.

제6장 인력투입계획 및 소요예산 산정

제1절 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 전체사업 인력투입계획

- 철도 소음진동 저감 원천기술 개발의 목표를 달성하기 위하여 산학연 철도 소음진동 전문 인력을 투입하여 연구추진.
- 개발 기간 내에 최대의 연구 성과를 얻기 위해서 “철도차량의 소음진동 저감기술” “철도 인터페이스 소음진동 저감기술” “환경소음 저감기술”의 각 분야별로 필요한 전문가를 조기 투입하여 연구추진의 체계를 확립.
- 연구개발을 통해서 얻어진 원천기술을 검증하기 위해서 연구 개발착수 단계부터 성능평가 로드맵 제시 추진.

2. 세부과제별 인력투입

- 각 과제별 사업 인력투입 규모는 5년간 268명이 투입될 예정이며, 약 2,256 MM가 투입되고 연구될 예정임.

표 36 세부과제별 인력투입

과 제 명	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도	5 차년도	합계
	인원	인원	인원	인원	인원	인원
연구단 총괄	3	3	3	3	3	15
1 세부과제	17	11	11	11	11	61
2 세부과제	25	18	17	18	18	96
3 세부과제	25	18	17	18	18	96
합계	70	50	48	50	50	268

제2절 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

- 연구개발비용의 산정은 각 세부과제별 투입인력, 연구장비 재료비, 연구 활동비 및 위탁연구개발비 비용을 기존의 연구개발계획서등을 근거로 배분하여 설정하였음.

2. 전체사업 소요예산

표 37 전체산업 소요예산

(단위 : 천원)

구분	1 차년		2 차년		3 차년		4 차년		5 차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	100,000		100,000		100,000		100,000		100,000		500,000	
1 세부	1,475,000		1,025,000		975,000		1,075,000		1,075,000		5,625,000	
1-1	442,500		307,500		292,500		322,500		322,500			
1-2	472,000		328,000		312,000		344,000		344,000			
1-3	560,500		389,500		370,500		408,500		408,500			
2 세부	2,360,000		1,640,000		1,560,000		1,720,000		1,720,000		9,000,000	
2-1	708,000		492,000		468,000		516,000		516,000			
2-2	755,200		524,800		499,200		550,400		550,400			
2-3	896,800		623,200		592,800		653,600		653,600			
3 세부	2,065,000		1,435,000		1,365,000		1,505,000		1,505,000		7,875,000	
3-1	619,500		430,500		409,500		451,500		451,500			
3-2	660,800		459,200		436,800		481,600		481,600			
3-3	784,700		545,300		518,700		571,900		571,900			

3. 세부과제별 소요예산

- 각 과제별 사업 예산 규모는 총사업비230억원 (정부예산:100%)이며, 제1세부과제는 약30%. 제2세부과제는 약40%, 제3세부과제는 약30%의 비율로 책정하였음.

가. 총괄표

표 38 총괄표

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예 산 항 목								비율 (%)
		단가 (연급여)	연평균인원/ 참여율(%)	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도	5 차년도	소계	
인건비	책임연구원	85,000	13/55	571,000	430,750	430,750	477,500	477,500	2,387,500	
	연구원	50,000	16/60	550,000	340,000	310,000	340,000	340,000	1,880,000	
	연구보조 (박사과정)	30,000	16/100	532,100	371,000	341,000	371,000	371,000	1,986,100	
	연구보조 (석사과정)	25,000	17/100	432,792	334,146	333,634	332,933	332,933	1,766,438	
	소 계			2,085,892	1,475,896	1,415,384	1,521,433	1,521,433	8,020,038	35
직접비	연구장비 재료비			850,000	522,000	507,000	600,000	600,000	3,079,000	
	연구활동비			1,607,000	1,111,000	1,053,000	1,156,000	1,156,000	6,083,000	
	연구수당			417,178	295,179	283,077	304,287	304,287	1,604,008	
	소 계			2,874,178	1,928,179	1,843,077	2,060,287	2,060,287	10,766,008	47
위탁연구개발비				500,000	400,000	365,000	410,000	410,000	2,085,000	9
간접비				539,929	395,925	376,539	408,281	408,281	2,128,954	9
합 계				6,000,000	4,200,000	4,000,000	4,400,000	4,400,000	23,000,000	100

나. 제1세부과제 : 철도차량 소음/진동 저감기술 개발

표 39 제1부과제 예산표

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율 (%)
		단가 (연급여)	연평균인원/ 참여율(%)	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도	5 차년도	소계	
인건비	책임연구원	85,000	3/55	140,250	93,500	93,500	140,250	140,250	607,750	
	연구원	50,000	3/60	150,000	90,000	60,000	90,000	90,000	480,000	
	연구보조 (박사과정)	30,000	3/100	115,800	90,000	90,000	60,000	60,000	415,800	
	연구보조 (석사과정)	25,000	4/100	125,000	74,261	99,286	73,808	73,808	446,164	
	소 계			531,050	347,761	342,786	364,058	364,058	1,949,714	35
직접비	연구장비 재료비			250,000	115,000	122,000	160,000	160,000	807,000	
	연구활동비			300,000	300,000	250,000	270,000	270,000	1,390,000	
	연구수당			106,210	69,552	68,557	72,812	72,812	389,943	
	소 계			656,210	484,552	440,557	502,812	502,812	2,586,943	46
위탁연구개발비				150,000	100,000	100,000	110,000	110,000	570,000	10
간접비				137,740	92,687	91,657	98,130	98,130	518,343	9
합 계				1,475,000	1,025,000	975,000	1,075,000	1,075,000	5,625,000	100

다. 제2세부과제 : 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 개발

표 40 제2세부과제 예산표

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율 (%)
		단가 (연급여)	연평균인원/ 참여율(%)	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도	5 차년도	소계	
인건비	책임연구원	85,000	4/55	233,750	187,000	187,000	187,000	187,000	981,750	
	연구원	50,000	5/60	210,000	120,000	120,000	120,000	120,000	690,000	
	연구보조 (박사과정)	30,000	5/100	202,650	150,000	120,000	150,000	150,000	772,650	
	연구보조 (석사과정)	25,000	5/100	148,625	124,343	123,807	123,583	123,583	643,941	
	소 계			795,025	581,343	550,807	580,583	580,583	3,088,341	34
직접비	연구장비 재료비			350,000	257,000	210,000	250,000	250,000	1,317,000	
	연구활동비			650,000	384,000	400,000	460,000	460,000	2,354,000	
	연구수당			159,005	116,269	110,161	116,117	116,117	617,668	
	소 계			1,159,005	757,269	720,161	826,117	826,117	4,288,668	48
위탁연구개발비				200,000	150,000	145,000	160,000	160,000	815,000	9
간접비				205,970	151,388	144,032	153,301	153,301	807,992	9
합 계				2,360,000	1,640,000	1,560,000	1,720,000	1,720,000	9,000,000	100

라. 제3세부과제 : 철도 인프라 소음/진동 저감기술 개발

표 41 제3세부과제 예산표

(단위 : 천원)

예산항목	세부항목	예 산 항 목								비율 (%)
		단가 (연급여)	연평균인원/ 참여율(%)	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도	5 차년도	소계	
인건비	책임연구원	85,000	20/55	187,000	140,250	140,250	140,250	140,250	748,000	
	연구원	50,000	20/60	180,000	120,000	120,000	120,000	120,000	660,000	
	연구보조 (박사과정)	30,000	20/100	202,650	120,000	120,000	150,000	150,000	742,650	
	연구보조 (석사과정)	25,000	22/100	148,625	125,000	100,000	125,000	125,000	623,625	
	소 계			718,275	505,250	480,250	535,250	535,250	2,774,275	35
직접비	연구장비 재료비			250,000	150,000	175,000	190,000	190,000	955,000	
	연구활동비			624,000	394,000	370,000	393,000	393,000	2,174,000	
	연구수당			143,655	101,050	96,050	107,050	107,050	554,855	
	소 계			1,017,655	645,050	641,050	690,050	690,050	3,683,855	47
위탁연구개발비				150,000	150,000	120,000	140,000	140,000	700,000	9
간접비				179,069	134,700	123,700	139,700	139,700	716,870	9
합 계				2,065,000	1,435,000	1,365,000	1,505,000	1,505,000	7,875,000	100

제7장 과제 제안요구서

제1절 과제 제안요구서(RFP)

1. 연구단 과제 제안요구서

연구과제명	철도 소음/진동 저감 원천기술 개발
1. 연구개발 목표	
	□ 친환경 철도를 구현하기 위한 차량, 궤도 및 환경분야의 종합적 소음/진동 원천기술 개발 - 철도차량의 소음/진동 저감기술 개발 - 차륜/레일 인터페이스에 의한 소음/진동 및 공력소음 저감기술 개발 - 철도 인프라 저감기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	□ 철도의 고속화 및 수송력 증대로 인하여 철도연변에 주거하는 주민에 대한 소음 및 진동공해는 커다란 사회적 문제로 대두되고 있음. 2010년 현재 우리나라의 경우 주간시간대(06시~22시)에 65 dBA이상의 철도소음에 노출된 인구는 140만 명, 야간시간대(22시~06시)에 55dBA 이상의 철도소음에 노출된 인구는 190만 명임. □ 일반적으로 철도 소음은 주행 속도에 따라 저속으로 운행되는 차량은 차륜과 레일의 소음영향이 많고, 고속철도 등은 공력소음에 영향을 많이 받음. 철도차량의 경량화, 고속화에 따라서 철도소음의 노출인구율은 증가하게 됨. 따라서 차량이 고속화되면서 차량의 실내소음은 공력소음의 영향때문에 급격히 증가하게 됨. 현재 300km/h로 운행하는 KTX가 400km/h로 운행하게 된다면, 약5~7dB(A)정도 실내소음이 증가하여 차량의 승차감에 커다란 영향을 미치는 것으로 예상되고 있음. □ 도시의 고층화로 인해 방음벽을 이용한 방음기술은 한계가 있으며, 지속적인 민원이 제기되고 있음. 2008년의 경우 소음 진동관련 민원은 전국에서 총 44,784건으로 매년 20%씩 증가하는 추세이며, 대다수가 공사장 소음 등 생활소음이나, 교통관련 민원도 무시 못 할 부분을 차지하고 있음. □ 친환경 철도를 구현하기 위해 2010년 1월부터 철도 환경소음 기준이 기존 대비 5dB(A) 강화되어 시행되는 등 소음/진동에 대한 기준이 점차 강화되고 있으나, 아직 구체적인 대책방안을 준비하고 있지 않음. □ 친환경 철도를 구현하기 위해 환경정책기본법등 소음/진동에 대한 기준이 점차 강화되고 있으나, 아직 철도소음의 환경기준이 미비한 실정임. 참고로 2010년 1월부터 철도 환경소음 기준이 기존 대비 5dB(A) 강화되어 시행되고 있음.

	□ 현재 철도차량 제작 시부터 소음을 규제하기 위해 제작차량에 대한 환경소음기준이 설정되어 시행되고 있으며, 2017년에는 소음권고기준이 한층 강화되어 실시될 예정이다. 그러나 차량의 소음/진동 저감을 위한 기술은 답보상태에 있어 종합적인 저감방안을 위한 기술이 요구되고 있음. □ 환경부 고시 제2010-73호 「소음·진동 관리법」 제 45조 2의 “철도차량의 소음권고기준 및 검사방법” □ 철도차량이 곡선부 통과 시 승객 및 인근 거주민에게 신경을 자극하는 커다란 소음을 발생시켜 많은 민원이 제기되고 있음. 유럽의 철도이용객의 약 10%이 스킬소음에 노출되어있으며, 스킬소음이 발생하는 곡선구간의 250m 이내에서는 약 1000명이상의 거주민이 스킬소음에 고통을 받고 있다. 국내 실정을 고려하면, 도시철도는 유럽보다 인구밀도가 높은 지역을 운행하기 때문에 더 많은 승객과 거주민이 스킬소음에 노출되어있어, 피해를 받고 있는 실정임. □ 국내 도시철도 구간에서는 레일의 파상마모가 많이 발생하고 있으며, 이로 인해서 발생하는 소음은 일반구간보다 약10dB(A)이상의 커다란 소음을 발생시키고 있음. 서울 도시철도, 부산 지하철, 신분당선 등 국내 도시철도구간에서 레일의 파상마모가 발생하면서 도시철도 실내소음기준인 80dB(A)보다 10dB(A)이상 커다란 90dB(A)이상의 실내소음이 발생하여 승객에게 커다란 고통을 줄뿐만 아니라, 도시철도 운영 차에서는 레일의 파상마모를 제거하기 위해서 주기적으로 레일 삭정차를 이용하여 삭정작업을 실시하고 있다. 이러한 삭정으로 인해서 레일의 수명이 약1/3로 단축되면서, 레일의 심각한 유지 보수 비용이 발생하여, 철도경영에 어려움을 주고 있다. 해당 내용을 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있음. □ 차량의 고속화와 경량화 추세에 따라 철도에 의한 소음/진동문제는 지속적인 문제가 될 것으로 판단되므로 철도 소음/진동 저감을 위한 기술을 기존의 차량, 궤도 등 부품 단위뿐 아니라 총체적인 관점에서 개발할 필요성이 대두 됨. □ 철도차량이 터널 내를 주행 시 개활지 대비 5~7 dB(A) 실내 소음이 증가함. 특히 500 Hz 아래의 저주파수 대역에서는 최대 15 dB(A) 상승함. 해당 주파수 대역의 소음 저감을 위한 구조기인, 공기기인 소음의 종합적인 대책이 필요함. □ 차량의 고속화와 경량화, 일반 국민의 삶의 질 향상 추구 등 따라 철도 주행에 따른 소음/진동문제는 지속적인 문제가 될 것으로 판단되므로 철도 소음/진동 저감을 위한 기술이 종합적으로 개발될 필요가 절실함.
□ 기술동향	□ 차량 소음/진동 저감 기술 ○ 일본의 700계 신간선 열차의 개발 목적은 차세대 東海道/山陽 노선 차량으로서 주로 실내 쾌적성 향상, 차내 환경의 개선 및 연선(沿線)에의 환경 적합성 향상을 도모하고 있음. 차내의 환경 개선을 위해 제진재의

	2중 구조 및 차음성을 향상시킨 부상구조를 채택하였음. ○ 일본의 동력분산식 경량차체 개발의 경우 터널 내에서의 차음성 향상을 위해 내부에 제진재를 강화하였음. 객실의 바닥재는 차내 소음 저감을 위해 딴플 (dimple) 상판을 채용하였으며, 이는 알루미늄판을 딴플 형상으로 함으로서 소음을 저감시키기 위함임. 또, 투과음도 딴플에 의해서 유지된 상면판의 상호 간섭으로부터 소음 저감을 이루었음. 대차상부에는 대차로부터 고체전달음을 저감시키기 위해 정류격자 상판 아래 방진고무를 삽입한 부상구조로 했음. ○ 국내에서는 철도차량의 바닥구조의 흡차음성능을 분석하거나 압전재료의 특성을 이용한 스마트 패넬에 관한 연구 등이 이루어진 바 있으며, 공기스프링의 스프링 상수 개선, 방음차륜을 통한 소음저감 및 실내소음 해석, 철도차량용 EM/MR 유체이용 능동댐퍼 연구가 시작되고 있는 상황임. □ 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 ○ 1980년대 후반부터 차륜과 레일에 의해서 발생하는 소음/진동 문제는 유럽의 ERRI(European Rail Research Institute)을 중심으로 전동음과 스킨소음에 대한 연구가 본격적으로 진행되어, 전동음 예측 프로그램(TWINS)를 개발하였음. ○ 영국의 University of Southampton내 ISVR연구소에서 전동음에 대한 저감방안과 스킨소음에 대한 발생 메카니즘을 규명하기위한 연구가 활발히 진행되고 있음. ○ 현재 프랑스, 독일, 일본, 중국 등 고속철도기술 선진국들은 자체 기술로 400 km/h 대의 고속철도 차량을 개발하고 있으며, 이에 대한 실용화를 위해 많은 노력을 기울이고 있음. ○ 특히, 프랑스는 2007년에 574.8 km/h를 주행하여 세계최고 시험 속도를 달성하였으며, 고속철도 개발의 후발주자이면서 고속철도 경쟁국인 중국은 2000년에 481.6 km/h의 시험 속도를 달성하였음. ○ 레일 파상마모에 대한 본격적인 연구는 1970년대부터 시작되어, 1975년 Johnson과 Gray는 디스크머신에서 파상마모의 형태를 이론적 혹은 실험적으로 설명할 수 있다고 보여주었으며, 1977년 오스트레일리아의 Mair는 특정 장파장 파상마모의 원인을 연구하였음. 1978년 Eisenmann은 단파장 파상마모 연구를 발표하였고, 1979년 Daniels은 푸에블로의 FAST 트랙에서 단파장 파상마모에 대한 실험적 연구를 시작하였음 ○ Frederick과 1987년 박사학위논문에서 Valdivia가 파상마모의 발생 원
--	---

	인에 대한 새로운 이론적 개념을 제시하였으며 BR 연구소의 Frederick, Sinclair에 의한 공동연구에서 단파장 파상마모의 문제에 대한 해결책을 제시하였음. ○ 유럽에서는 1996년 Ilias, 1997년 Igeland, Müller 등에 의해서 연구가 지속되었으며 일본의 Suda 등은 1986년에 이론적이고 실험적인 레일 파상마모 연구를 시작하였으며, 1993년부터 Matsumoto등은 주로 리니어 모터 차량에서 발생하는 파상마모를 방지하기 위해 급곡선에서의 파상마모 연구를 시작하였음 Matsumoto, Suda, Ishida는 실물크기의 시험기와 축소모델 시험기, 열차운행 시험, 현지조사 그리고 수치 시뮬레이션을 통해서 급곡선 구간에서 발생하는 파상마모의 대책 연구를 수행하였음. □ 철도인프라 소음/진동 저감기술 ○ 철도 구조물 가운데 고가교와 철교는 차량 통과 시 소음/진동을 발생시켜 철도연변에 거주하는 주민 혹은 차량에 탑승한 승객에게 커다란 피해를 끼침. 이러한 소음/진동에 관한 연구는 1980년대 중반 TCRP(Transit Cooperative Research Program)에서 도시철도 고가교에서 방사되는 소음을 저감시키기 위한 연구가 진행되었으며, 유럽에서는 1990년대 중반 TNO에서 철교에서 방사되는 예측 프로그램을 개발하여 저감 방안에 활용하고 있음. 일본의 경우 2000년대 초반 신칸센의 고가교 소음을 저감시키기 위한 연구가 철도종합기술연구소(Railway Technology Research Institute)에서 수행되었음. 그러나 국내에서는 고가교 혹은 철교의 소음을 저감시키기 위한 연구는 진행되어지지 않고, 단지 구조물에서 방사되는 소음레벨을 파악하는 수준에 머물고 있음. ○ 유럽에서 2011년 2월부터 시작되어 2013년까지 수행할 계획인 RIVAS(Railway Induced Vibration Abatement Solutions) 프로젝트의 경우 철도의 상업적 경쟁력 확보와 유지를 위한 지반진동 환경영향 저감을 목표로 하고 있음. 본 프로젝트의 경우 진동저감 toolbox의 제공을 목표로 운영사, 관련 협회 및 제조사 등 25개 기관이 모여 구성되었으며, 광범위하고 신속하게 적용이 가능한 실용적인 결과도출을 위해 연구수행중임. 또한 RIVAS 프로젝트는 화물선로에서 주로 발생하는 저주파수 진동에 포커스를 맞추고 있으나, 도시철도나 고속철도를 모두 대상으로 하고 있음. ○ 열차 주행 시 발생하는 진동은 레일패드, 방진패드, 침목패드 및 방진슬래브 또는 매트 등의 자재나 공법을 이용하여 차륜-레일의 접촉에 의해 발생하는 진동을 차단하거나 흡수하여 진동의 영향을 최소화 할
--	--

