3㎝

R&D /

4㎝

초고속 (튜브) 트레인
기초기술 및 모형개발 사전연구

2010
(견고딕13p)

한국건설교통기술평가원
국 토 해 양 부

5㎝

3㎝

(견고딕
17p)

Land Transpot and Maritime
R&D Report

(견고딕 25p)

기획보고서 (견고딕13p)

3㎝

0.5㎝ R&D /

2.5㎝ 9㎝

(견고딕31p) 5㎝

초고속 (튜브) 트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전연구

(0.1㎝)

2010. 2.

0.15㎝ (견고딕15p)

주관연구기관 / 한국교통연구원
위탁연구기관 / 철도기술연구원
/ 서울산업대학교 2㎝
(견고딕 15.5p)

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원
(견고딕 20p)

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “초고속 (튜브) 트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전기획”의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 2.

주관연구기관명 : 한국교통연구원 연구기관장 황 기 연

주관연구책임자 : 김 연 규

연 구 원 : 김 훈

정 경 훈

강 지 혜

위탁연구기관명 : 철도기술연구원 연구기관장

서울산업대학교 연구기관장

위탁연구책임자 : 한 영 재

김 시 곤

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td></td><td>단 계
구 분</td><td>최종</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">미래철도기술 개발사업</td></tr>
<tr><td>연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">초고속 (튜브) 트레인 시스템 기초기술 및 모형개발
사전기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">김연규</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 11명
내부 : 4명
외부 : 7명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 100,000천원
계 : 100,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 11명
내부 : 4명
외부 : 7명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 100,000천원
계 : 100,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국교통연구원
철도연구실</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 :철도기술연구원</td><td colspan="3">연구책임자 : 한영재</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구기관명 : 서울산업대학교</td><td colspan="3">연구책임자 : 김시곤</td></tr>
<tr><td colspan="3">요약</td><td>보고서면수</td><td>405</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 연구는 장래 장거리 여객수송의 대안으로 친환경적인 초고속 튜브 트레인 시스템의 본격적인 개발에 앞서 기초기술 및 모형개발을 위한 사전기획 연구임
향후 본 사업을 통해 도출될 기초기술은 주요 핵심분야로 시스템엔지니어링 분야, 차량시스템 분야, 기반기술 분야, 튜브인프라 분야 등으로 크게 구분되며 각 분야에서 총16개 세부과제를 도출하였음
실용화 사례가 없는 현시점에서 성공가능성을 쉽게 판단하기는 어렵지만 한국형 고속열차 개발로 인한 전문인력 및 경험 보유, 타 산업으로의 파급효과, 장래 시장규모 및 경쟁력 등을 볼 때 성공가능성은 있을 것으로 판단됨
초고속 튜브 트레인은 원유에 의존하고 있는 국가간 중·장거리 교통의 환경친화적인 교통체계로의 전환에 기여하고 국가간 FTA 증대 및 동북아 통합경제권 형성을 촉진할 수 있는 장래 신성장 동력으로 국가차원의 전략적 연구개발이 필요할 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">초고속열차, 튜브트레인, 기초기술, 저진공, 사전기획</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">high-speed train, tube train, core technologies,
low vacuum, preliminary plan</td></tr>
</table>

보고서 요약서

Ⅰ. 제목

○ 초고속(튜브)트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전기획

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 본 연구는 장래 중·장거리 여객수송의 대안으로 친환경적인 초고속 튜브 트레인 시스템의 본격적인 개발에 앞서 기초기술 및 모형개발을 위한 사전기획 연구임

○ 초고속 튜브 트레인 시스템은 현재까지 국내외 실용화된 사례가 없고 실용화까지 개발기간 약 13년, 소요비용 약 9,600억원이 소요될 것으로 예상되는 대규모 사업이므로 개발의 위험성을 고려하여 이를 전체적으로 한 번에 추진하기 보다는 1단계로 관련 기초기술 및 모형개발 추진(약 5년, 1,115억원)에 대한 사업추진의 타당성을 검토할 필요가 있음

○ 국내외 관련 기술의 동향을 파악하여 기술개발의 필요성을 규명하고 기술개발로 인한 파급효과를 분석하여 기술개발의 타당성을 분석하며 효율적인 추진방안을 제시하고자 함

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

□ 초고속 튜브 트레인 시스템의 개요

○ 초고속 튜브 트레인 시스템의 정의

○ 초고속 튜브 트레인 시스템의 기술적 특성

○ 초고속 튜브 트레인의 주요 기술

□ 국내외 관련 기술 및 산업동향 등 환경분석

○ 국내외 관련 기술의 개발현황 및 동향 파악

□ 기술개발의 필요성 정립

○ 사업추진의 시의성, 정부지원의 필요성 및 추진근거, 상위계획과의 부합성, 기존 사업과의 차별성 등에서 필요성 검토

□ 연구추진전략 수립

○ 과제비전 및 목표 설정

○ 단계별 기술개발 시나리오 검토 등

□ 기술개발의 추진방안 수립

○ 기술개발 범위 설정

○ 기술개발 과제의 최종성과 목표 및 지표설정

○ 핵심과제 도출 및 단계별 추진계획 수립

○ 소요예산 및 인력투입 계획 수립

□ 기술개발의 기대효과 및 파급효과 분석

○ 기대효과 분석

○ 과학기술적, 경제사회적 파급효과 분석

○ 경제성 분석

□ 기술개발의 성공가능성 검토

○ SWOT 분석

○ 사업추진상의 위험요인과 대응방안

○ 장래 시장전망 및 경쟁력 분석

○ 기술수준 및 성공가능성 검토

□ 결론 및 정책제언

Ⅳ. 연구개발결과

○ 초고속 튜브 트레인은 현재까지 실용화 사례가 없는 세계 최고의 철도기술로서 중·장거리 통행을 흡수할 수 있는 신개념 교통수단임

○ 초고속 튜브 트레인은 신속성, 에너지 소비효율성, 환경성, 안전성, 건설비용 측면에서 기존 철도나 항공에 비해 많은 장점을 가지고 있음

- 육상교통수단으로 항공과 유사한 속도(700~800km/h)를 실현할 수 있고 자기부상기술과 진공튜브기술을 이용하여 에너지를 적게 소모할 수 있으며 소음, 배기가스 등을 줄일 수 있고 터널건설시 단면을 작게 할 수 있어 공사비 절감이 가능함

○ 본 연구는 초고속 튜브 트레인의 실용화를 위한 본격적인 개발에 앞서 축소 시험선로를 구축하고 관련 기초기술을 개발하는데 목적을 두고 있음

- 기초기술 및 모형개발에 5년의 개발기간이 필요하며, 약1,115억원이 소요될 것으로 추정되었음

○ 초고속 튜브 트레인 기술은 초고속열차 기술과 튜브 트레인 기술의 조합으로 독일, 일본, 미국, 스위스 등에서 기초연구 수행 및 시험선을 구축하여 지속적인 시험을 수행하고 있는 것으로 조사됨

- 초고속 열차 기술과 관련하여 독일은 2003년 중국 상해에 430km/h급 자기부상열차를 건설하여 상업운행 중에 있으며 일본은 1996년 대규모 시험선을 건설하여 시험운행을 현재까지 계속하고 있으며 미국, 중국 등도 초고속 자기부상열차 계획을 수립하여 진행 중임

- 튜브 트레인 기술은 1990년대부터 본격적인 연구가 진행되고 있으며 미국, 일본, 스위스 등이 관련 기초연구를 수행하였고 연구된 사례로 ET3, TubExpress, CargoCap, Flextaxi, Tubeway 등이 있음

○ 국내외적으로 실용화 사례가 없어 철도부문의 장래 신성장 동력원으로 부각될 가능성은 충분하나 해외 연구사례에 비해 국내 연구는 미미한 수준이고 실용화까지 최소 12년이 소요됨을 고려하면 관련기술에 관한 기초연구는 조속히 시작할 필요가 있음

○ 본 기술개발은 국가교통기술개발계획, 과학기술기본계획577 Initiative, 저탄소 녹색성장 국가비전 등 상위계획과 부합되는 사업으로 실용화까지 최

소 12년, 약 9,600억원이라는 막대한 기간과 재원이 소요되므로 민간보다는 정부의 적극적인 지원이 필요하며 실용화 단계에 있는 한국형 고속열차나 연구 중인 차세대 고속철도 개발과는 기술적 측면 및 활용도에서 차이가 있음

○ 초고속 튜브 트레인 기초기술 확보를 위한 추진전략으로 정부 각 부처, 산·학·연이 참여하는 공동 개발체계를 구성하며 관련 연구경험이 있는 스위스, 미국, 일본 등과 글로벌 네트워크를 구축하여 활용함

○ 향후 본 사업을 통해 도출될 기초기술은 주요 핵심분야로 시스템엔지니어링 분야, 차량시스템 분야, 기반기술 분야, 튜브인프라 분야 등 으로 크게 구분되며 각 분야에서 총16개 세부과제를 도출하였음

○ 실용화 사례가 없는 현시점에서 성공가능성을 쉽게 판단하기는 어렵지만 한국형 고속열차 개발로 인한 전문인력 및 경험 보유, 타 산업으로의 파급효과, 장래 시장규모 및 경쟁력 등을 볼 때 성공가능성은 있을 것으로 판단됨

- 특히, 튜브 트레인이 실용화된다면 장래 세계시장 규모는 소극적 전망시 1,654조원, 적극적 전망시 5,814조원으로 매우 클 것으로 분석되었으며 다른 수단과 경쟁력도 400km이상의 거리에서 경쟁력이 있을 것으로 분석되었음

○ 초고속 튜브 트레인은 원유에 의존하고 있는 국가간 중·장거리 교통의 환경친화적인 교통체계로의 전환에 기여하고 국가간 FTA 증대 및 동북아 통합경제권 형성을 촉진할 수 있는 장래 신성장 동력으로 국가차원의 전략적 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 초고속 튜브 트레인 기술은 최첨단의 복합기술로서 본 사업인 기초기술개발로 인해 산업적 파급효과는 종합적인 설계 능력, 물류이송시스템 분야, 첨단건설기술 분야, 군사 및 항공우주분야, 자동차 및 첨단부품분야 등 폭넓은 파급효과가 있을 것으로 보임

- 이러한 파급효과 중 일부 계량화가 가능한 클린무빙시스템, 클린리프트, 저진공상태의 소화시스템, 잠수함 등 특수공간의 공기질 조절장치 등의

시장에서 최소 1%를 점유하여도 경제성 확보 가능

○ 기초기술 및 모형개발로 인해 철도분야에 1,115억원을 투입시 생산유발효과 2,152억원, 부가가치 유발효과 618억원, 고용유발효과 1,367명의 사회경제적 파급효과가 있을 것으로 분석되었음

요약문

본 연구는 장래 장거리 여객수송의 대안으로 친환경적인 초고속 튜브 트레인 시스템의 본격적인 개발에 앞서 기초기술 및 모형개발을 위한 사전기획 연구임

초고속 튜브 트레인 시스템은 현재까지 국내외 실용화된 사례가 없고 실용화까지 개발기간 약 13년, 소요비용 약 9,600억원이 소요될 것으로 예상되는 대규모 사업. 개발의 위험성을 고려하여 이를 전체적으로 한 번에 추진하기 보다는 1단계로 관련 기초기술 및 모형개발 추진(약 5년, 1,115억원)에 대한 사업추진의 타당성을 검토할 필요가 있음

본 기술개발은 국가교통기술개발계획, 과학기술기본계획577 Initiative, 저탄소 녹색성장 국가비전 등 상위계획과 부합되는 사업임

향후 본 사업을 통해 도출될 기초기술은 주요 핵심분야로 시스템엔지니어링 분야, 차량시스템 분야, 기반기술 분야, 튜브인프라 분야 등 으로 크게 구분되며 각 분야에서 총16개 세부과제를 도출하였음

실용화 사례가 없는 현시점에서 성공가능성을 쉽게 판단하기는 어렵지만 한국형 고속열차 개발로 인한 전문인력 및 경험 보유, 타 산업으로의 파급효과, 장래 시장규모 및 경쟁력 등을 볼 때 성공가능성은 있을 것으로 판단됨

초고속 튜브 트레인은 원유에 의존하고 있는 국가간 중·장거리 교통의 환경친화적인 교통체계로의 전환에 기여하고 국가간 FTA 증대 및 동북아 통합경제권 형성을 촉진할 수 있는 장래 신성장 동력으로 국가차원의 전략적 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

summary

Preliminary plan for core technologies and prototype model development of high-speed tube train system

This report describes the preliminary plan for developing the core technologies and the model prior to starting the development of high-speed tube train system which is designed as eco-friendly long-distance passenger train in the coming days.

High-speed tube train system has yet be commercialized both in domestic and abroad and thus, the success of the technology development will be accompanied by high risk, requiring the development plan by stage to make it commercialized. It's estimated to take 13 years of development period and ₩960 billion of R&D cost until the technologies are available for practical use. This preliminary plan is just for stage I (about 5 years and ₩11.5 billion)

This development project corresponds to the national R&D strategy which includes "National plan for transportation technologies development, 577 Initiative" and "National vision for the Green growth".

Among the core technologies to be developed are system engineering, vehicles, fundamental technologies and tube infrastructure, which are further categorized into 16 sub-technologies.

We can hardly foresee the success of the project at this time without experience in putting the technologies to practical use. But given the experts and experience accumulated through the development of Korean high-speed

railway, ripple effect to other industries and market potential, the project would possibly accomplish the project goal.

High-speed tube train is expected to make committment to converting the medium & long-distance air transport which depend on crude oil into eco-friendly high-speed land transportation, and as next-generation new growth engine which will promote the FTA among the nations as well as help forming the integrated economic circle in Northeast Asia, nationwide strategic development research will surely be necessary.

목차

제1장 연구의 개요 ····· 3

제1절 연구의 배경 ····· 3

제2절 연구의 목적 ····· 6

제3절 연구의 주요내용 및 쟁점사항 ····· 7

제2장 초고속 튜브 트레인 시스템 기술 개요 ····· 13

제1절 시스템 정의 ····· 13

제2절 시스템의 특성 ····· 15

제3절 시스템의 주요기술 ····· 20

제3장 관련 기술의 국내외 현황 분석 ····· 25

제1절 국내외 환경 분석 ····· 25

제2절 국외 기술 동향 분석 ····· 39

제3절 국내 기술 동향 분석 ····· 77

제4절 관련 기술의 특허 분석 ····· 84

제4장 기술개발의 필요성 ····· 129

제1절 사업추진의 시의성 ····· 129

제2절 정부지원의 필요성 및 추진근거 ····· 131

제3절 상위계획과의 부합성 ····· 133

제4절 기존사업과의 차별성 ····· 136

제5장 연구 추진전략 수립 ····· 141

제1절 사업단의 비전 및 목표 ····· 141

제2절 사업단의 연구개발 방향설정 ····· 141

제3절 추진 전략과 방법 ·····142
제4절 분야별 기술트리 ·····146

제6장 기술개발 추진방안 수립 ·····157
제1절 사업단 총괄과제 ·····157
제2절 핵심과제 도출 ·····157
제3절 추진체계 구성 ·····238
제4절 예산소요 및 인력투입 계획 수립 ·····240
제5절 추진일정 ·····242

제7장 기술개발로 인한 파급효과 분석 ·····245
제1절 기대효과 ·····245
제2절 과학기술적 파급효과 ·····246
제3절 사회경제적 파급효과 ·····274
제4절 경제성 분석 ·····282

제8장 기술개발의 성공 가능성 검토 ·····289
제1절 SWOT 분석 ·····289
제2절 사업추진상의 위험요인 및 대응방안 ·····293
제3절 장래 시장전망 및 경쟁력 분석 ·····295
제4절 기술수준 및 성공가능성 ·····316

제9장 결론 및 정책제언 ·····323

부록 ·····335

표목차

<표 2-2-1> 터널공사비 비교 ·····19
<표 2-2-2> 초고속 튜브 트레인 시스템의 특성 ·····19
<표 3-1-1> 2050년까지 달성하여야 할 CO2 감축목표 ·····25
<표 3-1-2> 교통부문 온실가스 감축 전략 ·····28
<표 3-1-3> USGS의 2000년 원유매장량 추정값 ·····31
<표 3-1-4> 유가가 항공에 미치는 영향(미국사례) ·····32
<표 3-1-5> 전기 생산을 위한 에너지 자원 비교 ·····36
<표 3-1-6> 인천국제공항의 동북아국가 항공수송실적 ·····37
<표 3-1-7> 동북아국가 항공수송실적 ·····37
<표 3-1-8> 동북아국가 항공수송실적 전망 ·····38
<표 3-2-1> 독일 자기부상철도 기술개발 역사 ·····40
<표 3-2-2> 일본 자기부상철도 기술개발 역사 ·····42
<표 3-2-3> 각 자기부상열차에 대한 NMI 평가 자료 ·····43
<표 3-2-4> 중국 자기부상철도 기술개발 역사 ·····45
<표 3-2-5> 기존 튜브운송기술 개요 ·····64
<표 3-2-6> 기존 튜브운송기술 운영개념 비교분석 ·····66
<표 3-2-7> 기존 튜브운송의 기술적 특징 비교분석 ·····68
<표 3-2-8> 초고속 자기부상 열차의 기술분석 ·····69
<표 3-2-9> 주요국의 해당기술 관련 정책·프로그램 및 프로젝트 내용(연구비 포함) ····71
<표 3-2-10> 최고 기술보유국의 높은 기술수준 원인 ·····72
<표 3-2-11> 세계철도차량시장구조(2001/2002년 매출액 기준) ·····76
<표 3-2-12> 대륙별 고속철도 선로현황(UIC, 2001년) ·····76
<표 3-3-1> 국내 관련계획 및 기술개발 현황 ·····78
<표 3-4-1> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ·····91
<표 3-4-2> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ·····101
<표 3-4-3> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ·····113

<표 3-4-4> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ·····122
<표 4-1-1> 반도체, IT, 조선분야 성공요인 분석 ·····131
<표 7-1-1> 동북아 국가간 초고속 열차시스템 이용수요 전망 ·····245
<표 7-2-1> 주요국의 달 및 행성탐사 계획 ·····257
<표 7-2-2> 세계 위성체 제작과 발사서비스 ·····259
<표 7-2-3> 국내 우주개발 R&D 예산 ·····260
<표 7-2-4> 분야별 파급효과 ·····269
<표 7-2-5> 기술 개발시 예상되는 국내 산업계 기술파급 효과 ·····272
<표 7-3-1> 한국은행의 산업분류 ·····275
<표 7-3-2> 2007년 철도차량의 산업부문별 생산유발계수 ·····278
<표 7-3-3> 산업부문별 생산유발효과 ·····279
<표 7-3-4> 철도차량 부문의 부가가치유발계수 ·····280
<표 7-3-5> 철도차량 투자를 통한 부가가치유발효과 ·····280
<표 7-3-6> 철도차량 투자로 인한 고용유발효과 ·····281
<표 7-3-7> 경제적 파급효과 ·····282
<표 7-4-1> 연차별 투입비용 ·····283
<표 7-4-2> 원천기술 개발로 인한 편익 ·····284
<표 7-4-3> 경제성 분석 결과 ·····285
<표 8-3-1> 미국 내 튜브 트레인 도입이 가능한 4개축 ·····297
<표 8-3-2> 초고속 튜브 트레인 적용가능 사업노선 ·····310
<표 8-3-3> 철도산업구조별 시장전망 ·····312
<표 8-3-4> 지역간 여객 수단선택의 효용함수 파라미터 값 ·····314
<표 8-3-5> 튜브트레인 미 도입시 (Do-Nothing case) 교통수단분담율 ·····314
<표 8-3-6> 튜브트레인 도입시 (Do-Tube Train Case) 교통수단분담율 ·····315
<표 8-3-7> 튜브트레인 도입시 (Do-Tube Train Case) 교통수단 분담율 증가분 ·····315
<표 8-4-1> 철도분야 교통기술 수준 평가 ·····317

그림목차

[그림 1-1-1] 초고속열차 운행 시 예상 일일생활권 ·····4
[그림 2-1-1] 튜브 열차 개념도 ·····14
[그림 2-2-1] 교통수단별 에너지 소모량 비교 ·····15
[그림 2-2-2] 자기부상식과 휠·레일식의 에너지 소모 비교 ·····16
[그림 2-2-3] 교통 수단별 소음 비교 ·····17
[그림 2-2-4] 교통 수단별 지상 점유 면적 비교 ·····17
[그림 2-2-5] 교통 수단별 터널 건설비 비교 ·····18
[그림 2-3-1] 초고속 튜브 트레인 시스템 주요 기술 구성 ·····21
[그림 3-1-1] 우리나라 온실가스 배출 추이 및 감축목표 ·····27
[그림 3-1-2] 원유의 발견량과 생산량 변화 실제 자료 및 미래 예측 자료 ·····29
[그림 3-1-3] 세계 원유 생산 추이 ·····30
[그림 3-1-4] 러시아와 OPEC를 제외한 국가의 오일 생산량 예측(2004 U.S.) ·····30
[그림 3-1-5] 미국 교통 부문 에너지 소요 추세 ·····32
[그림 3-1-6] 속도에 따른 교통수단별 에너지 효율 ·····34
[그림 3-2-1] 독일이 중국에 수출한 자기부상열차(Transrapid) ·····40
[그림 3-2-2] 일본 자기부상열차와 추오신간선 노선도 ·····41
[그림 3-2-3] 미국의 자기부상철도 건설계획 노선 ·····44
[그림 3-2-4] 스위스 메트로 개념도 ·····46
[그림 3-2-5] 스위스메트로 차량 ·····47
[그림 3-2-6] Tubeflight 개념도 ·····49
[그림 3-2-7] Gravity Vacuum Transit 개념도 ·····49
[그림 3-2-8] EMES의 튜브 구조 ·····50
[그림 3-2-9] TubExpress 개념도 ·····51
[그림 3-2-10] TubExpress 화물 적재 개념도 ·····52
[그림 3-2-11] ET3 개념도(붉은색: Transrapid, 보라색: ET3) ·····53

[그림 3-2-12] 대서양 횡단 초음속 자기부상 진공튜브 트레인 개념도 ·····54
[그림 3-2-13] Flextaxi 개념도 ·····56
[그림 3-2-14] Flextaxi single line station 개념도 ·····56
[그림 3-2-15] Tubeway 개념도 ·····58
[그림 3-2-16] CargoCap 개념도 ·····59
[그림 3-2-17] CargoCap 화물 적재 개념도 ·····56
[그림 3-2-18] 기존 신칸센의 터널 및 공기저항 ·····61
[그림 3-2-19] 터널 0.1기압시의 터널면적 및 공기저항 ·····61
[그림 3-2-20] 일본 초고속 자기부상열차의 튜브 트레인기술 적용 계획 ·····62
[그림 3-2-21] 서남교통대 초전도 자기부상열차 모형 ·····63
[그림 3-2-22] LIGO Hanford Observatory의 중력파 레이저 간섭계 ·····744
[그림 3-2-23] Munich 프로젝트 노선 및 차량 개념도 ·····75
[그림 3-4-1] 튜브 트레인 시스템 기술트리 ·····85
[그림 3-4-2] 자기부상 관련 특허의 연도별 출원 현황 ·····86
[그림 3-4-3] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 현황 ·····87
[그림 3-4-4] 자기부상 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황 ·····87
[그림 3-4-5] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 비율 ·····88
[그림 3-4-6] 자기부상 관련 특허의 국가별 출원 현황 ·····89
[그림 3-4-7] 자기부상 관련 특허의 출원인별 출원 현황 ·····90
[그림 3-4-8] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황 ·····91
[그림 3-4-9] 자기부상 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이 ·····92
[그림 3-4-10] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황 ·····93
[그림 3-4-11] 선로 관련 특허의 연도별 출원 현황 ·····96
[그림 3-4-12] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 현황 ·····97
[그림 3-4-13] 선로 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황 ·····97
[그림 3-4-14] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 비율 ·····98
[그림 3-4-15] 선로 관련 특허의 국가별 출원 현황 ·····99
[그림 3-4-16] 선로 관련 특허의 출원인별 출원 현황 ·····100
[그림 3-4-17] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황 ·····101
[그림 3-4-18] 선로 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이 ·····102
[그림 3-4-19] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황 ·····103
[그림 3-4-20] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원현황 ·····106
[그림 3-4-21] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원 추이 ·····107
[그림 3-4-22] Vehicle 관련 특허의 도메인별 출원비율 ·····108

[그림 3-4-23] Vehicle 관련 특허의 출원인 국적별 분포 ·····109
[그림 3-4-24] Vehicle 관련 특허의 출원인별 특허 추이 ·····110
[그림 3-4-25] Vehicle 관련 특허 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이 ·····111
[그림 3-4-26] Vehicle 관련 특허의 상위 5개 출원인의 도메인별 출원 현황 ·····112
[그림 3-4-27] Vehicle 관련 특허의 IPC 분류별 출원 동향 (단위: 건) ·····114
[그림 3-4-28] 세부 IPC 분류별 출원 동향 (단위: 건) ·····115
[그림 3-4-29] LSM 기술의 연도별 출원 현황 ·····118
[그림 3-4-30] LSM 기술의 연도별 출원 추이 ·····118
[그림 3-4-31] LSM 기술의 도메인별 출원비율 ·····119
[그림 3-4-32] LSM 기술의 출원인 국적별 분포 ·····120
[그림 3-4-33] LSM 기술의 출원인별 특허 출원 추이 ·····121
[그림 3-4-34] LSM 기술의 상위 4개 출원인의 도메인별 출원 현황 ·····121
[그림 3-4-35] LSM 기술 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이 ·····122
[그림 3-4-36] LSM 기술의 IPC 분류별 특허건수 ·····123
[그림 4-3-1] 교통기술개발 관련 부처별 연계 및 지원 ·····133
[그림 6-2-1] 쾌적성 결정요인 ·····173
[그림 6-2-2] 생명유지시스템 (life support system) 개념도 ·····174
[그림 6-2-3] LSS에서의 유해가스 제거시스템 ·····175
[그림 6-2-4] 대기압 상압조건과 저진공 상태에서의 화재성장 비교 ·····188
[그림 6-2-5] Crash Safety System of Transrapid ·····195
[그림 6-2-6] Crash simulation for a 50kg spherical stone ·····196
[그림 6-2-7] 중저속 자기부상열차 해석 모델 ·····197
[그림 6-2-8] 중저속 자기부상열차 충돌해석 시뮬레이션 ·····197
[그림 6-2-9] 항공기 기밀 출입문 ·····211
[그림 6-2-10] 잠수함 기밀 출입문 ·····212
[그림 6-2-11] 국내 개발 T-50 훈련기 ·····212
[그림 6-2-12] 독일 TRANSRAPID의 가이드웨이 개발 과정 ·····221
[그림 6-2-13] 독일 TRANSRAPID의 벤딩방식 회전형 분기기 ·····222
[그림 6-2-14] 상하이 Maglev 상용노선 ·····222
[그림 6-2-15] 야마나시 시험선의 가이드웨이 궤도구조와 분기기 ·····223
[그림 6-2-16] 일본 LIM 방식 중저속 자기부상열차 상용노선(LINIMO) ·····223
[그림 6-2-17] Swissmetro 가이드웨이 구조 단면 ·····224
[그림 6-3-1] 사업 추진체계 ·····239
[그림 7-2-1] 시스템 개발활동의 단계별 영향 ·····247
[그림 7-2-2] 시스템 엔지니어링의 역할 ·····247
[그림 7-2-3] 프로젝트 수행 비용에 있어서 시스템 엔지니어링의 영향 ·····248

[그림 7-2-4] 사업관리와 시스템 엔지니어링 관계 ·····253
[그림 7-2-5] 시스템 엔지니어링의 효과 ·····253
[그림 7-2-6] 전세계 OLED TV시장의 확대(2013년 700조원대) ·····255
[그림 7-2-7] 세계 우주개발의 정부투자 추이 : 1980~2006 ·····256
[그림 7-2-8] 세계 우주산업의 분야별 매출 ·····258
[그림 7-2-9] 분야별 2005년 매출 비중 ·····258
[그림 7-2-10] 초고속 자기부상 우주 엘리베이터 구상도 ·····261
[그림 7-2-11] 미국 NASA의 StarTram PJT ·····262
[그림 7-2-12] 차량 구조물 설계 ·····263
[그림 7-2-13] 자동차 구조물 경량화 설계 및 경량구조 제작 기술 ·····264
[그림 7-2-14] 자동차의 공기역학 해석 결과 ·····264
[그림 7-2-15] 전기 추진장치를 장착한 각종 특수차량 제작 설계 ·····265
[그림 7-2-16] 선형 전동기 ·····265
[그림 7-2-17] 무접촉 에너지 전달방식 ·····266
[그림 7-2-18] 무접촉 지상급전 전기차량 ·····266
[그림 7-2-19] 각종 전동기 설계 ·····267
[그림 7-2-20] 축전지 ·····267
[그림 7-2-21] 발전기 ·····267
[그림 7-2-22] 복잡한 구조물의 이상 진단기술 ·····268
[그림 7-2-23] 지하터널 굴착 설비 ·····272
[그림 8-3-1] 미국에서 튜브 트레인 도입이 가능한 교통축 ·····297
[그림 8-3-2] 중국의 대륙통과축 및 북경～상해 교통축 ·····299
[그림 8-3-3] 브라질의 브라질리아～상파울로 교통축 ·····300
[그림 8-3-4] 러시아의 페데르부르크～모스크바～블라디보스톡 교통축 ·····301
[그림 8-3-5] 일본의 가고시마～삿뽀르 교통축 ·····302
[그림 8-3-6] 한국의 X형태의 교통축 ·····303
[그림 8-3-7] TER의 교통축 ·····304
[그림 8-3-8] TAR의 교통축 ·····305
[그림 8-3-9] TAR 중 싱가폴～쿤밍간 교통축 ·····306
[그림 8-3-10] 한일해저터널 교통축 ·····307
[그림 8-3-11] 한중해저터널 교통축 ·····307
[그림 8-3-12] 목포-제주 해저터널 교통축 ·····308
[그림 8-3-13] 중국-대만해저터널 교통축 ·····308
[그림 8-3-14] 영불 해저터널 교통축 ·····309
[그림 8-3-15] 철도분야별 시장구조 분담율 ·····311
[그림 8-4-1] 철도분야 최고기술보유국가 응답비율 ·····316

[그림 8-4-2] 철도분야 최고기술보유국 대비 국내 기술수준 차이 및 기술격차 ·····318

제1장 연구의 개요

제 1 절 연구의 배경

제 2 절 연구의 목적

제 3 절 연구의 주요내용 및 쟁점사항

제1장 연구의 개요

제1절 연구의 배경

□ 21세기 국가미래비전과 이를 달성하기 위한 추진전략

○ 21세기 국가 미래비전

- 지역경제의 블록화 및 국가 간 FTA 증가 추세로 동북아에 통합경제권이 형성되고 있으며, 교역량과 물동량의 지속적인 증가로 이 지역은 세계 경제중심으로 부각

- 동북아 중심에 위치하는 한반도는 지정학적으로 세계무대로 진출할 수 있는 천혜의 위치에 놓여 있어, 동북아·유라시아의 중심은 물론 세계의 중심까지도 넘볼 수 있음

- 교역 및 외교 등의 측면에서 역내의 중국, 일본, 러시아는 물론 역외의 미국, EU, 인도 등 열강들과의 균형적인 다변화에 의한 국익창출을 극대화함은 물론 국가정체를 공고히 할 수 있음

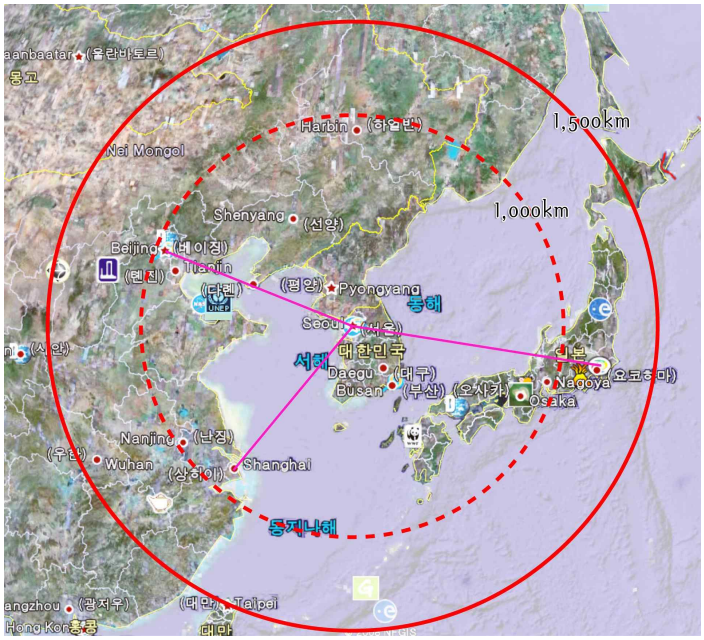
○ 국가 미래비전을 달성하기 위한 전략

- 대한제국 말에는 열강의 침략에 대항할 능력이 없었지만, 이제는 국가시스템이 올바로 서 있어, 이들을 능동적으로 불러 들여 한반도를 경쟁의 장으로 제공함으로써 국익의 창출이 가능

- 그러나 특정 국가 일변도의 교역량 증가는 한반도에 미치는 외세의 영향에 불균형을 초래할 수 있어 한반도가 경제적으로 특정국가에 편입될 수 있음

- 따라서 참고사항에 서술한 바와 같이 균형 잡힌 유인을 위한 초고속교통수단이 필요

※ 균형적인 유인은 교통인프라가 담당하지만 이외의 전략으로 들 수 있는 것이 체계적인 경쟁무대를 제공하는 것인데 이는 타 산업 및 정책 분야가 담당



[그림 1-1-1] 초고속열차 운행 시 예상 일일생활권

□ 원유자원의 감소 또는 고갈에 따른 중·장거리 이동용 신개념 교통수단의 필요

○ 기존의 교통·물류 체계 역시 향후 발생할 대대적인 유류난에 대비해야 하고, 특히 원유 의존이 불가피한 기존 항공 및 선박 수요를 흡수할 수 있는 대륙 간 또는 국가 간 중·장거리 신개념 이동 수단을 개발해야 함

- 장차 초대용량을 가진 초소형 배터리가 개발되거나 획기적인 분사용 바이오연료 또는 태양열을 이용한 항공수단이 개발된다 하더라도 개발에 따른 리스크의 fail-safe 차원에서 교통수단 개발의 이중화가 필요

○ 원자력 및 핵융합에서 얻어지는 에너지는 전기로서 현재로서는 항공 및 선박을 전기에너지로 추진하는 것이 거의 불가능하며, 핵잠수함처럼 원자로를 탑재하고 운항하는 경우를 생각해 볼 수 있지만 안전 및 경량화 측면에서 비효율적인 방법임

□ 원천기술을 태동시킬 수 있는 미래 신성장동력의 확보

○ 과거 국내 제조업의 경우, 해외에서 이미 개발된 선진기술을 모방하고 개선함으로써 국가경쟁력을 유지

○ 그러나 원천기술의 부족으로 고부가가치, 고기술 제품 구조로 향상시켜 나갈수록 로열티 비용이 크게 늘어나는 구조적인 문제에 봉착

- 최근 10년간(1995-2004년) CDMA 휴대폰의 원천기술과 표준을 장악한 퀄컴에 지불한 로열티가 매출액 대비 5% 수준인 1.5조원에 이름

○ 따라서 국제표준은 물론 해외시장 선점이 가능한 원천기술의 확보가 절실함

○ 철도분야의 경우

- 기존 고속철도의 속도한계를 벗어날 경우, 공기저항과 소음·진동이 커지고 터널에서 차체와 터널 사이의 간섭을 줄이기 위해 터널 단면적이 증가하는 등 문제 발생

  · 차륜식 고속철도의 경우 2007년 프랑스 SNCF가 최고속도 574.8km/h에, 그리고 자기부상의 경우 일본의 RTRI가 581km/h에 도달

- 따라서 신개념의 초고속열차 개발을 위해 이런 문제점들을 해결할 수 있는 고유기술 개발이 필요하고 이런 첨단 원천기술에 기반한 국가 신성장 동력 창출이 필요

  · 일반적으로 200km/h이상을 고속으로 그리고 500km/h 이상을 초고속으로 분류

□ 환경친화적인 전기에너지를 사용한 초고속교통망 구축

○ 지구온난화 및 원유 공급 감소 또는 고갈로 일상 주요 에너지원이 점차 화석에너지로부터 신재생·원자력·핵융합 등 친환경에너지로 옮겨가고 있는 추세로, 기존의 에너지 공급 및 수급 체계가 이에 따른 재편이 이루어지고 있음

○ 화석에너지의 과도한 사용을 피함으로써 지구온난화와 같은 피해를 제거할 수 있으며, 철도는 이산화탄소 배출량이 적고 에너지 효율성이 높아 그 자체만으로도 저탄소·녹색성장을 주도할 수 있음

○ 유력한 차세대 주요 에너지원인 원자력, 핵융합에너지의 경우, 최종단계에서 전기에너지로 변환된다는 공통점을 지니고 있음

□ 북한의 개방을 유도할 수 있는 과학·기술적 접근

○ 북한이 TSR 및 TCR 연결을 위한 통로를 제공하지 않을 경우 초고속 튜브열차는 해저를 통해 유럽 및 북아메리카로 진출할 수 있어 북한은 고립을

자초할 수 있으므로, 초고속 자기부상열차는 북한을 개방시킬 수 있는 과학기술적 접근이 될 수 있음

제2절 연구의 목적

○ 본 연구는 장래 중·장거리 여객수송의 대안으로 친환경적인 초고속 튜브 트레인 시스템의 본격적인 개발에 앞서 기초기술 및 모형개발을 위한 사전 기획 연구임

- 초고속 튜브 트레인 시스템은 현재까지 국내외 실용화된 사례가 없고 실용화까지 개발기간 약 13년, 소요비용 약 9,600억원이 소요될 것으로 예상되는 대규모 사업이므로 개발의 위험성을 고려하여 이를 전체적으로 한 번에 추진하기 보다는 1단계로 관련 기초기술 및 모형개발 추진(약 5년, 1,115억원)에 대한 사업추진의 타당성을 검토할 필요가 있음

○ 국내외 관련 기술의 동향을 파악하여 기술개발의 필요성을 규명하고 기술개발로 인한 파급효과를 분석하여 기술개발의 타당성을 분석하며 효율적인 추진방안을 제시하고자 함

제3절 연구의 주요내용 및 쟁점사항

1. 연구의 주요 내용

○ 연구의 주요 내용은 다음과 같음

□ 초고속 튜브 트레인 시스템의 개요

○ 초고속 튜브 트레인 시스템의 정의

○ 초고속 튜브 트레인 시스템의 기술적 특성

○ 초고속 튜브 트레인의 주요 기술

□ 국내외 관련 기술 및 산업동향 등 환경분석

○ 국내외 관련 기술의 개발현황 및 동향 파악

□ 기술개발의 필요성 정립

○ 사업추진의 시의성, 정부지원의 필요성 및 추진근거, 상위계획과의 부합성, 기존 사업과의 차별성 등에서 필요성 검토

□ 연구추진전략 수립

○ 과제비전 및 목표 설정

○ 단계별 기술개발 시나리오 검토 등

□ 기술개발의 추진방안 수립

○ 기술개발 범위 설정

○ 기술개발 과제의 최종성과 목표 및 지표설정

○ 핵심과제 도출 및 단계별 추진계획 수립

○ 소요예산 및 인력투입 계획 수립

□ 기술개발의 기대효과 및 파급효과 분석

○ 기대효과 분석

○ 과학기술적, 경제사회적 파급효과 분석

○ 경제성 분석

□ 기술개발의 성공가능성 검토

○ SWOT 분석

○ 사업추진상의 위험요인과 대응방안

○ 장래 시장전망 및 경쟁력 분석

○ 기술수준 및 성공가능성 검토

□ 결론 및 정책제언

2. 주요 쟁점사항

○ 본 기획과제에서의 주요 쟁점 사항은 다음과 같음

□ 초고속 튜브 트레인의 개발 필요성

○ 초고속 튜브 트레인의 위상

○ 기술개발의 동향

○ 기술개발의 시의성, 상위계획과의 부합성, 정부지원의 필요성 및 추진 근거 분석

□ 초고속 튜브 트레인의 기술개발 범위

○ 초고속 튜브 트레인의 기존 기술과의 차별성

○ 초고속 튜브 트레인의 기술개발 범위 설정 및 최종 성과

□ 초고속 튜브 트레인의 기술개발 추진 방안

○ 초고속 튜브 트레인의 기술개발 합리적인 추진전략 수립

○ 핵심기술 도출 및 단계별 추진계획 수립

□ 기술개발의 타당성 및 성공가능성

○ 원천기술 개발로 인한 과학기술적, 경제사회적 파급효과

○ 기술개발의 경제적 타당성 분석

○ 기술개발의 성공가능성 검토

3. 추진경과

일정	내 용	주관기관
‘08. 7	초고속 자기부상철도 기술개발사업 주제발표	경기개발연구원
‘08. 9.	제109회 철도의 날 기념 학술 심포지움 개최 (초고속열차의 기술방향)	철도연
‘08. 11	철도학회 추계학술대회 특별 Session 개최 (초고속열차의 미래기술 발전 방향)	철도연
‘08. 11.	국토부 신규 R&D 관련 사업내용 발표	국토부
’08. 12	제2차 국가교통기술개발계획('09~'13) 상에 추진 근거 마련 ※ ’08.12까지 교통연, 철도연, 해양수산원, 항우연 등 4개 기관 연구용역 수행함	철도연, 국토부
‘09. 9	제110회 철도의 날 기념 국제학술 심포지움 개최	철도연
‘09. 11	초고속열차 관련 국제학술 세미나 개최	철도연
’09. 11	사전기획연구 착수	교통연, 철도연, 산업대
’09. 12	예비타당성조사 요구서 제출	국토부→국과위
‘10. 2	초고속(튜브) 트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전기획 관련 공청회 개최	교통연, 철도연
’10. 2	사전계획연구 완료	교통연, 철기연, 산업대

제2장 초고속 튜브 트레인 시스템 기술 개요

제 1 절 시스템 정의

제 2 절 시스템의 특성

제 3 절 시스템의 주요기술

제2장 초고속 튜브 트레인 시스템 기술 개요

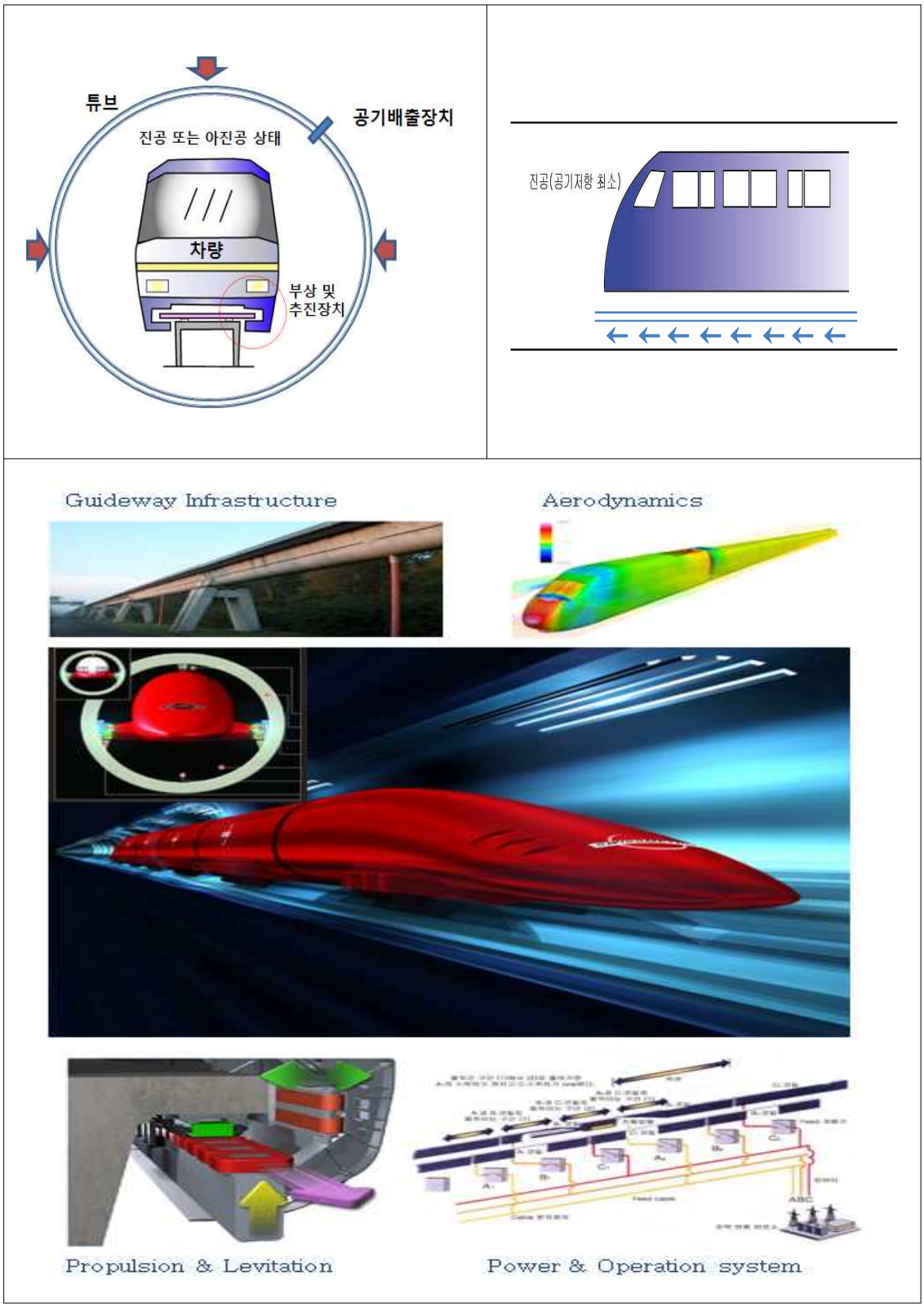
제1절 시스템 정의

○ 초고속 튜브 트레인 시스템은 철도의 궤도를 튜브로 감싼 후 진공 또는 저진공 상태로 만들어 공기저항을 최소하여 동일 출력으로 더 큰 속도를 낼 수 있는 철도시스템임

○ 진공 또는 저진공 상태의 튜브에서 철도는 이론적으로는 마하 3~4까지도 가능하지만 속도는 선로구축물 건설과 차량비 제작 등에 투입되는 비용에 비례하기 때문에 현재로서는 기존 항공기에 버금가는 700~800km/h 속도를 목표로 함

○ 열차 추진방식은 바퀴식, 자기부상식 등 여러 방법을 고려할 수 있으며 관내를 진공 또는 저진공 상태로 유지하므로 고도의 공기역학적 설계 및 정밀 제어기술이 요구되며 튜브의 직경은 약 4.5~10m 정도임

○ 튜브 내를 주행하게 될 차량은 기술적으로 700~800km/h이상까지 속도를 낼 수 있는 시스템이 필요하므로 기존의 바퀴식 철도기술보다는 선형전동기를 이용한 비접촉식 자기부상 철도기술을 기반으로 함



[그림 2-1-1] 튜브 열차 개념도

제2절 시스템의 특성

○ 초고속 튜브 트레인 시스템은 신속성, 에너지 소비효율성, 유지보수비 절감 가능성, 안전성, 환경성, 토지이용 등 다양한 측면에서 기존 교통수단과 차별된 특성을 가짐

□ 신속성

○ 초고속 튜브 트레인인 진공 또는 저진공 상태를 이용하여 700~800km/h 속도를 구현 할 수 있어 현존하는 육상교통수단 중 가장 빠른 신속성을 확보할 수 있음

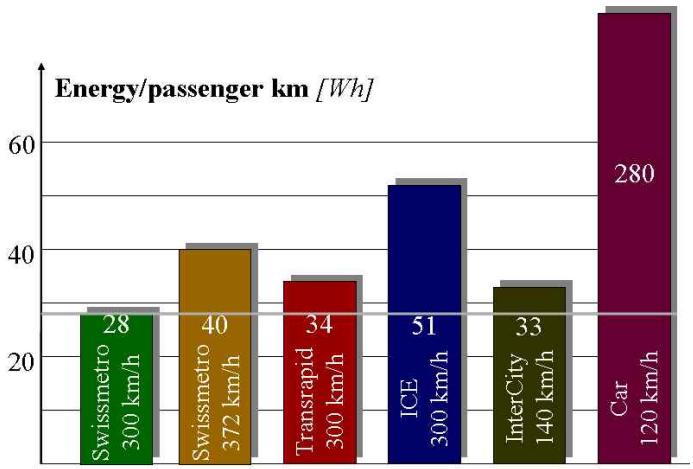
- 항공기의 경제순항속도는 800~950km/h임

□ 에너지 소비효율성

○ 튜브내의 진공 또는 저진공 상태로 인해 공기저항을 최소화 할 수 있으므로 동일 에너지로 높은 효율을 낼 수 있음

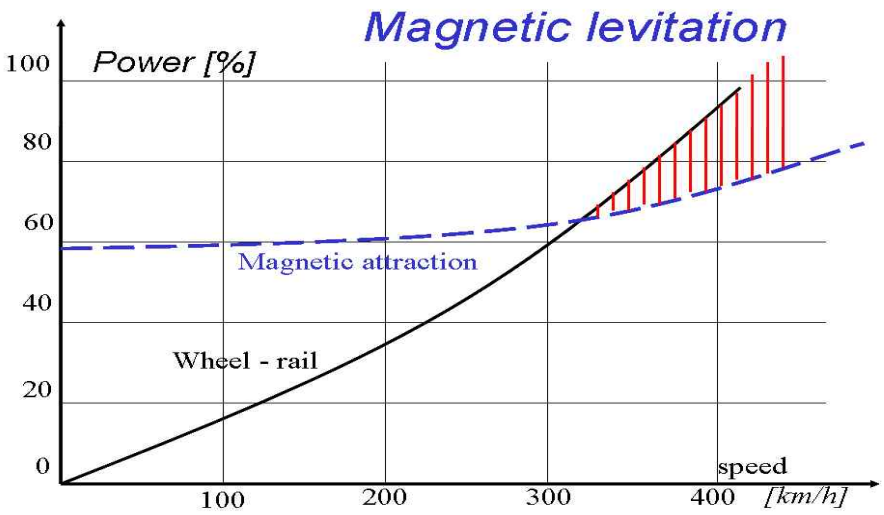
- 스위스 메트로 연구사례의 경우 단위 승객의 수송에 필요한 에너지가 타 교통수단에 비해 상대적으로 적게 소모되는 것으로 나타남

- 단 튜브내의 진공 또는 저진공 상태를 유지하기 위한 진공펌프 등의 별도의 시설을 필요로 함



[그림 2-2-1] 교통수단별 에너지 소모량 비교

○ 튜브 내 차량이 자기부상방식이므로 기존 휠-레일 방식의 고속철도와 에너지 소모량을 비교하면 운행속도가 약 320km/h 이상에서는 자기부상 시스템이 훨씬 적게 에너지를 소모함을 볼 수 있음



[그림 2-2-2] 자기부상식과 휠·레일식의 에너지 소모 비교

□ 유지보수비 절감 가능성

○ 자기부상 기술을 기반으로 하여 바퀴와 레일의 접촉을 접촉하지 않으므로 기존철도의 접촉식보다 유지보수비 절감이 가능함

○ 무접촉 전원공급방식으로 기존철도의 팬터그래프를 이용한 접촉식 전원공급방식보다 유지보수비 절감이 가능함

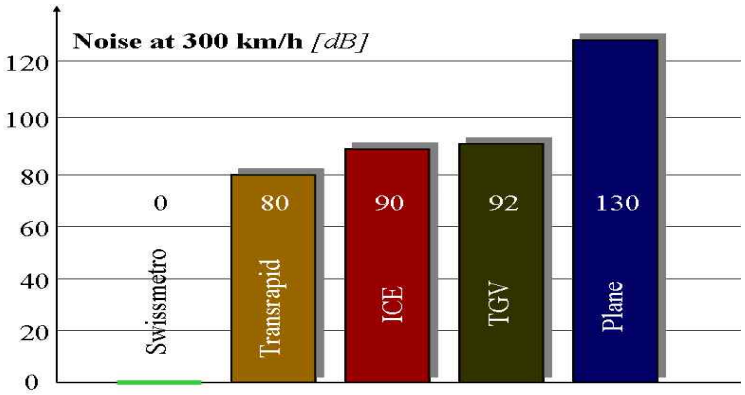
□ 안전성

○ 튜브구조를 이용하여 외부환경과 완전히 단절되기 때문에 강우, 강풍, 폭설 등 기상조건에 영향을 받지 않고 시스템 외부와의 사고를 피할 수 있으며 외부의 테러위협에 대응이 가능함

□ 환경성

○ 튜브구조로 인해 외부로 방사되는 소음을 차단할 수 있으며 자기부상기술로 인해 배기가스 등을 방출하지 않으므로 대기오염이 없음

- 스위스메트로에 관한 연구에서 교통수단별 외부 환경 소음을 비교한 결과 튜브 트레인 시스템은 외부로 발생되는 소음이 매우 작은 것으로 분석됨

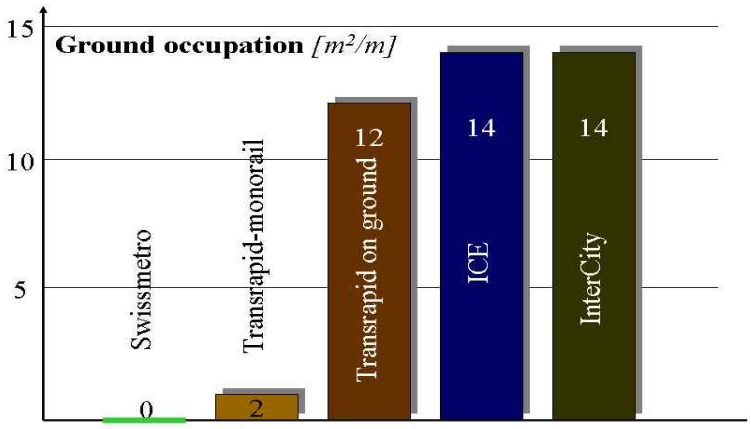


[그림 2-2-3] 교통 수단별 소음 비교

□ 토지이용 효율성 및 공사비 절감 가능성

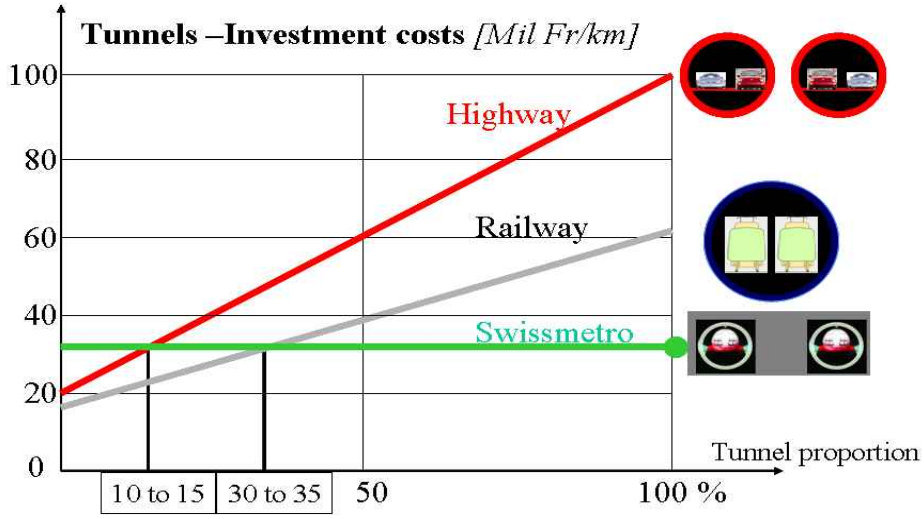
○ 지하공간을 이용한 건설이 가능하여 토지수용이 용이하고 터널 등에서 작은 단면으로 설계가 가능하여 건설비 저감 가능함

- 스위스메트로에서 교통수단별 지상 점유 면적을 비교한 것으로, 튜브 트레인 시스템의 경우 지하구간을 운행하기 때문에 점유하는 지상 구간이 없음



[그림 2-2-4] 교통 수단별 지상 점유 면적 비교

- 전체 노선 구간 중 터널이 약 30~35%이상을 차지할 경우, 튜브 트레인 시스템이 기존 철도나 고속도로의 지상 건설비보다 더 낮아짐



[그림 2-2-5] 교통 수단별 터널 건설비 비교

○ 터널구간 건설시 일반철도 건설비의 약 55% 수준으로 공사비 절감이 가능함

- Shield TBM공법을 이용하여 단선병렬로 터널을 굴착하였을 경우, 일반철도는 개략 8m의 직경이고 튜브 트레인의 직경을 5.5m로 가정하면 일반철도 건설비의 약 55% 수준으로 예상됨

- 또한 일반철도와 초고속 튜브 트레인은 속도차가 많으므로 고속철도와 비교할 경우 공기저항의 증가로 터널 단면적은 더욱 커져서 초고속 튜브 트레인과의 터널공사비 차이가 더 많이 날 것으로 예상됨

<표 2-2-1> 터널공사비 비교

구 분	직경(m)	둘레(m)	단면적(m^2)
일반철도(A)	8.0	25.133	50.265
튜브 트레인(B)	5.5	17.279	23.758
비 고(B/A)	0.7	0.7	0.5

구 분	직경(m)	단위	토공	장비	세그먼트	그라우팅	내부 설비 및 기타	운반 및 재료비	합계
일반철도(A)	8.0	순공사비 (백만원)	10,639	12,054	9,932	1,762	8,689	3,677	46,752
		m당 공사비 (백만원)	6.29	7.13	5.87	1.04	5.14	2.17	27.65
초고속 튜브 트레인(B)	5.5	m당 공사비 (백만원)	3.15	3.56	4.11	0.73	2.57	1.09	15.21
비 고(B/A)	0.69		0.50	0.50	0.70	0.70	0.50	0.50	0.55

주 : 굴착관련공사비는 단면적에 비례하고 그라우팅과 세그먼트 공사비는 원주둘레에 비례한다고 가정하여 산출함. 세그먼트 소재는 튜브 트레인의 기밀성 때문에 증가할 가능성이 있음

<표 2-2-2> 초고속 튜브 트레인 시스템의 특성

구 분	주요 특성
신속성	▪ 700~800km/h의 속도로 항공기와 같은 신속성 확보 가능
에너지 소비효율성	▪ 공기저항을 최소화할 수 있어 동일 에너지로 높은 효율을 실현 (단, 진공상태 유지를 위해 진공펌프 등 별도의 시설이 필요) ▪ 자기부상 기술을 토대로 하므로 고속에서 에너지 효율성 높음
유지보수비 절감 가능성	▪ 자기부상식으로 바퀴와 레일을 접촉하지 않으므로 유지보수비 절감가능 ▪ 비접촉식 전력공급으로 유지보수비 절감 가능
안전성	▪ 튜브구조로 인해 강우, 강풍, 폭설 등 기상조건의 영향을 받지 않음 ▪ 외부와 단절로 사고위험 감소 가능 ▪ 외부의 테러 위협에 대응가능
환경성	▪ 외부로 방사되는 소음을 차단할 수 있음 ▪ 초고속 자기부상기술을 사용하므로 대기오염이 없음
토지이용 효율성 및 건설비 절감 가능성	▪ 지하공간 활용하여 토지수용이 용이 ▪ 작은 단면으로 설계가 가능하여 건설비를 절감 가능

제3절 시스템의 주요기술

○ 초고속 튜브 트레인 시스템 기술은 크게 차량기술, 튜브인프라 기술, 그리고 시스템 인터페이스 및 통합기술로 구분할 수 있음

○ 차량시스템 기술에는 튜브 트레인이 튜브 또는 터널 내의 압력을 낮추어 공기저항을 줄이고 초고속 주행을 하는 것이 본질적인 기술적 특성이므로 진공튜브에서 초고속 주행이 가능한 차량추진기술과 튜브와 열차의 단면적 크기, 열차의 공기역학적 형상 등을 결정하는 공기역학적 설계기술이 필요함

- 초고속 주행을 하기 위해서는 리니어 모터를 이용한 추진기술과 상전도 또는 초전도 방식을 이용한 부상 및 안내 기술이 필요한데 기존의 초고속 자기부상열차에 사용되는 LSM 추진기술 및 전자기 부상기술을 응용하여 좁은 튜브 내에서 초고속 주행할 수 있는 설계기술이 요구됨
- 차량시스템 세부기술로 부상, 추진, 제동, 전두부 공력설계, 차체설계, 대차설계, 주행성능향상 기술 등이 필요함

○ 진공튜브인프라기술은 공기저항을 줄이기 위해 튜브를 안전하고 비용효율적인 진공 또는 저진공 상태로 유지하여야 하고 역사, 진공펌프와 비상시에 신속하게 공기를 공급하는 안전설비 등 튜브인프라의 설계 및 건설기술이 필요함

- 진공튜브기술, 궤도구조물, 고속 분기기, 교량구조물, 역사구조물 등에 관한 기술이 필요함

○ 시스템 인터페이스 및 통합 기술은 부문별 기술을 통합하여 효율적으로 구현될 수 있도록 전체 프로젝트를 체계적이고 관리함



[그림 2-3-1] 초고속 튜브 트레인 시스템 주요 기술 구성

제3장 관련기술의 국내외 현황분석

제 1 절 국내외 환경 분석

제 2 절 국외 기술 동향 분석

제 3 절 국내 기술 동향 분석

제 4 절 관련 기술의 특허 분석

제3장 관련 기술의 국내외 현황 분석

제1절 국내외 환경 분석

1. 지구온난화

□ 지구온난화에 따른 글로벌 환경문제의 대두

○ 고유가, 탄소세 등과 같은 환경문제의 국제화로 국가교통체계의 개편이 요구되고 있음

○ 원유를 사용하고 있는 항공기 중심의 국가 및 지역간 수송체계에 대한 문제점이 제기되고 있음

○ 신속하면서도 안전한 국가 및 지역간 교통수단 개발·도입에 대한 필요성이 증대됨

<표 3-1-1> 2050년까지 달성하여야 할 CO_2 감축목표

구 분	배출량	2005	2025	2050	변화율1 (~2025)	변화율2 (~2050)
전 세계	ton/인	1.23	0.85	0.37	-31	-69
	계(백톤)	7.91	6.69	3.55	-15	-55
미국	ton/인	4.85	1.95	0.37	-60	-92
	계	1.45	0.70	0.14	-52	-90
호주	ton/인	4.57	1.90	0.37	-59	-92
	계	0.091	0.044	0.009	-52	-90
서유럽	ton/인	2.06	1.18	0.37	-43	-82
	계	0.85	0.48	0.15	-44	-82
중국	ton/인	0.66	0.62	0.37	-6	-43
	계	0.86	0.89	0.53	+4	-38
인도	ton/인	0.40	0.55	0.37	+39	-6
	계	0.43	0.76	0.55	+74	+28

자료: Ian Dunlop(대중 생태학자), 기후변화와 피크오일: 호주를 위한 종합전략, 2007

○ 2005년 현재 지구촌 수준에서 연간 8 GTC(Giga Tonnes Carbon)에 이르는 이산화탄소 배출량을 2050년까지 3.5 GTC로 감축함으로써 대기 중 이산화탄소 농도를 450 ppm 수준으로 안정시켜야 함

○ 위 목표를 2050년에 달성하기 위해서는 전 세계 인구당 0.37ton/인으로 목표치가 설정되어야 하므로 <표 3-1-1>과 같은 CO_2감축목표량이 계산됨

○ 2012년까지 탄소배출권거래제(ETS, emission trading system)의 시험적인 단계가 끝나면 우리나라도 예외 없이 탄소배출을 줄이기 위한 노력을 하지 않을 수 없게 됨

○ 따라서 Oil Peak 이후의 대체에너지 개발 및 사용에 있어 환경문제를 고려한 선택을 하여야 하며, 그런 점에서 환경가스배출이 적은 핵에너지의 개발 및 이용이 선호될 수 있음

○ 환경문제를 해결하기 위한 탄소배출권거래제의 성공여부는 생산정점(oil peak)을 지난 원유의 거래에도 좋은 준거가 될 것으로 보이며, 일부에서는 TEQs(tradeable energy quotas)를 제안함

□ 우리 정부의 교통부문 온실가스 감축목표 및 전략(2009.11)

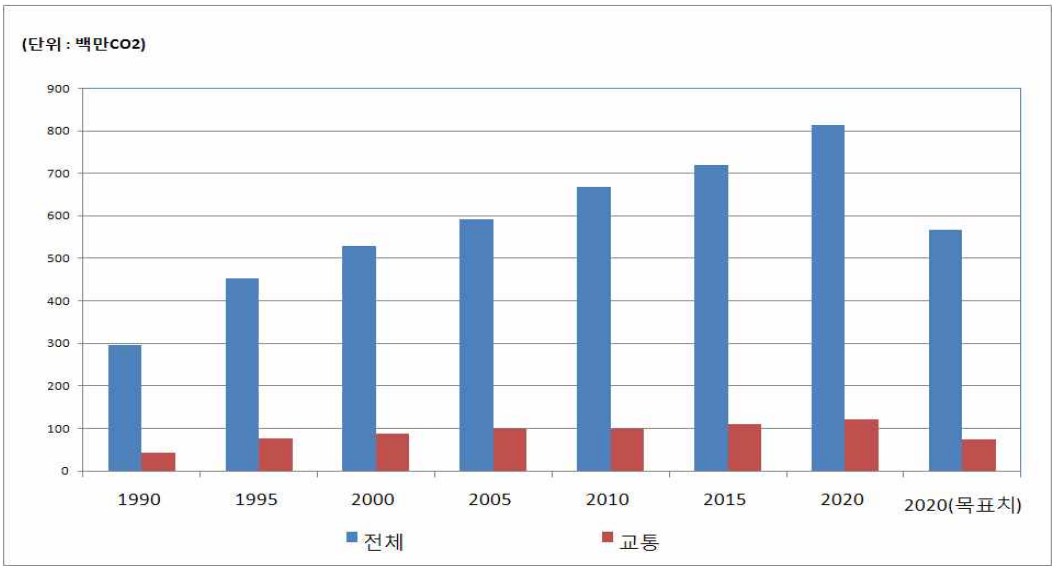
○ 기후변화의 글로벌 이슈화와 Post-Kyoto 체제 출범 등으로 우리나라에 대한 온실가스 감축압력이 국제적으로 거세질 것으로 전망됨

○ 현재 우리나라에서 교통부문의 국가에너지 소모량은 전체 21%로 산업부문 57%에 이어 두 번째를 기록하고 있음

○ 교통부문 온실가스배출량은 '90～'07년까지 연평균 5% 증가하였으며 향후 교통수요의 증가에 따라 지속적으로 증가될 것으로 전망됨

○ '09.11월 대통령 주재 국무회의에서 결정된 바에 따르면 국가 온실가스 감축 중기 목표는 국내 온실가스 배출량을 2020년까지 배출전망치(BAU, Business as usual) 대비 30% 감축하도록 확정함

- 온실가스 감축목표는 전체 온실가스는 2020년 BAU 대비 246백만톤 감축으로 2005년 대비 4%, 교통부문은 46백만톤 감축하여 2005년 대비 23% 감축



[그림 3-1-1] 우리나라 온실가스 배출 추이 및 감축목표

○ 30% 감축안 결정은 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)가 개발도상국에 권고한 감축범위인 BAU 대비 15~30% 감축의 최고수준으로 국내적으로 녹색성장 정책을 강력하게 추진하고 범지구적인 기후변화 대응노력에 대한 적극적인 동참 분위기를 조성하는데 기여하려는 정부의 강한 의지를 반영한 것임

○ 국가의 총량적인 감축목표가 정해짐에 따라 '10년부터는 각 부문별로 세부목표를 정하고 관리하는 온실가스 및 에너지 목표관리제가 도입될 전망임

- 정부는 산업분야의 단기적 부담을 최소화하기 위해 상대적으로 감축여력이 많은 건물과 교통 등 비산업 분야를 중심으로 감축노력을 강화하기로 함

○ 교통부문에서도 온실가스 감축을 위한 5대 분야를 설정하였고 이중에는 첨단녹색교통수단개발이 포함되어 있음

<표 3-1-2> 교통부문 온실가스 감축 전략

5대 분야	주요 추진전략	감축량 비중(%)
교통수요 관리정책강화	▪ 교통수요 관리 강화 ▪ 스마트 교통시스템 구축 ▪ 녹색교통 권역 조성	28.7
생활밀착형 자전거·보행 활성화	▪ 대중교통과 자전거 연계 강화 ▪ 안전한 자전거 도로망 구축 ▪ 사람중심으로 보행환경 개선	4.5
승용차보다 빠르고 편리한 대중교통 구현	▪ 버스의 서비스 경쟁력 확보 ▪ 도시·광역철도 서비스 확대 ▪ 전국 고속화 철도망 구축	18.6
철도, 연안해운 위주 녹색물류체계 구축	▪ 컨테이너 2단 적재열차 운행 ▪ 녹색교통수단으로 전환 촉진 ▪ 연안해운 활성화 지원 ▪ 탄소배출 저감형 물류체계 구축	35.4
녹색교통기술 개발 및 보급	▪ 그린카 개발 및 보급 활성화 ▪ 첨단 녹색교통수단 개발	12.8

2. 미래 에너지 수급

□ 원유 수급 위기감 고조

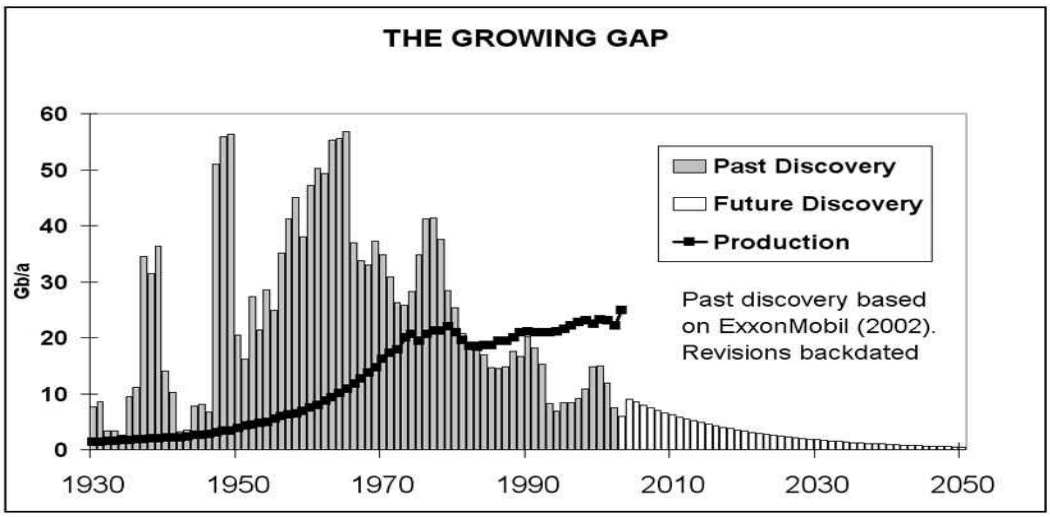
○ 석유정점(Oil Peak)은 세계적으로 원유의 생산량이 최고치에 다다르는 시점을 말하며, 석유정점 이후에는 원유 생산량이 영구적으로 감소하는 추세를 보이게 됨(매년 2~3% 석유생산이 줄어드는 만성적 석유공급 부족시대)

- 석유정점에 가장 권위가 있는 석유가스정점연구회(ASPO)는 2007년을 정점으로 지적하고, 비일반석유를 포함하면 2010년에 세계 석유생산이 정점에 도달할 것으로 예상하며, 서구의 석유메이저회사들이 원유생산이 정점을 지나서 이제 감소하고 있다고 발표하고 있음

- 석유수출기구(OPEC)는 세계적으로 경질유가 정점을 지나 이제 감소하고 있다고 발표하였으며, 이 경질유 감소 사실은 전 세계 총 석유생산량이 곧 정점에 이를 것이라는 주장에 더 힘을 실어주고 있음

- 기타 여러 나라(미국, 노르웨이, 베네수엘라, 영국, 인도네시아 등), 여러 회사(쉐브론, 엑손, 쉘, 토탈)들에서 석유정점이 지난 것으로 인식하고 있음

○ 비관론자들은 원유발견정점이 있은 후 20~30년 후에 생산정점이 도래하였다는 사실에 근거하여 전 세계적으로 1960년대가 원유발견 정점이었던 만큼 2000년을 전후하여 생산정점에 도달하였다고 추정하는 것이 타당하다고 봄

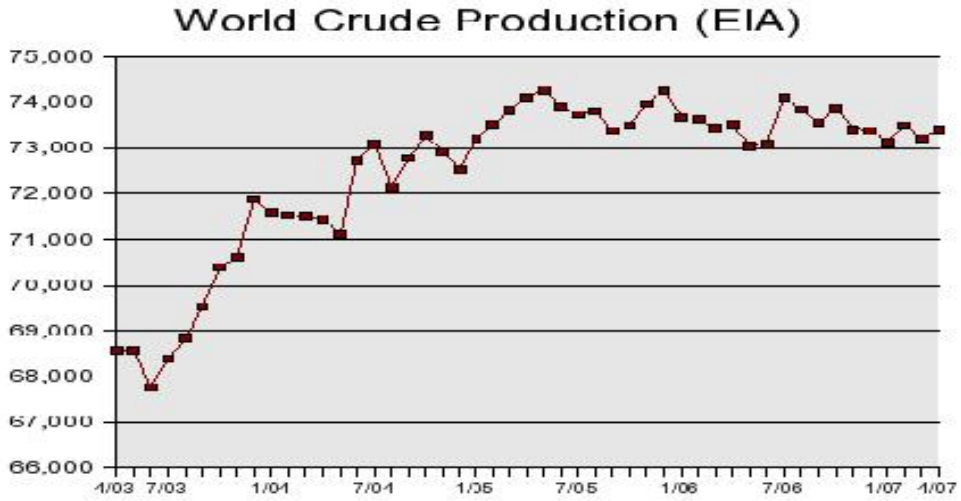


원유 생산 정점 주장 : Kenneth Deffeys 2005년, Henry Groppe 2006년, Ali Samsam Bakhtiari 2007년, Richard Duncan 2007년, Oil Depletion Analysis Centre 2007년, Colin Campbell 2010년, Rembrandt Koppelaar 2013년, Jean Laherrere 2015년

[그림 3-1-2] 원유의 발견량과 생산량 변화 실제 자료 및 미래 예측 자료

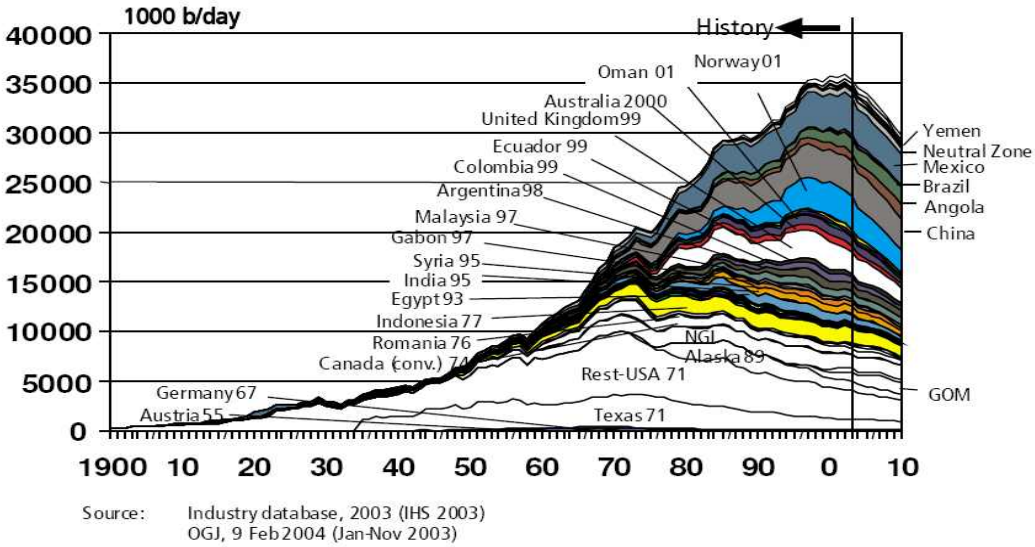
○ Richard Heinberg(Richard Heinber's Museletter- The View From Oil's Peak, 2007)는 미국 EIA(Energy Information Administration) 자료에 근거하여 전 세계 차원에서 2005년 5월 일일 생산 74.2백만배럴을 정점으로 원유의 생산정점은 이미 지나갔다고 보고 있음

- 원유를 포함한 모든 액화연료를 기준으로 할 때는 2006년 2월에 일일 생산 84.578백만배럴로 생산정점에 도달하였다고 보고 있음
- 세계 원유생산량은 [그림 3-1-3]과 같이 더 이상 일일생산량이 증가하지 않고 정체되어 있음



자료: Global crude oil production to April 2007. Source: EIA(Energy Information Administration)

[그림 3-1-3] 세계 원유 생산 추이



[그림 3-1-4] 러시아와 OPEC를 제외한 국가의 오일 생산량 예측(2004 U.S.)