	수 있음. 현재 국내외에서 철도 주변의 진동과 소음의 영향을 최소화시키기 위해 여러 공법을 적용하여 사용하고 있음. ○ 지하철 및 열차 운행에 따른 지반진동과 소음의 예측은 수치해석 기법의 발달과 함께 급속히 발전하여 왔으며 특히 최근 10여년에 걸쳐 지반-구조물 상호작용 이론을 기반으로 한층 업그레이드되고 있다. 최근의 연구동향은 주로 차량과 궤도의 상호작용 및 궤도의 모형화에 주안점을 두고 있으며, 지반진동해석의 경우에는 해석결과에 가장 큰 영향을 미치는 지반의 기하학적 특성과 지반전파속도를 정밀하게 고려하는 해석방법 등이 수행되고 있음. ○ 국외에서는 녹색교통 및 녹색도시 창출이라는 명목 하에 Directive 2002/49/EC에 의한 소음지도 작성과 실행계획의 현실화를 위하여 소리의 평균소음도가 아닌, 시간적/주파수 구성적 특성과 그 분포를 심리음향적으로 제시해 주는 심리음향 지도, 교통소음 합성/재생 Tool, 인지과학적 소음원 저감 기술 개발등 대한 기술이 진행되고 있음.
--	--

3. 연구개발 내용

	□ 세부1과제 : 차량 소음/진동 저감기술 개발 ○ 세부1-1 : 고속철도차량의 제동 스킵소음 저감기술 개발 - 제동소음 시험평가기술 확보 - 차량 제동 소음 저감해석기술 개발 - 저소음 제동패드 개발 ○ 세부1-2 : 고속철도 차량 적층재의 차음 및 제진 성능향상을 위한 저감기술 개발 - 차체 바닥구조의 방음/방진 구조의 최적화 기법 - 차량 흡/차음재의 재질 및 적층구조 고성능화 기술 ○ 세부1-3 : 고속철도차량 실내 소음/진동 제어기술 - 마스킹 효과를 이용한 실내소음 제어기술 - 전자기식 에코-스마트 하이브리드 현가시스템 및 첨단 제어기술 개발 □ 세부2과제 : 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 ○ 세부2-1 : 공력소음 저감기술 - 공력소음 해석기술
--	--

	- 풍동실험에 의한 공력소음 측정기법 ○ 세부2-2 : 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 저감기술 - 곡선부 스킵소음 예측 및 저감기술 - 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 원인규명 및 해석기술 ○ 세부2-3 : 레일파상마모에 의한 소음 저감기술 - 레일 파상마모 관리 시스템 구축 - 레일 파상마모 저감 기술 □ 세부3과제 : 철도 인프라 소음/진동 저감기술 개발 ○ 세부3-1 : 궤도 소음/진동 저감기술 개발 - 휠-궤도-교량/지반 상호작용을 고려한 소음/진동 예측기술 개발 - 궤도 타입별 소음/진동 성능평가 기술(방법 및 절차 등) 개발 - 저진동/저소음 궤도 시스템 개발 - 세부3-2 : 철도 지반 및 교량 소음/진동 저감기술 개발 - 궤도구조 근접지반 진동 원천 해석기술 개발 - 지반특성별 진동전파 경로특성 파악기술 개발 - 철도교량에서 발생하는 소음/진동을 예측·평가·저감할 수 있는 방법 및 절차 개발 - 실내 및 현장 실험을 통한 소음/진동 전파 모델 및 예측전달식 개발 - 저소음·저진동 교량의 prototype 개발 ○ 세부3-3 : Q-City: 철도변 3차원적 환경소음 저감기술 개발 - 고효율 방음벽/방음벽상단 소음저감장치 개발 - 철도용 방음터널 개발 - 궤도용 흡음블럭 개발 - 철도변 고층의 주거 및 정온시설의 세대별 소음도 예측을 위한 GIS기반의 소음지도 제작도구 및 평가방법 개발
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	□ 철도 소음/진동 저감 원천기술 개발을 5년 내에 성공적으로 수행하기 위해서는 각 세부과제별 원천기술 항목에 대한 연구계획 및 타당성 검토를 조기에 선정 □ 국내외 타교통분야의 소음/진동 전문인력을 바탕으로 기술역량이 있는 산업

	체, 학교, 연구소들과 협동체계 구축을 통해서 기 확보된 원천기술을 조사분석 □ 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립 □ 정부 및 관련 기관들의 유기적 협조체제 구축 - 상용화시 관련 있는 규정 및 법률 검토 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련기관 및 산업계 등 기술수요처 의견수립 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영 □ 연구성과물에 대한 활용성 향상 추진을 위한 산학연 공동 연구추진
□ 추진체계	□ 본 연구단은 원천기술 개발과 함께 연구성과물에 대한 활용성을 향상시키기 위한 철도제작사, 건설사 및 운영기관을 포함한 산학연 공동 협조 체제 구축으로 추진 □ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모하고 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 □ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요 □ 빠르고 원활한 연구결과를 얻기 위해서 주관기관에서 종합적으로 관리하고, 참여기관의 적극적인 연구결과 도출을 위한 독려
5. 최종 성과물	
	□ 세부1과제 : 차량 소음/진동 저감기술 개발 ○ 세부1-1 : 고속철도차량의 제동 스킨소음 저감 기술 개발 - 철도 차량용 주행 속도, 온도 환경 변화에 따르는 제동디스크와 제동패드 간의 답면에서의 마찰 계수값 데이터베이스 확보 - 실차의 부품 제원 및 작동 조건에 의한 스킨 발생원을 규명 및 대책 수립 - 제동계의 스킨소음에 영향을 미치는 인자들의 기여도나 그 연성관계 파악 ○ 세부1-2 : 고속철도 차량 적층재의 차음 및 제진 성능향상을 위한 저감 기술 개발 - 차체 바닥구조의 방음/방진 구조의 최적화 기법 - 차량 흡/차음재의 재질 및 적층구조 고성능화 향상 기법 - 스마트 적층재를 이용한 알미늄 압출재의 차음성능 향상 기법 ○ 세부1-3 : 고속 철도 차량 실내 소음/진동 제어기술 - 능동형 전자기식과 수동식 제진 기술을 융합한 에코 하이브리드 현가장치

	- 하이브리드 현가장치의 스마트 최적강인제어 알고리즘 - KTX 구간별 소음 지도 및 쾌적성 평가 결과 □ 세부2과제 : 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 ○ 세부2-1 : 공력소음 저감기술 - 공력소음 해석기술 - 풍동실험에 의한 공력소음 측정기법 ○ 세부2-2 : 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 저감기술 - 곡선부 스킵소음 예측S/W 및 저감기술 - 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 원인규명 및 해석기술 - 차륜/레일 인터페이스 소음/진동 원인규명 및 해석기술 ○ 세부2-3 : 레일파상마모에 의한 소음 저감기술 - 레일 파상마모 관리 시스템 - 레일 파상마모 저감 기술 □ 세부3과제 : 철도 인프라 소음/진동 저감기술 개발 ○ 세부3-1 : 궤도 소음/진동 저감기술 개발 - 철도 인프라 인터페이스(휠-궤도-교량, 휠-궤도-지반) 소음/진동 예측기술 - 궤도 각 요소별/타입별 소음/진동 저감기술 - 궤도 타입별 소음/진동 성능평가 기술(방법 및 절차 등) - 새로운 저진동/저소음 궤도 시스템(고흡음성 콘크리트 궤도, 고효율 흡음체 등) ○ 세부3-2 : 철도 지반 및 교량 소음/진동 저감기술 개발 - 궤도구조 근접지반 진동 해석 기술 - 지반특성별 진동전파 경로특성 파악기술 - 지반 진동저감/차단 설계 및 시공기술 - 저소음·저진동 교량 소음/진동 설계 및 해석 기술 - 교량의 소음/진동 평가 기술 및 기준 - 저소음·저진동 교량 prototype ○ 세부3-3 : 철도 환경소음 저감기술 - 철도용 방음터널/궤도용 흡음블럭 설계기법 개발 및 설계사양 도출 - 철도용 방음터널/궤도용 흡음블럭 시제품 제작 및 성능테스트결과 도출
--	--

	- 소음지도를 이용한 평가 및 분석방법 기법
6. 기대효과 및 파급효과	
	☐ 고속차량 차륜과 레일의 경제적 운영으로 유지보수비 저감 ☐ 효율적 철도소음 예측기술과 방음시설 설계 및 자문 기술 해외이전 및 상업화 ☐ 환경관련 민원 등의 사유로 계획이 완료된 고속철도 공사 지연에 따른 시간비용 및 운영비 증가와 승객 미확보로 얻는 손실 비용 절감 ☐ 국내 철도 운행 실정과 특성에 상응하는 기술개발로 호남고속철도 및 국외 고속철도 수출시 품질 경쟁 ☐ 차량 개발 시 저소음/저진동 차량설계 ☐ 차량 운행 시 곡선부 스킵소음 발생구간의 저감방안 제시 ☐ 레일 파상마모 발생구간의 저감방안 제시 ☐ 궤도 신설 및 개량시 저소음 궤도 시스템 설계 ☐ 현재 운행중인 고속철도 구간 및 향후 운행예정인 경량전철의 콘크리트 고가교의 소음 저감방안 제시 ☐ 과거 건설된 철교의 저소음/저진동 방안 도출 ☐ 고속차량 개발시 전두부 형상 및 판토틀라프 등 공력소음 발생위치의 저소음 형상 설계 ☐ 철도 운행구간의 소음맵을 통한 건물 및 아파트 건설시 환경소음 평가
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	☐ 총 연구기간 : 2013.01~2017.12(60개월) - 1차년도 연구기간 : 2013.01~2013.12(12개월) - 2차년도 연구기간 : 2014.01~2014.12(12개월) - 3차년도 연구기간 : 2015.01~2015.12(12개월) - 4차년도 연구기간 : 2016.01~2016.12(12개월) - 5차년도 연구기간 : 2017.01~2017.12(12개월) ☐ 총 정부출연금 : 230억원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 60억원 이내 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정가능

8. 기타

- 연구신청자는 제안요청서에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발 계획서를 작성하며, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 충분한 관련근거를 제시하고, 수정하여 제안할 수 있음.
- 과제 신청자는 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함(성과점검기준 등 활용)
 - ※ 과제 선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가등의 근거 자료로 활용
- 선정된 연구단은 건교평과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 성과목표·지표별, 연차별, 정량적·정성적 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨.
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행 실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회, 문화적 파급효과 및 산출근거
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도 기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성해야 함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하지만, 그 근거를 명확히 해야함.
- ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의해서 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구관리 전문기관(한국건설교통기술평가원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화 혹은 명확화)할 수 있음

2. 세부 과제별 제안요구서

가. 제1세부과제 : 철도차량 소음/진동 저감기술 개발

1. 과제명	고속철도차량의 제동 스킵소음 저감기술 개발
2. 연구개발목표	□ 기술개발의 목표는 차량 주행 안전성 향상, 사용 에너지 저감, 제동거리 확보, 유지보수비 저감을 만족하는 진동·소음 저감 향상 방안 확보임. □ 정차시 제동소음 발생 현상의 체계적 원인 규명 및 저감대책 제시 □ KTX 혹은 도시철도차량 제동소음 10dB(A)이상 저감기술 □ 철도차량 이용 승객 및 관련 근무자에게 쾌적하고 정숙한 환경 제공
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	□ 철도 선진국의 경우 고속열차 속도 경쟁이 치열함. 프랑스는 2007년 574.8km/h 시험주행에 성공했고, 일본은 2005년 405km/h 시험주행을 성공한 후 운행속도 360km/h급 상업운행을 준비하고 있으며, 중국은 2010년 486.1km/h 시험주행에 이어, 2011년 500km/h 시제열차를 출시하였음. 제동장치는 안전운행 확보를 위해 필수적인 철도차량의 핵심장치 중 하나로 철도 선진국에서는 저소음, 고성능 제동장치 개발에 많은 투자를 진행하고 있음. □ KTX와 유사한 기계제동 장치를 사용하는 TGV에서도 제동스킵 소음이 발생하고 있어 프랑스 연구자들은 스킵소음이 디스크와 패드의 마찰에 의한 불안정 진동 모드에 의해 발생한다고 가정하고 이 불안정 모드를 효율적으로 파악할 수 있는 해석방법에 대한 연구를 수행하고 있음. □ 제동소음 저감을 위한 기술개발 연구범위는 제진재 등을 사용한 소음저감 설계 기술, 해석기술, 시험평가기술, 그리고 저소음 마찰재 개발기술 등으로 구성됨. □ 각 단품에 대한 진동 모드 해석, 주파수 응답함수 해석, 그리고 이 단품을 조립한 구성품에 대한 진동 모드 해석, 주파수 응답 해석 등을 실시함. 이들 진동특성에 영향을 미치는 주요 변수를 변경해 가면서 최적화된 제동장치를 개발하고 있음. □ 제동 시 디스크와 패드 사이의 마찰에 의해 마찰재에는 200-300℃ 이상의 고열이 발생하므로 타 분야에서 사용되고 있는 압전필름 등을 적용한 진동·소음 저감기술은 적용하기가 어려운 것으로 파악됨. □ 제진재, 흡음재를 제동장치 혹은 주변의 구조물에 부착하여 진동, 소음을 저감하려는 연구가 있었음. □ 마찰, 마모 현상은 상사법칙을 도출하기가 어려워 축소 시편과 축소 시험기를 사용한 시험결과와 완성품 시험결과가 잘 일치하지 않아 실차 크기의 제동다이내모를 사용하여 마찰재 개발품의 성능을 평가하고 있음. □ 저소음, 경량화를 위한 알루미늄/SiC 복합재 디스크, C/C 디스크 등이 이미 고급 승용차에 적용되었고, 철도차량용으로 개발 혹은 개발 중으로 조만간 실용화가 될 것으로 판단됨. □ 고속철도용 제동 패드는 일반적으로 동계 소결합금 마찰재를 사용하나 구리

	화합물이 인체에 유해물질로 분류되어 구리를 대체한 새로운 소결 마찰재의 개발이 추진되고 있음. 다음 그림은 기존의 제동패드와 Silent Sintered Pad를 적용할 시 발생하는 소음의 크기를 측정해서 비교한 결과이다. 기존의 제동패드와 Silent Sintered Pad를 적용할 시의 제동소음 측정 예 □ 마찰제동은 기본적으로 두 마찰재의 마모에 의해 마모 입자를 발생시켜 선로 주변, 역사, 공기 중에 발생시키므로 이들 입자를 포집하여 그 성분을 분석하고 인체 유해성을 조사하는 연구도 실시되고 있음. □ 마찰제동에 의한 마모 입자 발생, 스킵 소음, 제동장치의 고장, 유지보수비 등 마찰제동의 단점을 근원적으로 해결하기 위해 비접촉식 제동장치가 개발 혹은 사용되고 있음. 특히 독일의 ICE는 와전류(Eddy current) 제동장치를 구비하여 제동과 관련된 유지보수비가 많이 절감된다고 주장함.
4. 기존기술 활용방안	□ 고속철도용 소결 패드 제작업체인 (주)다원프릭션의 제작기술을 저소음 패드 개발에 활용. □ 그동안 철도 분야에서는 제동소음에 대한 연구 투자가 미미하였으나 자동차 분야에서는 많은 연구가 수행되었으므로 자동차 분야의 제동소음 중 철도에 적용 가능한 기술은 활용이 가능할 것으로 분석됨. □ KTX 제동소음을 해결하기 위하여 철도공사에서 ‘고속차량 제동 시 소음저감 방안 연구 (2007)’에서 제동소음 측정, 흡음재, 제진재 등을 부착한 소음저감 효과 등에 대한 기초 연구를 수행하였음. 본 과제 수행의 기초 참고자료로 활용. □ 제동소음에 대한 직접적인 연구는 아니나 유사연구 분석 및 활용 - “실내외 소음저감 기술개발 연구보고서 : 분산형 차량성능 및 운용 기반기술 개발에 관한 연구 : 차세대고속철도기술개발사업 2단계 최종보고서,” 김정태, 한국건설교통기술평가원, 2011. - “400km/h 고속철도 소음원 모델 구축 및 소음원 기여도 분석기술 개발 연구보고서,” 조준호, 한국건설교통기술평가원, 2010. - “고속화에 따른 소음진동 저감방안 연구,” 조준호, 한국철도기술연구원, 2010. - “실내외 소음저감 기술개발,” 김정태, 한국건설교통기술평가원, 2010. - “철도 소음 진동 시험규격 검토 및 매뉴얼 작성,” 최연선, 한국철도기술연구원, 2010. - “철도소음 저감 선진화 방안 연구기획,” 김정태, 한국철도기술연구

	원, 2010. - “고속화에 따른 소음진동 저감방안 연구 : 철도친환경 및 에너지 기술개발,” 조준호, 한국철도기술연구원, 2009. - “철도소음저감 기술현황 분석,” 최강운, 한국철도기술연구원, 2008.
5. 기술개발 필요성	□ KTX 열차의 정차 시 최대 114dB(A)의 과도한 제동소음이 발생하여 차량 안팎의 승객은 대단한 불쾌감을 느끼며, 첨단기술의 집약체로 인식되고 있는 고속철도에 대한 좋은 이미지를 훼손하고 있어 시급히 해결하여야 할 필요성이 있음. □ 지하철의 경우는 제동소음이 크게 발생하지 않는 차량도 있고, 일부 차량에서는 발생하는 등 간헐적으로 문제가 되나 이런 문제를 진단하고 해결할 수 있는 원천기술은 확보하지 못하고 있으며 문제 발생 시 많은 시행착오를 통하여 문제를 해결하는 수준임. □ 독일, 일본 등에서는 제동소음을 고려한 제동장치 설계, 해석, 제작기술을 보유하고 있으나 국내의 경우, 어느 정도 성능을 만족하는 마찰재 제작은 가능하나, 소음/진동 특성을 고려한 고품질의 마찰재를 설계, 제작할 수 있는 원천기술은 확보하지 못하고 있어 아직 해외 시장에 진출하는데 걸림돌이 되고 있음. □ 국내 철도차량 제동기술을 한 단계 높이고 이를 바탕으로 해외 시장 진출을 위해서는 제동소음 해석, 시험평가 기술을 확보하여 저소음 고품질의 제동장치 설계 및 제작기술을 확보하여야 함.
6. 주요연구 개발내용	□ 제동소음 저감을 위한 기술개발 연구범위는, 해석기술, 시험평가기술, 저소음 제동패드 개발기술, 그리고 제진재 등을 사용한 소음저감 설계 기술 등으로 구성됨. □ 제동 소음 분야 feasibility 수행 - 제동소음 관련 연구자료 및 문헌조사 검토 - 철도 선진국의 복합재 디스크, C/C 디스크 등 철도차량용으로 개발 혹은 개발 중인 제동장치의 관련 동향 검토 - 자동차 분야의 제동소음 중 철도에 적용 가능한 기술 활용 가능성 검토. □ 소음저감 해석기술 ○ 마찰계수-속도 관계 규명 : 철도 차량용 주행 속도, 온도 환경 변화에 따르는 제동디스크와 제동패드 간의 답면에서의 마찰계수의 실험에 의한 측정 및 관련 예측식 도출 - 이론 해석 기법에 의한 스킵소음을 발생시키는 현상 파악 - 디스크와 패드 사이의 마찰에 의하여 연성된 브레이크 어셈블리의 운동방정식을 대상으로 진동계의 불안정성을 검토



철도차량용 제동디스크 답면에서의 마찰계수 측정 실험 예

- 구체적 브레이크의 사양에 따라 스킵에 영향을 미치는 인자들의 기여도 혹은 그 연성 관계 파악
- 전산해석 기법에 의한 스킵소음을 발생시키는 현상 파악
 - 제동소음 인자에 대한 소음의 기여도 분석
 - 해당 제동시스템에 대한 소음 저감 크기 예측

□ 시험평가기술

- 마찰재 패드가 가져야 하는 구조적 특성 및 제동 특성 실험
- 다이나모상 제동 시험 평가
 - 기존의 제동이론 및 해석 모델에 실차의 부품 제원 및 작동 조건을 적용함으로써 실차의 스킵 발생원을 규명 및 대책 수립
 - 스킵 발생 조건의 구현
 - 디스크, 패드 어셈블리의 정지상태의 진동 모드 특성치 결정, 스킵 주파수와 요소별 공진주파수의 비교
 - 패드부의 진동 특성 변화에 대한 스킵 상태 변화 평가
 - 수직력 및 마찰력 측정. 힘 변동에 따른 스킵 상태 변화 평가
 - 미끄럼속도 변화에 따른 의 변화 모니터링 및 스킵 발생의 상관성 평가.
- Machine Learning 방법을 이용한 제동스킬소음 저감 인자 도출
 - 제동스킬소음의 불규칙한 발생 특성을 고려하기 위하여 machine learning과 같은 신호처리적인 관점의 블랙박스 모델링 기술을 개발하고, 개발된 모델은 주어진 제동시스템의 환경변수, 물리적 변수, 동적 변수 등의 인자들을 입력 성분으로 설정함. 다양한 입력조건에서의 실험결과(스킬소음 유무)들은 데이터베이스에 저장되며 블랙박스 모델의 제동스킬소음 예측 성능을 개선하는 데 사용됨.

데이터베이스가 축적되어 감에 따라서 블랙박스 모델은 더 강건하게 업데이트되며 최종적으로는 제동스킬소음이 저감되는 설계 인자들을 도출함.

○ 제동소음관련 현차 시험 평가

- 시험 선로 및 철도 기지에서 적절한 조건으로 시험
- 다이나모 시험에서 도출된 소음 발생 인자별 운행 실시
- 차륜, 레일, 제동장치 부속품에 대한 운행 조건별 진동, 음향실험 실시
- 디스크 주변의 온도 변화 측정
- 열차 제동시의 역사내 방사소음도 측정
- 정차시 제동 디스크 및 차륜의 주파수 응답 측정

□ 저소음 제동패드 개발기술

○ 제동패드의 최적 구조 설계

- 제동디스크의 상대 마찰재인 제동패드는 디스크와 접촉하는 마찰재, 마찰재를 지지하는 백 플레이트, 진동을 흡수하기 위한 흡음재, 그리고 제동패드를 캘리퍼에 장착하기 위한 브라켓 등으로 구성됨.
- 고속철도용 마찰재는 봉 형상의 소결재를 사용하는 것이 일반적인데 마찰열을 잘 방출하고 제동디스크의 특정 부분에 마찰열이 집중되지 않도록 적절하게 배치되어야 함.

- 마찰재, 백 플레이트, 브라켓의 구조, 강성은 제동패드의 진동특성에 영향을 미치고, 디스크와의 상호작용에도 영향을 끼쳐 소음을 발생시킬 수 있으므로 구조 최적화가 필요함.

소결 패드, 마찰재 제작기술

- Cu 기지에 다양한 성분을 추가하여 시편을 제작하여 마찰, 마모성능 평가
- 밀도, 기공률, 강도, 조직분석
- 소결온도, 압력, 소결시간 등 관련 파라미터의 영향 평가

○ 마찰재 마찰, 마모, 소음 등 성능 평가

- 소형시편의 소형시험기에 의한 성능평가
- 제동다이나모를 이용한 실물크기 시제품의 성능평가

○ 제동패드 해석기술

- 제동패드의 구조, 열, 진동해석
- 제동패드/제동디스크 구성품의 구조, 열, 진동해석 등

7. 정부지원의 타당성		□ 2013년 예상 철도 여객수송 분담률은 22%로 2050년까지의 목표수준 30% 달성을 위해서는 철도교통망의 효율화, 친환경성 및 편의성 개선이 요구되며, 이를 위해서는 철도 소음에 대한 근본적인 저감 대책이 절실히 요구됨. □ 현재 철도차량 제작 완료 후 차량의 소음 및 진동 문제가 발생하면, 이를 저감시키기 위한 개선 방안을 도출하기가 매우 제한적이며, 소요비용이 많이 들어 차량 제작사 및 운영주체가 이를 해결하기 위한 차량 설계단계부터 저소음 차량을 위한 연구가 체계적으로 수행되어야 하나 아직 이러한 기술단계까지 확보되지 못한 상태임. □ 본 제동 소음 저감 과제는 제동부품 관련 중소기업, 차량 제작사, 운영 주체, 연구기관이 공동으로 과업내용을 진행해야하는 성격을 가지고 있음. 해당 연구내용을 원활하게 진행하기 위한 정부기관의 지원이 요구됨.						
8. 기술확보 전략		□ 제동소음에 대한 관련 논문과 특허를 분석하여 제동소음 저감을 위해 필요한 최적기술을 도출. □ 제동소음 저감을 위해서는 첨단 저소음 마찰재 배합·제작기술, 제동소음원의 발생 메커니즘 규명, 해석, 측정 기술, 그리고 실제적으로 적용 가능한 실용기술 등 여러 분야의 전문기술이 필요하므로 산·학·연의 협력을 통하여 관련기술 확보. □ 저소음 마찰재 개발을 위해서는 한국철도기술연구원, 마찰재 제작사 등 이 분야의 연구 경험이 있는 기관을 활용하고, 제동소음원의 발생 메커니즘 규명, 해석 등 기초연구는 대학의 전문가 활용, 실용기술 개발은 출연연, 기업, 철도공사 등과 유기적 협력을 통하여 관련 기술 확보. □ 승용차의 제동소음은 품질과 직접 관련이 있어 제동소음에 대한 많은 연구가 수행되었으므로 이 분야의 발표자료와 전문가를 활용한 관련 기술 확보. □ 산·학·연 제동소음 전문가 그룹을 구성하여 정기적인 워크숍을 통하여 각 분야의 기술을 통합하여 관련기술을 데이터베이스화 하여 기술을 확보하고 축적함. □ 제동소음 관련 해외 유명 전문가와 기술교류를 통하여 최신 연구동향을 파악하고 관련 기술 확보.						
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안		최종성과물	□ 철도 차량용 주행 속도, 온도 환경 변화에 따르는 제동디스크와 제동패드 간의 답면에서의 마찰 계수값 마련 □ 제동계의 스킵소음에 영향을 미치는 인자들의 기여도나 그 연성 관계 파악 □ 실차의 부품 제원 및 작동 조건에 의한 스킵 발생원을 규명 및 대책 수립					
		활용방안	□ 철도차량 역사 진입시 최적운전 모드 방안제시 □ 철도차량 역사 정차시 소음기준 설정 기초 자료 마련					
10. 연구개발 과제의 규모		구분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
		연차별 연구비 (백만원)	정부	442.5	307.5	292.5	322.5	322.5
			민간 (추정)	-	-	-	-	-

	합 계		442.5	307.5	292.5	322.5	322.5
	총 연구비 (백만원)	정부	1,687.5		총 연구기간	5 년	
		민간	-			연도별 평균소요인력	4 명
		총합계	1,687.5				
11. 기대효과 및 파급효과	□ 기술적인 측면						
	○ 제동 소음의 소음원 발생 메카니즘 규명 및 저감 조건 도출						
	○ 축소모델 다이나모 및 현차 시험을 통한 제동소음 제동소음 발생 및 저감방안 제시						
	□ 경제적인 측면						
	○ 제동소음 저감에 의한 역사내, 혹은 철로 주변의 소음 저감에 의한 민원 감소 효과						
	○ 초기 설계단계시부터 제동소음이 적은 차량 설계, 제작에 의한 제작후 소요비용 절감 가능						

1. 과제명	고속철도차량 적충재의 중량대비 차음 및 제진 성능 향상을 위한 기술 개발
2. 연구개발목표	□ 본 과제에서는 차량 방음/방진 성능 향상을 위하여, 현재까지 개발된 철도차량 적충차음재의 문제점을 파악하여 현재보다 5dB 정도의 차음성능을 향상시키는 소음/진동 원천기술 개발을 목표로 한다. 이를 달성하기 위하여 다음의 세부 항목별 목표를 설정하여 과제를 추진함. ○ 국부공진 설계기법 제시 : 주름강판 및 알루미늄 압출재에서 발생하는 국부공진이 주요 소음원 대역을 피하는 코어 설계법과 효율적인 댐핑처리 방법으로 공진대역 5dB 차음성능 향상 ○ 적충구조 최적화기법 : 바닥 및 측면의 적충구조 최적화를 통해 현재 대비 투과손실 3dB 이상 향상안 제시 ○ 압전필름 이용한 스마트 적충재로 주름강판 및 알루미늄 압출재의 국부공진 대역 투과손실을 5dB 향상
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	□ 일본의 700계 신간선 차음성 향상을 위해서 2중 구조 제진재 및 부상 구조를 적용. □ 일본의 동력 분산식 경량차체의 경우 터널 내에서 차음성 향상을 위해 객차 내부 판재의 제진성능 강화. 바닥재는 딩플 (dimple) 상판 채용, 대차 상부에는 대차로부터 고체 전달음을 저감시키기 위해 정류격자 상판 아래에 방진고무를 삽입한 부상구조로 제작. □ 상하이 교통대 연구팀은 침대칸의 저소음/저진동화를 위한 점탐성재 적용. 3가지 댐핑재 적용시의 진동레벨, 실내소음 개선효과를 실차시험을 통하여 분석.

	□ 국부적으로 소음전달의 주요 경로상에서 압전 필름을 이용하여 취약 주파수 대역에서의 댐핑을 극대화시키는 스마트 패넬에 관한 연구. □ 국내에서는 철도 차량에 사용되는 강판, 알루미늄 압출재, 허니콤재, 합판, 노맥스허니콤, 2중 유리창, 유리면 등 주요 흡차음재의 성능에 대한 실험적 평가와 중량당 차음성능 분석 수행. □ 철도차량용 주름강판 및 알루미늄 압출재의 차음성능을 높이기 위하여 국부공진 개념을 이용한 설계 방안 검토. 차음성능 개선 방안으로 폼 충전과 제진도로 도포를 통하여 3dB~5dB의 차음성능 개선 효과 확인. □ 부유상 바닥구조의 진동절연을 통하여 고체전달 소음 개선효과를 실험 및 해석적으로 연구. 소프트 러버 마운트를 이용 4dB의 진동 절연 및 고체전달 소음 저감효과 보고.
4. 기존기술 활용방안	□ 실내소음의 예측 및 저감 기술에 관해서는 해외 연구기관 및 제작사, 국내에서는 국토해양부의 G7과제 이후 최근 종료된 미래철도기술개발사업을 통하여 많은 연구 결과가 보고되었음. 또한, 철도기술연구원의 오랜 실차 시험 및 해석구 데이터 및 현대로템의 현장지향성 연구결과도 상당 부분 축적된 상태임. 본 과제와 직접적으로 연계된 기존 연구 및 활용 방안은 다음과 같음. ○ 외부 음장해석 및 터널내 음장에 대한 광음향해석: 실내소음 해석과 예측을 위한 입력 데이터로 활용. ○ SEA를 이용한 철도차량 실내소음 예측기술 및 실차 주행상태에서의 실내 소음 측정 자료 : 차음성능향상에 따른 실내소음 저감효과의 예측에 활용. ○ 적층 차음재 중량대비 투과손실 해석 및 평가 기법: 주름강판이나 알루미늄 압출재는 국부공진대역에서 차음성능이 급격히 떨어진다. 대책으로 공진대역을 조절하는 단면 설계 기술 및 적층재의 중량대비 차음성능 최적화 설계기법 구축. ○ 일반 전동열차 적층재, KTX-sancheon, HEMU-430x의 적층재의 투과손실 측정 데이터: 중량대비 차음성능 개선효과를 판정하는 기준으로 활용하여 중량대비 5dB 차음 성능 향상결과를 평가한다. ○ 압전 필름을 이용한 스마트 패넬에 관한 연구 : 알루미늄 압출재의 취약한 국부공진 주파수 대역의 댐핑을 극대화시키는 선트공진회로 설계 및 반능동제어에 활용 ○ 폼, 제진도로 생산기법 : 외국산의 벤치마킹으로 생산기술만 확보된 상태에서 성능 최적화를 위한 설계기법 구축하여 참여업체에 이전함으로써 방음/방진 업체의 연구개발 경쟁력 확보.
5.기술개발 필요성	□ 주어진 외부 소음원 조건하에서 실내소음을 저감시키려면, 차음성능을 극대화시켜 공기전달 소음을 저감하고, 동시에 판재의 제진성능을 향상시켜 구조전

	달 소음을 저감시킬 필요가 있음. 공기기인 소음은 고속 주행시나 터널내에서 실내소음을 지배하고, 구조전달소음은 저주파수 대역에서 영향이 지대함. 그러나 방음/방진을 위하여 철도차량에 사용되고 있는 많은 요소들을 생산하는 국내 업체는 대부분 중소 업체로, 해외 제품을 벤치 마킹하여 생산하고 있으나 각 부품들의 성능을 원천적으로 향상시킬 수 있는 연구개발력을 갖추지 못한 것이 현실임. 그 결과 지금까지 수행되었던 정부 지원 연구 사업에서도 대부분 요소별 성능 파악이 안 된 상태에서 국내 조달되는 단품들을 사용하여 방음/방진 작업을 수행하는 데에 그침으로써, 방음/방진 성능을 향상시키는 데에 한계가 있었음. 본 사업은 하부의 요소 기술의 혁신을 도모하고 이를 통합하여 철도 차량 시스템의 차음 성능을 향상시키는 데에 가장 큰 의미가 있음.
6. 주요연구 개발내용	□ 철도차량의 방음/방진 기술개발을 통한 실내소음 저감을 위하여 다음의 항목별 연구를 수행함. ○ 국부공진 제어 설계기법 : 철도차량에서 가장 중요한 차음 구조인 주름강판 및 알루미늄 압출재는 국부공진대역에서 중량대비 차음성능이 10dB 정도 급격히 떨어지는 문제가 발생함. 이러한 문제는 주름강판을 사용하는 일반 전동열차나 알루미늄 압출재를 사용하는 KTX-sancheon 및HEMU-430x 압출재에서 발생하였음. 국부공진대역이 주요 소음원 주파수대역을 피하도록 만드는 코어 단면구조 설계기법과 효과적인 댐핑 처리 기법으로 국부공진 피크를 낮추어 기존 주름강판 및 알루미늄 압출재 대비 국부공진 대역 5dB 투과손실 저감 방안을 도출함. ○ 적층구조 최적화기법 : 모든 철도차량은 바닥 및 측면, 천정부가 적층 구조로 되어 있음. 적층재의 차음성능은 층별 흡차음성능 및 댐핑성능, 그리고 적층방법에 따라 상이한 총 투과손실을 보임. 본 과제에서는 층별 투과손실과 적층구조상의 문제점을 파악하여 적층구조를 최적화시킴으로써 총투과손실 3dB 이상 향상시키는 방안을 제시함. ○ 압전필름 이용한 스마트 차음재 설계 : 주름강판, 알루미늄압출재 등 모든 판재의 공진대역에서 댐핑을 극대화시키는 압전필름-선트공진회로를 이용하여 주름강판 및 알루미늄 압출재의 국부공진 대역 투과손실을 획기적으로 향상시키는 방안을 도출하고 상용화 가능성을 검토함. ○ 방음/방진 성능 강화를 위한 요소별 원천기술 연구 : 철도차량에는 복층 유리창, 부유상 구조 마운트, 제진재, 다양한 허니콤재, 제진도료, 다양한 댐핑 폼재 등, 강이나 알루미늄 구조와 함께 필수적으로 사용되는 다양한 요소들이 있음. 이러한 요소들은 국내 중소기업에서 생산되고 있는데, 대부분 해외의 유사제품을 단기간에 벤치마킹하여 생산한다. 그 결과 차음성능을 극대화시키는 연구개발은 물론이고 차음성능을 평가하는 실험