○ 이미 세계에서 가장 큰 65개의 산유국 중 54개가 석유정점을 지나 생산을 감소하고 있으며, 아직 생산여지가 있는 곳은 대부분 중동지역에 몰려 있음

○ 또한 중국, 인도, 러시아 등 신흥 경제대국의 성장에 따른 원유 수급 불균형 지속으로 지속적 유가 상승을 초래하고 있음

○ 전 세계적 에너지 소비량의 증가에 비해 매장량 한계에 따른 원유 생산량 증가 둔화와 함께 25년 이내 원유의 고갈이 지배적이므로, No Oil 시대의 도래에 대비해야 할 필요가 있음

○ 첨단과학기술을 낳은 서구 근대과학은 근본적으로 에너지를 변환·이용하는 것이며 에너지를 만들어내는 기술이 아니므로, 지금과 같은 화석연료 소비를 유발하는 새로운 과학기술은 에너지문제의 근본 대책이 될 수 없음

○ 석유정점 이후에도 적지 않은 기간 동안 상당한 양의 석유가 생산이 되는데, 소중한 석유자원을 자동차 연료로 태워버리는 것이 아니라 지속가능한 에너지 시스템을 확립하는 데에 사용해야 할 것임

○ 특히 화석연료의 대부분을 사용하고 있는 교통시스템에 있어서 화석연료의 고갈을 대비한 혁신적인 교통 시스템의 연구가 필요함

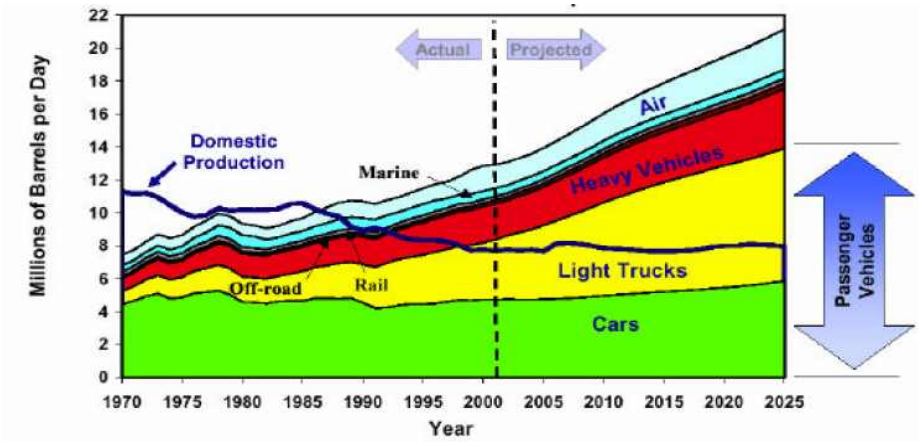
<표 3-1-3> USGS의 2000년 원유매장량 추정값

구 분	원유 (십억배럴)	가스 (십억배럴상당)	천연액화가스 (십억배럴)
	평균값	평균값	평균값
세계(미국제외)			
미발견량	649	778	207
보유량증대분	612	551	42
잔여보유량	859	770	68
누적생산량	539	150	7
소계	2,659	2,249	324
미국			
미발견량	83	88	원유에 포함
보유량증대분	76	59	
잔여보유량	32	29	
누적생산량	171	142	
소계	362	318	
세계 총계	3,021	2,567	

자료: US Geological Survey World Petroleum Assessment 2000

□ 교통 부문 에너지 수요의 지속적 증가

○ 화물, 여객 등의 교통 수요는 향후 20년간 2배 이상 증가가 예상되며, 현재의 원유 생산 및 공급 추세를 볼 때 교통부문의 에너지 수급은 사실상 불가능하여 현재의 교통체계가 유지된다면 향후 10~20년 이내 대규모 교통 대란이 예상됨



[그림 3-1-5] 미국 교통 부문 에너지 소요 추세

<표 3-1-4> 유가가 항공에 미치는 영향(미국사례)

유가 ($/배럴)	항공유가 ($/갤론)	유류비 (백만$)	유류비 증대 (백만$)	요금인상		인력감소	공급력 축소 (%)
				($)	(%)		
100	3.1	51,375	17,481	24	13	44,300	11
110	3.3	55,327	21,433	29	16	54,315	13
120	3.6	59,279	25,385	34	18	64,329	15
130	3.8	63,231	29,337	40	21	74,344	18
140	4.0	67,183	33,289	45	24	84,359	20
150	4.3	71,135	37,241	50	27	94,374	23
170	4.8	79,039	45,145	61	33	114,403	28
200	5.5	90,894	57,000	77	41	144,448	35

자료: Oil Prices and the Looming U.S. Aviation Industry Catastrophe (유류 가격과 다가오는 미국 항공 산업의 재앙) : A Hole in The Transport Grid(2008), Business Travel Coalition and AirlineForecasts, LLC, 5쪽

주: 유류비증대는 2007년 대비. 가격인상은 유료여객당. 인력감소 및 공급력 축소는 추정 수요가격탄력성에 기초. 유류비 증대는 연료 헤지효과(hedge benefits) 반영하지 않음

○ 원유에 의존하는 교통수단 중 항공기는 단위 운행 거리 당 원유를 가장 많이 쓰는 교통수단임

○ 항공교통은 고유가에 가장 취약한 교통수단으로 경영상 가장 큰 어려움에 직면하고 있으며, 향후 원유가격의 급격한 상승이나 안정적 원유확보가 어려울 때는 재앙수준의 어려움이 닥칠 것으로 예상됨

- 2007년 기준으로 원유 72$/배럴, 항공유 2.11$/갤론, 유류비 33,894 M$ 임

○ Oil Peak 시대를 대비해서 단기적으로 항공기의 성능 개선을 통한 연비의 개선으로 유류사용의 효율성을 높이는 연구가 진행되고 있으나, No Oil 시대를 대비한 근본적인 대책은 될 수 없음

- 장기적으로는 Biofuel, 액화석탄, 액화가스, 연료전지 등의 대체연료를 사용하는 추진방식을 개발하여 해결하거나 초저온 액화 수소, 고온초전도 기술을 응용한 고밀도 에너지 저장장치를 활용한 추진방식의 개발 등이 이루어지고 있으나, 이러한 방법들은 지상교통수단과의 경합 시 고가시장을 형성할 수 있으며, 기술적으로도 해결해야 할 문제가 많음

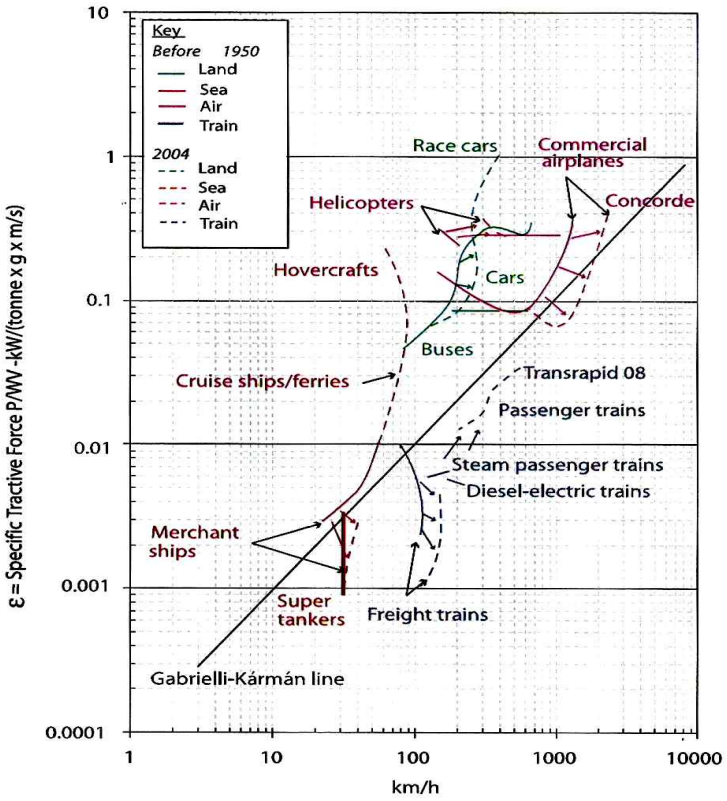
○ 해상운송은 1945년 2차 세계대전 이후 대용량 물류운송을 담당하여 왔음

○ 해상운송 분야는 다른 교통수단과 달리 새로운 추진시스템을 설치할 충분한 공간이 있다는 장점을 가지고 있으나, 역시 원유기반의 교통시스템이라는 한계를 가지고 있으며, 디젤 엔진 및 가스 터빈의 용량한계가 있음

- 핵추진 장치들도 고려대상이기는 하나 테러에 의한 전지구적 안보 위협 및 사고로 인한 심각한 방사능 오염의 위험을 안고 있음

○ [그림 3-1-6]은 다양한 교통수단들의 운행속도별 에너지 효율을 비교하며 보여주고 있는데 작은 값일수록 동일속도에서 효율이 높은 에너지 교통수단이라고 할 수 있음

○ [그림 3-1-6]을 보면 철도교통이 다른 교통수단에 비하여 단위속도, 단위하중당 에너지소비 관점에서 비교 우위에 있는 것을 알 수 있고, 특히 고속에서는 Transrapid가 항공기와 비교하여 에너지 효율이 높은 것을 알 수 있음



Yong, J., What Price Speed - Revisited, Ingenia Issue 22, pages 46 - 51, 2005, Specific Tractive Force: ε=P/VW, P(Power), V(Velocity), W(Weight), Lower value means more efficient.

[그림 3-1-6] 속도에 따른 교통수단별 에너지 효율

□ 대체에너지 개발의 한계와 주력 에너지 자원의 변화

○ 천연가스는 현 원유에 비해 다소 매장량이 많기는 하지만, 교통뿐만 아니라 타 산업 전반에 대한 수요를 감당하기에는 역부족임

○ 또한 액화·기화 석탄의 경우 매장량으로는 수백 년 지속 사용이 가능하며, 기술적으로 액화, 기화 연료로의 생산은 가능하나, 에너지 효율 대비 CO_2 배출량 측면에서 원유보다 지구 환경에 더 치명적임

○ 수소의 경우 미래의 친환경 에너지로 각광받고 있으나 아직 교통부문에 실용화하기에는 경제성 있는 액화, 저장 및 안전성(폭발위험) 문제를 해결해야 함

○ 전기자동차는 현재로서는 주행거리가 제한되며, 장거리 대용량 수송을 위해서는 콤팩트한 대용량 배터리의 개발이 필요함

○ 기타 원유 고갈에 대비하는 다른 방안으로는 원자력, 풍력, 태양열, 수소, biomass, shale oil을 이용을 고려하는 것인데, 원자력, 풍력, 태양열 등을 제외하고 대부분 경제성이나 상업성이 부족한 것으로 판단되고 있음

- 원자력, 풍력, 태양열은 에너지의 액화가 아닌 전기에너지로의 전환을 통해 이용할 수 있음

- 수소는 아직 생산되는데 소요되는 에너지가 많아 경제성이 없다고 판단되고 있음

- biomass도 경제성이 없다고 보고 있고, shale oil은 상업성이 없다고 판단됨

○ 풍력, 태양열, 조력 등과 같이 재생할 수 있는 에너지는 전기형태로 전환되어 사용할 수 있다는 점, 원자력 에너지의 이용도 전기형태로 전환된다는 점에서 미래에는 전기에너지가 유일한 에너지 자원임

○ 특히, 신재생 에너지(풍력, 태양광 등)에 의한 분산형 에너지 공급 네트워크와 원자력 기반의 대용량 에너지 공급은 미래 교통 체계에 있어서 획기적인 패러다임의 변화가 예상됨

<표 3-1-5> 전기 생산을 위한 에너지 자원 비교

전기 에너지 원천	적용 기술	2005년 원가	2030년 추정원가	환경가스 배출	효율 (%)	생산가능 기간 (year)
		IEA 자료에 근거				
천연가스	OCGT	45-70	55-85	440	40	64
	CCGT	35-45	40-55	400	50	
석유	디젤엔진	70-80	80-95	550	30	42
석탄	PF	30-40	45-60	800	40-45	155
	CFBC	35-45	50-65	800	40-45	
	IGCC	40-50	55-70	750	48	
핵	경수로	40-45	40-45	15	33	85
Biomass	생태발전소	25-85	25-75	30	30-60	재생가능
바람(풍력)	On shore	35-175	28-170	30	95-98	
		35-110	28-80			
	Off shore	50-170	50-150	10	95-98	
		60-150	40-120			
물(수력)	대형	25-95	25-90	20	95-98	
	소형(<10MW)	45-90	40-80	5	95-98	
태양(Solar)	Photovoltaic	140-430	55-260	100		

자료: European Strategic Energy Technology Plan, Annex1

주: 2005년 원가(유로/MWh), 2030년 추정원가(유로/MWh with 20-30유로/tCO_2), 환경가스배출(kg CO_2 eq/MWh), 생산가능기간(proven reserves/annual production), OCGT(open cycle gas turbine), CCGT(combined cycle gas turbine), PF(pulverised Fuel with flue gas desulphurisation), CFBC(Circulating fluidized bed combustion), IGCC(Integrated gasification combined cycle), 상태발전소(biomass generation plant)

3. 동북아 국가와의 교류 증가

□ 주요 동북아 국가 항공수요 현황

○ 2008년 현재 일본, 중국 등 동북아 국가는 인천국제공항을 포함하여 총 6개의 공항이 있으며 대부분의 항공기는 인천과 김포공항에 집중되어 있음

○ 구체적인 항공기 운항회수, 여객 및 화물의 수송실적은 다음과 같음

<표 3-1-6> 인천국제공항의 동북아국가 항공수송실적

기간	운항(대)		여객수(명)		항공화물(톤)		여객탑승률	
구분	일본	중국	일본	중국	일본	중국	일본	중국
2001년	23,789	20,251	4,671,781	3,156,619	221,823	180,602	74.10%	69.30%
2002년	30,588	30,924	6,389,810	4,734,307	293,122	280,827	73.10%	68.60%
2003년	29,394	29,986	5,668,380	4,187,938	297,655	339,517	68.90%	61.60%
2004년	29,806	38,303	6,279,232	5,712,056	317,177	410,856	76.10%	66.10%
2005년	32,352	45,125	6,297,752	6,862,354	327,470	464,823	73.90%	69.20%
2006년	33,927	57,036	6,266,190	7,618,030	327,007	524,112	71.20%	64.30%
2007년	34,161	75,993	6,482,433	9,372,252	319,634	624,008	73.90%	63.90%
연평균증가율	6.2%	24.7%	5.6%	19.9%	6.3%	23.0%	-0.05%	-1.30%

<표 3-1-7> 동북아국가 항공수송실적

기간	운항(대)		여객수(명)		항공화물(톤)	
구분	일본	중국	일본	중국	일본	중국
2001년	36,317	26,961	7,233,860	4,609,192	346,392	238,352
2002년	38,446	37,304	7,716,930	5,366,835	337,422	292,253
2003년	37,162	35,603	6,905,092	4,731,820	341,315	347,578
2004년	40,135	46,970	8,243,300	6,504,236	367,064	418,917
2005년	44,638	55,916	9,189,106	8,114,198	373,775	482,310
2006년	48,452	69,998	9,174,579	8,970,614	382,129	544,524
2007년	49,158	93,409	9,621,440	11,074,847	376,436	648,532
연평균증가율	5.2%	23.0%	4.9%	15.7%	1.4%	18.2%

○ 항공수송실적 분석결과 일본과 중국에 대한 여객수송수요가 지속적으로 증가추세에 있으며 특히 중국의 항공여객 수송수요가 급격히 증가하였음

○ 특히 2007년의 동북아 여객수송수요는 2천만 명이 넘어설 정도로 높은 값을 보임

□ 장래 동북아 국가 항공수요 전망

○ 2000년 이후 동북아 국가 항공수요 실적자료를 기반으로 장래 항공수요를 개략적으로 예측하기 위해서 과거추세연장방식을 활용하였으며 이에 따라 2020년, 2036년에 대한 동북아 국가 간 항공여객수요를 전망한 결과는 다음 표와 같음

<표 3-1-8> 동북아국가 항공수송실적 전망

기 간	여객 수(명)	
구 분	일본	중국
2010년	11,415,020	12,988,540
2020년	15,830,040	22,977,080
2030년	20,245,060	32,965,620
2036년	22,894,072	38,958,744

○ 분석결과 2036년에는 현재보다 3배 이상 높은 통행수요를 보이며 이러한 동북아 국가 간 항공수요는 현재도 이미 포화상태인 항공기 운항실태 및 국제공항 운영상황을 고려할 때 용량을 초과하는 증가량임

○ 따라서 한·일, 한·중 해저터널 건설을 통한 초고속열차시스템은 이러한 동북아 국가 간 통행에 대한 수요를 담당할 수 있는 효과적인 대체교통수단이 될 수 있을 것으로 예상됨

제2절 국외 기술 동향 분석

○ 초고속 튜브 트레인 시스템과 관련된 기술은 앞서 언급한 바와 같이 진공튜브인프라 기술과 튜브 내에서 운행하게 될 초고속 차량기술로 크게 구분할 수 있음

○ 따라서, 본 절에서는 주로 초고속 차량에 대한 개발사례와 튜브운행시스템에 대한 개발사례를 위주로 검토함

1. 초고속 자기부상철도 기술개발 현황

가. 독 일

○ 독일은 세계 최초로 초고속 자기부상열차 기술을 개발하였으며 430km/h급 Transrapid 시스템을 중국 상하이에 건설한 바 있으나, 튜브 트레인 기술의 적용을 고려하고 있지는 않음

- 다만, 1934년 세계최초로 자기부상열차의 특허를 받은 독일의 헤르만 캠퍼(Hermann Kemper)는 진공터널을 이용하면 시속 1800km/h의 자기부상열차가 가능할 것이라 예측하였음

○ 세계 최초로 자기부상철도 특허를 등록(1932년, DRP 643316)하였으며, 시스템 원리구현을 위한 다수의 시제품 제작 등 다양한 연구개발을 실시, 대규모 초고속 시험시설(TVE)을 건설(1987년)하여 지속적인 시험을 시행 중임

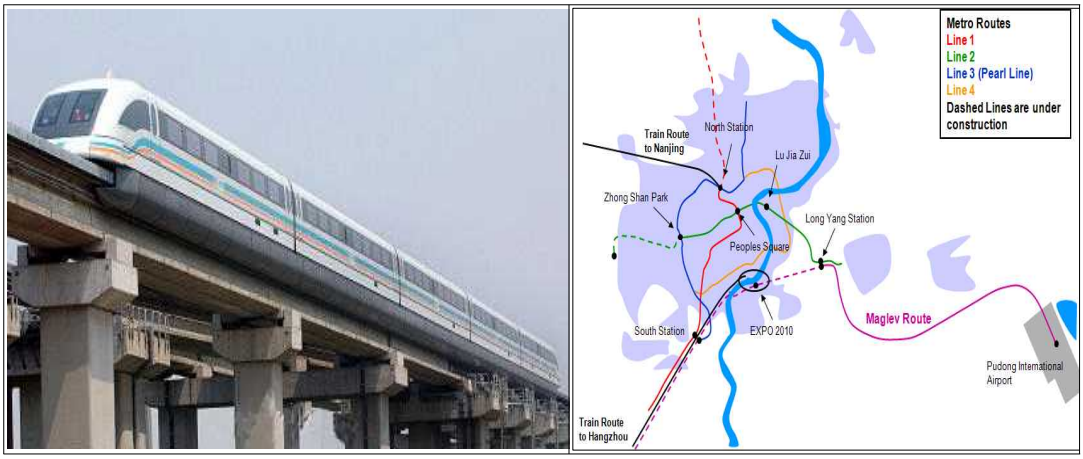
- 시험선 연장 31.5km, 선로 양 종단의 회전루프를 직선으로 연결한 형태

- Munich 프로젝트용으로 개발하였던 Transrapid 09 열차 시험 재개 (2008.08)

○ 40여년의 기술개발과 함께 430km/h 초고속 자기부상철도의 실용화를 달성함

- 중국에 세계 최초의 초고속 영업노선을 건설·개통 (2002.12.31)

- 영업철도로서 세계 최고속도 기록 (581km/h, 2003년)



[그림 3-2-1] 독일이 중국에 수출한 자기부상열차(Transrapid)

<표 3-2-1> 독일 자기부상철도 기술개발 역사

구 분	주요 내용
1922	Hermann Kemper가 전자기적으로 부상하는 열차의 개념발명
1971	Ottobrunn에 있는 MBB(MesserschmittBölkow-Blohm) 회사에서 원리적인 유인용 차량 제시. EMS 부상과 안내 시스템 사용
1972	Transrapid 03. 초전도를 이용한 EDS 방식 사용
1977	EMS 방식 채택, EDS 연구 중단
1979	Hamburg 세계 교통 박람회에서 세계 최초의 승객탑승용 자기부상열차 전시 (Transrapid 05)
1983	Transrapid 06 작동. 총길이 54m, 102t, 192좌석, EMS LSM 방식, 차량탑재용 리니어 발전기사용
1988	세계신기록 412.6km/h 달성
1992	Berlin-Hamburg간 자기부상시스템을 포함하는 연방교통국 결정
2000	독일과 미국 간 Transrapid 자기부상 기술 협력각서 체결 (목적 : 두 나라 사이의 기술교류, 공동시스템 설립, 안전, 환경적인 기준마련 등)
2001	세계최초의 상업용 자기부상열차인 중국 상하이시와 푸동공항을 연결하는 Transrapid 계약 체결
2003	중국 상하이시와 푸동공항을 연결하는 Transrapid 개통
2005	2월, 총 250만명의 승객수송, 총 운행거리 128만7천 km

나. 일 본

○ 일본은 Tokaido Shinkansen 노선(Tokyo～Osaka)의 포화로 대체선로의 필요성이 증가하면서 Chuo Sinkansen 계획을 수립(Shinkansen 철도정비법 제4조)하고, 1970년도부터 500km/h 이상의 초고속 자기부상철도에 대한 연구개발을 진행하고 있음

- RTRI(일본 철도총합연구소) 주도로 JR-Tokaido(철도운영회사)와 공동 기술개발
- 초전도자석, 반발식 부상, 선형동기전동기 (SC-EDS-LSM) 방식 적용
- 부상을 위한 고무휠 주행, 100mm 부상, 초전도체를 위한 냉각장치 등이 특징

○ 일본은 기술의 확인과 함께 대규모 시험시설을 건설(1996년)하고 실용화를 위한 지속적인 시험을 실시하고 있음

- 시험선 연장 18.4km, Chuo Shinkansen 노선의 일부를 시험선으로 구축
- 주행열차로서 세계 최고속도 기록(581km/h, 2003년), 독일과 속도 경쟁



[그림 3-2-2] 일본 자기부상열차와 추오신간선 노선도

<표 3-2-2> 일본 자기부상철도 기술개발 역사

구 분	주요 내용
1962	선형전동기 추진 및 비접속 주행 연구 착수
1970	초전도체를 사용 역학부상시스템 연구 공식적 착수
1972	초전도체 자기부상열차 LSM200/ML100 부상주행 성공
1977	Miyazaki 자기부상철도 시험소 건설
1979	ML-500R 517km/h 달성
1987	405.3km/h(무인2량), 400.8km/h(유인 2량) 성공, RTRI 재단 법인으로 재편 및 JNR R&D 업무 인수
1989	공기역학 제동시스템 시험, 394km/h 달성 (MLU002)
1990	전환형 분기기(Traverser) 시험 착수
1991	측벽 부상시스템을 이용한 주행시험 착수, MLU002 화재로 전소
1994	MLU002N 431km/h 달성
1996	Yamanashi 시험선 개통(선행구간 18.4km), MLX01 견인시험
1997	MLX01 531 km/h (유인), MLX 01 550 km/h (무인) 기록
1999	2개 열차 교행 주행시험 실시 (상대속도 1,003 km/h)
2000	일본 교통위원회 “초고속 자기부상 대량수송시스템 실현성 확보”결론, 시험운행 누적거리 100,000km 달성
2002	시험운행 누적거리 200,000km, 시승인원 30,000명 달성
2003	누적거리 300,000 km, 3량 MLX01 581 km/h (유인) 세계최고기록
2004	열차 교행 상대속도 1,026 km/h로 교차운행, 누적거리 400,000km, 총 탑승객 80,000명 달성
2006	고온초전도 마그넷 탑재 주행시험 성공
2007	시험선 연장 42.8km 건설계획 발표 (실용노선 준비단계:2014완료) 동경-오사카간 건설계획 발표 (2025년 1단계(동경-나고야)완료)

다. 미 국

○ 1960년대부터 MIT, Westing House 등에 의한 Electropult 시스템, Garret 사의 LIMRV, Grumman 사의 TLRV 등 많은 연구가 있었으나, 1978년 정부의 지원중단으로 연구가 중단되었음

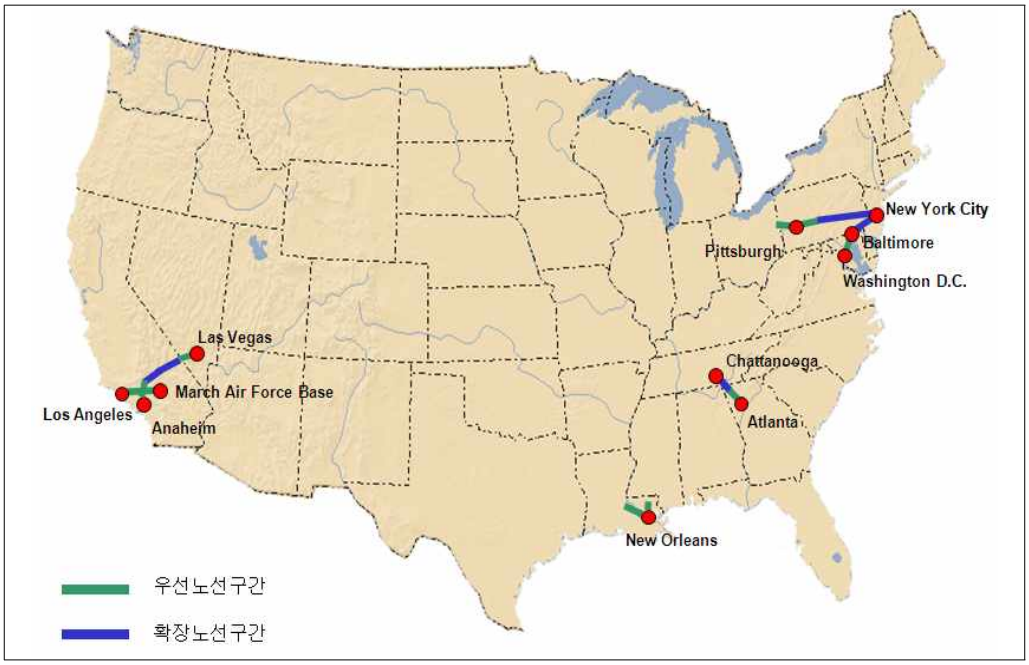
○ 1984년경부터 Ford 자동차, Boeing 항공사 등에서 다시 연구가 진행되어왔으나, 본격적인 개발계획은 1992년부터 연방정부차원의 막대한 지원이 있고난 다음임

○ 미국에서 배치되는 자기부상열차의 기술적 가능성을 결정하기 위해서 NMI Office는 자기부상 기술의 포괄적인 평가를 수행하였음

<표 3-2-3> 각 자기부상열차에 대한 NMI 평가 자료

parameter	TGV -Atalantique	TR07	Bechtel	Foster-Miller	Grumman	Magne-plane
Concept	steel wheel-on-rail	EMS, separate lift &guidance	EDS, ladder levitation	EDS, sidewall null-flux	EMS, common lift&guidance	EDS, sheet levitation
Vehicles /Consist	1-10-1	2	1	8	2	1
Seats /Consist	485	156	120	600	100	140
Cruise Speed(mph)	186	311	300	300	300	300
Switch Design Speed(mph)	143	125	72	112	145	224
Air Gap (inches)	N/A	0.4	2.0	3.0	1.6	5.9

○ 미국은 1998년부터 연방정부의 지원으로 초고속 철도 건설 프로젝트가 추진 중이며, 현재 4개 프로젝트에 대하여 초고속 자기부상철도로 검토 중에 있음



구분	주요 내용
california	Ontario 공항과 LA공항을 연결하는 7개역, 70mile 구간
Florida	3개역, 20mile 구간
Georgia	4~5개 역 32mile 구간
New Orleans	4개역, 48mile 구간
Maryland	4개역, 40mile 구간
Nevada	2개역, 42mile 구간
Pennsylvania	4개역, 54mile 구간

[그림 3-2-3] 미국의 자기부상철도 건설계획 노선

라. 중 국

○ 중국은 70년대 중반 선형유도전동기에 대한 연구를 시작으로 자기부상철도 시스템에 대한 기초연구를 실시하고, 80년대에 소형 자기부상 실험 시스템을 연구제작하기 시작하였으며, 부상 메카니즘에 대한 이론분석·실험연구 진행

○ 1996년 중국 과학기술부는 저속 자기부상철도 집중연구에 대한 성과평가와 함께, 국외 전문가와 기술교류를 추진하였고, 일본·독일 자기부상철도에 대하여 조사 검토하며 중국내 발전 가능성과 기본방향에 대한 연구와 더불어, Shanghai의 고속 자기부상철도 노선의 가능성 연구를 진행하였음

○ 1999년 말 중국과학기술부는 집중연구 과제인 "중국 최초 고속자기부상철도 시험선에 대한 가능성 연구"와 함께, 독일의 상전도 흡인식 초고속 자기부상철도(Transrapid) 기술을 검토하였음

○ 중국은 독일의 기술로 세계 최초의 초고속 영업노선을 건설·개통하였음 (2002.12.31)

- 영업철도로서 세계 최고속도 기록 (581km/h, 2003년)

○ 국립 자기부상철도 기술센터를 설립하여 기술을 집중하고, 고온 초전도 자기부상열차 대차 개발 등 중저속형, 초고속형 자기부상철도에 대한 자체기술력 확보를 위한 노력과 함께 다양한 시스템의 독자 개발함 (Zhonghua 06 시속 530㎞ 모의주행, 2006)

<표 3-2-4> 중국 자기부상철도 기술개발 역사

구 분	주요 내용
1970년대	자기부상철도 부상 및 추진에 대한 기초연구 추진
1980	국방과기대학 자기부상 기술 연구 시작
1986	서남교통대학 자기부상열차 기술 연구 시작
1989	국방과기대학 소형 자기부상 모형차 제작·전시
1992	과기부 추진의 국가 '팔오' 과기집중연구 계획에 포함
1994	최초 승용 자기부상열차 및 시험선 연구·제작
1995	단방향 자기부상철도 시스템 연구·제작 ('팔오')
1996	자기부상철도 공정연구센터 설립 (서남교통대학)
1997	고온 초전도 자기부상열차 원리모형 연구·제작
2001	서남교통대학 중심으로 경량전철형 시제차량 개발
2002	Shanghai~Pudong공항간 Transrapid 영업노선 개통
2004	상전도 EMS-LIM 방식의 Zhonghua 01 개발
2005	Unimodal 모델의 Zhonghua 06 개발, 시험주행 성공
2006	Shanghai~Hangzho 자기부상철도 노선 건설계획 발표
2007	Shanghai~Hangzho 자기부상철도 확장사업 협상
2008	Shanghai~Hangzho 자기부상철도 노선 승인

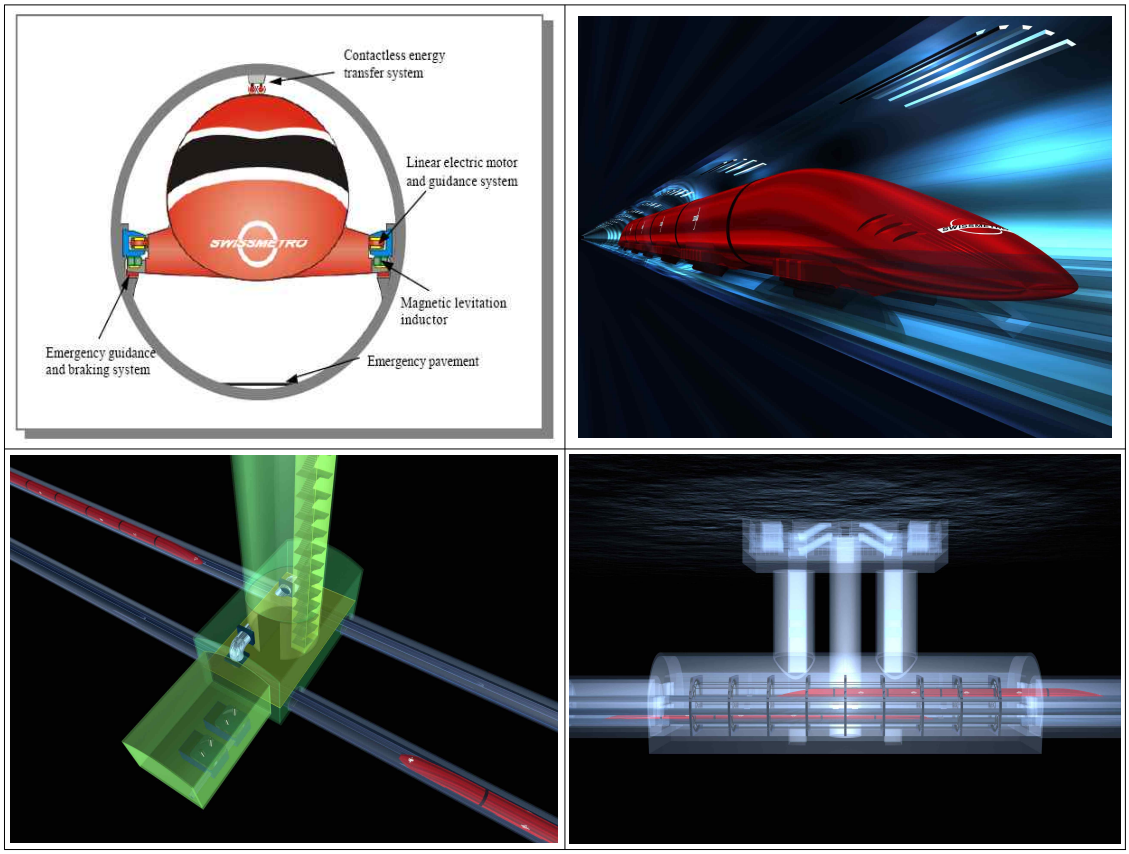
2. 튜브 트레인 기술개발 현황

○ 1990년대 이후 튜브를 이용한 운송시스템의 개발이 본격적으로 시작되었으며 전 세계 각국에서 다양한 기술적인 시도가 이루어지고 있음

○ 대표적인 사례로서 화물 운송용으로 개발되고 있는 TubExpress, CargoCap과 여객용으로 스위스메트로, ET3, Flextaxi, Tubeway 등이 있음

가. 스위스

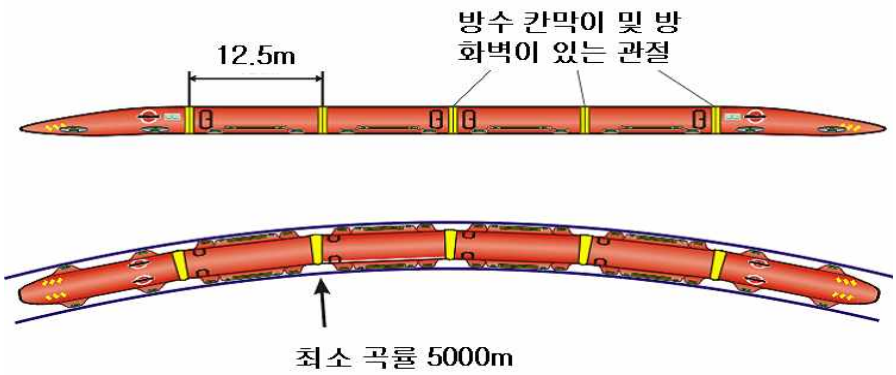
○ 스위스에서는 산악지형에 적합한 초고속 지상운송수단 개발을 위하여 1987년부터 스위스메트로(Swissmetro) 프로젝트를 시작하여 2000년대 초반에 기초연구를 완료하였음



[그림 3-2-4] 스위스 메트로 개념도

○ 스위스메트로 시스템은 다음과 같은 핵심기술을 가짐

- 내경 5m의 양방향 두 개의 터널을 갖는 완전한 지하 구조물임
- 추진에 소요되는 에너지소모를 줄이기 위하여 터널내압을 저진공으로 유지 가능한(0.1기압(10,000 Pa) 저진공 상태를 발생시키는데 24시간이 걸리도록 진공펌프시스템을 설치)
- 500km/h 이상의 속도로 주행 가능한 선형전동기를 이용한 추진시스템
- 선로와 직접적인 마찰이 없도록 자기부상 및 제어 방식을 적용
- 전체 투자비용의 70-75%를 튜브인프라 건설비용으로 예상함
- 승객당 에너지 소비량이 자동차의 1/3수준, 비행기의 1/5수준임



[그림 3-2-5] 스위스메트로 차량

○ 500m 연장에서 500km/h의 속도에 도달할 수 있도록 해주는 축소형 튜브 트레인 시험대(1/10)인 HISTAR 설계 완료

○ 스위스메트로는 2001년도에 발표된 보고서에서 500km/h 이상의 속도로 400명에서 800명의 승객을 6분 간격으로 운송 가능함을 기술적, 경제적으로도 검토하였으며, 빠르면 2015년부터 상업운행이 가능하다고 발표하였음

○ Basle과 Zurich간 구간에서 검토한 결과는 충분히 경제적 이윤을 남기기에 충분한 승객 수송량을 보여주었으며, 경제성 분석결과도 일반적인 건설비와 운영비를 고려하였을 때 운영처에 40년간 매년 4%의 내부수익률(Internal Rate of Return)을 가져다 줄 수 있다는 결과를 얻음

○ 차량은 높은 고도에서 운행되는 항공기와 유사한 상태에서 운행됨으로 항공기 설계에 적용되는 기술이 적용되고 항공기와 유사한 안전대책의 수립을 필요로 함

○ 단기적으로는 2020년까지 목표속도 400km/h로 도시 간, 도시-공항 간, 공항 간, 그리고 전략적으로 초고속교통시스템이 필요한 구간에 운행을 목표로 하였음

○ 장기적으로는 목표속도 600~700km/h로 1,000km 반경안에서 운행되는 중단거리 항공 교통에 대한 효과적이고 환경친화적인 대안으로 연구됨

○ 초고속 튜브 트레인을 연구했던 스위스는 독일, 일본과 달리 개방된 공간에서의 초고속 자기부상열차에 대한 개발 사례가 없음

나. 미 국

○ 미국에서는 교통부 철도관리국(Federal Railroad Administration, FRA)의 고속지상운송연구소(Office of High Speed Ground Transportation, OHSGT)의 주도 아래 튜브차량시스템(Tube Vehicle System, TVS)에 대한 연구가 1966년부터 1969년까지 이루어졌고, 1970년 관련 보고서가 발간되었음

- 이 보고서에서는 TVS에 대한 타당성을 판단하기 위하여 공기역학, 추진 및 부상 요소들에 대하여 논하였고, 특히 튜브-차량 공기역학에 대한 당대 최고기술에 대한 조사를 수행하였음

- 또한, TVS의 형태를 분류하고 다양한 차량시스템의 개념을 제시하였으며, 튜브-차량 실험장치를 통해 도출된 실험결과들을 해석치와 비교하였음

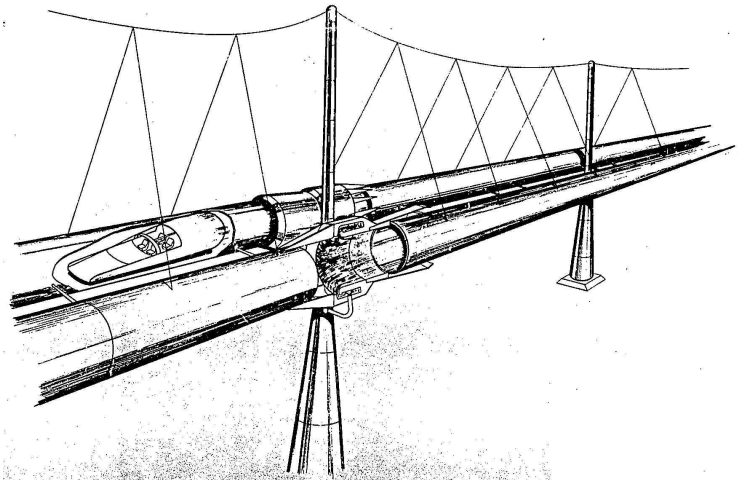
○ 보고서에서 제시하는 TVS에 대한 기술적 정의와 내용을 살펴봄

- TVS는 300mph(480km/h)이상의 속도로 튜브 내를 주행하는 운송수단으로서 튜브 내의 기압에 따라 상압식과 저진공식으로 구분됨

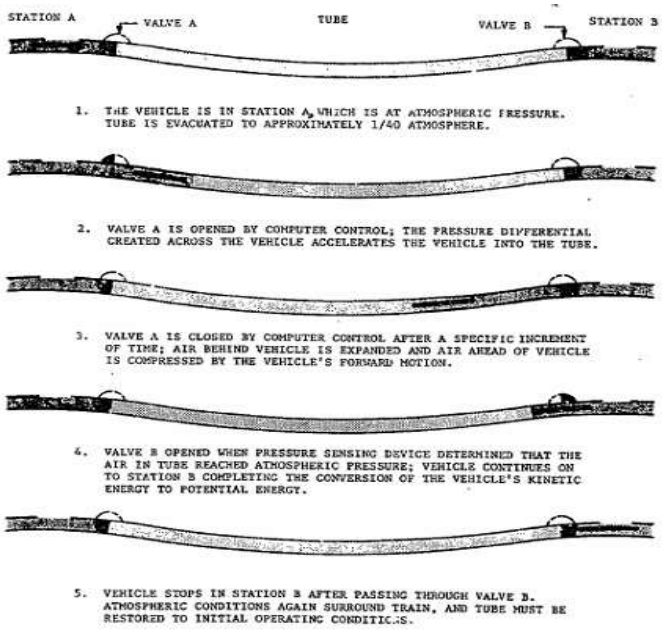
- 추진방식으로는 수동식 추진과 능동식 추진으로 나눌 수 있는데, 수동형 추진은 차량에 추진장치가 부착되지 않는 방식으로서 전기식, 공기역학식, 공압식, 중력식으로 나누어지며, 능동형은 선형전동기식, 원형전동기식으로 나뉨

- 부상방식으로는 저밀폐도의 상압식 TVS에서는 바퀴식, 자기부상식, 공기부상식의 부상방식이 사용될 수 있으나, 고밀폐도가 가능한 저진공식 TVS에서는 공기부상식이 기술적으로 적합하지 않을 수 있음

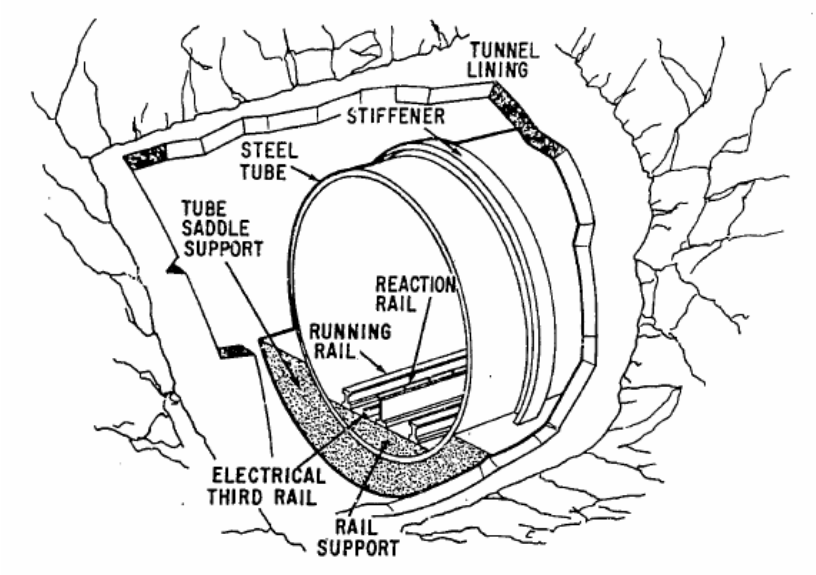
- 본 연구에서는 비행기 동체와 같은 차량이 저밀폐도의 튜브 내에서 공기에 의해 부양되는 Tubefligt와 마찰이 없는 진공튜브 내에서 공압추진 대신 중력을 이용하여 추진/제동하는 Gravity Vacuum Transit, 고밀폐도의 진공튜브 내에서 전기모터로 자가추진하는 방식의 Electric Motor-Evacuated System(EMES)의 세 가지 컨셉을 선정하여 연구를 수행하였음



[그림 3-2-6] Tubeflight 개념도



[그림 3-2-7] Gravity Vacuum Transit 개념도



[그림 3-2-8] EMES의 튜브 구조

(1) TubExpress

○ TubExpress는 지하에 건설된 콘크리트 파이프라인으로 도시 중심 간을 연결하여 화물을 수송하기 위한 자동운전 시스템을 갖춘 튜브운송시스템임

○ TubExpress는 교통량의 증가와 이로 인한 교통체증의 증가로 인해 화물운송을 주로 담당하고 있는 트럭의 수송 효율성 저하, 물류비용의 증가, 에너지 비용을 증가 등의 문제를 해결하기 위한 대책으로 미국에서 연구되기 시작함

○ TubExpress의 시초는 1960년대 후반부터 주로 단거리 구간에서 광석 또는 석탄과 같은 입상 벌크 화물(bulk granular cargo)을 수송하기 위해 시작된 연구이며, TubExpress는 지하에 건설된 콘크리트 파이프라인으로 도시 중심 간을 연결하여 화물을 수송하기 위한 자동운전 시스템을 갖춘 튜브운송시스템임

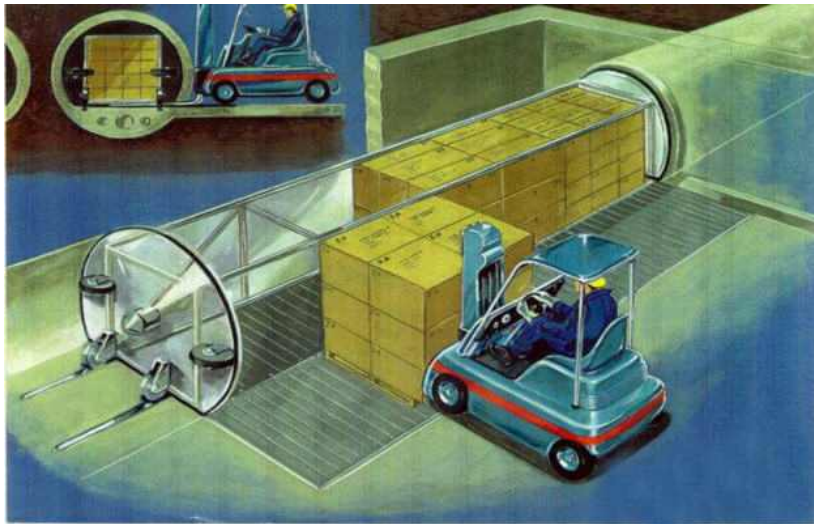
- 화물은 전기 에너지를 사용하는 파이프라인을 통해 추진되는 프리휠링(free-wheeling) 캡슐에 탑재되어 운반됨
- 미국의 경우 도시 간 화물수송의 경우 상당부분 장거리 운송 트럭에 의존하고 있는 실정인데, TubExpress는 도시 간 화물 자동 운송이 가능하므로 트럭의 역할을 대체할 수 있는 해결책이 될 수 있음

○ TubExpress의 장점은 다음과 같음

- 첫째, 지상의 교통수단과 인터페이스 없이 지하를 통해 화물을 수송하기 때문에 사람들의 이동과 화물의 수송을 분리할 수 있으며, 화물수송트럭으로 인해 발생하는 인명 및 재산 피해를 크게 줄일 수 있을 것을 기대됨
- 둘째, 트럭운송의 경우 무거운 대형 트럭의 이동으로 인해 도로의 파손 등이 발생하여 이로 인해 많은 유지보수 비용이 발생하지만 TubExpress는 이와 같은 비용이 거의 필요 없음
- 셋째, 디젤연료를 사용하는 트럭에 비해 전기에너지를 사용하는 Tub-Express는 트럭보다 1/3정도의 에너지를 사용하며 이는 전체 석유 소비를 낮추는데 기여함
- 넷째, 도로교통수단에 비해 교통체증이나 오염물질 배출을 현저하게 낮출 수 있음
- 마지막으로 자동운전, Pallet를 적재할 수 있는 소형 캡슐사용, 정시 배송, 적재 및 자재 관리비의 감소 등이 가능하므로 전체적인 수송비용을 최소화 할 수 있음



[그림 3-2-9] TubExpress 개념도



[그림 3-2-10] TubExpress 화물 적재 개념도

(2) ET3

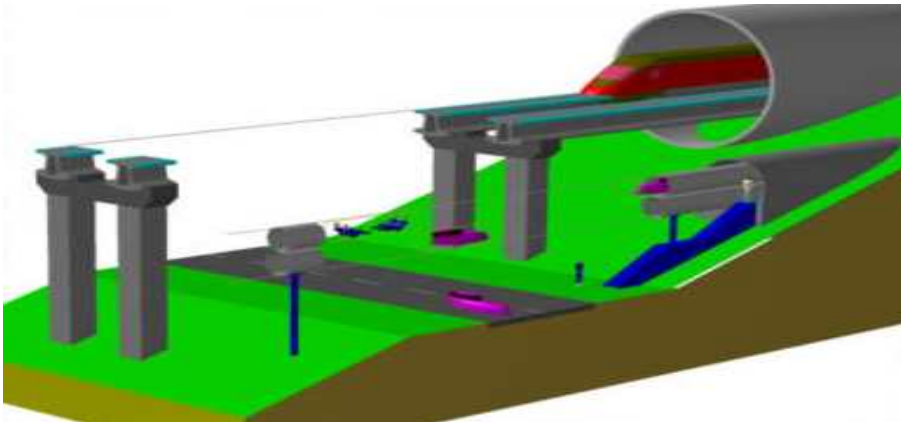
○ 튜브 내를 진공으로 만들 경우 공기저항이 이론적으로 없기 때문에 초고속 운행이 가능하며, ET3의 경우에는 도시 내, 도시 간뿐만 아니라 대륙간 교통까지 가능할 것으로 전망됨

○ ET3는 튜브의 직경을 1.5m까지 소형화하여 개인여행 및 소형 화물의 door-to-door 운송에 적합하도록 하여 도로교통의 편이성과 철도교통의 안전성 및 정시성을 확보할 수 있도록 하였음

- ET3는 350~4,000mph의 속도로 도시내의 단거리에서부터 대륙 간 장거리 구간까지 대상으로 하고 있으며, 노선의 상황에 따라 지상과 지하에 건설됨

- ET3는 기존의 자기부상시스템(Transrapid)과 비교하여 건설비용이 매우 적게 소요되며, 지상에 건설되는 Guideway Span으로 인한 토지 수용면적이 매우 적음

- ET3는 여러 가지 운행모드를 가지고 있으며, 안전 제어시스템을 통해 초고속으로 운행됨



[그림 3-2-11] ET3 개념도(붉은색: Transrapid, 보라색: ET3)

(3) 대서양 횡단 초음속 자기부상 진공 튜브 트레인 구상

○ 2008년 Ernst Frankel(전 MIT 해양공학 교수)과 Frank Davidson(최초의 공식적인 영국채널터널 연구그룹 멤버)은 진공 튜브를 활용하여 대서양을 횡단하는 초음속 자기부상 열차를 구상함

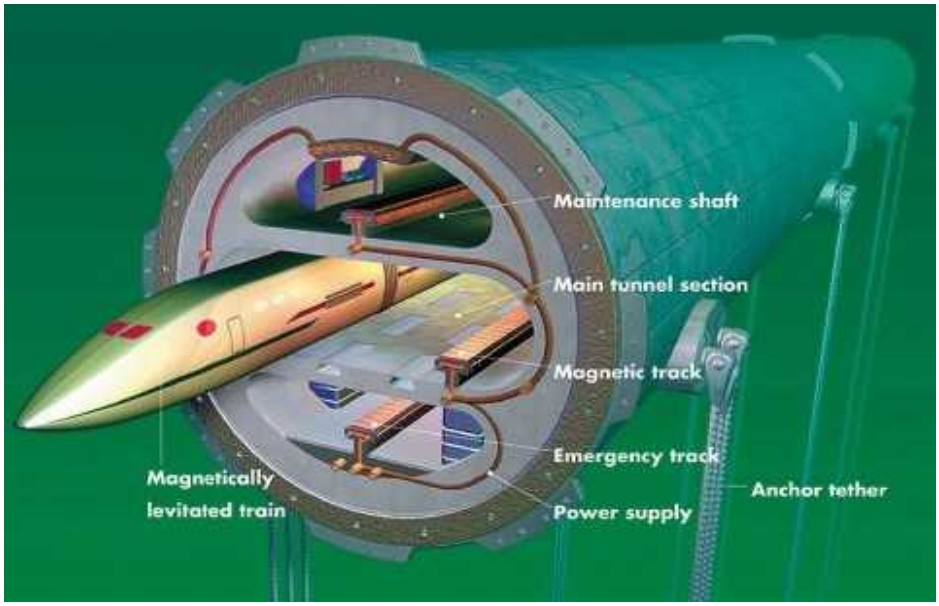
○ 본 구상에서 심해의 높은 압력을 피하기 위해 대서양 해수면에서 46~91m 깊이에 케이블로 고정한 터널을 만들고 터널 내부를 진공을 유지하여 자기부상열차를 운행하면 6,400km/h까지 가능하다고 주장하였음

○ 이는 뉴욕의 Penn역에서 파리, 런던 또는 뷔르셀을 한 시간 내에 주행 가능하다고 주장하였음

○ 노르웨이에서는 깊은 피오르를 가로지는 수중터널에 대한 조사를 하였는데 비용이 유일한 문제였음

○ 문제는 뉴욕에서 런던까지 대서양을 횡단하는 수중터널을 건설할 때 880억 달러~175억달러(mile당 2,500만달러~5,000만달러)에 달하는 막대한 비용과 안전성에 관한 문제라고 지적함

○ Davidson은 달 탐사 성공을 예로 들면서 수중터널의 동적인 조건에 대한 반응과 같은 시험 등을 통해 비용과 안전성에 대한 우려는 덜 수 있을 것이며 대서양횡단터널은 가능하다고 주장함



[그림 3-2-12] 대서양 횡단 초음속 자기부상 진공튜브 트레인 개념도

다. 러시아

○ 러시아의 Flextaxi는 몇 개의 위성도시를 포함한 거대 도시권에서 개인이나 소규모의 화물을 자동적이고 안전하게 주소지까지 운송하고자 하는 튜브 추적(Tube Tracing)개념을 가진 튜브운송시스템의 일종으로, 기존의 도로중심의 운송체계를 새로이 대체할 수 있는 대안으로 연구되고 있음

○ Flextaxi는 튜브운송시스템이 가지고 있는 본래의 목적을 달성하기 위해 4가지 기술적 접근이 시도되고 있음

- 첫째는 추적 및 운송기술의 구현으로서, Flextaxi는 많은 사람이나 대형의 화물을 운송하는 목적이 아니고 개인이나 소규모의 화물을 정해진 목적지까지 정확히 운송하는데 주목적이 있음

- 이 시스템은 거대도시내의 어느 곳에나 정거장을 설치하여 개인이나 소화물을 자유롭게 탑승(적재), 하차(하역), 정차, 정지할 수 있으며, 이러한 모든 과정이 자동적이며 안전하게 이루어짐

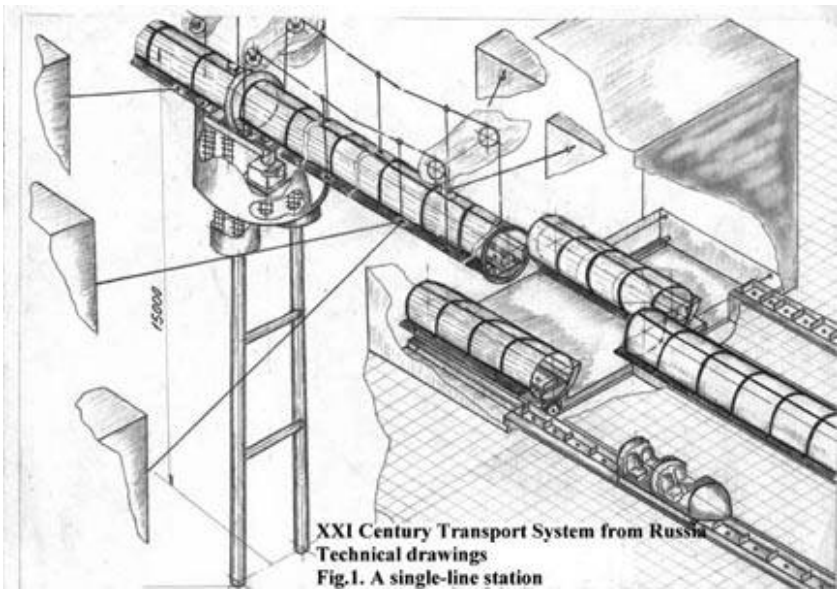
- 두 번째는 지진을 고려한 설계를 통해 주위환경과 보다 친화적인 도시 설계를 할 수 있고, 기존 도시의 외형에 영향을 받지 않고 건설이 가능하며, 지상과 지하에 모두 건설될 수 있으나, 대부분에 경우 지상의 도시 구조

물 사이의 공간을 활용하여 건설됨

- 이러한 경우 도시의 기존 구조물보다 위에 건설되고, 튜브의 재질이 투명하기 때문에 어떠한 날씨조건에도 도시 광경을 즐길 수 있음
- 튜브의 외벽은 훌륭한 광고판으로도 활용될 수 있고, 튜브를 지지하고 있는 지지대는 진동을 흡수할 수 있는 설계되었으며, 이 지지대의 양끝에 로프가 연결되어 있으며, 연결된 로프에 일정한 간격으로 튜브를 지지하고 있는 로프가 있는 구조로 되어 있음
- 이처럼 진동을 흡수할 수 있는 구조설계가 가능하며, 이것은 시스템에 대한 높은 신뢰성을 부여함
- 이렇게 단순하면서도 신뢰도가 높은 설계는 다른 튜브시스템보다 전체 튜브시스템의 무게를 작게 할 수 있으므로 비용측면에서도 유리함
- 세 번째는 특유의 추진방법, 운행 속도, 그리고 정지 메커니즘으로서, Flextaxi는 튜브 내부에서 발생시킨 압축공기를 이용하여 운송차량을 추진하거나 정지시키거나, 전자기(Electromagnetic)와 브레이크를 이용하여 추진 및 제동을 수행함
- 그리고 이 튜브시스템은 최대 120mph(192km/h)까지 운행할 수 있으며, 시스템의 안전제어를 통해 차량 간 최대 시격을 10~15초까지 유지할 수 있음
- 마지막으로 이 튜브시스템의 무게와 비용과 관련된 것으로서, 이 시스템은 전체 시스템의 무게를 줄이기 위한 설계를 통해 로프를 포함한 진동흡수 지지대를 제외하고 한 구간(span)의 무게가 6ton에 불과함
- 그리고 시스템 개발비용 측면에서 여러 가지 나라에 따라 다르게 계산되기는 하나 기존 전통적인 교통 시스템보다 비교적 유리할 것으로 추정되고 있음
- 새로운 거대 도시의 여객운송수단으로 부각되고 있는 Flextaxi는 낮은 건설비와 기존 도시환경과 잘 어울리는 설계, 그리고 안전 제어를 통한 높은 시스템 신뢰성 등 많은 장점을 가지고 있는 반면, 이를 구현하기 위한 구체적이고 체계적인 접근이 필요하며, 보다 구체적인 노력이 요구되는 실정임



[그림 3-2-13] Flextaxi 개념도



[그림 3-2-14] Flextaxi single line station 개념도

라. 오스트리아

○ Tubeway는 고갈되어 가고 있는 화석연료에 의존하고 있는 현재의 교통수단에 대한 대체 방안으로 연구되기 시작되어, 혁신적이며 에너지 절약적이고 친환경적인 기술에 의한 여객 및 화물수송을 목적으로 하는 튜브운송시스템의 한 형태임

○ 150년 전부터 연구 시험되어 오고 있던 공압 배달(Pneumatic dispatch) 장치에 기반 하지만 압축공기와 함께 흡입공기를 이용하며 또한 광전지 기술을 도입하여 환경적 이점과 높은 효율성을 가진 새로운 교통수단으로 발전되고 있음

○ 고가선로와 비슷하게 건설되는 투명한 튜브는 현재의 수송 시스템을 연장한 것이라 할 수 있으며, 자동 제어되는 구동 유닛이 여객이나 화물을 실고 유리 튜브 안을 미끄러지듯이 주행함

○ Tubeway는 대중교통수단으로서 개인승객과 일반 화물운수업체를 위하여 설계된 것이며, 그 제조와 건설이 용이함

○ Tubeway의 특징으로는 낮은 자체 하중과 효율적인 형태, 공압기술(Pneumatic Technology)을 이용한 부드러운 주행, 그리고 광전지 및/또는 송전 네트워크를 사용한다는 점임

- 또한 이 시스템은 기상 조건과 관계없으며, 낮은 마찰계수를 가지므로 내구성이 있으며, 유지보수 비용이 적게 소요되는 이점이 있음

○ 추가적으로 Tubeway 시스템이 지니고 있는 장점을 살펴보면, 석유를 소비하지 않음으로 인해 기존 화석연료를 사용한 교통수단에 의한 매연으로 인한 환경오염문제를 해결하는데 획기적으로 기여할 수 있으며, 건설비용과 유지보수비용이 기존 도로교통 비용보다 적게 소요됨

- 이로 인해 저렴한 비용으로 이 시스템을 이용할 수 있으며, 다양한 안전 시스템을 도입하여 기존 철도나 항공시스템에 비하여 매우 안전할 수 있음

- 또한 튜브 내를 이동하는 글라이딩 캡슐의 설계를 변경하여 다양한 크기 및 형태의 화물 수송용이나 개인적인 용도로 활용할 수 있을 것임



[그림 3-2-15] Tubeway 개념도

마. 독 일

○ 독일의 CargoCap는 혼잡한 도심지역에서 교통 혼잡을 피해 지하공간을 활용하여 도시 간 화물을 운송하는 튜브운송시스템으로, 목적지까지 화물을 정확하고 신속하게 운송하기 위해 자동운행기능을 갖는 지능형 물류시스템임

○ 이 시스템은 목적지까지 화물을 정확하고 신속하게 운송하기 위해 자동운행기능을 포함하는 지능형 물류시스템임

○ CargoCap 역시 지하공간에 건설되기 때문에 지상의 도로교통수단과 독립된 시스템으로서, 화물수송을 관리하기 위해서 지상의 물류중심지역에 작은 터미널을 건설하며, 터미널 내부에 설치된 승강용 리프트를 활용하여 지하로 이동함

○ CargoCap은 화물수송을 위해 설계되었으며, 튜브를 통해 도시 간 화물수송 라인을 형성함

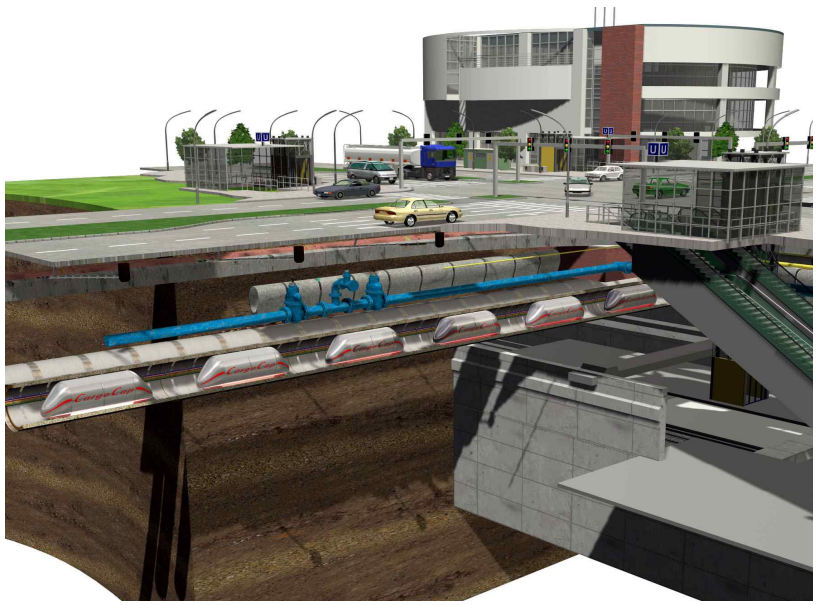
○ CargoCap의 경우에는 내경 1.6m의 튜브를 이용하게 되는데, 최신의 파이프 재킹 기법을 이용하기 때문에 건설에 따른 도심혼잡을 최소화하면서 신속한 건설이 가능함

○ 캡슐은 화물이 가능한 신속하고 효율적으로 적재되는 구조를 가지도록 설계

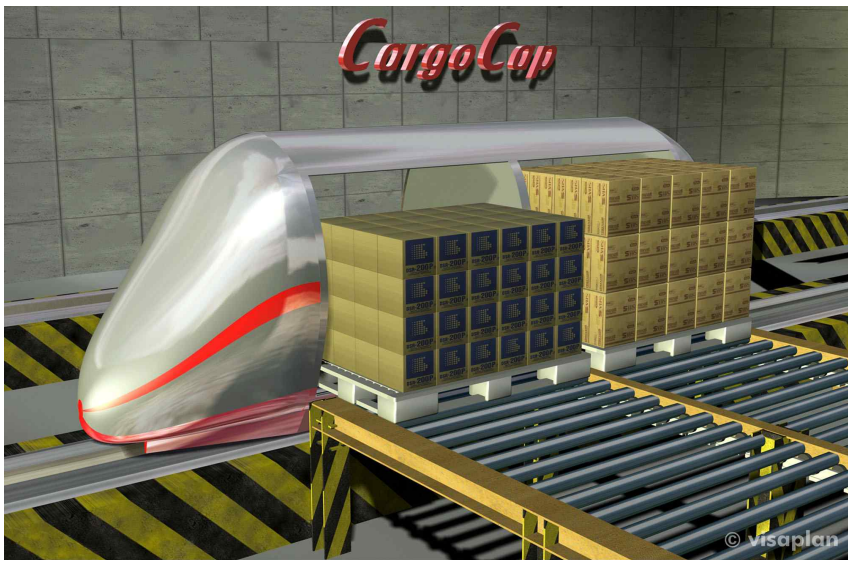
되었으며, 하나의 캡슐에 두 개의 규격화된 Euro-pallets (800mm x 1200mm)를 적재할 수 있음

○ 모든 적재 및 운송, 그리고 하역활동은 프로그래밍에 의해 자동적으로 이루어짐

○ CargoCap 시스템은 기존의 도로교통수단이 주로 담당하던 화물수송의 큰 분담률을 상당량 줄일 수 있을 것으로 평가되고 있으며, 화물운송 지역과 운송량이 확대되어 네트워크를 형성할 경우 도로교통에서 발생하는 교통 혼잡을 획기적으로 줄이고, 교통 혼잡으로 발생하는 연료 소모 및 매연으로 인한 환경오염을 줄이는데 기여를 할 것으로 기대됨



[그림 3-2-16] CargoCap 개념도

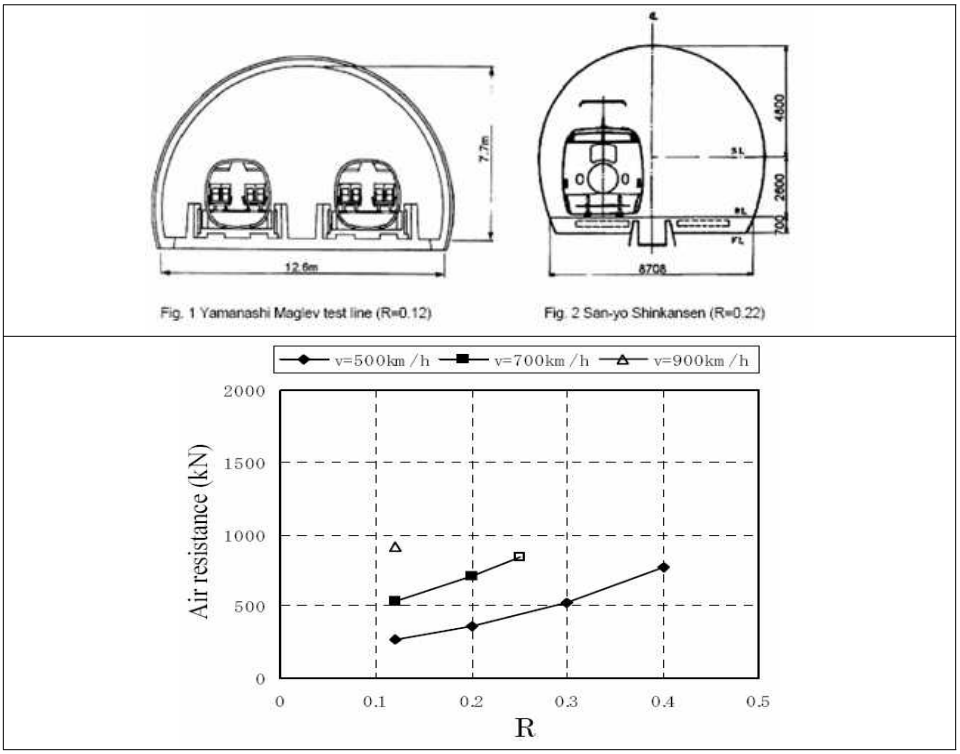


[그림 3-2-17] CargoCap 화물 적재 개념도

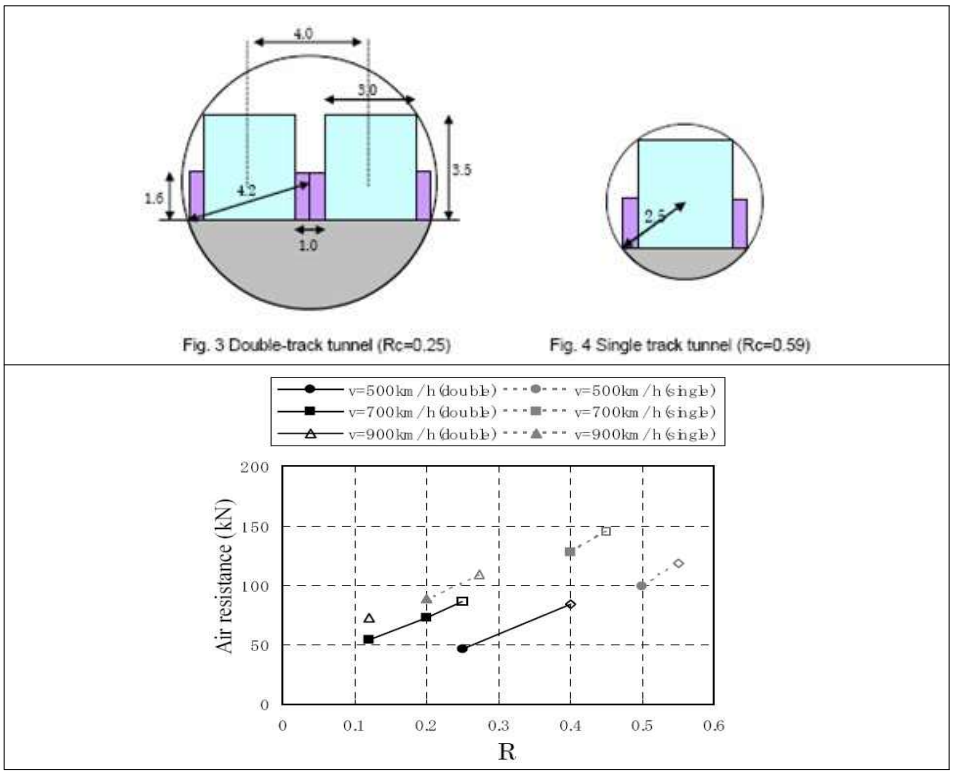
바. 일 본

○ 일본에서는 현재 개발 중인 초고속자기부상열차에 튜브 트레인 개념을 적용하는 연구를 수행하여 WCRR2006 국제학술대회에 발표하였음

- 터널 내의 압력을 0.5기압에서 0.1기압까지 감소시킴으로써 터널 단면적을 줄여 전체 건설비를 절감할 수 있음
- 이와 같은 구상이 대심도 지하터널의 건설과 결합되면, 소음과 지반진동을 완전히 배제하는 환경친화적인 시스템을 구성할 수 있으며, 이 같은 개념을 SUPERMETRO라고 제안하였음
- 본 연구에서 고속차량이 500km/h에서 900km/h의 속도로 기존터널 내를 운행할 경우 200~1000kN의 공기저항을 받게 되나, 터널 내를 0.1기압으로 유지할 경우 공기저항은 50~150kN로 평균 10배의 공기저항 감소효과가 나타남



[그림 3-2-18] 기존 신칸센의 터널 및 공기저항

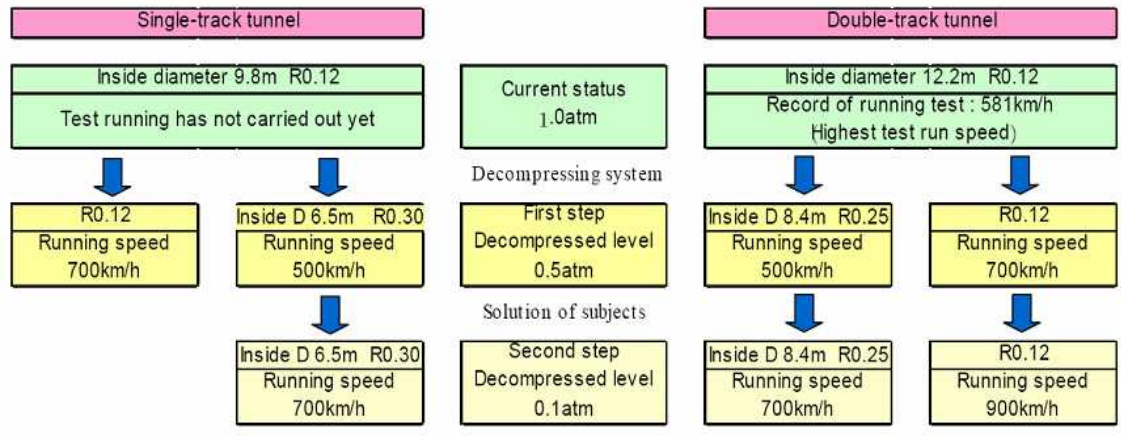


[그림 3-2-19] 터널 0.1기압시의 터널면적 및 공기저항

○ 현재, 야마나시 초고속 자기부상열차 시험선 내의 단면적 116.8m^2(경부고속선의 경우 107m^2)의 터널에서 최고속도 581km/h를 기록한 바 있음

- 1단계로 터널 내 압력 0.5기압 상태에서 터널 단면적을 55.4m^{2}로 낮추어 500km/h로 주행하거나, 동일한 터널 단면적에서 700km/h로 주행할 수 있음

- 2단계로 터널 내 압력 0.1기압 상태에서 터널 단면적을 55.4m^{2}로 낮추어 700km/h로 주행하거나, 동일한 터널 단면적에서 900km/h로 주행할 수 있을 것으로 예측하고 있음



[그림 3-2-20] 일본 초고속 자기부상열차의 튜브 트레인기술 적용 계획

사. 중 국

○ 중국은 서남교통대를 중심으로 초전도 방식의 초고속 자기부상열차를 지속적으로 연구 중이며, 초고속 자기부상열차의 속도한계를 극복하기 위하여 튜브 트레인 기술에 대한 연구를 병행하고 있음

- 서남교통대학이 연구제작한 고온초전도체자기부상열차는 최고 시속 600~1000km로 초고속진공터널교통의 carrier로 활용될 수 있음

- 이 기술은 고온 초전도체내의 기존 영구자석(Conventional Magnet)의 자기장을 이용하여, 전기흐름을 차단, 자기부상하게 만들며, 유도기술은 고온초전도체를 가운데에 고정함으로써, 영구전력 모드에 의한 지속적인 자력 생성

- 진공튜브운송에 대한 특허권을 보유하고 잇는 미국 ETT사와 기술협력관계에 있으며 당사의 기술자문 하에 진공 튜브 트레인 시험시설을 건설하였음



[그림 3-2-21] 서남교통대 초전도 자기부상열차 모형

○ 서남교통대는 2005년 중국의 튜브 트레인 기술 개발에 대한 주요 이슈와 계획을 소개하였음

- 튜브 트레인의 개발을 위해서는 터널 내의 압력·속도관계, 저항계수, 그 외 기간(基幹)기술과 같은 진공터널고속열차의 기본문제에 대한 이해가 반드시 필요함

- 이를 통해 열차가 적절한 공기저항계수를 갖도록 터널과 열차의 단면적 및 터널 내 압력을 결정하는 것이 필요함

- 이상의 기본설계를 바탕으로 진공터널건설기술, 추진기술 및 자기부상열차기술이 필요함

○ 서남교통대에서 제시하고 있는 중국의 튜브 트레인 기술 개발 계획에서 진공터널고속운행열차의 전략은 시속 600~1000km의 초고속 육로교통을 개발하는 것이고 구체적인 계획은 다음과 같음

- 1단계로 5년(2005~2010)의 기간 동안 모형연구를 통해 압력, 저항계수와 속도간의 관계를 토론·연구하여 터널내부지름 및 차량외부사이즈를 확정함

- 2단계로, 10년 간(2010~2015) 확정된 수치를 가지고 모형실험을 진행하는 동시에, 선로실험 및 운행실험을 진행함으로써, 대략 총15년의 시간이 지난 후 최적의 프로젝트 안을 확정함

- 3단계로 10년 간(2020~2030) 충분한 길이의 운영시범노선을 건설하고, 이후 2030년경에 상업운행을 시작함

아. 종합

○ 튜브운송기술의 개발은 1990년대 이후 본격적인 연구가 진행되었으며 개발국가는 미국이 3종, 독일, 오스트리아, 러시아 등임

□ 개발형태

○ 개발 형태는 대학연구에서 민간기업으로 이전된 형태가 제일 많았으며, ET3, Tubeway는 개인의 아이디어를 바탕으로 소규모 기업으로 발전한 경우임

○ TubExpress는 종래의 캡슐-파이프라인 개념으로 개발되기 시작한 1960년대이며, 이후 리니어모터를 적용하는 현대적인 튜브운송의 개념으로 발전하여 개발이 진행되고 있으며, 이를 제외하고는 대부분 1990년대에 연구가 시작됨

○ CargoCap의 경우에는 현재 1/2 모델을 제작하여 주행, 추진 시험이 진행되고 있는 등 활발히 연구가 진행되고 있으며, ET3나 Tubeway, Flextaxi는 개인 또는 소규모 연구그룹에 의한 아이디어의 정립 단계에 있는 상황으로 파악됨

<표 3-2-5> 기존 튜브운송기술 개요

구분	CargoCap	TubExpress	ET3	Flextaxi	Tubeway
국가	독일	미국	미국	러시아	오스트리아
개발 형태	대학 연구 → 민간기업 설립	대학 연구 → 민간기업 설립	개인 연구 → 민간기업 설립	대학 연구	개인 연구 → 민간기업 설립
연구시작	1996	1960's	1990's	1990's	1990's

□ 운영 개념

○ TubExpress와 CargoCap은 화물운송을 목표로 하지만, 각각 도시 간 물류와 도시 내 물류를 목표로 하는 점에서 차이가 있으며, ET3는 여객을 우선적으로 고려하고 있고 도시 내에서 대륙 간까지 다양한 거리를 목표로 하고 있음

- 나머지는 모두 여객과 화물 모두를 대상으로 하여 주로 광역 도시권 내에서의 운영을 목표로 하고 있음

○ 튜브운송의 여객 또는 여객·화물 겸용으로 개발되는 경우 속도가 시속 200km 이상의 고속으로 추진되지만, 화물전용으로 개발되는 TubExpress나 CargoCap의 경우에는 모두 시속 36km의 속도를 목표로 하고 있음

○ 캡슐의 최소 시간간격(headway)은 대부분 20초 이하이므로 수송용량이 매우 크며, 특히 ET3의 경우에는 분기부의 전환이 필요 없는 수동형 분기부를 이용함으로써 0.125초의 매우 짧은 시격으로 운행이 가능하여 수송용량을 매우 크게 할 수 있음

○ 캡슐 당 수송량은 TubExpress와 CargoCap은 각각 8ton과 2ton으로 도시 내 소량화물에 적합한 CargopCap이 캡슐당 수송용량이 더 작으며, TubExpress는 미국 내 도시 간 장거리 화물트럭을 대체하기 위한 개념이므로 보다 큰 캡슐당 수송량을 가짐

○ 여객의 경우 ET3은 좌석 수 6개의 매우 작은 캡슐을 사용하므로 개별 여행객의 편의성에 중점을 두었으며, Flextaxi도 정확한 좌석 수는 문헌에 나타나지 않았지만 이와 유사하게 작은 좌석 수를 가질 것으로 추측됨

○ Tubeway는 28석으로 개별여행과 대량운송의 중간정도 수준에 위치하는 것으로 나타남

○ 시간당 운송량은 TubExpress는 시간당 1,000ton의 화물운송이 가능하며, ET3는 시간당 172,000인으로 여객운송 중 최대이며, Tubeway는 시간당 45,000인의 수송량을 목표로 하고 있음

<표 3-2-6> 기존 튜브운송기술 운영개념 비교분석

구분	CargoCap	TubExpress	ET3	Flextaxi	Tubeway
개요	도시 내 지하공간을 이용한 24시간 자동 물류운송	도시 간 장거리 화물운송트럭을 대체하기 위한 지하 물류운송	초고속 개별 여객 서비스	다목적 door-to-door 여객 서비스	도시 간 대량 통근 운송
용도	화물	화물	여객	여객, 화물	여객, 화물
운용 조건	혼잡한 도심 내	도시 간	도시 간/대륙 간	광역도시권	광역도시권, 산악교통, 도시 간, 신도시
운행최고속도	36km/h	36km/h (=22.4mph)	320~6400km/h (200~4000mph)	192km/h (120mph)	300km/h or more
시격/간격	N/A	21sec (210m)	0.125sec @500km/h	10~15sec	N/A
운송량	2 ton (유로팔렛 2개)	8 ton	6 seats	N/A	28 seat
시간당 운송량 (편도)	N/A	1000ton/hr (70% load factor)	0.172M seat/hr (@350mph), 2M seats/hr (@4000mph)	N/A	45,000 seats/hr

□ 각 시스템의 기술적 특징

○ 고속의 여객용 튜브운송의 경우에는 저마찰 소재를 이용하여 지지한 후 공압으로 추진하는 Tubeway를 제외하고는 모두 자기부상 방식을 이용하여 캡슐을 부상시킨 후 리니어모터를 이용하여 추진하는 방식을 택하고 있음

- 저속 화물용 튜브시스템(TubExpress, CargoCap)의 경우에는 기존의 도로나 도시 내의 지하공간을 이용하여 튜브를 건설하고 전통적인 휠/레일의 반력지지 방식을 이용

○ 튜브의 구조를 살펴보면, TubExpress는 직경 2m의 튜브를 지하에 매설한 후 평판형 레일을 설치하고, 캡슐에 부착된 4개의 강철휠로 하중을 지지하고, 4개의 고무휠로 좌우를 지지함