	적 기반조차 갖추지 못한 실정임. 본 과제에서는 선행과제를 통하여 지난 십수년간 축적된 해석 및 실험데이터를 기반으로 각 요소별 차음성능을 개선하기 위한 설계 및 생산기술을 업체와의 긴밀한 협조를 통하여 추진하여 요소별 차음성능을 높이고 생산업체의 기술력을 제고하도록 함. ○ 차음성능 향상에 따른 실내소음 저감효과 시뮬레이션 : 차음성능효과가 실내소음 저감에 어느 정도 기여하는가를 예측할 수 있다면, 차량의 설계단계에서 실내소음 대책을 수립하는 것이 가능함. 본 과제에서는 SEA 기법에 근거하여 각 전달경로상의 차음성능 향상이 어느 정도 실내 소음 저감에 기여하는가를 해석적으로 예측함. 외부음장에 대한 기존의 해석 및 실험데이터를 입력 데이터로 사용하여 투과손실의 변화를 적용함으로써, 기존 대비 실내소음의 저감치를 주파수 대역별로 예측함.
7. 정부 지원의 타당성	□ 철도차량 실내소음 저감을 위한 시스템 통합해석의 필요성 : ○ 실내소음은 외부 소음원특성-소음전달특성-실내음향특성의 3가지 문제가 서로 연계되어 결정됨. 따라서 실제로 실내소음을 저감시키기 위해서는 세 문제에 대한 개별적인 연구와 동시에 통합시스템의 성능을 다루는 연구, 즉 세 분야를 통합하는 연구 공조체계가 필요함. 현재까지 각 분야별 연구가 개별적으로 수행되어 단편적인 데이터가 축적되어 있으며, 현재는 이를 통합하여 최종 시스템 특성은 실내 소음을 실질적으로 저감시키는 작업이 필요한 시점에 와 있음. 이는 정부지원의 대단위 사업을 통해서만 가능하며, 본 사업을 통하여 각 세부 과제 사이의 공조체계와 세부 과제내 일반과제 사이의 공조체계가 효율적으로 구성할 수 있음. □ 열악한 방음/방진 부품의 국내 생산현장의 기술 경쟁력 제고 : ○ 복층 유리창, 부유상 구조의 마운트, 제진판재, 허니콤재, 제진도료, 댐핑폼재 등은 현재 국내외 고속철도차량에서 소음 및 진동의 저감을 위하여 중요하게 사용되는 요소들임. 그러나 이들을 생산하는 국내 업체들은 대부분 중소기업으로 각 요소별 차음성능을 최적화 설계를 감당할 연구인력과 예산을 확보하지 못하고 있는 실정임. 부품의 내구성, 방음/방진 성능을 평가하는 시설을 보유하고 있지 못하므로, 외국산 대비 구체적인 성능 데이터도 제시하지 못하는 경우가 많음. 철도차량의 국산화율을 높이고 수출 경쟁력을 확보하려면 부품 생산 중소기업의 경쟁력 제고가 절실히 필요하며, 본 사업을 통한 정부지원은 중소기업의 고용시장 활성화에도 기여할 것임.

8. 기술 확보 전략	□ 산/학/연/관/ 협력위원회 활성화 : 정기적인 회의와 산학연 워크샾을 통하여 아래의 임무를 협력하여 수행함. ○ 부품 생산 및 차량 제작업체는 요소기술 및 차량 제작상의 실제적 문제점을 제시하고 현장 적용 가능성을 지속적으로 검토함으로써, 본 사업이 현장지향적인 원천기술개발에서 벗어나지 않도록 함. ○ 대학은 학술적 연구와 실무적 연구의 균형을 유지하면서 원천기술개발의 목표를 달성함. 이를 위해서는 한국철도기술연구원 실차 실험 데이터를 적극 활용하고, 생산업체로부터 시제품 지원을 받으면서 수시로 애로기술을 자문한다. 참여 연구원을 참여 업체에 적극 취업시켜 연구개발한 기술을 현장으로 이전시키도록 함. ○ 연구소는 대학이나 생산업체가 수행하기 어려운 실차시험이나 대규모 실험 및 해석을 주도하고, 해외 유관기관과의 정보교류를 통하여 최신 정보와 동향을 업그레이드하면서 연구의 방향을 점검함. □ 국내외 전문가 활용 ○ 해외 선도 연구기관 및 제작 업체와의 교류를 통하여 방음/방진에 대한 아이디어와 신기술 동향, 해외 부품 업체들의 기술 경쟁력을 파악하여 연구에 적극 반영함.						
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		□ HEMU-430x 및 KTX-sancheon의 바닥 압출재 대상 국부공진 대역 1000Hz 이상 높이는 코어 설계기술개발 및 그 결과 국부공진대역 5dB 투과손실 개선안 제시. □ 기존 철도 차량 주름강판 대비 국부공진 대역 투과손실 5dB 저감 시제품 □ 철도차량 적층재 전용 차음성능해석 S/W 개발 □ 개발한 S/W이용 적층구조 차음성능 최적화 □ 압전필름 이용하여 기존 주름강판 및 알루미늄 압출재의 국부공진 댐핑계수 10배 증가 효과 및 투과손실 5dB 개선 검증용 시제품 □ 요소별 원천기술 : 제진판재, 허니콤재, 제진도료, 댐핑폼재 등 요소별 성능 개선 시제품 □ 위 개발 기술관련 지적재산권 또는 논문게재 2건/년				
	활용방안		□ 참여 중소기업로의 기술 이전 □ 국내 생산 업체의 확대 □ 제작사의 설계 능력 강화				
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	472	328	312	344	344
		민간 (추정)	-	-	-	-	-

	합 계		472	328	312	344	344
	총 연구비 (백만원)	정부	1800		총 연구기간	5 년	
		민간	-				
		총합계	1800		연도별 평균소요인력	5 명	
11. 기대효과 및 파급효과	□ 기술적 측면						
	○ 주름강판, 알미늄 압출재, 허니콤재 등 철도차량용 주요 차음재의 중량 대비 차음성능 향상 기법을 개발하여, 경량화에 따른 실내소음의 증가를 억제함으로써 승차감을 높인다.						
	□ 경제적 측면						
	○ 승차감 향상으로 인한 승객 불만 감소						
	○ 해외 진출시 경쟁사에 대한 경쟁력 제고						

1. 과제명	고속 철도 차량 실내 소음/진동 제어기술
2. 연구개발목표	☐ KTX의 구간별 실내 소음도 측정, 분석 및 심리공학적 쾌적성 평가기술 개발 ☐ KTX 실내 소음 특성별 효과적인 마스킹(masking) 소리 및 선정 기법 개발 ☐ 마스킹 효과 소리의 구현 기술 및 시스템 개발 ○ KTX 진동 특성의 정밀 계측·분석을 통한 다물체 동역학 기반 수리 모델의 개발 ○ 능동형 전자기식과 수동식 제진 기술을 융합한 에코 하이브리드 현가장치의 개발 ○ 하이브리드 현가장치의 지능형 스마트 고정구조 최적강인제어 알고리즘의 개발 ○ KTX 승차감 개선을 위한 에코-스마트 하이브리드 현가시스템의 구현 기술 개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	☐ 철도 차량의 실내 소음 제어를 위하여 기존에 사용하는 방법은 소음원을 규명하고 그 전달경로를 분석하여 전달 경로의 구조 변경이나 흡음재를 사용하여 실내 소음을 저감하고자 하였음. 그러나 그 효과는 한계가 있어 교량이나 터널 통과시 승객들은 실내 소음에 여전히 불쾌감을 느낌. 최근에는 능동 소음 제어(active noise control) 기법을 도입하여 실내 소음을 저감하려는 연구가 시도되었으나 실효성에 한계가 있음. 현실적으로 객차 실내와 같이 넓은 3차원 공간에서 능동소음제어 기법을 이용하여 실내 소음을 저감시키기에는 많은 어려움이 있음. ☐ 자동차나 열차 실내 소음의 크기에 따라 승객이 느끼는 불쾌감이나 스트레스를 평가하는 연구가 수행 됨. 이를 위하여 음질(sound quality)을 평가할 수 있는

라우드니스나 샤프니스 등의 정량적 지표와 주관적 평가에 의한 불쾌감과의 상관관계를 분석하는 연구가 수행된 바 있음. 또한 고속 열차의 실내 소음에 노출된 승객의 뇌파 측정을 통하여 승객이 받는 스트레스를 분석하는 연구도 수행됨. 그러나 뇌파와 같은 정신 생리적 반응을 측정하기 위해서는 실험에 참가하는 승객이 측정을 위한 훈련이 되어 있어야하며 또한 전자파를 차단해야 하는 등 측정 환경이 까다로워 실차 측정에는 많은 어려움이 있어 실험 결과 데이터를 신뢰하기에는 어려움이 있음.

○ 현가시스템에 관한 국내 연구는 대부분 반능동 현가장치 및 PID/LQR과 같은 고전제어기법에 기반 한 관련기술 개발들을 중심으로 진행되어 오고 있음. MR 댐퍼를 이용한 반능동 현가장치의 경우 능동현가장치에 비해 낮은 제진제어 성능에도 불구하고 비용 및 에너지소비 저감 효과와 같은 장점들을 바탕으로 많은 연구들이 수행되어 왔으나 아직까지 이의 실제 적용 사례 보고는 매우 미비한 실정임. 한편, 능동현가시스템 개발에 있어서는 대학과 같은 소규모 연구단위의 기초 연구를 제외하면 국가적 차원에서의 지원을 통한 체계적 연구는 현재 매우 미미한 수준임.

○ 일본 및 유럽의 선진 철도국 등 국외의 경우에는 승차감 향상과 철도차량의 주행안정성의 동시 확보를 목표로 차세대 능동형 현가시스템의 개발·실장을 위한 연구가 매우 활발히 진행되고 있음. 또한 우리나라와 유사한 기술수준을 보유한 중국에서 또한 최근 능동 현가기술 개발에 박차를 가하고 있는 실정임. 이에 반해 첨단제어기술을 기반으로 하는 능동현가시스템에 대한 국내연구는 극히 미흡한 실정임.

□ 소음 저감이 어려운 도심 공원, 도시 천변, 터미널 등 야외 환경에 마스킹효과를 이용한 음풍경(Soundscape)을 조성하여 소음 문제를 해결하려는 연구가 수행됨. 이는 소음의 크기와 같은 정량적인 평가 지표와는 달리 장소에 적합한 음환경을 조성하여 감성적으로 느끼는 쾌적성을 중요시 하는 연구로서 소음 문제 해결을 위하여 최근에 시도되고 있는 추세임.

○ 일본의 경우 고속철도차량용 진동제어기술에 관한 오랜 기간의 기반기술 개발 성과를 토대로 2002년 이후 제작되는 신간선 전 철도차량에 능동형 현가장치를 장착하고 있음. 일례로 스미토모금속이 개발한 능동현가시스템을 적용하여 횡진동을 약 50% 저감시킨 사례가 보고됨. 또한 최근 고속철도차량 선도 제작사인 가와사키중공업은 선형모터형식 솔레노이드 액추에이터를 사용한 능동현가시스템을 개발, 약 10dB의 차체진동 저감 성과를 달성하여 철도차량 능동현가시스템 기술 분야에서 유리한 선도적 위치를 확보함.

○ 독일 DB의 경우 근래 hydro-pneumatic 액추에이터의 개발 성과를 바탕으로 능동현가장치 개발을 위한 활발한 연구를 수행하고 있으며, 최근 이를

	장착한 시제열차 주행실험을 완료하고 독일 DB의 승차감 기준을 충족하는 성과를 달성한 바 있음. ○ 스웨덴의 경우 Green Project의 일환으로 개발된 250km/h의 EMU형 열차의 고속화에 따른 승차감 저하 문제 해결을 위해 능동현가장치인 ALS(Active Lateral Suspension) 시스템을 개발하고, 최근 시제차에 장착하여 시험·평가 중에 있음. □ 실내 환경에서 마스킹 효과를 이용하여 소음 문제를 해결하려는 연구는 이제 막 시작되는 단계임. 그러나 그 효과를 객관적으로 평가하기 위하여 심리공학적 평가 방법 개발과 주위 환경에 강건한 교감신경계 반응 신호 측정을 하여 상관관계를 도출하여야 함. 따라서 고속열차의 실내 소음에 대한 대책은 승객이 느끼는 쾌적성을 향상시키는 방향으로 기술 개발이 되어야 하며 또한 그 효과를 객관적으로 평가하기 위하여 심리학과와 공동 연구를 수행할 필요가 있음.
4. 기존기술 활용 방안	□ 철도기술 연구원의 KTX 소음원 분석과 승객의 만족도 조사자료 이용 □ 기존에 개발된 Masking System에 대한 설치 효과 및 방법 조사 □ KTX의 소음제어 System과 Masking에 이용될 수 있는 음향적 시설 활용 ○ 첨단 Meta-heuristic 입자군집최적화 기법에 관한 축적된 노하우를 바탕으로 이에 기반 한 최적설계기술을 하이브리드형 현가시스템 하드웨어 설계에 적용. ○ 고정구조 최적강인제어알고리즘의 개발에 관한 다년간의 연구수행 경험 및 이를 통해 개발 한 다양한 기반기술들을 활용하여 하이브리드 현가시스템의 첨단 스마트 제어기술을 개발.
5. 기술개발 필요성	□ 고속 철도의 주행시간 단축을 위하여 직선 선로를 만들면서 터널 및 교량의 구간이 증가하여 실내 소음이 증가. 그러나 현재 고속철도 소음과 관련된 연구는 주로 철도주변에 대한 환경 소음에 대하여 수행되었으며 철도 차량의 실내 소음에 대한 연구는 미미한 상황임. □ 환경 친화적 녹색수송교통시스템으로서의 입지를 확고히 하기 위한 미래 철도 차량 기술의 핵심은 고속화와 더불어 보다 쾌적하고 안정된 승차감의 실현 여부라 할 수 있으며, 이와 같은 목표 달성에 있어서 능동제어기술의 구축이 필수적임. 이와 같은 배경에서 능동현가시스템은 철도차량의 고속화로 인해 악화되는 승차감을 혁신적으로 향상시킬 수 있는 핵심기술이라 할 수 있음. ○ 철도교통시스템을 이용하는 승객의 안락한 승차감 구현을 위해서는 특히 횡방향 진동 저감기술의 개발이 핵심임. 기존의 여러 연구결과에 따르면 승객들의 멀미(motion sickness) 방지를 위해서는 최소 1Hz 미만, 그리고 머리 흔들림(head toss)의 경우는 최소 2-8Hz 미만으로 진동을 저감시켜야만 일반적인 안락한 승차감을 느끼는 것으로 알려져 있음. 따라서 철도 차량의 차세대 현가시스템은 최소 8Hz 범위까지의 진동을 저감시킬 수

있도록 개발되어야 함.

- 현재 국내에서는 능동현가장치에 관한 연구가 극히 미비한 수준이며, 대부분 MR 댐퍼를 이용한 반능동형 현가시스템의 개발에 많은 연구가 집중되고 있음. 하지만 최근 이 장치에 사용되는 MR 유체의 누출에 의한 환경오염 발생 문제가 지적되고 있음. 더욱이 MRP(magnetic reactive powder) 입자 잔류물의 불가피한 발생에 의해 현가시스템의 가변성능이 저하되는 등 시스템 안정성·항상성에 관한 문제점 또한 꾸준히 제기되고 있음.
- 일본 및 유럽의 선진 철도국을 제외한 국외의 경우 현재 국내 현황과 동일하게 MR 댐퍼의 실용화 연구에 집중되는 경향을 보임. 예를 들어 미국 Virginia Tech. 대학은 자동차 현가장치 관련 MR 댐핑 기술을 철도차량에 도입하여 연구 중에 있으며, 중국 및 이탈리아 등에서는 철도차량 반능동 현가장치에 사용될 대용량 고효율 MR 댐퍼의 개발을 진행하고 있음.
- 최근 독일 DB의 능동현가시스템에 사용된 주요 부품인 hydro-pneumatic 액추에이터는 철도차량의 기계식 브레이크에서 회수된 공기를 이용하여 유압피스톤을 작동하는 방식을 채택하고 있으며, 특히 공압이 작용하지 않는 상태에서는 스프링을 이용하여 수동댐퍼로서의 역할도 동시에 수행되도록 하는 일종의 하이브리드 현가장치로서의 특징을 갖춤. 하지만 유·공압을 함께 사용함으로써 인하여 장비구조의 복잡성 증대, 고난도 제어기술의 요구 및 유지보수의 어려움이 있으며, 특히 유압오일의 누설로 인한 환경오염과 안전사고 위험성이 내재됨. 또한 본 시스템은 횡방향 승차감의 경우 최대 1Hz 범위 내에서의 진동현상만을 제어할 수 있는 한계를 가지고 있음.
- 일본 신간선에 실장된 가와사키중공업의 선형모터형식 솔레노이드 액추에이터는 기존의 공압·유압 액추에이터를 대체하기 위한 목적으로 개발되었으며, 종래의 장치들에 비해 응답속도 및 내구성 등의 시스템 신뢰성을 향상시킨 것으로 보고됨.
- 상기와 같은 국내외적 배경에서 환경 친화적 미래 철도차량 기술의 선점 및 실현을 위해 전자기식 현가시스템의 개발 및 지능형 스마트 능동제어 기술의 개발이 시급한 실정임. 전자기식 현가장치는 빠른 응답속도, 정밀한 제어성능, 향상된 안정성 등을 포함한 다양한 측면에서 매우 우수한 성능을 구현할 수 있는 장점이 있음에도 불구하고, MR 댐퍼에 비해 낮은 대역폭과 높은 에너지 소비량 문제, 고난도 첨단제어기술의 필요성 등이 제기된 바 있음.
- 2010년도에 Bose Corp.는 상기의 대역폭 문제를 획기적으로 개선한 전자