○ CargoCap의 경우에는 이보다 좀 더 작은 1.6m 직경의 튜브 내에 일반 레일을 설치하고 모터가 부착된 철제 휠을 이용하여 지지되고 추진됨

○ CargoCap은 도시 내에 설치된 복잡한 튜브 네트워크에서 운용되기 때문에 많은 분기부를 통과하게 되므로 무감속 분기기술을 적용하여 분기부 통과시의 속도저하를 방지하여 운송용량을 증대할 수 있도록 하였음

○ ET3는 개인여행을 목적으로 하기 때문에 가장 작은 1.5m 직경의 튜브를 이용하는데, 튜브 내를 진공으로 유지하여 공기저항을 완전히 제거하기 때문에 초고속의 운행이 가능함

○ 중고속의 여객용 튜브운송인 Flextaxi나 Tubeway 는 각각 2m와 2.1m 직경의 튜브를 이용하며, 채광 및 조망을 위하여 투명 혹은 반투명의 플라스틱이나 유리섬유로 튜브를 제작하여 여행자의 편의성을 제고하도록 하였으며, 고가교 위나 기존의 고층건물에 케이블로 연결하는 방식으로 튜브를 설치하도록 하고 있음

○ 캡슐의 중량은 6인승의 ET3의 경우 최소 120kg의 초경량 제작이 가능함

○ Tubeway의 경우에는 자체적인 추력을 가지는 구동유닛의 경우 1.3ton의 중량을 가지며, 구동유닛에 의해 유도된 기류에 의해 이동하는 일반유닛의 경우에는 약 300kg에서 600kg의 중량으로 설계됨

○ 모든 시스템에 있어 운영제어는 중앙컴퓨터에 의한 자동제어를 이용하는 것으로 추정됨

<표 3-2-7> 기존 튜브운송의 기술적 특징 비교분석

구분		CargoCap	TubExpress	ET3	Flextaxi	Tubeway
기술 개요		굴착기법 이용 지상공사 최소화, 추진·제어는 기존 기술 이용	기존 고속도로 지하에 콘크리트 튜브 선로 건설	진공튜브를 이용 주행저항 제거, 자기부상추진기술로 초고속 운송	지상고가에 튜브를 설치하여 조망성, 내진성 높임	공압추진시스템과 저마찰 코팅소재 이용
건설 장소		지하	지하, 해저	지상, 지하, 해저	지상 (도심 전력선 위)	지상
부상방식		반력지지	반력지지	자기부상	자기부상	반력지지 (직접접촉)
추진방식		휠+레일	휠+레일	LSM	LIM+공압추진	공압추진
튜브	형식	튜브+레일 무감속 분기부	튜브+평판레일	진공 튜브 무감속 분기부	지상고가 튜브	튜브+접촉식
	재료	철근콘크리트	콘크리트	강철	플라스틱	유리섬유
	직경	1.6m	2m	1.5m	2m	2.1m
	최대 곡선 반경	N/A	N/A	1,250m @400km/h, 1,950m @500km/h	N/A	N/A
캡슐	형식	유선형 전두부, 직경 200mm 휠	강철휠 4개 고무휠 4개	내경 1.3m, 두께 1.34mm	N/A	구동유닛 1개 + 일반유닛 60개
	중량	800kg	N/A	120kg	N/A	300~600kg 1.3t(구동유닛)
운영제어		중앙 컴퓨터 제어 + 차상 컴퓨터 (무선랜 제어)	중앙 컴퓨터 제어 (캡슐 속도 및 위치, 화물내용, 출도착점)	N/A	N/A	N/A
전력시스템		3400W(정속) 35000W(최고)	N/A	N/A	N/A	1450kw 3상 모터, 태양열 보조발전

3. 국외 기술수준 및 동향 분석

가. 국외 기술수준 분석

○ 국외 초고속 자기부상열차의 기술은 일본 RTRI의 EDS 시스템과 독 일 TRI의 EMS로 크게 구별되며 각각에 대한 기술의 수준은 실용화 또는 실용화 착수단계로써 기술적으로는 이미 완성단계에 이르렀음

○ 해당국가의 각 기술별 주요 연구 활동은 주로 시스템의 최적화 등에 있으며 관련 보유기술은 <표 3-2-8>과 같음

<표 3-2-8> 초고속 자기부상 열차의 기술분석

핵심기술명	국가명	기관명	기관분류	주요 연구 활동	보유기술의 spec
차량기술	일본	RTRI (Railway Technical Research Institute)	연	- 차체구조 : 초경량설계, 공기역학 특성개선 - 차상 제동장치 : 전력 회생 브레이크의 백업으로 설치 - 지지다리/안내다리 장치 : 부상하기 전까지 궤도를 따라 주행 - 전두부 설계, 탑재기기, 차체구조 : 공기저항을 줄이는 전두부 설계, 유압방식의 공기역학 제동장치 대신에 pop-up 방식의 공기역학 제동장치로 경량화 실현, 승차감 및 소음저감을 위한 설계	
초전도 마그네트	일본	RTRI (Railway Technical Research Institute)	연	- 저온 초전도 코일 : NbTi 극세다심선을 동 모재로 제작, 하나의 초전도 마그네트는 4개의 초전도 코일로 구성되어 있으며, 액체 헬륨과 질소에 의해 초전도 상태 유지됨 - 차량탑재 냉동시스템 : 액체헬륨(-269°C)와 액체질소(-196°C)의 무보급화를 실현 - 고온 초전도 코일 : 초전도 상태를 유지하기 위한 액체헬륨과 액체질소가 필요하지 않으며, 직접 냉동시스템과 연결됨	
궤도구축 기술	일본	RTRI (Railway Technical Research Institute)	연	- 신방식 가이드웨이 : 초고강도 섬유강화 콘크리트 사용, 기존 철근 콘크리트 대비 40% 중량감소 이룩, 제작 및 설치 비용도 감소 - 신형 지상코일 : 기존 2층 구조 추진코일을 단층구조로 설계변경, 60° pitch로 배열된 부상/안내 코일을 120° pitch로 배열하여 경비절감 → PLG(Propulsion Levitation and Guidance) 코일로 단일화 - 분기장치 : 저속 및 고속 주행용 분기장치 개발 - 터널 진입 덮개 : 구멍 뚫린 판을 사용한 공기진동 감소	

<표 3-2-8> 고속 자기부상 열차의 기술분석(표 계속)

핵심기술명	국가명	기관명	기관분류	주요 연구 활동	보유기술의 spec
차량기술	독일	TRI (TransRapid International)	산	- 2차현가장치 : 16단계로 제어되는 공기압 스프링으로 구현 - 승압변환기, 선형발전기 : 차량이 운행하는 동안 차량의 전력은 선형발전기로 공급받으며, 임의의 속도에서도 일정한 주파수와 전압을 위해 승압변환기가 장착 - 부상 및 안내 chopper : 높은 동적 특성을 가진 최대출력 48kW의 2상한(two -quadrant) 트렌지스터 초퍼를 가지며, 샘플링 주파수는 100kHz임 - 마그네트 제어루프 : 마그네트의 전류, 가속도 및 공극을 입력으로 하는 제어기의 출력을 이용하여 초퍼를 통해 적절한 마그네트 전류를 내보냄 - 부상 및 안내 마그네트 : 누설자속을 줄이면서 하중 대비 부상력이 높은 마그네트를 개발 - 센서 : 간극을 계측을 위한 Gap 센서	
궤도구축 기술	독일	TRI (TransRapid International)	산	- 추진시스템 : 지상고정자 형식의 선동동기전동기 - 분기장치 : 강재의 굽힘형 분기기	
차량개발	일본	CHSST	산	- 중저속형 자기부상열차 개발 및 시험	- 실용화 최고시속 100km/h
부상/추진 시스템	독일	Braunschweig 대학	학	- 중저속형 자기부상열차 개발 및 시험	- 상전도 부상/LIM 추진

○ 일본의 EDS 방식 초고속 자기부상열차 기술 실용화를 위해 Chuo Shinkansen Project가 진행중이며 동경과 오사카 구간을 시속 500km/h로 주행하여 여행시간이 70분정도 예상됨

○ 독일에서는 EMS방식의 초고속 자기부상열차 실용화를 위해 Berlin-Moscow, Berlin-Kiev, Berlin - Budapest, Berlin - Prague - Vienna - Bratislava- Budapest의 노선에 대하여 검토되었으나 재정 등의 문제로 첫 상업화는 중국 상하이에서 이루어졌음

<표 3-2-9> 주요국의 해당기술 관련 정책·프로그램 및 프로젝트 내용(연구비 포함)

국가명	정책·프로그램·프로젝트명	주요 내용
일본	Chuo Shinkansen Project	- 노선길이 : 290km - 운행속도 : 500km/h - 2025년 완공 예정 - 건설이용 : 40조원
유럽 (Transrapid EU에 의해 수행)	Berlin - Warsaw(Moscow)	- 예상수송시간 : 4시간45분 - 노선길이 : 1,850km - 예상수송량 : 320억명 · km/년 - 예상건설비 : 210억 유로
	Berlin - Cracow(Kiev)	- 예상수송시간 : 4시간06분 - 노선길이 : 1,500km - 예상수송량 : 210억명 · km/년 - 예상건설비 : 182억 유로
	Berlin - Budapest(Thessaloniki)	- 예상수송시간 : 6시간20분 - 노선길이 : 2,000km - 예상수송량 : 320억명 · km/년 - 예상건설비 : 270억 유로
	Berlin - Prague - Vienna - Bratislava- Budapest	- 예상수송시간 : 2시간58분 - 노선길이 : 950km - 예상수송량 : 108억명 · km/년 - 예상건설비 : 148억 유로
일본	HSST 개발	- 1985년 50인용 HSST-03 완성 - Tsukuba 과학엑스포에서 전시
일본	동부구릉선 자기부상열차	2005년 3월 개통 (8.9km / 1,032억엔 소요)

○ 일본 및 독일에서 각 기술별 최고의 기술 보유가 가능했던 것은 무엇보다도 국가의 지속적인 연구비 지원, 풍부한 전문인력과 정보·인프라, 산학연의 활발한 협력이 있었기 때문임

<표 3-2-10> 최고 기술보유국의 높은 기술수준 원인

핵심 기술명	최고 기술 보유 국명	최고기술보유국의 높은 기술수준 원인							종합 의견
		전문 인력 풍부	연구 자금 풍부	정보· 인프라 풍부	제도· 정책 지원 풍부	산·학·연 협력 활발	국제 협력 활발	기타 중요 원인	
차량 기술	일본	O	O	O		O		O	오랜 연구 기간과 자금투입
차량 기술	독일	O	O	O		O		O	
초전도 마그네트	일본	O	O	O		O		O	
궤도 구축 기술	일본	O	O	O		O		O	
궤도 구축 기술	독일	O	O	O		O		O	
차량 (하위 시스템 포함)	일본	지속적인 연구 인력 배출	8.9km 구간에 1000억 엔의 비용 투입	30년의 연구기간으로 인한 다양한 인프라 구축		산학연 연구 체계 확립		정부의 지원	전분야 세계최고 기술 확보
차량 (하위 시스템 포함)	독일	지속적인 연구 인력 배출		30년의 연구기간으로 인한 정보 풍부		산학연 연구 체계 확립		초고속 자기부상열차 수준 높음	핵심기술 분야 전문인력 확보

나. 국외 기술동향 분석

□ 대형 터널 관련 기술동향

○ 터널 시공법에는 크게 발파 굴착공법과 기계굴착(Shield) 공법이 있으며 갱구부 및 계곡부 개착부분이나 터널과 터널사이의 연장이 짧아 터널로 연장시키기 위해 지반을 굴착하고 구조물을 설치하는 개착터널이 있음

- 튜브 트레인의 경우 지하나 해저, 하저를 통과하는 경우 굴착공법으로 시공하여야 함

- 터널 내공의 크기는 굴착기계의 크기와 성능에 좌우함

- 성수~청담 간 지하철 분당선 하저터널은 한강 수면에서 50m 아래에 시공되어 대기압의 5배에 달하는 하중을 받고 있는 하저터널임에도 쉴드공법으로 시공되어 누수현상은 보이지 않으며, 경암층임에도 쉴드공법으로 시공이 가능하였음

○ 해외의 경우 20km 이상의 장대터널이 있지만, 국내에도 최근 굴착공사가 마무리된 영동선 동백산역과 도계역 사이의 솔안터널이 16.2km 이며 특히 급경사 지역을 통과하기 위해 직선이 아닌 원형으로 굴착되었음

- 국내 터널 설계·시공기술은 이미 선진국에 근접하여 있으나 다만 굴착기계는 해외기술에 의존하고 있음

○ 거대한 콘크리트 터널 함체를 지상에서 제작하여 바다에 가라앉혀 정한 위치에 고정하여 터널을 시공하는 공법

- 세계 최장의 국내최초 거가대교 침매터널이 시공되고 있음

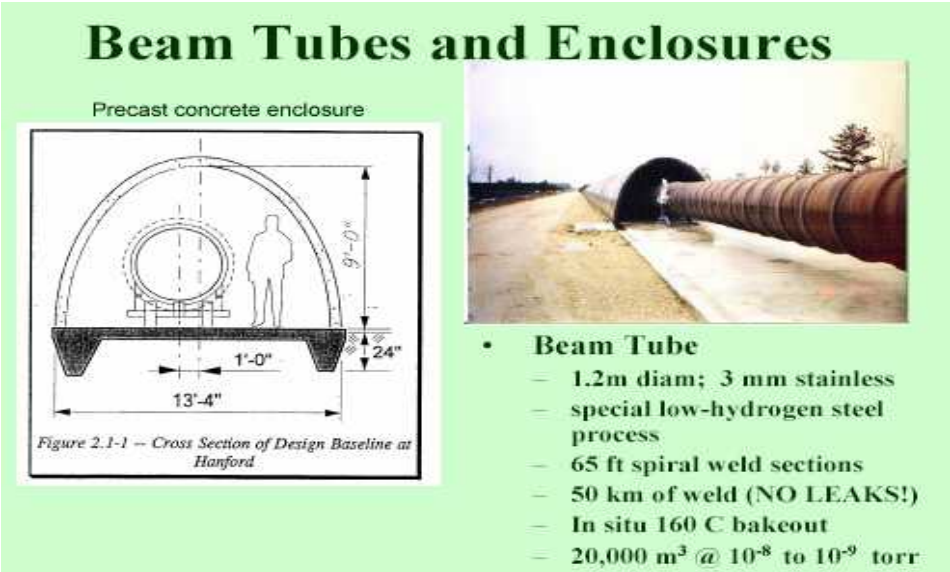
○ 튜브 트레인으로 고려되어야 할 터널의 특징으로는 지하, 하저, 해저에 시공되는 경우는 일반터널과 크게 다르지 않을 것이며, 다만 기밀성을 확보하기 위해 콘크리트 라이닝 사이에 스틸라이닝 등을 고려할 필요가 있음

○ 지상에 고가구조물로 튜브가 설치되는 경우 하중 경감을 위해 콘크리트가 아닌 경량재료를 활용할 필요가 있으며, 대기압에 저항할 수 있도록 특수구조나 재료를 선정해야 함

□ 진공튜브 인프라 기술 동향

○ 현재의 산업에 적용 가능한 최대 진공도는 10-10Pa 정도로서 입자가속기, 간섭계(Interferometer) 등의 물리학 실험시설에 사용되고 있음

- 미국 Caltech 산하 LIGO Hanford Observatory의 중력파 레이저 간섭계의 경우는 직경 1.2m의 강철 튜브를 10-8~10-9torr (1.333×10-6~10-7Pa)까지 낮추는 기술을 이용하고 있음



[그림 3-2-22] LIGO Hanford Observatory의 중력파 레이저 간섭계

○ 튜브 트레인 시스템에 필요한 진공도는 0.01~0.1기압(1,000Pa~10,000Pa) 으로서 현재의 기술 수준으로 볼 때 달성 가능성이 매우 높은 기술임

- SWISSMETRO의 경우 튜브 트레인 시스템의 기술적 혁신의 관건은 진공도를 얼마나 낮추는 것이 아니라 작고 효율적인 시스템의 규모와 진공 환경에서 승객들이 여행하게 된다는 사실에 있다고 밝히고 있음

□ 국외 초고속 자기부상철도 산업 동향

○ 독일은 세계 최초로 중국에 초고속 철도 영업노선을 건설 개통

- 2001년 1월 계약 후 3월에 착공, 20여개월 만인 2003년 12월 31일 개통

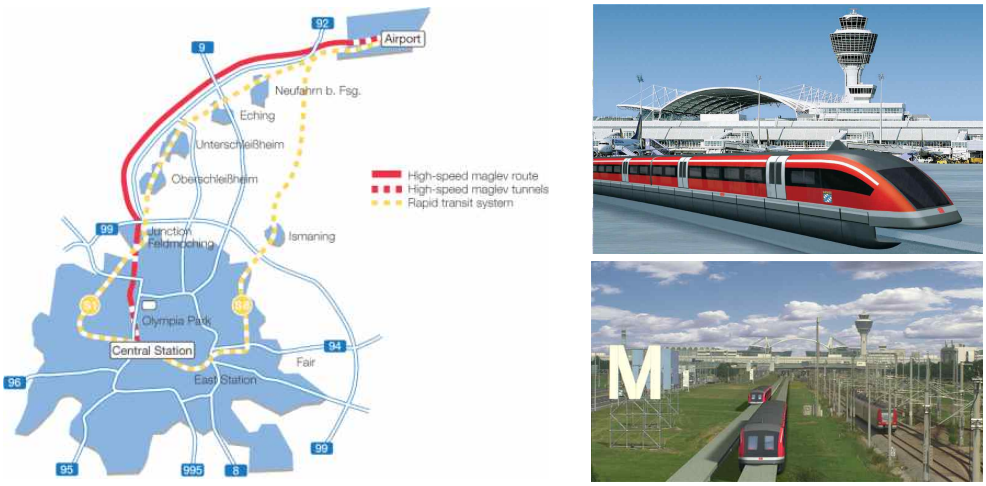
- Shanghai～Pudong공항간(30km, 복선) 최고운행속도 430km/h 주행

- 영업철도로서 세계 최고속도(581km/h) 기록

○ 독일은 자국 실용화에 앞선 해외수출로 기술유출·시장분할 등 우려

- 기술 종주국으로서 세계 시선집중 및 기술과시, 실용화 등 지속 추진

- Munich공항 접근선으로서 실용화 프로젝트를 추진하였음



[그림 3-2-23] Munich 프로젝트 노선 및 차량 개념도

○ 일본은 도쿄-오사카 구간을 500km/h로 연결하는 초고속 추오신간선 실용화 건설계획 발표 (2025년 완료 목표)

○ 중국은 초고속철도 건설 및 기술이전을 위한 전문 조직(SMTDC)을 구성하고, 선로(guideway)분야 기술을 독일로부터 완전 이전받았음

○ 현재의 Shanghai 초고속 노선을 Hangzhou까지 최고 운행속도 450km/h의 연장건설(2단계, 145km)을 계획 중이며, 차량, 운영 분야 기술이전을 협상중임

○ 미국의 경우 2008년 6월 초 부시 미국대통령이 미국 최초 초고속철도 노선(캘리포니아 구간, 시속 500km) 건설을 위한 4,500만 달러 예산을 승인함

○ 캘리포니아 애너하임과 네바다 라스베가스 구간의 경우, 3년의 연구기간 종료 후 120억 달러의 건설비용을 투자할 예정임

○ 자기부상열차와 관련성이 높은 철도차량 시장 및 고속철도 선로 현황은 아래와 같음

<표 3-2-11> 세계철도차량시장구조(2001/2002년 매출액 기준)

구 분	시장규모(US$ Billion)	점유율(%)
Alstom	4	16
Bombardier	4.5	18
Siemens	3.5	14
Ansaldobreda	1	4
GE	2.25	9
GM	1.75	7
일본철도차량회사	2.25	9
중국철도차량회사	1.5	6
로템(주)	2.5	10
기타	1.75	7
합계	25	100

<표 3-2-12> 대륙별 고속철도 선로현황(UIC, 2001년)

분 류	길이(km)			
	total	operational	on work	project
Europe	7,329	3,039	2,556	1,734
Asia	4,811	2,175	273	2,363
World	11,740	5,214	2,680	3,846

제3절 국내 기술 동향 분석

□ 국내 초고속 자기부상철도 기술 개발 현황

○ 국내에서는 초고속 철도기술에 대한 연구가 일부 추진되었으나 현재까지 구체적인 연구실적은 없음

- 1998~1999년 자기부상열차 개발 기초연구(철도연 수행) 등으로 기술 내용·동향 파악
- 2005년부터 2008년까지 초고속 자기부상열차 부상·추진 기술 연구 진행중(기계연 수행)
- 2006 자기부상철도 기술기반 연구(철도연 수행)와 함께 2007년부터 5개년 계획의 튜브 운송 기술 연구(철도연 수행)를 통한 개념설계 진행 중
- 그 외 초고속 자기부상철도 요소기술 연구(철도연 수행), 초고속 철도 핵심기술개발 기획(철도연 수행), 초고속 튜브 트레인 시험설비 구축방안 기획(철도연 수행) 등 진행 중

○ 2005년 중반, 철도기술 중장기계획 수립과 함께 초고속 자기부상철도에 대한 기술로드맵 연구에 착수하여 완료 (건교부)

- 경전철형 중저속 자기부상열차 개발(과기부 주관) 이후 실용화모델 개발(산자부 주관)
- 도시형 중저속 자기부상철도 실용화사업 추진 중 (건교부 주관)
- 세계적인 초고속 철도 개발 동향에 따라 관련 기술로드맵 정비

○ 국내에서는 철도기술연구원, 기계연구원에서 초고속 자기부상열차 핵심요소기술에 대한 연구를 수행하고 있으나, 기술 검증 및 실용화 기술에 대한 연구개발은 아직 시작조차 못하고 있는 수준에 머무르고 있음

○ 우리나라의 해당기술 관련 정책·프로그램 및 프로젝트 내용은 다음과 같음

<표 3-3-1> 국내 관련계획 및 기술개발 현황

정책·프로그램명	주요 내용
제4차 국토종합계획 수정계획 (2006-2020), 대한민국정부	전국주요도시에서 행정중심복합도시까지 2시간 이내에 접근할 수 있는 교통체계를 구축
국가철도망구축계획 (2006~2015), 건설교통부	안전성과 친환경성 및 쾌적성 등을 향상시켜 인간과 환경 중심적 교통수단으로서 역할을 강화 고속철도는 설계속도 370km/h이상, 주요 간선철도는 설계속도 200 km/h 이상으로 고속화하여 다른 교통수단과의 경쟁력을 대폭 강화
Top Brand	초고속 자기부상열차 개념설계
전문연구사업	초고속 자기부상열차 부상 추진 핵심요소기술 개발
과기부 국책연구	상전도 선형유도추진방식의 UTM-01 개발
산자부 중기거점	과학관 노선의 UTM-02 개발
국토해양부 실용화사업	110km/h급 자기부상열차 개발 및 인천공항 시범노선 건설 (4,500억원)

○ 우리나라가 보유한 기술수준 달성원인 및 최고기술 대비 격차발생 원인

핵심 기술명	세계 최고 대비 기술 수준 (%)	우리나라의 기술수준 달성원인 및 최고기술대비 격차발생 원인						
		전문 인력 규모	연구 자금 규모	정보·인프라 구축정도	제도·정책지원 구축정도	산·학·연 협력 정도	국제 협력 정도	기타 중요 원인
차량시스템 기술	50%	O	O	O		O	O	
신호통신 및 운행제어 기술	70%		O	O		O		
전력시스템 기술	70%	O	O	O		O	O	
궤도 및 선로건설기술	50%	O	O	O		O		
시스템엔지니어링기술	30%	O						
종합	46%	일본의 65%이내 수준	90년 초 이후 연구개발비 약 200억원 투입	시험선 확충 필요	지속적인 지원 미흡	긴밀한 협력체계 보유	미흡	관련 산업 기술 수준 열위
종합의견	- 바퀴식 고속철도 기술과 도시형 자기부상열차 기술 개발을 경험으로 극복 가능 - 요소기술 및 인프라 확충을 위한 투자 필요							

□ 연구수행을 위한 인프라 및 기반역량 분석

○ 국내 기술보유기관 및 주요 연구 활동

핵심기술명	기관명	기관분류	연구자명	주요 연구 활동
부상·추진 기술	기계연	연	성호경외	초고속 부상 및 추진 시스템 설계
	충남대	학	장석명외	고속 선형전동기 설계 및 제어
	철도연	연	이형우외	부상 및 선형전동기 설계 및 제어, 적용
차량기술	(주)로템	산	김국진외	도시형 자기부상열차 차량시스템 개발 경험
	철도연	연	김기환외	350/400 km/h급 고속철도 시스템 개발
	철도연	연	목재균외	바이모달 수송시스템 개발
	철도연	연	한성호외	틸팅열차 시스템 개발
	철도연	연	김길동외	차세대 전동차 연구개발
	철도연	연	류상환외	한국형 경량전철 시스템 개발
시스템 통합	철도연	연	김기환외	350/400km/h 급 고속철도 시스템 통합
	철도연	연	한성호외	틸팅열차 시스템 통합
	철도연	연	목재균외	바이모달 수송시스템 통합
	철도연	연	류상환외	한국형 경량전철 시스템통합
	철도연	연	김길동외	차세대 전동차 시스템 통합
	기계연	연	김동성외	도시형 자기부상열차 시스템 엔지니어링
튜브기술	철도연	연	권혁빈외	튜브운송시스템 기술 분석 및 개념설계
노선·궤도	철도시설공단	산	류승균외	도시형 자기부상열차 시스템 선로 구축
	철도연	연	양신추외	350 km/h급 고속철도 선로구축물 기술개발

○ 초고속 튜브 트레인 구축을 위한 각 요소기술의 기술수준은 평균 40% 수준

- 전문 인력 보유 50% 이하, 인프라 구축정도 또한 30% 이하

- 연구 인프라 및 역량의 보강이 필요한 분야임

세부항목	기술수준 (%)	전문인력 보유정도(%)
시스템 엔지니어링 기술	30	20
차량 시스템 기술	60	50
튜브 기술	20	20
신구조 공법 및 첨단시공기술	60	60
신호 제어 및 운영 기술	40	30
전력 시스템 기술	70	70
유지보수 및 설치 기술	10	10
시험 및 평가 기술	30	20

□ 선진국 대비 우리나라의 경쟁력 분석

○ 우리나라 튜브 트레인 기술의 국제경쟁력

핵심 기술명	세계최고 현황	세계최고 기술의 발전단계	국내 현황	국내 기술의 발전단계	기술 수준 (%)
차량시스템 기술	독일, 일본	성숙기	흡인식, LSM/LSRM 연구 중	개발기	50
신호통신운행제어 기술	독일, 일본	성숙기	도시철도 중심 연구 중	개발기	70
전력시스템 기술	독일, 일본	성숙기	비접촉 전력공급장치 연구 중	개발기	30
궤도 및선로건설 기술	독일, 일본	성숙기	km 당 비용을 줄이는 연구	개발기	50

○ 독일, 일본이 주도하고 있는 초고속 자기부상철도 기술은 선진국이 월등히 앞서 있는 상황임

○ 그러나 독일 시스템은 고가이며, 일본 시스템은 초전도기술이 접목되어 기술완성 및 실용화가 비교적 요원한 실정이며, 미국 또한 초전도기술 및 영구자석을 이용한 다양한 시스템 개발이 이루어지고 있으나 주로 도시형에 주력

○ 중국의 경우 상기 제시된 모든 시스템에 대한 연구개발의 추진과 함께 가장 위협적으로 기술개발에 매진하고 있으나, 이보다 앞선 기술완성 및 실용화를 통하여 우리나라의 경쟁력 확보가 가능할 것임

○ 튜브 시스템은 미국, 스위스, 러시아 등에서 개념도출 및 시험이 있었으나 시스템 구현·적용에 실패함에 따라 이 분야 기술 확보로 새로운 철도기술 및 시장에 대한 블루오션으로 부각됨

항목 / 기술명	인력보유 정도	자금지원 수준	연구개발시스템 (설비, 장비, 체제 등)	기타 고려사항
시스템 엔지니어링 기술	아주 낮음	아주 낮음	낮음	도입단계
차량 시스템 기술	보통	높음	높음	한국형 고속전철 기술개발 경험
튜브 인프라 기술	높음	보통	보통	기술수준 높음
신구조 공법 및 첨단시공기술	보통	낮음	보통	설계기준 개발 필요
신호 제어 및 운영 기술	낮음	보통	낮음	한국형 기술 시스템개발 필요
전력 시스템 기술	높음	보통	보통	기술수준 높음
유지보수 및 설치 기술	낮음	보통	낮음	실용화 기술수준 낮음
시험 및 평가 기술	보통	보통	보통	

□ 국내 초고속 철도산업 동향

○ 국내 초고속 철도시장은 현재 최고운행속도 300km/h의 고속열차인 KTX가 개통된 지 4년여 정도 되어, 비교적 최근에 고품질의 수송 서비스가 제공되기 시작하였음

○ 400km/h 이상의 초고속 수송 서비스가 요구되기까지는 많은 시간이 소요될 것으로 예상되나 이미 시작된 고품질 수송서비스 및 해외 초고속 추세로 인한 국내 철도시장은 점점 초고속화로 변화될 것으로 예상됨

○ 특히 남북통일, 또는 중국·러시아를 거쳐 유럽대륙으로 연결되는 철도개발과 함께 대량 고속 수송의 요구가 증폭될 것으로 예상되며, 지역간 초고속 연결로 거대 경제권역의 형성과 함께 전국 반일생활권 추구 등의 요구에 따르는 초고속 철도의 시장이 형성될 것으로 예상됨

제4절 관련 기술의 특허 분석

1. 튜브 트레인 시스템 기술트리

○ 튜브 트레인 기술의 실현을 위해서는 다음과 같은 핵심기술이 요구됨

- 튜브 트레인 설계기술 : 튜브 트레인 시스템은 튜브 또는 터널 내의 압력을 낮추어 공기저항을 줄이는 것이 본질적인 기술적 특성이므로, 최소의 에너지 또는 비용으로 튜브 트레인이 진공튜브 내에서 초고속으로 주행할 수 있도록 튜브 내의 진공도, 튜브와 열차의 단면적 크기, 열차의 공기역학적 형상 등을 결정하는 공기역학적 설계기술은 튜브 트레인의 전반적인 시스템 성능과 경제성을 좌우하는 본질적인 기술에 해당

- 진공튜브인프라 기술 : 튜브 트레인이 고속으로 주행하기 위해서는 지상과는 다른 진공의 상태를 유지하여야 하기 때문에 안전하고 비용-효율적으로 진공 또는 저진공을 생성, 유지하는 튜브, 역사, 진공펌프와 비상시에 신속하게 공기를 공급하는 안전설비 등 튜브인프라의 설계 및 건설기술이 필수적으로 요구됨

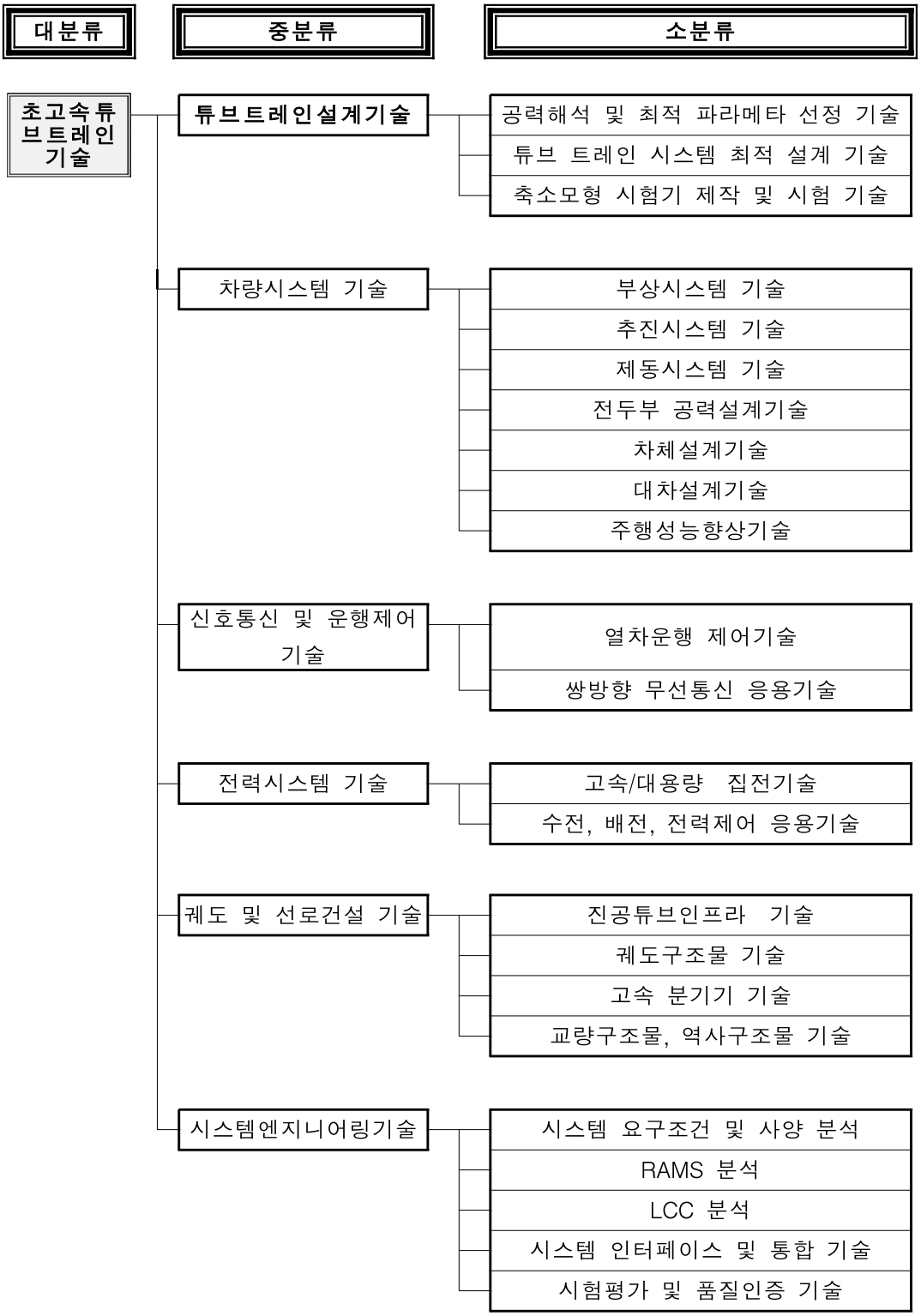
- 자기부상 및 추진 기술 : 튜브 트레인이 요구하는 초고속 주행을 위해서는 리니어 모터를 이용한 추진기술과 상전도 또는 초전도 방식을 이용한 부상 및 안내 기술이 필수적으로 요구되는데, 기존의 초고속 자기부상열차에 사용되는 LSM 추진 기술 및 전자기 부상기술을 응용하여 좁은 튜브 내의 공간에 적용할 수 있도록 하는 초고속 자기부상 및 추진 장치의 설계기술이 요구됨

○ 이상의 핵심기술과 함께 튜브 트레인 시스템에 요구되는 기술들은 다음과 같음

- 튜브 트레인의 서브시스템 별로 차량시스템 기술, 신호통신 및 운행제어 기술, 전력시스템 기술, 궤도 및 선로건설 기술이 필요함

- 전체 프로젝트를 체계적이고 효율적으로 관리할 수 있는 시스템 엔지니어링 기술이 요구됨

- 이러한 사항들을 종합적으로 고려한 튜브 트레인 기술의 전체 기술트리는 아래와 같음



[그림 3-4-1] 튜브 트레인 시스템 기술트리

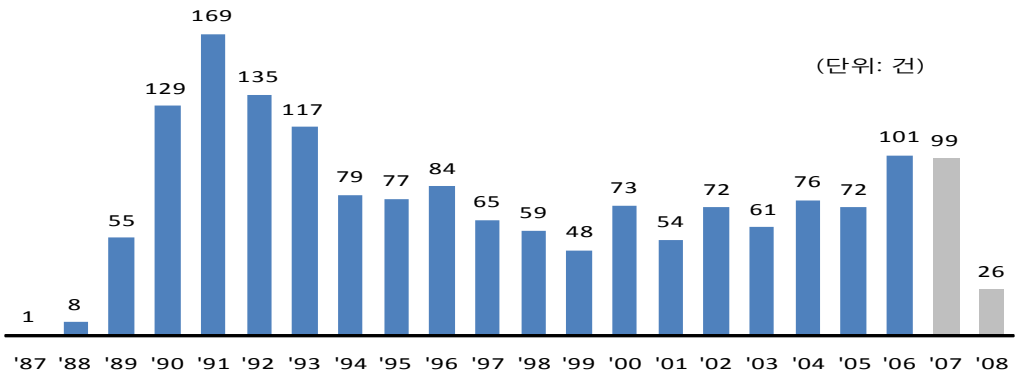
2. 특허 내용 분석

가. 자기부상

(1) 연도별 출원 현황

○ 자기부상에 관련된 기술은 1990년대 초반 특허 출원이 가장 활발하였고 2000년대 초 감소하다가 최근 다시 특허 출원이 활발히 진행되고 있음

- 1987년 자기부상 관련 특허 출원이 시작되어 최근까지 꾸준하게 특허가 출원되고 있음

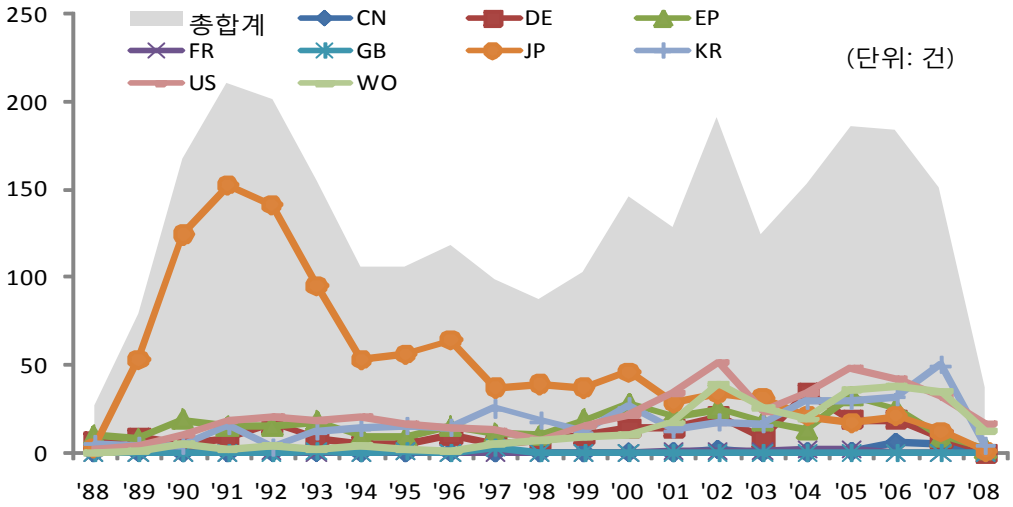


주1) '07~08 년 데이터는 특허 출원 후 공개되기까지 시간이 소요되므로 실제 특허 건수보다 적을 수 있음
주2) 특허패밀리 수(1665건)

[그림 3-4-2] 자기부상 관련 특허의 연도별 출원 현황

○ 1990년 초반 일본에 많은 특허가 출원되었으며 최근에는 미국과 한국, PCT 출원이 활발함.

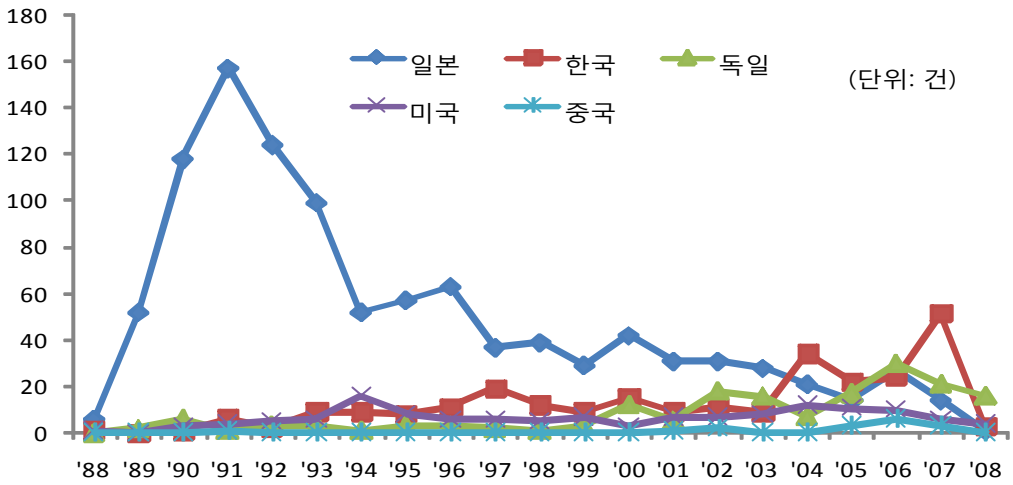
- 전체 특허수의 경우 1990년대 초반과 2000년대 후반에 큰 차이는 없으나 90년대 초반에는 일본에 특허출원이 집중되었고 2000년대 후반에는 일본 외 세계 각국의 여러 나라에서 비슷하게 특허를 출원하는 경향을 보임



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

[그림 3-4-3] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 현황

○ 출원인 국적별로 자기부상 관련 특허를 살펴보면 90년대 초반 일본의 특허 출원이 활발히 진행되었으며 최근에는 한국과 독일의 특허 출원이 상대적으로 활발히 이뤄지고 있음

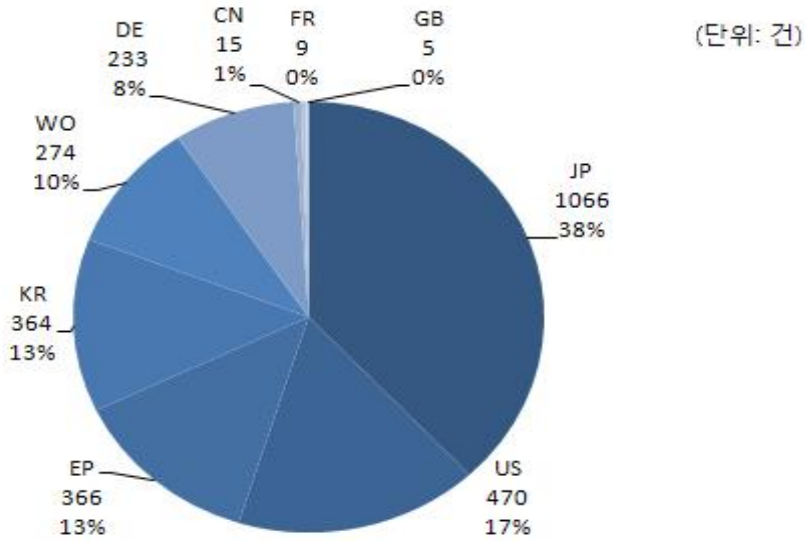


주) 특허패밀리 수(1665건)

[그림 3-4-4] 자기부상 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황

(2) 국가별 출원 동향

○ 자기부상 기술의 도메인별 특허 출원건수를 살펴보면, 일본, 미국, 유럽, 한국에 특허 출원이 활발히 진행되고 있음

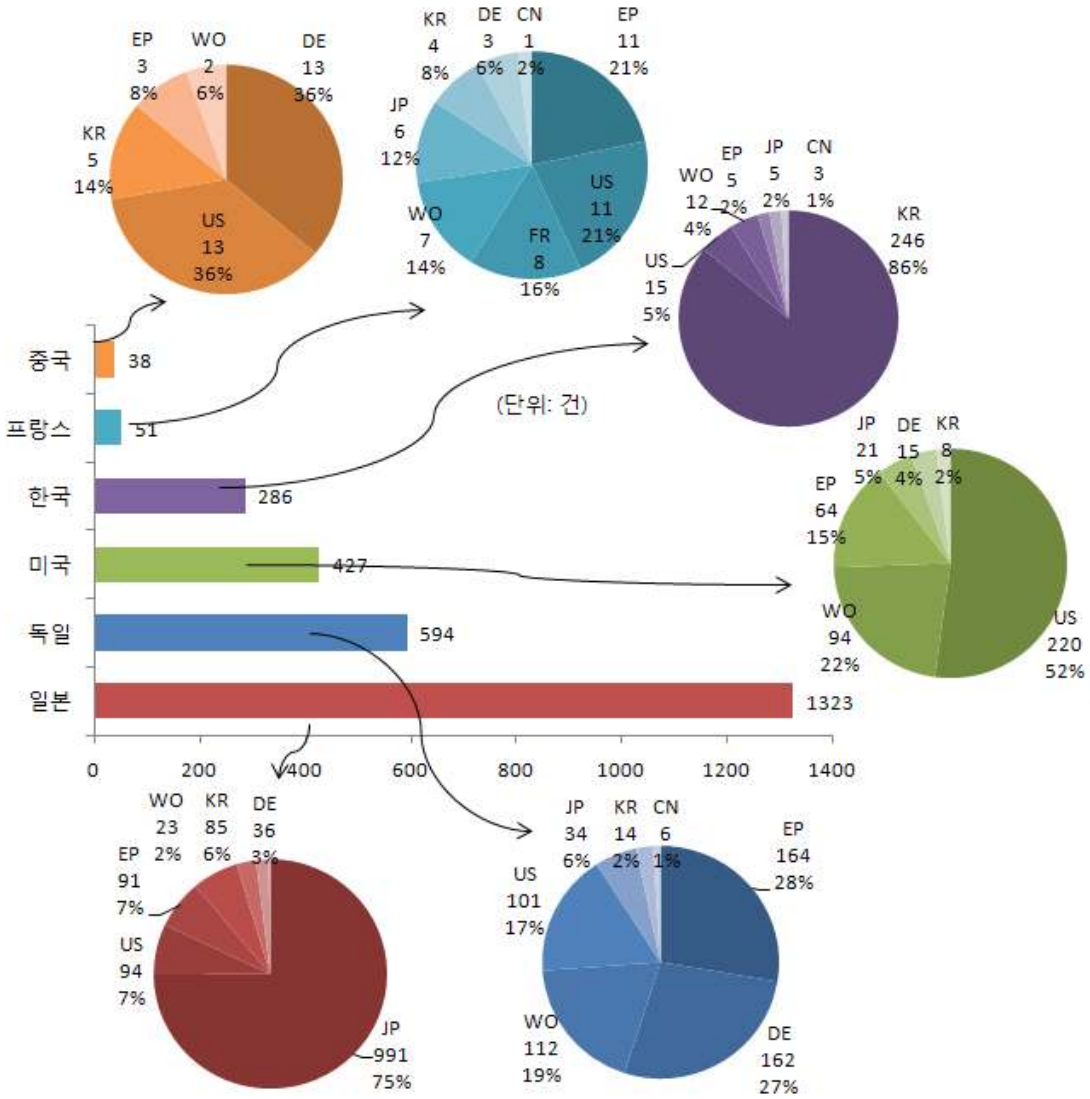


주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

[그림 3-4-5] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 비율

○ 출원인 국적별로 자기부상 관련 특허의 출원 현황을 살펴보면 가장 많은 특허를 보유한 일본의 경우 일본에 75%에 달하는 특허를 자국에 출원함

- 독일은 유럽특허청과 독일특허청, WIPO에 특허를 다수 출원함
- 미국은 52%의 특허를 미국 자국에 출원하였으며 WIPO와 유럽에도 다수 출원함
- 한국은 전체 특허 출원의 86%에 달하는 특허를 한국특허청에 출원하고 있어 세계 다른 국가로의 지재권 획득 전략이 이뤄져야 할 것으로 분석됨
- 프랑스는 유럽 특허청과 미국 특허청에 많은 특허를 출원함
- 중국은 중국내 특허 출원 보다 독일과 미국에 특허를 다수 출원하였으며 한국에도 14%의 특허를 출원함



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

주2) 원형 그래프는 선형 그래프의 해당 국적 출원인이 어떤 도메인에 특허를 주로 출원했는지를 나타냄

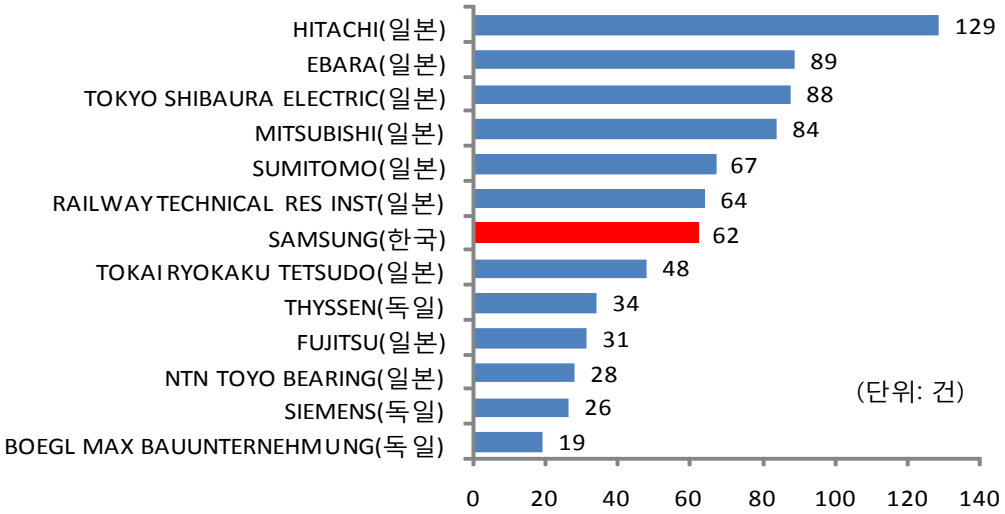
[그림 3-4-6] 자기부상 관련 특허의 국가별 출원 현황

(3) 출원인별 출원 동향

○ 일본의 HITACHI에서 가장 많은 129건의 특허를 출원하였고 특허 출원 상위권 대부분이 일본 기업으로 나타남

- 자기부상 전반에 관련된 특허를 검색하였기 때문에 자기부상열차 관련 특허 외에 하드디스크 등 리코더 관련 특허 등도 많이 검색됨

- 한국 기업인 삼성은 자기디스크 등 하드디스크 관련 자기부상 특허가 대부분을 차지함

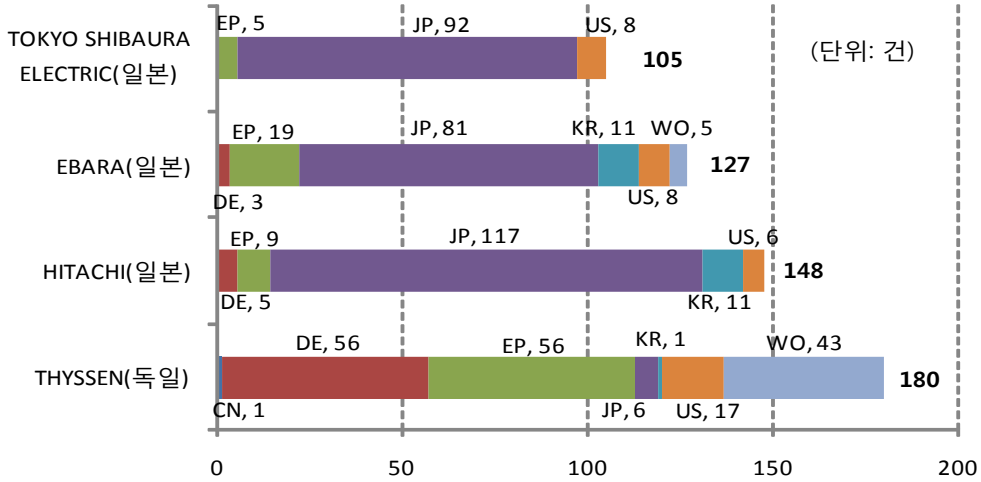


주) 같은 모기업 하에 있는 다른 회사의 경우 하나의 명칭으로 통일함

[그림 3-4-7] 자기부상 관련 특허의 출원인별 출원 현황

○ 자기부상 관련 가장 많은 출원을 진행한 기관의 출원 현황을 살펴보면 독일 THYSSEN에서 가장 많은 특허를 출원하였고 독일, 유럽, PCT 등 출원이 활발함

- HITACHI, EBARA 등 일본기업은 대부분 일본에 특허 출원을 하고 있음
- THYSSEN의 경우 패밀리특허를 1개로 셈하여 분석하면 9위에 불과하나 패밀리 특허를 모두 합하면 1위에 랭크됨



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

[그림 3-4-8] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황

○ 자기부상 관련 특허의 상위 출원인은 HITACHI, EBARA 등 일본기업으로 나타났으며 연평균 피인용도가 높아 질적으로 우수한 특허를 보유하였다고 판단되는 기관은 HUGHES AIRCRAFT, IBM 등으로 나타남

- 상대적으로 자기부상 열차 관련 특허 보다 자기디스크 분야의 피인용도가 높은 것으로 나타남

- 개인 출원인의 연평균 피인용도가 상대적으로 높음

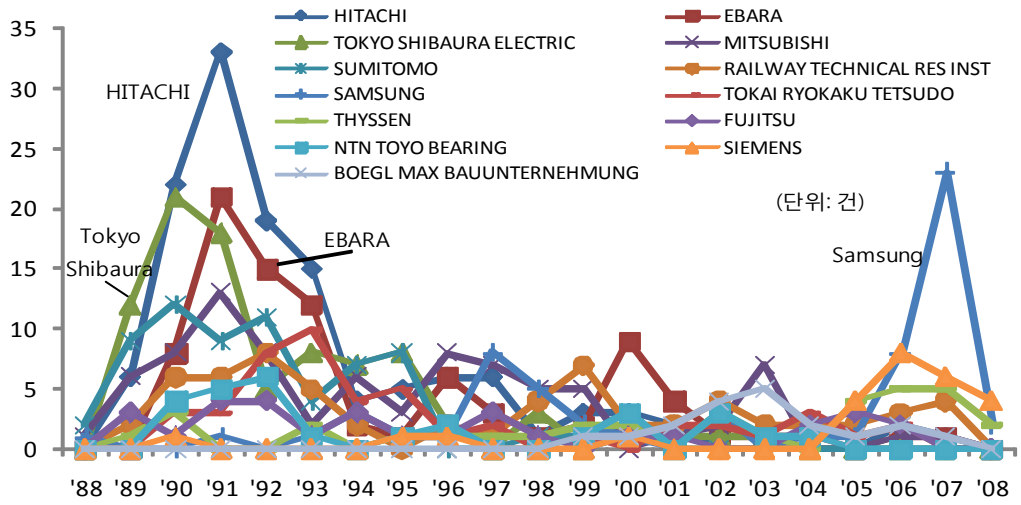
<표 3-4-1> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
HITACHI	129	HUGHES AIRCRAFT CO	7.33
EBARA	89	MILLER; KENNETH C	3.87
TOKYO SHIBAURA ELECTRIC	88	BERGSTROM GARY	3.33
MITSUBISHI	84	IBM	2.43
SUMITOMO	67	SATCON TECHNOLOGY INC	1.92
RAILWAY TECHNICAL RES INST	64	STULL; MARK A	1.86
SAMSUNG	62	SVENSSON; EINAR	1.83
TOKAI RYOKAKU TETSUDO	48	PARK SQUARE TECHNOLOGY LTD	1.54
THYSSEN	34	EUV LLC	1.44
FUJITSU	31	SUPPES GALEN J	1.28

주) 질적 지표로 연평균피인용도를 활용하였으나 절대적인 지표는 아님

○ 출원인별로 특허 출원 추이를 살펴보면 1990년대 초에 HITACHI, EBARA, TOKYO SHIBAURA ELECTRIC의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 EBARA, RAILWAY TECHNICAL RES INST 등 일본 출원인의 특허 출원이 활발함

- 2000년대 후반에는 한국의 삼성에서 자기부상 관련 특허를 다수 출원함



주) 특허패밀리 수(1665건)

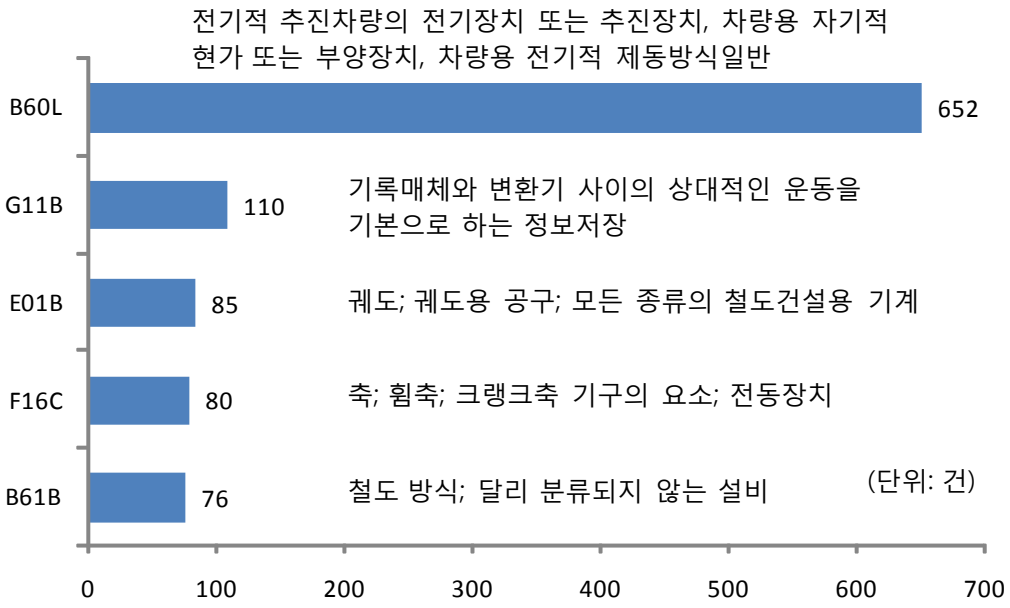
[그림 3-4-9] 자기부상 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이

(4) IPC 분류별 출원 동향

○ 자기부상 관련 특허들을 국제특허분류(IPC) 별로 구분하면 B60L이 대부분을 차지함

- B60L은 전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반에 관련된 IPC이며 자기부상 열차 관련된 분야임

- G11B는 기록매체와 변환기 사이의 상대적인 운동을 기본으로 하는 정보저장 관련 IPC로 하드디스크 등 자기디스크에 관련된 분야임



주) 특허패밀리 수 (1665건)

[그림 3-4-10] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황

(5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허, 패밀리특허가 많은 특허 등을 주요특허로 선별하였으며 2000년 이후 최근 특허는 모두 검토하여 연구팀에서 요청한 자기부상 관련 주요 특허를 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	US5146566A	IBM(미국)	Input/output system for computer user interface using magnetic levitation
2	US5445347A	HUGHES AIRCRAFT CO(미국)	Automated wireless preventive maintenance monitoring system for magnetic levitation (MAGLEV) trains and other vehicles
3	US5417537A	MILLER; KENNETH C(미국)	Wafer transport device
4	US6249418B1	BERGSTROM GARY(미국)	System for control of an electromagnetic actuator

NO.	특허번호	출원인	명칭
5	US5722326A	UNIV CALIFORNIA(미국)	Magnetic levitation system for moving objects
6	US5467718A	DAIFUKU KK(일본)	Magnetic levitation transport system with non-contact inductive power supply and battery charging
7	US5818137A	SATCON TECHNOLOGY INC(미국)	Integrated magnetic levitation and rotation system
8	US5473233A	STULL; MARK A(미국)	Electromagnetically propelled high-speed high-capacity transportation system for short-distance travel in urban and suburban areas
9	US5845581A	SVENSSON; EINAR(미국)	Monorail system
10	US6418857B1	AGENCY IND SCIENCE TECHN(일본)	Superconductive magnetic levitation transportation system
11	US6983701B2	MAGNEMOTION INC(미국)	Suspending, guiding and propelling vehicles using magnetic forces
12	US6044770A	PARK SQUARE TECHNOLOGY LTD(미국)	Integrated high speed MAGLEV system
13	US5093754A	SEIKO SEIKI KK	Control system for a magnetic levitation body
14	US20060152309 A1	MINTCHEV, MARTIN(미국)	Magnetic levitation of intraluminal microelectronic capsule
15	US7293506B2	ALSTOM(프랑스)	Structural system comprising a track for a magnetic levitation transport system powered by a linear electric motor
16	US6492067B1	EUV LLC(미국)	Removable pellicle for lithographic mask protection prothpro pro
17	US5094173A	HITACHI LTD(일본)	Superconducting magnetic levitated train, train system method of controlling the same, and superconducting coil for magnetic levitated train
18	US5146853A	SUPPES GALEN J(미국)	Compact magnetic levitation transportation system
19	US6286434B1	SIEMENS AG(독일)	Propulsion system for a magnetic levitation vehicle
20	US6374746B1	FISKE ORLO JAMES(미국)	Magnetic levitation transportation system and method

(6) 결론 및 시사점

○ 자기부상 관련 특허는 크게 자기부상열차 관련 자기부상원리에 대한 특허와 컴퓨터 및 기록장치인 하드디스크 및 자기디스크의 자기부상원리에 관련된 특허로 분류됨

○ 자기부상 관련 특허는 1990년 초반에 가장 활발히 출원되었다가 최근 다시 특허출원이 활발히 이뤄지고 있음

- 1990년대 초반에는 일본의 특허 출원이 대부분을 차지하였으나 최근에는 독일, 한국, 유럽 등 세계 각국에서 특허를 출원하고 있음
- 1990년대 HITACHI, EBARA, TOKYO SHIBAURA ELECTRIC의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 EBARA, RAILWAY TECHNICAL RES INST 등 일본 출원인의 특허 출원이 활발함

○ 자기부상 관련 특허를 가장 많이 보유한 일본의 경우 75%의 특허를 자국에 출원하고 있으며 HITACHI 에서 가장 많은 129건의 특허를 출원함

- 독일은 유럽특허청과 독일특허청, WIPO에 특허를 다수 출원하였으며, 미국은 52%의 특허를 미국에 출원하였으며 WIPO와 유럽에도 다수 출원함
- 한국은 전체 특허 출원의 86%에 달하는 특허를 한국특허청에 출원하고 있어 세계 다른 국가로의 지재권 획득 전략이 이뤄져야 할 것으로 분석됨
- 일본의 기업들과 같이 상위권에 랭크된 삼성의 경우 하드디스크의 자기부분의 부상 관련 특허가 많이 검색되었으나 자기부상열차 관련 특허는 아님
- 프랑스는 유럽 특허청과 미국 특허청에 많은 특허를 출원함
- 중국은 중국내 특허 출원 보다 독일과 미국에 특허를 다수 출원하였으며 한국에도 14%의 특허를 출원함

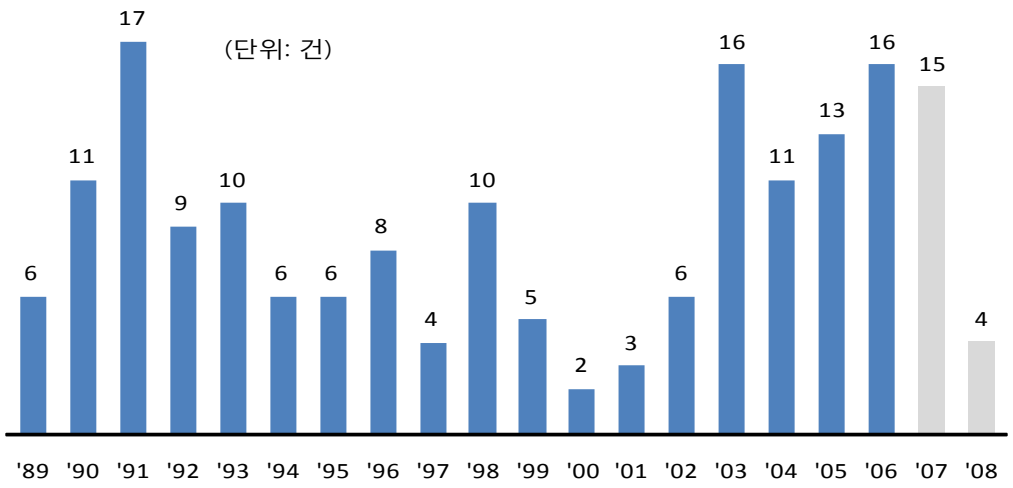
○ '전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반'에 관련된 IPC인 B60L에 포함하는 특허가 가장 많이 검색됨

나. 선로

(1) 연도별 출원 현황

○ 자기부상열차 선로에 관련된 기술은 1990년대 초반 특허 출원이 가장 활발하였고 2000년대 초 감소하다가 최근 다시 특허 출원이 활발히 진행되고 있어 자기부상 특허의 추이와 같은 형태로 출원됨

- 많은 수의 특허가 출원되고 있지는 않으나 2000년 이후 급격히 특허출원이 증가함



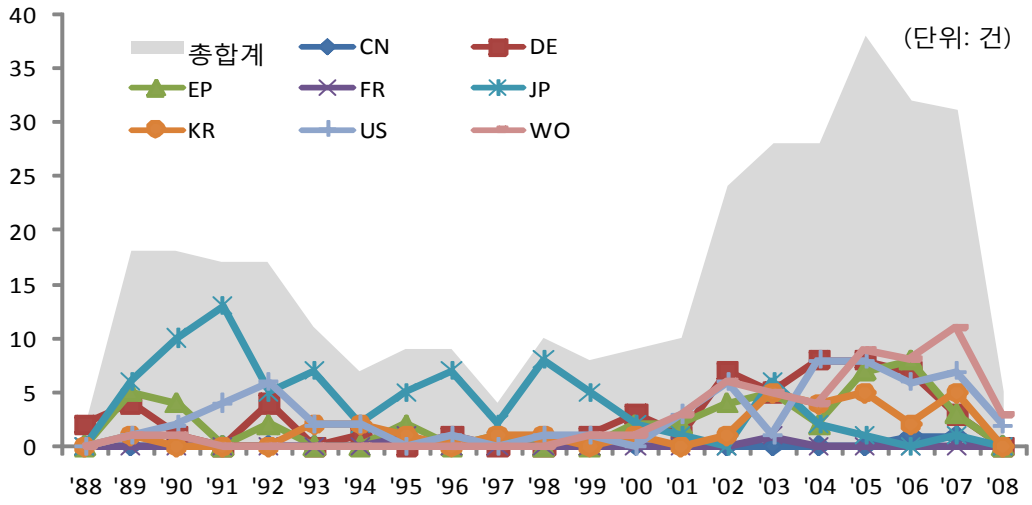
주1) '07~08 년 데이터는 특허 출원 후 공개되기까지 시간이 소요되므로 실제 특허 건수보다 적을 수 있음
주2) 특허패밀리 수(178건)

[그림 3-4-11] 선로 관련 특허의 연도별 출원 현황

○ 1990년 초반 일본에 많은 특허가 출원되었으며 최근에는 특정한 국가에 집중되지 않고 미국과 PCT, 한국에 출원활동이 활발히 이루어짐

- 1990년대 초에는 상대적으로 일본의 특허가 대부분을 차지하였으나 1990년대 다른 국가의 특허 출원이 적어 총 건수는 2000년 중반의 총 건수보다 적으며 양적으로는 2000년대 중반 특허가 월등히 많이 출원됨

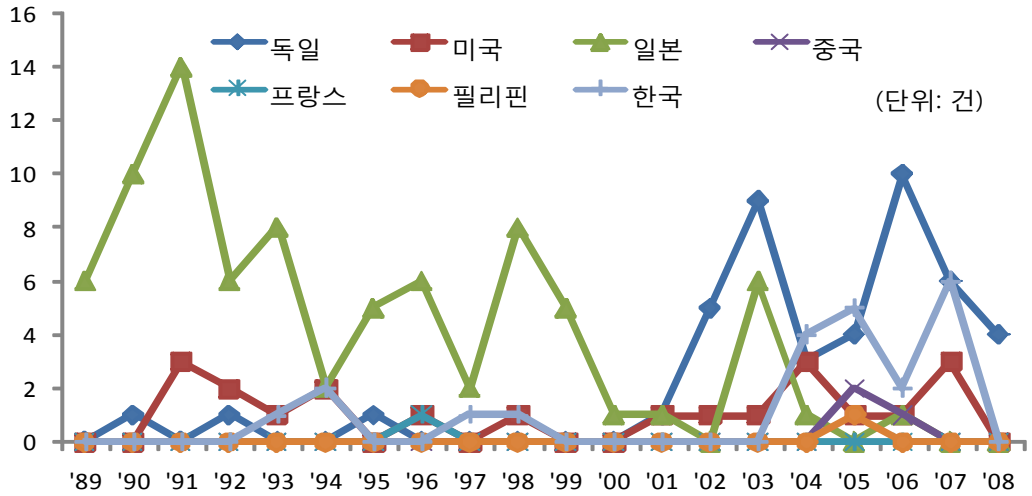
- 2000년대 중반 이후 미국, 유럽, 한국, 독일 등의 특허 출원이 활발히 진행되었으며 일본의 특허 출원은 1990년대에 비해 특허출원이 감소함



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

[그림 3-4-12] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 현황

○ 출원인 국적별로 자기부상 선로 관련 특허를 살펴보면 90년대 초반 일본의 특허출원이 활발히 진행되었으며 최근에는 한국과 독일의 특허 출원이 상대적으로 활발히 이뤄지고 있음



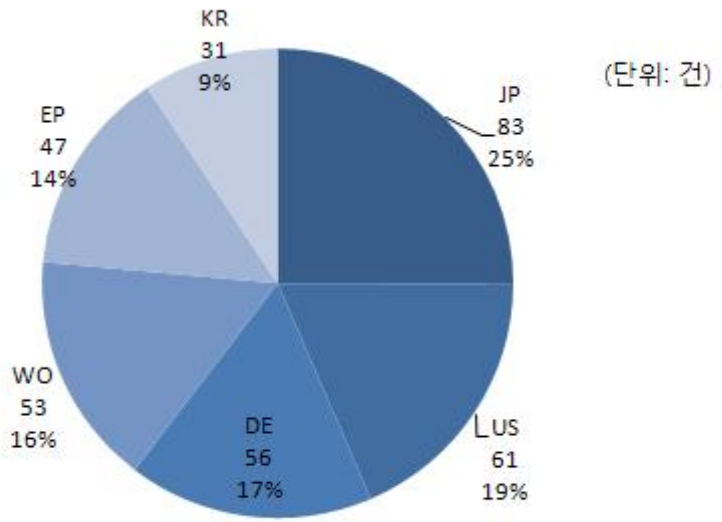
주) 특허패밀리 수(178건)

[그림 3-4-13] 선로 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황

(2) 국가별 출원 동향

○ 자기부상 선로 관련 기술 특허를 도메인별로 살펴보면, 일본에 가장 많은 특허가 출원되었으나 일본을 포함하여 대체적으로 15~25%로 고루 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남

- 자기부상 기술과 달리 선로 기술의 시장은 상대적으로 여러 국가에 형성되어 있는 것으로 추측됨



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

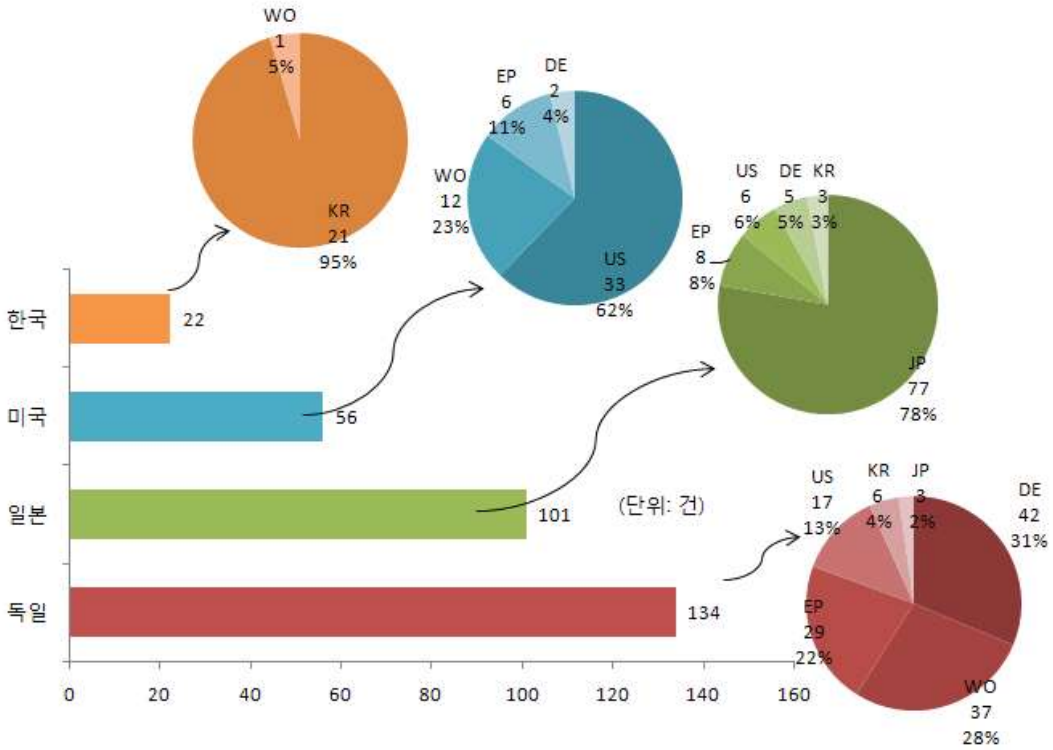
[그림 3-4-14] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 비율

○ 출원인 국적별로 자기부상 선로 관련 특허의 출원 현황을 살펴보면 가장 많은 특허를 보유한 독일의 경우 자국 내에 31% 특허를 출원하고 PCT 28%, 유럽에 22%의 특허를 출원함

- 일본은 일본에 78%의 특허를 출원하였으며 유럽 8%, 미국 6%의 특허를 출원함

- 미국은 미국 내에 62%의 특허를 출원하였으며 PCT 출원은 33%에 달함

- 한국은 95%의 특허를 한국에 출원함



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

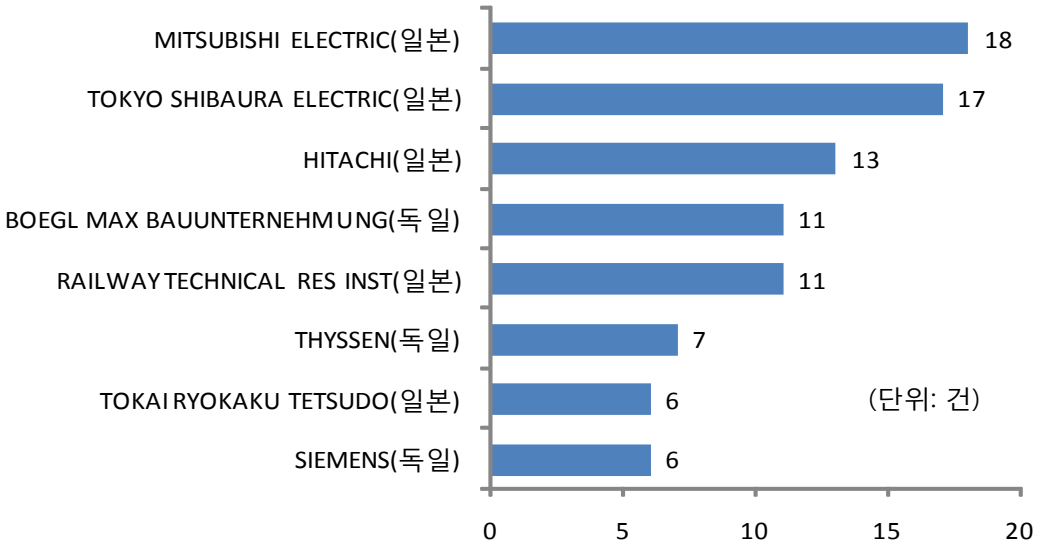
주2) 원형 그래프는 선형 그래프의 해당 국적 출원인이 어떤 도메인에 특허를 주로 출원했는지를 나타냄

[그림 3-4-15] 선로 관련 특허의 국가별 출원 현황

(3) 출원인별 출원 동향

○ 일본의 MITSUBISHI에서 가장 많은 18건의 특허를 출원하였으며 1~3위까지 모두 일본기업으로 나타남

- 일본과 독일 기업들이 특허를 다수 출원하고 있음

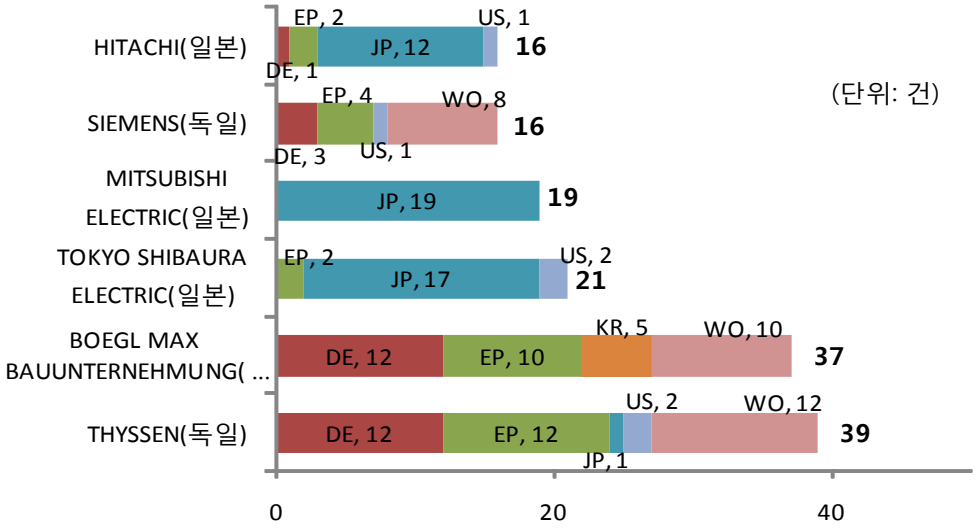


주) 같은 모기업 하에 있는 다른 회사의 경우 하나의 명칭으로 통일함

[그림 3-4-16] 선로 관련 특허의 출원인별 출원 현황

○ 자기부상 선로 관련 패밀리 특허 포함 가장 많은 출원을 진행한 기관은 자기부상 분야와 마찬가지로 독일 THYSSEN 이며 독일, 유럽, PCT 등에 특허를 많이 출원함

- HITACHI, EBARA 등 일본기업들은 대부분 일본에 특허 출원을 하고 있음
- 일본의 기업들보다 THYSSEN 등 독일 기업들이 패밀리특허를 다수 출원하고 있음



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

[그림 3-4-17] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황

○ 선로 관련 특허의 상위 출원인은 MITSUBISHI, TOKYO SHIBAURA 등 일본기업으로 나타났으며 연평균 피인용도가 높아 질적으로 우수한 특허를 보유하였다고 판단되는 출원인은 LICHIUS LINA, US ARMY 등으로 나타남

- 자기부상 등 다른 기술들과 비교하여 상대적으로 특허들 간의 인용관계가 적음

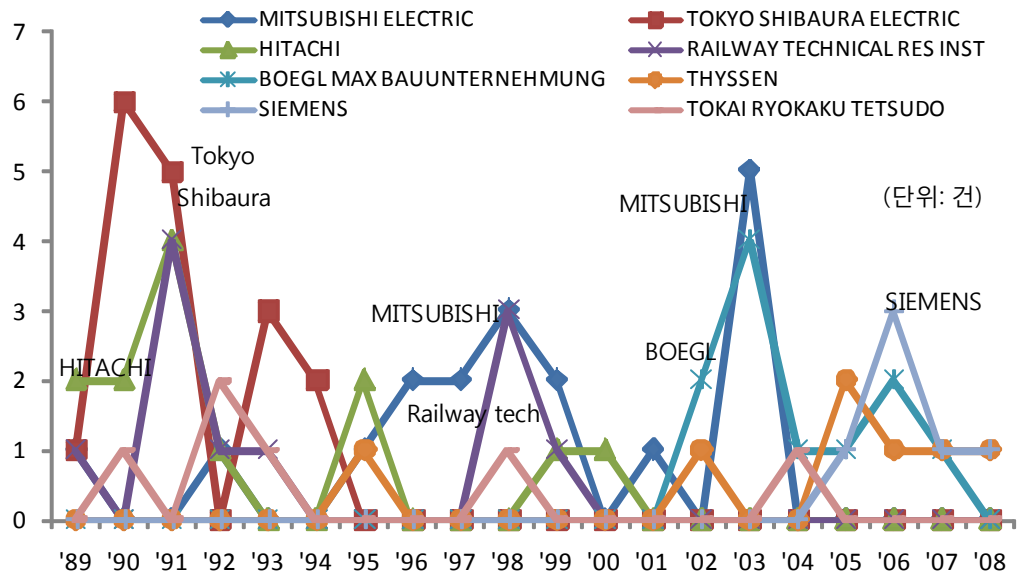
<표 3-4-2> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	18	LICHIUS LINA	0.86
TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO	17	US ARMY	0.83
HITACHI LTD	13	MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	0.69
RAILWAY TECHNICAL RES INST	11	US ENERGY	0.61
BOEGL MAX BAUUNTERNEHMUNG GMBH	11	GRUMMAN AEROSPACE CORP	0.39
THYSSEN	7	MAGLEV INC	0.38
SIEMENS AG	6	LI LINGQUN	0.25
TOKAI RYOKAKU TETSUDO KK	6	MAGNETBAHN GMBH	0.17

주) 질적 지표로 연평균피인용도를 활용하였으나 절대적인 지표는 아님

○ 출원인별로 특허 출원 추이를 살펴보면 1990년대 초에 TOKYO SHIBAURA, HITACHI 등의 일본 기업의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 BOEGL, SIEMENS 등 독일 기업들의 특허 출원이 활발히 진행됨

- 2000년까지는 일본의 많은 기업들에서 특허 출원이 활발히 진행되었으나 2000대 이후 대부분 MITSUBISHI의 특허가 출원됨



주) 특허패밀리 수 (178건)

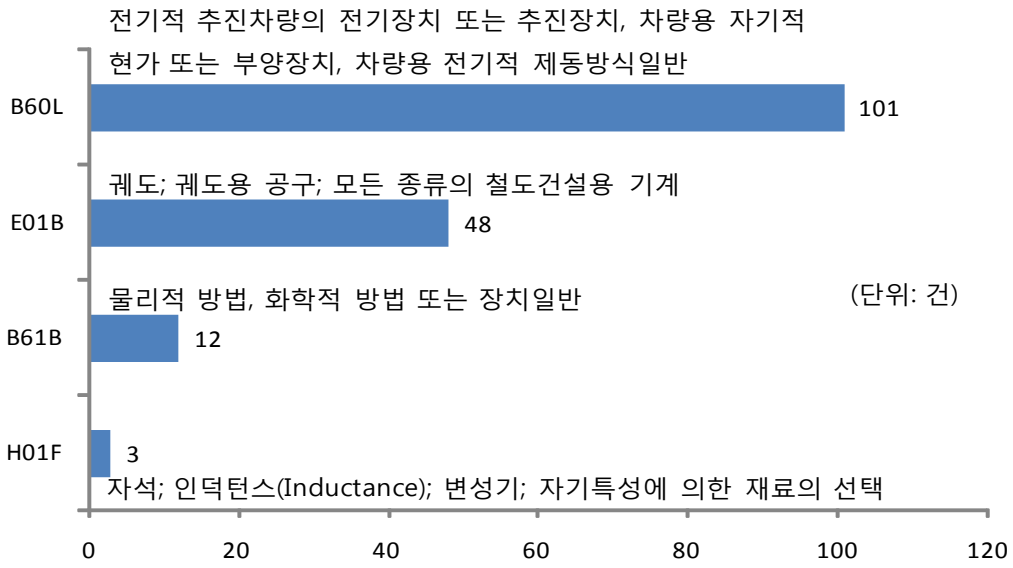
[그림 3-4-18] 선로 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이

(4) IPC 분류별 출원 동향

○ 자기부상 선로 관련 특허들을 국제특허분류(IPC) 별로 구분하면 B60L이 대부분을 차지함

- B60L은 전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반에 관련된 IPC이며 자기부상 열차 관련된 분야임

- E01B는 궤도 등 철도건설용 기계 관련 IPC이며 자기부상 열차의 선로에 관련된 분야임



주) 특허패밀리 수 (178건)

[그림 3-4-19] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황

(5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허, 패밀리특허가 많은 특허 등을 주요특허로 선별하였으며 2000년 이후 최근 특허는 모두 검토하여 연구팀에서 요청한 자기부상열차에 관련 선로 기술 특허의 주요특허 리스트로 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	US5517924A	US ARMY(미국)	Double row loop-coil configuration for high-speed electrodynamic maglev suspension, guidance, propulsion and guideway directional switching
2	WO2002075051 A2	LICHIUS LINA(독일)	GUIDEWAY FOR TRACK-GUIDED VEHICLES
3	JP2001054211A	MITSUBISHI ELECTRIC CORP(일본)	GROUND COIL APPARATUS FOR MAGNETIC LEVITATION RAIL-WAY

NO.	특허번호	출원인	명칭
4	US5253591A	US ARMY(미국)	High speed maglev design
5	US5388527A	MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY(미국)	Multiple magnet positioning apparatus for magnetic levitation vehicles
6	US5215015A	HITACHI LTD(일본)	Track system and vehicle having both magnetic and aerodynamic levitation, with wings on the vehicle carrying the whole weight at normal operating speeds
7	US5184557A	US ENERGY(미국)	Expansion joint for guideway for magnetic levitation transportation system
8	US5253592A	US ARMY(미국)	Magnetic levitation configuration incorporating levitation, guidance and linear synchronous motor
9	US5274904A	GRUMMAN AEROSPACE CORP(미국)	Guideway coil of laminated foil construction for magnetically levitated transportation system
10	US5823114A	MAGLEV INC(미국)	Utility distribution system incorporating magnetic levitation vehicle guideways

(6) 결론 및 시사점

○ 자기부상 선로 관련 특허는 많은 수가 출원되지는 않았으나 자기부상 관련 특허와 같이 최근 특허 출원이 급속도로 증가하고 있음

- 2000년대 중반 이후 미국, 유럽, 한국, 독일 등의 특허 출원이 활발히 진행되었으며 일본의 특허 출원은 1990년대에 비해 특허출원이 감소함

○ 일본에 가장 많은 특허가 출원되었으나 일본 포함 세계의 여러 나라에서 15~15% 정도의 특허가 출원되고 있음

- 자기부상 기술과 달리 선로 기술의 시장은 상대적으로 여러 국가에 형성되어 있는 것으로 추측됨

○ 가장 많은 특허를 보유한 독일의 경우 자국 내에 31% 특허를 출원하고 PCT 28%, 유럽에 22%의 특허를 출원함

- 일본은 일본에 78%의 특허를 출원하였으며 유럽 8%, 미국 6%의 특허를 출원함

- 미국은 미국 내에 62%의 특허를 출원하였으며 PCT 출원은 33%에 달함

- 한국은 95%의 특허를 한국에 출원함

○ 자기부상 선로 관련 특허는 일본의 기업에서 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타났으며 가장 많은 특허를 출원한 기업은 MITSUBISHI로 분석됨

- 패밀리 특허를 모두 포함하면 가장 많은 출원을 한 기업은 독일의 THYSSEN이며 독일, 유럽, PCT 등에 많은 특허를 출원함

- 일본의 기업들은 독일에 비해 상대적으로 패밀리 특허 출원을 적게 하고 있으며 일본기업은 일본에 특허 출원을 대부분 하고 있음

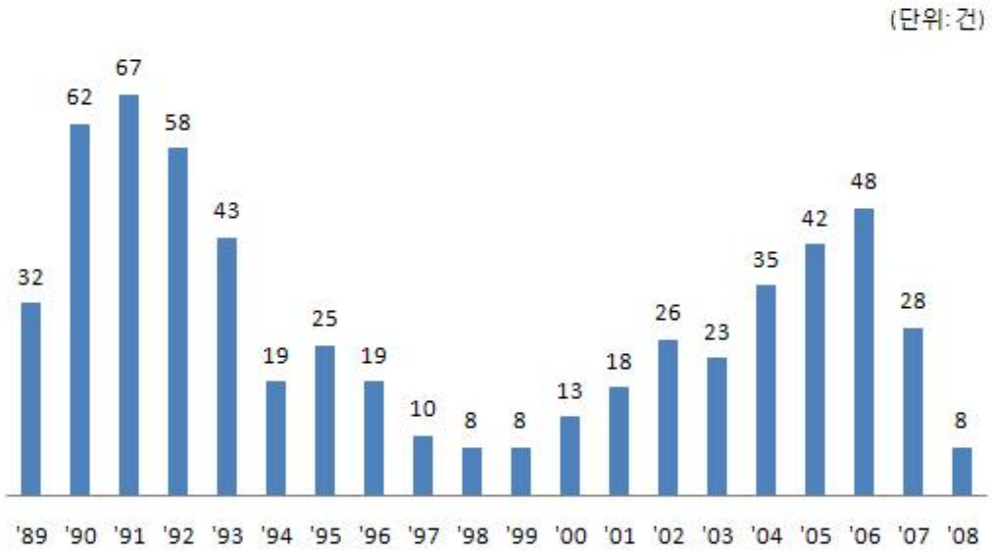
○ 1990년대 초에 TOKYO SHIBAURA, HITACHI 등의 일본 기업의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 BOEGL, SIEMENS 등 독일 기업들의 특허 출원이 활발히 진행됨

- 일본은 많은 기업들에서 특허 출원이 활발히 진행되었으나 2000대 이후 대부분 MITSUBISHI의 특허가 출원됨

다. Vehicle

(1) 연도별 출원 현황

○ 연도별 출원 현황을 살펴본 결과, Vehicle 관련 특허 출원은 1990년대 후반까지 하락하는 추세였으나 2000년대 초반 이후 다시 출원이 증가하여 현재까지 증가추세가 지속되고 있음

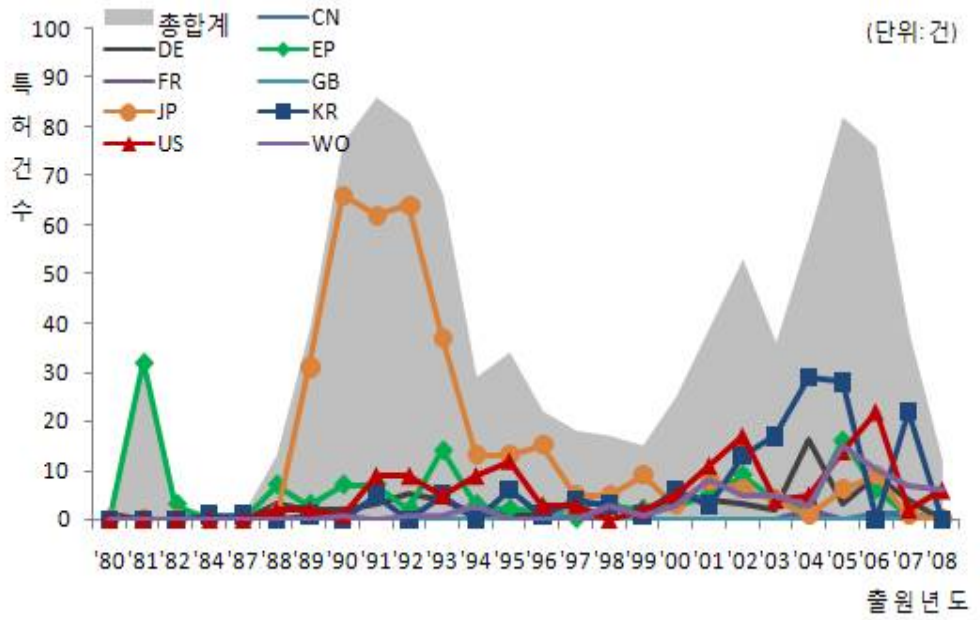


주1) '89년 이전에 출원된 특허 4건은 추세와 무관하다고 판단해 분석에서 제외하였음

[그림 3-4-20] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원현황

- '91년을 기점으로 침체되던 Vehicle 관련 연구개발이 '00년을 기점으로 다시 활발해짐에 따라 특허출원 또한 증가추세를 나타내고 있음
- '00년 이후 관련 특허 출원의 증가추세가 뚜렷하고, 출원의 증가양상 또한 일정한 양상을 보이고 있어 현재도 증가추세가 지속되고 있는 것으로 판단됨
- 그래프 상에서 '06년도 이후의 특허 출원은 감소하고 있는 것으로 나타나나, 이는 출원된 특허가 공개되기까지 시간적 갭이 존재하기 때문에 발생하는 현상으로 실제 특허의 출원 추세를 반영한다고 볼 수 없음

○ 도메인별로 Vehicle 관련 특허의 연도별 출원 추이를 살펴본 결과, 자기부상 열차의 차체와 관련된 특허의 출원은 일본 중심으로 출원이 이루어진 과거와 달리 한국을 포함한 다양한 국가에서 특허 출원이 진행되고 있음



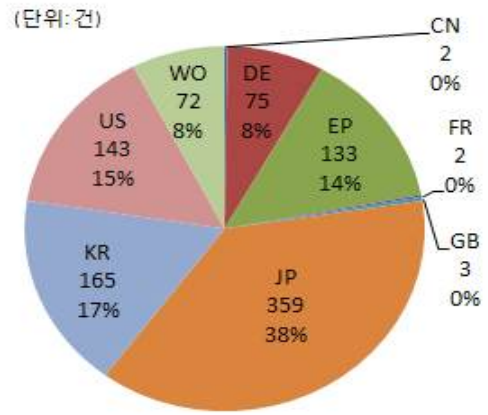
주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

[그림 3-4-21] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원 추이

- 1991년을 전후로 출원된 관련 특허는 대부분 일본 특허였으며, 당시의 특허 출원 증가 및 감소 추세 또한 일본 특허의 출원 추이에 크게 영향을 받아 일본이 기술개발을 주도하였음을 확인할 수 있음
- 2000년 이후 관련 특허의 출원추이는 특정 국가의 영향을 받지 않고 있으며 다양한 국가에서의 전반적인 출원 증가가 전체 특허 출원의 증가추세를 이끌고 있음이 확인됨
- 출원 추이에 거의 변화가 없었던 한국에서도 세계적 추세를 반영하듯 특허 출원이 증가하고 있고, 뿐만 아니라 점차 다른 국가들보다 많은 특허를 출원하고 있어 활발한 기술개발이 진행되고 있는 것으로 판단됨
- '90년대 초반 특허 출원의 급격한 성장을 보였던 일본의 경우, 2000년 이후에 특허 출원의 증가추이를 찾아볼 수 없으며 매년 10건 미만의 특허만이 꾸준히 출원되고 있음

(2) 국가별 출원 동향

○ 도메인별로 Vehicle 관련 특허의 출원건수를 비교분석한 결과, 일본에 가장 많은 특허가 출원되었고, 그 뒤로 한국, 미국, 유럽에 각각 비슷한 양의 특허가 출원되었음이 확인됨

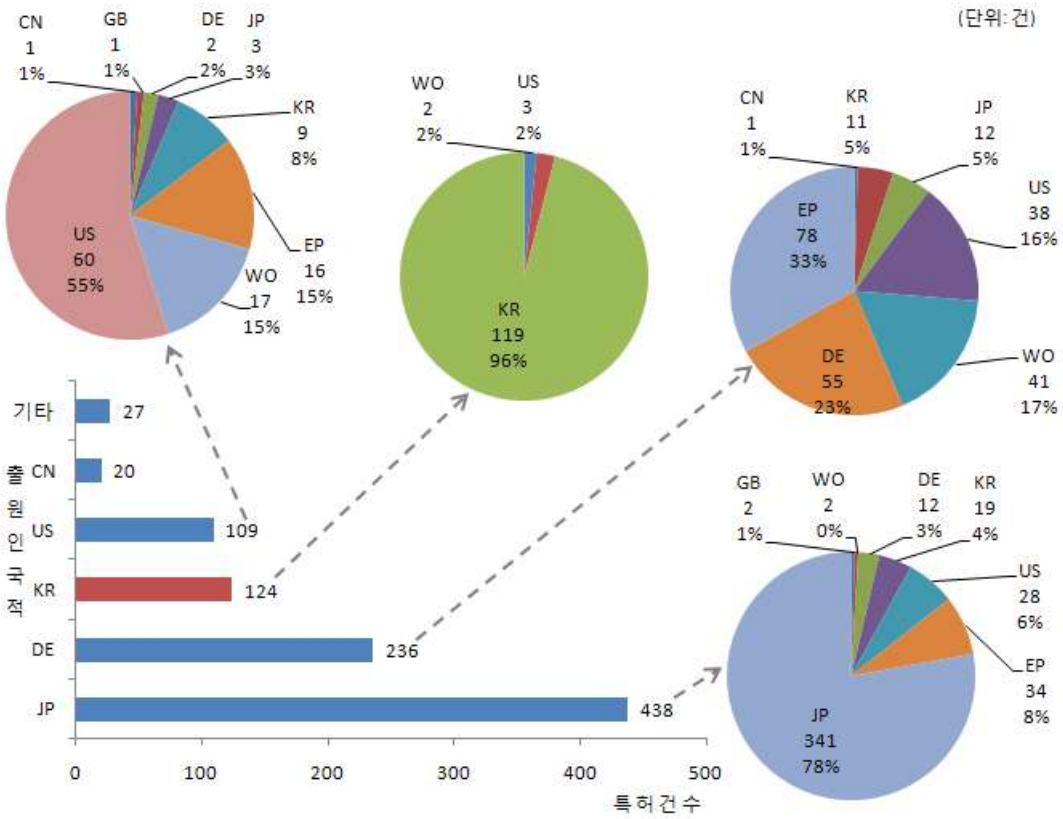


주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

[그림 3-4-22] Vehicle 관련 특허의 도메인별 출원비율

- 일본의 경우 최근의 특허 출원 추이는 상대적으로 저조한 편이나, '90년대 초반을 전후로 한 특허 출원의 급격한 증가가 현재까지 영향을 미치고 있음
- 한국의 경우 다른 나라에 비해 상대적으로 특허 출원의 증가가 뒤늦게 일어난 편이나, 꾸준한 출원 증가를 통해 일본 다음으로 많은 특허를 출원하였음
- Vehicle과 관련하여 일본에서 가장 많은 359건(전체 출원의 약 38%)이 출원되었고, 한국과 미국, 유럽에서는 각각 약 15%에 달하는 특허를 출원하였으나 최근의 추세를 통해 짐작했을 때 한국이 차지하는 비중이 점차 더 높아질 것으로 판단됨

○ 출원인의 국적별로 Vehicle 관련 특허 출원 현황을 살펴본 결과, 일본 국적의 출원인이 가장 많은 특허를 출원하였고 그 뒤를 이어 독일, 한국, 미국의 순으로 특허 출원이 주로 이루어지고 있었음



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

주2) 원형 그래프는 선형 그래프의 해당 국적 출원인이 어떤 도메인에 특허를 주로 출원했는지를 나타냄

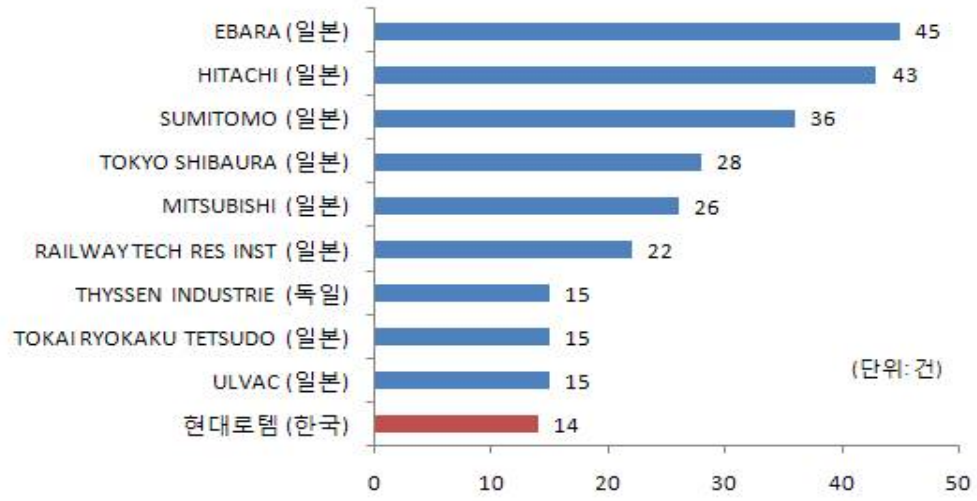
[그림 3-4-23] Vehicle 관련 특허의 출원인 국적별 분포

- 일본 국적의 출원인들은 대부분(약 78%) 자국에 관련 특허를 출원하고 있으며, 이외에 유럽이나 미국에도 특허를 출원하나 비중은 낮은 편임
- 독일과 미국 국적의 출원인들은 자국뿐만 아니라 유럽, PCT, 미국 등에 고르게 특허를 출원하고 있으며 한국 및 일본에도 특허를 출원하고 있음
- 한국 국적의 출원인들은 아직 자국의 특허출원에 집중(약 96%)하고 있어 다른 국가에의 지식 재산권 확보를 추진하는 것이 필요하다고 판단됨

(3) 출원인별 출원 동향

○ 출원인별로 Vehicle 관련 특허의 출원현황을 살펴본 결과, 일본의 EBARA가 가장 많은 45건의 특허를 출원하고 있으며 상위 10위권 출원인 가운데 대부

분의 출원인이 일본회사임이 확인됨



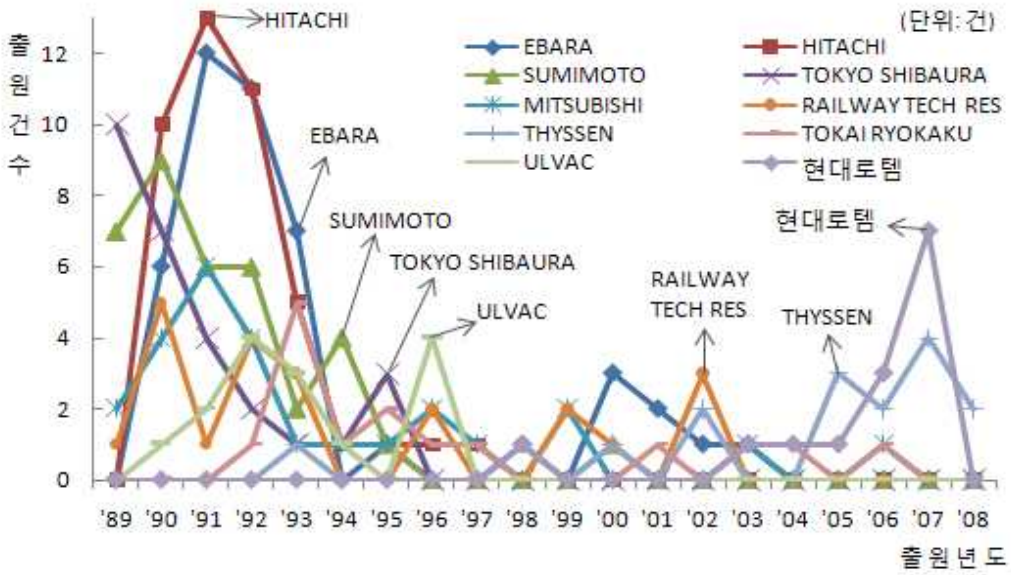
주1) 같은 모기업 하에 있는 다른 회사의 경우 하나의 명칭으로 통일하였음

[그림 3-4-24] Vehicle 관련 특허의 출원인별 특허 추이

- 일본의 철도종합연구소(Railway Technical Research Institute)를 제외한 주요 출원인들이 대부분 기업이며, 전기, 중공업 분야의 기업들인 것으로 확인됨
  - 1987년 일본의 JNR이 JR 회사로 법인화됨에 따라 이에 소속된 철도종합연구소(RTRI)는 엄밀히 말해 회사 부설 연구소이나, JR의 특성 및 정부보조금을 통한 연구를 진행한다는 점에서 연구소로 분류하였음
- 이외에 THYSSEN INDUSTRIE, 현대로템도 상위 10위권인에 포함되어 있음
  - THYSSEN은 1999년 KRUPP과 통합하여 ThyssenKrupp이 되었으며, 관련 특허에서 KRUPP의 특허는 찾지 못해 편의상 THYSSEN으로 약칭함
  - 현대로템은 2001년 현대자동차 그룹으로 편입된 이후 (주)로템으로 특허를 출원하였으며, 2007년 다시 사명을 현대로템(주)로 변경하였음
- 도메인별 출원 동향 분석을 통해 일본의 특허가 대부분 90년대 초반에 출원되었음을 알 수 있기에, 최근의 출원인별 출원 동향을 이해하기 위해서

는 출원인별로 연도별 특허 출원 추이를 파악할 필요가 있음

- 출원인별로 연도별 특허 출원 추이를 살펴본 결과, 도메인별 특허 출원 추이 분석에서와 같이 1990년대 초반을 전후로는 일본의 출원인이, 2000년 이후로는 다른 나라의 특허 출원이 주를 이루고 있음이 확인됨



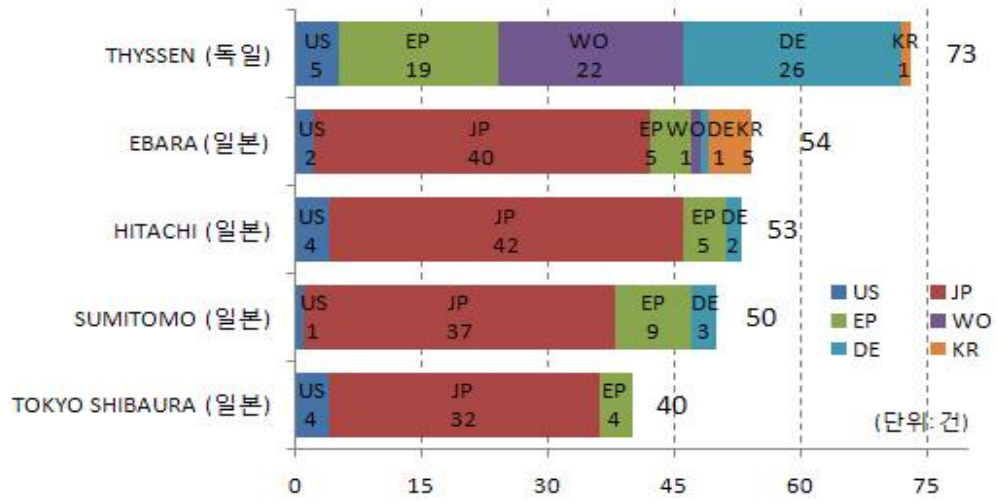
[그림 3-4-25] Vehicle 관련 특허 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이

- 90년대 초에는 HITACHI, EBARA, TOKYO SHIBAURA 등의 일본기업이 활발하게 특허를 출원하였으나, 이들의 출원은 90년대 말 이후 저조해져 그래프 상에 거의 나타나지 않고 있음
  - 다만 RITI의 경우 비교적 꾸준히 특허를 출원하고 있는 것으로 보임
  - EBARA는 2000년 3건의 특허를 출원하였으나 이후로는 거의 특허를 출원하지 않고 있으며 MITSUBISHI와 TOKYO SHIBAURA가 간간히 1건의 특허만을 출원하고 있음
- 2000년 이후로는 독일의 THYSSEN과 한국의 현대로템만이 특허 출원추이에서 증가하는 모습을 보이고 있음
  - THYSSEN과 현대로템은 90년대 초반 전후로는 거의 특허 출원이 없었음
  - THYSSEN이 기복은 있지만 점차 증가하는 양상을 나타내고 있다면,

현대로템은 특허출원이 거의 없던 상황에서 갑자기 특허출원이 급증하는 양상을 보이고 있음

- 이러한 맥락에서 향후 현대로템의 출원추이를 지켜볼 필요가 있다고 판단됨

○ 특허패밀리를 모두 포함한 데이터를 기준으로 Vehicle 관련 특허 상위 5개 출원인의 도메인별 특허 출원 현황을 살펴본 결과, 출원인 국적별 특허 출원 양상과 비슷하게 일본기업들은 대부분의 자국에의 특허 출원에 집중하고 있는 것으로 나타남



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

[그림 3-4-26] Vehicle 관련 특허의 상위 5개 출원인의 도메인별 출원 현황

- 특허패밀리를 모두 포함할 때 가장 많은 73건의 특허를 출원한 독일의 THYSSEN은 유럽, PCT, 독일에 걸쳐 고르게 특허를 출원하였으며 한국에도 1건의 특허를 출원한 것으로 나타났음

- EBARA를 비롯한 일본의 주요 출원인들은 출원한 특허의 90% 가량이 모두 자국 특허인 것으로 나타남

  - 그래프에는 나타나지 않았으나 현대로템을 비롯한 국내 출원인 역시 한국을 제외한 도메인에의 특허 출원이 저조한 것으로 나타남

- 많은 기업이 미국, 일본, 유럽 등 주요 도메인뿐만 아니라 독일에도 특허

를 출원하고 있는 점에서 다른 기술분야와 차이가 있음

- 현재까지의 출원현황으로 미루어볼 때 차츰 한국에도 외국 출원인의 특허 출원이 증가할 것이라 전망됨

○ Vehicle과 관련하여 질적으로 우수한 특허를 보유한 출원인은 일본의 AIST (Agency of Industrial Science and Technology)를 비롯한 주요 출원인 기업과 미국의 PARK SQUARE TECHNOLOGY, Mark A. Stull 등이 있었음

<표 3-4-3> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
EBARA	45	AGENCY IND SCIENCE TECHN	2.34
HITACHI	43	PARK SQUARE TECHNOLOGY	2.31
SUMIMOTO	36	MARK STULL	2.00
TOKYO SHIBAURA	28	ORLO JAMES FISKE	1.50
MITSUBISHI	26	SUMIMOTO	1.39
RAILWAY TECH RES INS.	22	US ARMY	1.35
THYSSEN	15	SEIKO SEIKI	1.35
TOKAI RYOKAKU TETSUDO	15	HITACHI LTD	1.31
ULVAC	15	TOKYO SHIBAURA	1.25
현대로템	14	UNKNOWN	1.24

- 연평균 피인용도가 높은 특허들은 대부분 Vehicle을 포함한 자기부상열차 시스템 전반을 다루고 있음

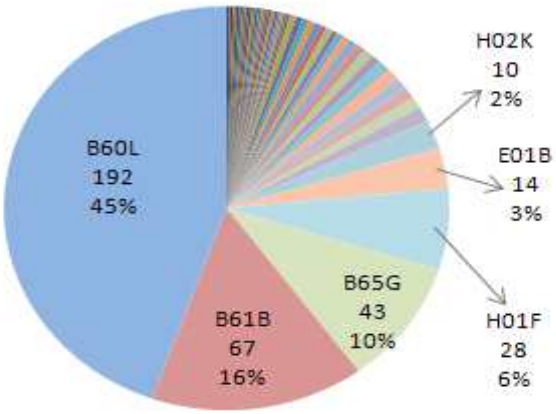
- 2.34로 가장 높은 연평균 피인용도를 기록한 AIST의 특허 US6418857 (특허 제목: Superconductive magnetic levitation transportation system, 패밀리 특허로 EP1080982A1, JP2001063556A가 있음)은 2000년에 출원된 특허로, 초전도체를 이용한 자기부상 운송시스템에 대한 내용에 대해 권리를 주장하고 있음

- 높은 연평균 피인용도를 가진 특허의 출원인 가운데 미군(US ARMY)이 있으며, 미군은 Vehicle과 관련된 특허로 지금까지 총 3건(US5517924A, US5253591A, US5586504A)의 특허를 출원한 것으로 확인됨

- 본 보고서에서는 질적 우수성을 측정하는 지표로 연평균 피인용도를 활용하였으나, 이는 절대적인 지표는 아니며 상대적으로 최근에 출원된 특허는 낮은 연평균 피인용도를 기록할 수밖에 없다는 한계가 있음

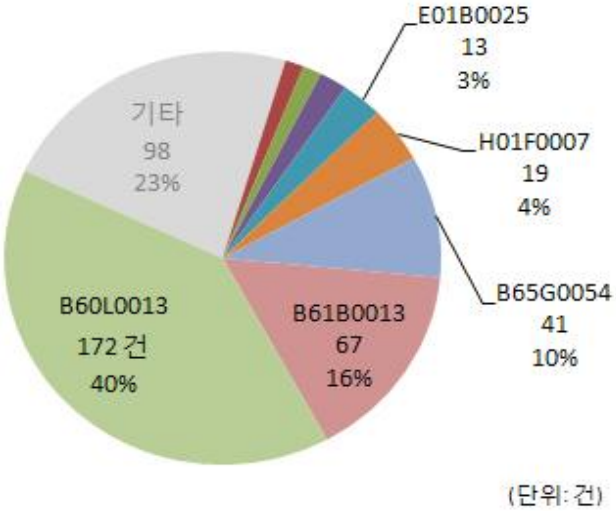
(4) IPC 분류별 출원 동향

○ Vehicle 관련 특허의 IPC 분류들을 살펴본 결과, 절반가량의 특허가 B60L(전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진 장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양 장치)의 분류로 출원되었고, 이후로 B61B(철도 방식), B65G(운반 또는 저장 장치), H01F(자석, 인덕턴스, 변성기 등)의 분류 순으로 특허가 출원되었음



[그림 3-4-27] Vehicle 관련 특허의 IPC 분류별 출원 동향 (단위: 건)

○ 세부 IPC 분류별로는 B60L 13/00(모노레일차량, 차체현가차량, 랙(rack)식 철도를 위한 전기적 추진 장치 차량용 자기 현가 또는 부양)과 B61B 13/00 (다른 철도 방식 - 접동 또는 부양 장치 등), B65G 54/00(전기적 또는 자기적인 콘베이어) 분류의 순으로 특허가 출원되었음



[그림 3-4-28] 세부 IPC 분류별 출원 동향 (단위: 건)

(5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허를 주요특허로 선별하였으며, 2005년 이후에 출원된 최근 특허는 모두 검토하여 Vehicle 관련 주요특허 리스트로 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	US6418857B1	AIST (일본)	Superconductive magnetic levitation transportation system
2	US6044770A	PARK SQUARE TECHNOLOGY (미국)	Integrated high speed MAGLEV system
3	US5473233A	MARK A. STULL (미국)	Electromagnetically propelled high-speed high-capacity transportation system for short-distance travel in urban and suburban areas
4	US6374746B1	FISKE ORLO JAMES (미국)	Magnetic levitation transportation system and method
5	US4906609A	SUMITOMO ELECTRIC (일본)	Fabrication of superconducting oxide wires by powder-in-tube method
6	US5517924A	US ARMY (미국)	Double row loop-coil configuration for high-speed electrodynamic maglev suspension, guidance, propulsion and guideway directional
7	US5288199A	SEIKO SEIKI (일본)	Transporting device of magnetically floating type

NO.	특허번호	출원인	명칭
8	US5094173A	HITACHI (일본)	Superconducting magnetic levitated train, train system method of controlling the same, and superconducting coil for magnetic levitated train
9	US5251741A	TOKYO SHIBAURA ELECTRIC (일본)	Carrying apparatus having carrier levitated by magnetic force
10	US20060152309 A1	UNKNOWN	Magnetic levitation of intraluminal microelectronic capsule
11	WO2008028450 A1	THYSSENKRUPP TRANSRAPID (독일)	MAGLEV VEHICLE HAVING GUIDANCE MAGNETS
12	JP2008005652A	MITSUBISHI ELECTRIC (일본)	MAGNETIC LEVITATION VEHICLE
13	US7472786B2	KYUSHU INST. OF TECHNOLOGY (일본)	Non-contact conveying device using superconducting magnetic levitation
14	WO2008110478 A2	SIEMENS AG (독일)	SYSTEM FOR A VEHICLE, COMPRISING A LINEAR MOTOR WITH A LONG STATOR ALONG THE TRACK
15	KR20070095667 A	한국철도기술연구원	선형전동기 및 비접촉 급전시스템을 이용한 철도차량시스템

(6) 결론 및 시사점

○ Vehicle과 관련한 특허로 총 598건이 검색되었으며 패밀리 특허를 모두 포함하여 총 954건의 특허를 분석대상으로 선정하였음

- 연구팀의 요청으로 키워드 Vehicle을 통해 검색된 특허 중 Vehicle의 내용을 포함한 자기부상열차 시스템 관련 특허, Vehicle의 부품으로 검색된 특허 리스트를 모두 포함하여 분석하였음

○ Vehicle 관련 특허의 약 38%가 일본에 출원되어 있었으며 한국과 미국, 유럽에도 각각 약 15%의 특허가 출원되었음

- 일본의 경우 최근의 특허 출원은 상대적으로 저조하나 1991년을 전후로 기업들의 활발한 특허출원이 이루어져 현재까지 Vehicle과 관련해 가장 많은 특허를 보유하고 있음

- 2000년 이후로는 한국, 미국, 유럽의 특허가 모두 고르게 출원되었고 일본의 특허 출원이 전체 추세에 영향을 미치던 90년대와는 달리 모든 도메인의 특허 출원이 비슷하게 증가하는 양상을 나타내고 있음

- 비교적 최근 출원이 증가하기 시작한 한국과 독일의 특허가 상위권에 랭크되고 있어 현재에도 활발한 연구개발이 진행되고 있는 것으로 분석됨

○ EBARA, HITACHI, SUMIMOTO 등 일본 기업의 특허 출원이 전체 특허 출원의 절반 이상을 차지하고 있으나 대부분 90년대에 출원한 특허들이며, 2000년대 이후에는 THYSSENKRUPP, 현대로템 등의 기업에서 특허를 다수 출원함

- 특히 현대로템은 특허출원이 거의 없던 상황에서 특허출원이 급증하는 양상을 보이고 있어 앞으로의 출원추이를 지켜볼 필요가 있는 것으로 판단됨

○ 여러 도메인에 고르게 출원하는 미국 및 유럽의 특허들과는 달리 일본과 한국의 특허는 대부분 자국에만 출원되어 있어 세계적 지식재산권 확보를 위한 움직임이 필요한 것으로 사료됨

- 특히 한국의 경우 해외에 특허를 출원할 경우 반드시 특허 침해 회피를 위한 전략을 수립해야 할 것으로 판단되며, Vehicle에 대한 특허뿐만 아니라 시스템 전반을 다루는 특허들에 대해 심도 있는 분석을 시행해야 함

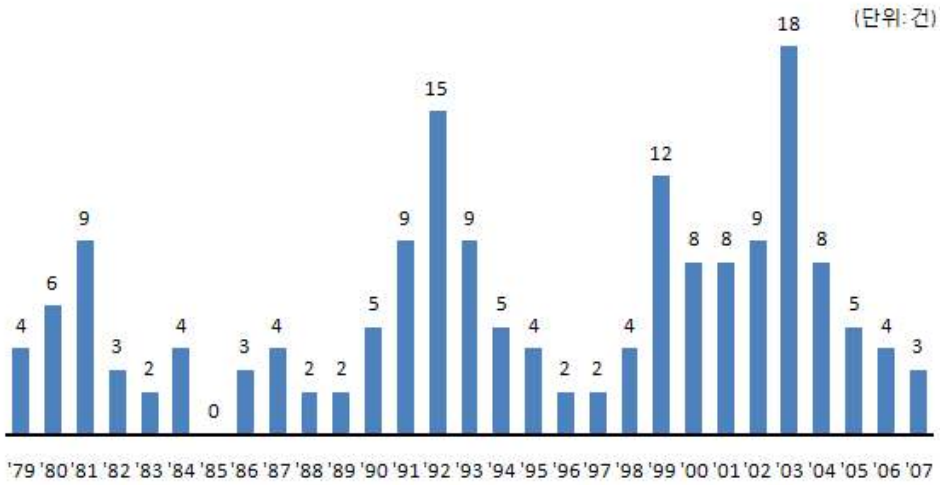
라. Linear Synchronous Motor

(1) 연도별 출원 현황

○ LSM 관련 기술은 1970년대부터 꾸준히 발전해왔으며 1990년대 초와 1990년대 말에 상대적으로 많은 특허 출원이 시작되어 2003년에는 가장 많은 18건의 특허가 출원됨

- 1990년대 말 자기부상열차에 관련된 연구가 활발해 져서 다시 특허출원이 활발해진 것으로 판단됨

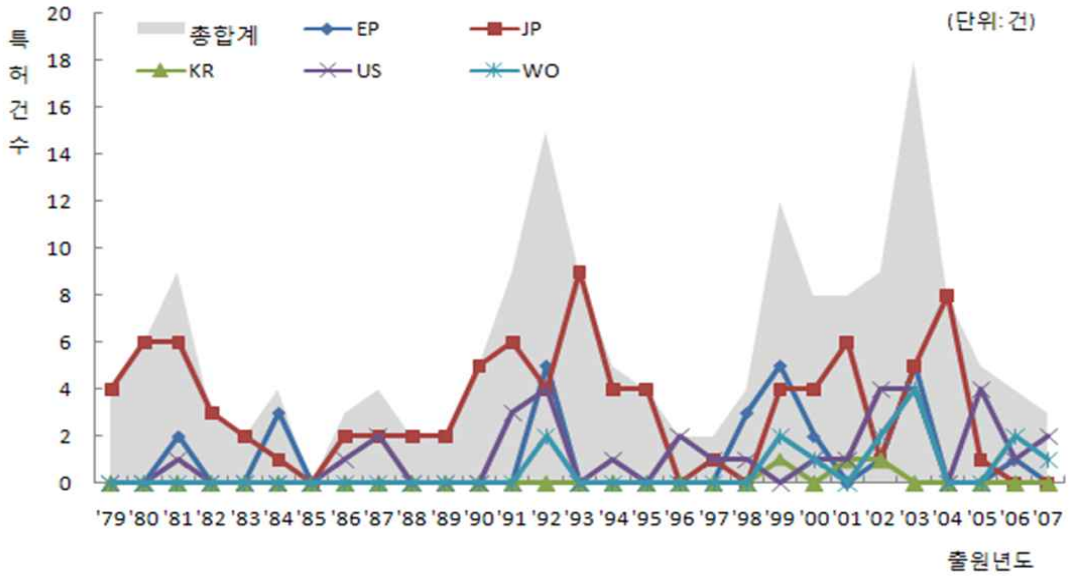
- 2006년도 이후 특허 출원수가 감소하는 것은 특허 출원 후 공개되기까지 시간이 소요되기 때문임



[그림 3-4-29] LSM 기술의 연도별 출원 현황

○ 그림 2-4-30을 살펴보면 LSM 기술은 일본에서 높은 특허 출원율을 보이며 2000년대 중반에 가장 많은 특허를 출원함

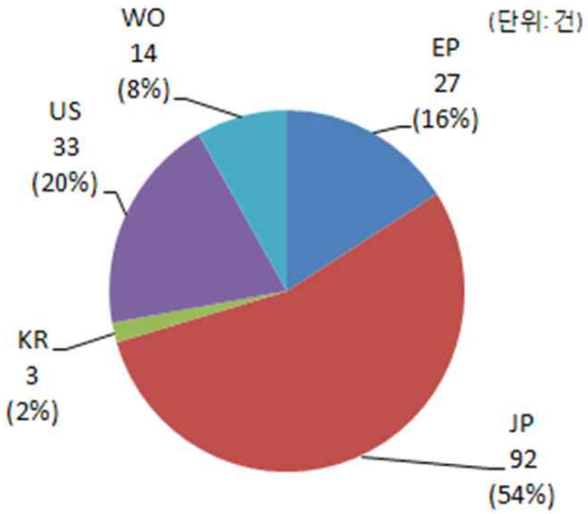
- 미국과 유럽의 경우 특허 출원 추이는 비슷하며 2000년대 초에 미국에 특허출원이 활발해짐



[그림 3-4-30] LSM 기술의 연도별 출원 추이

(2) 국가별 출원 동향

○ LSM 기술 관련 도메인별 특허 출원건수를 살펴보면, LSM 기술은 일본에 많은 특허를 출원하고 있음을 알 수 있으며 미국과 유럽에 비슷한 출원 건수를 출원함



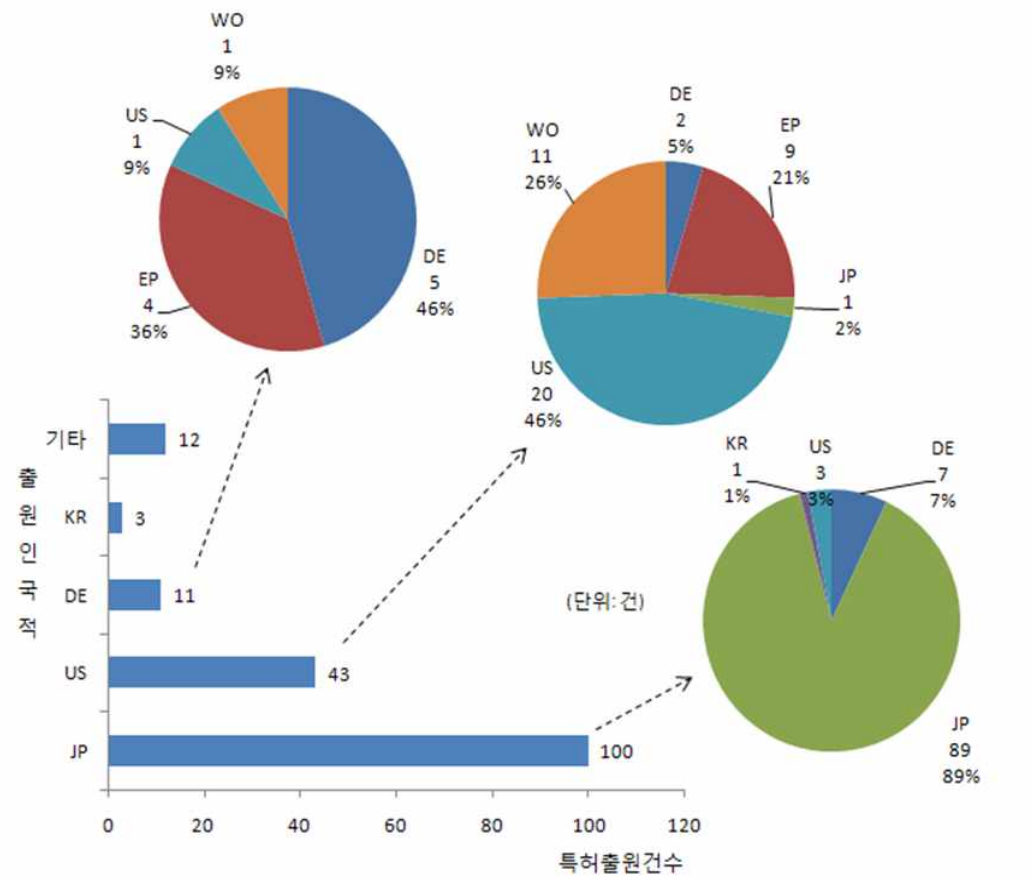
[그림 3-4-31] LSM 기술의 도메인별 출원비율

- LSM 기술은 일본에 가장 많은 54%인 92건을 출원하고 있고 유럽과 미국에 출원하는 특허가 비슷하나 유럽이 4%정도 앞서고 있으며 한국에는 2%의 특허를 출원함

○ 출원인 국적별 특허 출원현황을 살펴보면 일본 출원인이 가장 많은 LSM 기술 관련 특허를 출원하였고 미국, 독일 순으로 특허를 많이 출원함

- 가장 많은 특허를 출원한 일본은 자국내 특허 출원이 가장 많고 독일, 미국 등에 특허를 출원함

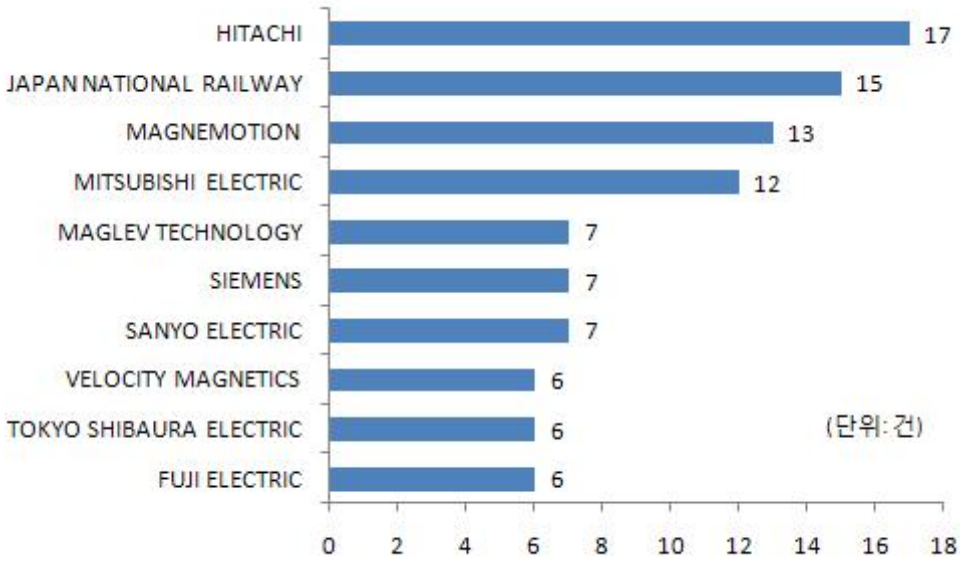
- 미국과 독일의 출원인도 자국의 특허출원을 많이 하는 경향을 보였으나 상대적으로 고르게 각 국가에 출원하고 있는 것으로 분석됨



[그림 3-4-32] LSM 기술의 출원인 국적별 분포

(3) 출원인별 출원 동향

○ LSM 기술의 출원인별로 특허 출원현황을 살펴보면 일본의 HITACHI 사가 가장 많은 17건의 특허를 출원하였으며 MAGNEMOTION을 제외하고는 거의 일본회사가 상위권에 랭크됨

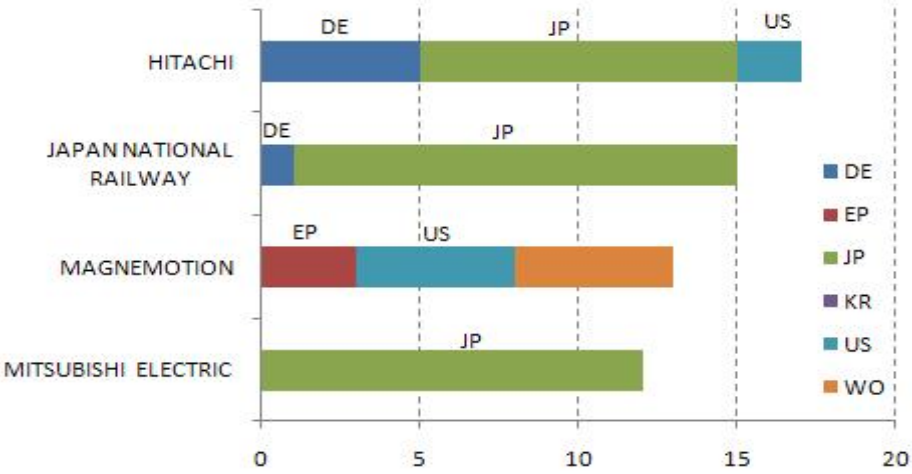


[그림 3-4-33] LSM 기술의 출원인별 특허 출원 추이

○ LSM 기술의 상위 4위 출원인의 도메인별 특허 출원 현황을 살펴보면 대부분 자국에 특허를 많이 내고 있지만 독일과 미국에도 특허를 출원하고 있음

- 출원건수가 가장 많은 일본의 HITACHI 社의 경우 전체 17건 중 독일에 5건, 일본에 10건, 미국에 2건을 출원하였음

- Japan National Railway의 경우 독일과 일본에 출원하는 모습을 보임



[그림 3-4-34] LSM 기술의 상위 4개 출원인의 도메인별 출원 현황

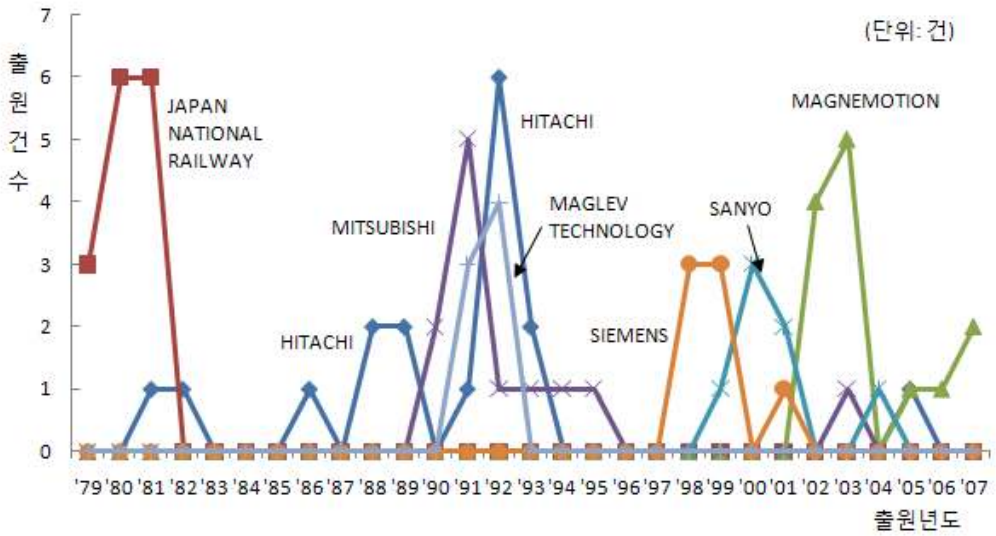
○ LSM 기술 관련 특허를 양적으로 많이 보유한 출원인은 HITACHI, JNR, MAGNEMOTION 등이고 질적으로 우수한 특허를 보유한 출원인은 MAGLEV TECHNOLOGY, SIEMENS, SANYO 등으로 나타남

<표 3-4-4> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
HITACHI	17	MAGLEV TECHNOLOGY	3.41
JAPAN NATIONAL RAILWAY	15	WAVRE; NICOLAS	3.38
MAGNEMOTION	13	SIEMENS	3.21
MITSUBISHI ELECTRIC	12	SANYO ELECTRIC	2.62
SANYO ELECTRIC	7	HITACHI	1.92
SIEMENS	7	MAGNEMOTION	1.10
MAGLEV TECHNOLOGY	7	CIMARRON TECHNOLOGY	0.98
FUJI ELECTRIC	6	OTIS ELEVATOR	0.80
TOKYO SHIBAURA ELECTRIC	6	BOEING	0.71
VELOCITY MAGNETICS	6	POWER PARAGON	0.64

주) 질적 지표로 연평균피인용도를 활용하였으나 절대적인 지표는 아님

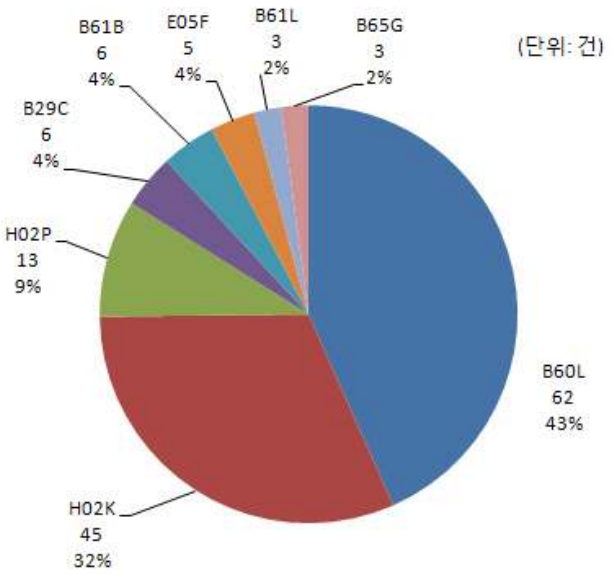
○ 출원인별로 특허 출원 추이를 살펴보면 90년대 초에는 HITACHI MITSUBISHI 등 일본기업들의 특허 출원이 활발하였으나 2000년대에는 SIEMENS, MAGNEMOTION 등 독일과 미국 기업의 특허출원이 활발함



[그림 3-4-35] LSM 기술 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이

(4) IPC 분류별 출원 동향

○ LSM 기술 관련 특허들의 IPC 분류들을 살펴보면 B60L(전기적 추진차량의 전기장치)와 H02K(발전기, 전동기)의 분류가 75%를 차지하며 H02P(전동기, 발전기 제어/조정), B61B(철도 방식) 등의 순서로 높은 비율을 차지함



[그림 3-4-36] LSM 기술의 IPC 분류별 특허건수

(5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허, 패밀리특허가 많은 특허 등을 주요특허로 선별하였으며 2000년 이후 최근 특허는 모두 검토하여 연구팀에서 요청한 자기부상열차에 관련한 LSM 특허에 대한 특허를 중점적으로 주요특허 리스트로 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	JP2003052164A	UNIV NIHON	MAGNETICALLY LEVITATED TYPE XY PLANAR LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
2	US5208496A	MAGLEV TECHNOLOGY	Linear synchronous motor having variable pole pitches
3	JP2003116262A	SHOWA ELECTRIC	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
4	JP2007089260A	HITACHI	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
5	JP2005224074A	TOKAI RYOKAKU TETSUDO	FEEDER CONTROL SYSTEM AND METHOD FOR LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR VEHICLE
6	US5253592A	UNITED STATES OF AMERICA DEPARTMENT OF ENERGY	Magnetic levitation configuration incorporating levitation, guidance and linear synchronous motor
7	US5910691A	WAVRE; NICOLAS	Permanent-magnet linear synchronous motor
8	US6917136B2	MAGNEMOTION	Synchronous machine design and manufacturing
9	WO2007108586A1	KOREA RAILROAD RES INST	SYSTEM OF RAILWAY VEHICLE USING LINEAR MOTOR AND NON-CONTACT ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM
10	WO2008005428A2	MAGNEMOTION	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR POWER CONTROL SYSTEM AND METHODS
11	JP2005237079	TOSHIBA MACHINE	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
12	KR20000072874A	학교법인 포항공과대학교	양측식 선형동기모터{LINEAR SYNCHRONIZING MOTOR}
13	KR20030066321A	가부시키가이샤 야스카와덴키	영구자석형 동기 리니어모터{Permanent magnet synchronous linear motor}

(6) 결론 및 시사점

○ LSM 기술 관련한 특허는 모두 169건이 출원되었으며 패밀리 특허를 제외하면 108건이 출원됨

- LSM 기술 특허 중 54%의 특허가 일본에 출원되었으며 미국과 유럽에도 약 20% 씩 출원되었음

- 1990년대 일본 기업들의 출원이 활발하였고 2000년도에는 미국, 유럽, 일본 기업의 특허가 고르게 출원되는 경향을 보임

- 유럽 중 독일의 특허가 상위권에 랭크되어 연구개발이 활발히 이뤄지고 있는 것으로 분석됨

○ LSM 기술의 경우 전체 특허 출원 수는 HITACHI가 가장 많으나 1990년도에 출원한 특허가 대부분이며 2000년대 이후에는 MAGNEMOTION, SEIMENS 등 기업에서 특허를 다수 출원함

○ LSM 기술 특허 대부분이 LSM의 구성 부분에 대한 설명과 원리를 설명하는 방식으로 권리범위를 한정하여 특허를 출원하는 경향을 보임

○ 우리나라의 경우 LSM에 대한 특허가 많지 않아 특허문제를 야기할 가능성은 적으나 일본이나 미국에 특허를 출원할 경우 특허 침해 회피를 위한 전략이 수립되어야 할 것으로 판단됨

제4장 기술개발의 필요성

제 1 절 사업추진의 시의성

제 2 절 정부지원의 필요성 및 추진근거

제 3 절 상위계획과의 부합성

제 4 절 기존사업과의 차별성

제4장 기술개발의 필요성

제1절 사업추진의 시의성

□ 지구온난화에 따른 글로벌 환경문제의 대두로 CO_2를 저감할 수 있는 환경친화적인 전기에너지를 사용하는 미래형 장거리 교통수단의 필요성은 더욱 증가하고 있음

○ 무분별한 화석연료의 사용으로 지구온난화가 가속화되어 지진, 가뭄, 태풍 등의 빈도가 크게 늘어나 CO_2를 저감하기 위한 교통수단 개발에 세계 각국이 경쟁적으로 뛰어들고 있음

□ 글로벌 환경문제 대두 및 고유가 시대를 맞이하여 미국, 일본 등 여러 나라에서 장거리 교통수요를 대폭적으로 흡수할 수 있는 초고속 교통망 건설에 대한 연구가 진행 중임

○ 일본은 도쿄~오사카 구간을 연결하는 초고속 추오신간선 건설을 추진 중에 있으며 시험선을 건설하여 10여년간 시험을 계속하고 있음

○ 독일은 중국이 아닌 자국 내 초고속 실용화 노선에 대한 검토를 지속적으로 수행하고 있음

○ 미국은 애너하임~라스베가스 구간에 대한 3년 연구기간이 끝난 후에는 120억 달러를 투자하여 실제 초고속 노선 건설을 추진할 예정임

○ 중국은 상하이~푸동공항을 연결하는 초고속 철도를 현재 운영 중이며, 이 노선을 항조우까지 연결하는 확장 건설계획을 가지고 있음

○ 자원고갈에 따른 고유가 상황에서 장거리 대륙 간 운송 수단이 필요함

□ 선진국의 기술개발 현황과 비교해 아직 기술개발도 시작하지 못한 국내의 상황은 이미 너무 늦은 상태로, 현재 상태가 지속된다면 향후 국제 시장에서의 주도권 상실 및 기술 종속으로 인하여 발생한 손실은 막대할 것으로 예상됨

○ 초고속 튜브 트레인은 국내뿐만 아니라 해외시장 개척을 염두에 두고 철도

시스템을 개발해야 하는데, 실용화를 다른 여러 나라에서 이룬 뒤에 기술개발을 시작한다면 첨단기술을 주도하기 위해 20년이 넘는 시간을 투자해야 함

- 초고속 튜브 트레인의 실용화까지 최소 12년의 장기간이 소요될 것으로 예상되므로 실용화를 위한 본격적인 개발을 앞선 기초기술 개발에 관한 연구는 빠른 시일 내에 착수되어야 할 것임

○ 세계 각국이 초고속 철도의 실용화를 위해 최선의 노력을 다하고 있는 상황에서 빠른 시일 내에 국내 시스템 개발이 추진되지 않을 경우 선진국에 기술 종속이 심화되어 기술적 우위 확보가 어려울 수 있음

○ 기술개발 시기가 늦춰질수록 다양한 철도 시스템 연구가 여러 나라에서 시도되기 때문에, 국내 독자기술로 개발 가능한 분야가 대폭적으로 축소될 수밖에 없으며, 이에 따라 외국 기술에 대한 의존도가 더욱 심화됨

○ 국제 시장환경이 초기경쟁에서의 패자나 후발진입기업은 시장진입이나 생존 자체가 어려워지는 승자독식 또는 수확체증의 법칙이 발생할 가능성이 커짐

○ 현재 국내에서 350km/h급 고속열차를 개발한 상태지만 이미 국제 시장을 선점하고 있는 TGV, ICE, 신간선과의 경쟁이 치열하여, 국제시장 진입에 어려움을 겪고 있으며 향후 초고속열차 시장에서도 반복될 수 있음

○ 무엇보다도, 자원이 고갈될수록 새롭게 각광받고 있는 초고속열차 시장에 대한 주도권을 기술 선진국의 기업·연구소들에게 계속 빼앗길 수밖에 없음

□ 반도체, IT, 조선 분야에서 경험한 것과 같이 후발 주자로서 어려움도 있지만 선진국들의 시행착오를 분석하고 전략적으로 접근하여 빠른 시일 내에 기술차이를 극복하면 세계시장을 선점할 수 있음

○ 우리나라는 반도체, IT, 조선 분야에서 후발 주자로 기술개발을 시작했지만 세계시장의 환경변화를 잘 예측하고 적응해 오면서 결국 세계시장을 선점했음

○ 반도체, IT, 조선 분야의 성공 요인을 보면 공통점이 시의 적절한 투자, 정부의 강력한 육성 의지, 인력 양성과 연구개발 이라는 것을 알 수 있음

<표 4-1-1> 반도체, IT, 조선분야 성공요인 분석

분야	성공 요인
조선	- 시설 및 인력 확보를 위한 과감한 대규모 투자로 성장과 발전의 기반 구축 - 상상력이 빚어낸 창조 경영 : 다양한 요구사항을 탄력적으로 수용하여 목표를 달성 (육상 건조법, 메가블록 공법 등을 통한 비용 감소 및 일정 단축) - 지속적인 연구개발을 통한 신기술 확보 및 적용으로 부가가치 및 경쟁력 향상 - 핵심 기자재의 자체 생산, 협력업체 확보 등 후발주자와 차별화
반도체	- 확고한 리더십을 바탕으로 하는 과감한 투자 - 인력 양성과 연구개발 투자 - 브랜드에 대한 과감한 투자 등 차별화된 마케팅 추진 - 정부의 확고한 산업 육성 의지
IT	- 인력 확보 및 과감한 연구개발 투자 - 산업의 국가 발전전략과 연계 - 정부의 확고한 산업 육성 의지 및 인프라 구축 - 제품 및 성능의 차별화

□ 남북교류 활성화 및 동북아 시대에 대비한 대륙간 교통수단이 필요함

○ 북한의 개방에 대비하고 한국·일본·중국의 동북아시대를 대비하며, 더 나아가 대륙횡단으로 유럽까지 연결이 가능한 초고속열차 개발이 조속히 이루어져야 함

제2절 정부지원의 필요성 및 추진근거

□ 장기간에 걸친 대규모 사업에 대한 민간투자는 불가능함

○ 초고속 튜브 트레인 사업은 공공성이 강한 국가 인프라 확충 사업임

○ 특히 본 연구는 기초기술 및 모형개발에 약 5년, 1115억원이 소요되고 실용화까지 약 12년, 9,600억원이 소요될 것으로 예상되는 장기간의 대규모 사업으로 민간투자는 현실적으로 불가능함

○ 사적 고정 자산에 비해 투자비용 회수 기간이 장기적임

○ 이에 따른 리스크 가능성도 많아 민간투자가 곤란하며 정부지원이 타당함

□ 신성장 동력으로서 원천기술개발 및 실용화를 위한 정부지원 필요

○ 원천기술 개발과 표준시장 장악을 위한 정부의 신속한 지원 필요

○ 원천기술은 응용잠재력과 파급효과가 크지만 불확실한 시장성 때문에 투자위험 부담이 큰 것이 특징임으로 민간보다는 공공 부문이 담당하여 개발하는 것이 타당함

○ 원천기술은 투자위험 부담이 높기 때문에 민간에 맡겨 둘 경우 투자가 저조하거나 안 돼 기술개발 속도가 늦거나 개발이 안 될 경우 사회적으로 큰 손실이 발생하거나 후생 수준이 떨어질 가능성이 있음

○ 중국은 이미 장기간 튜브 트레인 기술 개발을 해온 상태로 신속하게 지원하여 연구를 시작하지 않으면 중국에게 시장 주도권을 내어줄 가능성이 높음

○ 교통기술 분야에 있어서도 기술 개발 패러다임을 원천기술 확보 및 세계표준 장악으로 시급히 전환하지 못하면 국제경쟁에서 낙오자가 될 수 있음

○ 원천기술 개발과 표준시장 장악을 위해서는 빠른 추종자(fast follower) 전략 대신 시장·기술 선도자 전략으로 방향을 바꾸어 원천기술 확보에 주력해야 함

○ 새로운 편익, 비용 항목 등의 신뢰성을 높이기 위한 정부지원 필요

○ 효율적인 사업 추진 및 정부차원의 마케팅 전략수립을 위한 정책적 R&D 지원이 필요

□ 국가 인프라 확충 및 국민 삶의 질 향상을 위한 것으로 정부지원 필요

○ 초고속 튜브 트레인은 철도시스템의 하나로 국가의 중요 인프라에 해당

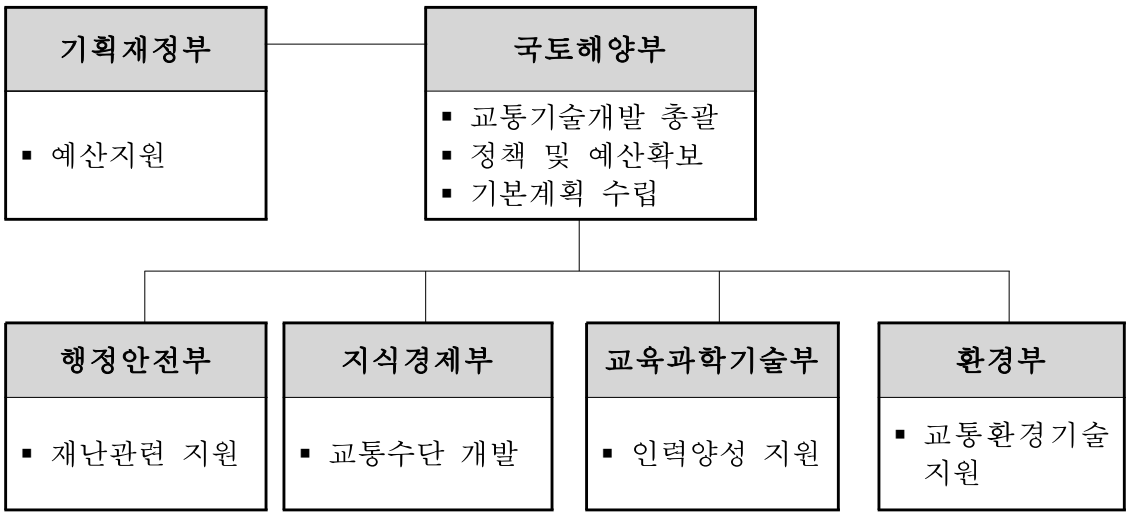
○ 초고속 철도를 통하여 국가 산업의 부흥 및 국민 삶의 질 향상 추구

○ 국가 전반에 걸쳐 막대한 파급효과를 가진 인프라로서 정부지원이 타당함

제3절 상위계획과의 부합성

1. 제2차국가교통기술개발계획(2010.3 통보예정)

○ 교통기술개발 관련 부처별 연계 및 지원은 다음과 같음



[그림 4-3-1] 교통기술개발 관련 부처별 연계 및 지원

○ 철도관련 기관으로부터 조사로부터 도출된 신규 및 계속 과제의 추진내용 및 목표를 검토하여, 앞서 비전 및 기술개발 방향에 따라 도출한 중점 기술개발 추진분야와의 정합성을 검토하여 각 분야별로 분류하였음

○ 국가교통기술개발계획이 지향하고 있는 전략적 비전 목표와 부합 여부를 종합적으로 검토하여 기존 추진과제 및 신규도출 과제 이외에 반드시 기술개발이 필요한 분야 및 세부과제를 추가 도출하였음

○ 국토해양부 관련 부서 및 관련부처, 그리고 철도 각계 전문가 등의 전문가의 검토를 통하여 중점 추진분야 분류 및 각각의 세부과제에 대한 적합성 및 중복성 검토를 수행함

○ “초고속 철도시스템 개발”이라는 중점 기술개발 추진분야에, 초고속 튜브 트레인 시스템 기초기술개발이 포함되어 있음

○ 사업내용은 초고속 추진시스템 및 튜브 트레인 기초기술개발, 튜브 트레인 시스템 축소모형 제작 및 시험, 그리고 시스템 및 핵심장치 사양기술 개발

로 구성되어 있음

○ 현재 국토해양부 내부의견 조율이 거의 끝난 상태로 2010년 3월에 통보될 예정임

2. 과학기술기본계획 577 Initiative(2008.8)

○ 577 과학기술 기본계획은 2012년 7대 과학기술강국 실현을 목표로 GDP대비 5% R&D투자, 7대 기술분야 육성, 7대 시스템 선진화·효율화 추진을 내세우고 있음

○ 튜브 트레인 기술은 전략적 투자를 추진하여 기초과학과 원천기술, 거대기술을 개발하겠다는 577 과학기술 기본계획의 방향과도 일치함

○ 튜브 트레인 시스템 기술개발 과제는 2012년까지 기초원천연구 투자를 정부 R&D 예산의 50%로 확대하고 출연(연)의 원천기술 창출을 위한 기초 원천연구 지원을 확대하겠다는 계획과도 부응하는 과제임

○ 튜브 트레인 기술은 7대 기술 분야 중 4번째 분야인 국가주도 기술 분야와 관련하여 민간의 투자가 어려운 건설교통 분야 기술과 연계됨

○ 7대 기술 분야 중 세계적 관심사인 에너지 환경 문제와 관련되어 있으므로 6번째 분야인 글로벌 이슈분야와도 관련됨

○ 친환경 교통 시스템의 연구 개발을 목표로 하고 있으므로 과학기술기본계획에서 추진되고 있는 21세기 핵심기술로 부상한 신·재생에너지 등 친환경 기술과도 관련됨

○ 기초·원천 연구역량 강화로 핵심기술의 해외의존 탈피하고자 하는 정부의 의지를 반영하고 있음

○ 산학연 협동 연구 형태로 추진되며 해외 우수 인력을 활용할 계획을 세우고 있으므로 창조형 혁신을 주도할 핵심 과학기술인재의 양성·활용과 창의적·도전적 연구지원 강화를 목표로 하는 방향과도 부응하고 있음

3. 저탄소 녹색성장” 국가 비전 선포(2008.8)

○ 경제를 우선시했던 정책에서 기술혁신을 통해 에너지 효율을 높이고 대외 경쟁력을 강화시키는 방향으로 선회

○ 경제만이 아닌 환경과 경제가 상생할 수 있는 방안 모색

4. 국가지속가능발전지표 시범적용결과(국가지속가능발전위원회, 2008)

○ 최근 5년간('02~'06) 우리나라 지속가능발전지표는 사회·경제분야를 중심으로 전반적으로 개선추세에 있으나, 경제성장이 국토환경자원의 훼손과 에너지·자원 소비증가를 동반하고 있어 이의 연계차단이 필요한 것으로 나타남

5. 기 타

□ 국가기간교통망계획 및 국가철도망계획구축

○ 6대 추진 전략 중 “네트워크형 인프라의 구축전략”에 부합

- 개방 및 다핵연계형 국토구조 형성을 위한 종합기간 교통망 구축
- 합리적인 수송분담과 연계를 통한 통합교통체계 구축
- 반일생활권의 국가기간교통망 구축
- 자립형 지역발전 지원을 위한 교통체계를 구축

○ 전국토의 대도시 이동 속도를 대폭 향상시킨 초고속화된 철도망 달성

- 전국을 X자형으로 연결하는 초고속 국가철도망을 구축
- 수송수요가 높은 구간에 대해 기존선을 초고속화 추진

□ 교통체계 효율화법과의 연관성

○ 교통체계효율화법은 크게 국가교통시설투자 효율화, 교통체계 지능화, 교통기술의 진흥, 국가교통위원회 설립 및 운영에 관한 사항으로 이루어 짐

○ 국가기간교통망 계획에 초고속열차에 대한 내용이 포함되어야 함

○ 국가기간교통망 계획 제19조2항에는 국가교통기술개발계획을 수립하도록 명시하고 있고 제21조3항에는 신교통기술의 지정과 활용에 대해 설명하고 있으며 제21조4항에는 신교통기술의 시범사업 계획에 대한 근거를 제시하고 있으므로 이러한 법 조항을 기초로 초고속열차시스템의 신교통 기술화가 필요함

제4절 기존사업과의 차별성

1. 도시형 자기부상열차 실용화 사업

○ 도시형 자기부상열차는 대도시나 중소도시의 교통문제 해결 및 연계교통수단으로 기존 철도와 버스의 중간정도의 수송용량(5,000~30,000명/시간)을 가짐

○ 자기부상열차로 선형전동기에 의한 비점착으로 주행하며, 최고속도110km/h를 목표로 개발 중임

○ 이 사업은 중저속으로 운행되는 자기부상열차 시스템 기술개발을 목표로 연구 중인 것으로, 본 사업에서 궁극적으로 추구하는 목표속도인 700km/h와는 많은 기술적 차이가 있음

○ 추진시스템의 경우, 중저속 자기부상열차는 LIM을 채용하여 차상에서 속도를 제어하는데 반하여, 초고속열차는 LSM을 이용하여 지상에서 속도를 제어하고 있음

○ 차상에서 필요한 보조전원과 부상전력을 공급하기 위해서, 중저속 열차는 집전장치를 이용하여 전력을 수전하고 있으나, 초고속열차는 접촉하지 않고 전원을 공급받고 있음

○ 또한 초고속열차의 경우에는 섹션절환 기법을 이용하여 전력공급을 지상에서 효과적으로 수행하고 있음

2. G7 한국형 고속열차 실용화 사업

○ 20량 편성 또는 11량 편성시의 주요 기능 및 성능을 확인할 수 있도록 제작되어 7량1편성으로 구성되어 있음

○ 최고운행속도 350km/h로 주행가능한 동력집중식 열차임

○ 프랑스로부터 도입한 KTX-I을 기본으로 하여, 모터블럭, 보조블럭 등 대부분의 핵심장치를 국내 기술로 개발함

○ 바퀴식으로 개발된 열차로 호남선 및 전라선에 운행될 KTX-II의 모체가 된 열차임

○ KTX-II는 10량1편성으로 이루어져 있으며, 한국형 고속열차의 핵심장치를 수정, 보완하여 제작함

○ 추진, 부상, 제동 등 여러 요소기술이 자기부상식과는 매우 다른 기술들을 적용하고 있음

3. 차세대 고속철도 개발사업

○ 한국형 고속열차의 개발 경험을 토대로 미래 수요에 대비하고 국내 고속철도 산업의 해외진출을 위하여 신성장 동력 육성을 위한 지속적 고속철도 분야 R&D를 추진함

○ 해외 고속철도 선진국의 신기술 적용 초고속열차 개발 경쟁에 적극적으로 대응하고, 고속철도의 해외진출 및 속도향상을 위한 기술적 토대 구축을 위해 본 사업이 필요함

○ 또한 고속철도(KTX) 개통 이후 주요 핵심부품의 해외 의존도가 높고 부품확보에 어려움이 발생하는 등 유지보수 비용의 절감과 독자적인 기술 확보를 위해서 주요시스템과 핵심부품의 국산화가 절실하게 요구됨

○ 최고 400km/h급 동력분산형 고속열차 시스템을 개발하고, 기반기술개발을 통한 지속적인 원천기술 확보와 유지보수 장치의 국산화를 이룩함

○ 본 사업은 최고 400km/h 바퀴식 고속열차를 개발하는 국가연구개발사업으로 초고속 튜브 트레인 시스템 개발을 통해 이루려는 최고 시속 700km와는

속도차이가 매우 큼

○ 속도 증가에 따른 공력저항, 공력소음의 증가 등으로 인해 바퀴식 시스템의 안전속도 대역은 400km/h 내외임

○ 그리고 바퀴식과 자기부상식 열차는 추진, 전력공급, 신호, 통신 등 각 분야의 핵심기술들이 다른 부분들이 많기 때문에 이에 대한 충분한 연구가 이루어져야 함

제5장 연구 추진전략 수립

제 1 절 사업단의 비전 및 목표

제 2 절 사업단의 연구개발 방향설정

제 3 절 추진 전략과 방법

제 4 절 분야별 기술트리

제5장 연구 추진전략 수립

제1절 사업단의 비전 및 목표

□ 사업단의 비전

○ 사업단의 비전은 700km/h 이상 초고속 튜브 트레인 시스템을 개발하여 미래의 신성장동력의 하나로 초고속열차에 관한 원천기술을 확보하고 항공 등 원유자원에 의존하고 있는 장거리 통행을 흡수하며 동북아 통합경제권 등 경제블럭화를 활성화하는데 기여함

□ 사업단의 목표

○ 본 사업단의 최종 목표는 700km/h 이상 초고속 주행이 가능한 세계적인 튜브 트레인 시스템을 본격적으로 개발하기 위한 기초기술 및 모형을 개발하는 것임