	기식 능동현가시스템 및 관련 제어기술의 개발을 발표한 바 있으며, 이를 기폭제로 하여 최근 국외에서는 첨단 능동형 현가장치의 개발 및 실용화를 위한 연구에 박차를 가하고 있음. 이와 같은 배경에서 만일 종래와 같이 수동형 혹은 반능동형 현가장치의 개발에만 집중하여서는 미래의 친환경 철도차량 글로벌 시대에 있어서 선도적 지위를 구축하기 어렵게 될 것이며, 따라서 빠른 시일 내에 국가적 차원에서의 능동형 현가장치에 관한 체계적인 연구 추진계획 및 실용화 방안이 강구되어야 함. □ 그러나 현재까지는 실내 소음을 분석하는 연구만 수행되었으며 승객이 느끼는 쾌적성을 향상시키기 위한 연구 및 기술 개발은 시도된 바가 없음. 따라서 소음 제어 기술도 승객이 느끼는 쾌적성을 평가하여 이를 향상 시키는 방향으로 기술 개발이 되어야 하며 또한 그 효과를 객관적으로 평가하기 위하여 심리학과와 공동 연구를 수행할 필요가 있음.
6. 주요연구 개발내용	□ 마스킹효과를 이용한 고속철도 차량의 실내소음에 대한 쾌적성 향상 기술 개발 ○ KTX의 구간별 실내 소음도 측정, 분석 - KTX 소음을 구간별, 운행 환경별 측정(터널, 교량 등) - 측정 소음 분석을 통한 음질 평가 - 전체 구간의 Noise Map 구축 ○ KTX의 구간별 실내 소음에 대한 승객의 인식(심리적 쾌적성) 평가기술 개발 - KTX 실내 소음의 심리적 쾌적성 평가를 위한 설문지 개발 및 검증 - 실차 승객 대상으로 설문 조사 및 분석 - 주위 환경에 강건한 교감신경계 반응 신호 측정을 통한 소음에 대한 쾌적성 분석 - 음질 분석 결과와 심리적 쾌적성의 상관관계 분석 ○ 마스킹 효과에 대한 연구 - 주파수 분석에 따른 마스킹 소리 효과 평가 - 음질 평가 지수(Loudness, Sharpness등)가 미치는 영향 연구 - 마스킹 효과가 효율적으로 구현되는 조건 연구 ○ 실내 소음 특성별 효과적인 마스킹 소리 및 선정 기법 개발 - 각 구간별 조건에 따른 마스킹 최적음 연구 - 마스킹 톤의 개발 및 mix에 관한 연구 ○ 마스킹 소리를 적용한 차량 실내음의 쾌적성 평가 - 실험실에서 마스킹 효과 측정을 위한 실험 수행 - 설문 및 생체신호 측정을 통한 효과 분석

○ KTX 실차 적용 시스템 개발 및 검증

- 구간별 특징에 따라 변하는 지능형 제어시스템 개발
- 마스킹효과가 효율적인 하드웨어 시스템 개발
- 현장 적용 및 시험 성능평가

□ 전자기식 에코-스마트 하이브리드 현가시스템 및 첨단 제어기술 개발

○ KTX 진동 특성의 정밀 계측·분석을 통한 다물체 동역학 기반 수리 모델의 개발

- 철도차량 진동 현상의 정밀 계측 및 분석 기술을 개발하고 이를 기반으로 진동 주파수 대역별 탑승객의 동적·감성적 승차감 영향도 및 정량적 평가지수 도출
- 진동 계측·분석 결과를 바탕으로 철도차량의 진동 발생 메커니즘, 차체 진동 전달 메커니즘 및 철도차량 고유의 진동 동특성 해석 방법의 개발
- 철도차량의 고속 주행 시 승객의 승차감 저하를 유발하는 이상 진동 현상 계측 및 이의 발생 원인에 대한 실험분석
- 철도차량 진동 발생·전달 메커니즘, 다물체 동역학 및 이산데이터를 이용한 연속시간 시스템 파라미터 식별기법 등을 기반으로 한 고속 철도차량의 정밀 수리모델 구축 기법 개발과 실측 데이터를 이용한 정밀도 및 신뢰도 비교 검증
- 철도차량의 수리모델을 기반으로 MATLAB SimMechanics 및 SimElectronics 등의 공학 소프트웨어를 이용한 정밀 진동해석 시뮬레이션 환경 구축

○ 능동형 전자기식과 수동식 제진 기술을 융합한 에코 하이브리드 현가장치의 개발

- 종래의 전자기식 능동현가장치의 실용화에 주된 문제점으로 제기되어 온 대역폭 감소 현상의 주요 원인을 분석하고, 2010년 개발된 Bose Corp.의 능동현가장치에 관한 자료수집 및 분석
- 능동현가장치 실용화에 있어서 핵심 부품인 선형 전자기식 액추에이터의 개발을 위해 interior-magnet 타입과 exterior-magnet 타입 등의 구조에 관한 해석을 기반으로 최적의 하드웨어 구조 설계. 또한 승차감 향상에 직결되는 현가장치의 제어 가능 대역폭 최대화, 자체중량·부피 및 열 발생의 최소화, 그리고 진동저감에 요구되는 감쇠력 생성을 위한 주요 메커니즘들의 구현
- 현가장치의 에너지 소비 효율화를 위하여 기계식 스프링과 수동댐퍼로 구성되는 수동식 동흡진기를 상기의 선형 전자기식 액추에이터와 결합시키기 위한 융합설계법을 개발하고 이를 통해 고효율 저에너지

	하이브리드형 현가장치를 개발 - 철도차량의 수리모델을 기반으로 하이브리드 현가장치의 철도차량 진동 저감 성능 예측 및 분석 기술을 개발 ○ 하이브리드 현가장치의 지능형 스마트 고정구조 최적강인제어 알고리즘의 개발 - 기존의 많은 현가장치들에 사용 중인 일반적인 PID 및 LQR 제어기술 등을 개발된 하이브리드형 현가시스템에 적용하고 진동 저감 성능 및 장·단점을 실험·분석 - 다양한 불확실성을 갖는 환경에서 고속으로 주행하는 철도차량의 특성을 바탕으로 하이브리드 현가장치의 강인 안정성 구현에 필요한 제어 특성 및 메커니즘 분석 - 상기 현가시스템의 강인성을 확보함과 동시에 대규모 복잡시스템의 하나인 철도차량에 발생하는 다양한 진동 현상을 보다 신속하고 효율적으로 저감시키기 위한 최적의 고정구조(저차) 강인제어기 설계 기술을 개발하고 이의 성능을 분석 - 하이브리드 현가시스템의 제어 정밀도 향상을 위하여 실시간 진동계측 데이터의 신뢰도를 평가·분석하고, 이를 기반으로 외란 및 신호 잡음의 처리를 위한 최적 디지털 필터링 알고리즘 개발 및 현가장치의 제어시스템 구축에 적용 ○ KTX 승차감 개선을 위한 에코-스마트 하이브리드 현가시스템의 구현 기술 개발 - 고속철도 시제차량을 대상으로 개발된 현가시스템 및 제어기 구현 - 실시간 현장실험을 통한 시스템의 진동 저감 성능 평가 및 타당성 검토 - 현장평가 결과를 기반으로 제진성능 최적화를 위한 기술적 보완
7. 정부지원의 타당성	□ 우리나라의 철도 산업은 하루가 다르게 발전, 성장하여 고속철도를 수출하는 수준에 이르렀음. 기존의 철도 강국인 유럽이나 일본 등 경쟁을 하기 위하여 보다 나은 선진형 철도 기술이 필요함. □ 기존의 더 빠른 교통수단의 필요성이 어느 수준 충족되어 있는 현재의 기술력에서 보다 나아가 승객의 쾌적성이 최근 중요하게 고려되고 있음. 고속철도 이용 승객이 계속 증가하고 있는 현 시점에, 또한 미래의 친환경 철도차량 글로벌 시대에 있어서 선도적 지위를 구축하기 위하여 국가적 차원에서 지원하여 실내 소음 쾌적성 향상을 위한 체계적인 연구 추진계획 및 실용화 방안이 강구되어야 함.
8. 기술확보 전략	□ 기존의 연구 성과 활용 - 기 발표된 논문 및 자료를 활용

	- 연구실에서 진행 중인 마스킹 효과 연구 결과 활용 □ 심리학과 교수와의 공동 연구 - 승객의 심리적 쾌적성 평가가 중요한 지표이므로 이를 위한 설문지 개발 및 검증, 외란에 강건하고 소음 변화에 민감하게 반응하는 생체신호 선정 등을 위하여 이 분야 전문가인 심리학과 교수와 공동연구 수행 □ 신뢰성을 확보한 데이터 활용 - 실차에 반복 탑승하여 소음 측정 및 설문 조사를 실시하여 데이터의 신뢰성 확보 - 마스킹 효과를 분석하기 위해 실험실에 유사 환경 구축							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	□ KTX 구간별 소음 지도 및 쾌적성 평가 결과 □ 마스킹 효과 소리의 구현 기술 - 능동형 전자기식과 수동식 제진 기술을 융합한 에코 하이브리드 현가장치 - 하이브리드 현가장치의 스마트 최적강인제어 알고리즘						
	활용방안	□ KTX 실내 소음에 대한 승객의 쾌적성 및 승차감 향상에 활용 □ 타 열차에도 확대 적용 가능						
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	560.5	389.5	370.5	408.5	408.5	
		민간 (추정)	-	-	-	-	-	
	합 계		560.5	389.5	370.5	408.5	408.5	
	총 연구비 (백만원)	정부	2137.5			총 연구기간	5 년	
		민간	-					
		총합계	2137.5			연도별 평균소요인력	4 명	
11. 기대효과 및 파급효과	□ 기술적 측면 - 구간별 소음 지도 및 쾌적성 평가를 활용하여 저감시켜야할 소음 특성 파악 가능 - KTX 실내소음에 효과적인 마스킹 시스템 개발 - KTX의 소음에 대한 쾌적성 및 승차감 향상 □ 경제적 측면 - 실내 소음에 대한 쾌적성 증가로 인한 수요 증가 - 수출 시 경쟁사에 대한 비교 우위 점유							

나. 제2세부과제 : 철도 인터페이스 소음/진동 저감기술 개발

1. 과제명	철도 공력소음 저감 원천기술 연구
2. 연구개발목표	☐ 고속철도 운영속도 350km/h 이상을 위한 공력소음 평가 및 저감 기술 개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	☐ 철도 공력소음 시험 및 해석 기술 ○ 독일, 프랑스 등에서는 마이크로폰 어레이를 이용하여 실제 선로에서 고속열차의 소음을 측정하고 소음원의 위치를 도출하였음 ○ 독일 DLR, 일본 RTRI에서는 축소모형을 이용한 풍동시험을 통하여 고속열차의 공력소음 측정이 수행된 바 있으며, 최근 한국항공우주연구원에서도 팬터그래프에 대한 공력소음 측정 시험이 진행되었음. ○ 일본, 프랑스에서는 수치해석을 통하여 열차의 특정 부분(판토그래프, 차간, 전두부) 등에 대한 유동/소음 해석이 수행된 바 있으며, 미국, 일본 등에서 음향경계요소법(BEM)을 이용한 공력소음 방사 해석을 수행하였음 ○ 국내에서도 마이크로폰 어레이, 풍동시험등을 이용한 실험적인 연구 및 전산공력음향학, 음향경계요소법 등을 이용한 해석적인 연구가 진행되고 있음 ☐ 철도 공력소음 저감 기술 ○ 일본의 경우 차세대 고속열차 FASTECH 개발 시 팬터그래프 및 차간 연결부 공력소음을 각각 5dB 및 4dB를 저감하였으며, 이외에도 다양한 저소음 팬터그래프를 개발하고 있다. ○ 이탈리아의 고속열차 ETR 500은 대차부 페어링을 적용하여 소음을 저감한 바 있으며, 프랑스 TGV-POS 열차의 경우에는 전산유체역학을 이용한 공력설계기술을 적용하여 공력소음 저감 연구를 수행한 바 있음.
4. 기존기술 활용방안	☐ KTX-산천, HEMU 등 국내 고속열차 개발 시 정립된 공력해석 기술을 이용하여 공력소음 해석 및 저감에 활용 ☐ 축소모형 풍동시험 기술을 이용하여 공력소음 측정 및 평가에 활용
5. 기술개발 필요성	☐ 350km/h 이상의 속도에서는 공력소음이 철도 소음의 지배적인 소음원이 될 것으로 예상됨 ☐ 전 세계적으로 350km/h 이상의 속도로 주행할 수 있는 고속열차의 상용화가 늦어지고 있는 주요 원인 중 하나는 소음임 ☐ 향후 도심에서의 고속열차 운용을 위해서는 공력소음의 저감이 필수적임 ☐ 소음 저감을 위하여 사용하는 흡음/차음재를 많이 사용하게 될 경우 무게 및 부피가 늘어나게 되어 전체적으로 효율이 떨어지게 됨 ☐ 소음의 원천적인 발생을 억제하기 위하여 공력소음 시험 및 해석 기술 필요

	□ 고속철도의 속도 증가에 대한 기술적 장벽을 극복하기 위하여 철도 공력소음 저감 기술의 개발이 필요 □ 기술개발 성공시 세계 최고기술 보유국이 될 수 있으며 향후 고속철도 수출을 통한 국가 경쟁력 확보에 큰 역할을 할 수 있음
6. 주요연구 개발내용	□ 공력소음원 해석 및 시험 기반기술 개발 ○ 무향 풍동을 이용한 공력소음원 시험 기술 개발 - 무향 풍동을 이용한 열차 공력 소음원 측정 DB 구축 - 풍동 소음 측정 데이터와 실제 주행 차량의 소음 방사량의 매칭을 위한 상사법 개발(도플러 효과 보정, 레이놀즈수 보정 등) ○ CFD 기반 공력소음 전산해석 기술 개발 - 공력소음 예측을 위한 고속/정확한 비정상 유동 해석 기법(CFD) 개발 - 비정상 유동 해석 결과를 이용한 간접적(Indirect) 공력 소음 해석 프로그램 개발(음향 상사법, 경계요소법 등) - 고속 열차 부위별 공력 소음원 특성 파악을 위한 전산공력음향학(CAA) 프로그램 개발 □ 철도 공력소음 저감 기술 개발 ○ 형상 최적화를 통한 공력소음 저감 기술 개발 - 전두부 형상 최적화를 통한 압력과 크기 저감 - 객차 연결부 형상 최적화를 통한 공동 소음(cavity tone) 저감 - 열차 하부 형상 최적화, 덮개 사용 등을 통한 소음 저감 - 판토그래프 형상 최적화를 통한 소음 저감(기존 건교평 추진 과제와 연계) ○ 소음 분포 파악을 통한 흡음/차음/능동소음저감 - 열차 표면 소음 분포 파악을 통한 흡음/차음 필요 위치 파악 및 최적화 - 특정 부위의 음압을 목표수준 이하로 떨어뜨리기 위한 능동소음저감 기술 개발 ○ 무향 풍동을 이용한 공력소음 저감기술 시험 평가 - 공력소음 저감을 위하여 적용된 기술에 대한 무향 풍동 시험 평가 기술 개발 및 평가 기준 정립
7. 정부지원의 타당성	□ 연구개발의 중요성 ○ 경제적인 측면 - 공력소음 저감으로인한 열차 속도 향상 및 방음벽 설치 비용 감소 - 고속열차 공력소음 해석 및 저감기술의 개발을 통하여 고속열차

	연구개발 기간 및 비용 감소						
	○ 산업적인 측면 - 고속열차 공력소음 해석 및 저감기술은 기타 공력소음이 발생하는 장치에 적용이 가능하므로 산업적인 파급효과가 큼 - 현재까지 공력소음을 정확히 해석할 수 있는 국산 상용 툴이 전무하기 때문에 향후 상용 프로그램으로 확장시켜 상용화 가능 ○ 정책적인 측면 - 점차 강화되고 있는 소음 관련 규제에 대하여 적극적으로 대응 가능 - 고속 선로 주변의 민원 감소 - 고속철도 신설시 소음 영향에 대한 설계 제약이 완화되므로 효율적인 선로 설계 가능						
8. 기술확보 전략	□ 시험 장비의 확보 ○ 철도 공력소음에 특화된 무향 풍동 시설 구축 및 관련 시험 기술 개발 (중형 장비) ○ 기존 공력소음 연구 장비와의 효율적 연계 활용 ○ (대형 장비-최종 평가 및 상호 검증, 소규모 장비- 기초 연구) □ 국내외 공동연구 계획 ○ 철도 공력소음 분야의 세계적 리더 그룹인 DLR, RTRI와의 상호 교류 추진 ○ 해외 전문 시험설비의 임차 활용을 통한 연구 결과의 검증 ○ 공력소음 분야 전문 기관과의 체계적 공동연구 체계 구축 □ 산·학·연 협력 ○ 전산공력음향학 등 고난도 기술의 개발에 관련 대학원 연구실의 기초연구 참여 ○ 공력소음 저감 기술의 실차 적용과 검증을 위해 차량 제작사의 공동연구 참여 및 개발 기술의 실차 적용 추진						
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		□ 철도 공력소음 전용 무향 풍동 □ 고속열차 공력소음원 DB(풍동 시험, CAA) □ 고속열차 공력소음 해석 프로그램(Indirect, CAA)				
	활용방안		□ 공력소음원 DB를 이용한 저소음 설계 □ 공력소음 해석 프로그램의 상용화 □ 저소음 설계 기술의 특허 출원				
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비	정부	708	492	468	516	516

	(백만원)	민간 (추정)	-	-	-	-	-
	합 계		708	492	468	516	516
	총 연구비 (백만원)	정부	2,700		총 연구기간	5 년	
		민간	-			연도별 평균소요인력	5 명
		총합계	2,700				
11. 기대효과 및 파급효과	□ 공력소음 관련한 문제가 발생하는 자동차, 항공기 등에 기술을 적용함으로써 공력소음의 저감 및 제품의 경쟁력을 확보 □ 공력소음 해석 프로그램의 상용화를 통하여 부가적인 수입 확보 □ 저소음 설계 기술의 특허 출원을 통하여 국내 개발 열차의 소음 관련 국제적인 지위 및 특허 수입 확보 □ 공력소음 DB를 활용함으로써 저소음 고속열차 개발 기간 비용 감소 □ 열차의 저소음화로 인한 민원 감소 □ 저소음 고속 열차의 기술 이전 및 수출						

1. 과제명	철도 차륜/레일 인터페이스 소음진동 저감기술
2. 연구개발목표	☐ 곡선부 통과 시 발생하는 스킵소음 10dB(A) 저감 ☐ 차륜/레일에서 발생하는 전동소음 5dB(A) 저감
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	☐ 1980년대 후반부터 차륜과 레일에 의해서 발생하는 소음/진동 문제는 유럽의 ERRI(European Rail Research Institute)을 중심으로 전동음과 스킵소음에 대한 연구가 본격적으로 진행되어, 전동음 예측 프로그램(TWINS)를 개발하였음. ☐ 영국의 University of Southampton내 ISVR연구소에서 전동음에 대한 저감 방안과 스킵소음에 대한 발생 메카니즘을 규명하기위한 연구가 활발히 진행되고 있음. ☐ 환경 여건 변화에 따라 근본적으로 곡선부가 존재하기 때문에 곡선부 스킵의 원인규명에 대한 연구와 함께, 근본적인 개선을 위한 대차의 조향 매카니즘 및 조향성능 향상에 대한 연구가 진행되고 있음. ☐ 유럽, 일본 등과 같은 선진국에서는 환경 규제강화에 따라 소음저감을 위한 차량/궤도 측면에서의 개선 연구가 지속적으로 진행되고 있음. ☐ 일본에서는 철도총합연구소(Railway Technology Research Institute)를 중심으로 곡선부 스킵 저감방안에 대한 연구를 수행하고 있으며, 최근에는 차륜과 레일사이에 철도총합연구소가 개발한 교체 도유기를 살포하여 스킵소음 저감을 꾀하고 있음. ☐ 유럽에서는 오래전부터 곡선부 스킵소음에 대한 연구가 진행되면서 스킵소음에 대한 원인규명을 위해 많은 연구가 진행되었으며, 스킵소음이 발생시키는 가장 커다란 요소로 Lateral Creep force에 의해 차륜이 공진주파수영역에서 커다란 소음을 발생시키는 것으로 알려져 있음.