- 단, 연구의 최종목표는 700km/h이상의 초고속 주행이 가능한 세계적인 튜브 트레인 시스템을 개발하여 실용화하는 것임

제2절 사업단의 연구개발 방향설정

□ 실용화를 위한 기초기술 개발

○ 시속 700km/h 이상 초고속 튜브 트레인 시스템을 개발하기 위한 기초기술을 개발

○ 효율적 예산 분배를 통해 최대 연구성과를 달성하기 위해 노력

□ Test Bed를 통하여 실행력 제고

○ 200km/h까지 운행 가능한 축소 시험선을 설계, 제작 및 운영

○ 사업단과 사업협력기관과의 유기적 협조체계 구축

○ 향후 700km/h급 시험선 건설을 위한 토대 구축

□ 민간기업 참여를 통한 세계 최고 기술개발

○ 국가 미래신성장 동력 확보를 위해 Test Bed 구축은 공공기관이 주도하고 차량시스템은 기업이 주도할 수 있도록 유도

○ 기반, 축소 시험선 구축 및 차량 개발 등을 통해 획득한 기술들을 통해 민간기업이 관련 분야에 적용할 수 있는 기반 구축

○ 세계 최초의 700km/h급 초고속 튜브 트레인 시스템을 개발하기 위한 토대를 구축하여 해외시장을 조기에 선점할 수 있는 국가경쟁력 확보

□ 기존 사업과의 차별화를 통한 전문성 강화

○ 전문가 자문을 통해 최적의 연구조직 구성

○ 산학연 및 국제 공동연구 등을 통한 핵심 역량 결집

□ 단계별 실행목표 제시

○ 장기간의 연구개발 기간을 고려하여 비전 및 목표를 완수할 수 있는 단계별 실행목표 및 성과지표를 상세기획단계에서 제시

제3절 추진 전략과 방법

□ 추진 전략

○ 초고속 튜브 트레인 시스템은 전 세계적으로 구현된 시스템이 없으므로, 시스템엔지니어링 기반으로 개념부터 자체적으로 독자개발 추진

- 시스템엔지니어링을 통하여 시스템 수명주기비용(LCC)을 줄이고, 사업 일정 단축 및 비용 감소, 시스템 품질 향상 등을 꾀할 수 있음
- 시속 700km 이상의 초고속 튜브 트레인 설계·제작·시험 기술 개발
- 국내 기술에 의한 주요 핵심장치의 개발기술 및 축소모형 연구결과를 시제품 개발 및 시험선 건설에 반영

○ 국가 전략사업으로서 범부처 관심 및 공감대를 형성하고 국내외 산학연 및 글로벌 연구개발 네트워크 협력을 위한 풍토 및 기반 조성

- 국가적 산업으로 지경부·교과부·국토부 등 범부처 관심 및 공감대 형성을 통한 원활한 사업추진
- 국내외 산학연 협력 및 기초기술기반이 강한 글로벌 연구개발 네트워크 공동연구 추진을 위한 기반 조성 및 풍토 개선
- 한중, 한일 해저터널 건설 등 향후 초고속열차 관련 한중일 및 국제적 기술 표준화 대비

○ 튜브 트레인 시스템 관련 새로운 기술의 개발·구현을 통한 기술축적 및 선택과 집중에 의한 원천기술 확보

- 튜브·진공 기술, 부상·추진, 신호, 차량 동특성 등 선택과 집중을 통한 주요 핵심 요소기술 확보 및 고부가 가치 육성
- 초고속 튜브 트레인 원천기술에 따른 새로운 비용·편익 항목 개발
- 우리의 기술강점인 IT기술과 연계하여 세계적 튜브 트레인 독자 모델의 설계·건설 기술 확보 및 실용화 방안 마련

○ 장기간의 기술개발에 따른 위험성을 줄이기 위하여 단계별 기술개발 및 적용을 고려

- 최종목표인 700km/h급 초고속 튜브 트레인을 한번에 개발하기 보다는 현재 계획 중인 대심도 철도, 제주-목포 철도연결, 남북철도연결, 한중/한일 해저터널 등의 활용가능성을 고려하여 개발

□ 추진 방법

○ 시스템엔지니어링 기술을 기반으로 하여 Top-down 방식의 초고속 튜브 트레인 시스템 설계·개발

- 시스템 개념 도출에서 개발, 운영, 폐기 등 전체 수명주기를 고려하는 시스템엔지니어링 역량을 바탕으로 일정, 비용, 품질 등에 기여
- 시스템 요구사항 분석을 통한 개념설계 및 운영 요구사항 개발
- 시스템 분석 및 기술 분석을 통한 아키텍처 및 시스템 사양 개발

- 축소모형 개발 및 시연을 통한 시스템 개념 검증 및 요구사항 확인
- 시제품 개발을 통한 시험·수정보완 및 시스템 통합 구축, 기술 확인
- 시스템 엔지니어링 기반의 전수명주기 관련 기술의 팩키지화

○ 단계별 기술개발 추진 및 국내외 산학연 협동·공동연구
- 산학연관의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 기존 철도기술의 적극 활용 및 기획사업을 통한 상세기술개발전략 수립
- 1단계 기초기술 개발 및 개념설계를 통한 개발 시스템 사양 결정
- 튜브 트레인 시스템 아키텍처 개발 및 축소모형을 통한 사양 검증
- 2단계 핵심장치의 설계·제작·시험 추진 및 축소시험선 건설 추진

□ 예산확보방안

○ 국가 인프라 관련 기술개발사업이므로 원칙적으로 국고 지원

○ 국가연구개발사업 운영지침에 따라 원칙적으로 매칭펀드 적용
- 사업 총괄 및 SE, 기반기술 분야, 시험선 건설의 경우 국고 지원 필요
- 차량분야의 경우 기업 참여에 의한 매칭펀드 시행

□ 인력확보방안

○ 국내 튜브 운송기술 및 초고속 자기부상철도 관련 연구인력 활용
- 철도 관련 연구기관 및 기술 분야별 연구기관, 산업체, 대학 등

○ 철도기술 관련 연구개발 및 시운전시험 경험 보유한 전문가 활용

○ 해외 튜브 기술 및 초고속 자기부상철도 관련 경험 보유한 전문가 활용

○ 해외 철도기술 관련 전문연구기관 및 산업체, 대학 등의 전문가 활용

□ 본 기술개발 사업을 성공적으로 이룩하기 위한 주요 관건은 각 분야별 핵심 기술의 확보를 위한 선도 연구기관과의 협력임

□ 국내 한국기계연구원, 한국전기연구원, 한전 산하 전력연구원 및 ETRI 등과 MOU 체결은 물론 실질적인 기술교류를 진행 중에 있고, 세계적인 철도 연구기관들의 긴밀한 협력 체계를 구축함

□ 일본 RTRI, 독일 Thyssenkrupp 등과 MOU 체결은 물론 세계적으로 처음 초고속자기부상열차를 운영 중인 상해 SMTDC와 기술교류를 진행 중에 있음

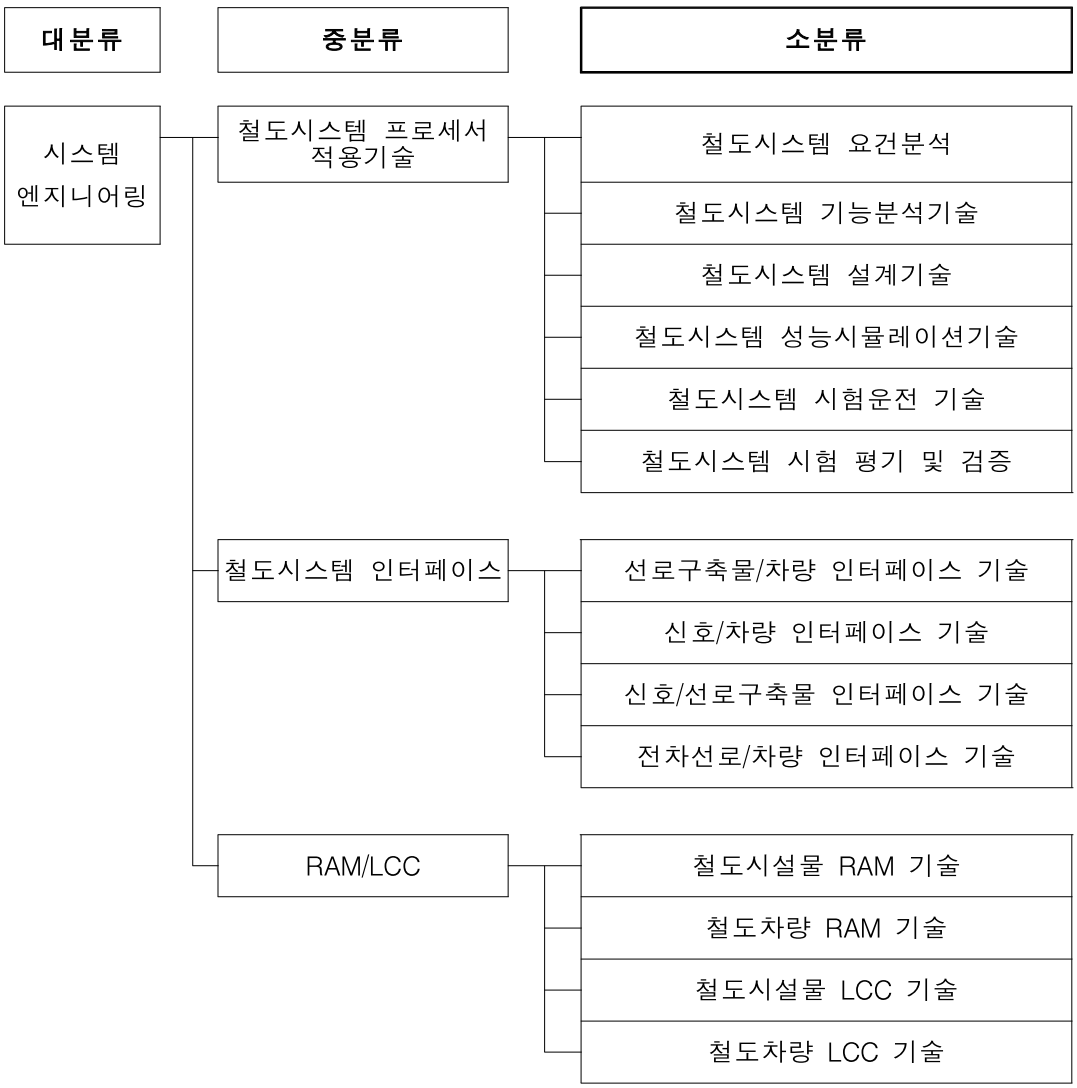
□ 뿐만 아니라 미국 샌디에고에 위치한 General Atomics사의 전문기술인력과도 상호방문을 통한 심도 있는 기술 및 정보교류를 추진 중에 있음

□ 지금까지 개발한 기술들은 기존 선진국에서 이미 검증된 것으로 국산화에 의한 수입대체라는 측면에서 큰 효과가 있었지만, 이제는 기존의 빠른 추종자 전략을 과감하게 청산할 필요가 있음

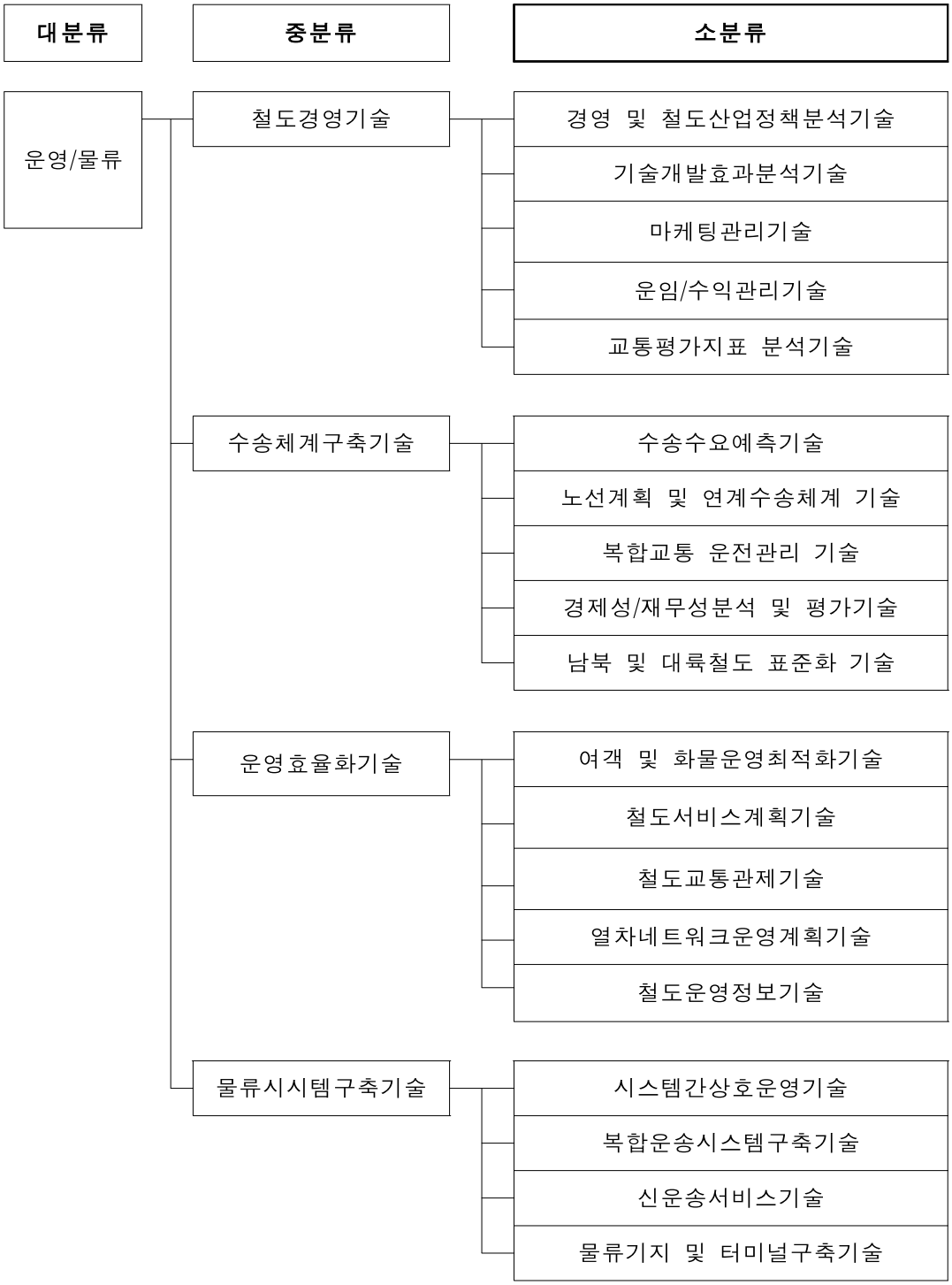
□ 첨단원천기술에 기반하는 국가신성장 동력을 창출하고 이를 성공적으로 개발하기 위해 leading innovator 전략으로 방향을 선회하여 세계표준과 세계시장을 선점하는 기술에 도전하기 위한 제반 준비를 진행해야 함

제4절 분야별 기술트리

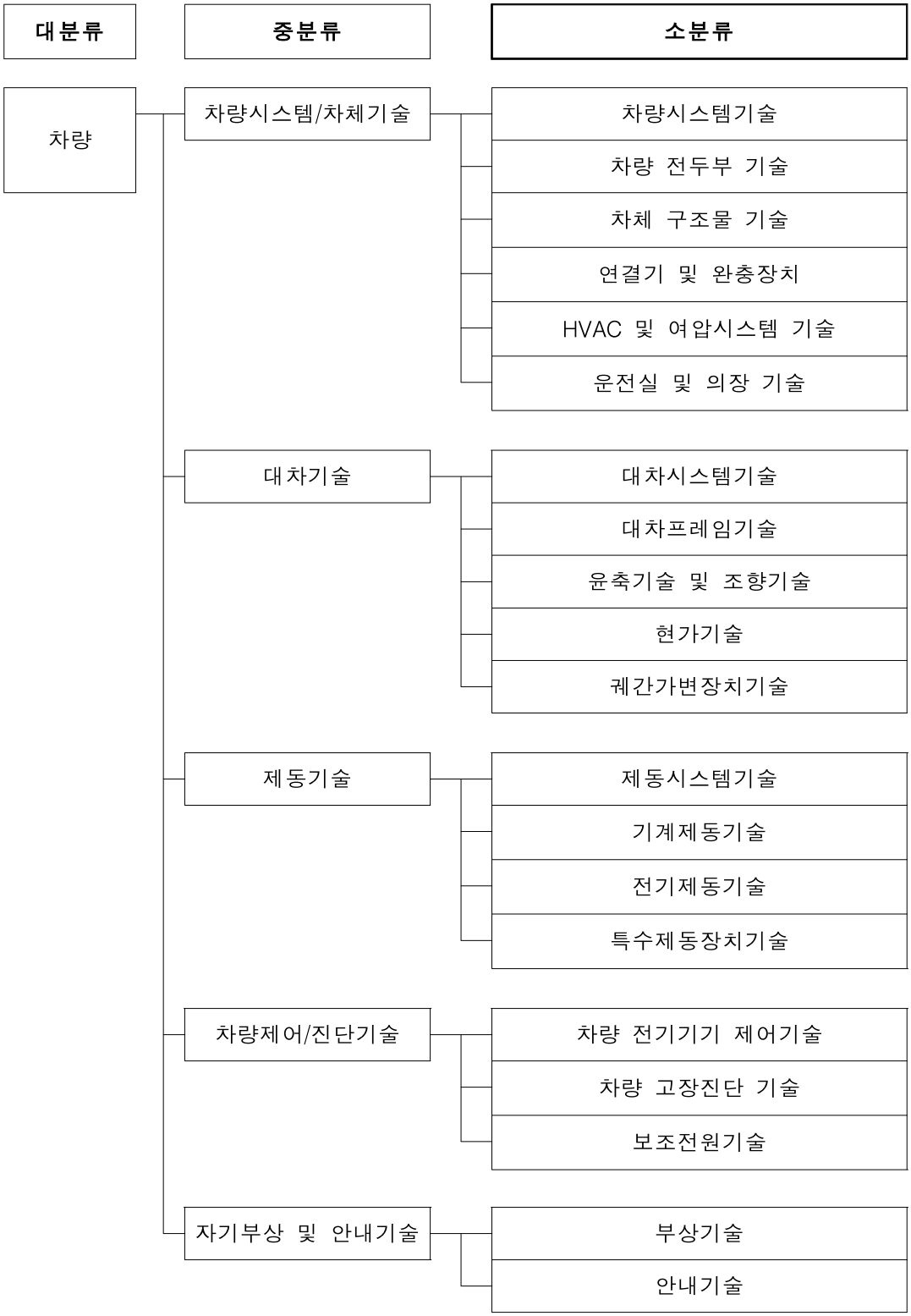
□ 시스템 엔지니어링 기술트리



□ 운영/물류 기술트리


대분류
중분류
소분류
운영/물류
철도경영기술
경영 및 철도산업정책분석기술
기술개발효과분석기술
마케팅관리기술
운임/수익관리기술
교통평가지표 분석기술
수송체계구축기술
수송수요예측기술
노선계획 및 연계수송체계 기술
복합교통 운전관리 기술
경제성/재무성분석 및 평가기술
남북 및 대륙철도 표준화 기술
운영효율화기술
여객 및 화물운영최적화기술
철도서비스계획기술
철도교통관제기술
열차네트워크운영계획기술
철도운영정보기술
물류시시템구축기술
시스템간상호운영기술
복합운송시스템구축기술
신운송서비스기술
물류기지 및 터미널구축기술

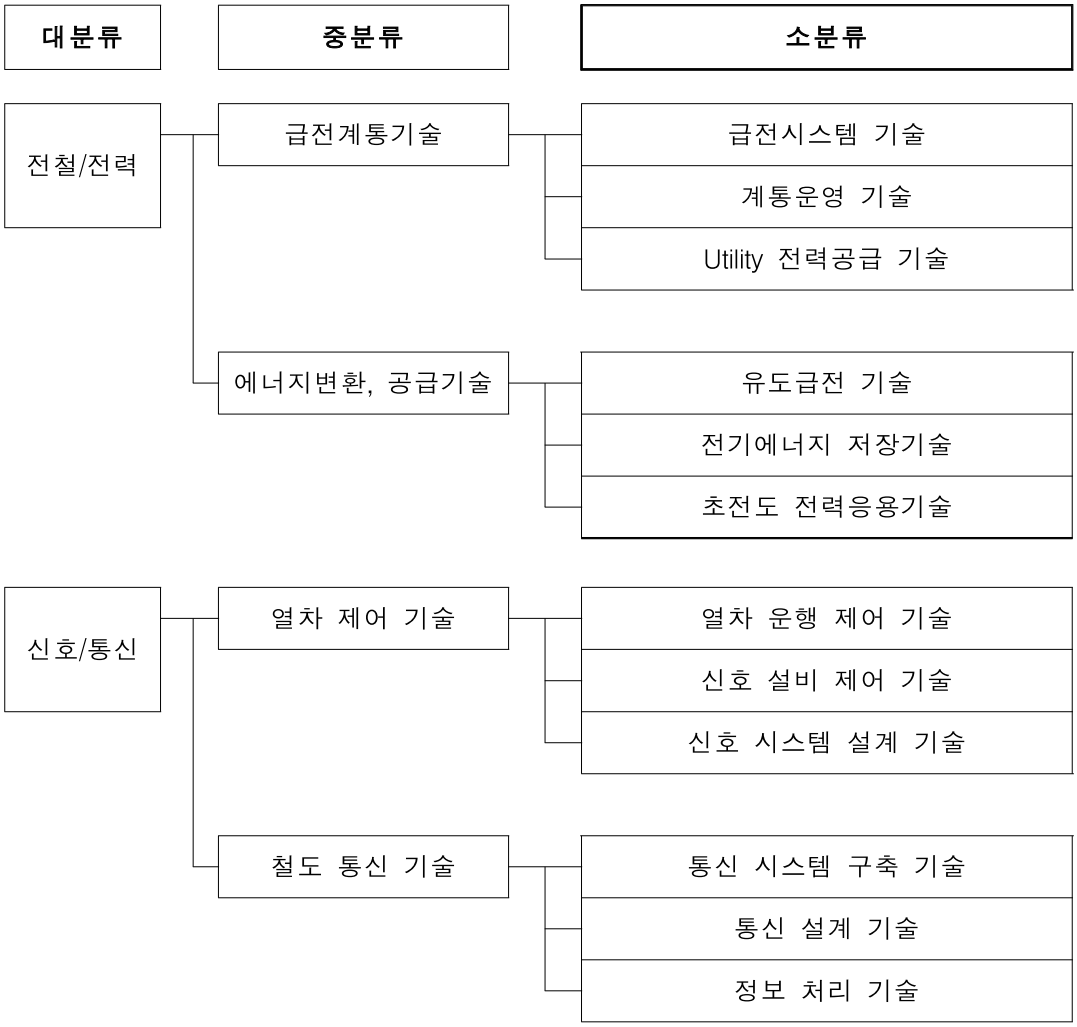
□ 차량시스템 기술트리


대분류
중분류
소분류
차량
차량시스템/차체기술
차량시스템기술
차량 전두부 기술
차체 구조물 기술
연결기 및 완충장치
HVAC 및 여압시스템 기술
운전실 및 의장 기술
대차기술
대차시스템기술
대차프레임기술
윤축기술 및 조향기술
현가기술
궤간가변장치기술
제동기술
제동시스템기술
기계제동기술
전기제동기술
특수제동장치기술
차량제어/진단기술
차량 전기기기 제어기술
차량 고장진단 기술
보조전원기술
자기부상 및 안내기술
부상기술
안내기술

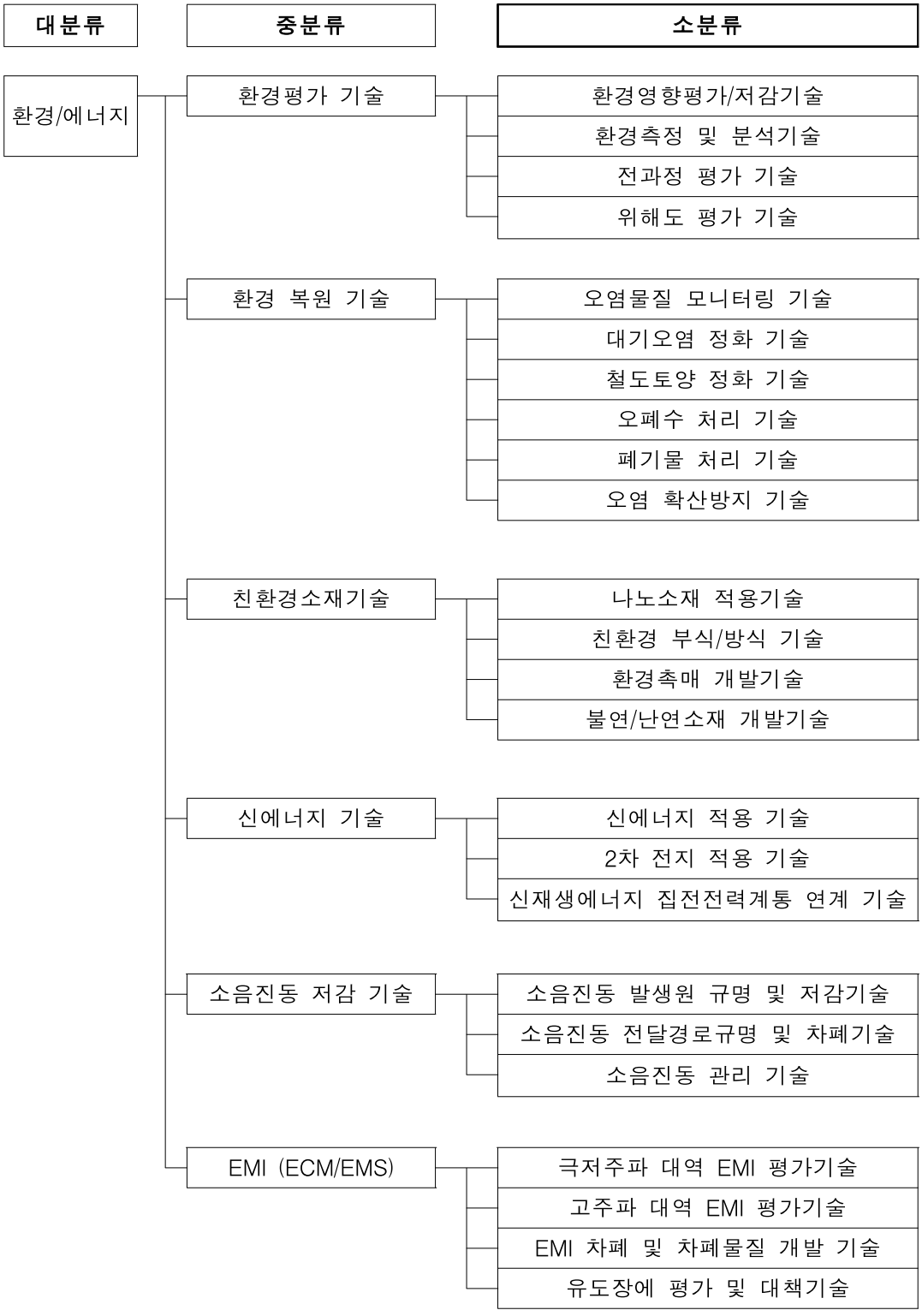
□ 궤도토목 기술트리


대분류
중분류
소분류
궤도토목
궤도기술
궤도선형 기술
궤도시스템 기술
궤도구성품 기술
궤도부설공법 기술
분기기 기술
철도교량기술
철도교량 해석 및 설계 기술
철도교량 구성품 기술
철도교량 시공 기술
철도교량 성능평가 및 성능향상 기술
철도터널기술
철도터널 해석 및 설계 기술
철도터널 시공 기술
철도터널/선로변 공력평가 및 설계기술
해저 철도터널 기술
대심도 철도터널 기술
초고속철도 진공터널 기술
철도노반기술
철도 지반구조물 설계 및 해석기술
철도 지반구조물 시공기술
철도 지반구조물 신재료 및 구성품기술
철도 지반구조물 성능평가 및 향상기술

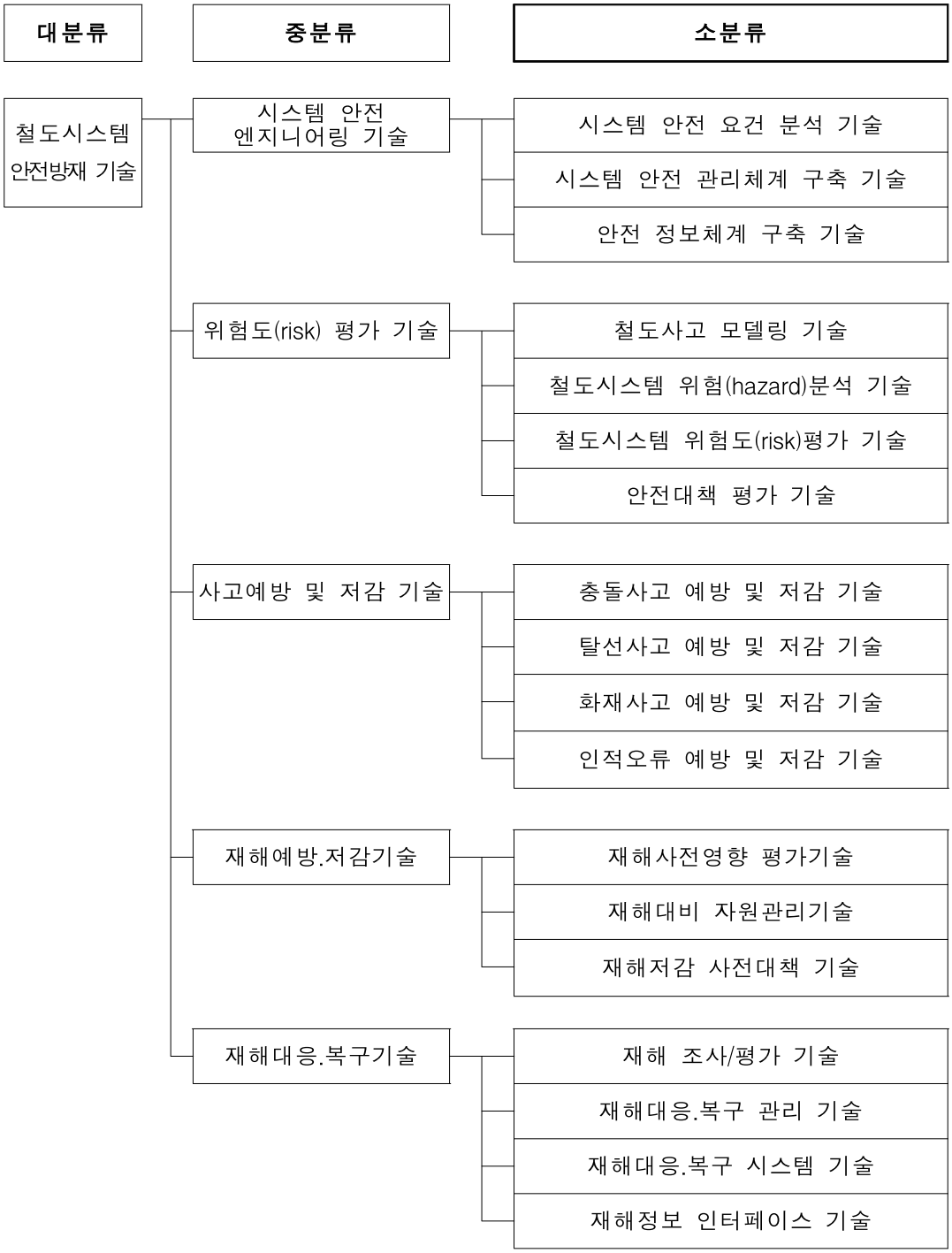
□ 전철/전력 및 신호/통신 기술트리



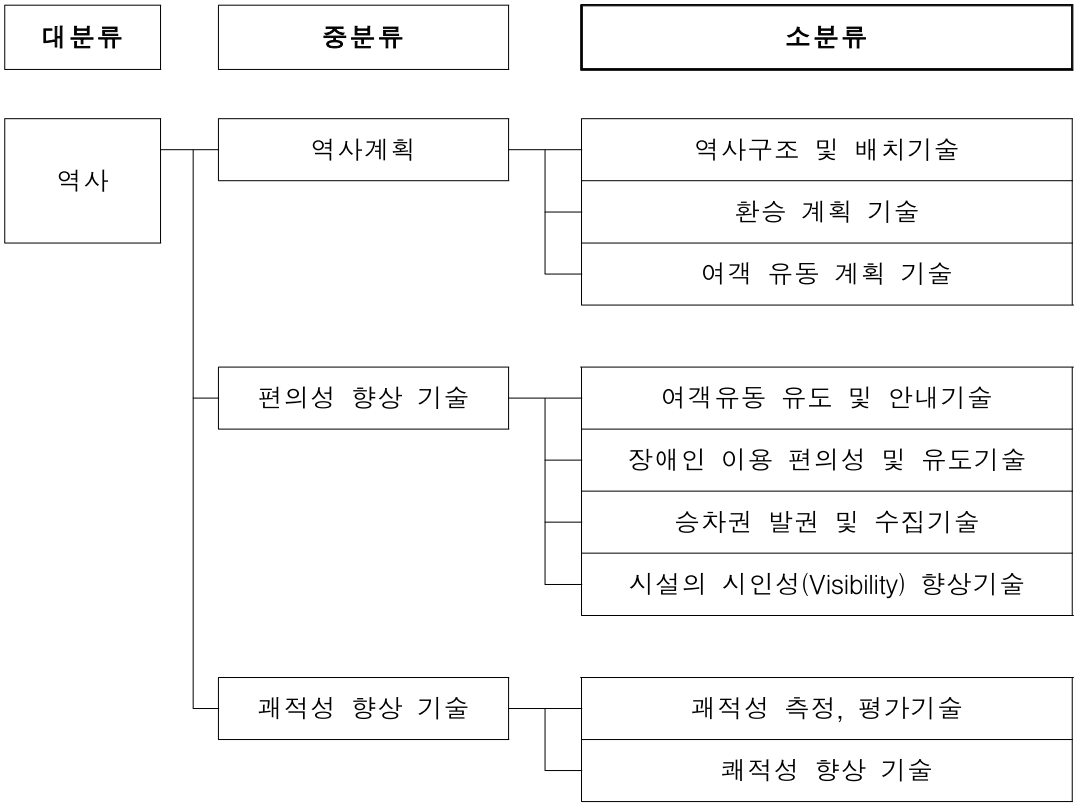
□ 환경/에너지 기술트리


대분류
중분류
소분류
환경/에너지
환경평가 기술
환경영향평가/저감기술
환경측정 및 분석기술
전과정 평가 기술
위해도 평가 기술
환경 복원 기술
오염물질 모니터링 기술
대기오염 정화 기술
철도토양 정화 기술
오폐수 처리 기술
폐기물 처리 기술
오염 확산방지 기술
친환경소재기술
나노소재 적용기술
친환경 부식/방식 기술
환경촉매 개발기술
불연/난연소재 개발기술
신에너지 기술
신에너지 적용 기술
2차 전지 적용 기술
신재생에너지 집전전력계통 연계 기술
소음진동 저감 기술
소음진동 발생원 규명 및 저감기술
소음진동 전달경로규명 및 차폐기술
소음진동 관리 기술
EMI (ECM/EMS)
극저주파 대역 EMI 평가기술
고주파 대역 EMI 평가기술
EMI 차폐 및 차폐물질 개발 기술
유도장에 평가 및 대책기술

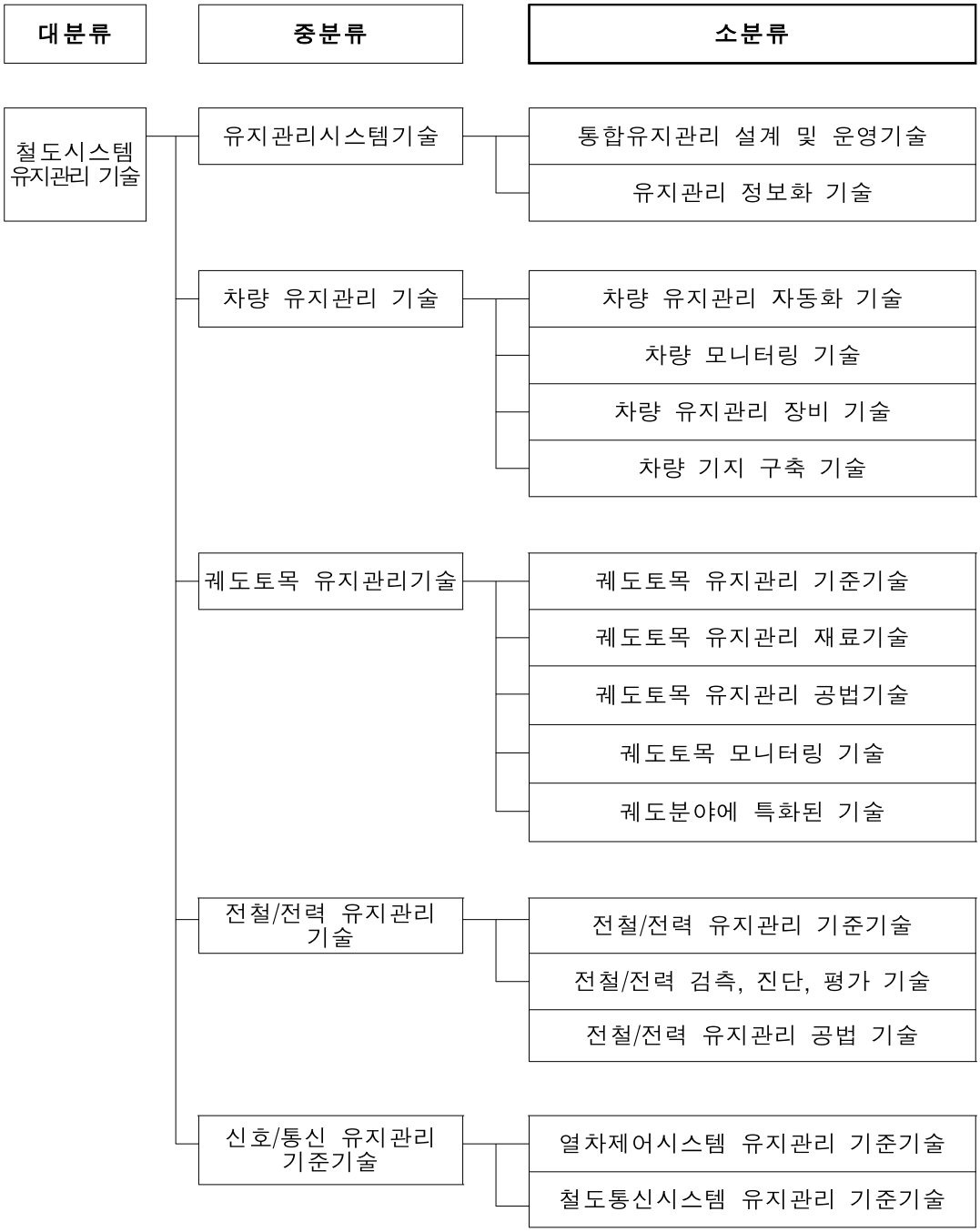
□ 철도시스템 안전방재 기술트리



□ 역사 기술트리


대분류
중분류
소분류
역사
역사계획
역사구조 및 배치기술
환승 계획 기술
여객 유동 계획 기술
편의성 향상 기술
여객유동 유도 및 안내기술
장애인 이용 편의성 및 유도기술
승차권 발권 및 수집기술
시설의 시인성(Visibility) 향상기술
괘적성 향상 기술
괘적성 측정, 평가기술
쾌적성 향상 기술

□ 철도시스템 유지관리 기술트리



제6장 기술개발 추진방안 수립

제 1 절 사업단 총괄과제

제 2 절 핵심과제 도출

제 3 절 추진체계 구성

제 4 절 예산소요 및 인력투입 계획 수립

제 5 절 추진일정

제6장 기술개발 추진방안 수립

제1절 사업단 총괄과제

□ 역할

○ 총괄과제는 사업단장 주관 하에 핵심과제를 총괄하며, 성공적인 사업 성과를 도출하기 위한 기반을 구축하고, Test Bed사업을 지원 및 수행함

□ 주요 내용

○ 사업단 총괄 운영을 위한 기획/관리/평가

○ Test Bed 개발 및 사업 지원

○ 사업단 사업의 효율적 추진을 위한 제도 발굴 및 개선

○ 성공적 사업 수행을 위한 홍보

○ 국제 협력체계 구축 및 국제 공동연구 추진

○ 장기전략 수립 및 기반 마련

○ 인력양성 프로그램 운영

제2절 핵심과제 도출

□ 역할

○ 700km/h급 초고속 튜브 트레인 시스템 기술개발을 위한 기초기술과 축소모형을 건설하기 위해 연구기간 동안 집중적으로 연구해야 할 과제

□ 핵심과제 도출 기본 원칙 및 과정

○ 사업 프로세스별로 핵심과제를 기본적으로 분류

○ 원천기술 확보와 시스템 인터페이스 기술, 그리고 시스템 인티그레이션 기술 확보에 초점을 두고 핵심과제를 결정

○ 각 기술의 레벨링과 그룹화를 통하여 핵심기술 후보군을 도출함

□ 핵심과제 및 세부과제 구성

○ 기술적 유사성 및 연계성을 고려하여 핵심과제를 구성하여 5개의 핵심과제를 도출하였으며, 각 핵심과제별 세부과제는 다음과 같음

- 시스템 엔지니어링 기술연구

- 튜브트레인 차량시스템 기술개발

1) 차량시스템 엔지니어링 기술
2) 튜브-차량 공력평가 기술
3) 자기부상 차량-궤도 상호작용 평가 기술
4) 승차 환경성 평가 기술
5) 충돌 안전도 해석 및 평가 기술
6) 자기부상 대차 기술
7) 차체 기밀설계 기술
8) 저압환경용 HVAC 및 ECLSS 기술개발

- 초고속 튜브트레인 기반 기술개발

1) 열차제어 및 운영시스템 기술
2) 방재시스템 설계 기술
3) LSM 추진/제동 기술
4) 자기부상/안내 기술
5) 유도 급전시스템 기술
6) 추진 전력기술

- 튜브인프라 기술개발

1) 가이드웨이 동적 안정성 해석기술

2) 궤도/분기기 기술

3) 고기밀 아진공 튜브 기술

4) 튜브 비파괴 진단 기술

5) 진공 펌프 및 압력조절시스템 기술

- 튜브트레인 축소 시험선 구축

1. 차량시스템 엔지니어링 기술개발

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 시스템 엔지니어링은 원하는 성능의 최종 성과물 얻기 위해서 시스템 요구사항을 분석하여 개념설계로 부터 기본설계 및 상세설계에 이르기까지 반복적으로 설계의 범위를 확대 개선하고 요구사항 및 개발과정 관리를 통하여, 최종적으로 가장 경제적이면서도 요구되는 성능을 발휘하는 시스템을 구현해 가는 과정임

○ 철도차량과 같은 종합시스템은 구조물의 안전성확보 측면과 운용상의 경제성 확보측면에서 기본사양 결정 기술이 필수적으로 확보되어야 하며 사용환경과 목적에 맞게 설정되어져야 하기 때문에 전체 개발 방향을 결정하는 주요한 요소임

○ 철도선진국에서는 시스템 엔지니어링 기술을 적극 활용하여 차량 개발과정에서 사양의 결정, 설계의 확인 및 확정, 제작과정에서의 확인 등 주요 시점마다 초기에 계획된 사양과의 적합성을 확인하고 관리를 수행하여 당초 기획했던 성능의 차량이 제작될 수 있도록 하고 있으나 국내에서는 아직 미흡한 실정임

○ 시험평가기술 및 관련규정은 차량 및 부품이 설계되는 과정부터 시작하여 최종적으로 인증과정에 이르기까지 매우 중요한 수단과 지침이 되고 있고, 최종적인 기술수준을 의미하게 되므로 차량성능평가 시술을 확보할 필요가 있음

○ 이와 같이 위험 요소들을 사전에 파악하여 관리함으로써 설계 변경에 의한 비용 증가 및 공기 지연의 위험을 최소화 할 수 있도록 차량 시스템 엔지니어링 기술 개발이 필요함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 시스템 엔지니어링 관련 기술은 미 국방성의 무기체계 획득 과정에서 적용하고 있으며, 모든 대형 시스템의 개발 과정에서 특성에 맞게 구축된 S/W등을 활용하여 요구사항에서부터 제작, 시험에 이르기까지 체계적으로 관리를 수행하고 있음

- 철도선진국에서는 통상 철도 운용주체가 주관이 되어 운용분야의 기술 사양을 결정하며 가장 효율이 높은 사양을 결정하여 경제성을 높이고 연구활동의 효율을 극대화 하고 있음

○ 국내 기술 동향

- 고속철도차량의 엔지니어링 기술 통합 및 총괄 연구 사업은 기존 철도차량 사업을 통해 축적된 기술위에 진행되어 응용 설계능력은 확보되었으나 신제품 개발을 위한 설계기술, 해석, 생산기준, 시험 기준 등의 일괄적인 종합엔지니어링 능력은 부족함

- 자기부상열차 시험운영 및 상용화를 위해 시스템 엔지니어링 기술을 도입하여 추진 중에 있음

□ 연구 개발 목표 및 내용

○ 튜브트레인 축소모형 시스템 사양결정 및 기본설계

○ 차량 운용환경조건 인터페이스 기술개발

○ 설계서 검토 및 시험평가 지원

○ 차량의 유지보수 시스템 개발

□ 기술 개발 추진 전략

○ 차량 기계 부품 및 전장품 개발과제에 참여하는 각 연구기관과 연계하여 차량의 설계, 인터페이스 및 통합성 검토, 기술개발결과 연계활용

○ 설계 및 제작공정 관리를 체계화하기 위한 개발품 도면, 시험결과 및 활용절차 확립

○ 독일 및 일본 등 자기부상열차의 선두국가로부터 시제차량 성능 및 제작성 확보를 위한 상세설계 검증, 시험평가 결과 검증 및 기술지원 요청

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	2	2	2	2	10
연구 재료비 및 설비투자비	100	120	120	120	90	550
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	76	82	92	92	98	440
기타경비	104	108	108	108	102	530
총 액	400	430	440	440	410	2,120

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 국내 기술이 취약한 차량의 부품간, 차량과 궤도간, 통신시스템의 인터페이스 등 튜브 트레인 개발에 필수적인 시스템 설계 기술의 습득을 통하여 관련 사업 기술 향상에 기여가 예상됨

○ 시스템 설계에 있어 차량시스템과 전기·신호 시스템, 선로구축물을 종합적으로 포함 하는 성능 해석 기술의 확보를 통하여 시스템 엔지니어링 기술의 해외 진출에 중요한 도구가 될 것임

2. 튜브차량 공력 평가기술

□ 필요성 및 중요성

○ 튜브트레인 시스템은 저진공 환경에서 공기저항을 최소화하여 초고속 주행을 실현하는 시스템으로서 공기역학적 최적설계를 통한 공기저항의 저감이 시스템 성패의 관건임

○ 저진공 튜브 내에서 차량의 공기저항은 튜브 진공도, 터널 단면적, 요구 추력 등을 결정하는 핵심 시스템 파라메타이므로 중대형 공력 시험평가 설비를 구축하여 정확하게 평가하여야 함

○ 전두부 형상은 차량의 공기저항을 좌우하는 요소이며, 전두부 형상을 최적화할 경우 공기저항의 저감이 가능하여 전체적인 시스템 성능의 향상이 기대됨

○ 저진공 튜브 시스템은 진공유지, 비상 시 기압 환원, 추진/부상 마그넷에 의한 열축적 등 다양한 열/유동 현상이 발생하게 되는데, 이를 종합적으로 해석하고 제어하는 열/유동 제어기술이 필요함

□ 기술개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 미국에서는 교통부 철도관리국(Federal Railroad Administration, FRA)의 고속지상운송연구소(Office of High Speed Ground Transportation, OHSGT)의 주도 아래 튜브차량시스템(Tube Vehicle System, TVS)에 대한 연구가 1966년부터 1969년까지 이루어졌고, 1970년 관련 보고서가 발간되었음

1) 이 보고서에서는 TVS에 대한 타당성을 판단하기 위하여 공기역학, 추진 및 부상 요소들에 대하여 논하였고, 특히 튜브-차량 공기역학에 대한 당대 최고기술에 대한 조사를 수행하였음

2) 또한, TVS의 형태를 분류하고 다양한 차량시스템의 개념을 제시하였으며, 튜브-차량 실험 장치를 통해 도출된 실험결과들을 해석치와 비교하였음

- 중국은 서남 교통대를 중심으로 초전도 방식의 초고속 자기부상열차를 지속적으로 연구 중이며, 초고속 자기부상열차의 속도한계를 극복하기 위하여 튜브트레인 기술에 대한 연구를 병행하고 있음

1) 2005년 서남교통대학학보에 '진공터널 고속열차 발전에 대한 고찰'이라는 기사를 투고하여 중국의 튜브트레인 기술 개발에 대한 주요 이슈와 계획을 소개하였음

2) 동 기사에서 튜브트레인의 개발을 위해서는 터널 내의 압력속도관계, 저항계수, 그 외 기간(基幹) 기술과 같은 진공터널고속열차의 기본문제에

대한 이해가 반드시 필요하다고 밝힘

- 일본에서는 현재 개발 중인 초고속자기부상열차에 튜브트레인 개념을 적용하는 연구를 수행하여 WCRR2006 국제학술대회에 발표하였음

1) 터널 내의 압력을 0.5기압에서 0.1기압까지 감소시킴으로써 터널 단면적을 줄여 전체 건설비를 절감할 수 있음

2) 이와 같은 구상이 대심도 지하터널의 건설과 결합되면, 소음과 지반진동을 완전히 배제하는 환경친화적인 시스템을 구성할 수 있으며, 이 같은 컨셉을 SUPERMETRO라고 제안하였음

○ 국내 기술 동향

- 현재 국내의 초고속철도 공력 기술의 수준은 1996년부터 개발이 시작되어 현재 상용화를 눈앞에 두고 있는 KTX-II열차의 공력설계를 서울대가 수행하였으며, 이를 통해 축적된 기술을 바탕으로 400km/h 급 고속철도의 개발 사업에서 서울대가 공력설계를 진행하고 있음

- 서울대에서 개발한 축대칭 열차-터널 전산해석 프로그램은 열차의 전두부와 터널의 후드 등을 모사하여 압력파의 형상을 정밀하게 모사할 수 있으며, 시험치와 비교하여 상당한 정도의 정확성을 가지는 세계적인 수준의 프로그램임

- 철도연의 경우에는 KTX-II 열차 개발 과정에서 열차의 터널 주행 시 발생하는 압력파와 미기압파 문제에 대한 시험평가 및 최적설계를 위하여 500km/h급 터널주행열차시험기와 공기저항과 유동장 측정 등 제반 공력기술의 개발에 필수적인 장비인 풍동을 보유하고 있으며, 측풍에 의한 열차의 위험도를 평가하고 안전성을 확보하는 기술을 개발 중임

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국철도기술연구원	○ KTX-II 열차의 종합 공력평가 수행 ○ 축대칭 열차-터널 전산해석 프로그램 보유 ○ 튜브트레인 기초시험장치 개발
	서울대 (항공우주비행체설계연구실)	○ KTX-II열차의 원형인 G7 시제차의 공력설계를 수행 ○ 400km/h 급 차세대 고속열차의 공력설계 진행 중
국외	일본철도총합연구소 (RTRI) (자기부상기술연구실)	○ 현재 개발 중인 초고속자기부상열차(MLX)에 튜브트레인 개념을 적용하는 기초연구 수행 (SUPERMETRO)
	중국 서남교통대 (초전도응용연구실)	○ 초전도 자기부상열차 '세기호' 개발(1999) ○ 초고속 주행을 위하여 진공 튜브 기술 고려 중

□ 기술개발 추진 전략

○ 항공, 기계 분야에서 성숙기에 다다른 공력해석 및 최적화 설계기법을 이용

○ 고속철도 공력설계를 통해 축적된 경험과 인프라를 적극 활용

○ 초고속 달성이 가능한 중대형 튜브트레인 시험시설의 세계최초 건설로 튜브트레인 분야 세계적 기술 우위 선점

○ 산학연 역할 분담 및 관련 전문가, 전문기관 협력체계 구축

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	3	4	4	4	17
연구 재료비 및 설비투자비	100	150	170	1400	250	2,070
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	76	104	38	32	32	282
기타경비	104	156	202	448	218	1,128
총 액	400	590	650	2,120	740	4,500

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 튜브 트레인 시스템의 공력 저감 기술 및 관련 진공제어 기술은 위성체 및 발사체의 형상 개발 및 대기권 밖에서의 제어 기술과 접목시킬 수 있는 첨단 기술임

3. 차량궤도 상호작용 해석 기술

□ 필요성 및 중요성

○ 초고속열차의 승차감 확보 및 고속 주행 안정성 확보를 위한 설계 도구로써의 해석 기술 개발 필요

○ 경제적인 가이드웨이 설계를 위한 차륜/궤도 상호 작용 해석 기반 기술 확보 필요

□ 기술개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 일본 RTRI에서 in-house program인 DIASTARS(Dynamic Interaction Analysis for Shinkansen Train And Railway Structures)을 개발하여 평상시의 주행성을 해석함과 동시에 지진시에도 주행 안정성을 해석할 수 있는 툴을 보유하고 있음, 이러한 기술을 확대하여 자기부상열차 동특성 해석에도 적용하고 있음

- 바퀴식 고속열차를 개발하면서 축적되어온 기술을 이용 상용 해석 프로그램(ADAMS, GENSYS, NUCARS, SIMPACK, VAMPIRE 등)이 다양하게 개발되어 수직 및 수평 방향 상호작용 해석에 활용되고 있으며, 지속적인 연구 개발로 기술적인 한계를 극복하고 신뢰성 있는 모델링 기술을 개발하고자 노력하고 있으면 자기부상열차의 동특성 해석 기술도 지속적으로 연구하고 있음

- 유럽 각 나라나 미국, 캐나다 등에서 학계, 연구소를 중심으로 다양한 차량/궤도 상호작용 해석 프로그램이 개발되고 있으나, 주로 차량의 해석을 목적으로 하고 있기에 궤도를 간소화 혹은 강체 거동으로 가정하고 해석

하는 한계를 보여 줌.

- 또한 하부 구조물에 대해서는 거의 반영을 하고 있지 않으며, 최근 연구 동향은 이런 하부구조물의 모델링을 포함하여 차량과 궤도의 인터페이스 특성을 정확하게 모델링하고자 하는 노력이 이루어지고 있음

- 초고속 자기부상열차의 개발과정에서 차량 동특성 해석 기술을 개발하여 사용하고 있으며 부상/안내 제어 모듈과 연동하여 해석 결과의 신뢰성을 높이는 연구를 오랜 기간 추진해 왔으며, 이렇게 개발한 기술을 차량 설계 및 가이드웨이의 설계에 응용해 왔고 지속적으로 자기부상열차 신모델을 개발하는데 적용하여 최고속도 500km/h의 차량을 개발하는데 성공하였음

○ 국내 기술 동향

- 철도연에서는 바퀴식 차량의 횡방향 주행안정성 검토를 위해서 국외에서 개발한 상용프로그램(VAMPIRE, ADAMS/Rail)을 이용하고 있음(철도연에서 기존 수행된 연구 내용 중 차량 및 궤도를 Vampire 모델링하여, 선형해석하고, 차량의 횡진동 특성 해석, 주행 안정성(탈선계수 산정) 및 곡선 추종성능을 검토한 사례가 있음)

- 수직방향 차량/궤도 상호작용 해석과 관련해서 국내 타기관의 연구사례는 거의 없으나, 철도연에서 차륜 평상화(Flat) 및 마모, 노반침하, 뜬침목, 궤도틀림, 레일요철, 레일파단 등의 영향을 분석할 수 있는 국제적 수준의 수직방향 차량/궤도 상호작용 해석 툴을 구축하였음

- 기계연에서 차륜과 레일의 횡방향 상대 변위에 따른 접촉점의 위치를 산정하고 접촉력을 계산하는 프로그램을 개발하였음

- 자기부상열차와 관련한 동특성 해석기술은 몇 개의 대학 연구실에서 부분적으로 자기부상열차 동특성 해석 모델 구축 및 차량/궤도 상호작용 해석에 대한 연구를 수행했으며 기계연에서는 상업용 프로그램인 DADS를 응용하여 자기부상 열차 및 가이드웨이 인터페이스를 고려한 해석기술 개발 및 시험평가 결과를 이용한 해석 기법의 검증 및 설계에 응용하는 연구를 수행해오고 있음

- 최근에는 유연체 모델링 기법을 적용한 해석 기술 및 부상 제어기 특성

을 연동한 차량/가이드웨이 상호작용 해석기술도 개발한 상태임

- 초고속 자기부상열차의 차량/궤도 상호작용에 대한 국내 연구 경험은 전무하고 특히 초고속 튜브 인프라와 초고속 자기부상열차의 상호작용에 대한 연구는 전 세계적으로 없음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○한국기계연구원	○ 도시형 중저속 자기부상열차 동특성 해석 기술 개발
	○서울대학교	○ 자기부상열차 모델기반 동역학 시스템 해석 및 제어기술 개발
	○성균관대학교	○ 차량/가이드웨이 상호작용 해석 기술 개발
	○(주) 로템	○ 도시형 중저속 자기부상열차 개발
국외	○일본철도총합연구소 (RTRI) (자기부상기술연구실)	○ 초전도 반발식 자기부상 열차 개발 ○ EDS 부상 시스템 개발
	○독일 Transrapid	○ 상전도 흡인식 자기부상 열차 개발 ○ EMS 부상 시스템 기술 개발 ○ 운행최고속도 500 Km/h의 EMS 방식의 자기부상열차용 대차시스템 개발 완료
	○중국 서남 교통대, CARS	○ 신규 대차에 대한 기술개발연구를 지속적으로 수행 ○ 상하이 영업노선을 시험선으로 활용하여 인증시험 수준의 성능시험 수행하고 운행, 유지보수 기술 확보

□ 기술개발 추진 전략

○ 국내외 전문가와의 기술 협력, 공동연구 추진

- 세계 최고수준의 EMS 방식 자기부상열차 설계 기술을 확보하고 있는 독일 및 다른 선진국의 최고 전문가들과의 기술교류를 통한 신기술 파악 및 시행착오를 줄이고 신기술의 신속한 도입을 도모하며, ThyssenKrupp과의 공동연구 추진을 통하여 자기부상열차 동특성 해석기술 및 승차감 향상 기술을 확보함

○ 기초연구 분야는 대학과의 유기적인 협조 체제 구축하여 기술 개발

○ 시험장치 및 축소형 시험선을 활용한 기술 검증 체계 구축

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	2	2	2	2	10
연구 재료비 및 설비투자비	150	100	100	100	100	550
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	86	86	76	66	76	390
기타경비	114	104	104	104	104	530
총 액	470	410	400	390	400	2,070

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 초고속 자기부상 차량 및 가이드웨이 설계에 활용

○ 대형 동역학 시스템 제어 기술 확보

○ 타 산업분야 자기 부상 기술 응용시 고정밀도 설계 기술 활용

○ 고주파 진동 시험 평가 기술 확보

4. 가이드웨이 동적 안정성 해석기술

□ 필요성 및 중요성

○ 일반철도의 경우 고속철도에서 열차의 동적하중과 교량의 동적특성에 따라 공진이 발생할 수 있고 있는 주행안전성과 승객의 승차감에 큰 영향을 줌

○ 초고속 철도에서도 차량의 주행하중에 의해 가이드웨이의 동적 특성에 따른 구조물의 구조적 안전성, 차량 부상제 안정성 및 승차감 등이 반드시 검토되어야 함

○ 자기부상 공극(air gap)은 특히 상전도 흡인식의 경우 10~20mm 내외에서 매우 정밀하게 유지되어야 하는데, 열차와 가이드웨이의 동적 안정성은 자기부성열차의 경우 열차와 가이드웨이 사이의 공극을 일정하게 유지하는 부상제어장치와 가이드웨이와의 동적 상호작용이 중요한 영향을 미침

○ 현재 국외에서 개발된 상전도 흡인식 자기부상열차의 경우도 명확한 동적 특성을 규명하지 못하고 있어서 설계의 불확실성이 커짐으로 인해 가이드웨이가 지나치게 보수적인 설계기준으로 건설되어 막대한 시공비의 증가를 가져오게 됨

○ 초고속 튜브철도에서 목표로 하는 700km/h 이상의 속도는 지금까지 전혀 근접해보지 못한 속도대역이므로 이를 예측하기 위해서는 가이드웨이의 동적 특성을 정확히 규명해야 함

○ 특히 가이드웨이의 글로벌 모드(global mode) 뿐 아니라 로컬모드(local mode)까지 정확한 분석이 이루어져야 함

□ 기술개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 자기부상열차 관련 기술은 세계적으로 자국 기술의 해외 유출을 방지하고 있는 핵심 첨단 기술임

- 일본의 경우 LIM 방식의 중저속 자기부상열차(Linimo)가 실용화 되어 운행되고 있으며 40여년간의 현장시험과 수치해석을 바탕으로 안정적인 운영을 하고 있음

- 독일의 경우 상전도 흡인식으로 500km/h 급의 고속 자기부상열차를 시험 운행하고 있으며 같은 모델이 중국 상하이에서 실용화 된 바 있으며 아직 차량과 가이드웨이 상호작용 해석과 분석기술이 완벽하지 않아 가이드웨이의 선택시 많은 제약이 있음

- 차량과 가이드웨이의 동특성 분석에 있어 시험선 운행을 통해 대부분 시험적으로 현상을 인식하고 있을 뿐 문제점의 원인파악과 경제적인 해결노력은 다소 부족한 편임

- 독일의 경우도 중국 상하이에 실용화 노선에 기술을 제공하기는 하였으나, 핵심기술의 해외이전은 거의 불가능한 것으로 판단됨

○ 국내 기술 동향

- 1980년대 초반 Lim 방식의 자기부상열차 개발사업이 시작됨

- 최근 도시형 자기부상열차 실용화 사업을 통해 중저속 자기부상철도의 궤도시스템 개발

- 도시형 자기부상열차 실용화 사업이 시작되기 전까지는 차량 분야에서 가이드웨이와의 상호작용을 연구하였으나 토목구조물이 가이드웨이에 대한 이해가 다소 부족하였음

- 수치해석 기법은 진행방향과 수직방향의 2차원 해석에 그치고 있어 횡방향 안내를 위해 횡방향 변위를 함께 고려해야 하는 3차원 해석까지 확장이 필요함

- 차량과 구조물의 상호작용에 대해 심도있는 연구를 통해 보다 경제적이고 완화된 시공기준의 구조물 건설이 필요함

- 고속열차에서의 차량/교량 상호작용과 자기부상열차에서의 차량/가이드웨이 상호작용 해석의 필요성은 근본적으로 필요성이 다름

- 중저속 자기부상열차는 LIM 방식이고 초고속 튜브철도의 자기부상열차는 LSM 방식으로 급전 추진 방식에 차이가 있음

- 중저속은 최고속도 110km/h이고 초고속 튜브철도의 자기부상열차는 최고속도 700km/h를 목표로 하고 있어 주행안전성에 영향을 미치는 물리적 요소의 정밀도는 차원이 전혀 다름

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○ 한국기계연구원	○ 중저속 자기부상열차 개발 ○ Lim 방식 중저속 자기부상열차와 가이드웨이의 초기 단계 상호작용 해석
	○ 한국철도기술연구원	○ 가이드웨이의 동적변위를 고려한 자기부상열차 가이드웨이 상호작용 해석 ○ 중저속 자기부상열차 궤도 시스템 개발
국외	○ 일본철도총합연구소 (RTRI)	○ 중저속 자기부상열차 세계최초 상용화 ○ 초전도 반발식 자기부상열차 시험 운행중
	○ 독일 Transrapid	○ 상전도 흡인식 초고속 자기부상열차 실용화 ○ 시험선에서의 차량의 부상안전성에 대한 수십년의 경험 ○ 현장적용에 대한 차량/가이드웨이 간섭 문제 일부 문제 경험적 해결

□ 기술개발 추진 전략

○ 차량 동특성 해석기술 및 부상제어장치 동특성 해석기술과의 긴밀한 인터페이스를 확보하여 향후 integration이 가능한 시스템으로 개발되어야 함

○ 해석기술은 실제 차량 주행 시 계측결과와의 비교, 분석을 통해 해석결과의 정확성이 입증되어야 하므로 시험선 구축 이후에도 해석기법의 보완 및 성능개선이 지속적으로 이루어져야 함

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	2	2	2	2	10
연구 재료비 및 설비투자비	150	100	100	100	100	550
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	86	86	76	66	76	390
기타경비	114	104	104	104	104	530
총 액	470	410	400	390	400	2,070

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 초고속 자기부상열차 가이드웨이의 요구조건 및 설계기준 정립에 활용되어 가이드웨이 경제성 제고에 기여할 것으로 기대됨(과다 설계에 따른 시공비 증가를 억제함으로써 건설비 대비 약 20% 절감 가능(추정치))

○ LIM 방식의 자기부상철도를 비롯한 유사 신형식 미래철도에 활용될 수 있음

5. 승차환경성 평가 기술

□ 필요성 및 중요성

○ 외부로부터의 공기 유입이 제한적인 공간에서는 탑승객의 생존을 위해 산소농도 유지 및 유해가스 제거기술이 반드시 필요함

○ 이를 위해서는 진공 혹은 저진공 상태에서 트레인 내부의 산소농도, 유해가스 농도 등 공기질 수준을 실시간으로 모니터링 해야 하며, 온도, 습도, 복사량, 소음, 진동, 조도 등 온열환경을 모니터링하여 쾌적한 환경을 조성해야 함

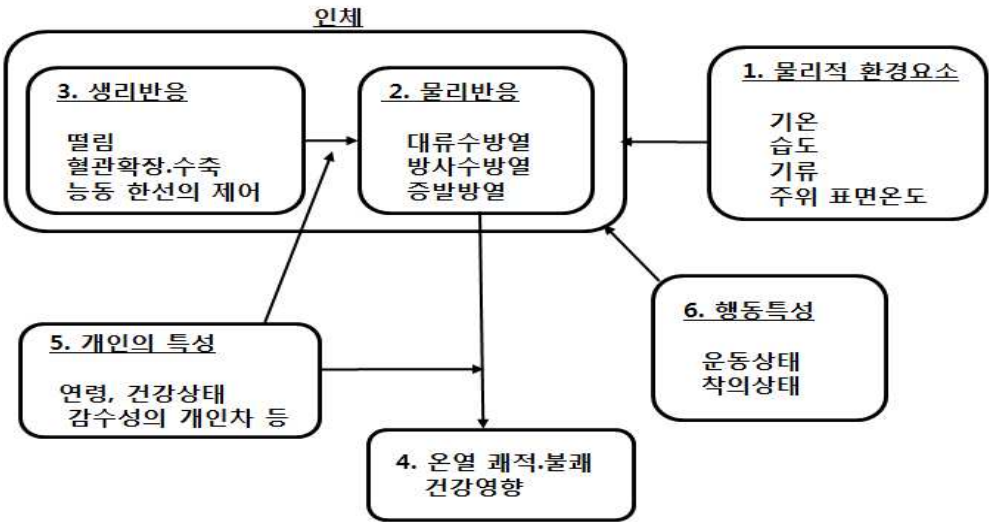
○ 잠수함, 우주선 등 밀폐된 공간에 적용 가능한 산소 발생방법에는 멤브레인법, 평막법, PSA 법 등이 있으나 이들 기술은 소용량으로 튜브트레인과 같

이 탑승객이 많은 공간에는 새로운 개념의 산소 발생기술이 요구됨

○ 잠수함 내 실내공기오염도 조사결과 일산화탄소는 7.82ppm, 이산화탄소는 3,169ppm (기준치 1,000ppm), 질소산화물은 599ppm (기준치 50ppm)으로 나타났으며, 이산화탄소와 질소산화물은 공황장애, 우울증, 밀폐공포증 및 위염, 비염 등과 같은 내·외과적 이상 증세를 유발하는 물질로 알려짐(메디컬투데이, 2009.12.27)

○ 우주선에서는 일회용 수산화리튬 카트리지를 장착한 특수필터로 선내에서 발생하는 유해가스를 제거하고 있으나 경제성 측면에서 이 기술을 튜브트레인에 적용하기는 곤란하므로 보다 현실적인 기술개발이 필요함

○ 감성 (emotion)은 심리적 평가방법과 생리적 평가법을 이용해서 평가가 가능하며, 뇌파 (electroencephalogram; EEG)를 이용할 경우 트레인 이용객의 상태를 보다 객관적으로 평가하여 쾌적한 환경을 조성할 수 있음

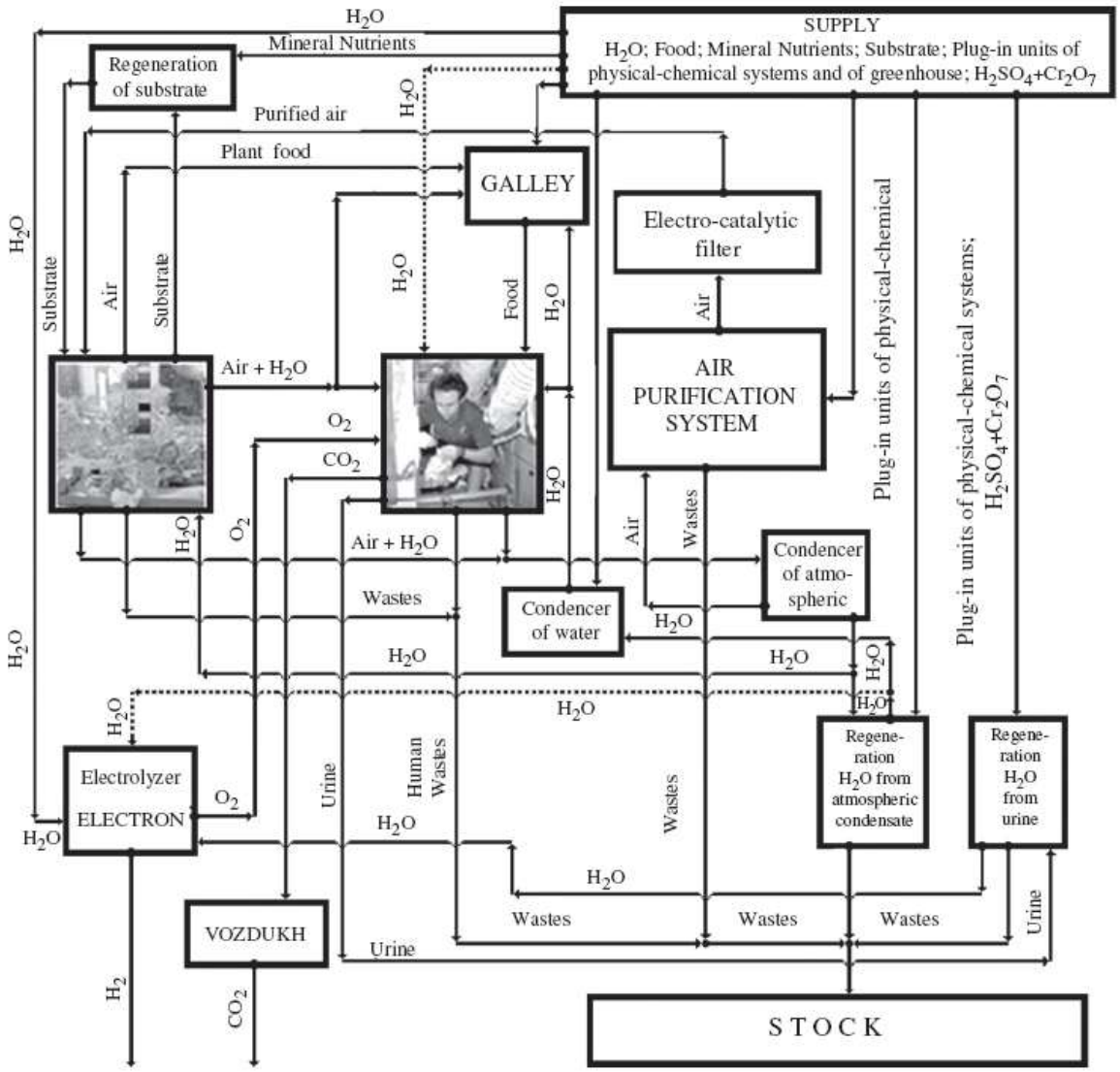


[그림 6-2-1] 쾌적성 결정요인

□ 기술개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

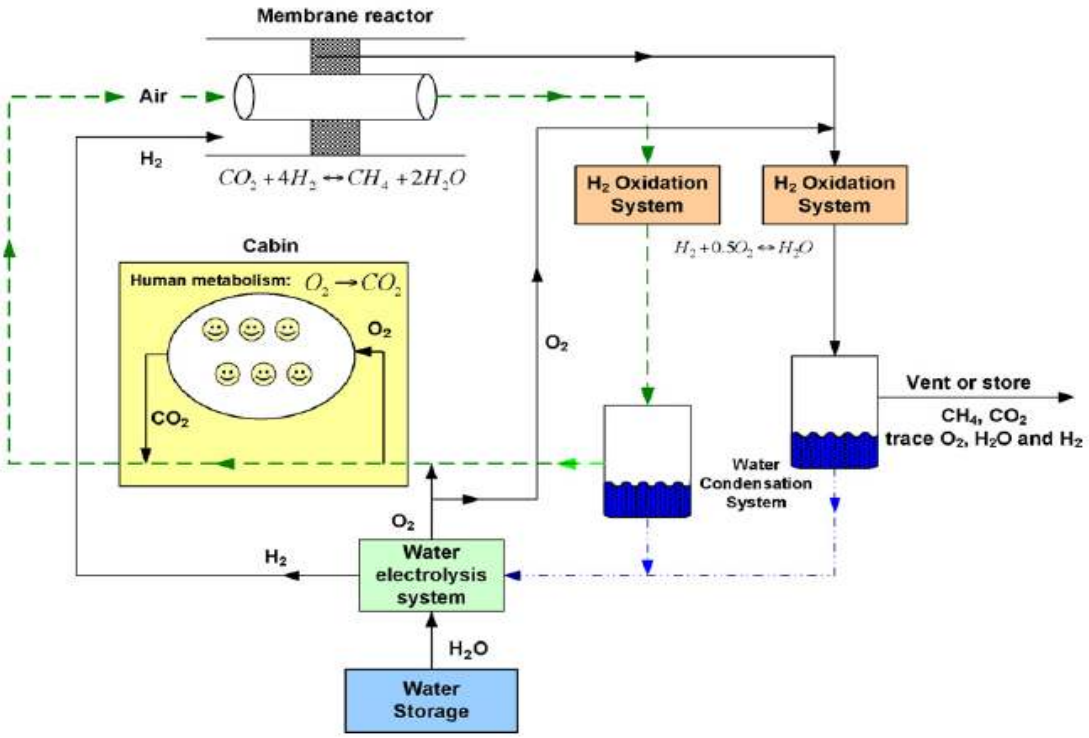
1) 러시아의 RF SRC-Institute for Biomedical Problems 팀에서는 장기간 우주 공간에서 생활할 때 요구되는 생명유지시스템(life support system ; LSS)을 설계하고 필요인자를 산출하는 연구를 수행하고 있음



[그림 6-2-2] 생명유지시스템 (life support system) 개념도

2) 미국 Southern California 대학의 Tsotsis 교수팀은 생명유지시스템에서 활용 가능한 이산화탄소 제거 기술에 대한 연구를 수행하고 있음

3) 영국 Portsmouth 대학의 Ross 교수팀은 적함정을 감지하기 위한 새로운 해저 스타워즈 시스템 개발을 위해 고려되어야 할 여러 항목에 대한 개념 설계 단계임



[그림 6-2-3] LSS에서의 유해가스 제거시스템

4) 미국의 우수연구센터(Center of Excellence; COE) 가운데 Airliner Cabin Environment Research (ACER)는 항공기내 실내환경에 관한 전반적인 연구를 수행하고 있음

5) 미국 ASHRAE에서는 1985년 Environmental Air-Conditioning Committee를 설치하고 실내공기환경에 관한 연구를 꾸준히 진행하여 기존의 공기청정 기준을 강화한 ASHRAE Standard 62-1989 (IAQ 관련)를 제시하고 있음. 또한, 최근에는 CO 센서, CO2 센서, 실내공기 중의 냄새와 VOCs를 관리할 수 있는 혼합가스센서를 개발하여 실내공기환경 제어에 활용한 demanded controlled ventilation 기법이 보편화되어 있음

6) 미국 ASHRAE의 SPC 151 P (선박공기조화시스템의 측정, 시험, 조정 및 균형위원회)에서는 잠수함 공조시스템의 설계에 대한 표준규격을 제정하고 주기적으로 업데이트하는 연구를 수행하고 있음

○ 국내 기술 동향

1) 한국철도기술연구원에서는 '차세대 객차용 청정시스템 개발'에서 객실의 미세먼지 제거와 제올라이트를 이용한 이산화탄소 제거기술을 개발한 바 있음

2) 철도연에서는 USN (ubiquitous sensor network) 기술을 이용한 객실 및 역사에서의 공기질 모니터링 기술을 개발하여 실용화한 실적이 있음

3) 한국항공우주산업(주)에서는 수출용 항공기 XKT-1의 기내산소 발생장치 개발, 적용하여 기존 산소 공급기에 비해 운용비용 절감, 가동준비시간 축소, 안전성 증가 등의 장점을 실현하는 연구를 수행함

4) 무선센서네트워크를 이용한 모니터링과 관련한 연구의 경우 국내 기술은 초기 단계이며, 독립형 무선센서망 기술을 홈네트워크 등에 활용하려는 연구가 2004년부터 ETRI 및 전자부품연구원 등에서 시도되고 있는 정도이고 센서망 구축에 필요한 무선센서노드가 개발된 정도의 수준임

5) 현재의 이산화탄소 흡착기술은 석유화학공업, 천연가스 정제, 암모니아 합성, 기타 연소 배가스 등에 적용하는 등 주로 산업용을 중심으로 연구되고 있으나, 산업용의 경우 이산화탄소 농도는 4~16%로 실내공간의 최대 농도인 0.1%보다 훨씬 높아 처리가 상대적으로 용이하나, 실내공간의 경우는 이산화탄소 농도가 매우 낮아 이에 대한 흡착기술은 아직 개념 도입 단계에 머무르고 있음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국전력연구원	○ 활성탄에 LiOH를 첨착하여 이산화탄소 흡착 성능 개선 ○ 시제품 개발 중임
	한국원자력연구원	○ 메조 다공성 실리카를 이산화탄소 흡착제로 활용 ○ 시제품 개발 중임
	한국철도기술연구원	○ 철도차량 객실용 이산화탄소 흡착기술개발 ○ 일부 철도차량에 시험 적용 및 문제점 보완 ○ USN 기술을 이용한 객실 및 역사에서의 공기질 모니터링 기술개발
	한국전력공사, 한국수력원자력	○ 제올라이트와 활성탄을 이용한 이산화탄소 흡착기술 개발 ○ 발전소 이산화탄소 흡착에 적용
국외	NASA (미국)	○ 생명유지시스템 (LSS)에 대한 연구 및 개발 ○ Human-rated LSS 테스트 설비 개발
	ASHRAE SPC151P(선박공기조화시스템위원회)	○ 잠수함의 공조시스템 관련 표준화 규격 제정
	Univ. of Southern California (미국)	○ 생명유지시스템 (LSS)에서 맴브레인법을 이용한 유해가 및 이산화탄소 제거시스템 연구
	Instituo Nazional de Carbon (스페인)	○ 활성탄 흡착제에 alkylamine을 코팅한 이산화탄소 흡착제 개발
	Department of Energy (미국)	○ 고체흡착제로 제올라이트를 이용하는 기술 개발
	Hermann A. Zinnen (미국)	○ 탄소분자체에 alcohol amine을 함침한 이산화탄소 흡착제 개발
	Georgia Tech (미국)	○ Amine-polyol 흡착제 개발 및 이산화탄소 탈착 재생 기술 개발
	NIST (미국)	○ 실내환기 및 오염물질거동 시뮬레이션 툴 개발 ○ 범용소프트웨어 보급 : Contam

□ 기술개발 추진 전략

○ 잠수함, 우주선 등 초고속 튜브트레인과 유사환경을 가진 밀폐공간에 대한 기술 자료조사를 통해 핵심기술의 기본개념 정립

○ 철도연에서 보유하고 있는 유해물질 방출실험 챔버 (1㎥, 5㎥, 24㎥)를 이용해 기초실험을 수행하고, 실대형 환경챔버 (35×7×6m)에 실제 초고속 튜브트레인을 모사한 lab scale의 생명지원시스템 (LSS) 시험설비를 구축