	□ 스킨소음 원인규명과 함께 저감방안에 대한 연구로서 차륜측면에서는 대표적으로 방음차륜으로 스킨소음을 저감시킬 수 있으며, 레일측면에서는 레일 두부의 재질 변화, 레일 댐퍼 등에 대해서 연구가 진행되고 있음
4. 기존기술 활용방안	□ “저소음 친환경 핵심기술개발(한국철도기술연구원, 2012)” 연구과제에서 스킨소음 발생 메카니즘과 국내외 스킨소음 저감방안 분석 등에 대한 연구가 수행되었으며, 이 연구성과와 연계하여 스킨소음 해석모델과 저감방안에 대한 기술을 개발할 할 예정임. □ ”차륜/레일의 전동음 저감방안연구(한국철도기술연구원, 1999 ~ 2000)” 연구과제에서 전동소음 해석에 대한 기초적인 연구가 수행된 바 있음. 이러한 연구를 토대로 저감방안에 대한 기술을 개발할 계획임.
5. 기술개발 필요성	□ 인구 밀집 지역에 불가피하게 많이 설치되어 있는 곡선 철로구간 운행 시 특정 고주파수 영역에서 집중적으로 발생하는 squeal noise 발생 mechanism에 관한 체계적인 연구 필요. □ 곡선부 스킨소음의 저감은 기존에 건설된 선로, 차량에 대한 개선 방향의 연구가 주를 이루므로 곡선부의 소음측면의 인터페이스 메커니즘에 대한 규명과 현재 시스템에 대한 분석이 중요하므로 곡선부의 차량/궤도 인터페이스 메커니즘 규명과, 현장실험을 통한 Squeal Noise의 실험적 기여 주파수 분석, 분석된 결과에 따른 저감방안 도출이 필요함.
6. 주요연구 개발내용	□ 곡선부 스킨소음 발생 메카니즘 및 영향인자 분석 - 도시철도 곡선부 스킨소음 현황 분석 및 측정 - 곡선부 스킨소음 발생 메카니즘 분석 - (횡방향 크립력과 차륜 플랜지 접촉에 의한 스킨소음) - 곡선반경, 차량속도, 레일 캔트 및 차축거리에 의한 스킨소음 영향인자 분석 □ 곡선부 스킨소음 예측 모델 개발 - 곡선부 스킨소음 예측방법 분석 - 스킨소음 예측모델 구축 및 타당성 검토 □ 스킨소음 저감대책 제시 - 차륜/레일 진동저감을 통한 스킨소음 저감 기술 개발 - 능동적 제어를 통한 크립력 변화에 의한 스킨소음 저감기술 개발 - 스킨소음 저감대책에 대한 시험평가 및 타당성 검토 □ 전동소음 저감을 위한 차륜/레일 조도 관리수법 개발 - 차륜/레일 조도와 전동음과의 관계 분석 - 차륜/레일 조도관리 시스템 개발 - 전동음 저감을 차륜/레일 조도 관리방안 제시 □ 전동소음 저감방안 제시 - 차륜/레일 형상 최적화를 통한 전동소음 저감기술 개발 - 레일 댐퍼를 이용한 전동소음 저감기술 개발

			- 전동소음 저감방안에 대한 시험평가 및 타당성 검토						
7. 정부지원의 타당성			☐ 현재 도시철도 주변에 거주하는 주민에게 철도 소음은 많은 불쾌감을 주어 지속적인 민원이 제기되어, 일부 곡선구간 통과 시 소음에 의한 피해로 인한 보상 문제까지 거론되고 있는 실정임. ☐ 이러한 문제가 계속적으로 발생한다면, 철도경영에 커다란 피해를 줄뿐만 아니라 철도연변에 거주하는 주민에게 심리적으로 악영향을 끼침. 따라서 친환경적이고 서민에게 안락한 철도환경을 제공할 수 있도록 국가적인 차원에서 지원이 필요함.						
8. 기술확보 전략			☐ 스킨소음 및 전동소음 저감기술 확보 - 한국철도기술연구원에서 보유하고 있는 차륜/레일 접촉 시험기를 활용 - 기존의 전동소음 해석기술을 활용 - 스킨소음 해석모델을 개발 ☐ 국내외 공동연구 계획 - 철도 소음 분야의 세계적 리딩 그룹(ERRI, Southsanton University 등)과의 상호 교류 추진 - 소음 분야 전문 기관과의 체계적 공동연구 체계 구축 ☐ 산·학·연 협력 - 철도소음 관련 연구실적이 충실한 대학의 기초연구 참여 - 철도 운영사와 차량 및 궤도 제작사의 공동연구 참여를 통한 개발기술의 실용화 적용 추진						
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안			최종성과물	☐ 차륜/레일 프로파일 변경에 의한 파상마모 저감 기술 ☐ 마찰유연체에 의한 파상마모 발생 지연기술에 의한 소음 저감 기술 ☐ 경두 레일을 적용한 파상마모 저감 방안 ☐ 압전재를 이용한 파상마모 발생소음 저감 기술 ☐ 전자기 하이브리드 센서에 의한 파상마모 모니터링 시스템 개발					
			활용방안	☐ 도시철도 및 일반철도, 고속철도 등의 곡선부 스킨소음 저감 대책에 활용 ☐ 철도 소음/진동민원 지역에 대한 저감방안으로 활용 ☐ 곡선부 스킨소음에 대한 예측모델 개발 시 신규노선 및 기존선의 해석도구로 활용 ☐ 스킨소음 및 전동소음에 의한 소음저감 원천기술의 타 분야 적용확대					
10. 연구개발 과제의 규모			구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
			연차별 연구비 (백만원)	정부	755.2	524.8	499.2	550.4	550.4
				민간 (추정)	-	-	-	-	-

	합 계		755.2	524.8	499.2	550.4	550.4
	총 연구비 (백만원)	정부	2,880		총 연구기간	5	년
		민간	-				
		총합계	2,880		연도별 평균소요인력	6	명
11. 기대효과 및 파급효과	☐ 경제적 기대효과						
	- 철도연변 거주민의 소음민원 해소를 통한 철도운영기관의 경제적 손실비용 저감 - 차륜과 레일의 경제적 운영으로 유지보수비 저감 - 방음벽 감소에 의한 경제적 절감효과 및 친환경 제고 - 소음 성능평가 및 개선방향 도출						
	☐ 기술적 기대효과						
	- 곡선부 스킵소음 저감방안 및 대책 수립 - 차륜/레일 인터페이스에 의한 소음진동 분야의 선진국 수준 기술 확보						
	☐ 사회적 기대효과						
	- 승차감 향상을 통한 타 교통수단과의 경쟁력 확보 - 소음 관련 민원 해결 - 열차 이용 승객의 쾌적성 향상						

1. 과제명	차륜-레일 경계영역에서의 파상마모에 따른 소음 저감기술 1)
2. 연구개발목표	☐ 차륜-레일 경계영역에서 파상마모 발생소음 5dB 저감 기술개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	☐ 유럽 ○ 유럽에서는 영국과 스웨덴을 중심으로 파상마모에 대한 연구가 진행되고 있음. 실험적 연구를 통한 시뮬레이션 연구가 진행되고 있고 파상마모 소음저감을 위한 윤활기술 개발, 손상표면처리 기술개발이 진행되고 있음. 스페인에서는 급곡선 단파장 파상마모 해석에 대한 연구와 고속선에서 발생하는 파상마모 분석에 대한 연구가 진행된 바 있음. 유럽에서는 파상마모 저감 대책기술에 대하여 차륜-레일 윤활과 경두레일을 제안하고 있음 ○ Eurostar는 효율적인 윤활 등을 통하여 파상마모를 줄이게 되면 차륜/레일 교체 등으로 인한 유지보수 비용을 연간 70만 달러를 절감할 수 있다고 보고함 ○ 차륜/레일의 파상마모가 저감되면 직접적으로 레일 유지보수주기 연장 가능함. 차륜의 수명이 연장(호주, 467% 연장)되며, 차량의 연료소모량이 감소(호주, 20% 절감)되며 또한 소음, 진동이 저감(3dB~5dB)되는 효과가 있음

	음. □ 일본 ○ 10년동안의 일본에서의 파상마모 연구는 동경대 Suda등에 의해서 진행되었음. 급곡선부에서 파상마모의 형성메커니즘과 대책에 대해서 다양한 관점에서 연구되었으며 결과는 RTRI 그리고 JR East 등에 의한 후속연구에 반영되었음. 최근 연구에서 발생하는 파상마모를 방지하기 위해 급곡선에서의 파상마모 연구를 시작하였음. 실험크기의 시험기와 축소모델 시험기, 열차운행 시험, 현지조사 그리고 수치 시뮬레이션을 통해서 급곡선 구간에서 발생하는 파상마모의 대책 연구를 수행하고 있음. ○ 차륜/레일의 최적 프로파일, 최적 소재, 윤활 등의 적용으로 레일의 수명은 2배, 차륜의 수명은 5배 정도 증가할 수 있음 ○ 철도 운영처에서 가장 많이 소모하고 있는 비용은 레일의 유지보수 및 교환으로 평균 약 60-65%를 차지하고 있음
4. 기존기술 활용방안	□ ‘고속화 차량-인프라 인터페이스 기술개발(한국철도기술연구원, 2009-2011)’ 연구과제에서 고속선 레일 파상마모 현황에 대한 조사연구가 수행된 바 있음. 파상마모에 대한 기초적인 해석모델과 현장에서 발생한 파상마모 측정을 실시한 바 있으며 이러한 연구를 토대로 본 연구에서 해석모델 구축과 파상마모 모니터링을 실시하여 소음저감에 대한 기술을 개발할 계획임
5. 기술개발 필요성	□ 곡선부와 직선부 레일에서 파상마모 발생에 의한 소음이 10dB이상 증가하면서 차륜-레일의 유지보수 비용증가 및 파상마모 비산물질에 따른 공해 문제가 제기되고 있음 □ 차륜/레일 경계영역에서 발생하는 파상마모에 대한 이론적 해석 및 실험 연구가 수년간 진행되어져 왔지만 복합적인 영향인자가 개입되어 현재까지 많은 연구가 수행되고 있는 연구 분야이며 관련 연구개발이 시급함. 국내에서는 파상마모 관련 진동소음과 해석모델에 관한 연구가 진행된바 있으나 초기단계에 머무르고 있음 □ 차량/레일의 파상마모는 인터페이스 측면에서의 검토와 시스템 측면에서의 검토가 필요함. 철도 차량과 레일에 대한 노하우를 보유하고 있고, 관련 기술력과 경험을 갖추고 있으며, 시스템 차원에서 각 요소기술을 통합할 수 있는 정부출연기관에서 주도적으로 개발할 필요가 있음.
6. 주요연구 개발내용	□ 1차년도 - 차륜/레일의 파상마모발생 파라미터 해석 및 파상마모 발생 시뮬레이터 제작 - 하이브리드 기술을 이용한 파상마모 모니터링 시스템 설계 - 파상마모 소음저감을 위한 차륜/레일 영향인자 평가 - 파상마모에 의한 소음 발생 지연 시스템 설계 □ 2차년도

	- 차륜/레일 파상마모 저감을 위한 차륜/레일 프로파일 최적화 - 파상마모 소음저감을 위한 트라이볼로지 적용기술의 Lab.시험 - 하이브리드 기술적용 파상마모 모니터링 시스템 시제작 - 파상마모 소음저감을 위한 차륜/레일 영향인자 평가 □ 3차년도 - 차륜/레일 파상마모 예측 모델 구축 및 해석 - 파상마모 모니터링 시스템(전자기/레이저 하이브리드) 시험 평가 - 파상마모 소음저감을 위한 트라이볼로지 적용기술 시제작 - 파상마모에 의한 소음 발생 지연 시스템 시제작 □ 4차년도 - 차륜/레일 파상마모 시뮬레이션 모델 평가 - 하이브리드 기술적용 파상마모 모니터링 시스템 평가 및 분석 - 파상마모 소음저감을 위한 트라이볼로지 적용기술 시제작 평가 - 파상마모에 의한 소음 발생 지연 시스템 시제작 평가 □ 5차년도 - 차륜/레일 파상마모 시뮬레이션 모델 개발 - 파상마모 모니터링 시스템 평가 및 분석 시스템 개발 - 파상마모에 의한 소음저감 기술 개발	
7. 정부지원의 타당성	□ 국민의 대중교통 이용 안전성 측면 ○ 차륜/레일의 파상마모는 주행 안전성 저하뿐만 아니라 승차감(소음, 진동) 저하, 유지보수비용의 증가 등의 문제를 발생시키기 때문에 차륜/레일의 손상원인 및 저감대책이 마련되면 철도공사를 비롯한 각 지자체의 도시 철도공사도 큰 혜택을 누릴 수 있으므로 공공성을 목적으로 하는 정부출연기관에서 이를 주도적으로 개발할 필요가 있음 ○ 소음저감 효과로 인한 녹색교통기술의 구현	
8. 기술확보 전략	□ 차륜/레일 경계영역에서 파상마모에 따른 소음저감 기술개발은 해석모델 개발, 파상마모영향인자 해석 및 파상마모 모니터링 평가 기술에 의해 연구수행 되어야 하며 관련 기술이 확보될 수 있음 □ 차륜/레일의 파상마모 메커니즘 분석을 위하여 시뮬레이터를 구축할 예정이며 이에 따른 실증은 보유한 실험접촉시험기를 이용하여 차륜/레일의 파상마모의 영향인자를 평가함. □ 차륜/레일의 접촉응력해석을 기반으로 하여 파상마모 예측모델 개발이 가능하며 동역학 모델은 관련 분야 전문 대학교와 연구를 수행 □ 파상마모 모니터링 및 해석분야는 철도 운영처와 긴밀하게 협조체계를 구축하여 실제 현장데이터와 분석으로 공동으로 실시할 계획	
9. 기술개발 최종성과물 및	최종성과물	□ 차륜/레일 프로파일 변경에 의한 파상마모 저감 기술

활용방안		☐ 마찰유연제에 의한 파상마모 발생 지연기술에 의한 소음 저감 기술 ☐ 경두 레일을 적용한 파상마모 저감 방안 ☐ 압전재를 이용한 파상마모 발생소음 저감 기술 ☐ 전자기 하이브리드 센서에 의한 파상마모 모니터링 시스템 개발					
	활용방안	☐ 도시철도 및 일반철도, 고속철도 등의 차륜/레일 파상마모 저감 대책에 활용 ☐ 고체윤활제 적용 방법, 차륜/레일 연마 등 파상마모를 저감할 수 있는 적용(안)을 수립 및 소음저감 기술 확보 ☐ 도시철도 및 일반철도, 고속철도의 파상마모에 의한 소음저감을 통한 최적 유지보수전략 도출 ☐ 차륜/레일 파상마모 저감을 위한 최적 프로파일 또는 신소재 개발시 해석툴로 활용 ☐ 파상마모에 의한 소음저감 원천기술의 타분야 적용확대					
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	896.8	623.2	592.8	653.6	653.6
		민간 (추정)	-	-	-	-	-
	합 계		896.8	623.2	592.8	653.6	653.6
	총 연구비 (백만원)	정부	3,420		총 연구기간	5 년	
		민간	-			연도별 평균소요인력	5 명
		총합계	3,420				
11. 기대효과 및 파급효과	☐ 파상마모예측 기술개발을 통하여 차륜/레일 파상마모저감을 통한 소음저감 가능 ☐ 파상마모 소음저감을 위한 차륜/레일 프로파일, 윤활제 적용 방안 수립 ☐ 파상마모의 규명 및 예측이 가능하게 됨으로써 차륜/레일 프로파일 최적화, 신소재 개발, 유지보수주기 결정을 위한 기초자료 제공 ☐ 차륜/레일 유지보수비 절감(약 10% 절감, 해외사례) ☐ 파상마모 발생 소음 저감에 따른 민원해결 및 국민 편익 증대						

1. 과제명	궤도 소음/진동 저감기술 개발
--------	------------------

1) “레일 파상마모에 의한 소음 저감기술”은 본 기획과제의 중장기 과제임.