○ 쾌적성 평가기술의 경우, 뇌파를 이용하는 전자공학 및 감성공학의 개념을 도입하여 튜브트레인에 적합한 새로운 평가기술 정립

○ 트레인 내부의 공기질, 환경요소 측정값뿐만 아니라 압력, 가스 누출 등 다양한 측정값을 연동되게 시스템을 구성하여 통합 관리될 수 있도록 함

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	1.5	2	2	2	2	9.5
연구 재료비 및 설비투자비	50	60	60	80	150	400
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	57	64	64	60	46	291
기타경비	73	96	96	100	114	479
총 액	270	340	340	360	430	1,740

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 전량 수입에 의존하고 있는 선박, 잠수함, 탱크 등 특수 공간의 공기질 조절 장치 개발로 수입대체 효과

: 1,500만원 × 1,000대 = 150억원 (2010년 현대로템 탱크용 CBR (Chemical, Biological, Radioactive) 필터 예상 도입물량, CBR 필터의 대당 가격은 1,500만원임)

○ 생존지원시스템 및 유해가스 제거장치는 한·일, 한·중, 한·러 간에 논의되고 있는 해저터널의 객차에 적용 가능함

○ 새로운 개념의 객관적인 쾌적성 평가방법인 뇌파 (electroencephalogram; EEG)를 이용할 경우 트레인 이용객의 상태를 보다 객관적으로 평가하여 쾌적한 환경을 조성할 수 있으며, 향후 개발된 기술은 항공기, 기존선, 버스, 자동차 등에 이용 가능

6. 열차제어 및 운영 시스템 기술

□ 필요성 및 중요성

○ 기술 개발의 필요성

- 700km/h이상의 속도로 운행하는 초고속 자기부상 튜브철도는 열차가 선로와 무접촉으로 고속 이동함으로써, 기존의 철제차륜방식 열차제어에 적용된 중저속용 통신기반 열차제어기술(CBTC)과 고속철도 열차제어기술(ATC)을 적용할 수 없음

- 초고속 자기부상철도는 선형동기전동기(LSM) 추진방식이 적용되어 주로 지상에 설치된 열차제어설비에 의해 운영제어가 이루어지므로 현재 차상방식의 열차제어기술의 직접적인 적용이 어려움

- 700km/h 이상의 속도로 운행하는 초고속 열차의 안전한 간격제어 및 진로제어를 위해서는 이동권한의 송수신주기 및 방호패턴의 생성주기가 열차위치감시의 오차를 고려하여 새롭게 정립되어야 하며, 제한속도 초과로 인한 상용제동 및 비상제동의 개입마진이 열차속도, 길이, 선행열차의 안전간격을 고려하여 논리적으로 결정되어야 함

- 저진공 상태의 튜브내부를 고속으로 이동하는 전파환경에서, 지상 차상 양방향 송수신을 위한 무선통신기술과 관련하여, 기존 통신기술의 적용 가능성을 확인하여 최적의 무선통신시스템을 구축하기 위한 방안이 제시되어야 함

- 700km/h 이상의 속도로 이동하는 초고속 열차와 지상간의 정보전송을 위해서는 항공기 또는 미사일 등의 경우와 같이 송신 장치와 수신 장치간의

거리가 원격인 상황과는 달리 튜브(선로)변에 지상 장치가 설치될 것으로 예상되므로 도플러 현상과 같은 전파환경을 고려해야 함

- 또한, 지상 안테나에서 송출되는 전파의 출력이 제한될 뿐 아니라, 채널 용량의 확보를 위해 주파수를 재사용해야 하는 등의 문제로 지상 안테나는 튜브 변에 일정거리마다 설치될 수밖에 없으며, 이러한 환경의 조건에서 초고속으로 이동하는 열차에 대하여 끊김 없는 정보전송 기능을 제공하기 위해서는 Fast Hand off 및 다중링크 등을 고려한 기술개발이 필수적임

○ 기술 개발의 중요성

- 열차제어 및 운영시스템 기술은 초고속 튜브철도시스템에서 두뇌역할을 담당하는 기술로서 차량과 인프라를 유기적으로 결합시켜 열차의 최적운행을 담당하는 중요한 기술임

- 열차제어 및 운영시스템 기술은 최적의 열차운영을 위해 운행 안전성과 효율성 확보가 필수적이며, 초고속 튜브철도시스템의 차량 및 인프라 특성을 고려하여 기술개발이 이루어져야 함

□ 기술개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 열차제어기술

1) 초고속 튜브철도시스템에 적합한 철도시스템으로 초고속 자기부상열차 시스템을 들 수 있으며, 현재 시험운행 또는 상용화중인 초고속 자기부상열차 시스템으로서 일본의 MLU/MLX와 독일 및 중국의 Transrapid가 있음

2) 자기부상열차 시스템의 특성상 열차가 선로 상을 비접촉으로 운행함에 따라 비접촉 방식의 열차위치검지장치의 적용이 필요함

3) 독일 Transrapid 시스템에서는 과거 차상의 송신기와 지상 선로상에 교차유도루프를 설치하여 지상에서 열차의 상대위치를 연속적으로 검지하는 INPO(Inductive Polage) 시스템과 차상에 센서와 선로상에 기준위치 정보장치로 구성되어 열차의 절대위치를 검지하는 INKREFA(Increment

Vehicle Location System) 시스템을 사용하여 열차의 위치를 검지하였으나, 최근에는 INPO시스템을 더 이상 사용하지 않고, 열차의 연속적인 상대위치도 차상에서 측정하는 방식으로 개량되어 적용 중에 있음

4) 일본의 MLU/MLX의 경우에도 과거에는 독일 Transrapid의 INPO시스템과 유사한 방식의 지상 교차유도루프방식의 열차위치검지방식이 적용되었으나, 최근 설치 및 유지보수상의 문제로 인하여 추진 인버터의 EMF, 선로변 코일수 측정, 휠카운터, 전파항법 등 기존 인프라 설비를 활용하여 열차 위치를 검지하는 방식으로 개량연구가 추진 중에 있음

5) 일본과 독일의 초고속자기부상철도시스템 모두 지상 1차측 선형동기전동기 방식의 추진방식이 적용되어 지상 선로상의 추진장치에 의해 열차가 운행되어, 지상중심의 열차제어방식이 개발되어 적용 중에 있음

6) 현재 차륜기반 철도시스템의 열차제어방식은 상호운영성의 확보를 위하여 차상중심의 열차제어방식으로 진화하는 반면 초고속 자기부상열차시스템은 적용된 추진방식의 특성으로 인해 지상중심의 열차제어방식이 적용되고 있으며, 초고속 자기부상열차를 위한 독자적인 열차제어방식이 개발, 시험 중에 있음

7) 초고속 자기부상열차의 열차제어기술의 주요 특징으로는 지상중심의 자동운전(ATO) 제어기술과 최고/최저제한속도 방호기술 등이 있음

- 통신기술

1) 저진공 튜브환경에서의 700km/h 초고속 이동환경에 적합한 열차제어 및 통신기술은 아직 세계적으로도 개발되지 못하고 있으며, 독일 및 일본의 초고속자기부상철도시스템의 경우에도 약 500km/h급(설계최고속도, 상용화속도:400km/h)의 열차제어 및 통신기술이 개발되어있음. 따라서 철도선진국의 열차제어 및 통신시스템의 직접적인 도입 및 적용은 불가능함

2) 독일의 초고속 자기부상열차에 500km/h까지의 이동하는 차량과 지상간의 통신을 위한 TrainCom이라는 통신시스템이 적용되고 있지만, 그 이상의 초고속 주행에 따른 끊김 없는 전송을 위한 무선통신기술에 대한 상용화된 기술은 아직 공표되고 있지 못함

3) 특히 튜브 구조 내 초고속이동환경에서의 무선통신기술은 차지상간 통

신환경이 상이하여 기존의 정보전송방식을 그대로 적용할 수 없으며 전 세계적으로 연구개발 실적이 없음

○ 국내 기술 동향

- 열차제어기술

1) 약 200km/h를 기준으로 중저속과 고속으로 구분되는 국내 열차제어시스템은 일부 경량전철을 제외하면 모두 철제차륜의 회전센서와 궤도회로를 이용하여 측위 및 속도산출을 구현하고 있으며, 열차방호를 위한 속도프로파일을 차상에서 생성하는 차상신호방식의 경우 차상소프트웨어는 거의 대부분이 국외기술에 의존하고 있음

2) 초고속 튜브열차와 같이 회전식 속도센서와 궤도회로를 구성할 수 없는 응용분야에서는 기존 측위기술을 활용할 수 없으며, 기관사가 육안 신호기에 의존하지 않는 고속열차에 대한 열차방호기술은 한국형고속철도 열차제어장치에서 최고속도 350km/h 수준의 기술을 일부 국산화 성공하였으나 초고속 튜브열차가 요구하는 기술과는 상당한 격차가 존재함

3) 중저속에서 지상으로부터 이동권한을 수신하여 차상열차제어장치에서 열차방호에 필요한 속도프로파일을 ETCS Level 1 수준으로 생성하는 기술은 코레일 차상신호기술개발사업에서 도입된 제품의 분석 및 기술지원을 통해 일부 확보하고 있으나 그 수준이 개념정립의 초기수준을 넘지 못하고 있음

4) 700km/h이상의 속도로 운행하는 초고속 튜브열차는 차량이 선로와 무접촉으로 고속 이동함으로써, 열차제어를 위해 필요한 기존 중저속용 통신기반 열차제어기술(CBTC)과 고속철도 열차제어기술(ATC)의 직접 적용이 불가능함

5) 초고속 튜브열차의 안전한 열차제어를 위해서는 열차위치 측위, 선행열차로부터의 안전한 간격확보를 위한 방호패턴생성 등을 핵심으로 하는 열차제어핵심기술의 확보가 필요함

- 통신기술

1) 현재 초고속 튜브열차에 적합한 열차제어 및 통신기술은 마련되어 있지 못함

2) 하지만 기존선, 고속선, 도시철도, 경량전철 열차제어 및 통신설비의 국산화 연구개발을 통해 초고속 튜브철도 열차제어 및 통신기술 개발을 위한 기본 기술을 보유하고 있음

3) 현재 국내 열차제어기술의 최고 수준은 한국형고속철도에 적용중인 열차제어기술로서 350km/h 수준임

4) 차량과 지상설비간의 무선통신을 위해 다양한 무선통신기술(VHF, TRS, WiFi, Inductive Loop 등)들에 대한 연구개발이 수행되어 왔으며, 일부 기술은 국내철도환경에 적용중임

5) 그러나, 도시철도의 CBTC 및 경량전철의 AATC 등에 적용된 무선통신기술은 중저속의 이동체와의 통신을 지원하는 기술로서 700km/h급의 초고속 튜브열차에 단순 적용하는 것은 불가능함

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국기계연구원	○ 중저속 도시형 자기부상열차 총괄 개발
	(주)현대로템	○ 중저속 도시형 자기부상열차 차량 제작 ○ 중저속 도시형 자기부상열차 열차제어시스템 제작
	한국전자통신연구원 (이동통신연구본부)	○ CDMA 개발 및 상용화 ○ WiBro 개발 및 상용화
국외	RTRI (일본철도총합연구소)	○ MLU/MLX(초고속자기부상열차) 총괄 개발 ○ 시험선(야마나시) 운영제어기술 보유
	Hitachi(일본)	○ MLX(초고속자기부상열차) 운영제어시스템 개발
	Transrapid International(독일)	○ Transrapid(초고속자기부상열차) 총괄 개발 ○ Transrapid(초고속자기부상열차) 운영제어기술 보유
	SIEMENS(독일)	○ Transrapid(초고속자기부상열차) 운영제어시스템 개발 ○ 500km/h급 차량 및 지상 운영제어시스템 하부장치 개발
	Telefunken(독일)	○ Transrapid(초고속자기부상열차) 통신시스템(TrainCom HST) 개발 ○ 500km/h급 차지상간 통신기술 개발

□ 기술개발 추진 전략

○ 조기기술개발 방안

- 국외 선도 연구기관과의 협업 및 기술교류를 통한 연구 가속화 추진
- 열차제어기술 중 핵심기술 도출 및 집중 연구를 통한 기술 격차 개선
- 초고속 자기부상열차 열차제어알고리즘 및 무선통신장치 설계 기반 기술의 국내 제작사 기술 이전을 통한 조기 장치개발 기반 확보

○ 기술개발 실패시 리스크 대응방안(개발기술의 활용측면)

- 튜브트레인 무선통신기술은 튜브 내 고속 이동체를 위한 통신기술로서 고속선 철도시스템의 고속화를 위한 통신기술로 활용이 가능하며, 지하터널로 운행되는 도시철도시스템 및 대심도 철도시스템의 고속화를 위한 통신기술로의 활용도 가능함
- 또한 초고속의 속도를 지니는 이동체를 지원하기 위한 무선통신기술의 개발은 향후 이동통신 분야의 화두인 4G 이동통신 기술 중 변복조 기술 및 Fast Handover 등의 기술에 활용이 가능함
- 초고속자기부상열차 열차제어기술은 무선통신기반 열차제어기술로서 기존선 및 고속선 철도시스템의 고속화에 기여 및 활용이 가능함

○ 기술자립 또는 독자기술 개발 방안(차별화 기술 경쟁력 확보 방안)

- 열차제어 및 통신기술중 핵심기술 도출 및 집중 연구를 통한 독자적인 핵심기술 확보

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	4	4	4	4	4	20
연구 재료비 및 설비투자비	40	150	150	80	80	500
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	54	112	102	96	96	460
기타경비	176	198	198	184	184	940
총 액	510	700	690	600	600	3,100

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 초고속 튜브철도시스템을 위한 차지상간 양방향 통신을 위해 최적화된 무선통신 시스템 방식은 튜브철도시스템의 안정적인 운영 및 제어를 위한 기술개발 방향 제시 및 체계로 활용이 가능함

○ 초고속으로 운행하는 열차와 지상설비간의 끊김 없이 통신이 가능한 고속 핸드오프 기반기술 확보가 가능함

○ 700km/h이상 초고속 튜브철도의 제어를 위한 열차검지기술, 자동열차방호 및 자동열차운전기술 등의 확보 가능함

○ 세계최고수준의 초고속 튜브철도의 열차제어기술을 국내 개발을 통해 초고속철도사업에 후발 참여가 예상되는 국가에 전략적 진출 가능

○ 열차제어/통신 핵심요소기술 확보통한 관련 설계/제작 기술 향상 및 국산화 기여

○ 초고속 튜브철도 열차방호 설계기술의 개발을 통해 기존선 고속화 및 고속선 열차방호프로파일 설계 개선에 활용 등을 통해 성과 확산

○ 초고속 튜브철도 차지상간 통신방식 성능해석 모델링을 통해 터널구조에서의 고속통신 설계 개선에 활용 등을 통해 성과 확산

○ 초고속튜브트레인의 이동통신 서비스 제공

○ 고속 이동물체 원격제어장치의 송수신 장치 개발시 활용

7. 방재 시스템 설계기술 개발

□ 필요성 및 중요성

○ 정책적 측면

- 철도 선진국인 유럽에서는 철도터널의 방재시스템 설계에서 안전 및 방재 대책을 매우 중요한 문제로 다루어 세계철도연맹(UIC)에서는 철도터널 안전지침인 UIC 779-9R Code를 2003년도에 고시하고, 2004년도에는 UN (세계연맹) 산하의 경제위원회인 UNECE에서 철도터널 안전지침을 제정하여 유럽의 55개 정부에서 철도터널의 방재시스템 설계에 상기 지침을 사용하도록 권장하고 있음

- 이러한 일련의 노력의 결실로 2005년에 유럽 EU의 TSI(Technical Specifi -cation for Interoperability) 규칙에 "철도터널 안전규칙"을 고시하게 되었으며, 이러한 터널방재시스템 설계에 대한 규칙 제정의 배경에는 아제르바이잔 바쿠 지하철 화재참사(300명 사망, 1995년)와 오스트리아 산악철도터널 화재참사(153명 사망, 2000년), 대구지하철 화재참사(197명 사망, 2003년), 몽블랑 도로터널 화재사고 등이 큰 기폭제 역할을 하였음

- 국내에서는 대구지하철 화재참사(2003년) 이후에 터널 안전에 대한 대책마련의 일환으로 철도시설 안전기준에 관한 규칙(건교부장관령 제476호, 2005년 고시)과 철도시설 안전세부기준(건교부장관령 제2006-395호, 2006년 고시)을 제정 고시하였는데 이 규칙과 세부기준 내용의 80%의 분량이 터널방재설계에 대한 내용을 수록하고 있을 정도로 중요하게 다루고 있음

- 초고속 튜브트레인 철도시스템 기술개발에서 선행연구로서 다루어져야 하는 세부기술 연구테마가 튜브(터널)방재시스템 기술개발이며, 그 이유는 국토해양부장관령으로 앞에서 열거한 안전관련 규칙과 기준들을 준수하여 관련기술이 개발되어야 하기 때문임

- 즉, 방재시스템 관련 기술은 선행기술로 같이 시작하지 않으면 초고속 튜브트레인 철도기술이 개발되어도 국토해양부장관령의 안전관련 규칙과 기준을 준수할 수 없는 철도 인프라 기술이 되기 때문이며, 또 다른 방법으로는 상기한 규칙과 기준을 대체할 수 있는 "초고속 튜브트레인에 대한 철도시설 안전기준에 관한 규칙"을 추후에 제정할 수 있도록 "튜브트레인

터널방재시스템 표준설계안" 마련을 위한 기술개발이 선행적으로 같이 수행되어야 할 필요성이 있음

- 또 하나의 필요성은, 튜브(터널)방재시스템에서 터널내 승객 피난로 및 루트 마련 연구, 대피를 위한 서비스터널 및 본선터널과의 인터페이스 차폐기술 개발, 저진공 터널내 화재 제연설비 및 제연방법 연구, 자동화 및 구획화한 로봇 소방시설 설치여부, 저진공 초장대 터널의 화재진압방법 연구, 터널내의 승객 안전피난지대(Safety Gallery) 연구, 비상구조지대 연구 등은 튜브(터널)의 최적단면 연사양과 각종 인터페이스에서의 다른 선행기술과 직접적인 연관이 되어 있어 안전문제에 대한 튜브방재시스템기술이 다른 선행기술개발과 함께 시작하지 않으면 전체적인 시스템 설계사양이 다시 연구하여 마련되어야 하는 상황까지 될 수 있는 우려가 있으므로 튜브방재시스템 기술개발은 선행기술로서 매우 중요함

○ 기술적 측면

- 저진공 튜브트레인은 터널 내를 0.1atm~0.5atm의 저압(저진공)상태로 유지함으로서 열차의 구동에 따른 공기저항을 줄여 속도를 향상시키고, 초고속 운행에서도 튜브의 단면적을 대폭 축소할 수 있는 것이 핵심 기술임

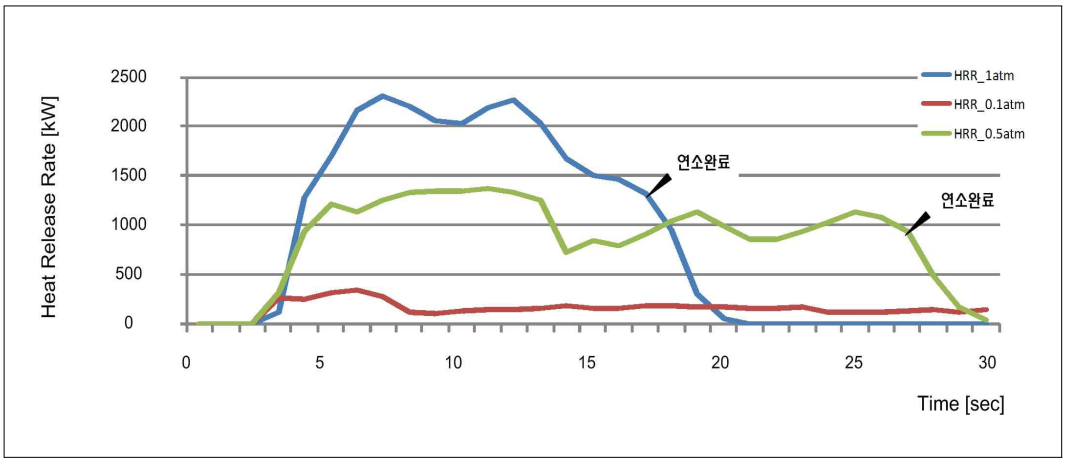
- 터널 내는 평상시 저압(저진공)으로 유지되기 때문에 사람이 정상적으로 보행, 통과할 수 없는 조건이 되므로 사고발생시 기존 철도와는 다른 개념의 접근이 요구됨

- Swissmetro의 사고 시나리오에 의하면, 열차가 구동이 가능하거나, 승객이 열차외부로 탈출할 필요가 없는 경우에는 자력, 타력으로 정거장으로 열차를 이동하여 Air-rock을 통하여 안전하게 탈출하게 되나, 열차가 터널내에 정차하고 승객이 자력으로 탈출하여야 하는 경우에는 터널내의 압력보상을 통하여 상압에 가까운 수준으로 압력을 회복하도록 되어 있음

- 기존철도와 튜브트레인과의 차이점은 다음과 같음

항목	기존철도	튜브트레인
열차속도	80~300km/h	500~700km/h
구동방식	궤도식	자기부상식
운전조건	상압(1atm)	저진공(0.1~0.5atm)
환기구(겸용)	급배기방식	진공펌프방식
환기구간 거리	1~2.5km	5km이상
터널단면적에 대한 열차 폐색율	10~15%	35%
배연설비	환기설비와 겸용	별도설치

- 저진공에서의 화재확률은 상압에 비하여 낮은 수준이 되는 것이 필연적이나, 일단 발화된 상태에서 터널 내 압력보상이 이루어지게 되면 급속한 화재발전이 발생하게 되므로 터널 내 승객이 큰 위험에 처하게 될 수 있음
- 아래에서 보는 바와 같이, 저진공 상태에서는 상압조건에 비하여 화재발열량이 작게 형성되나, 연소시간이 길어지기 때문에 작은 양의 연기가 지속적으로 발생하게 됨
- 일반 터널에 비하여 단면적이 작은 저진공 튜브의 특성상 연기전파가 빨라질 가능성이 높으므로, 상압상태로 환원하기 전에 충분한 연기제어와 소화활동이 이루어져야 함



[그림 6-2-4] 대기압 상압조건과 저진공 상태에서의 화재성장 비교

- 따라서, 저진공 튜브트레인 터널에서의 화재시나리오는 다음과 같은 순서로 작성될 것임

1) 화재가 발생하면 차내의 경우에는 자력소화, 차하부등의 경우에는 터널내 장치로 소화를 시행

2) 소화가 실패하는 경우에는 연기를 제어하고 피난경로를 확보해 주어야 함(저진공 상태에서의 연기전파속도는 상압조건에 비하여 빠르므로 속도와 방향, 공기밀도를 모두 제어하여야 함)

3) 소화 및 연기제어가 완료된 후, 화재성상이 발전될 가능성이 낮아질때, 터널 내 압력보상을 통하여 승객대피환경을 조성

4) 승객대피경로를 확보하고 자기구난을 달성하며, 구조를 위한 절차를 수행

- 따라서, 본 연구는 다음과 같은 부분에 주안점을 맞추어 수행될 필요가 있음

1) 튜브트레인에서 발생할 수 있는 사고시나리오 작성 및 대응방안 수립

2) 저진공 상태에서의 화재성상 및 연기거동에 대한 연구

3) 저진공 상태에서의 연기제어기술 개발

4) 저진공 상태에서 소화 기술 개발

5) 승객 피난경로 확보를 위한 압력보상 기술 및 보상절차

6) 승객의 동선계획 및 피난안전 시설 계획 설계기술

- 저진공 튜브트레인에 대한 방재기술은 현재까지 연구된 바 없는 조건하에서의 방재시스템을 구축하는 기술로서 압력변동에 의한 공기환경의 변동, 인체의 대응 등을 모두 감안하여야 하는 신기술로서 중요성이 높다고 판단됨

□ 기술개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 튜브트레인의 방재 시스템에 대한 연구는 구체적으로 이루어 진바가 없으

며, Swissmetro의 경우에는 시나리오 개념에서 접근한 정도로 연구가 이루어져 있음

- 일반 철도의 경우에는 철도선진국인 영국, 프랑스, 일본 등을 중심으로 다방면의 기술이 개발되어 있으나, 튜브트레인의 특성인 대심도, 저진공 상태에 대한 연구는 전무한 실정임
- 또한, 튜브트레인의 구동방식은 자기부상식이 될 가능성이 높으나, 세계적으로 자기부상식 열차의 특성을 감안한 방재시스템은 연구된 바가 없으므로 본 과제를 통한 특성화된 기술개발이 반드시 필요한 실정임

○ 국내 기술 동향

- 국내 관련기술의 개발은 전무한 실정이며, 일반철도에 대한 관련 법령 및 기준현황은 다음과 같음

관련 기준	주무부처	고시시점	비고
도시철도 건설규칙(국토부령 제4호)	국토해양부	2008.03	08년 개정
철도건설규칙(국토부령 제89호)	국토해양부	2008.12	-
철도시설 안전기준에 관한 규칙 (국토부령 제4호, 2008년 개정)	국토해양부	2005.10	08년 개정
철도시설 안전세부기준	건설교통부	2006.9	-
철도설계편람	국토해양부	2008년	-
도시철도 정거장 및 환승, 편의시설 보완설계지침	국토해양부	2002년	-
서울시 지하철 방재설계 기본방향 연구	서울시	2002년	-

- 기존의 연구개발 사업을 통하여 연구된 관련 기술은 다음과 같음

제목	추진부처	주요내용
장대철도터널 화염방재 기술 및 환기공조시스템 개발	한국철도기술연구원	○ 장대 철도터널의 화재안전 시설규모의 산정방법, 진단기법 확립
지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업	한국건설기술연구원	○ 지하공간의 안전확보를 위한 환기/방재 최적기술 개발
지하공간에서의 화재위험예측 및 종합화재관리 시스템 개발	한국기계연구원	○ 지하공간 종합화재관리 시스템 개발
기존운행 도시철도의 환기 및 화재안전 개량대책 기술개발	한국철도기술연구원	○ 기존 도시철도 역사 및 터널의 환기 및 화재안전 개량대책 수립

- 기존 기술은 일반조건 내에서의 화재위험 예측 및 환기공조시스템, 피난시스템에 대한 연구로서 저진공 상태의 공기역학적 특성이 감안되어 있지 않아 튜브트레인에 직접 적용하는 것은 무리가 있음

○ 국내외 주요 연구 기관

- 국내 주요연구기관은 정부출연 연구기관을 중심으로 관련 연구가 이루어지고 있으며, 국외 기관은 일본 및 유럽, 미국 등의 연구기관에서 차량, 시설, 방재 등 각 분야의 연구가 이루어지고 있는 추세임

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○ 한국철도기술연구원	○ 철도분야 연구를 중심으로 하며, 차량 및 시스템 분야 기술 보유 ○ 경부고속철도의 공기압 및 화재방재시스템 개발, KTX-II 열차 개발 등 유사기술 확보
	○ 한국철도기술연구원	○ 터널 및 정거장 분야 관련 연구 수행 ○ 방재분야는 피난 및 제연시스템 등에 대한 기술 확보
	○ 한국철도기술연구원	○ 준저속 자기부상 차량 제작, 운영시스템 등을 중점 연구

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국외	○ 일본철도총합연구소 (RTRI)	○ 자기부상 열차뿐 아니라, 공력기술 등을 종합적으로 확보
	○ Swiss Federal Institute of Technology	○ Swissmetro Project수행에 따른 관련 기술 보유 ○ 튜브트레인 분야에 있어 가장 앞선 기술 확보
	○ 고속지상운송연구소 (미 교통성)	○ 70년대 튜브차량시스템의 개념을 수립
	○ 미국 표준기술 연구소(NIST)	○ 화재분야 세계 최고기술 확보 ○ 국제 표준 기술 및 화재 시뮬레이터 원천제작기술 확보
	○영국철도연구소 (BRE)	○ 장대철도터널 연기제어 및 방재시스템 분야 기술 보유 ○ Channel Tunnel Project 등 장대터널 프로젝트에 다수 참여

□ 기술개발 추진 전략

○ 기술자립방안

- 저진공 상태에서의 방재기술은 세계적으로 연구사례가 없는 기술로 본 기술 개발시 기술자립도를 확보함은 물론, 국가표준 제정에도 적용할 수 있고, 향후 튜브트레인의 상용화 사업시 세계표준기술로 발전시킬 수 있으므로 조기 기술개발이 필요하며, 본 연구에서는 기술자립도 향상을 위하여 관련 업계 및 참여기관을 확보하여 연구를 공동으로 진행하고 관련 분야 전문가들로 자문위원회를 구성함

○ 조기기술개발방안

- 기술의 조기개발을 위하여 기술 개발시 즉시 실용화가 가능한 기술을 위주로 개발하며, 응용설계기술을 보유한 산·학기관을 연구에 참여토록 하며, 기술 개발시 최일선에서 기술을 사용하는 기업을 참여기업으로 함으로서 실제 기술 적용의 문제점을 사전에 파악하고 개발성공시 바로 상용화로 연결될 수 있도록 함

- 또한, 연차별로 특허권 등 지적재산권을 세부 아이템별로 등록함으로서 기술의 조기사용권리를 확보하고 응용기술로의 진출이 가능하도록 함

○ 개발기술을 활용범위 확대를 위한 방안

- 튜브트레인의 상용화가 지연되는 경우, 기술사장화를 방지하기 위하여, 기술개발시 관련분야의 응용이 가능하도록 세분화하여 진행함으로서 개발기술이 대심도철도 및 건물 등 타분야에 활용이 가능한 기술이 될 수 있도록 전략을 수립함

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	1.5	1.5	3	2	2	10
연구 재료비 및 설비투자비	100	150	200	160	120	730
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	67	67	74	84	62	354
기타경비	83	93	166	116	108	566
총 액	340	400	620	480	410	2,250

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 본 기술의 개발 완료시 튜브트레인의 방재시스템에 대한 선진기술을 확보할 수 있으며, 실용화 단계에서 즉각 적용이 가능한 응용기술을 개발할 수 있음

○ 방재시스템관련 기반 기술은 GTX 광역급행철도인 대심도 철도에도 적용이 가능한 기술로서, 승객의 피난동선 단축 및 정거장내의 연기침입 방지기술 등이 대심도 철도에 적용 가능한 기반기술이 될 수 있음

○ 본 기술개발 완료시 튜브트레인의 방재시스템 기술은 이 분야의 세계적인 표준기술이 될 수 있기 때문에 직접적인 기반기술의 수출이 가능하며, 개발되는 관련제품의 수출파급효과는 매우 클 것으로 예상됨

○ 본 연구과 관련된 제품관련 기술로는 압력보상기술 및 소화시스템 기술이 있을 수 있음

○ 저진공 상태에서의 승객안전 압력보상기술은 쓰레기반송시스템 및 물류이송 시스템 등에도 응용활용이 가능하여 건물 물류이송 시스템 및 도시기반시설에도 활용이 가능한 기술임

○ 저진공 상태에서의 소화시스템은 신개념의 소화시스템 개발에 활용할 수 있는 응용분야로 파급효과가 매우 큼. 즉, 현재 세계적으로 매우 큰 시장규모를 가지고 있는 원자력발전소 건설에서 부수적으로 따르는 원자력폐기물 저장소(선진국의 경우에 산악에 수백킬로미터의 터널을 개미굴처럼 밀집하여 건설하여 원전 폐기물을 저장함)의 질소투입 소화시스템으로 바로 응용할 수 있으며, 앞으로 세계 시장규모는 1.2조원 이상으로 예상됨

○ 위와 같은 타 분야로의 파급효과를 위하여 초기 개발단계에서의 특허권 확보시 응용분야에 대한 고려를 감안하여 연구를 수행할 필요성이 있음

8. 충돌 안정도 해석 및 평가기술 개발

□ 필요성 및 중요성

○ 전 세계적으로 실용화된 사례가 없는 초고속 튜브열차 개발의 경우, 시스템의 성능과 더불어 안전에 대한 연구가 반드시 병행되어야 함

○ 초고속 튜브열차는 기존의 차륜식 열차와는 다른 환경에서 운행되므로 충돌안전 분야에서도 새로운 위험원을 규명하고 이에 대한 대책을 마련해야 하며, 마련된 충돌안전대책의 유효성을 평가할 수 있는 기술이 요구됨

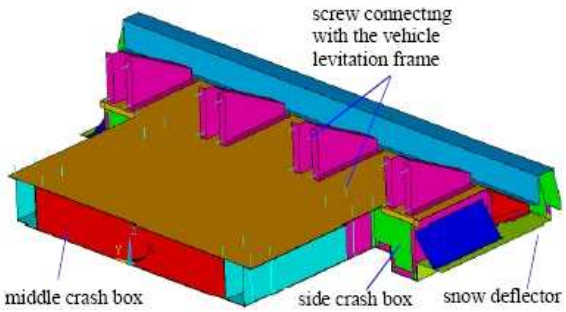
○ 특히 궤도 위를 부상하여 고속으로 운행하는 고속자기부상열차의 특성상, 시설물 혹은 차량에서 작은 물체가 궤도위에 떨어져 있다가 운행하고 있는 차량하부에 들어가 충돌하게 되면 자기부상 및 주행안전성에 영향을 줄 뿐 만 아니라 탈선 등 대형사고로 이어질 가능성이 있음

○ 따라서, 초고속 튜브열차의 운행특성을 고려하여 충돌사고 위험원을 규명하고 각각의 위험원에 대한 충돌안전도를 평가하는 연구가 반드시 필요함

□ 기술개발 수준 및 동향 분석

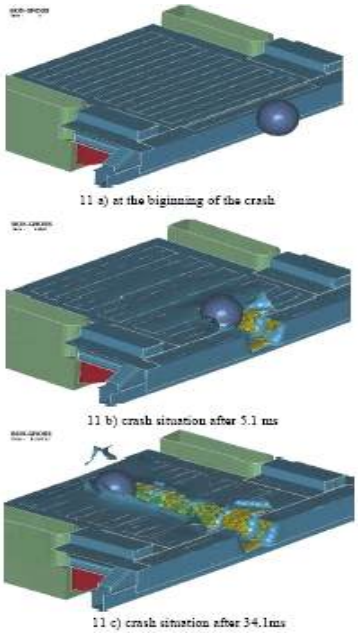
○ 국외 기술 동향

- 고속으로 운행하는 자기부상열차는 선로의 작은 이물질이 차량 밑으로 들어와 부딪히는 경우 탈선 등 큰 사고로 이어질 위험이 있음
- 전 세계적으로 초고속 자기부상열차를 가장 먼저 실용화시킨 독일에서는 이러한 사고에 대비하기 위해 차체하부에 설치하는 충돌안전장치에 대한 연구가 활발히 수행되어 왔음
- 아래 그림은 독일 Transrapid09에 적용된 충돌안전장치를 보여주고 있음



[그림 6-2-5] Crash Safety System of Transrapid

- 고속자기부상열차 차체 하부 충돌안전장치의 설계를 위해서는 충돌사고 시나리오를 설정하고 충돌해석모델 개발하여 충돌안전성능을 검증하는 등, 충돌안전도 해석 및 평가기술에 대한 연구가 필요함
- 아래 그림은 독일 Transrapid09의 충돌안전장치에 대한 충돌사고 시뮬레이션을 보여주고 있음



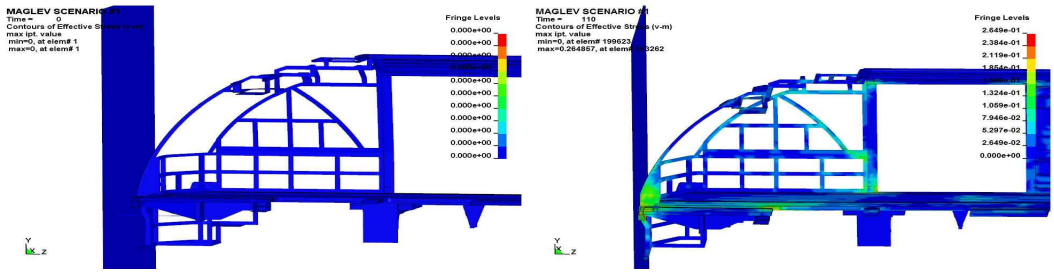
[그림 6-2-6] Crash simulation for a 50kg spherical stone

○ 국내 기술 동향

- 국내 충돌안전연구 동향을 살펴보면, 초고속 자기부상열차의 충돌안전에 대한 연구사례가 없음
- 차륜식 열차의 충돌안전 연구동향을 살펴보면, G7, 틸팅열차, 차세대고속열차개발사업 등에서 열차 대 열차 충돌사고, 건널목 충돌사고 등에 대한 충돌안전 해석평가가 수행된 바 있으나, 시험을 통해 검증된 사례는 없음
- 현재 진행 중인 철도종합안전기술개발사업에서는 충돌에너지흡수 부재, 장치 및 구조에 대한 개발과 해석 및 시험평가기술에 대한 연구가 수행중이며, 아시아 지역에서는 최초로 철도차량 실물충돌 안전성 평가 시험설비가 구축 중임
- 중저속 자기부상열차의 충돌안전연구 동향을 살펴보면 차륜식 열차의 충돌안전도 평가에 주로 활용되는 도시철도법 및 철도안전법의 충돌사고 시나리오를 적용하여 충돌해석을 수행한 사례가 있으나, 중저속 자기부상열차의 운행특성을 반영한 충돌안전도 평가 연구는 진행된 바 없음
- 아래 그림은 중저속 자기부상열차의 해석 모델 및 충돌해석 사례를 보여주고 있음



[그림 6-2-7] 중저속 자기부상열차 해석 모델



[그림 6-2-8] 중저속 자기부상열차 충돌해석 시뮬레이션

- 현재까지 국내의 연구동향을 살펴보면, 주로 차륜식 열차에 대한 충돌안전 연구가 진행되어 왔고, 자기부상열차의 경우에는 중저속에 대한 충돌해석연구 사례는 있으나 자기부상열차의 운행특성에 따른 위험도 평가가 제대로 이루어지지 않았음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국철도기술연구원 (철도구조연구실)	○ G7, 틸팅열차 등의 기술개발사업에 참여하여 충돌안전도 해석 및 설계 지원 업무 수행 ○ 철도종합안전기술개발사업에 참여하여 충돌안전도 설계가이드라인 연구, 충돌안전도 성능평가 기술개발, 충돌안전도 표준성능구조 및 표준성능장치 연구 등 충돌안전과제를 총괄하고 있으며, 현재 철도차량 실물충돌 안전성 평가 시험 설비를 구축 중에 있음
	서울산업대학교 (철도전문대학원)	○ G7, 차세대 고속철도, 도시형 자기부상열차 등의 기술개발사업에 참여하여 충돌안전도 해석 및 설계 지원 업무 수행 ○ 철도종합안전기술개발사업의 충돌안전과제에 참여하여 열차의 충돌 동역학거동 분석 및 평가 연구 수행 중
국외	Transrapid Int.	○ Transrapid International은 독일 고속자기부상열차인 Transrapid의 개발을 위해 Siemens와 ThyssenKrupp이 설립한 합작회사로 2003년 세계 최초로 최고 운행속도 430㎞/h의 고속자기부상열차를 중국에 수출하여 상용화한 실적이 있는 고속자기부상열차 기술개발의 선두주자임
	알스톰	○ 세계최초로 충돌안전설계를 적용한 차량을 개발한 차량제작업체로 세계최고수준의 충돌안전해석, 시험, 설계기술을 보유하고 있음

□ 기술개발 추진 전략

○ 해외 전문가 자문을 통한 선진 기술 습득

○ 국내 연구기관과의 협력을 통한 해석 기술 경쟁력 확보

○ 국내 시험시설 활용을 통한 검증기간 단축

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2.5	2.5	3	2.5	2.5	13
연구 재료비 및 설비투자비	50	80	80	120	50	380
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	50	68	80	90	30	318
기타경비	115	121	142	129	115	622
총 액	365	419	482	489	345	2,100

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 초고속 튜브트레인의 충돌안전장치 및 충돌안전구조 개발에 활용

○ 초고속 자기부상열차의 충돌안전규정 작성에 활용

○ 신규 개발되는 열차의 충돌안전도 평가에 활용

9. LSM 추진/제동(전기제동) 기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 철도 시스템에 예전부터 사용되어 오던 휠 온 레일 방식은 추진력을 차체에 장착된 휠과 지면에 고정되어 있는 레일 사이의 마찰력을 통해 추진력을 얻음

○ 따라서 부상하여 고속으로 추진하는 초고속 튜브트레인에 사용할 수 없음

○ 이에 대한 해결방안으로서 제시되어 온 것이 리니어모터를 이용한 추진 시스템으로서, 회전형 모터의 한 면을 수직하게 절단해 평편하게 펼쳐 놓아 회전형 모터 단독으로는 만들어 낼 수 없는 선형운동을 비점착 구동방식(전자기력을 추진력으로 이용)으로 가능하게 해줌

○ 이러한 철도차량 추진시스템에서 주로 고려된 리니어모터는 LIM(Linear Induction Motor, 선형유도전동기)과 LSM(Linear Synchronous Motor, 선형동기전동기)이며, 이 중에서 LSM이 전기적 효율 측면과 지상 제어로 인한 제어 신뢰성 측면, 열차 간격(시격)의 최소화 가능성 측면 등에서 LIM보다 유리한 점이 많고 또 LIM이 고속에서 갖고 있는 여러 문제점 등으로 인해 고속용 철도시스템에서는 LSM 방식이 LIM 방식보다 우위를 차지함

○ 국내의 LSM 기술은 주로 반도체 이송 공정용으로 소형, 소용량 장치가 사용 중에 있으므로, 철도차량용 고속 추진 장치로 적용하기 위한 대용량 시스템으로의 기술 개발이 필요함

○ 따라서 LSM에 대한 연구를 진행하여 독자적인 기술을 확보하여야 앞으로의 고속철도차량용 리니어 추진시스템에서 기술적 우위를 점할 수 있음

○ 초고속 튜브트레인은 최고속도 700km/h이 목표이므로 LSM을 이용한 전자기적 추진기술 없이 실현이 불가능함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 독일은 LSM 추진시스템에 대한 원천기술을 확보하고 있음

1) 대표적인 초고속 자기부상열차인 TR06은 극 피치 0.258m, 정격 속도 400km/h, 최고속도 500km/h, 주파수 215Hz이며, 주어진 인버터의 출력 전압 과 절연정도를 고려하여, 최적의 효율을 낼 수 있는 전동기의 전압으로 4.25kV, 최대 전류는 1.2kA

2) 추진력은 최대 100kN이며, 400km/h의 정상상태에서의 운전은 효율 93%, 역률 84%임

- 일본은 1970년도부터 500㎞/h 이상의 초고속 자기부상철도에 대한 연구개발을 진행하여 LSM 초고속 추진시스템에 대한 기술을 확보하고 있음

1) 초전도 전자석을 계자로 하는 공심형의 선형동기전동기를 추진시스템으로 사용하며, 전기자 코일은 궤도에 설치하는 독일과 같은 지상 1차 방식으로서, 극간격은 1.35m, 최고속도 550km/h에서는 주파수 56.6 Hz이며, 목표인 700 km/h에서는 72Hz임

2) 최대 피상전력은 38MVA로서, 독일의 16MVA 보다 약 두 배 이상이며, 가속도는 2.5m/s2

- 미국은 LSM 추진시스템에 대한 기초연구부터 응용까지 많은 연구를 수행하였으며, 중저속 및 초고속 자기부상열차의 추진장치로서 LSM 추진시스템을 꾸준히 연구개발 중임

- 중국은 70년대 중반 LIM에 대한 연구를 시작으로 LSM 추진시스템에 대한 연구도 수행중임

1) 1999년 말 중국과학기술부는 집중연구 과제인 "중국 최초 고속자기부상철도 시험선에 대한 타당성 연구"와 함께, 독일의 상전도 흡인식 초고속 자기부상철도(Transrapid) 기술을 검토

2) 자기부상철도 기술센터를 설립하여 기술을 집중하고, LSM 추진시스템의 자체 기술력 확보를 위해 노력하고 있음

- LSM 추진시스템이 핵심요소기술인 초고속 자기부상철도의 해외 시장규모는 아직 구체적으로 조사 검토된 바 없으나, 잠재 시장규모는 매우 클 것이며 향후 계속 증가될 것으로 예상됨

○ 국내 기술 동향

- 2005년 중반, 전문연구 시범사업으로서 기계연에서 과기부 주관의 “초고속 자기부상열차 연구”과제를 시작으로 LSM 추진시스템에 대한 연구를 수행한 바 있으나 이는 급전 및 섹션전환 등을 고려하지 않은 단품 리니어모터에 관한 연구임

- 2005년 중반, 기본연구 사업으로서 철도연에서 건교부 주관의 “철도기술 선진화 연구기반 조성 연구”과제에서 LSM 추진시스템에 대한 연구를 수행한 사례가 있으나 기술적 검토에 그침

- 2009년 기본연구 사업으로서 철도연에서 “초고속 튜브철도차량 핵심기술 개발”과제에서 LSM 추진시스템에 대한 연구를 수행하고 있음

- 국내에서는 철도차량용 LSM 추진시스템 기술의 핵심요소기술에 대한 연구를 수행하고 있으나, 실용화 기술에 대한 연구개발은 아직 미흡한 수준에 머무르고 있음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국철도기술연구원 초고속열차연구실, 주행추진연구실)	○ 급전 및 섹션전환 등 장거리 노선을 고려한 LSM 기술 ○ 대심도 및 리니어 전철용 리니어 추진 기술
	한국기계연구원 (자기부상연구실)	○ 단품 선형추진 및 그 응용 기술 ○ 도시형 자기부상열차 실용화 ○ 초고속 자기부상열차 부상/추진 기술
	한양대학교 (에너지변환연구실)	○ 리니어모터 및 회전모터 등 각종 전기기기 연구 ○ 실모델 도시형 자기부상열차 추진시스템 시험기 보유 ○ 가전용에서 대용량 견인전동기까지 폭넓은 연구
국외	독일 Transrapid International (TRI)	○ EMS 상전도 자기부상, 선형추진 및 그 응용 기술 ○ 초고속 자기부상열차(Transrapid) 실용화 ○ 초고속 자기부상열차 시스템 제어 및 업그레이드 ○ TR09 개발 이후 세계적인 실용화 노선 발굴 및 기술 향상 ○ 시험 및 상용화가 완료 후, 추가적인 개선연구 진행
	일본 RTRI + JR 돗카이도	○ EDS 초전도 자기부상, 선형추진 및 그 응용 기술 ○ 초고속 자기부상열차(MLX) 실용화 ○ 초고속 자기부상열차의 경제성 향상 연구 ○ 실용화를 위한 건설 및 제작비저감 기술 연구 ○ 시험 완료 후, 상용화 목표로 기술의 완성도 향상 연구 ○ 추진 부상 코일의 새로운 개념 도입
	미국 General Atomics	○ 영구자석 반발식 중저속 자기부상, LSM 추진 및 그 응용 기술 ○ 화물운송용 중저속 자기부상열차 실용화 연구
	중국 중국과학원 (전기연구소)	○ 1958년에 설립되었으며, 'Maglev and Linear Drive Technology Research Center'를 설립하여 여러 시험장비를 구축하고 연구 중임 ○ 리니어 추진시스템 및 각종 부상방식 연구 중

□ 기술 개발 추진 전략

○ 세계 최고수준의 초고속 대용량 추진/제동 시스템 기술 개발을 위해서 독일의 ThyssenKrupp Transrapid 연구소와 초고속 튜브철도에 대한 공동 협력 추진

○ 중국 SMTC의 초고속 자기부상열차 운영 노하우 공유

○ 스위스의 Swissmetro 연구 그룹인 EPFL 교수진과의 연구협력 추진

○ 국내 최장수 리니어 모터 연구기관인 한양대학교의 에너지변환연구실과 리니어 추진시스템 분야 설계/해석/제어 기술 역량 강화

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	5	5	4	4	3	21
연구 재료비 및 설비투자비	100	100	100	100	100	500
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	60	58	0	0	0	118
기타경비	230	230	188	188	146	982
총 액	690	688	528	528	426	2,860

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 초고속・친환경 미래 신교통시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보

○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출

○ 리니어 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 확보

○ 선진국 주도의 리니어 추진 시스템 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보

○ 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽에의 극복

○ 국내 원천기술의 개발에 따른 국제표준화 기여 및 해외 시장의 선점

○ 요소기술의 국산화는 향후 철도분야 및 타 산업분야에 다양하게 응용될 미래첨단기술개발의 발판이 됨

- 자동차 및 항공 생산 공정

- 대용량 항공기 추진시스템

- 물류운송 및 각종 생산 공장 자동화

- 대규모 플랜드 사업 등

○ 산업 전반에 걸친 자동화에 리니어 모터의 활발한 응용을 위한 기반기술 확보

○ 철도차량용 리니어 추진시스템 기술보유국이 되어, 철도차량업체, 신호업체, 토목 및 건설업체의 인력 고용 향상과 경기부양 효과 기대

○ 국산화 개발을 통한 유지보수 비용 절감

○ 독자적인 국가브랜드 및 이미지 구축으로 국가 대외 신인도 향상

10. 자기부상/안내 기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 자기부상 및 안내 기술은 자기력으로 차량을 궤도면과 비접촉으로 주행 할 수 있도록 하는 기술로서, LSM 추진 기술과 함께 종래의 차륜식 철도 기술과 구별 되는 핵심 기술임

○ 국내의 도시형 자기부상 열차 실용화 사업에서는 일본의 Linimo차량과 동일한 상전도 흡인제어식(EMS)부상/안내 기술을 개발하여 110km/h급 중저속 자기부상열차에 적용하고 있으나, 이 방식은 차량과 궤도면과의 부상 간격이 8mm로 극히 작기 때문에 현재의 기술로는 차량 속도가 더 증가할 경우 차량과 궤도와의 접촉이 발생하여 더 이상 부상을 유지할 수가 없음

○ 또한 좁은 공극을 유지하지 위하여 부상제어 측면에서 외란을 최소화 할 수 있도록 정밀한 궤도 시공이 필요하며 이는 궤도 건설비용의 증가가 불가피하기 때문에 자기부상방식의 경제성 측면에서 큰 단점으로 작용함

○ 따라서 이러한 문제점을 해결하고 초고속 튜브 트레인에 적용할 수 있는 부상/안내기술을 위해서는 궤도 추종 능력을 향상 시킬 수 있는 새로운 부상제어 기술과 부상력이 큰 고효율의 전자석의 개발, 그리고 기존 기술의 한계

에 대한 대안으로서 초전도 반발식 부상(EDS) 기술 개발이 병행되어야 함

○ 특히 중저속에서는 부상시스템이 LIM방식의 추진 시스템과 별개로 동작하기 때문에 추진-부상간의 인터페이스가 극히 적었으나, 초고속에서는 성능향상과 차량의 경량화를 목적으로 동일한 전자석이 추진시스템과 부상시스템을 공유하기 때문에 추진-부상시스템간의 인터페이스 기술 개발도 반드시 필요함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 독일이 개발한 Transrapid는 도시형 중저속 자기부상열차와 동일한 EMS 기반의 부상/안내 기술로서 약 10mm의 부상공극을 유지하면서 500km/h의 속도에서도 안정적인 부상/안내 성능을 달성하고 있으며 또한 궤도 건설비를 줄이기 위한 연구로서 Prefab 궤도 모듈 개발 등 다양한 궤도 건설공법에 대한 연구를 진행하고 있음

- 일본이 개발한 MLX는 초전도 전자석을 사용한 반발부상식(EDS)방식으로서 별도의 부상제어시스템 없이도 120mm의 부상 공극을 유지하고 581km/h의 최고속도를 기록한 바가 있으며, 2005년에는 시스템 성능 향상과 궤도 건설비용을 줄이기 위하여 일체형 지상코일(PLG코일)의 개발을 완료하고 현재 2세대 고온초전도체(YBCO)에 의한 초전도 전자석 개발을 추진 중에 있음

- 미국은 1995년, US Army Corps of Engineers에서 수행한 National Maglev Initiative PJT를 통해서 Bechtel, Foster-Miller, Grumman, Magneplane의 4가지 초고속 자기부상시스템 개념 설계에 대한 기술적 평가를 수행한 적이 있으며, 이중 Grumman 방식은 종래의 EMS 부상의 단점을 극복하고자 초전도 하이브리드 전자석에 의한 대 공극을 부상 기술을 개발하였으며 시제품을 제작하여 40~50mm의 부상 성능을 확인한 바 있음

- 중국은 서남 교통대에서 초전도 기술을 이용한 부상시스템에 대한 기초연구를 수행하고 있음

○ 국내 기술 동향

- 국내에서는 자기부상/안내 기술은 중저속 자기부상철도 연구 및 실용화 사업을 통하여 110km/h 속도에 적용할 수 있는 상전도 흡인제어식(EMS) 자기부상기술을 보유하고 있으며, 최근 고청정 환경이 요구되는 반도체 이송공정에 적용할 목적으로 영구자석과 전자석을 혼합한 소용량 하이브리드 자기부상시스템을 개발 한 바 있음

- 또한 현재는 LIM 추진방식의 상전도 흡인제어 기술로서 초고속 LSM추진과 인터페이스를 고려한 부상/안내시스템 기술에 대한 연구는 아직 수행된 바가 없음

- 최근에는 초고속 자기부상철도에 적용을 목적으로 영구자석과 전자석을 혼합한 하이브리드 부상시스템과 초전도자석과 전자석을 혼합한 하이브리드 부상 시스템에 대한 기초적인 연구가 진행 중에 있음

- 초전도 유도반발 부상 기술은 일부 대학에서 기초적 수준의 연구를 수행 중에 있음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○ 한국전기연구원 (산업전기연구본부)	○ 도시형 자기부상열차(UTM-01) 부상시스템 개발 ○ 자기부상방식의 고청정 이송장치 개발
	○ 한국기계연구원 (시스템엔지니어링)	○ 중저속 자기부상열차 동특성 모델개발 ○ 초고속 자기부상열차용 부상/추진 시스템 요소기술 개발
	○ 현대로템	○ 도시형 실용화 자기부상열차(UTM-02) 부상시스템 개발
국외	○ 일본철도총합연구소 (RTRI)	○ MLX 초전도 반발식 자기부상 시스템 실용화 개발 ○ 2세대 고온 초전도 마그넷, PLG Coil 개발 등 실용화 기술 개발
	○ 독일(Tyssen Group)	○ 상전도 흡인식 초고속 자기부상열차 개발 완료함 ○ 중국 상하이에 최초 상용화 노선 건설
	○ 중국(서남교통대)	○ EMS용 실용화 초전도 하이브리드 부상전자석 연구

□ 기술 개발 추진 전략

○ 일본 및 독일 기술을 기반으로 하되, 기존 기술의 문제점을 극복할 수 있는 차별화된 부상 시스템 개발 목표로 연구 개발을 추진함 (선진국과의 기술 격차 축소)

○ 철도연의 차별화된 특허 기술을 다량 확보함으로서 선진국과의 전략적 기술 제휴 또는 공동연구를 위한 기반 마련함

○ 미국 Northrop Grumman사 또는 American Maglev Coalition 공동 협력 연구 추진

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	5	5	5	5	5	25
연구 재료비 및 설비투자비	100	250	250	100	100	800
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	200	200	250	200	140	990
기타경비	230	260	260	230	230	1,210
총 액	830	1,010	1,060	830	770	4,500

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 2008년 크린 리프트 및 반송장치 관련 기술의 세계시장현황은 2000억원 규모이고, 한국시장은 400억 원으로써, 자기부상기술을 클린 반송장비에 적용하면 300억 원 이상의 수입대체 효과가 예상됨

○ 자기부상식 차세대 위성발사체 개발, 의료장비 기술 등 과학 기술적 파급 기대

11. 자기부상 대차 기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 부상식 대차 프레임에는 부상시와 주행시 전혀 다른 하중조건에 견딜 수 있는 강도가 필요함

○ 초고속으로 주행하기 위한 대차프레임이 안정하게 지지하기 위한 충분한 강성이 요구되고 부상 주행하기 위해서는 대차의 경량화가 필수적이며 강자기장 내에서 사용하기 위해서 비자성체의 프레임 재질의 평가 기술개발이 필요함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- [일본 RTRI]

1) 대차 프레임의 구성 재료로서는 용접 가능한 알루미늄합금에서도 가장 강도가 높은 재료를 선택하여 대차프레임의 설계반영하고 있음

2) 용접부 결함검사 및 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking)평가를 통하여 안정성이 뛰어난 대차프레임을 설계하고 있음

○ 국내 기술 동향

- 국내에서는 일반철도의 대차프레임의 강도평가를 위하여 UIC code(615-4 & 515-4)와 EN code(13749)를 적용하고 있으나 초고속용의 자기부상 대차기술에 대한 강도평가 설계기술에 대한 연구가 미미한 실정으로 저속용의 자기부상 대차프레임에 대하여 현대로템에서 일부 수행한 바가 있음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○ 현대로템(주)	○ 자기부상열차 대차프레임의 동적 거동을 고려한 내구해석 기법개발
국외	○ 일본 RTRI	○ 초전도 자기부상식 대차부품 설계기술 개발

□ 기술 개발 추진 전략

○ 대차프레임 설계기술에 대한 흐름도에 따라 기술개발을 추진

○ 대차프레임 설계기술은 강도, 경량화, 시공성에 따른 재질 선택이 핵심이며 이에 대한 영향인자를 평가하여 피드백을 실시, 기술개발 risk을 감소시킴

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	7.5
연구 재료비 및 설비투자비	80	80	90	80	70	400
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	20	30	25	27	0	102
기타경비	79	79	81	79	130	448
총 액	269	279	286	276	290	1,400

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 대차프레임 요소설계기술 확보

○ 대차프레임 평가 기술에 따른 차량의 주행안전성 연계

○ 요소기술력의 향상으로 인한 핵심기술 경쟁력 강화

12. 차체 기밀 설계 기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 초고속 튜브트레인은 저진공 상태를 유지하는 튜브내부에서 열차가 운행하도록 설계되기 때문에 항공기나 잠수함처럼 차량이 운행하는 튜브내부와 차량내부간에 기압차 존재함

○ 이러한 초고속 튜브트레인의 운행환경 때문에 차체 존재하는 미세한 균열도 압력강하 유발 및 산소유출 등에 의한 심각한 안전문제 유발할 수 있음

○ 따라서, 초고속 튜브트레인의 차체는 항공기 수준의 기밀을 유지하는 것인 차량의 성공여부에 필수적인 요소임

○ 초고속 튜브트레인 내부의 이러한 기밀설계를 하기 위해서는 차량제작시 존

재하는 접합체결부, 배선 및 배관의 인입부, 출입문 및 창문부에 대한 기밀 유지를 위한 핵심기술 개발이 필요

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 국외에서도 튜브트레인을 개발한 사례가 없기 때문에 국외기술동향은 이러한 기술이 적용되는 항공 및 잠수함분야의 사례를 참조하였음
- 항공분야의 이러한 기밀유지 동체설계기술은 핵심적인 필수기술임
- 현재 운항중인 보잉(미국) 및 에어버스(유럽연합)의 모든 항공기에는 이러한 기밀유지기술이 적용되고 있음
- 현재 운항중인 보잉(미국) 및 에어버스(유럽연합)의 모든 항공기에는 이러한 기밀유지기술이 적용되고 있음
- 항공기에서는 이러한 동체기밀을 유지하기 위해 기밀출입문 (airtight door)시스템을 적용하고 있음



[그림 6-2-9] 항공기 기밀 출입문

- 또한, 잠수함의 경우에도 수중에서 방수(watertight)를 유지해야 함, 따라서 잠수함의 경우에도 항공기와 마찬가지로 방수를 유지하기 위한 출입문을 적용하고 있음



[그림 6-2-10] 잠수함 기밀 출입문

○ 국내 기술 동향

- 국외와 마찬가지로 국내에서 철도분야에서 튜브트레인과 같은 정도의 기밀을 요구하는 철도차량을 개발한 사례가 전무
- 국내의 항공분야 역시 보잉이나 에어버스와 같은 대형 항공기는 제작하지 않고 T50과 같은 훈련기를 제작하는 수준임
- 이러한 소형 항공기의 경우 기밀유지는 대형항공기에 비해 상당히 유리한 구조임



[그림 6-2-11] 국내 개발 T-50 훈련기

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○ KAI (한국항공주식회사)	○ T50훈련기 개발 및 시험비행완료 ○ 조종실의 기밀유지기술 적용
	○ 항공우주연구소	○ 다양한 항공기에 대한 기밀설계기술 보유
	○ 현대중공업	○ 한국형 잠수함 개발을 통해 방수기술 보유 ○ 한국형 잠수함 (KSS-II) 건조
국외	○ 보잉사	○ 대형 항공기 제작을 통한 기체 기밀설계기술 보유 ○ 최근에는 동체전체가 탄소섬유 복합소재로 제작된 787개발에 성공
	○ 에어버스사	○ 대형 항공기 제작을 통한 기체 기밀설계기술 보유 ○ 최근에는 초대형 항공기 A380개발에 성공

□ 기술 개발 추진 전략

○ 항공기 및 잠수함 등 초고속 튜브트레인과 유사환경을 가진 구조물의 기밀설계에 대한 기술 자료조사를 통해 핵심기술의 기본개념 정립

○ 내외부 기압차에 의한 차체 구조의 변형 및 이에 따른 체결부 및 출입문등에 대한 변형거동 고찰

○ 기밀유지에 취약부 도출 및 취약부 개선방안 수립

○ 도출된 기밀유지차체 기술에 대한 시편시험을 통한 검증

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 본 기술이 개발될 경우 국내 항공 및 우주분야 및 방산분야에 확대적용가능

○ 또한, 기존 고속열차에도 이러한 기술을 적용할 경우 현재 보다 쾌적한 객실환경 구현 가능

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	3	3	3	2	13
연구 재료비 및 설비투자비	50	60	80	110	80	380
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	40	60	50	68	50	268
기타경비	94	138	142	148	100	622
총 액	304	438	452	506	350	2,050

13. 저압환경용 HVAC 및 ECLSS 기술개발

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 저압의 환경에서 운용될 튜브 트레인의 공조(HVAC), 공기 재생 및 생명 유지 장치(ECLSS)개발은 필수적임

○ 탑승객의 생명 유지 및 쾌적성을 위하여 필수적임

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- NASA의 우주 왕복선에서 적용되고 있음(진공 상태)

- 수중의 잠수함 또는 고공을 운항하는 비행기에서 기술 적용함(산소가 희박하거나 외부와 환기가 되지 않는 수중 상태)

○ 국내 기술 동향

- 초기 연구단계에 머무르고 있음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○ 부산대학교 (공조연구센타)	○ 기본적인 공조 연구 수행함
국외	○ NASA	○ 우주 왕복선에서 기술 적용함
	○ Boeing, Air-Bus社	○ 저압의 고공 운항체에 대하여 기술 적용함

□ 기술 개발 추진 전략

○ 국내 대학 및 연구소와 시제품 제작 등에서 협업 체계 구축

○ 해외 연구기관 및 대학과 기초 기술 공동 연구 추진

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	2	2	2	2	10
연구 재료비 및 설비투자비	50	50	200	100	100	500
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	46	56	126	66	56	350
기타경비	94	94	124	104	104	520
총 액	310	320	570	390	380	1,970

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 고공 운항용 비행체에 활용 : 중장거리용으로 운항되는 대형 여객기는 10000~15000m의 상공을 운항하므로 외부 압력이 0.1~0.2기압의 저압환경에서 사용되므로, 본 과제에서 개발된 기술이 활용됨

14. 추진 전력 기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 초고속 자기부상열차는 LSM(선형동기전동기)로 구동된다. 따라서 지상의 트랙에 설치되는 고정자 코일에 전류를 공급해야 하며 바로 이것이 LSM 구동 열차시스템의 급전시스템 역할임

○ 독일의 Transrapid의 경우 고정자 코일에 공급되는 전력은 고정자 코일 섹션(대략 1.2km)마다 자기부상 열차가 고정자 코일 섹션에 있는 특정시간에만 공급되어야 하는데 이 특정시간의 제어는 트랙사이드에 설치되는 스위칭 스테이션에서 이루어지기 때문에, 초고속 튜브 트레인의 경우 열차위치를 검지하여 안정적으로 섹션 전환이 이루어지도록 고정자 코일에 전력을 공급하는 장치는 필수적임

○ 고정자 코일에 공급되는 전류는 그 전압 및 주파수가 시간에 따라 변화하며 이 제어는 변전소에 설치되는 추진전력 제어반에서 수행됨. 변전소에서 전력변환을 위한 추진전력장치개발, 변압기 등의 전력기기 개발이 필요함

○ 초고속 튜브 트레인 계통해석의 학문적 이론을 정립하고 운영기관/연구기관 상호 협력하에 꾸준한 시험 평가를 통해 적용 타당성 검토가 수행되어야 함

○ 운영기관/연구기관 상호 협력 하에 설비 혹은 시스템의 개발, 문제점 해결 혹은 개선을 위한 시스템 차원의 심도 있는 계통 해석/ 개선 작업 수행이 필수적이기 때문에 급전시뮬레이터를 활용한 계통 해석연구가 필요함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 일본의 고속 자기부상 열차의 LSM 구동을 위해서 차량속에 대응한 주파수를 갖는 전류를 LSM에 공급할 수 있는 VVVF 전원을 사용하고 있음

- Yamanashi 시험선에 있는 변전소에는 154 kV를 급전 받아, 변압기 및 전력변화장치를 거쳐서 0~55.6 Hz, 0~22 kV의 가변주파수 및 출력전압 제어를 실시하고 있음

- 또한 세계에서 가장 큰 인버터를 사용하여 출력전류가 약 1kA에 달하고,

저속운전구간에서 입력 고조파 전류를 줄이고 역율 향상을 위해서 multi-bridge 컨버터를 사용

- 남북 선로에 3 개의 섹션에 전력을 공급하도록 되어 있고, 북쪽 선로는 최고속도 550 km/h, 남쪽 선로는 450 km/h로 운행되고 있음. 급전 섹션의 스위치는 진공스위치를 사용하며, 백만 회 이상의 내구성을 갖도록 개발됨

<RTRI 전력변환장치 사양>

항 목	북쪽 라인	남쪽 라인
Converter		
- 정격	69 MW	33 MW
- 입력전압	66 kV	66 kV
- 입력주파수	50 Hz	50 Hz
- 출력전압	±3,450 Vdc	±2,625 Vdc
Inverter		
- 상수	3	3
- 정격	38 MVA	20 MVA
- 출력전압	0~12.7 kV	0~6.35 kV
- 변압기 출력전압	0~22 kV	0~11 kV
- 출력전류	0~960 A	0~1015 A
- 출력주파수	0~56.6 Hz	0~46.3 Hz
DC chopper		
- 정격	19 MW	4.09 MW
- 입력전압	±3.55 kV	±2.625 kV
- 초핑주파수	300 Hz	350 Hz
- 제어	PWM	PWM

- 현재 운용 중이 상해 자기부상열차는 고정자 코일에 전류를 공급하기 위해서 섹션을 나누어 공급하고 있음. 이러한 섹션전환 방법으로는 step by step고 three step 방법이 적용되고 있음

- 철도 선진국인 프랑스, 독일, 일본 등은 자국의 시스템 특성을 반영한 급전계통 해석 시뮬레이터(RailSim 등)를 보유하고 있으며, 정상상태 뿐 아니라 과도상태 해석을 위하여 실시간 시뮬레이터의 도입도 이루어지고 있음

- 유럽의 경우 국가간 전기차의 연계운행을 위해 국가별로 각기 다른 급전시스템에 대하여 ESCARV(Electric System Compatibility for Advanced Rail Vehicle)를 중심으로 통합 모델을 구축하고 있음

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
Transrapid (독일)	- 상전도체를 이용한 흡인식 자기부상열차 - 급전시스템 분야 특허 다수 보유	최고 설계속도 500km/h 현재 상하이 시범선의 최고 운행속도 430km/h 차량중량(승객포함)/수용능력/최대소비전력 : 247t/438명/13.6MW (TR-08 기준)	상대적 수준 100(%)
MLX (일본)	- 초전도체를 이용한 반발식 자기부상열차 - 급전시스템 분야 특허 다수 보유	최고 설계속도 550km/h 차량중량(승객포함)/수용능력/최대소비전력 : 120t/270명/34.6MW (MLX 01 기준)	상대적 수준 100(%)
Swissmetro (스위스)	- 튜브철도 방식의 초고속 전철	최고 설계속도 550km/h 차량중량(승객포함)/수용능력/최대소비전력 : 82.6t/200명/7.14MW (Variant 3 기준)	상대적 수준 100(%)
Siemens	- Transrapid 열차제어시스템	500km/h급 자기부상 열차제어시스템 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(100%)	상용운영속도 :400km/h
Telefunken	- Transrapid 통신시스템	500km/h급 자기부상 열차제어시스템 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(100%)	상용운영속도 :400km/h

○ 국내 기술 동향

- 초고속 자기부상열차의 전기시스템은 학계에서 이론적 목적으로만 연구된 바가 있으나 그 개념적 이론정립에 그치고, 그 연구개발은 미흡한 수준임
- 초고속 전철시스템의 전력설비에 대한 사양 및 법령이 마련되어 있지 않음

○ 국내외 주요 연구 기관

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
한국기계연구원	상전도 흡인식 방식의 도시형 자기부상열차인 UTM(Urban Transit Maglev)의 개발	급전 및 장계자를 고려하지 않은 단품 LSM 시험기 수준 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(50%)	
현대로템(주)	중저속자기부상열차 제작기술	LIM기반 중저속형 자기부상열차 제작기술 보유	중저속형 자기부상열차
한국철도기술 연구원	초고속자기부상열차개발을 위한 연구기획 롱스테이터 급전관련 특허 및 보유기술 없음 AC/ DC 시뮬레이션 관련 자체 해석 소프트웨어 보유	초고속자기부상열차개발을 위한 필수기술 분석 및 연구 기획 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(70%)	초고속 자기부상열차

□ 기술 개발 추진 전략

○ 조기 기술개발 방안

- 국외 선도 연구기관과의 협력 및 기술교류를 통한 연구 가속화 추
- 추진급전시스템 기술 분야의 집중연구를 통한 기술 격차를 해소하여 연구개발의 가속화

○ 기술개발 실패시 리스크 대응방안(개발기술의 활용측면)

- 추진급전시스템기술은 초고속 튜브 트레인 적용이외에 대전력 고전압 전력변환기술에 많은 기여를 할 수 있음
- 추진장치 및 전력설비 설계 및 해석기술은 전력시스템 분야에 적용할 수 있음
- 급전시스템 해석 및 설계에 활용 가능

○ 기술자립 또는 독자기술 개발 방안(차별화 기술 경쟁력 확보 방안)

- 국내외의 특허 및 기술의 완벽한 분석을 통한 문제점을 해결 할 수 있는 기술 적용을 통하여 독자 모델 개발

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	3	4	5	5	4	21
연구 재료비 및 설비투자비	30	30	50	120	50	280
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	30	60	100	80	60	330
기타경비	132	174	220	234	178	938
총 액	372	504	670	734	528	2,808

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 국내 전기철도 급전시스템 설계 능력 향상

○ 급전시뮬레이터 사용자 인터페이스 체계를 간편하고 편리하게 구성하여 기술이전 증대

○ 급전시뮬레이터 국내 설계회사에 기술이전

○ 자기부상 급전시스템 기술개발 관련하여 실용화 단계에서 기술 이전

○ 급전시스템 설계 및 시뮬레이션을 국내에서 수행 가능하므로 수입 대체 효과 (10건×5,000만원 = 5억원 추정)

15. 궤도 / 분기기 기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 700km/h 이상으로 주행하는 초고속 자기부상열차를 지지, 안내하기 위해 안정적인 부상제어와 승차감 확보와 동시에 경제적인 궤도구조 및 분기 시스템의 개발 필요

○ 저진공 환경 하에서 운영되는 튜브철도에서는 유지보수가 어렵고 많은 비용

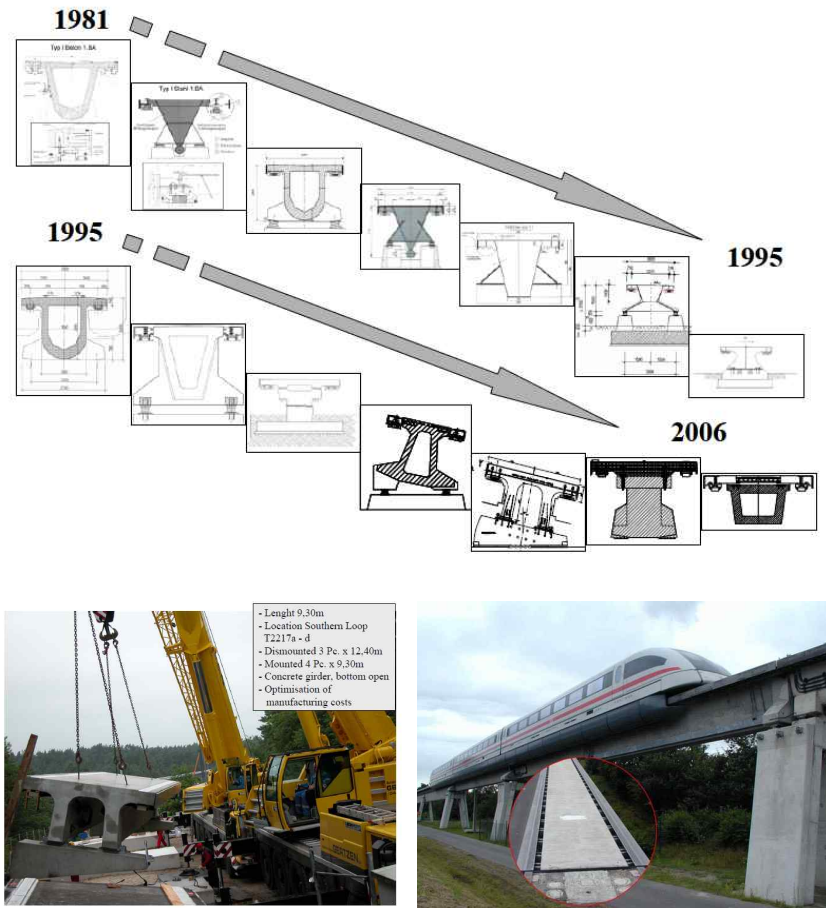
을 유발할 것으로 예상되므로 가능한한 유지보수를 최소화할 수 있는 궤도 구조 및 분기 시스템의 개발 필요

○ 분기 시스템은 초고속 철도의 운영에 있어서 중요한 제한요인으로 작용하므로 운영개념에 적합한 분기방식과 동작방식을 적용한 새로운 분기 시스템의 개발이 요구됨

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 독일의 TRANSRAPID 프로젝트를 통해 Max-Bögl, Züblin 등을 비롯한 다수의 건설회사가 가이드웨이 기술 개발에 참여하여 상전도 흡인방식 LSM 시스템을 위한 Π형 가이드웨이 구조 개발(아래 그림 참조), Emsland 시험선에서 지속적인 성능 검증 및 개량을 통해 상용화 기술 확보



[그림 6-2-12] 독일 TRANSRAPID의 가이드웨이 개발 과정

- 독일의 TRANSRAPID에서는 초고속열차 적용을 위해 보다 우수한 선형과 구동시간해 축이 가능한 벤딩방식 회전형 분기기를 개발하여 적용하고 있음



[그림 6-2-13] 독일 TRANSRAPID의 벤딩방식 회전형 분기기

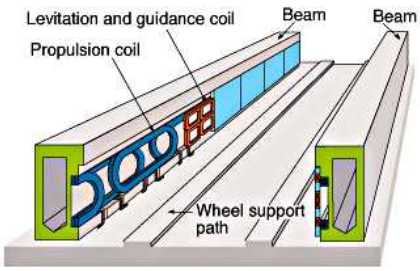
- 중국에서는 독일 TRANSRAPID의 상하이 시내~푸동공항 간 상용노선(설계최고속도 500km/h) 건설을 통해 가이드웨이 기술을 도입하고 동시에 독자적인 기술을 접목하여 관련 기술을 확보하고 있음



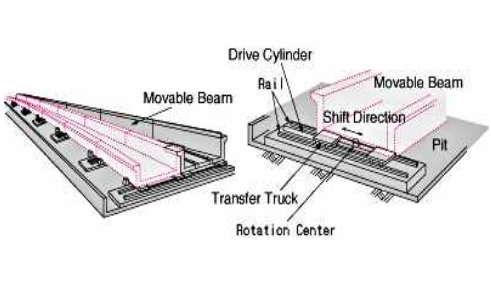
[그림 6-2-14] 상하이 Maglev 상용노선

- 일본은 초고속 자기부상열차(MLX, 최고속도 581km/h 기록) U형의 가이드웨이 궤도구조 및 분기기(분절형 평행이동방식) 개발, 현재 야마나시 시험선에서 설치, 운영 중이며, 최근에도 RTRI를 중심으로 프리캐스트 콘크리트 가이드구조와 추진코일의 시공비 절감, 유지보수 절감을 위한 연구를 계속 추진 중(아래 그림 참조)









[그림 6-2-15] 야마나시 시험선의 가이드웨이 궤도구조와 분기기

- 일본에서는 초고속 자기부상열차 외에도 LIM 방식의 중저속 자기부상열차(모델명 HSST)가 최근 나고야 동부구릉선에서 실용화되어 운영 중(상용화 모델명 LINIMO, 설계최고속도 110km/h)이며, 가이드웨이 구조와 관절 회전형 분기기는 수 십 년간 시험선로에서 여러 가지 다양한 구조에 대한 시험을 거쳐 실용화 노선에 적용되었음

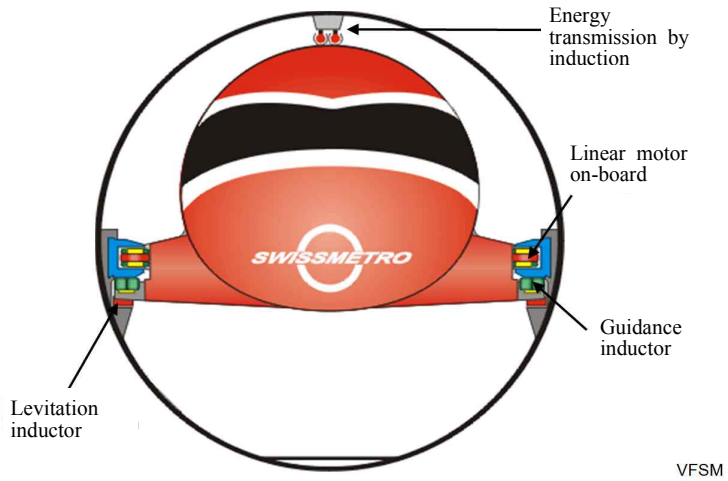


[그림 6-2-16] 일본 LIM 방식 중저속 자기부상열차 상용노선(LINIMO)

- 미국에서는 최근 캘리포니아 고속철도에 자기부상열차를 적용하기 위한 노력이 이루어지고 있으며, GA사를 비롯한 몇몇 개발사가 자기부상열차

에 대한 연구를 추진 중에 있으며, GA사의 경우 LSM 방식의 시험선로를 보유하고 있으나 가이드웨이 연구보다는 차량 및 부상/추진시스템에 대한 연구에 중심을 두고 있음

- 또한 미국에서는 90년대 일본의 HSST를 도입하기 위해 FTA를 중심으로 일본 HSST 가이드웨이 구조에 대한 기술적 분석이 이루어진 바 있음
- 튜브 가이드웨이와 관련한 연구는 일본 초고속 자기부상열차에서 터널 내의 공기압을 줄여 공기저항을 완화시키고자 개념 수준에서 제안된 바 있고, Swissmetro에서 저진공 터널 내에서 LSM 자기부상열차 궤도구조의 개념설계를 제안한 바 있음(그림 참조)
- 일반 초고속 자지부상열차의 가이드웨이 와 구조상의 차이는 거의 없으나 속도를 500km/h 수준에서 700km/h 이상으로 상향하는 데 따른 가이드웨이 지지강성 및 변형한계 등 설계기준 및 하중조건 정립이 필요함(초고속열차-가이드웨이 상호작용을 고려한 동적안정성 해석기법 활용)



[그림 6-2-17] Swissmetro 가이드웨이 구조 단면

○ 국내 기술 동향

- 국내에서는 초고속 자기부상열차에 대한 연구는 한국철도기술연구원과 한국기계연구원 등에서 기초적인 연구를 수행하고 있으나, 실물모형에 대한 실험을 포함한 본격적인 연구는 아직 수행된 바 없으며 특히 가이드웨이