2. 연구개발목표	□ 최근 들어 환경문제에 대한 관심이 증대됨에 따라 철도 궤도의 소음/진동은 많은 민원 및 분쟁을 야기 시키는 원인이 되므로 궤도의 체계적이고 종합적인 저감기술 및 평가기술에 대한 연구가 필요함. 따라서, 철도 궤도의 소음/진동 저감기술과 성능평가를 위한 실험기술 개발을 통해 이를 활용하고 응용하여 저소음/저진동 궤도 시스템의 개발 및 궤도 소음/진동을 적용한 설계 기준 구축을 위한 핵심 기술을 확립하고자 함.
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	□ 주요 철도 선진국에서는 궤도의 소음진동 저감기술에 대해 지속적인 연구를 수행하고 있으며, 기존 저감기술과 유지보수 개념의 호환성이 최대한 강조되는 경향으로 발전하고 있음. 또한, 차량·궤도·지반 및 구조물의 전체적인 시스템에 대한 연구를 통해 지속적으로 환경부하 저감기술을 도모하는 경향으로 발전시켜 나가고 있음. □ 영국의 Southampton 대학교에서는 TWINS(Track Wheel Interaction Noise Software) 모델 및 해석 프로그램을 개발하였으며, 이는 결과(Output)가 음압(Sound pressure)인 해석적 기법으로 레일 조도로 인해 유발되는 소음에 대해 최초의 이론적 모델을 제안한 Paul J. Remington의 기술을 더욱 확장시켜 발전시켰음. 현재 가장 활발히 연구 중이며, 궤도의 소음/진동에 대해 독자적인 기술을 보유하고 있음. 궤도 모델의 단순화를 통해 휠과 레일에 대한 소음/진동 기술에 국한되어 있으며, 현재의 복잡한 궤도 특성이 반영된 예측 기술로의 적용이 어려움. 현 궤도의 타입별, 각 요소별 특성이 반영된 기술 개발로의 업그레이드가 필요함. 또한, 구조물과의 영향이 고려되지 않음. □ 독일의 Rail one에서 개발한 아스팔트 레일지지형 매립형 궤도인 ATD(Asphalt supporting layer for Track Direct support) Track은 아스팔트층에 토목섬유를 포설하고 바이블록(Bi-Block) 침목을 이산지지 시키는 방식이며, Dortmund Track은 아스팔트 층에 철근으로 연결된 레일을 올려놓고 콘크리트로 고정하는 연속지지방식으로 포장부에서는 아스팔트를 레일 주변에 충전함. □ 네덜란드의 Edilon에서는 수지고정형 매립형 궤도를 자체개발하였으며, 액상형 수지인 코크라스트(Corklast)를 홈안에 부어 일정시간이 경과 후 경화시켜 레일을 탄성고정 지지시키는 슬래브 궤도시스템임. 기존의 침목과 체결장치가 없이 구조체 슬래브에 홈을 만들어 레일을 거치한 시스템임. 수지 매립형 궤도는 선로방향으로 균일한 탄성력을 보장하여 연속형 레일로 이용될 수 있어 레일의 수명을 연장하고 corrugation을 최소화함. 터널 혹은 교량 시공시 무게와 높이를 줄일 수 있고, 유지보수가 용이하여 경제적임. □ 벨기에에서는 체결장치가 없는 탄성재 부착형 레일 연속지지 매립형 궤도인 CDM 궤도를 개발하였으며, 레일을 매립시키고 수지부착고무(resinbonded rubber)를 사용하는 형태임. 방음 및 방진에 매우 효과적인 것으로 평가되고 있음.
4. 기존기술 활용방안	□ 저진동/저소음 철도기술의 중요성이 인식되면서 기존의 차량과 궤도의 상호작용 해석기술, 궤도시스템 설계기술, 방진궤도의 방진성 평가 및 설계기술, 방진대 시험평가기술 그리고 휠과 레일의 소음/진동에 대한 해석 기술 등은 현재의

	복잡한 궤도 특성 반영 및 한국 기후와 지형 조건에 대한 충분한 데이터베이스 구축이 되지 않은 관계로 많은 수정, 보완이 필요한 상황임. 따라서, 궤도의 타입별, 각 요소별 특성이 반영된 저감기술 그리고 구조물과의 영향이 고려된 저감기술을 체계적으로 정립하여 개발시켜야 함. 또한, 기 수행한 연구를 적극 활용하고 지속적인 교류를 통해 모든 궤도 시스템에 대한 원천기술 및 핵심기술을 집대성하여 궤도 소음/진동 저감기술에 대한 종합적인 솔루션을 도출함.
5. 기술개발 필요성	□ 최근 국민 소득의 증가와 생활수준의 향상에 따라 환경 문제에 대한 관심이 증대되는 추세에 있고, 환경성에 대한 사회적 요구가 점차 급증함으로 인하여 민원 및 분쟁이 증가하고 있으며 철도에서도 동일한 현상이 빈번하게 발생하고 있음. 그러나 궤도와 관련된 소음/진동에 대한 저감 및 성능평가 기술은 미흡한 실정임. □ 철도차량 주행 시 발생하는 궤도의 소음/진동은 차량의 종류와 속도, 궤도의 조건 등에 따라 복잡하고 다양하기 때문에 현재 해석이 어렵고 이론 및 원천기술 또한 미흡한 실정임. 따라서 근본적인 이론, 해석 및 예측에 대한 핵심기술의 연구가 시급함. □ 철도 궤도와 관련된 소음/진동의 저감기술에 대한 국내 기술수준은 매우 미약한 상황임. 기술 선진국으로부터의 기술도입을 고려할 수도 있겠으나 소음/진동의 경우 해당국가의 기후나 지형조건 뿐만 아니라 문화적, 사회적 배경 그리고 주거 형태에 따라 많은 변화가 존재하기 때문에 국내의 상황을 고려한 소음/진동 저감기술이 반드시 필요함. □ 현재 궤도 설계 시 철도설계기준에 의해 궤도의 안전성 및 사용성에 대한 설계를 수행하고 있으나 궤도의 소음/진동에 관련된 환경성에 대한 검토는 미비한 실정이며, 궤도의 소음/진동에 대한 가이드라인의 부족과 해석의 어려움으로 측정에 의존하고 있음. 따라서 설계 단계에서 궤도의 안전성 및 사용성과 더불어 소음/진동의 해석과 예측이 가능하다면 더욱 효율적이며 합리적인 설계가 가능함. 해석을 통해 미리 평가한 후에 실측이 병행된다면 보다 많은 비용과 시간을 줄일 수 있으므로 친환경적이며 효율적인 도심구간 철도건설을 위한 철도 궤도의 신뢰성 및 타당성을 확보하기 위해서는 궤도의 소음/진동 저감기술 개발은 반드시 필요함.
6. 주요연구 개발내용	□ 휠-궤도-교량 상호작용을 고려한 소음/진동 예측기술 개발 ○ 휠-궤도-교량 상호작용을 고려한 궤도의 소음/진동 해석 알고리즘 - 다방향성(수직방향, 수평방향), 레일손상, 접촉의 비선형성 고려 - 차륜과 레일의 조도에 대한 통계적 모델 - 국내 레일 조도 측정을 통한 한국형 레일 조도 식(PSD 함수 식) ○ 궤도 및 교량의 구조적 특성에 따른 소음 / 진동 예측 모델 및 전용 프로그램 ○ 실측 자료, 구조물의 기상학적, 기하학적 환경 상황에 따른 해석 모델의 검증/보정 기술

	○ 궤도 타입별, 교량 형식별 소음/진동 설계 및 평가 가이드라인 개발을 위한 해석적 기법 □ 월-궤도-지반 상호작용을 고려한 진동 예측기술 개발 ○ GIS를 이용한 종합적인 지반 진동 예측 및 진동전파 해석 프로그램 - 궤도-지반 진동모델 및 전이함수 - 지반 진동예측 및 진동전파 해석 알고리즘/ 해석프로그램 - 지반 동특성 및 GIS 기반 진동 민감도 판정기준 - GIS기반 진동충격 분포도 □ 궤도 각 요소별/타입별 소음/진동 저감기술 개발 ○ 궤도의 소음/진동 저감을 고려한 이론 및 해석적 연구 ○ 궤도의 소음/진동 저감을 위한 각 요소별 영향 분석 ○ 궤도 타입별, 각 요소별 소음/진동 저감을 위한 방법 및 절차 구축 □ 궤도 타입별 소음/진동 성능평가 기술(방법 및 절차 등) 개발 ○ 궤도의 각 요소별 소음/진동 저감제품의 성능평가 기준 개발을 위한 평가 기법 및 자료 구축 ○ 궤도 타입별, 각 요소별 소음/진동 실험 모형 정립 ○ 궤도 진동과 소음에 대한 예측전달식 (소음원) 정립(음향파위레벨 산정식) ○ 궤도 타입별, 각 요소별 소음/진동 설계 및 평가 기준 개발을 위한 실험적 기법 및 자료 구축 □ 저진동/저소음 궤도 시스템 개발 ○ 고효율성 콘크리트 궤도 ○ 철도 인프라 소음의 광역 주파수 대역에 적합한 다공성-진동-공명흡음형 하이브리드 고효율 흡음체
7. 정부지원의 타당성	□ 국토해양부의 ‘저탄소 녹색성장시대 철도정책 방향’을 보다 성공적으로 달성하기 위한 철도 기술의 발전은 궤도 기술의 발전 없이는 불가능함. 최근 철도 기술전쟁이 심화됨에 따라 선진국들의 첨단 기술에 대한 보호추세가 강화되고 있는 상황에서 기술도입에는 한계가 있을 수밖에 없으며 우리의 독자적인 기술 확보가 없는 한 자칫 철도기술 종속의 우려가 있을 수 있음. 따라서 산·학·연의 활발한 연구 교류를 바탕으로 외국의 기술을 충분히 활용하면서 동시에 그 미비점을 보완한 후, 철도 궤도의 소음/진동 저감기술을 독자적으로 개발해야함. □ 철도 궤도의 소음/진동과 같은 환경성에 대한 사회적 요구가 점차 급증함으로 인해 민원 및 분쟁이 빈번히 발생하고 있으며, 이는 지속적인 향상을 위한 노력이 경주되고 지속적인 투자와 연구 개발이 필요함. 따라서, 미래지향적인 궤

	도시시스템의 지속적인 소음/진동 저감에 대한 원천기술 및 기반기술 확보를 위하여 국가 차원에서의 연구개발이 반드시 필요함.						
8. 기술확보 전략	□ 궤도 소음/진동 저감기술의 개발은 선진국과 대등하거나 월등한 기술력으로 기존의 궤도 성능을 강화하는 기술뿐 아니라 새로운 개념의 최적화된 고성능 궤도를 구축하는데 이바지하며, 개발된 저감 및 성능평가 기술을 바탕으로 해외 개발 사업에 경쟁력을 확보함. 또한, 각종 철도 궤도 소음/진동 저감제품의 특허 및 국산화에 기여하여 국가 이익을 크게 창출하는 방향으로 개발함. □ 궤도 소음/진동 저감기술은 실무적으로 기여도가 매우 높고 타 산업과의 연관성이 크기 때문에 개발된 기술이 철도 궤도 뿐만 아니라 타 교통 분야로 기술을 전파하여 국가의 경제적, 사회적 이익을 창출하는 시너지 효과를 함께 이룰 수 있도록 개발함.						
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		□ 철도 인프라 인터페이스(궤-궤도-교량, 궤-궤도-지반) 소음/진동 예측기술 □ 궤도 각 요소별/타입별 소음/진동 저감기술 □ 궤도 타입별 소음/진동 성능평가 기술(방법 및 절차 등) □ 새로운 저진동/저소음 궤도 시스템 (고흡음성 콘크리트 궤도, 고효율 흡음체 등)				
	활용방안		□ 지속적인 산학연 교류를 통해 개발된 궤도 소음/진동 저감의 핵심 기술을 보급하기 위하여 국철, 고속철, 경전철, 지하철 그리고 모노레일 등 각종 철도사업에 적극 활용하도록 유도함. □ 궤도 설계자 및 현장 실무자들의 고충을 자문하고 궤도 기술자들 상호간의 활발한 의견 교환을 촉진시켜 본 연구 결과의 기술 이전 활동을 추진함. □ 기존 철도 운영 및 신 철도 건설 시 궤도 소음/진동 저감기술을 적용하고, 해외 철도 건설시장 진출시 이를 적극 활용함.				
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	619.5	430.5	409.5	451.5	451.5
		민간 (추정)	-	-	-	-	-
	합 계		619.5	430.5	409.5	451.5	451.5
	총 연구비 (백만원)	정부	2362.5		총 연구기간	5 년	
		민간	-				
총합계		2362.5		연도별 평균소요인력	30 명		
11. 기대효과 및 파급효과	□ 미래의 철도 구조물이 과거와 다른 점은 고속화에 따른 변화와 녹색성장·환경친화성을 위한 향상된 안전성, 사용성, 경제성 그리고 환경성으로 나뉨. 미래 철도의 이러한 설계환경변화에 따라 개발 되어야 하는 주요 기술을 인식하고 철도 궤도 소음/진동의 저감 기술을 연구하여 미래철도 궤도뿐만 아니라 기존 철도 궤도에도 응용될 수 있는 핵심기술을 개발하며, 철도 궤도 소음/진동 분						

	야의 선진화 기술을 확립하는데 크게 일조함. □ 외국의 선진화된 기술을 충분히 활용하여 그 미비점이 보완된 독자적인 궤도 소음/진동 저감에 대한 핵심기술이 개발된다면 기존의 철도 궤도의 성능을 강화하는 기술뿐만 아니라 새로운 개념의 최적화된 고성능 철도 궤도를 개발할 수 있을 것임. 이와 같이 실현된다면 철도 선진국의 궤도 소음/진동 저감에 대한 핵심 기술과 어느 정도 대등하거나 그 이상의 위치를 확보할 수 있을 것으로 예상됨. □ 국내·외적으로 보다 많은 철도노선의 확장을 계획 중인 이때에, 철도 궤도 소음/진동 저감 원천기술 개발을 바탕으로 보다 안전하고 친환경적인 철도사업의 획기적인 전환점을 갖는 동시에 보다 경제적이고 친환경적인 철도 건설이 가능할 뿐만 아니라, 국제시장에서 우리나라 철도기술의 수출을 위한 근간이 될 것임.
--	--

다. 제3세부과제 : 철도 인프라 소음/진동 저감기술 개발

1. 과제명	철도 지반 및 교량 소음/진동 저감기술 개발
2. 연구개발목표	□ 철도 지반의 진동을 예측 및 평가하고 저감할 수 있는 기술 개발을 통하여 저소음·저진동 철도 지반 설계를 위한 원천기술을 확보하고 철도 지반 진동저감 기법의 prototype 개발을 통하여 원천 기술 보급을 위한 기반을 마련함. □ 철도교량의 소음 및 진동을 예측 및 평가하고 저감할 수 있는 기술 개발을 통하여 저소음·저진동 교량 설계를 위한 원천기술을 확보하고 이러한 교량의 prototype 개발을 통하여 원천 기술 보급을 위한 기반을 마련함.
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	□ 궤도 및 지반진동에 대한 대책공법은 주로 1)궤도에 직접 적용하는 기술인 레일패드, 방진패드 및 방진슬래브 또는 방진매트 등의 자재나 공법을 이용하는 기술과 2) 궤도근접지에 방진구 및 방진재, 방진벽을 설치하기 위한 설계 및 공법개발이 이루어져 적용되고 있음. □ 네덜란드에서는 조용한 철도(silent train traffic) 프로젝트에 의해 전체시스템에서 10dB(A)의 소음저감을 목표로 기술개발을 진행함. 저소음기술은 차량과 철도구성 시스템 전반에 걸친 구성요소 및 재료의 최적화 기술에 근거하여 개발한 것임. 하위 프로젝트인 저소음궤도(silent track)에서는 자갈궤도에 비하여 5dB(A), 기존 슬래브궤도에 비하여 7dB(A)의 소음저감을 목표로 하는 새로운 궤도구조를 개발하여 성공리에 적용하고 있으며 진동저감을 위한 핵심개발기술은 매립형 레일궤도구조에 있음. □ 철도교량의 소음 및 진동과 관련하여 현재까지 국내외에서 진행된 연구는 크게 소음 및 진동에 대한 분석·예측 등 이론적인 연구, 소음·진동이 미치는 영향이나 평가와 관련한 연구, 방진재·흡음재 등 소음·진동 저감재 관련 연구, 교량상부 등 구조물 또는 방진재·흡음재의 기하학적 최적 배치 등을 통한 저소음·저진동 교량 관련 연구 등으로 분류할 수 있음. □ 철도교량의 소음 및 진동에 대한 분석, 예측 등 이론적인 연구와 관련하여 국내에서 수행된 연구로는 ABAQUS(신한철 등, 2005), ANSYS(김성일 등,

	2007) 등 기존의 범용 해석프로그램이나, MITHRA 등 전용해석프로그램을 이용한 연구(김종락 등, 2007; 김종락, 2008) 등이 있으나, 철도교량의 특성을 고려한 이론 개발 및 FEM, BEM 등 수치해석 기법을 이용한 분석, 예측 도구의 개발 등 원천기술 개발은 미흡한 실정임. □ 소음·진동이 미치는 영향이나 평가와 관련한 연구는 단순한 소음·진동의 세기 뿐 아니라 주파수 성분 특성 등과 같은 성질에 대한 인간 반응의 정량화와 같은 문제들이 다루어져야 함. 이와 관련한 연구로는 김진호 등(2009), 한종원(2010) 등에 의한 연구가 있으나, 미국, 유럽, 일본과 같은 국가에서 수행된 연구와 비교할 때 상당히 미흡하며(한종원, 2010) 철도교량에 대한 전문적이고 체계적인 연구는 수행된 바 없는 상황임. □ 현재까지 진행되어 온 대부분의 연구는 방진재·흡음재 등 소음·진동 저감재 관련 연구(한국철도기술연구원, 2000; 엔에스브이 등, 2004), 방음벽의 성능 향상 기법(한국철도기술연구원, 2010) 등이나, 교량의 구조적 설계와 관련하여 최적의 기하학적 배치나 교량 자체의 구조적인 저소음, 저진동 기능성에 대한 연구는 수행되지 못한 상황임. 특히 방음벽의 경우 방음 효과와는 별도로 미관상, 비용상 불리한 측면이 있어 가급적 사용을 최소화할 수 있는 연구 수행이 필요함. 해외의 경우 교량 상부구조 설계와 방진재, 흡음재 배치의 효율화를 통하여 소음/진동을 저감하는 교량에 대한 연구가 수행된 바 있으며(Crockett et al., 2000; Watanabe, 2010), 연구 결과로 도출된 교량 형식의 소음/진동저감 효과를 활용하여 저소음·저진동 교량의 prototype 개발하고 기술 보급의 기반을 확보할 수 있는 연구가 필요함.
4. 기존기술 활용방안	□ 기 개발된 방진구 및 방진벽, 그리고 그라우팅/우레탄 등 채움재를 이용한 지반 진동 저감 및 차단 기술을 활용 □ 기존 GIS(Geographical Information System)를 이용한 토질/암반의 데이터베이스 자료 수집 및 분석기술과 수집된 자료의 합성 및 중첩기술 활용 □ 소음 및 진동에 대한 분석, 예측과 관련해서는 국내외에서 많은 연구가 수행되었으나, 철도교량에 대한 전문화된 연구가 미흡한 상황임. 이러한 관점에서 철도 외 도로, 항공 등의 운송 수단에 의한 소음·진동 분석 및 예측 모델은 충분한 활용성을 가질 것으로 판단되나, 철도교량으로 범위를 보다 전문화하였을 때 적합성에 대한 연구가 수행되어야 하며 정확도를 제고할 수 있는 방안이 수립되어야 함. 또한 FEM, BEM 등 수치해석 기법을 이용하여 철도교량의 소음 및 진동을 예측할 수 있는 해석기법의 정립 뿐 아니라, 기존 상용 프로그램의 응용 방안이나 적용 시의 한계에 대한 연구도 수행되어야 함. □ 교량의 기하학적 형상 또는 소음·진동 저감재의 기하학적 배치에 따른 저감 성능 극대화를 위해서는 현재까지 개발된 방진재·흡음재 등의 재료적 특성에 관한 연구 결과가 필수적으로 활용되어야 함. 특히 해외에서 개발 중인 저소음·저진동형 교량에 대한 연구 결과를 토대로 보다 효율적인 구조형상 prototype의 개발이 수행되어야 함.
5. 기술개발 필요성	□ 철도는 도로 및 항공에 비하여 소음 및 진동공해가 비교적 작은 환경친화적인 운송수단임에도 불구하고 고속철도 및 도시철도의 경우 주행속도와 주변여건