구조에 대한 연구실적은 전혀 없음

- LIM 방식의 중저속 자기부상열차는 한국기계연구원에서 1980년대부터 개발되어(모델명 UTM01, 02) 한국기계연구원에 시험선로를 설치하여 시험을 거쳐 왔으며, 현재 국토해양부 R&D사업(도시형 자기부상열차 실용화 사업, 2006 -2012)을 통해 인천국제공항 내에 시범노선 건설을 추진 중이며(설계최고속도 110km/h), 한국철도기술연구원에서 동 사업에 참여하여 가이드웨이 성능개선 및 궤도구조 개발을 추진한 바 있음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국기계연구원	○ LIM 상전도흡인식 중저속 자기부상열차 가이드웨이 및 분기기(평행이동식/관절회전식) 제작기술 보유
	한국철도기술연구원	○ LIM 상전도흡인식 중저속 자기부상열차 가이드웨이 설계기준 정립 및 궤도구조 개발
	한국건설기술연구원	○ LIM 상전도 흡인식 중저속 자기부상열차 프로토타입 가이드웨이 설계(한국기계연구원 내 시험선로)
국외	일본철도총합연구소 (RTRI)	○ LSM 초전도 반발식 초고속 자기부상열차 U형 가이드웨이 궤도구조(프리캐스트 콘크리트 블록) 및 분기기 개발
	독일 Transrapid 참여 건설사 (Max-Bögl,Züblin 등)	○ 상전도 흡인식 초고속 자기부상열차 가이드웨이 구조 및 벤딩방식 분기기 상용화 기술 보유 ○ Emsland 시험선에서 수 십 년간의 운영 경험 ○ 중국 상하이 상용노선 적용 경험
	중국 SMTC	○ 상하이 푸동공항 상용노선 건설 및 운영경험 ○ 가이드웨이 관련 독자기술 접목
	미국 GA	○ LSM 방식의 시험선로 설치, 시험 운영

□ 기술 개발 추진 전략

○ 설계속도 700km/h 이상의 가이드웨이 요구조건을 정확히 정의하기 위해서는 초고속 열차에 대한 차량-가이드웨이 상호작용 해석기술의 검증이 완료되어야 하고, 저진공 튜브 환경 하에서의 영향에 대한 검토도 이루어져야 하지만, 모두 동시에 연구가 수행되어야 하므로 국외 500km/h급 자기부상열차에 대한 요구조건 분석을 토대로 Prototype에 대한 요구조건 및 사양을 정의하고 기본적인 정/동적 성능을 검증한 후, 상호작용 해석기술과 진공시스템과의 인터페이스 검토가 완료된 후 이를 보완하고, 또한 축소 시험선 및 본 시험선로에 적용하여 지속적인 성능 검증 및 보완이 이루어져야 함

○ 독일, 일본 등 국외 초고속 자기부상열차 관련 선행기술의 장단점 분석을 바탕으로 독창적인 연구 성과물이 도출될 수 있도록 추진

○ 국내 자기부상열차 관련 개발 경험을 적극 활용할 수 있도록 관련 연구기관을 중심으로 협동연구체계를 구축하고 설계/시공 참여 기술자들의 적극적인 연구 참여 유도

○ 조기 기술개발 및 Risk 저감을 위해 국외 기관과의 전략적 기술제휴 또는 공동연구의 필요성 검토 필요

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 : 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	3	3	3	2	13
연구 재료비 및 설비투자비	120	140	170	250	70	750
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	40	82	80	80		282
기타경비	110	154	170	176	98	708
총 액	390	556	600	686	288	2,520

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ LSM 방식 초고속 자기부상열차 가이드웨이에 적용함으로써 시공비 및 유지보수비 절감 기대

○ 궤도구조 및 분기 시스템의 개념, 구동원리, 구조 및 설치 방식 등은 유사 방식의 신형식 궤도(LIM 방식의 자기부상철도 등)에 응용될 수 있을 것으로 기대됨

16. 고기밀 저진공 튜브 기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 초고속 튜브철도에서 공기저항을 최소화하기 위하여 튜브 가이드웨이의 진공 확보가 가장 중요한 관건이 됨

○ 철도 차량이 운행할 만큼의 대형 구조물에 대해 진공을 확보하고 유지하는 기술에 대한 전례가 없었으며, 대형 구조물의 경우 예기치 못한 미세 균열, 시공이음, 기계적 연결부위에서 기밀이 파괴될 우려가 큼

○ 튜브 구조물의 기밀성은 진공펌프의 비용에 반비례하며, 기밀성 확보가 안되는 경우 진공펌프를 지속적으로 가동시켜야 하므로 이에 따른 에너지 비용이 증가할 것으로 예상됨

○ 또한 예기치 못한 사고 시에는 승객의 안전을 위해 신속한 기압의 환원과 재가동을 위한 신속한 감압시스템이 필요하며, 감압시스템의 원활한 기능 유지를 위해 기밀성 확보가 반드시 필요함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 국외에서 제안된 초고속열차는 진공튜브에 대한 아이디어 제시 수준
- 스위스메트로에서 진공튜브 달성을 위한 펌프의 배치간격 및 개략적인 비용을 제시한 바 있으나, 튜브 구조물의 기밀성 요구조건 및 기밀성 확보 방안에 대한 연구는 거의 없음

- 일본 RTRI에서 진공터널에 대한 기초 연구가 수행된 바 있으나, 기밀성 확보의 구체적인 방안에 대한 연구는 없었음

○ 국내 기술 동향

- 해저 침매 터널의 방수를 확보하기 위한 콘크리트 재료 및 구조 연구에 대한 사례와 실무 적용사례가 있음

- 원자력 발전소의 격납건물에서 방사능 차폐 구조물로서의 콘크리트 격납 구조물에 대한 연구와 적용사례 다수이나, 대형 진공 구조물에 대한 연구는 전무함

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국원자력연구원	○ 원자력 격납구조물의 방사능 차폐
	대우건설	○ 해저 침매터널에 대한 고압방수성능 확보
국외	스위스메트로	○ 진공튜브철도에 대한 아이디어 제시

□ 기술 개발 추진 전략

○ 진공 제어 시스템 설계기술 개발과 긴밀한 인터페이스 유지(요구 기밀도, 진공펌프 설치 및 연결방안 등)

○ 국내외적으로 저진공 환경의 터널 라이닝에 대한 연구사례가 거의 없으므로 유사 분야인 터널 라이닝 복합재료에 관한 연구와 해저터널 및 침매터널 등에 적용 경험 등에 대한 철저한 선행기술 분석을 바탕으로 연구개발 방향 수립

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 : 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	2	2	2	2	2	10
연구 재료비 및 설비투자비	100	200	300	300	100	1,000
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	56	86	86	36	36	300
기타경비	104	124	144	144	104	620
총 액	380	530	650	600	360	2,520

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 진공 기밀도 향상을 통한 초고속 튜브열차 건설비 절감

○ 대형 진공공간을 활용하는 기초기술 연구에 활용

○ 기밀 또는 수밀성 및 고내구성을 요구하는 대형 구조물(해저터널, 방사능 차폐구조물 등)에 활용 가능

17. 튜브 비파괴 진단 기술 개발

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 초고속 튜브 트레인 기술에서 저진공 상태를 유지하는 튜브 구조물의 건전성 진단은 운행 안전성 측면에서 매우 중요함

○ 튜브 구조물의 열화 및 손상을 조기에 발견하여 대처함으로 사고를 미연에 방지하기 위해서는 실시간 모니터링 및 정기적인 검사과정이 반드시 필요함

○ 튜브구조물에 적합한 신속하고 간편한 검사방법의 연구가 필요함

○ 적외선 열화상 기술은 적외선 카메라를 이용하여 철도변 주요 시설물의 이상을 감지하여 신속하게 대처할 수 있게 해주는 기술로써, 이 기술의 적용을 위해서는 현장 적용성 및 신뢰성을 높이기 위한 연구가 필요함

○ 전차선, 전력 설비, 전력 케이블등 철도변 시설물에 이상이 발생 할 경우 온도가 급증하여 이상 지점을 발견 신속히 대처할 수 있음

○ 터널 내 기밀이 손상되어 누수 발생 시 터널 내 온도 분포가 변경되어 속하게 확인 가능함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 선진국에서는 다양한 비파괴검사 기술 및 검사 장비를 개발하여 활용하고 있음
- 안전 및 유지보수 효율성 향상을 위해 검사 대상에 최적화 된 기술을 개발하여 활용하고 있음
- 유도초음파는 장거리를 단시간에 검사할 수 있다는 장점 때문에 널리 활용되고 있으며 특히 파이프 형태나 플레이트 형태의 구조물의 검사에 효과적으로 사용되고 있음
- 적외선 열화상을 이용한 검사 방법은 빠르고 간편한 검사 방법을 제공한다는 장점 때문에 산업계에서 각광을 받고 있으며 현장에 적용을 위한 많은 연구들이 진행되고 있음

○ 국내 기술 동향

- 국내의 유도 초음파 기술은 대학 및 연구소를 중심으로 연구되고 있으나 초고속 튜브 트레인 시스템의 인프라에 최적화된 시스템의 개발을 위한 연구가 필요함
- 적외선 열화상을 이용한 검사의 경우 현장에서 수동적으로 적용하고 있는 단계로서 튜브 트레인에 적합한 자동화된 시스템의 개발이 필요함

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국표준연구원	○ 유도초음파를 이용한 파이프 검사 기술 개발 ○ 초음파를 이용한 차륜 검사 시스템 개발 ○ 적외선 열화상 기술을 이용한 비파괴 검사 기술 기초 연구
	성균관 대학교	○ 유도초음파를 이용한 파이프 검사 기술 개발
	서울대	○ 유도초음파를 이용한 튜브 검사 기술 개발
국외	영국 임페리얼 대학 RCNDE	○ 유도초음파를 이용한 파이프 검사 기술 개발 ○ 유도초음파를 이용한 무선 넷트워크 검사 기술 개발 ○ 적외선 열화상 기술을 이용한 비파괴 검사 시스템 개발 ○ 구조물 실시간 평가를 위한 SHM 기술 개발
	독일 스투트가르트 대학	○ 적외선 열화상 기술을 이용한 비파괴 검사 시스템 개발
	미국 펜실바니아 대학	○ 유도초음파를 이용한 비파괴 검사 기술 개발
	IOWA 대학 비파괴 검사 센타	○ 초음파를 이용한 비파괴 검사 기술 개발 ○ 적외선 열화상 기술을 이용한 비파괴 검사 시스템 개발

□ 기술 개발 추진 전략

○ 시험장비 구축 및 예비 시험을 통한 성능 검토

○ 위탁연구를 통한 기초 기술 확보

○ 국제 공동연구를 통한 선진 기술 도입

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	1.5	1.5	1.5	1	1	6.5
연구 재료비 및 설비투자비	70	100	100	80	40	390
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	33	47	47	42	40	209
기타경비	77	83	83	58	50	351
총 액	270	320	320	240	190	1,340

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 철도의 고속화에 따라서 안전에 대한 요구가 증가하면서 철도변 시설물의 이상 진단 및 모니터링의 필요성이 급증하고 있고 아래와 같은 분야에 검사 기술 적용 가능

- 레일 및 궤도 구조물 이상 진단
- 전력 설비의 이상 진단
- 콘크리트 터널 내 라이닝 이상 진단
- 초고속열차 튜브 구조물(라이닝, 콘크리트 구조물) 이상 진단

18. 유도급전기술

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 초고속 튜브트레인의 경우, 전력 공급이 지상에서의 비접촉 유도집전 방식을 채택함에 따라 집전장치가 차량의 하부에 설치되어 비접촉식으로 전력을 차량에 공급해야 함

○ 기존의 접촉식 급전방식의 철도와 달리 초고속 튜브 트레인의 경우 철도의 전력 시스템 구성이 달라지기 때문에 이에 따른 효율적인 전력 제어 방안과 각 부품들의 인터페이스 방안에 대한 기술 검토 및 개발이 필요함

○ 전력 공급이 지상에서의 무접촉 유도급전 방식을 채택함에 따라 전차선방식에서 사용되는 장치와 다른 지상 급전 장치 및 급전 인버터가 적용되며, 이 새로운 구성요소의 사용 환경에 대한 신뢰성 및 성능, 안전성에 대해 전반적인 검토 필요함

○ 승객의 안전 및 EMF/EMI/EMC 관련 국내외 기준을 만족하는 시스템 구성을 위한 전자파 안전성 평가 기술 확보가 필요함

○ 배터리 및 super-capacitor 및 전기 구동 시스템의 전반적인 구성요소에 대한 신뢰성 평가를 통한 안전성 분석 기술이 필요하며, 차량에 전달된 에너지를 효율적으로 관리하고 안정적으로 공급하기 위한 energy management system(EMS)의 기술적용이 필요함

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 유도전력 기술을 수송시스템에 적용한 사례로는 미국 라스베가스에 관광객 수송용 궤도전용 경량전철과 뉴질랜드에서 와카레와레나 공원 확장을 위해 개발한 도로전용 소형자동차를 들 수 있음

- 뉴질랜드의 경우 오크랜드 대학에서 연구를 수행하고 있는데, 매입형 유도전력 급전장치와 차량 내 충전기를 최소화하는 구동시스템 개발 등이 완료되었으며, 현재 시험선을 구축하여 상용화 검증시험이 진행되고 있는 중임

- 독일, 프랑스, 영국 등을 포함하는 유럽연합에서도 2002년도부터는 EVIAC (Electric Vehicle Inductive Automatic Charging)를 구성하여 전기자동차 및 경량전철에 활용할 수 있는 유도전력 급전기술을 공동 개발하고 있음

- 기타 스웨덴-캐나다의 봄바르디에 및 기타 철도 회사에서도 유도 급전 기술을 전략적 미래기술로 분류하고 집중적으로 연구하고 있는 것으로 알려져 있음

- 초고속 자기부상 열차의 차상 급전을 위한 유도급전(IPS) 및 리니어발전기 시스템에 대해서는 독일 Thyssenkrupp에서 개발 완료하여 자기부상열차 TRANSRAPID TR08 및 TR09에 적용하고 있고, 중국 푸동 공항 자기부상 열차에 상용화 되어 운영 중임

- 또한 일본의 MLX에서도 비접촉식 전력공급방식으로 100 km/h이상의 속도에서는 선형발전기를 이용하여 차량에 필용한 전력을 공급하고 있음

○ 국내 기술 동향

- 초소형 궤도열차 시스템에 대해서 1992년부터 포항공대/PRT- Korea 등에서 일종의 PRT(private rapid transit) 차량인 Sky Car에 대한 연구를 진행한 적이 있음

- 우리 연구원에서는 소형궤도 열차용으로 기초적인 이론 연구와 초소형 모델의 실용 연구를 수행한 적 있으나, 아직 기초적인 단계로 기초적인 기술자료 조차 확보하지 못한 상태임

- 전기연구원에서는 일반 산업용 유도 급전에 대한 연구를 상당히 진행오고 있으며 일정 수준의 기술을 확보하고 있다고 판단되나, 선진국 수준에 비해서는 아직 상당한 기술 격차가 있는 수준으로 알고 있음

- 초고속 자기부상 열차를 비롯한 초고속 튜브 열차를 위한 차상 급전 시스템에 대한 연구는 우리나라에서는 아직까지 전무한 실정임

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국전기연구원 (산업기술단)	○ 주요 연구활동 - 산업공정용 자기부상응용 기술 연구 ○ 향후 연구방향 - 자기부상 반송장치, 자기부상베어링 개발 - 비접촉 전원장치
	한국철도기술연구원	○ 주요 연구활동 - PRT 적용을 위한 비접촉 유도급전 전원공급 장치 기초 해석 및 시작품 제작 ○ 향후 연구방향 - 자기부상용 비접촉 전원공급장치 개발 - PRT 비접촉 유도급전 전원공급장치 개발

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	KAIST	○ 주요 연구활동 - 소형 승용 자동차에 비접촉 전력공급방식을 적용 - 온라인전기버스 제작 - 온라인전기승용차(SUV)를 제작하여 시험 주행 수행 ○ 향후 연구방향 - 2009년 12월에는 동기술을 적용하여 서울대공원 코끼리 순환열차를 코끼리 전기순환열차로 제작할 예정임 - 3kW급 E 타입 집전구조(2월), 9kW급 Flat 타입 집전구조(7월), 15kW급 Slim E 타입 집전구조(8월)로 발전 중이며, 향후 용량과 성능을 최적화한 I 타입 집전구조를 개발할 예정임
국외	일본 RTRI	○ 주요 연구활동 - 초고속 자기부상 LSM추진장치 전력공급장치 제작, 제어기술 확보하여 시운전을 통하여 평가를 실시하고 있음 - 선형발전기를 이용하여 시제차에서 시운전을 실시하고 있음 ○ 향후 연구방향 - 자기부상과 관련하여 차세대 MLX용 요소 기술 연구 중 - 철도용 초전도응용 기기(초전도 Flywheel등) 개발 중
	독일 Transrapid	○ 주요 연구활동 - 선형발전기 시스템은 TR08에 적용하여 100km/h 이상의 속도에서 차상에 전력을 공급하고 있으며 상하이 자기부상열차에 상업운전 중에 있음 - IPS 시스템은 TR09에 적용하여 100km/h 이하 구간에서 무접촉으로 전력을 차상에 공급하여 시운전을 하고 있음 ○ 향후 연구방향 - TR 시스템에 대한 기술개발을 완료하고 사업화 주력

□ 기술 개발 추진 전략

○ 조기기술개발 방안

- 국외 선도 연구기관과의 협력 및 기술교류를 통한 연구 가속화 추진

- 유도급전시스템 기술 분야의 집중연구를 통한 기술 격차를 해소하여 연구 개발의 가속화

○ 기술개발 실패시 리스크 대응방안(개발기술의 활용측면)

- 유도급전시스템기술은 초고속 튜브 트레인 적용이외에 일반산업분야의 적용이 가능한 분야임

- EMS 시스템은 스마트 그리드 사업과 같은 전력시스템 분야에 적용할 수 있음

- 전자기 해석 및 설계기술 습득으로 전력기기 해석 및 설계에 활용 가능

○ 기술자립 또는 독자기술 개발 방안(차별화 기술 경쟁력 확보 방안)

- 국내외의 특허 및 기술의 완벽한 분석을 통한 문제점을 해결 할 수 있는 기술 적용을 통하여 독자 모델 개발

□ 년차별 인력 및 투입예산

(단위 :백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
투입인력(M-y)	1.5	2	2	2	2	9.5
연구 재료비 및 설비투자비	50	50	180	80	80	440
외부연구비 (장치개발, 설계 및 해석 용역등)	100	110	100	110	83	503
기타경비	73	94	120	100	100	487
총 액	313	374	520	410	383	2,000

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 온라인 유도급전 철도시스템 핵심 기술에 활용 가능

○ 본 연구가 성공적으로 수행될 경우, 전차선 및 부속설비 등으로 복잡한 기존

전력공급 시스템을 대체할 수 있는 안전하고 미려한 차량시스템을 개발하는 데에 기여함으로서 미래 철도시스템으로서의 연구의 활성화 및 파급효과 기대, 보급할 수 있음

○ 건설비 및 터널 공사비용 저감이 가능하고, 유지보수 비용 저감을 기대할 수 있는 첨단 철도시스템 분야 기술발전

○ 철도기반시설 핵심기술 보유로 국제 경쟁력 확보

○ EMS 시스템 기술 적용을 통한 에너지 관리로 에너지 saving 기술 확보

19. 진공펌프 및 압력조절 시스템 기술 개발

□ 기술 개발 필요성 및 중요성

○ 튜브 열차 시스템의 최대의 관건은 진공(저압) 및 압력조절 기술 개발임

○ 튜브 내부를 저압 환경으로 만들고, 내부 압력 누설에 대하여 보충 및 조절하는 것은 低저항 超고속을 실현하기 위하여 필수적 기술임

□ 기술 개발 수준 및 동향 분석

○ 국외 기술 동향

- 대용량의 진공시스템은 주로 우주 개발용으로 NASA 및 유럽항공우주기구 등에서 무중력 상태 실험을 위하여 주로 개발함
- 小용량 진공시스템은 반도체 공정이나 진공 팩킹 산업에서 상용화함
- 독일의 Busch社 등 주로 외국 기업에서 대용량 진공 펌프 기술을 선도함

○ 국내 기술 동향

- 반도체 기술 공정에서 많이 응용하지만, 진공 기술은 주로 외국에 의존함
- 국내 진공펌프 제작사는 주로 중소형 위주이며, 대용량의 경우는 외국사와 제휴하는 실정이며, 이에 대한 연구도 활발하지 않음

○ 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	○ 일부 대학	○ 대학 등에서 일반 유체기계의 한 종류로서 펌프에 대하여 연구하고 있으며, 진공펌프에 특화되어 있지 않음.
국외	○ NASA	○우주 개발용으로 원천기술을 보유하고 있음. 군사적인 사안과 관련되어 많은 정보가 open되어 있지 않음.
	○ Busch社	○ 진공펌프에 주력하여 전세계적인 설계 및 판매망을 가지고 있음.

□ 기술 개발 추진 전략

○ 국내 대학 및 연구소와 시제품 제작 등에서 협업 체계 구축

○ 해외 연구기관 및 대학과 기초 기술 공동 연구 추진

□ 기술의 활용 및 파급효과

○ 진공 펌프 및 압력 조절 관련 기술은 튜브 열차 시스템 뿐만아니라 우주 항공산업에서도 중요하게 활용할 수 있으며, 진공팩킹, 반도체 및 청정 시스템 개발에 파급됨

제3절 추진체계 구성

□ 사업 구성 및 운영체계

○ 튜브 트레인 시스템은 대형·복합 철도시스템의 일종으로, 시스템엔지니어링 기반 총괄주관기관 중심으로 통합 지휘

- 튜브운송시스템 원천기술 개발 주체와 연구 연계체계 구축

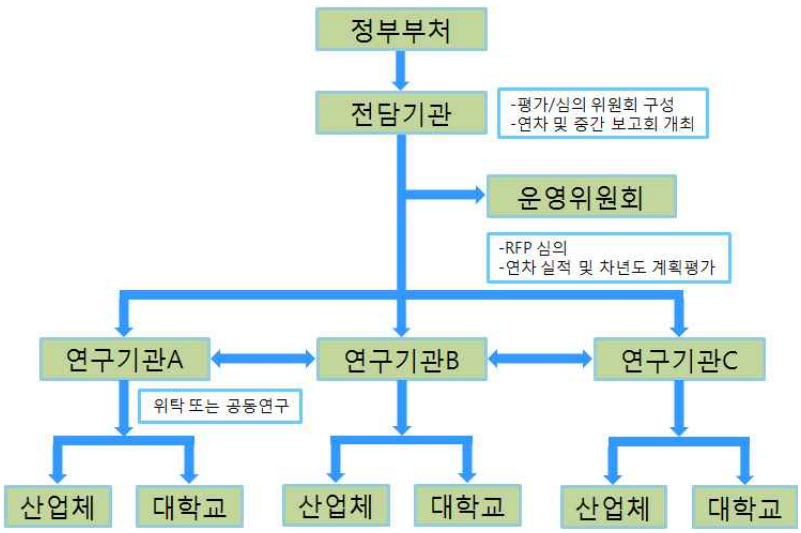
- 차량시스템, 운영기술 등 국내 원천기술 개발의 연구반영

- 시스템엔지니어링에 의한 시스템 통합, 인터페이스·상호작용 문제 해결

○ 초고속 튜브 트레인 시스템을 구성하는 하부시스템은 전문분야의 유관기관 참여 및 글로벌 R&D 네트워크 구축을 통한 협력 극대화

- 국내외 튜브운송, 자기부상 기술개발 등 관련 연구와 연계 및 산학연 네트워크 협력기관과의 공동연구 추진
- 각 하부시스템을 위한 요소기술·파급기술 등의 기반기술 개발 보급
- 튜브운송 및 자기부상 시스템 실용화를 위한 경제성 평가

○ 최소의 전용 시험선을 구축하여 시스템 시험평가·개발기술 확인



[그림 6-3-1] 사업 추진체계

□ 역할분담 및 연계방안

○ 전체 초고속 튜브 트레인 시스템에 대한 통합 및 총괄

- 철도시스템 기술개발 및 실용화 경험을 보유한 기관에 의한 주관 필요
- 철도시스템 고속화, 시운전 등의 기술·경험을 보유한 기관의 참여 필요
- 시스템엔지니어링 역량을 바탕으로 전체 시스템을 하나로 통합·총괄 추진

○ 국내외 전문분야 유관기관의 참여로 하부시스템 기술개발 추진

- 차량, 신호, 선로, 급전, 통신 등 기술개발에 관련 전문기관 참여
- 하부시스템 기술개발 관련 기반기술 개발을 위한 산학연 전문가 참여

- 각 하부시스템 간 인터페이스 조정 등을 위한 시스템엔지니어링 기술개발

○ 전용의 시험선에 전체 시스템 통합 구축 및 시험평가

- 최상위 시스템 목적에 부합하도록 전체 시스템을 통합 구축

- 시스템엔지니어링 기술을 바탕으로 책임있는 총괄·시험평가 추진

제4절 예산소요 및 인력투입 계획 수립

□ 단계별 소요예산

(단위 : 억원)

구분	1단계					계
	'11	'12	'13	'14	'15	
정부	87.4	105.3	185.7	197.2	167.7	743.3
민간	43.7	52.6	92.9	98.6	83.9	371.7
기타	-	-	-	-	-	-
계	131.1	157.9	278.6	295.8	251.6	1,115.0

□ 소요예산 산출근거

○ 1단계 소요예산

- 분야별 소요예산

(단위 : 억원)

구분	1단계					계
	'11	'12	'13	'14	'15	
총괄	9.0	9.0	11.0	11.0	11.0	51.0
SE	19.0	19.0	19.0	20.2	20.0	97.2
차량	25.8	30.8	41.0	48.4	32.1	178.0
기반기술	29.1	35.3	37.7	32.9	29.4	164.3
튜브인프라	18.2	21.9	24.9	23.3	16.2	104.5
시험선	30.0	42.0	145.2	160.0	143.0	520
계	131.1	158	278.8	295.8	251.7	1,115

□ 소요인력 산출근거

○ 1단계 소요인력

- 분야별 소요인력

(단위 : 명)

기술분야	1 단계 : 기초기술 및 모형개발					
	'11	'12	'13	'14	'15	평균
총괄	5	5	6	7	7	6
SE	12	12	12	12	14	12
차량	18	18	20	22	19	19
기반기술	20	20	21	21	20	20
튜브인프라	12	12	13	14	14	13
시험선	18	23	79	88	78	57
계	85	90	151	164	152	128

- 소요인력 상세 산출근거

· 총괄 분야 : 연인원 11명, 사업단장 외 기술 및 행정 인력 각 5명

· SE 분야 : 연인원 17명, 기술 분야 7명 및 시스템 해석·관리 10명

· 차량 분야 : 연인원 38명, 차량기술 관련 의사결정 1명 및 분석 37명

· 기반기술 분야 : 연인원 43명, 요소기술 관련 의사결정 및 분석 43명

· 튜브인프라 분야 : 연인원 28명, 튜브 인프라 기술 관련 의사결정 1명 및 분석 27명

· 시험선 분야 : 연인원 18명, 의사결정 1명, 설계 7명, 시공 5명, 분석 5명

제5절 추진일정

□ 단계별 추진일정

○ 1단계 : 튜브 트레인 시스템 기초기술 및 축소모형 개발, 2011～2015 (5년)

- LSM 추진시스템 및 튜브 기초기술개발 : 2011～2015 (5년)

- 튜브 트레인 시스템 축소모형 제작 및 시험 : 2011～2015 (5년)

- 시스템 및 핵심장치 사양 결정 : 2012～2014 (3년)

제7장 기술개발로 인한 파급효과 분석

제 1 절 기대효과

제 2 절 과학기술적 파급효과

제 3 절 사회경제적 파급효과

제 4 절 경제성 분석

제7장 기술개발로 인한 파급효과 분석

제1절 기대효과

□ 온실가스 배출 규제 및 원유자원의 고갈에 따른 국가적 교통 대응 능력 확보

○ 고유가 및 저탄소 교통 체계 전환 대비 교통 체계의 적응력 강화

○ 차세대 친환경 에너지를 이용한 저비용 고효율의 초고속 교통 체계 구축

□ 동북아 일일 생활권 형성 및 물동 및 인구 이동량 증가 대응

○ 초고속 교통망에 의한 물동 및 인구이동이 더욱 가속화 시키고 동북아 지역의 경제 중심권을 형성함

<표 7-1-1> 동북아 국가간 초고속 열차시스템 이용수요 전망

(단위 : 인/년)

구 분		중국	일본
2020년	항공수요 30% 전이	4,749,012	6,893,124
	항공수요 50% 전이	7,915,020	11,488,540
	항공수요 70% 전이	11,081,028	16,083,956
2036년	항공수요 30% 전이	6,868,222	11,687,623
	항공수요 50% 전이	11,447,036	19,479,372
	항공수요 70% 전이	16,025,850	27,271,121

* 튜브 트레인 속도 : 700km/h 적용

* 국가간 항공수요의 30~70%정도 분담을 가정

□ 미래 철도 원천 기술로서 국가 신 성장 동력 확보

○ 초고속 튜브 트레인 시스템을 미래 신성장 사업으로 육성함

○ 한일 및 한중 해저 터널의 건설 대비한 표준 및 기술 주도권을 확보함(해저 터널의 실현을 위해서는 철도에 의한 초고속 이동이 반드시 요구됨)

- 밀폐된 공간내에서 장시간 자동차에 의한 이동 불가

- 개별 교통 수단에 의한 이동에 따른 터널내 안전성 위협

□ 21C 국가발전 비전의 실현

○ 초고속 이동에 따른 국민의 편익 증진

○ 선진 일류국가로서의 경제적, 기술적 위상에 걸맞는 국가로 도약하기 위한 국토 가치 재창출

○ 일본 및 중국에 대응하여 한반도가 동북아 경제 교역의 중심으로 도약

○ 동북아 경제중심국가로서의 국민적 자긍심 구취

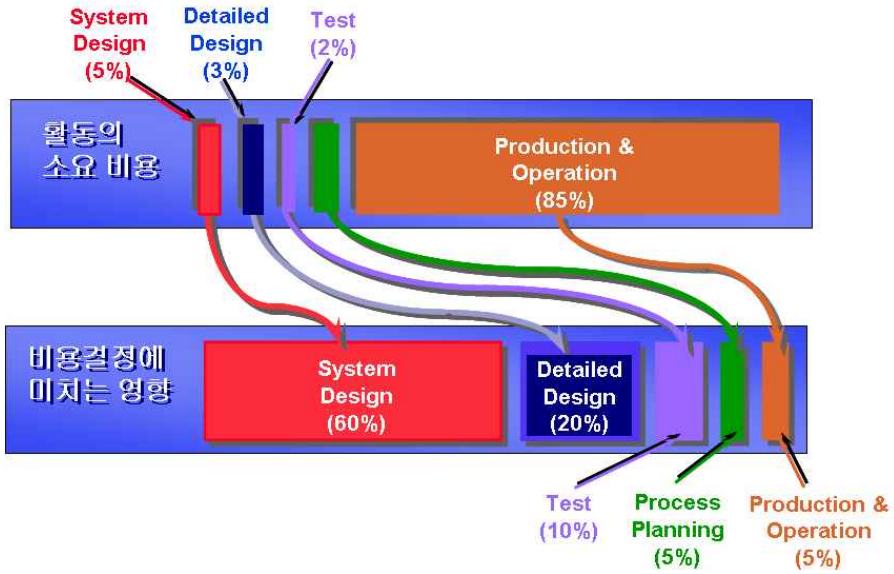
제2절 과학기술적 파급효과

○ 초고속 튜브 트레인 시스템 개발은 첨단 복합 기술의 종합적인 설계 능력과 핵심 부품 생산 기술을 크게 향상시킬 수 있으며, 첨단 건설기술, 해양 플렌트 사업, 군사 및 항공우주분야, 그리고 자동차 및 첨단 부품 사업 등 국내 관련 산업계의 기술 발전에 크게 기여할 것으로 전망됨

1. 시스템 엔지니어링 분야

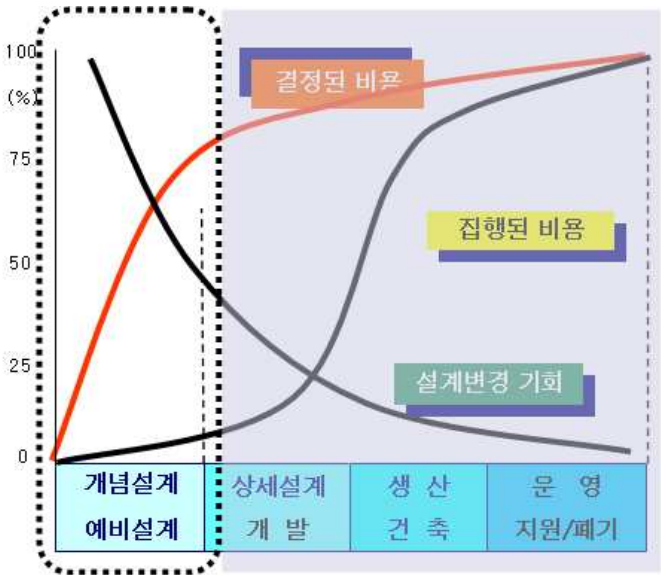
○ 튜브 트레인 시스템 기술개발을 통하여 시스템 개념 도출부터 기본 기술의 개발 등 기술개발 초기 단계의 시스템 엔지니어링 적용 경험을 통하여 보다 새로운 시스템 개발을 위한 자신감 및 기반을 확보함으로써 타 분야의 기술 개발 적용에 크게 기여할 것으로 전망됨

○ 통상 시스템 개발에 소요되는 비용의 약 8%에 해당하는 활동이 전체 개발 비용의 약 80%를 결정하므로, 시스템 엔지니어링을 통하여 시스템 개발 초기에 모든 문제를 정의하고 시스템 수명주기를 통한 모든 데이터의 추적관리가 가능하도록 하므로 성공적인 프로젝트를 수행함



자료 : Andersen Consulting in Aviation Week & Space Technology; January 4, 1993

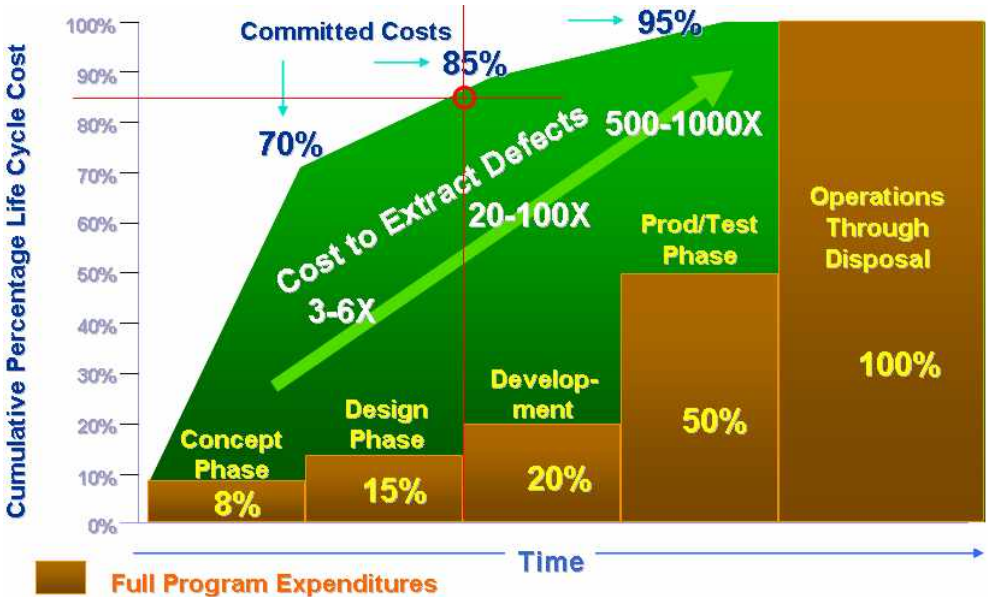
[그림 7-2-1] 시스템 개발활동의 단계별 영향



[그림 7-2-2] 시스템 엔지니어링의 역할

○ 이와 같이 시스템엔지니어링의 목적은 고객·사용자의 운용 요구들을 시스템 요구사항으로 변환하고, 비용, 일정, 성능 목표를 충족시키기 위해 모든 기술적 학문분야를 조율·적용하는 것임

○ 이에 따라 시스템 요소간 인터페이스 호환성 확보, 분석·시험을 통한 위험의 식별 및 감소 등을 통하여 모든 체계의 요구사항은 고객·사용자의 원천적인 운용 요구에 순응토록 도출하고, 총 수명주기 비용 감소 및 시스템 개발의 성공확률을 극대화시키기 위함



자료 : Defense Systems Management College - 9/1993

[그림 7-2-3] 프로젝트 수행 비용에 있어서 시스템 엔지니어링의 영향

○ 시스템이란 설정된 요구사항을 충족시키기 위하여 공통적인 목적아래 함께 작동하는 상호 연관된 요소들의 집합을 의미하는 것으로, 정의된 목적을 달성하기 위해 함께 작용하는 요소들의 결합체로서, 여기에는 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어, 인원, 정보, 기술, 설비, 용역 및 기타 자원요소들이 포함됨

○ 시스템엔지니어링은 일반 전문공학과는 달리, 최초 필요성이 도출된 시기로부터 생산과정을 거쳐 이를 고객이 사용하도록 할 때까지 시스템을 형성하는 전반적인 설계 및 개발 프로세스에 포함된 노력 일체를 말함

○ 시스템엔지니어링기술은 궁극적으로 보다 체계적이고 효율적인 시스템의 획득을 목적으로, 기술적 인터페이스 구축이 요구되며, 이미 개발된 각종 해석도구를 통하여 개발할 차량과 시설물(전차선, 선로 등)에 대한 적합성을 검토하는 기술로 주행 안전성, 열차 성능 평가 검증을 위해 위험요소 관리기법

체계 개발과 병행하여 연구됨

○ 현대에 직면하고 있는 시스템 개발환경은 일반적으로 시스템의 기능 및 성능에 대한 복잡도가 증가하면서 대부분의 시스템은 성능, 효과 및 수명주기 비용 측면에서 고객의 요구를 충족시키지 못하고 있는 것이 현실임

○ 시스템의 수명주기를 연장시키기 위해 끊임없는 신기술이 요구되고 있고, 이를 위한 개발기간은 점차 증가하고 있고, 가용자원의 부족현상도 점점 더 심각해지고 있으며, 국가 상호간의 국제협력이 급격히 증대됨에 따라 날이 갈수록 국제경쟁 또한 더욱 더 심화되어 가고 있음

○ 미국 등 선진국에선 이미 오래전부터 시스템엔지니어링을 표준과 필수사항으로 선언하여 산업전반을 이끌어 가고 있으나, 현재 국내 국방분야에서 국방 시스템 연구개발 및 해외구매사업 등에 대한 시스템엔지니어링 적용지침을 마련(방위사업청 훈령)하고 업계 등의 관심과 투자를 유도하고 있는 현실임

○ 따라서 종래와는 다른 시각에서 '시스템' 고찰의 필요성이 대두되고 있으며, 과거 대부분의 시스템 개발실패 사례를 통하여 요구사항을 충족시키기 위하여 잘 숙련된 시스템 접근방법의 미확보에서 비롯되고 있다고 분석되며, 이는 대상시스템의 요구사항이 사전에 적절하게 제기되지 않는다는 것과, 필요성을 충족시켜야 한다는 목표 제시에 감응하지 않는다는 것, 또한 대부분의 시스템 개발의 경우에 '먼저 만들고 나중에 고친다'는 개념이 팽배해 있다는 것임

○ 전통적으로 엔지니어들은 요구사항을 식별하는 시점에 설계연관사항을 충분히 고려하지 못해 막바지에 수많은 설계변경을 초래해 왔으며, 이러한 설계변경은 품질면에서 매우 위험할 뿐만 아니라 비용면에서도 큰 손실을 초래함

○ 이를 방지하기 위해서는 시스템 개발 초기단계부터 시스템 개념의 형성과 함께, 이해관계자의 요구사항이 시스템 요구사항으로 잘 정의되고 이를 검증하고 시험하는 제반 규격이 개념형성 초기에 명확히 정의되어야 함

○ 이는 전통적으로 수행해 오던 시스템정의가 제대로 되지 않은 상태에서 설계를 바로 착수하던 방식을 시스템개발 초기에 시스템 정의 비용을 투자하여 개념형성을 반듯하게 한 다음 설계단계를 진행하는 방식으로 변화시켜,

종래 방식보다 결과적으로 더 많은 비용을 절감하고 개발기간도 단축할 수 있음

○ 엔지니어링이란 자연계에서의 힘의 원천을 일류를 위하여 혹은 인류의 편익을 목적으로 이용하기 위한 기술활동 개념으로, 국내 엔지니어링 기술 진흥에서는 법과학기술의 지식을 응용하여 사업 및 시설물에 관한 기획, 타당성 조사, 설계, 분석, 구매, 조달, 시험, 감리, 시운전, 평가, 자문 기타 활동과 그 활동에 대한 사업관리로 정의됨

○ 미국의 경우 엔지니어링이란 소기의 기능, 조업의 경제성, 생명이나 재산의 안전성을 염두에 두면서 과학적 원리를 창조적으로 적용하여 구조물, 기계장치, 생산 공학, 그리고 이들을 단독으로 혹은 복합화 하여 만드는 공장 등을 설계 또는 개발하는 것, 그리고 설계에 기초하여 그것들을 건설하고 조업하는 것이고 특정한 조업조건하에서의 상황을 예측하는 것으로 정의함

○ 일본 엔지니어링 진흥협회에서는 엔지니어링이란 생산설비나 사회시설의 프로젝트를 하나의 시스템으로 다루어, 형상이 있는 것으로서 완성시키기 위하여 필요한 기술개발, 사전컨설팅으로부터 견적, 계약, 기본설계, 조달, 검사, 수송, 시운전, 조업보전에 이르는 일련의 업무의 전부 또는 일부를 제고하는 것으로 정의함

○ 엔지니어링 산업이 제품 및 시스템의 설계·개발·운영을 목표로 이미 개발되고 검증된 개별 요소기술들을 실용화하는 복합 시스템 기술 산업임을 고려할 때 엔지니어링 활동 그 자체는 제조활동이라기 보다는 고부가가치의 두뇌집약적인 서비스 활동의 성격을 가지고 있음

○ 따라서 엔지니어링의 업무범위는 사업의 타당성검토와 기본계획에서부터 시운전, 유지보수까지 사업 수행의 전 범위와 관련됨

- 타당성검토 : 프로젝트에 대한 사전검사 및 조사로 엔지니어링 업무의 가장 기본이자 시발점이 되어 이를 통하여 프로젝트의 개요를 확정지으며, 각종 기술적, 경제적, 사회적 분야의 다양하고 폭넓은 정보수집 및 관리능력의 구비가 선결요건으로 이들 자료의 분석을 통한 기술적 타당성을 검토하고 투자와 수익을 예측함으로써 합리적인 투자 및 사업추진계획의 밑바탕을 이룸

- 기본계획 : 발주자와의 수주계약에서 오고 간 조건들과 수주 후 엔지니어

링기업으로서의 기본방침 등을 조화시키기 위해 프로젝트 수지계획의 작성과 실행계획표 및 인원 물자, 자금, 기술 등의 자원투입계획을 작성함

- 기본설계 : 통일된 하나의 목표를 향한 시스템 구축을 위하여 질서정연하게 실행되도록 하기 위한 청사진으로 전체적인 프로젝트의 방향을 결정짓는 중요한 단계임

- 구매조달 : 사업수행에 필요한 기기, 자재 등의 구매계획과 견적을 통한 발주 및 입찰의 과정이 포함됨

- 감리 : 시공계획 및 공정표, 시공도면, 품질 및 규격관리, 시험성과, 구조적 안전성, 설계도면의 변경 등의 업무를 말함

- 유지보수 및 이전 : 예상부품의 공급, 배치, 공정의 개선, 나아가 현지 운전원의 훈련 및 기술 노하우의 이전 등을 담당하는 단계임

- 사업관리 : 프로젝트의 시작에서 끝까지 다수의 조직 활동을 합리적으로 계획, 지휘, 통괄하는 기능 및 활동을 말함

○ 엔지니어링 산업은 고부가가치 지식산업으로, 전문기술과 노하우가 중시되는 기술집약적이고 두뇌집약적인 산업으로 사회간접자본 및 산업설비 등의 건설과정 중에서 제작과 시공 설치만을 제외한 모든 영역(타당성조사, 설계, 분석, 조달, 감리, 사후관리 등)을 포괄하고 있음

○ 특히, 최근 세계적으로 정보통신 환경 에너지 등의 고부가가치 분야에서 첨단기술이 접목된 엔지니어링 산업의 시장이 확대되고 프로젝트도 대형화 되어가고 있는 추세임

○ 엔지니어링산업은 국가경제에 미치는 영향이 지대하며, 산업설비 및 사회간접자본시설, 지역 및 도시개발 등 광범위한 분야에 걸쳐 있어 국가경제에 미치는 영향이 매우 큰 광역형 산업으로 특히, 건설 석유화학 전력 등에 대한 파급효과가 큰 전략산업임

○ 엔지니어링산업은 설비 시설의 안전을 좌우하는 핵심요소인 만큼 엔지니어링산업의 최종 성과물인 산업설비와 사회간접자본시설의 품질과 성능은 국민의 생명과 직결된 중요한 사항임

○ 따라서 엔지니어링산업은 학계에서 연구개발된 결과를 산업계에 응용, 활용시 종합적인 설계기술과 핵심부품 생산 및 시험·평가기술을 향상시켜 자동

차 및 항공산업, 컴퓨터 및 통신산업, 조선산업과 국방산업 분야의 설계기술 발전에도 파급효과가 예상됨

○ 시스템 엔지니어링 기술은 철도차량의 설계 및 제작기술 외에도 기계, 전기·전자, 신호, 통신, 제어, 토목기술 분야의 체계적인 정립을 통해 획기적인 기술 파급효과가 있을 것으로 기대되며, 지상구조물 기술은 건축, 방음·방진설비, 철강 및 콘크리트, 궤도부품, 토목시공, 건축설계, 건축재료, 전력기기, 전기소재부품, 전력공급계통, 금속소재, 전력설비 등 구조기술 분야에, 열차자동제어 및 통신기술은 전자, 정보·통신기기, 통신 서비스, 교통신호, 교환기, 전자부품, 자동제어, 음향기기, 컴퓨터 및 관련 소프트웨어, 열차통신기기, 안전감시 및 모니터링 설비, 계측기 등 첨단산업기술 분야에 파급효과가 매우 클 것으로 전망됨

○ 튜브 트레인 시스템은 전반적 시스템구성에 대한 기술적 연계성을 고려해야 하므로 한층 더 업그레이드 된 시스템 엔지니어링 및 설계기술의 확보를 가능하게 할 것이며, 또한 구조물과 추진시스템 간의 인터페이스 기술은 첨단 교통 시스템의 개발에 필수적인 기술로서 관련 산업기술 향상에 크게 기여할 것으로 전망됨

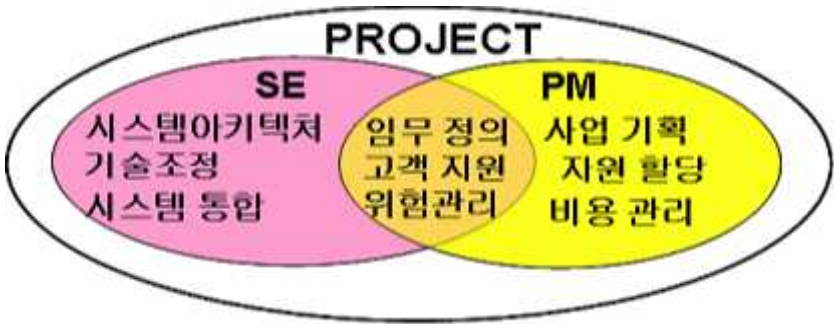
○ 또한 시스템 요구사항 및 시스템 사양 개발, 시스템 분석, 검증, 시험평가, 인증, 위험관리, 품질관리, 형상관리, 기술관리 등 시스템 개발 전 수명주기에 걸친 시스템 엔지니어링 관련 데이터, 수행 경험 및 역량 확충이 가능하여 유사 시스템 개발 및 대형 복합 시스템 개발에 대한 효과성·효율성의 극대화가 가능함

○ 시스템 설계 및 분석 확보와 함께 체계적 기술개발 환경 구축, 시스템 엔지니어링 인력 양성, 시스템적 사고 확산 등으로 기술개발 및 시스템 개발 관련 산업의 기술 혁신에 크게 기여할 것으로 전망됨

○ 사업관리란 목표를 달성하기 위하여 필요한 자원(재료, 사람, 기계, 방법 등)을 조화롭게 할당하고 운영하는 모든 노력을 말하며, 자원을 활용하여 사업을 달성하는데 중점을 두는 반면, 시스템 엔지니어링 기술은 품질(성능, 기능)을 확보하는 기술적인 성과를 성취하는데 중점을 두고 있음

○ 시스템 엔지니어링 기술은 사업관리 기법과 상호 보완적 협력으로 더욱 큰 시너지 효과를 거양할 수 있으며, 튜브 트레인 기술개발을 통하여 확보되는

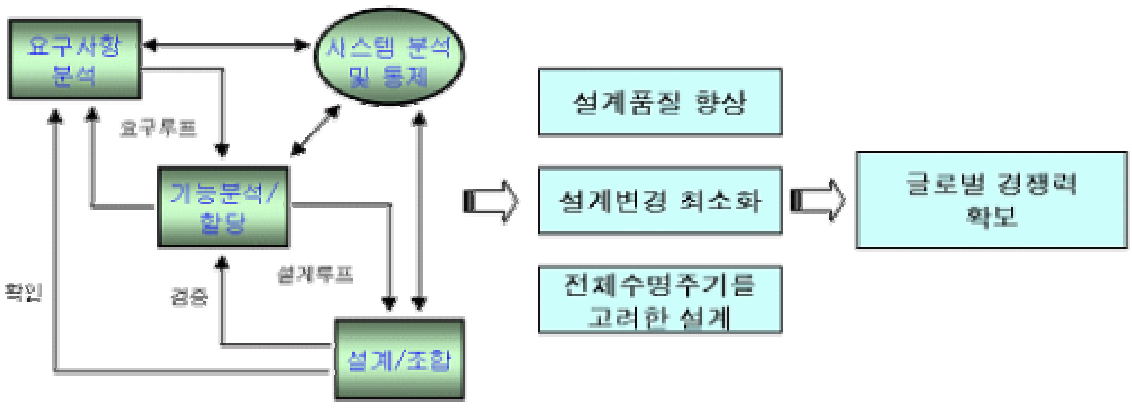
시스템 엔지니어링 기술을 바탕으로 글로벌 경쟁력을 갖춘 전문기업으로의 도약을 위한 사업 기반이 될 것으로 전망됨



[그림 7-2-4] 사업관리와 시스템 엔지니어링 관계

○ 따라서 시스템 엔지니어링 기술을 통하여 관계 법령등과 전문 기술사항, 이해관계자들의 요구사항을 빠짐없이 도출하고 각각의 최적 대안을 선정, 설계에 반영함으로써 설계품질을 높일 수 있으며, 설계변경 또한 최소화할 수 있어 설계변경으로 인한 추가 소요비용을 대폭 감소시킬 수 있음

○ 아울러 시스템의 전체수명주기를 고려한 설계를 통하여 향후 운영·유지관리에 소요되는 시간과 비용 등 자원투입이 최소화되고 효율적이고 경제적인 서비스 제공이 가능해 짐



[그림 7-2-5] 시스템 엔지니어링의 효과

○ 따라서 그동안 상당부분 부족한 시스템 엔지니어링 기술의 대폭적인 향상으로 가치공학, 설계검토, 인터페이스 관리, RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 등 고도의 특수엔지니어링 분야, 전체수명주기 관점에서의 총체적 설계, 통합, 요구사항 수집·분석 및 정립 등을 통하여 종합적이고 체계적인 시스템 엔지니어링 환경에서 공사별·사업단계별·분야별 향후 신규 프로젝트에 조정적용이 가능함

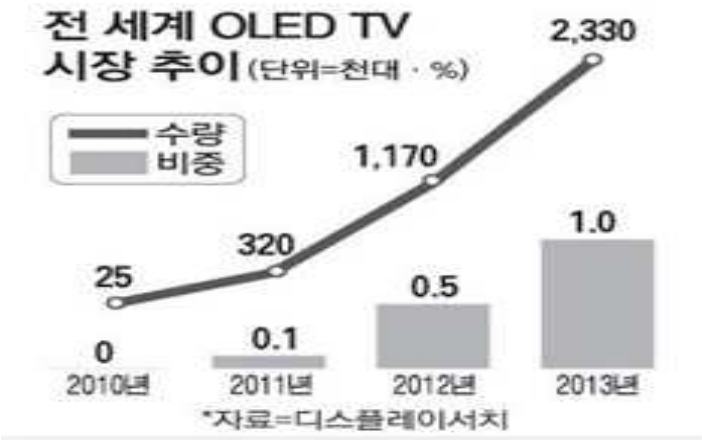
○ 또한 관련 기술 수준의 향상, 인력 양성, 투명성·효율성·전문성 및 국제 경쟁력 강화 등을 위한 시스템엔지니어링 프로세스 확보를 통하여 '더 좋은(Better) 제품을 더 빨리(Shorter), 더 싸게(Cheaper)'라는 적용효과를 기대할 수 있으며, 보다 비용 효과적이고 효율적인 시스템 개발이 이루어질 뿐만 아니라 모든 프로세스가 선진국과 같이 관련 산업에 파급되어 국제경쟁력을 지속적으로 향상시키게 될 것이며, 이는 다시 우리나라 산업재도약의 원동력이 될 것임

2. 자기부상을 이용한 청정 물류 이송시스템 분야

가. 클린 무빙시스템(수평이송용)

○ 반도체 및 LCD 생산라인에서 요구하는 물류시스템의 조건 중의 하나는 분진(particle)이 발생하지 않는 클린 물류시스템으로 자기부상식 반송장치가 연구가 국내외적으로 연구 중이며 국내에서는 2011년 실용화를 목표로 하고 있음

○ 반도체 장비에 대한 2008년 8월 세계시장 현황을 살펴보면 100억 달러이며, 한국이 차지하는 비중은 20억 달러이다. 이 중에서 물류이송시스템이 차지하는 비율을 1퍼센트로 적용하더라도 2,000만 달러의 창출효과가 있음



[그림 7-2-6] 전세계 OLED TV시장의 확대(2013년 700조원대)

나. 자기부상식 클린 리프트(수직이송용)

○ 자기부상식 클린 리프트는 LCD 글래스 등을 수직으로 이송하거나 자기부상식 초고속 엘리베이터에 필요한 기술로써 현재 국내에서도 상업 모델에 대한 연구 중임

○ 2008년 크린 리프트 관련 기술의 세계시장현황은 2000억원 규모이고 한국시장은 400억원 규모이며, OLED와 같은 고청정을 요구하는 클린룸에 적용한다면 50억원 내외의 수익창출효과가 예상됨

3. 항공우주산업 분야

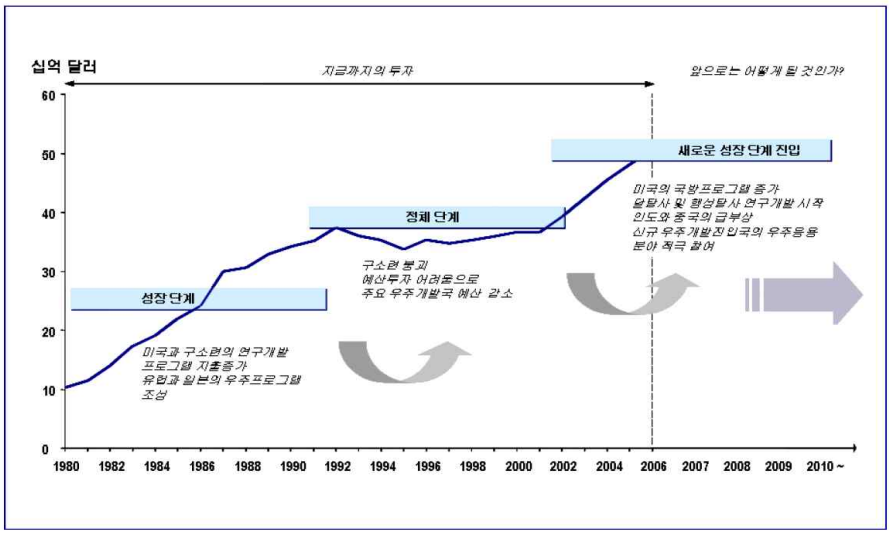
가. 항공우주산업의 동향

○ 항공우주산업은 광범위한 기술력을 고도의 높은 수준에 이르지 않고서는 성립할 수 없는 산업이며, 타 산업의 기술 수준을 끌어 올릴 수 있는 기술파급효과가 가장 큰 첨단 기술 산업임

○ 또한 항공우주산업의 발달은 전적으로 군사적 이용이 선도적 역할을 해왔으며 따라서 매출액 전체에서 군수가 차지하는 비중이 높아, 민간수요가 왕성한 미국에서조차도 약 30% 이상을 차지하고 있음

○ 항공우주 산업의 매출액에 있어서는 미국이 압도적인 시장점유를 나타내, 세

계 주요 6개국(미국, 영국, 프랑스, 독일, 캐나다. 일본)의 약 60%를 차지하고 있음



자료 : Euroconsult. 2006

[그림 7-2-7] 세계 우주개발의 정부투자 추이 : 1980~2006

○ 전 세계 우주프로그램의 정부투자도 2006년 총 50.36십억 달러로 역사상 최고점을 기록하고 있으며, 지난 5년간 우주분야 정부 지출의 증가는 특히 미국의 군수분야 지출의 증가와 러시아의 투자확대에 기인한 것으로, 러시아의 정부투자는 지난 5년간 평균 20%씩 증가함

○ 1990년대 초부터 2000년대 중반까지 구소련의 붕괴와 예산 투자의 저조로 정체기에 접어들었던 우주개발은 최근 달 및 행성탐사와 같은 새로운 연구개발 움직임과 중국, 인도 등 새로운 우주 강자의 부상으로 현재 신성장기를 맞이하고 있으며 미국의 우주탐사 계획에 버금가는 탐사 계획들을 잇따라 발표하였음

<표 7-2-1> 주요국의 달 및 행성탐사 계획

국가명	주요 내용
미 국	▪ 오리온 유인탐사선(CEV) 개발 완료(2012) ▪ 로봇을 이용한 달탐사(2014) ▪ 달 유인탐사, 화성 무인탐사(2018) ▪ 행성탐사(2020)
유 럽	▪ Aurora 프로그램(2001～2030) - ExoMars, NEXT, MSR 프로젝트
일 본	▪ 달탐사 기술개발 및 실증(2015) ▪ 무인 달탐사(2016) ▪ 유인달기지 건설(2025～2030)
러시아	▪ 달 및 행성탐사 진행(2010～2016) - Fobos-Grund 프로그램, Lunar-Globe, Venera-D - Coronas-Foton, Reconance and Intergelic-Zond
중 국	▪ 달탐사 프로젝트 '창어'작수(2003) ▪ 달착륙선 발사(2017)
인 도	▪ 무인 달 탐사선 개발(2007) ▪ 무인우주선 화성탐사(2012) ▪ 유인우주선 발사(2014)

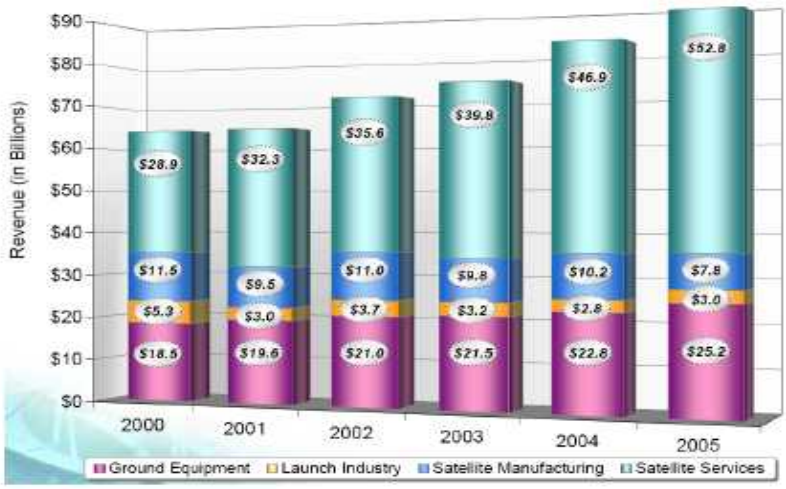
자료 : 한국항공우주연구원 정책개발팀. 2007

나. 항공우주산업의 핵심 기술 분야

○ 전 세계 우주개발연구개발 분야를 보면, 위성체 개발, 우주과학 및 탐사 기술개발, 그리고 우주 발사체 개발로 구분되며 연구개발 투자 비중은 (미국의 예산을 제외한 경우), 지구관측, 통신, 항법용도의 위성체 개발이 48%로 가장 비중이 높음

○ 2005년 우주산업 매출은 총 88.8십억 달러로 위성서비스 분야의 증가에 따라 지속적으로 성장하고 있으며, 이중 위성체와 발사체, 그리고 발사서비스의 매출 비중은 전체의 약 40%를 차지하고 있음

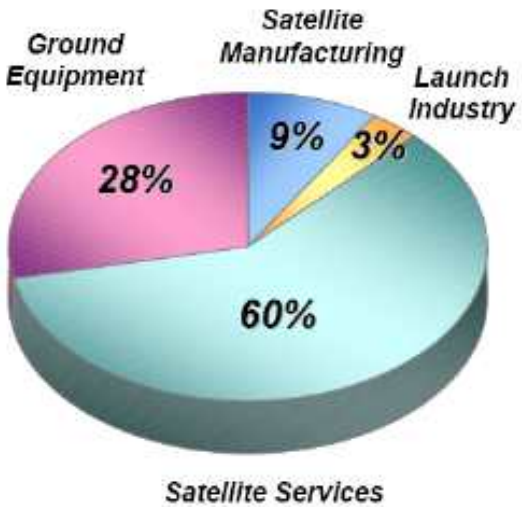
(단위: 십억 달러)



연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005
매출액	64.2	64.4	71.3	74.3	82.7	88.8

자료 : Futron Corp.. 2006

[그림 7-2-8] 세계 우주산업의 분야별 매출



자료 : Futron Corp.. 2006

[그림 7-2-9] 분야별 2005년 매출 비중

○ 위성체와 발사체 시장에 대한 전망을 살펴보면, 지난 10여년 동안 평균 47기의 위성이 발사되던 추세를 조금 상회하여, 평균 62기의 정부 수요가 발생할 것으로 예상되며, 2007년 ~2016년 동안에는 상업용 위성 616기, 군용 위성이 221기 발사될 것으로 예상됨

○ 따라서 위성체 및 발사체 산업은 향후 항공우주산업의 핵심 산업으로 자리할 것임

<표 7-2-2> 세계 위성체 제작과 발사서비스

구 분	1997~2006 (발사 완료)	2007~2016 (전망)	성장률(%)
위성체	900기	960기	6.7
위성체 시장	800억 달러	1,045억 달러	31
발사서비스 시장	360억 달러	405 달러	12

자료 : Euroconsult, 2007

다. 위성 발사체 기술 개발 현황

○ 발사체 분야는 2차 대전 이후 달탐험, 통신위성이나 기상위성 등 고도 35,800km의 지구 정지궤도 위성, 대형 저궤도 위성 등의 수요의 증가로 추력이 강한 위성이 요구됨에 따라 계속 발전하고 있음

○ 스페이스 셔틀이 개발되기 이전의 우주로켓은 발사 후 재사용이 불가능한 소모성 로켓(ELV:Expendable Lanch Vehicle)인 반면, 현재는 대형화물의 운송 및 기존 소모성 로켓의 발사비용 절감을 위하여 재사용 가능한 발사체(RLV:Reusable Lanch Vehicle)의 개발이 추진되고 있음

○ 이러한 예로, 일본의 HOPE, 미국의 X-33, X34 계획 등을 들 수 있으며, 저궤도 이동통신 사업을 위한 저,중궤도 위성용 소모성 발사체 개발도 병행 추진되고 있음

라. 국내의 위성 발사체 기술 개발 현황

○ 국내의 항공우주산업은 아직 기반 구축 초기 단계로서 2006년 생산 실적도 전년보다 감소하고 있는 추세이며 국가 연구개발 예산에서 차지하는 비중도 저조함

<표 7-2-3> 국내 우주개발 R&D 예산

연도별	정부R&D예산(A)	우주개발R&D예산(B)	B/A(%)
2003	65,154	1,353	2.0
2004	70,827	1,710	2.4
2005	77,996	1,893	2.4
2006	89,096	3,125	3.5
2007	97629	2,934	3.0

자료 : 과학기술부, 2007

○ 1990년대 말에 100% 국산 기술로 국내 최초의 액체 로켓(KSR-III)을 개발하였으나 우리의 기술 수준은 우주발사체 시스템 분야에서 이미 1970년대 초반에 인공위성을 발사한 일본이나 중국에 비해 30년 이상 뒤떨어진 상태임

○ 따라서 항공우주분야의 획기적인 기술 개발이 없이는 미래 시장 성장 잠재력이 큰 항공우주산업에 뛰어들기가 불가능한 실정임

마. 튜브 트레인 시스템 기술의 항공우주산업으로의 파급 분야

○ 튜브 트레인 시스템의 초고속 자기부상 추진 기술은 항공우주 산업에 있어서 현재의 화학연료를 이용한 발사체 추진을 대체하여 위성체를 궤도로 보내기 위한 비용을 획기적으로 저감시킬 수 있는 기술임

○ 현재 미국 NASA를 중심으로 초전도 자기부상 추진 시스템을 이용하여 발사체 개발 프로젝트(StarTram)가 검토되고 있음

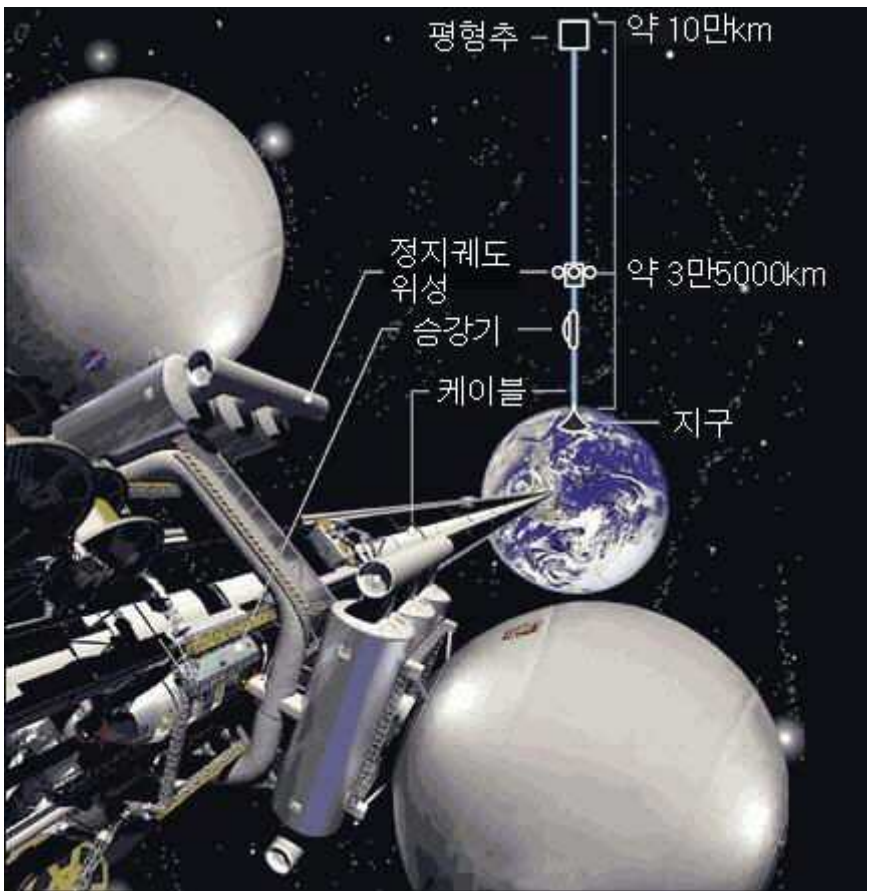
○ 튜브 트레인 시스템의 공력 저감 기술 및 관련 진공제어 기술은 위성체 및 발사체의 형상 개발 및 대기권 밖에서의 제어 기술과 접목시킬 수 있는 첨

단 기술임

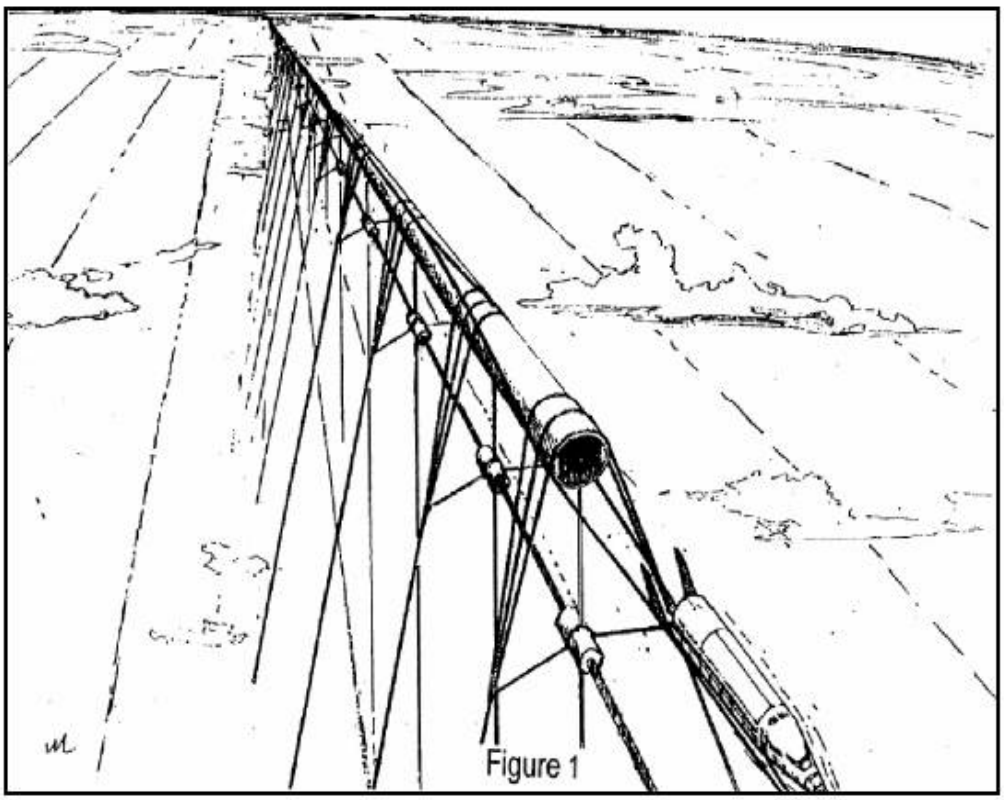
○ 또한 탄소 나노튜브를 이용한 우주 엘리베이터에 관한 연구와 관련해서도 튜브 트레인 시스템 기술과의 융합이 가능함

○ 튜브 트레인 시스템 기술로서 확보할 수 있는 시험 평가 기술은 항공우주기술개발의 특징인 지상과 다른 특수한 사용 환경조건(무중력, 고진공, 고강도 방사선, 높은 온도차 경량화, 전력제한, 고신뢰성)에서의 비행체를 실증시험 평가에도 활용이 가능함

○ 유럽, 미국, 일본 등 선진 국가들을 주축으로 추진 중인 국제우주정거장 건설에 참여할 수 있는 핵심 기술을 보유함으로서 국가 신성장 동력으로 국내 항공우주산업이 도약할 수 있는 발판을 마련함



[그림 7-2-10] 초고속 자기부상 우주 엘리베이터 구상도



Gen-1 System

- Cargo only, non reusable vehicle
- High acceleration (30 G)
- Short acceleration tunnel (~100 km @ 8 km/sec)
- Launch from surface into atmosphere @ high elevation (≥ 4000 meters)
- Coast upwards thru atmosphere to orbit
- Substantial aerodynamic deceleration (~10 G) and heating rates (~25 KW/cm² at Stagnation Point)
- Near term (next 10 to 20 years)

Gen-2 System

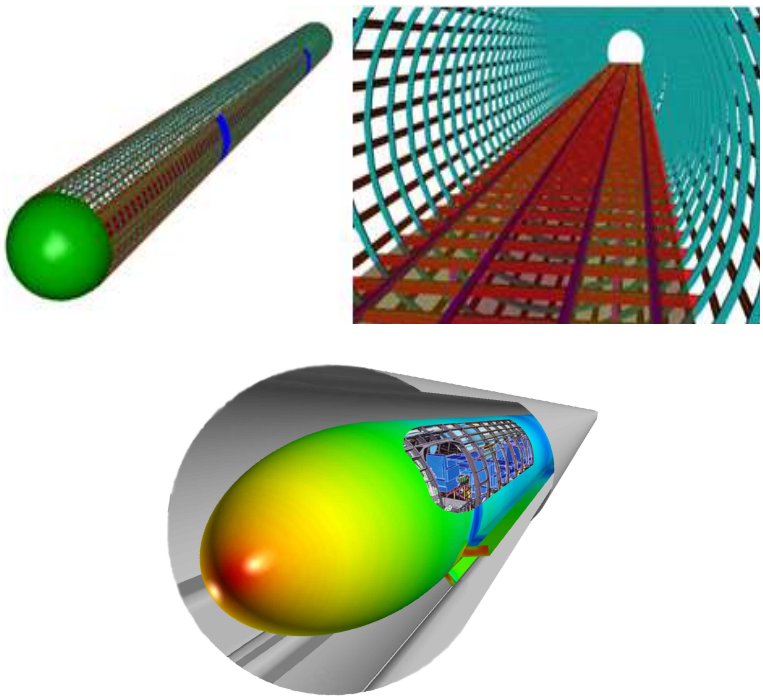
- Passenger & cargo reusable spacecraft
- Low acceleration (~2 to 3 g)
- Long acceleration tunnel (~1000 km @ 8 km/sec)
- Launch into atmosphere @ ≥ 20 km altitude
- Coast upwards thru magnetically levitated, evacuated launch tube to ≥20 Atm before entering atmosphere
- Modest aerodynamic deceleration (~1G) and heating rates (~3 KW/cm² at Stagnation Point)
- Longer term (20 to 30 years)

[그림 7-2-11] 미국 NASA의 StarTram PJT

4. 자동차 및 관련 산업 분야

가. 추진 기술로부터의 파급

○ 설계 기술 : 최신의 공기 역학적 구조설계 기법은 철도차량, 자동차 및 항공 산업에 파급효과



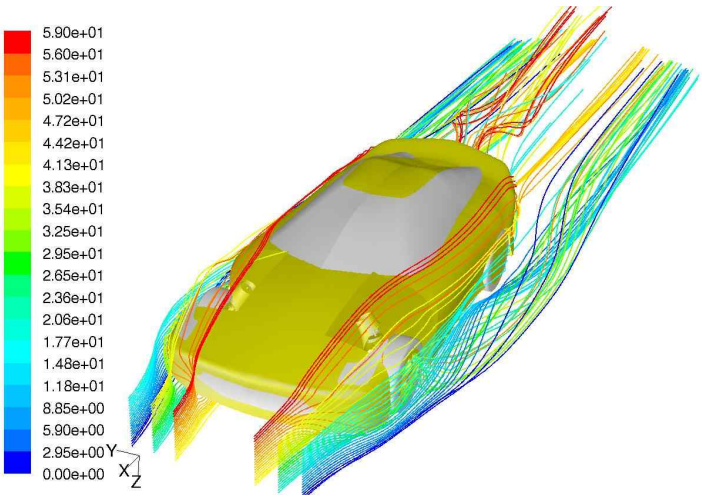
[그림 7-2-12] 차량 구조물 설계

○ 경량화 기술 : 알루미늄, 복합재료 등 비철금속 소재산업 및 신소재 개발 및 경량화를 위한 신 제조공법 개발

※ 서시프레임 구조도 및 하이드로포밍 적용부위



[그림 7-2-13] 자동차 구조물 경량화 설계 및 경량구조 제작 기술



[그림 7-2-14] 자동차의 공기역학 해석 결과

○ 공기역학 설계 기술: 공기역학 설계기술이 적용되는 자동차, 항공, 조선 분야 등에 기술 파급

○ 용접, 접합기술 : 철도차량, 항공, 고층용 엘리베이터 산업 등 용접구조물 및 복잡한 구조물 적용 분야에 기술파급 기대

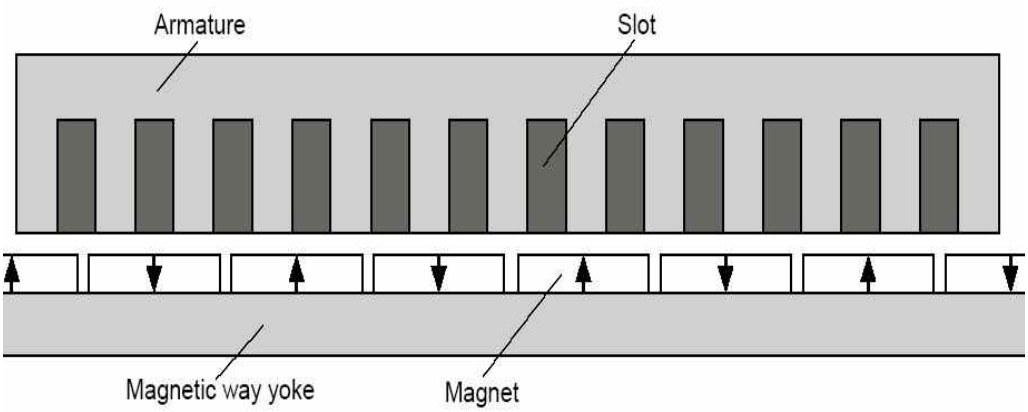
○ 주행 장치 기술 : 국내외 철도차량 및 각종 차량의 주행 장치의 독자설계 및 제작으로 차량 제작업계의 국제 경쟁력 확보가능



[그림 7-2-15] 전기 추진장치를 장착한 각종 특수차량 제작 설계

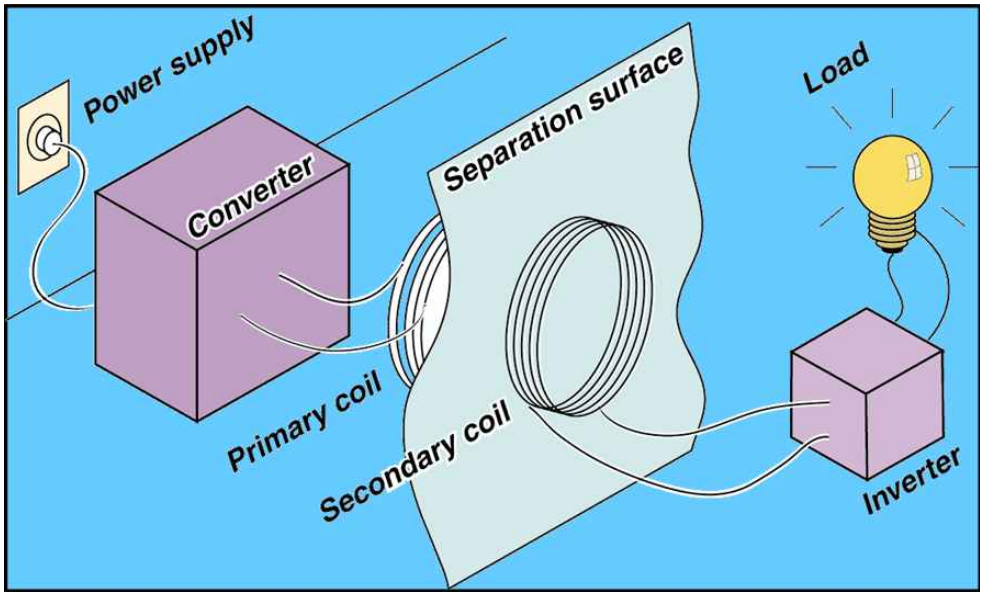
○ 소재 및 부품 설계 기술 : 진공 기밀용 특수 소재 및 정밀제어기계의 기술향상 기여