	에 따라 소음과 진동의 발생을 억제할 필요가 대두되고 있음. 국내의 경우 철도노선이 아파트 단지와 같이 인구가 밀집된 주거지를 관통하는 경우가 늘고 있어 상대적으로 쾌적한 삶의 수준을 유지하기 위한 국민의 요구와 이의 해결을 요구하는 민원사례가 증가하고 있음. □ 기존선의 경우 국철 및 지하철을 막론하고 소음과 진동에 대한 기술도입이 제대로 이루어져 있지 않은 상태에서 시공, 운영되고 있어 철도연변의 민원에 대한 대책수립을 위하여 기술 수요 급증이 예상됨. □ 철도 인프라의 소음/진동저감에 대한 원천기술 및 평가에 대한 기술은 해외철도건설시장 선점 및 확대를 위한 기초기술 확보로서 매우 중요함. □ 현재까지 수행된 연구는 철도교량의 소음·진동 저감을 위한 방진재·흡음재의 개발에 초점이 맞추어져 있었으며, 보다 경제적이고 효과적으로 소음·진동을 저감할 수 있는 구조형식의 개발은 미흡한 상황임. □ 이러한 구조형식의 개발을 위해서는 해석적으로 철도교량의 소음·진동을 분석, 예측, 평가할 수 있는 기법의 개발이 선행되어야 하며, 이러한 기술을 바탕으로 설계 단계에서 구조적으로 소음·진동을 최소화 할 수 있는 기반을 수립하는 것이 필요함.
6. 주요연구 개발내용	□ 궤도구조 근접지반 진동 원천 해석기술 개발 ○ 철도지반 및 토질 동적특성 정량화 시험기준 수립 ○ 지반 동특성 파악을 위한 실내 및 현장시험 기준수립 ○ DB 구축 - 철도지반 및 토질 동적특성 - 흙/암반 분류 및 동특성 - 지하수위 및 기반암층 이격거리 지질학적 분류 - GIS(Geographical Information System)기반 토질/암반 동특성 분류자료 ○ 지반진동 측정 기준수립 - 지반진동 측정 체계(측정장소, 측정방법, 측정시험기, 측정법) 제시 ○ 종합적인 지반 진동평가 및 저감 시스템 기술(total solution) 개발 - GIS(Geographical Information System)를 이용한 토질/암반 동특성 수집자료와 인구밀집도, 주거패턴, 건물이용도, 지형조건 수집자료의 합성 및 중첩 - 철도 차량의 통과톤수, 속도, 윤중, 차량형식 D/B구축 - 실내실험(공진주시험 등) 및 현장시험을 통한 D/B와 GIS를 활용한 진동 민감도 판정기준 제시 ○ 지반 진동예측 및 진동전파 해석 알고리즘/해석프로그램 개발 - 지반진동 값(속도 및 가속도) 측정 및 지반(흙/암반) 등급화

	- 해당 지반에서의 가진원에 의한 소음/진동 시뮬레이션 해석 - 철도설계요소(설계속도, 운중, 궤도구조 등)를 반영한 실차 가진원에 의한 지반진동 가상시뮬레이션 해석 - 실차 가진원 시뮬레이션 결과분석에 의한 지반진동 민감도 작성 ○ 지반진동 분석기준 및 분석법 수립 - RMS 진동속도 및 PPV(peak particle velocity) 판정기준 수립 - 인체에 미치는 지반진동 정량화 - 건물에 미치는 지반진동 정량화 □ 지반특성별 진동전파 경로특성 파악기술 개발 ○ 궤도~터널(지상토피고) 진동전파 경로특성 파악 ○ 궤도~성토체/원지반 진동전파 경로특성 파악 ○ 궤도구조물(교량기초)~지반 진동전파 경로특성 파악 □ 지반 진동저감/차단 설계 및 시공기술 개발 ○ 진동저감/차단 특성 진단기준 및 판정법 수립 ○ 궤도 하부 구성요소에서의 진동저감 기술 개발 - 폴리우레탄(polyurethane)을 이용한 도상보강 및 진동저감기술 개발 - 아스팔트 역청재/아스팔트 매트를 이용한 도상보강 및 진동저감기술 개발 ○ 궤도 근접지반에서의 진동저감기술 개발 - 진동저감 연성방진벽 및 채움재 기술 개발 - 진동저감 방진구 및 채움재 기술 개발 - 진동저감 심층교반혼합(DDM) 지반강화 공법 개발 ○ 콘크리트 슬래브 진동저감 재료 및 공법 개발 - 콘크리트 슬래브 하부 진동저감 재료 및 공법 개발 □ 철도교량에서 발생하는 소음/진동을 예측·평가·저감할 수 있는 방법 및 절차 개발 ○ 기존 소음·진동 기술의 적용성 검토를 통한 예측모델 개발 ○ 개발된 예측모델의 실내 및 현장실험을 통한 검증 □ 철도교량의 형식별 소음/진동 성능 평가 세부 기술 개발 ○ 교량 형식 및 요소별 소음/진동 성능평가 기준 개발을 위한 평가 기법 자료 구축 ○ 교량 형식 및 요소별 소음/진동 성능 평가 모델 정립
--	---

	□ 실내 및 현장 실험을 통한 소음/진동 전파 모델 및 예측전달식 개발 ○ 교량 형식 및 요소 별 소음/진동 전파 모델 수립 ○ 교량 형식 및 요소 별 소음/진동 전파 예측 전달식 개발 □ 저소음·저진동 교량의 prototype 형식 개발 ○ 소음/진동 최소화를 위한 상부구조 prototype 형식 개발 ○ 저소음·저진동 교량의 실험을 통한 성능 검증	
7. 정부지원의 타당성	□ 철도 운행에 따른 소음·진동을 예측·평가·저감하는 기술은 구조물의 기능성 및 안전성에 초점이 맞추어져 있는 기존 기술과 비교할 때 고부가 가치를 갖는 선진 고급 기술이며, 우리 건설·운영 기술의 해외 진출에도 필수적인 기술임. □ 특히 소음·진동의 예측·평가·저감과 관련한 원천 기술은 기술 도입이 용이하지 않고, 개발에 고비용이 소요되며, 미비시 높은 비용 지출이 예상되므로 국가적인 지원이 필수적인 부분임. □ 철도의 특수성과 우리 철도산업의 영세성을 고려할 때 민간 차원에서의 접근은 기대하기 어려우며 지속적인 투자가 필요함을 감안할 때 국가 차원에서의 연구 개발이 반드시 수행되어야 함.	
8. 기술확보 전략	□ 소음·진동의 예측·평가·저감 원천기술 확보를 위해서는 해석적 모델 정립뿐 아니라 실험적 접근이 필수적이므로 산·학·연 협력 체제 구축을 수행할 계획임. □ 국내보다 앞선 기술 수준을 보유하고 있는 유럽, 일본 등 해외 기술인과의 협력이 필요하므로 관련 연구인이 있는 대학·연구소와의 협력 체제 구축을 통하여 기술 확보를 수행할 계획임. □ 소음·진동 모델을 실무에 사용하기 위해서는 전산기술인과 수요자인 설계기술인과의 협력을 통해 보다 효율적인 예측·평가 도구를 위한 기술 확보를 진행할 계획임.	
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	□ 궤도구조 근접지반 진동 해석 기술 □ 지반특성별 진동전파 경로특성 파악기술 □ 지반 진동저감/차단 설계 및 시공기술 □ 저소음·저진동 교량 소음/진동 설계 및 해석 기술 □ 교량의 소음/진동 평가 기술 및 기준 □ 저소음·저진동 교량 prototype
	활용방안	□ 지반 진동 저감/차단에 따른 궤도 하부구조의 침하 발생억제 및 유지보수 비용 저감 □ 지반 진동 저감/차단 설계 및 시공기술 개발로 국민의 안전한 철도시설 이용 □ 개발된 지반 진동 저감 및 차단 기술을 이용하여 차등화된 철도관리 기법을 공공기관이 활용 □ 일반 및 고속철도, 도시철도 등에 적용되는 교량의 신설 및

		기존 교량의 저소음·저진동화에 적용 □ 항공, 도로 등 타 교통수단의 소음·진동 평가에 적용 □ 도로교 등 타 교통수단의 교량 설계 및 해석에 활용						
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	660.8	459.2	436.8	481.6	481.6	
		민간 (추정)	-	-	-	-	-	
	합 계		660.8	459.2	436.8	481.6	481.6	
	총 연구비 (백만원)	정부	2520			총 연구기간	5 년	
		민간	-					
총합계		2520			연도별 평균소요인력	60 명		
11. 기대효과 및 파급효과	□ 지반진동 차단 및 억제에 따른 국민들의 철도에 대한 신뢰감 제고							
	□ 주변환경 개선을 통한 국민들의 삶의 질 향상에 기여							
	□ 철도교량의 소음·진동의 예측·평가·저감 기술은 기능성, 안전성 설계보다 한단계 높은 고부가, 선진화 기술로 고효율, 친환경 교통 수단인 철도의 효용성을 향상시켜 향후 신선 건설에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있음							
	□ 저소음·저진동 교량의 경우 고속철도 기술 중 핵심 기술이며, 가장 주목받는 선진기술 중 하나로 특히 우리 철도기술의 해외 진출 시에도 유리함.							
	□ 개발될 기술은 항공, 도로 등 타 교통수단의 소음·진동 평가나 도로교 등 구조물의 설계 및 새로운 형식의 개발에 적용할 수 있어 교통산업 전반에 긍정적인 영향을 기대할 수 있음.							

1. 과제명	Q-City: 철도변 3차원적 환경소음 저감기술 개발	
2. 연구개발목표	☐ 통합적인 철도환경소음저감기술을 개발하여 다음의 사회환경적인 목표 달성. - 철도변 고층건물의 7층 이상 환경소음 7-10dB 저감 - 철도변 환경소음기준초과 노출인구수 40% 감소	
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	☐ 환경소음저감을 위하여 방음벽, 방음벽상단소음감쇠기, 궤도용흡음블럭 등이 EU와 일본을 중심으로 개발되어 상용화되었으나 철도변 고층시설에 대한 환경기준 또는 수인한도를 충족시키기에는 기술적인 한계에 이르렀음. ☐ EU를 중심으로 철도소음원의 체계적인 분류 및 분석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 각 소음원에 대한 지엽적인 저감대책보다는 피해자의 청감관점에서의 통합적인 소음저감대책을 수립하는 연구가 진행되고 있음. ☐ 인구밀도가 높은 EU의 도심지 구간에서의 각종 철도차량에 대한 인간중심적인 환경소음저감대책이 심도 있게 진행되고 있으며 특히 고층의 주거 및 정운 시설에 대한 피해정도 산출 및 평가에 대한 연구가 진행되고 있음. ☐ 고층의 각 세대별 소음도를 예측하고 평가하기 위한 과학적인 도구	

	(SoundPlan, IMMI, Cadna 등)가 EU지역을 중심으로 개발되었으며 상용화되어 미주, 아시아 등 세계전역에서 사용되고 있음.
4. 기존기술 활용방안	□ 기존의 방음벽에 사용되던 소재의 활용이 가능하나 철도소음에 특화된 고효율 방음벽을 개발하기 위해서는 새로운 소재의 개발이 필요할 수 있음. □ 방음벽상단소음저감장치는 도로교통소음을 대상으로 국내의 중소기업이 개발한 제품이 다수 있으므로 검토하여 철도소음용으로 개발하는데 참고로 함. □ 철도기술연구원과 환경부 등 국내의 각 기관에서 개발된 철도소음을 예측하기 위한 방법을 검토하여 인간중심적인 관점에서 수정 및 보완하여 사용할 수 있음.
5. 기술개발 필요성	□ 수도권 및 지방 대도시 철도변 고층아파트 지역은 대표적인 철도소음 피해지역으로서 정확한 산출값은 없으나 연간 철도소음으로 인한 피해인구는 170만 명 수준이며, 증가추세에 있음. □ 철도환경소음에 대한 민원이 급증하고 있으며 민사소송을 통한 막대한 보상비를 초래한 항공기소음의 뒤를 이을 것으로 예상됨. □ 환경부에 의해 철도환경소음 및 철도차량소음에 대한 환경 및 규제 기준이 세계적인 추세를 따라 강화되고 있음. □ 철도의 환경소음은 철도의 고속화를 가로막는 기술적, 사회적, 환경적인 장애물로서 설계단계에서부터 대비하는 것이 경제적임.
6. 주요연구 개발내용	□ 고효율 방음벽의 개발 ○ 국내외 방음벽 현황조사 - 국내외 철도용 방음벽 재료 시제품 성능 조사 - 국내외 철도용 방음벽 설치 현황 및 효율성 조사 ○ 철도 운행 상황(정차, 주행, 커브 등) 및 운행 상태(감속, 가속, 정속등)에 따른 방사소음 특성 연구 - 철도 운행 상태에 따른 방사음원 특성 분석 - case by case simulation을 통한 검토 ○ 철도용 방음벽 성능 개선을 위한 기술적 검토 - 국내외 철도용 고성능 방음(흡음, 차음) 재료 조사 - 가상 simulation를 이용한 방음벽의 성능 효율성 검토 - 철도용 방음벽 형상에 따른 성능 평가(시물레이션) ○ 철도용 방음벽 시제품 제작 및 효율성 검증 - case-by case 표준 사양서 도출 - 철도용 방음벽 시제 제작 - case-by case 방음성능 평가(측정치 및 예측 모델 비교 검토) □ 방음벽상단 소음저감장치 개발 ○ 방음벽 소음저감장치 현황 조사

	- 국내외 철도용 소음저감장치 설치 현황
	□ 철도용 방음터널 개발 ○ 방음터널의 경량화 설계방안 연구개발 - 철도 고가 및 교량 상부에 설치 가능한 것을 목표로 추진 - 기존 도로적용 대비 30% 이상 경량화 설계기법 도출 - 소재 및 구조재 등 재료적용 최적화 설계 ○ 방음터널 현황분석 - 국제적인 기술개발 동향 조사 - 국내외 방음터널 설치사례 조사 - 국내 실사를 통한 설치수요 분석 - 설계대상 방음터널 입지조사 분석 ○ 방음터널 기본 설계(구조, 풍압, 음향)사양 해석 및 분석 - 구조물 경량소재 적용 타당성 검토 - 소음방지 효과에 대한 음향적 분석 - 친환경적 방음터널 표준설계도면 도출 ○ 방음터널 시제품 제작 및 효과 검증 - 기본 및 상세설계 표준사양서 도출 - 방음터널 성능 평가 (측정 및 모델링 결과 비교 검토) - 기본사양, 성능평가 및 유지보수 방안 제시 - 방음터널 제작 -
	□ 궤도용 흡음블럭 개발 ○ 궤도용 흡음블럭 개발 - 국내외 궤도용 흡음블럭 연구 조사 - 국내외 궤도용 흡음블럭 적용시 효율성 조사 ○ 궤도용 흡음블럭 제작 - 궤도용 흡음블럭 설치도면 작성 - 궤도용 흡음블럭 모형 설계 ○ 궤도용 흡음블럭 재료 성능시험 - 궤도용 흡음블럭에 요구되는 기계적, 구조적 성능 평가(측정 및 모델링 결과 비교 검토) - 궤도용 흡음블럭 성능시험 요건 정립 - 궤도용 흡음블럭 재료시험 평가기준 마련

	○ 흡음블럭 장치의 시험결과에 따른 성능 검증 및 시제품 제작 - 기본 및 상세설계 표준사양서 도출 - 기본사양, 성능평가 및 유지보수 방안 제시 □ 철도변 고층의 주거 및 정온시설의 세대별 소음도 예측을 위한 GIS기반의 소음지도 제작도구 및 평가방법 개발 ○ 국내외 소음지도 제작도구 조사 ○ 국내외 소음예측식 조사 및 분석 ○ 국내실정에 적합한 소음예측식 개발 - 철도주변 고층건물 대상의 소음예측식 개발 - 건물에 의한 다중반사, 회절을 고려한 전파알고리즘 개발 - 곡선구간 스켈소음원 음향파워레벨DB 구축 ○ 국내에서 사용되는 GIS (예, Arc View)기반의 도구로 전환 - LiDar자료에 근거한 3차원 모델 제작방법 개발 - GIS 기반의 DB 구축 ○ 국내실정에 적합한 소음기준 및 평가방법 확립 - 국내외 소음기준 및 평가방법 조사 - 철도차량 방사소음 기준제안 - 곡선구간 방사스켈소음 기준제안 - 국내외 개발진행 장치 자료 수집	
7. 정부지원의 타당성	□ 철도환경소음과 관련된 민원은 급증하고 있으며 기존의 소음저감대책은 그 한계점에 이미 와 있음. 외국의 신기술은 고층주거시설이 철도연변에 위치하고 있는 우리나라의 상황에는 적절치 않으므로 고유의 독자적인 신기술 개발이 필요함.	
8. 기술확보 전략	□ 기존의 소음저감기술은 확보하고 있는 소음진동전문업체, 설계 및 시공경험이 있는 엔지니어링 회사 확보기술 활용 □ 기초연구 최소화, 개발연구 및 시제품개발 중심으로 추진 □ 해외 사례조사 수행 □ 종합엔지니어링 능력구비한 산업계와 대학교, 정부출연연구소가 협력하여 연구기간 최소화	
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	□ 설계기법 개발 및 설계사양 도출 □ 시제품 제작 및 성능테스트결과 도출
	활용방안	□ 연구기간 내에 철도변, 특히 수도권 고층아파트 주변에 개발되는 연구성과품 설치 병행추진 □ 신설선이나 신규차량 투입 시 설치

10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만 원)	정부	784.7	545.3	518.7	571.9	571.9
		민간 (추정)	-	-	-	-	-
	합 계		784.7	545.3	518.7	571.9	571.9
	총 연구비 (백만 원)	정부	2992.5		총 연구기간	5 년	
		민간	-			연도별 평균소요인력	100 명
		총합계	2992.5				
11. 기대효과 및 파급효과	☐ 철도환경소음 관련 민원 및 소송의 감소로 보상비 절감효과 기대.						
	☐ 수도권 철도변 소음노출인구를 획기적으로 줄일수 있어 사회적 파급효과 지대.						
	☐ 도로교통소음과 같은 타분야로의 기술이전 기대.						

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.