○ 선형 전동기 기술 : 초고속 대용량 선형 전동기 설계 및 제어기술의 개발로 각종 산업용 전동기 등의 제어기술 향상과 전자제어산업의 파급효과기대

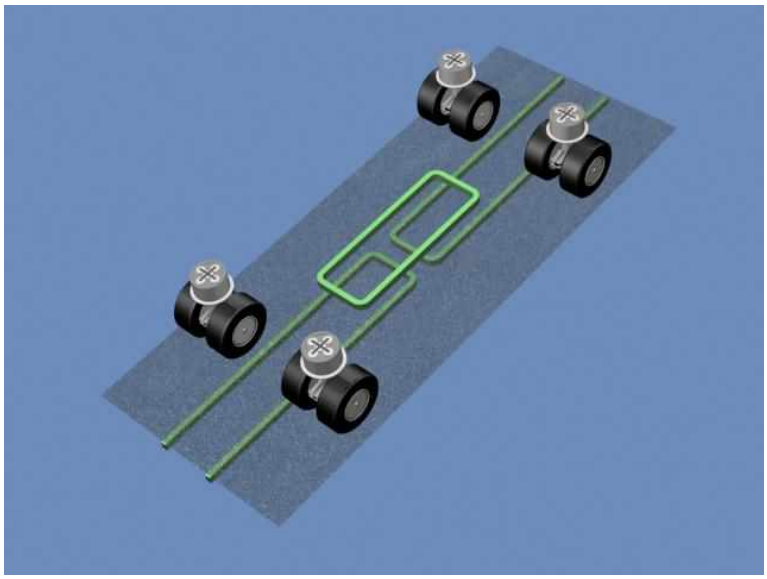


[그림 7-2-16] 선형 전동기

○ 무접촉 에너지 전달 장치는 배터리 없이 작동하는 자동 전기차량을 포함한 다양한 분야에 적용 가능함



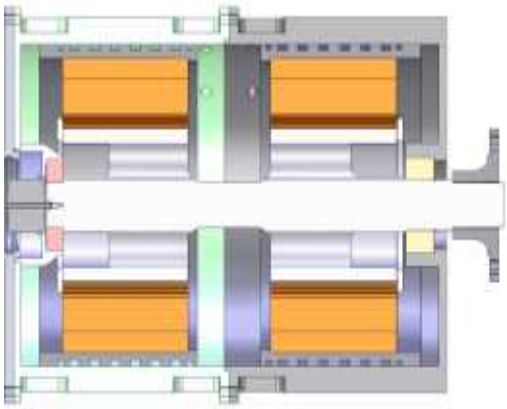
[그림 7-2-17] 무접촉 에너지 전달방식



[그림 7-2-18] 무접촉 지상급전 전기차량

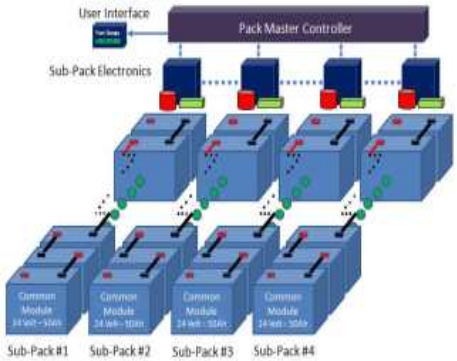
○ 자기부상열차 시스템에 들어가는 각종 전력전자 부품과 관련한 기술은 산업 분야에 파급되어 사용가능하며 특히 전기자동차, 하이브리드 자동차, 전기버스 등 전기에너지를 기반으로하는 각종 교통시스템에 적용 가능함



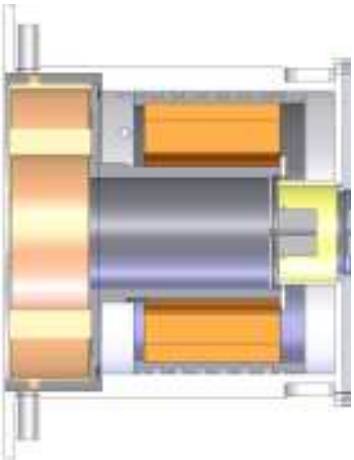


[그림 7-2-19] 각종 전동기 설계

○ 자동차등에 사용되는 각종 첨단 전장품의 설계 및 생산 기술을 확보 할 수 있음

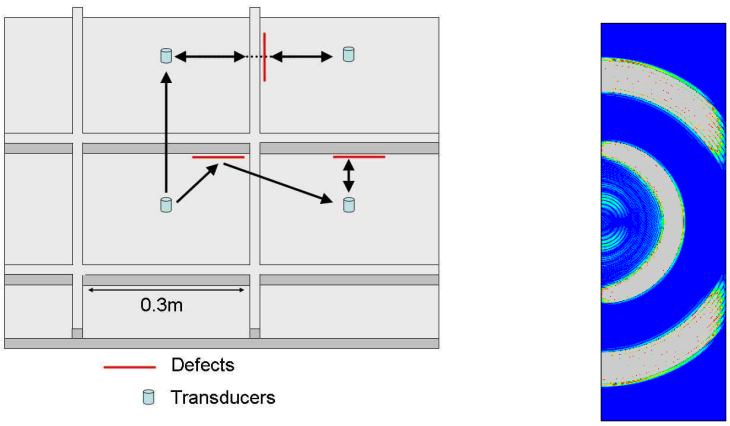


[그림 7-2-20] 축전지



[그림 7-2-21] 발전기

○ 구조물 진단 및 유지보수 기술: 다른 교통시스템 및 구조물 안전 진단 및 유지보수에 사용될 수 있음



[그림 7-2-22] 복잡한 구조물의 이상 진단기술

○ 정밀 측정 및 제어 기술: 자동차산업 분야를 포함한 전 산업분야에 기술적 파급효과가 큼

5. 전력 기술 분야

○ 대규모 용량의 급전 시스템 설계 기술의 독자적 시스템 개발 및 기술 확립은 전력 산업계의 기술적 발전에 미치는 공헌도가 클 것으로 예상됨

○ 급전시스템의 신뢰성 요구에 부응하기 위해 급전시스템의 설계에서부터 정확한 예측 계산 기술의 확립 및 산업계로의 파급이 예상됨

○ 유도급전시스템의 경우, 산업계와 한국전기연구원이 공동으로 연구 개발하여 중저속용으로서 공작기기에 적용된 바가 있으나, 철도차량과 같은 고속 대용량에 관하여 연구된 바가 없음

○ 따라서 초고속 튜브 트레인 유도급전 기술의 경우는 배터리 재충전 등을 위해 요구되어지는 무접촉 유도급전 발전시스템을 사용함으로, 소형궤도 열차의 저속 소용량 유도급전 시스템에 용응 및 산업계 파급 효과가 클 것으로 예상됨

○ 현재 건설교통 국가 R&D의 후보 과제인 PRT(소형궤도열차)의 경우 전원공급을 유도급전 방식으로 실시함으로 이 분야에는 바로 적용 될 수 있음

○ 초고속철도 전철시스템의 경우 대규모, 대용량 장거리 급전 방식이고, 3상 급전 방식이므로 전력 산업계에 대하여 케이블, 전선, 변전소 기기 등의 산

업 분야 발전에 미치는 영향이 지대할 것으로 예상됨

<표 7-2-4> 분야별 파급효과

세부 분야	기술 파급 기대
시스템 엔지니어링	- 시스템 엔지니어링 기술의 습득 - 공정 및 사업비 관리 등 사업관리 기법의 습득 - 사업관리의 전산화
설계기술	- 차체구조기술의 습득 - 주행, 제동 및 추진동력기술의 습득 - 시스템 종합 설계기술의 습득 - 시스템 구성기술의 습득
전기기기 기술	- 차량전기 기기의 국산화 - 추진제어시스템 설계 및 제작기술의 습득 및 파급 - 전기 기기의 첨단 소재, 복합 소재 적용 기술의 습득 및 파급
전기설비 시공기술	- 신공법 적용 및 관리의 체계화 - 국내 경험축적이 없는 첨단공법의 습득 - 시공의 기계화, 자동화 기술의 습득 - 공사관리 기술의 습득
전력설비 기술	- 전력설비 요소기기의 국산화 - 전력계통의 해석 및 설계기술 습득 - 최적시스템 구성기술의 습득 - 송전손실의 최소화 및 변전효율 향상 기술의 습득 - 전력설비의 자동화 기술향상 및 표준화 확보 - 원격.감시 제어기술의 향상
감시 및 진단기술	- 자동진단 및 모니터링 설비기술의 습득

○ 상세 기술별 파급효과는 다음과 같음

가. 전력변환 및 제어기술

○ 고전압 대용량의 효율적인 스위칭 소자의 개발로 반도체 업계의 파급효과

○ 전력집전기술의 향상으로 인한 산업전반에 걸친 전력계통의 효율화에 따른 전기 및 전자부품업계에 파급영향

○ 원격감시 제어기술의 향상으로 인한 통신설비업계 및 자동화 업계의 기술향상 기대

○ 고부가가치의 중전기 개발 기술습득으로 인한 중전기 업계의 기술수준 제고

○ 전력변환 장치 등의 냉각 기술개발로 냉장고, 에어컨 등 가전업계에 파급효과 기대

○ 각종 조명기기 등의 고효율화 등에 따른 조명기기 업계의 기술수준 향상기대

○ 크기, 중량, 내구성 및 내진성을 고려한 급전 기기의 설계기법의 향상으로 인한 전기산업계와 중전기업계로의 파급효과 기대

○ 각종 산업용 전력변환, 전력 공급 및 중전기 기기 등의 제어기술 향상으로 인한 전자 및 자동제어 산업에 파급효과 기대

나. 급전 계통 및 전력 설비 기술

○ 송변전기기, 변압기, 차단기 등 요소기기들의 기술발전 동기 부여를 통한 전기 및 전력기기 산업에 기여

○ 각종 애자 및 완철, 송전선 등의 효율적인 설계 및 생산으로 인한 전기기기 부품 및 소재산업의 파급효과

○ 전력계통의 해석기술 및 최적투자 설계기술 등 기반기술의 습득으로 인한 전력공급 계통 산업계의 효율화 및 최적화에 기여

○ 변전기기 자동화 및 표준화를 통해 전력기기업계의 기술수준 향상에 기여

○ 초고속 철도 전기 계통의 시공기술은 고도의 정밀도가 요구되므로 선진기술의 습득을 통한 기술수준의 향상을 기대할 수 있으며, 노반, 터널 및 교량 시공에 대한 새로운 공법의 적용과 해석기술의 습득효과를 기대가 가능함

○ 건설기술의 고급화, 다양화, 자동화 등에 대한 기술, 연구개발을 통해 관련 기술의 습득을 기대할 수 있음

○ 전력 설비 분야에서도 요소기기(변압기, 송변전기기, 차단기 등)의 기술향상이 가능하며 전력계통의 해석기술 및 최적투자 설계기술 등 국산화 기반기술의 습득이 예상되고, 첨단기술 분야인 자동화 원격제어기술 등 전력설비 관련기술 발전의 파급효과가 전망됨

다. 설비 및 장치의 모니터링 기술

○ 정보의 수집 및 분석기능들에 대한 기술향상으로 감시기술의 파급효과 기대

○ 각종 표시기기 및 기록기기 등의 개발로 인한 부품산업 등 정보기기업계의 파급효과 기대

○ 열악한 환경속에서의 고속 및 신뢰도 높은 통신기술 습득으로 인한 공장 자동화용 제어기기 업계의 파급효과 기대

○ 정보수집 및 분석기법에 의한 미래 도로교통 자동화 기술향상

라. 중앙 감시 제어기술

○ 컴퓨터화된 집중제어 장치 등의 기술습득으로 인한 각종 산업설비의 자동화 및 빌딩자동화 등에 대한 컴퓨터, 전자산업 및 자동 제어업계에 파급효과 기대

마. 고장 자기진단 기술

○ 각종 진단 장치와 관련된 산업용시스템의 설계 및 제작에 대한 전자, S/W, 자동제어 및 모니터링 설비업계의 기술수준 향상 기대

○ 고장 진단 장치에 의한 사전예방 기술 습득으로 인해 철도차량, 자동차, 항공업계와 정비 분야에 파급 효과

○ 각종 진단기법들에 대한 신기술 습득으로 의료기기 생산업계 및 계측기 생산업계 등의 분야에 파급효과 기대

○ 최근 전기 사용이 모든 산업 및 기술 분야에서 빠르게 확대되고 있어, 최근 빈번하게 발생하는 단락 사고 등의 전기적 사고에 신속히 대처하는 기술의 확보 및 사전 예방 방법의 확립 및 산업계로 파급이 기대됨

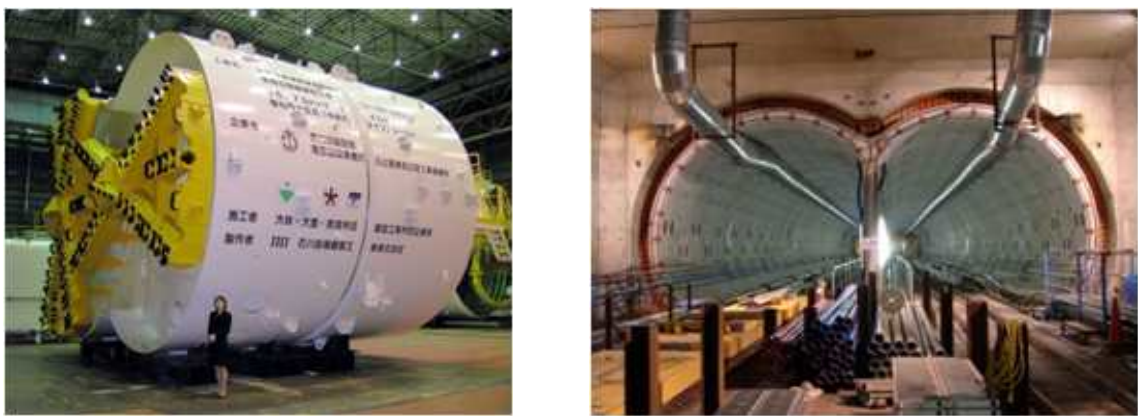
<표 7-2-5> 기술 개발시 예상되는 국내 산업계 기술파급 효과

분야	파급산업(관련기술)
유도 발전 시스템	- 각종 이동체 기기에 전력을 공급하는 산업 - 신재생에너지 활용 산업 - 배터리 충전 기기 분야
전장부품	- 산업용 대용량 드라이브 장치 설계 기술(시스템 설계) - 내진동 설계기술(정량 설계)
전력 기기/중전기	- 전력 중전기 산업 - 대용량 전력 공급 기기 산업 - 차량용 중전기 산업
급전 제어 및 전력 품질 관리 기술	- 지하철, 항공기, 발전설비, 기존철도 (주전산기, 입출력 관련 장치, 역설비, 궤도변 설비, 소프트웨어)

6. 첨단 건설 기술 분야

○ 튜브 공법은 해저터널 구축의 기반 기술이며 해양에서의 고도의 정밀 시공이 요구되는 해양 플랜트 사업을 위한 기반기술로 파급됨

○ 튜브 시스템의 대용량 진공 제어 기술은 해저 침매 공법 기술의 확보 가 가능한 기반 기술임



[그림 7-2-23] 지하터널 굴착 설비

○ 대공간 터널 제작 공법은 대형 굴착장비 개발과 연계되어야 하므로 지금까지 주로 해외에서 도입하던 건설장비의 국산화를 가속할 것이고 궁극적으로 산업장비 분야의 기술개발로 파급될 것임.

○ 대공간 터널은 지하공간 활용을 촉진하여 사람들이 주로 생활하는 지상공간의 여유 있는 공간 확보로 대도시지역에 자연녹지를 조성할 수 있게 되어 자연친화적인 생활이 가능하도록 할 거임.

○ 기존의 터널보다 수십 수백배가 되어야 하는 장거리 터널 굴착기술은 무인 정밀시공이 되어야 할 것이고 따라서 타 분야 대형 구조물 건설 기술의 진일보에 기여할 것임.

○ 진공 유지 및 제어 기술을 동반한 하저, 해저 터널기술은 침매터널 시공기술, 부유식 터널 시공기술의 개발을 촉진할 것이고 미래 해양자원 탐사와 확보를 위한 기반 기술임

7. 기 타

○ 전량 수입에 의존하고 있는 선박, 잠수함, 탱크 등 특수 공간의 공기질 조절 장치 개발로 수입대체 효과가 클 것으로 기대됨

- CBR(Chemical, Biological, Radioactive) 필터의 대당 가격 1,500만원, '10년 현대로템 탱크용 CBR 필터 예상 도입물량 1,000대를 고려한 경우 150억원으로 수입대체효과가 있음

○ 저진공 상태에서의 소화시스템은 신개념의 소화시스템으로, 원자력 및 우주정거장 등 응용분야로 파급효과가 있을 것으로 예상됨

- 원자력발전소 건설에서 부수적으로 따르는 폐기물 저장소의 질소투입 소화시스템으로 직접 적용 가능

- 세계원자력협회에 따르면 '30년까지 세계적으로 원전 430기가 건설되고, 시장 규모도 1,200조원에 달할 것으로 예상되므로 시장의 0.1%만 차지하더라도 최소 1.2조원 시장 확보 가능

○ 생존지원시스템 및 유해가스 제거장치는 해저터널 및 지하구조물에 적용이 가능함

○ 방재시스템 관련 기반 기술로 인하여 승객의 피난동선 단축 및 정거장내의 연기침입 방지가 가능함

○ 저진공 상태에서의 승객안전 압력보상기술은 쓰레기반송시스템 및 물류이송 시스템 등에 직접 적용이 가능함

제3절 사회경제적 파급효과

1. 분석의 개요

○ 튜브 트레인 기초기술 및 모형개발을 위한 사전기획연구로서 튜브 트레인 차량투자에 따른 경제적 파급효과를 분석함

○ 경제적 파급효과는 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과로 구분하여 분석함

- 생산유발효과: 튜브 트레인 차량투자가 증가함에 따라 각 산업부문에서 직접·간접적으로 생산되는 산출액

- 부가가치유발효과: 튜브 트레인 차량투자가 증가함에 따라 국내에 미치는 부가가치 유발의 정도

- 고용유발효과: 튜브 트레인 차량투자가 증가함에 따라 산업생산을 유발하고 그 생산이 다시 노동수요를 유발하는 노동의 파급효과

○ 2007년 산업연관표(한국은행, 2009년 발행)를 이용하여 튜브 트레인 차량투자에 따른 경제적 파급효과를 분석함

○ 튜브 트레인 차량은 산업분류표 168부문 중 철도차량 부문에 속하는 것으로 간주함

- 철도차량 투자액 1,115억원을 기준으로 함

<표 7-3-1> 한국은행의 산업분류

통합대분류(28부문)	통합중분류(77부문)	통합소분류(168부문)
15 수송장비	48 자동차 및 부분품	109 자동차
		110 자동차엔진 및 부분품
		111 트레일러 및 콘테이너
	49 선박	112 선박
	50 기타 수송장비	**113 철도차량**
		114 항공기
		115 기타 수송장비

주: 철도차량 부문은 기관차, 객차, 화차 등 각종 철도차량 및 그 부분품과 수리활동을 포괄

2. 분석과정

가. 분석방법

○ 산업연관분석을 사용하였는데 산업연관분석은 소득이 발생하는 배후의 생산과정에 주목하여 산업부문 간의 기술적 상호의존관계를 각 산업단계별로 포착하면서 국민경제에 미치는 여러 가지 파급효과를 분석하는 방법

○ 산업연관표란 일정기간(보통 1년)동안 국민경제 내에서 발생하는 재화 및 서비스의 모든 거래내역을 기록한 통계표로써, 세로(열) 방향은 원재료, 노동, 자본 등 생산요소의 투입을 나타내는 투입구조를, 가로(행) 방향은 생산된 생산물이 중간재나 최종재로 판매된 내역을 나타내는 배분구조를 의미

○ 산업연관분석을 이용하면 최종수요에 의한 생산, 고용, 소득 등 각종의 파급효과를 산업부문별로 나누어 분석할 수 있어서 구조적 측면에서 산업간 연관관계를 파악할 수 있는 장점이 있음

나. 투입계수 및 생산유발계수

○ 투입계수는 각 부문 생산물 1단위 생산에 필요한 각종 중간재 및 부가가치의 단위로 각 산업부문의 생산기술구조, 즉 투입과 산출의 생산함수를 의미함

○ 한국은행 발행 산업연관표에는 소분류(168부문), 중분류(77부문), 대분류(28부문) 별로 투입계수표(국산 투입계수표, 수입 투입계수표)가 이미 계산, 작성되어 있음

○ 생산유발계수표는 투입계수를 이용하여 무한히 계속되는 생산파급효과를 역행렬이라는 수학적 방법을 사용하여 도출

○ 생산유발계수표는 수입의 취급방법에 따라서 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 (I-A)-1형류와 국산과 수입을 구분하는 비경쟁수입형 (I-Ad)-1형으로 구분

○ 순수한 국내 생산유발효과와 수입으로 인해 해외로 유출되는 부분을 구분하기 위하여 (I-Ad)-1형 생산유발계수표를 사용함

다. 생산유발효과

○ 튜브 트레인 차량투자가 증가함에 따라 각 산업부문에서 직접·간접적으로 생산되는 산출액으로 생산유발계수에 최종수요 증가량을 곱하여 생산유발효과를 구함

○ 생산유발계수는 최종수요가 1단위 증가하였을 때 이를 충족하기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 산출단위로, 1단위의 최종수요가 주어지는 경우에 각 산업의 생산에 미치는 직·간접의 파급효과를 나타내는 누적승수의 의미를 가짐

라. 부가가치유발효과

○ 튜브 트레인 차량투자가 증가함에 따라 국내에 미치는 부가가치 유발의 정도를 나타내는 것으로 최종수요의 증가량에 부가가치유발계수를 곱하여 부가가치유발효과를 구함

○ 최종수요의 발생이 국내생산을 유발하고 생산활동에 의해서 부가가치를 창출하기 때문에 결과적으로 최종수요의 발생이 부가가치 창출의 원천

○ 부가가치유발계수는 최종수요가 한 단위 증가할 때, 국내에 가져오는 부가가치 유발의 정도를 나타냄. 따라서 부가가치계수 행렬에 생산유발계수 행렬을 곱하여 부가가치유발계수 행렬을 구함으로써 부가가치유발효과를 추정

마. 고용유발효과

○ 튜브 트레인 차량투자가 증가함에 따라 산업생산을 유발하고 그 생산이 다시 노동수요를 유발하는 노동의 파급효과를 나타내는 것으로, 최종수요의 증가량에 취업유발계수를 곱하여 노동유발효과를 구함

○ 노동량은 취업자(피용자, 자영업주 및 무급가족종사자 포함)와 피용자의 두 가지로 나누어 파악하며, 최종수요가 주어졌을 때 이를 충족하기 위해 필요한 노동량을 구함

○ 고용유발계수를 산출하기 위해서는 생산활동에 투입된 산업별 노동량을 산업별 총산출액으로 나눈 취업계수를 계산하고, 이 취업계수와 생산유발계수를 기초로 취업유발계수를 구함

3. 분석결과

가. 생산유발효과

○ 철도차량의 전국 생산유발계수에 철도차량 투자액을 곱하여 산출

○ 철도차량의 전국 생산유발계수는 1.929991로 나타나며, 각 산업부문별로 철도차량의 생산유발계수는 표와 같음

<표 7-3-2> 2007년 철도차량의 산업부문별 생산유발계수

구분	산업부문	철도차량 생산유발계수
1	농림수산품	0.003764
2	광산품	0.001133
3	음식료품	0.006457
4	섬유 및 가죽제품	0.024994
5	목재 및 종이제품	0.015037
6	인쇄 및 복제	0.003011
7	석유 및 석탄제품	0.029714
8	화학제품	0.081436
9	비금속광물제품	0.008600
10	제1차 금속제품	0.174983
11	금속제품	0.064975
12	일반기계	0.048101
13	전기 및 전자기기	0.072056
14	정밀기기	0.011529
15	수송장비	1.087542
16	기타제조업제품	0.006084
17	전력,가스 및 수도	0.024752
18	건설	0.001807
19	도소매	0.066623
20	음식점 및 숙박	0.012805
21	운수 및 보관	0.028992
22	통신 및 방송	0.015082
23	금융 및 보험	0.026409
24	부동산 및 사업서비스	0.071965
25	공공행정 및 국방	0.000476
26	교육 및 보건	0.007321
27	사회 및 기타서비스	0.008598
28	기타	0.025744
계	철도차량의 산업부문 생산유발계수	1.929991

자료: 한국은행, 2007년 산업연관표에서 계산

○ 철도차량이 우리나라 전체 산업에 미치는 생산유발효과는 철도차량투자비에 전국 산업부문별 생산유발계수를 곱한하여 약 2,152억원으로 나타남

○ 각 산업별로 미치는 생산유발효과는 각 산업의 생산유발계수를 곱하여 구하며, 수송장비 부문 약 1,210억원, 제1차 금속부문 약 200억 등으로 산업부문별 생산유발효과는 다음 표와 같음

<표 7-3-3> 산업부문별 생산유발효과

구분	산업부문	산업부문별 생산유발효과 (억원)
1	농림수산품	4.2
2	광산품	1.3
3	음식료품	7.2
4	섬유 및 가죽제품	27.9
5	목재 및 종이제품	16.8
6	인쇄 및 복제	3.4
7	석유 및 석탄제품	33.1
8	화확제품	90.8
9	비금속광물제품	9.6
10	제1차 금속제품	195.1
11	금속제품	72.4
12	일반기계	53.6
13	전기 및 전자기기	80.3
14	정밀기기	12.9
15	수송장비	1212.6
16	기타제조업제품	6.8
17	전력,가스 및 수도	27.6
18	건설	2.0
19	도소매	74.3
20	음식점 및 숙박	14.3
21	운수 및 보관	32.3
22	통신 및 방송	16.8
23	금융 및 보험	29.4
24	부동산 및 사업서비스	80.2
25	공공행정 및 국방	0.5
26	교육 및 보건	8.2
27	사회 및 기타서비스	9.6
28	기타	28.7
계	철도차량 투자에 따른 산업부문별 합계	2151.9

나. 부가가치유발효과

○ 부가가치유발효과는 철도차량의 전국 부가가치유발계수에 철도차량 투자액을 곱하여 산출

○ 철도차량의 전국 부가가치유발계수는 0.554474로 나타나며, 이를 세분하면 피용자보수 0.283, 영업잉여 0.138, 고정자본소모 0.075 등으로 구성됨

<표 7-3-4> 철도차량 부문의 부가가치유발계수

구 분	철도차량 부문 부가가치유발계수
피용자보수	0.283209
영업잉여	0.137952
고정자본소모	0.074634
생산세	0.061112
(공제)보조금	-0.002434
부가가치유발계수	0.554474

자료: 한국은행, 2007년 산업연관표

○ 철도차량이 미치는 부가가치유발효과는 철도차량 투자액 1,115억원에 부가가치유발계수 0.554474를 곱한 개략 618억원으로 분석됨

○ 세부 부가가치 항목별 파급효과는 피용자보수에 약 316억원, 영업잉여부문에 약 154억원, 고정자본소모에 약 83억원 등으로 나타남

<표 7-3-5> 철도차량 투자를 통한 부가가치유발효과

구 분	부가가치유발효과(억원)
피용자보수	315.8
영업잉여	153.8
고정자본소모	83.2
생산세	68.1
(공제)보조금	-2.7
합 계	618.2

다. 고용유발효과

○ 철도차량이 전국에 미치는 고용유발계수에 철도차량 투자액을 곱하여 산출

○ 철도차량의 전체산업 고용유발계수는 10.6404 명/10억원으로 나타나며, 이는

자영업주와 무급가족종사자를 제외한 피용자를 추정한 것임

○ 철도차량 투자로 인한 고용유발효과는 총 1,367 명으로 분석되며, 산업별로 보면 수송장비 부문에 703명(이중 철도차량 499명), 음식점 및 숙박에 192명 등으로 나타남

<표 7-3-6> 철도차량 투자로 인한 고용유발효과

구 분	산업부문	고용유발효과 (인)
1	농림수산품	17
2	광산품	1
3	음식료품	3
4	섬유 및 가죽제품	23
5	목재 및 종이제품	8
6	인쇄 및 복제	4
7	석유 및 석탄제품	1
8	화확제품	20
9	비금속광물제품	14
10	제1차 금속제품	17
11	금속제품	7
12	일반기계	68
13	전기 및 전자기기	42
14	정밀기기	9
15	수송장비 (철도차량)	703 (699)
16	기타제조업제품	3
17	전력,가스 및 수도	5
18	건설	3
19	도소매	0
20	음식점 및 숙박	192
21	운수 및 보관	85
22	통신 및 방송	9
23	금융 및 보험	16
24	부동산 및 사업서비스	93
25	공공행정 및 국방	1
26	교육 및 보건	9
27	사회 및 기타서비스	15
28	기타	0
합 계		1,367

○ 정리해 보면 초고속 튜브 트레인 기초기술 및 모형개발을 위해 1,115억원을 투입시 사회경제적 파급효과는 생산유발효과 2,152억원, 부가가치유발효과 618억원, 고용유발효과 1,367명으로 분석되었음

<표 7-3-7> 경제적 파급효과

구 분	생산유발효과	부가가치유발효과	고용유발효과
파급효과	2,152억원	618억원	1,367명

제4절 경제성 분석

1. 분석의 전제

○ 본 연구인 초고속 튜브 트레인에 관한 기초기술 및 모형개발로 인해 도출되는 최종결과는 상업용으로 실용화가 가능한 초고속 튜브 트레인 시스템이 아니고 실용화 시스템을 만들기 위한 기초기술 확보와 모형개발임

- 차량의 실용화가 아닌 차량, 기반시설(튜브구조) 등을 모두 포함하는 새로운 철도시스템 개발을 위한 원천기술 확보임

○ 경제성 분석 기간은 통상 철도관련 사업이 30년을 가정하는데 반해 본 연구와 같은 철도관련 신기술 개발이란 관점에서 특허기간 등을 고려하여 20년을 보고 있으나 본 연구에서는 보다 보수적인 방법을 적용하여 개발 후 10년 동안만을 고려함

○ 사회적 할인율은 “도로 및 철도 사업 예비타당성조사 지침 5판(KDI, 2008)에 따라 5.5%을 사용함

2. 비용 및 편익의 산출

가. 비 용

○ 기초기술 및 모형개발에 소요되는 비용으로 6.4절에서 제시된 내용과 같음

○ 기초기술 개발에 필요한 비용을 구체적으로 살펴보면 차량개발비용, 기반기술개발비용, 튜브인프라비용, 시험선구축 및 운영비용, system engineering비용, 총괄비용 등으로 구분할 수 있고 앞 절에서 제시한 바와 같이 연차별 2011~2015년까지 5년 동안 투입된다고 가정하였음

<표 7-4-1> 연차별 투입비용

(단위 : 억원)

구분	'11	'12	'13	'14	'15	계
비용	131.1	158.0	278.8	295.8	251.7	1,115.4

나. 편 익

○ 연구개발사업의 편익은 사업의 성격과 내용에 따라 매우 다양하므로 편익항목을 정하는 것도 항상 논란의 대상이 되고 편익항목으로 정하더라도 계량화가 가능해야 경제성분석에 반영할 수 있음

○ 일반적으로 실용화를 목적으로 개발된 철도차량의 편익은 경제적 타당성 분석시 차량의 시장점유를 고려한 매출예상액을 산출하고 이에 따른 순부가가치를 편익으로 간주하여 분석함

○ 그러나, 본 과업은 실용화된 차량개발이 목표가 아니라 새로운 철도시스템의 기초기술 확보가 최종목표가 되므로 매출예상액을 고려하는 것은 적절치 않다고 판단됨

○ 따라서 본 연구에서는 관련기술의 개발로 인한 각 산업적 파급효과를 대상으로 하되 계량화가 가능한 항목을 편익으로 간주하여 분석함

○ 초고속 튜브 트레인 기술은 최첨단의 복합기술로서 산업적 파급효과는 앞 절에서 언급한 바와 같이 종합적인 설계 능력, 물류이송시스템 분야, 첨단건설기술 분야, 군사 및 항공우주분야, 자동차 및 첨단부품분야 등 폭넓은 파급효과가 있을 것으로 보임

- 많은 분야에 파급효과가 있을 것으로 예상되지만 직접적으로 계량화되지 않거나 중복성이 있는 것은 제외하고 반영할 필요가 있음

○ 본 연구에서는 앞 절에서 언급한 바와 같이 개략적으로나마 계량화가 가능한 클린 무빙시스템, 클린 리프트분야, 저진공상태의 소화시스템, 공기질 조절장치 관련 분야 등을 대상으로 편익을 산정함

○ 편익의 계량화는 원천기술의 파급효과가 있을 것으로 예상되는 분야의 시장성을 분석하고 본 연구개발로 인한 시장점유율을 가정하여 도출된 순부가가치를 기준으로 함

- 여기서 논쟁이 되는 것은 기술개발로 인한 시장점유율을 산정하는 것인데 연구개발에 의한 산업파급효과분야와 시장점유율을 구하는 것은 매우 불확실하므로 본 연구에서는 보수적인 수치로 가정하여 산출함

○ 대형국가연구개발 실용화사업의 철도관련 부문에 부가가치비율은 2005년 5월 대형국가연구개발 실용화사업 예비타당성 조사결과 보완회의에서 철도관련 부가가치를 한국과학정책연구원의 제안에 따라 40%로 결정했음을 고려하여 0.4로 적용함

<표 7-4-2> 원천기술 개발로 인한 편익

구분	관련분야 세계시장	국내시장	기술개발로 인한점유율2)	기술개발로 인한 점유	부가가치3)
클린 무빙시스템(수평용)	100억달러	20억달러	1.0%	2천만달러	93억원
클린 리프트(수직용)	2,000억원	400억원	1.0%	4억원	1.6억원
진공상태의 소화시스템 (원자력분야 적용)	1,200조원	1.2조원1)	1.0%	120억원	48억원
공기질 조절장치	-	150억원	-	150억원	60억원

주) 1. 국내시장을 0.1%로 가정

2. 보수적인 수치로 가정

3. 부가가치 비율을 0.4로 적용(대형국가연구개발 실용화사업 예비타당성 조사결과 보완회의(2005.5))

3. 경제성 분석결과

○ 경제성 분석결과, 기술개발로 인한 시장 점유 규모를 1%로만 가정하여도 비용편익비(B/C)는 1.25로 초고속 튜브 트레인 시스템 기초기술 개발로 인한 경제적 타당성은 확보되는 것으로 분석됨

<표 7-4-3> 경제성 분석 결과

구분	B/C	NPV	IRR
시장점유 1%가정시	1.25	21,887백만원	9.03%

제8장 기술개발의 성공 가능성 검토

제 1 절 SWOT 분석

제 2 절 사업추진상의 위험요인 및 대응방안

제 3 절 장래 시장전망 및 경쟁력 분석

제 4 절 기술수준 및 성공가능성

제8장 기술개발의 성공 가능성 검토

제1절 SWOT 분석

1. 분석개요

○ SWOT 분석은 사업의 기획단계에서 가장 많이 사용하는 분석방법으로 사업과 관련된 내·외부적인 환경 등을 분석하여 취약점과 강점을 파악하여 사업의 성공적인 추진을 도모하기 위해 전략을 수립하는데 활용할 수 있는 방법임

○ 초고속 튜브 트레인 개발과 관련된 국내외 환경을 정리해 보면 원유의 생산 정점이 이미 지났거나 조만간 다가올 것이라는 점에서 post oil 시대의 에너지문제에 대처하지 않을 수 없음

○ 연비의 개선과 대중교통수단의 이용 장려는 단기적인 처방이고 계속되어야 하는 처방이나 대체에너지의 개발과 핵에너지 이용이 중장기적인 대안이라는 점에서 전기를 이용하는 문명이 기조를 이룰 것으로 보임

○ 태양열, 풍력, 조력과 같은 재생할 수 있는 에너지들이 전기방식으로 이용된다는 점에서 전기문명이 계속될 것임

○ 또한 지구온난화로 인한 재앙을 막기 위해 환경가스배출 억제라는 과제를 인류가 안고 있고 이를 반드시 달성하지 않으면 안된다는 점이 교통수단의 개발에 중요한 고려요인이 됨

○ 즉 배기가스를 많이 배출하는 연료를 사용하는 교통수단이 주류를 형성하기 어려울 것임

○ 많은 화석 연료를 사용하고 배기가스를 많이 배출하는 항공의 쇠퇴와 재생에너지와 핵연료에 기반한 친환경적인 전기를 이용하는 교통수단의 대중화가 예상되며 이런 점에서 전기에너지를 사용하는 튜브 트레인 시스템이 대안일 것임

○ 항공의 후퇴로 인한 세계화의 후퇴는 지역경제의 활성화라는 대안에 집중하

여야 한다는 것을 시사

○ 환황해권, 환동해권 등으로 대표되는 지역경제의 활성화가 post oil 시대에 인근 국가 국민들의 삶의 질을 유지 발전시킬 수 있는 방안임

○ 튜브 트레인 시스템은 시속 700km가 넘어야 확실히 경쟁우위를 갖는 것으로 이야기 되고 있고 또한 그것은 확실해 보임

○ 그러나 지상 1기압 상태에서 이러한 속도를 달성한다는 것은 거의 불가능에 가까우며, 진공 또는 저진공 상태에서 고속운행이 가능한 튜브 트레인의 개발이 필요함

○ post oil 시대의 항공의 쇠퇴로 인한 국가간 교통의 쇠락은 시속 700km 이상의 고속 튜브 트레인으로 어느 정도 보완될 수 있을 것임

2. 강점 요소

○ KTX 도입 및 한빛350 개발을 통하여 고속열차의 국내 기술자립화를 달성한 경험이 있음

○ 산업체의 적극적인 참여를 유도할 수 있음

○ SE·차량·선로·전기·신호·통신 등 관련 고급 철도 요소기술 및 팩키지 기술을 확보함

○ 국외 기술동향을 주시하였으며, 국내에서 튜브 운송에 대한 기초 연구를 수행 중이므로 전문인력 확보가 가능함

○ 상하이 초고속 철도의 실용화 및 도시형 자기부상열차의 실용화 개발로 인한 초고속 열차에 대한 사회 인지도 향상됨

○ 철도전문 연구기관의 연구개발로 정책적 수요 창출이 가능함

3. 약점 요소

○ 튜브 트레인 및 초고속 자기부상열차 관련하여 국내에서 본격적으로 연구수행 완료한 사례가 없음

○ 안전성을 우선시하는 철도시스템에 있어서 새로운 기술도입시 불안감이 존재함

○ 국내 실용화사례가 전무하므로 신뢰성에 대한 검증결과가 확보되어야 할 필요가 있음

○ 연구개발에 상당한 기간과 재원이 요구됨

○ 300km/h급 고속열차와의 경쟁 관계가 형성될 우려가 있음

4. 기회 요소

○ 현재 실용화 사례가 없기 때문에 개발 성공시 파급효과는 매우 큼

○ 새로운 기술개발 및 도입에 대한 국가적·국민적 지지 및 요구가 증대되고 있음

○ 경제권역 거대화 및 반일생활권 형성 추세로 고속 이동성 요구가 증대되고 있음

○ 지구온난화에 따른 글로벌 환경문제 대두로 친환경성·경제성에 대한 관심이 고조되고 있음

○ 국토 균형개발을 위한 교통시스템 요구가 증대됨

○ 철도산업 수출시 등 국가 신인도 향상에 크게 기여할 수 있음

5. 위기 요소

○ 튜브 트레인 기술개발에 대한 위험부담이 있음

○ 초고속 자기부상철도의 국외 실용화 사례가 없음

○ 국외 선진국의 차세대 기술 선점을 위한 국가의 전폭적 지원 및 개발을 이미 진행 중 임

○ 해외 업체들의 특허 장벽 강화 및 개발기술 이전에 대한 높은 견제가 예상됨

6. 연구개발 전략 분석

○ SWOT 분석을 통해 정리한 초고속 튜브 트레인 연구개발의 강점요소, 기회요소, 약점요소, 위기요소 등을 토대로 성공적인 연구개발을 하기위한 다양하고 합리적인 추진전략을 수립하고자 함

□ SO 전략

○ 강점을 이용하여 기회를 포착하는 방향의 전략임

○ 국토 개발을 위한 노선 선정 검토

○ 산업체의 적극적인 참여 유도

□ ST 전략

○ 강점을 최대한 활용하고 위험요소를 회피하거나 최소화하고자 하는 방향의 전략임

○ 한국형 고속철도 개발 및 시험 전문 연구인력의 적극적인 참여 유도

○ 국내외 초고속 튜브 트레인 전문 연구인력의 적극적인 참여 유도

○ 철도전문 연구기관으로서의 산, 학, 연 협력연구 강화

□ WO 전략 (약점의 보완)

○ 약점을 보완하여 기회를 살리는 방향의 전략임

○ 국외 기술 선진국과의 교류 확대

○ 초고속 튜브 트레인의 적극적 대국민 홍보 및 당위성 강화

○ SE 기반의 체계적 기술개발 및 다양한 시험을 통한 신뢰성 검증

□ WT 전략 (위협의 대처)

○ 약점을 보완하는 동시에 위험요소를 최소화하거나 회피하고자 하는 전략임

○ 지속적인 정부의 관심 및 투자 유도

○ 독창적 아이디어 도출 및 다양한 기술 개발을 통한 국내외 기술 시장 개발

제2절 사업추진상의 위험요인 및 대응방안

가. 대규모 장기적 투자 재원의 조달 문제

○ 초고속 튜브 트레인 연구개발은 실용화까지 개발기간 약 13년, 소요비용 약 9,600억원이 소요될 것으로 예상되는 대규모 사업으로서 개발기간 및 소요비용 측면에서 개발의 위험성이 있는 사업임

○ 앞서 국내외 환경을 분석한 결과, 개발의 필요성은 인정되나 아직까지 국내외 실용화 사례가 없어 이러한 개발사업을 한 번에 기획하여 추진하기에는 개발의 위험성이 가중될 가능성이 큼

○ 따라서 국내외적으로 실용화 사례가 없는 초고속 튜브 트레인은 처음부터 실용화를 목표로 개발하기 보다는 단계적인 추진을 고려하여 위험성을 덜 필요가 있음

- 본 연구에서도 이러한 연구의 위험성을 고려하여 먼저 관련 기초기술 및 모형개발을 약 5년에 걸쳐 1,115억원을 투자하는 사업으로 시작하고 있음

○ 또한 1단계로 추진되는 초고속 튜브 트레인 기초기술 및 모형개발에 소요되는 비용은 정부재원(2/3)을 토대로 하지만 민간투자(약1/3)를 유도하여 대규모 연구개발사업의 정부부담을 완화할 수 있음

나. 바퀴식 고속철도와의 중복성에 대한 국민적 인식

○ 정부에서는 350km/h급 한국형 고속열차 개발을 완료하고 국내 철도를 대상으로 실용화가 계획되어 있으며 지속적으로 차세대 고속열차로 400km/h급 동력분산식, 바퀴식 고속열차를 개발 중에 있음

○ 초고속 튜브 트레인은 목표속도 700km/h를 목적으로 하는 획기적인 차세대 철도기술로 바퀴식에 의존하는 기존 고속철도의 공기저항과 마찰저항의 한계를 튜브, 진공, 자기부상 기술을 이용하여 극복하고자 하는 것임

- 차륜식 고속철도의 경우 2007년 프랑스 SNCF가 최고속도 574.8 km/h, 자기부상의 경우 일본의 RTRI가 581km/h에 도달하였으나 이를 달성하기 위한 국내 기술은 아직 막연한 실정임

○ 따라서 기존 바퀴식의 한계를 획기적으로 극복할 수 있는 튜브 트레인 기술은 미래지향적 철도기술로 기존 철도와 차별화됨

다. 기술의 성숙도 및 안전성에 대한 우려

○ 초고속 튜브 트레인은 진공 또는 저진공 기술을 기반으로 한 튜브기술과 초고속 자기부상기술로 크게 구분할 수 있는데 진공기술을 토대로 하는 튜브는 국내외적으로 실용화된 사례가 없어 현재까지 개발위험 부담은 큰 상태임

○ 우리나라의 철도기술은 2004년 KTX 도입운행 및 독자적인 한국형 고속열차 개발로 한 단계 진보를 거듭하였으며 110km/h급 자기부상열차를 개발하여 실용화단계에 접어들었음

○ 국토해양부에서는 2006년 철도기술에 관한 중장기계획에서 초고속 자기부상철도에 기술로드맵을 수립한 바 있고 교육과학기술부에서는 2008년 원천기술로 튜브운송기술을 연구한 바 있으며 지식경제부에서는 2008년 초고속 자기부상철도의 핵심요소기술을 연구한 바 있음

○ 본 연구는 최종목표인 초고속 튜브 트레인을 개발하기에 앞서 기초기술 및 모형을 개발하기 위한 기획연구로서 이를 통해 현재 실용화 사례가 없는 초고속 튜브 트레인 개발에 대한 기술적 가능성을 검증하여 전체 연구개발에 대한 위험을 줄이고 향후 관련 기술의 실용화에 대비한 기초연구가 될 것임

라. 환경단체 또는 지역이기주의 등에 의한 사업 반발

○ 기존의 철도 및 도로 등의 교통수단은 환경단체나 지역이기주의 등에 의해 사업추진에 많은 애로점을 가지고 있으므로 이를 개선하거나 보완하는 방향의 연구개발은 필수적임

○ 초고속 자기부상 기술과 진공을 활용한 튜브기술은 초고속 튜브 트레인은 국토이용, 에너지활용, 환경오염, 소음, 진동, 안전성측면에서 기존 바퀴식 고속철도 시스템에 비해 친환경적 장점을 많이 보유하고 있으므로 이러한 장점을 최대한 발휘하도록 개발함

마. 유지보수 비용 증가 및 실용화 가능성에 대한 우려

○ 초고속 튜브 트레인은 노반과 궤도를 위주로 하는 기존 철도와 달리 진공튜브를 활용하므로 노선을 따라 튜브시설과 더불어 튜브 내를 진공 또는 저진공 상태를 유지하기 위해 일정간격으로 진공펌프 등과 같은 시설이 필요함

○ 차량은 기본적으로 자기부상기술을 토대로 하기 때문에 궤도와의 물리적인 접촉이 있는 기존 바퀴식 철도에 비해 유지보수 비용이 저렴할 수 있으나 튜브시설과 튜브를 진공 또는 저진공 상태를 유지하기 위한 진공펌프 등에 대한 유지보수 비용의 추가적인 비용이 필요함

○ 따라서 본 연구에서 기획하고 있는 기초기술 및 모형개발을 통해 관련 기술에 대한 집중적인 연구개발 및 검증이 필요함

제3절 장래 시장전망 및 경쟁력 분석

1. 장래시장 규모산정

가. 튜브 트레인 도입 가능성이 높은 교통축

○ 튜브 트레인이 도입될 만한 지역은 대부분 여객수요일 것으로 판단하고 있는 바, 여객교통수요가 충분하면서 항공수요가 주로 담당한 지역이 적합할 것임

○ 예를 들면, 메가시티(Mega-City) 밀접지역으로 중국 동부, 미국 동부, 호주, 유럽, 극동아시아 등이 유력하고 섬나라로서 항공이 발달한 인도네시아, 일본 등이 유력함

○ 특히, 튜브 트레인이 시속 700~800Km의 속도로 튜브 속에서 이동한다는 점에서 상기 지역 중 아래와 같은 교통축이 유력할 것으로 판단함

- 한 국가 내 대도시를 지나는 교통축
- 인접 국가간 교통량이 많은 연결축
- 해안을 맞대고 있는 지역 연결축

나. 한 국가 내 대도시를 지나는 교통축

○ 선진국이면서 대도시가 많은 국가는 대도시를 따라가면서 교통축이 형성되어 있는 바, 이들 대도시를 잇는 교통수단으로 튜브 트레인인 적합할 것임

○ 영토가 넓은 국가나 길쭉한 형태의 국가가 여기에 해당하며 미국, 중국, 브라질, 러시아, 일본, 한국 등이 여기에 속함

(1) 미 국

○ 1998년 미 의회에서는 21세기를 위한 교통법령(Transportation Equity Act for the 21st Century, TEA21)에서 자기부상열차개발 프로그램(Maglev Deployment Program, MDP) 을 계획하고 있음

○ 'Transport Equity Act for the 21st Century'의 주된 내용은 자기부상시스템을 갖춘 교통수단의 타당성(feasibility)과 안전성(safety)을 증명할 수 있는 국가단위의 사업을 재정적으로 지원하는 Magnetic Levitation Transportation Development Program으로 볼 수 있음

○ 이 프로그램에 의해 Transportation Secretary는 하나 또는 두개의 사업을 선택하여 preconstruction planning 활동에 재정적으로 디자인, 엔지니어링, 건설 활동 등을 지원함

○ 미국에서 가장 빠른 자기부상 튜브 트레인의 건설을 지연시키는 장애는 엄청난 기초 건설비용이라고 할 수 있으나, 최근의 급속한 유가 상승과 교통난 그리고 항공기 가격 상승에 따라 자기부상열차가 유력한 대안으로 떠올랐음

○ 이러한 관점에서 미국의 동부지역과 서부지역의 남북축이 대도시가 밀접 되어 있어 튜브 트레인 도입이 적합한 지역임



[그림 8-3-1] 미국에서 튜브 트레인 도입이 가능한 교통축

<표 8-3-1> 미국 내 튜브 트레인 도입이 가능한 4개축

구분	지역/구간	연장
미국 동부지역	① 보스턴-뉴욕-워싱턴-리치먼드-애틀란타 축	1,935Km
	② Tampa-Orlando-Miami 축	624km
미국 서부지역	③ Eugene-Portland-Seattle-Vancouver,B.C. 축	766km
	④ San Diego-Los Angeles-San Francisco Bay Area 축	2,082km

○ 상기의 4개축이 약 5,400Km에 달하며 이외에도 미국 중동부 남북축, 동서축으로 약 10,000Km의 튜브 트레인이 도입될 가능성이 있음

(2) 중 국

○ 중국은 영토가 넓고 인구가 많기 때문에 중장거리 여객운송시장의 잠재력은 거대하며, 경제력은 지속적으로 급속히 발전하고 이에 따른 생활수준도 향상됨에 따라 대량의 고속수송 수단에 대한 요구가 증가되고 있음. 따라서 지속발전이 가능한 육상 고속교통시스템의 요구가 서로 부합되는 상황임

○ 중국은 독일의 초고속 자기부상철도 기술개발의 완성도와 육상교통수단으로서 세계 최고속도라는 관점에서 자국의 육상 고속교통시스템에 대한 정책범위에 포함하고, 공산당 및 국무원 등에서 독일의 기술도입을 결정하였으며 이와 동시에 세계 최초로 상하이에 초고속 자기부상열차 실용화 운행선을 건설하였음

○ 중국은 Shanghai 자체적으로 SMTDC(Shanghai Maglev Transportation Development Co., SMT)라는 기술 공단을 구성하여 독일로부터 기술을 전수받는 것과 동시에 자체적으로 기술 개발을 추진하였음

○ 이에 따라 중국은 Shanghai 프로젝트를 통해 자기부상 선로 기술을 완전 이전 받았고, 22개월에 걸친 극히 단기간에 세계 최초의 초고속 자기부상철도 시스템을 건설하는 기염을 토하여 세계를 놀라게 하였으며, 2002년 12월 31일 단선 시운행을 실시하면서 공식 개통식을 갖음

○ 중국에서 튜브 트레인이 도입될 가능성이 가장 높은 지역은 동부 상하이 삼각주 지역임

○ 상기 지역의 북경~상해간 고속철도 구간은 3개 직할시와 4개성(북경, 천진, 하북, 산동, 안휘, 강소)을 관통하는 주요 교통로이므로 튜브 트레인 도입을 검토할 만한 지역으로 평가됨

○ 상기의 북경~상해 축이 약 1,330km이며 경제상황에 따라 동서, 남북축으로 약 20,000Km의 튜브 트레인이 도입될 가능성이 있음



[그림 8-3-2] 중국의 대륙통과축 및 북경~상해 교통축

(3) 브라질

○ 브라질은 남미의 신흥 부흥국가의 하나로서 튜브 트레인 도입가능성이 보이는 국가임

○ 해안에 위치한 상파울로는 브라질의 제2의 도시로서 교통, 해양, 경제의 중심지이며 내륙에 위치한 브라질리아는 정치, 문화의 중심지로서, 튜브 트레인의 주요 대상축으로 검토할 수 있을 것임

○ 브라질리아~상파울로 축은 약 1,000km 연장을 가짐



[그림 8-3-3] 브라질의 브라질리아~상파울로 교통축

(4) 러시아

○ 러시아는 1990년까지만 하더라도 화물은 미국의 1급 화물 철도회사 16개 회사의 수송량 합계에 2.5배 이상, 여객 수송에서는 프랑스와 독일, 이탈리아, 스위스를 합친 수송량의 약 2배가 넘는 세계 제일의 철도 강국이었음

○ 러시아 연방 이후 철도는 가장 중요한 교통기관으로, 러시아 철도는 파이프라인을 제외한 화물 수송의 4분의 3 이상, 여객 수송의 거의 절반을 차지하고 있음

○ 그러나 구 소련의 붕괴 후 수송 구조의 변화와 함께, 다른 수송기관에 점유율을 빼앗겨 수송량은 큰 폭으로 감소하고 있음

○ 그럼에도 불구하고 러시아 철도의 노선 연장은 미국 다음으로 세계 2위, 전철화 연장은 세계 1위임

○ 러시아는 광대한 국토만큼이나 장거리 노선이 많아, 국내에서 Moskva와 Vladivostok 사이의 9,288km를 묶는 세계 최장의 시베리아 철도는 우등열차 '러시아호'가 매일 1개 노선씩, Moskva와 Vladivostok를 출발해서 약 7박 8일의 시간동안 이동하고 있음

○ 러시아의 발전 잠재력을 감안할 때 장기적으로 페데르부르크~모스크바~블라디보스톡 축 약 10,000km는 튜브 트레인의 도입이 예상되는 교통축임



[그림 8-3-4] 러시아의 페데르부르크~모스크바~블라디보스톡 교통축

(5) 일 본

○ 일본은 2005년에 초전도 마그넷의 비용절감을 목적으로 액체 헬륨 냉각 방식을 적용하지 않는 세라믹계 고온초전도체(BSCCO)를 사용한 마그넷을 개발하여 차량에 탑재, 최고속도 553km/h의 주행시험에 성공한 바 있음

○ '특히 열차가 서로 지나칠 때의 차량운동을 검증할 목적으로 상대속도 1,026km/h의 교차주행을 실시하여 영업선의 500km/h에서의 차량 교차 운행에서도 문제가 없다는 것이 확인됨

○ 이 외, 장대편성의 중간차의 차량운동을 검증하기 위해 5량 편성 주행시험도 실시하여 552km/h를 기록하였고, 영업속도 및 야마나시 실험선의 설계최고속도를 크게 넘는 581km/h를 기록함

○ 따라서 일본은 튜브 트레인 실현 가능성이 높은 국가이며 도입이 예상되는 교통축은 남규슈의 중심도시인 가고시마현에서 홋카이도의 정치·경제·문화 및 교통의 중심지인 삿뽀로까지 일 것으로 예상되고 있음

○ 가고시마~삿포로 축 약 2,000km에 달함



[그림 8-3-5] 일본의 가고시마～삿뽀르 교통축

(6) 한 국

○ 우리나라의 경우 통일이 되면 남북을 보다 신속하게 연결하는 교통수단이 필요함

○ 남북을 연결하는 주요 교통축으로 신의주-서울-부산축과 청진-서울-목포축이 있는데 이들 교통축은 1,000Km을 초과함

○ 이들 교통축에서 부산, 목포는 지리적으로 TCR, TSR의 시종착 지점의 역할을 할 가능성이 높을 것임

○ 청진～목포 축과 신의주～부산 축은 각각 약1,000km에 달하는 노선으로 튜브트레인의 주요 대상축으로 검토할 수 있을 것임



[그림 8-3-6] 한국의 X형태의 교통축

다. 인접 국가간 교통량이 많은 연결축

(1) 유럽내 연결축 (TER)

○ 유럽의 경우 EU출범 후 하나의 국가와 같이 왕래가 많은 지역으로 이들 국가 간에는 튜브 트레인의 도입이 매우 유력함

○ 대표적인 것이 유럽횡단철도(Trans-Europe Railway : TER)인데 유럽 국가들의 철도망 근대화 사업 추진 및 철도시스템의 통일된 기준 마련의 취지로

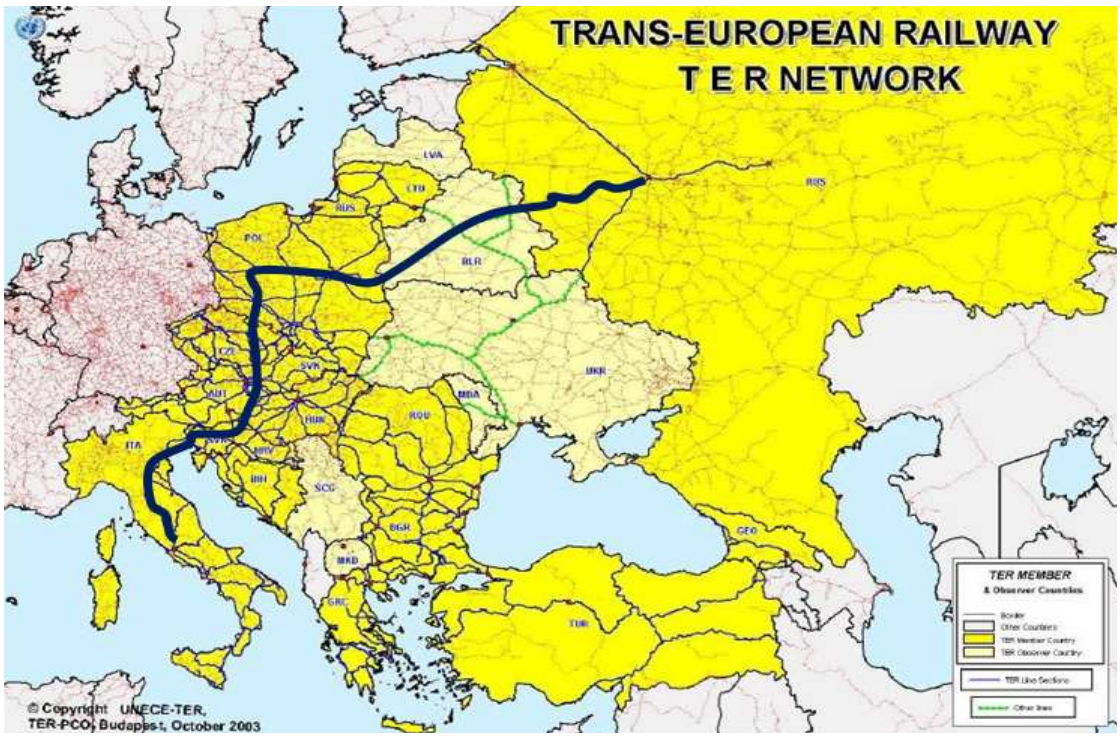
출범한 철도프로젝트임

○ 효율적인 철도시스템과 연계수송망을 구축하고 유럽 수준에 맞는 수송망 건설을 목적으로 시작된 이 사업은 중·동부 유럽에 위치해 있는 대부분의 국가들이 참여하고 있음

○ 각국은 자국에서 사용되고 있는 차량규격의 표준화 작업을 시도하고 있으며, 통일된 기준 제작은 각국 간 철도시스템의 비교 및 성능개선을 가능하게 하였음

○ 이상에서 보는 바와 같이 TER 프로젝트는 유럽을 묶는 중요한 사업으로서 향후 이축을 보다 신속하게 연결할 수 있는 튜브 트레인의 잠재 시장으로 손색이 없다고 할 수 있음

- 모스크바~로마 축 약 4,220km
- 앙카라 ~ 이스탄불 ~ 부다페스트 ~ 베를린 축 약 3,500Km
- 리스본 ~ 마드리드 ~ 파리 ~베를린 ~ 바르샤바 축 약 5,000Km



[그림 8-3-7] TER의 교통축

(2) TAR 등

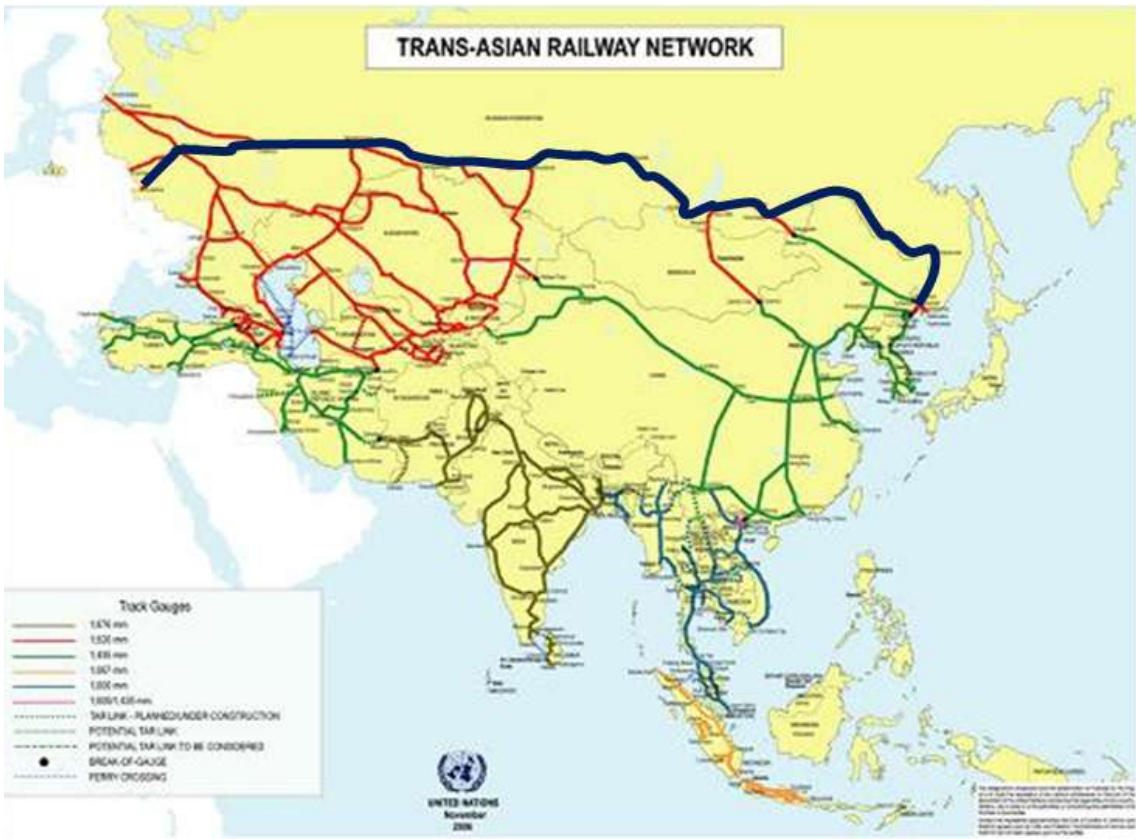
○ ‘80년대 이후 동유럽 국가들의 독립과 시장경제의 채택은 물동량 증가를 가져왔고 경제 자유화로 인해 중유럽과 동유럽에 많은 변화가 일어났으며 유럽공동체의 범위가 확장되기 시작하였음

○ 아시아와 유럽 간 무역이 성장함에 따라 컨테이너 물동량도 증가하여 ‘99년 5천 9백만 TEU이던 것이 연간 6.3%씩 증가하고 있음

○ 이처럼 대륙 간에 활발한 교역은 향후 전 세계 교통과 커뮤니케이션에 많은 변화를 불러 올 것으로 예측되는 바, 국가 간 효율적인 철도연계 마련이 이루어져야 할 것임

○ 이러한 측면에서 아시아를 횡단하는 TAR(Trans Asia Railway: TAR) 철도는 장기적인 관점에서 튜브 트레인의 잠재시장으로 판단됨

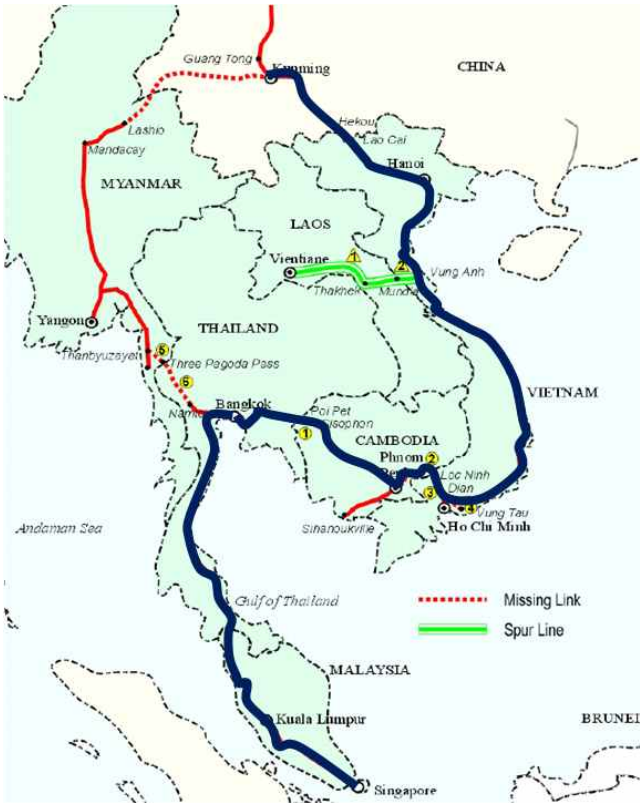
- TAR에서 튜브 트레인을 고려할 만한 구간은 약 20,000Km에 달함



[그림 8-3-8] TAR의 교통축

○ 이 중 TSR(러시아횡단철도)와 TCR(중국횡단철도)와 연계되는 중국 서남부 쿤밍에서 싱가포르까지 6개국 5,500km를 잇는 범아시아 철도도 튜브 트레인의 잠재시장이 될 것으로 판단하고 있음

○ 쿤밍~하노이~호찌민(이상 베트남)~프놈펜(캄보디아)~방콕(태국)~콸라룸푸르(말레이시아)~싱가포르까지가 튜브 트레인 차량 도입을 검토할 만한 지역으로 평가됨



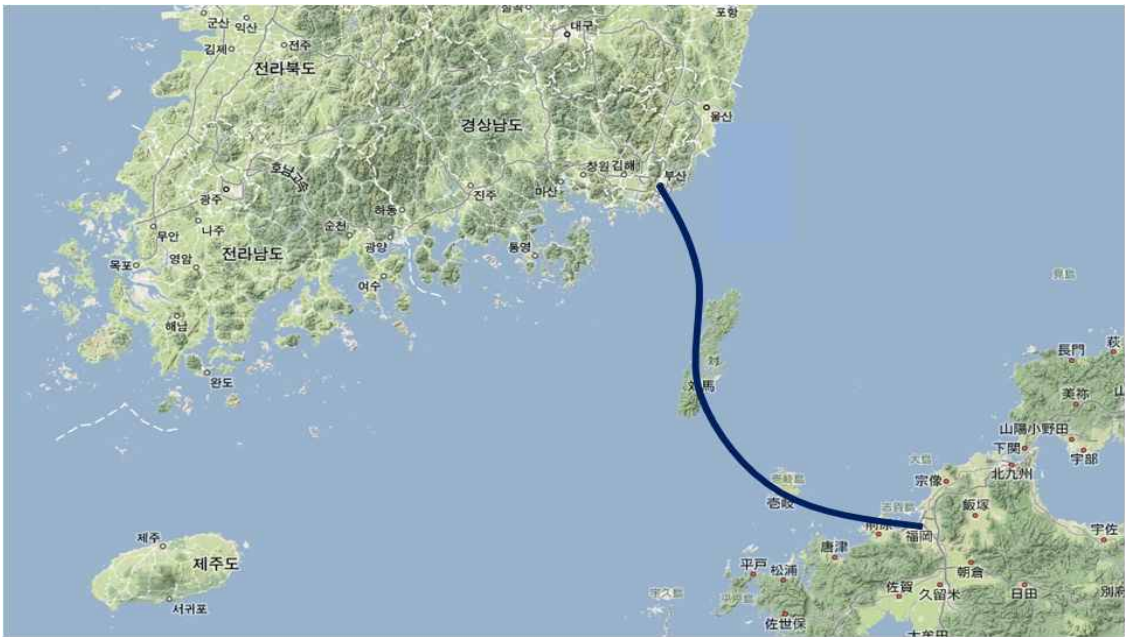
[그림 8-3-9] TAR 중 싱가폴~쿤밍간 교통축

라. 해안을 맞대고 있는 지역 연결축

○ 해안을 맞대고 있어 거리가 짧아도 불가피하게 항공을 주로 이용했던 지역은 튜브 트레인 도입이 아주 적합할 것으로 판단하고 있음

(1) 한·일 해저터널

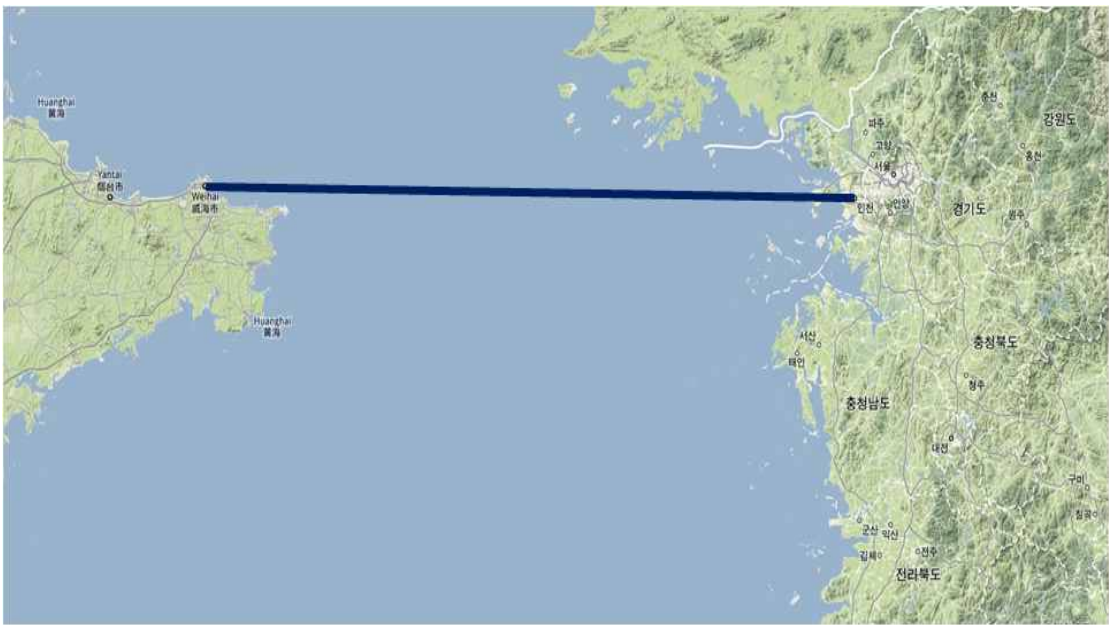
○ 한·일 해저터널은 부산~후쿠오카 축 약 222km에 달하는 구간으로 유력한 튜브 트레인의 잠재시장으로 평가됨



[그림 8-3-10] 한일해저터널 교통축

(2) 한·중 해저터널

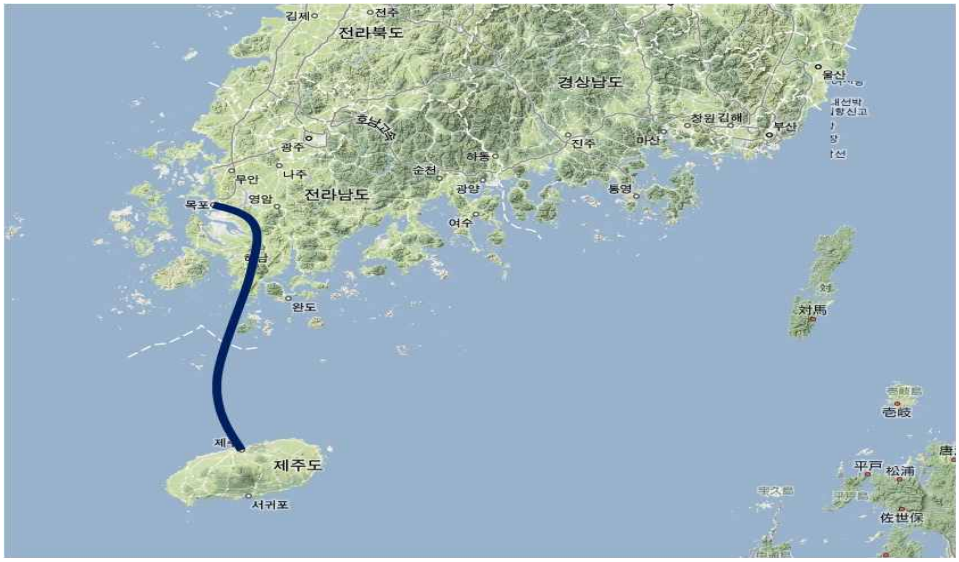
○ 한·중해저터널인 Weihai~인천 축 약 410km도 유력한 튜브 트레인의 잠재 시장으로 평가됨



[그림 8-3-11] 한중해저터널 교통축

(3) 목포-제주 해저터널

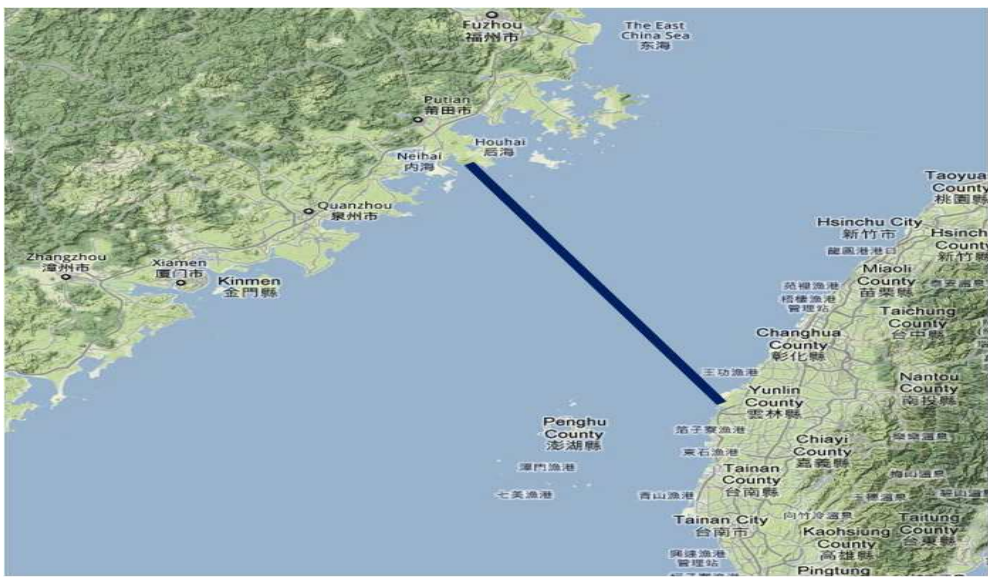
○ 한국 내 목포~제주 노선 약 172km도 유력한 튜브 트레인의 잠재시장으로 평가됨



[그림 8-3-12] 목포-제주 해저터널 교통축

(4) 중국-대만 해저철도

○ 중국 본토와 대만을 잇는 약 192km의 중국-대만 해저 철도도 유력한 튜브 트레인의 잠재시장으로 평가됨



[그림 8-3-13] 중국-대만해저터널 교통축

(5) 영불해저터널

○ 유럽대륙(파리)과 영국(런던)을 잇는 730km의 영불 해저 철도도 유력한 튜브 트레인의 잠재시장으로 평가됨



[그림 8-3-14] 영불 해저터널 교통축

마. 기타 지역

○ 상기에 언급된 지역이외에도 튜브 트레인이 도입될 가능성이 있는 지역이 존재함

○ 대표적인 지역이 아프리카에 위치한 남아프리카 공화국, 오스트레일리아, 캐나다 등임

- 오스트레일리아: 약 10,000Km
- 남아프리카 공화국: 약 3,000Km
- 이집트 : 약 1,000Km
- 캐나다: 약 10,000km

바. 튜브 트레인 시장전망

(1) 초고속 튜브 트레인 도입 가능지역

○ 지금까지 검토한 튜브 트레인 도입가능지역을 대륙별 국가별 사업구간별로 세분하여 정리해보면 소극적 전망시 약25,000km, 적극적 전망시 약89,000km 이고 아래와 같음

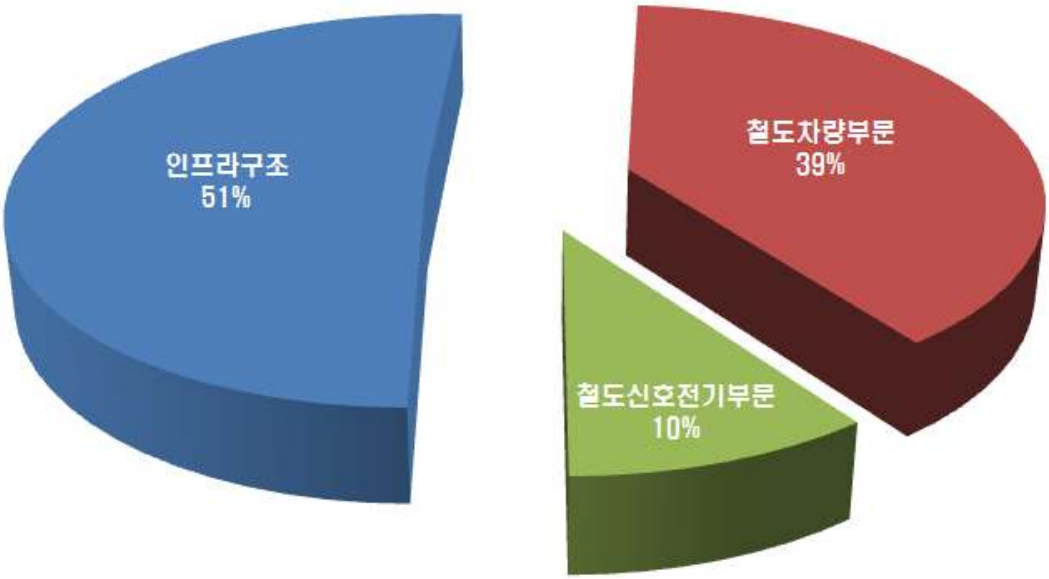
<표 8-3-2> 초고속 튜브 트레인 적용가능 사업노선

대륙	국가	지역/구간	연장(Km)	
			소극적 전망	적극적 전망
북미	미국	보스턴-뉴욕-워싱턴-리치먼드-애틀란타 축	1,935	
		Tampa-Orlando-Miami 축	624	
		Eugene-Portland-Seattle-Vancouver,B.C. 축	766	
		San Diego-Los Angeles-San Francisco Bay Area 축	2,082	
		기타 중동부지역의 동서, 남북축		10,000
	캐나다	동서축		10,000
남미	브라질	브라질리아-상파울러	1,000	
아시아	중국	북경-상해 축	1,330	
		전국 4*4 철도교통축		20,000
		한중터널	410	
		중국-대만 해저터널	192	
	일본	가고시마-삿뽀르	2,000	
		한일 해저터널	222	
	한국	X 축	2,000	
		목포-제주	172	
유럽	러시아	피테스부르크-블라딕보스톡		10,000
	대륙전체	모스크바~로마 축	4,220	
		앙카라~이스탄불~부다페스트~를린 축	3,500	
		리스본~마드리드~파리~베를린~바르샤바 축	5,000	
아프리카	이집트	-		3,000
	남아공	-		1,000
호주	호주	-		10,000
계			25,453	64,000

(2) 철도산업구조

○ 세계철도시장구조는 크게 인프라부문, 철도차량부문, 전기·신호시스템 부문으로 대별됨

○ 이중 인프라부문이 51%를 차지하고 있고 다음으로 철도차량부문이 39% 이며 나머지는 철도전기·신호부문으로 약 10%를 차지하고 있음



[그림 8-3-15] 철도분야별 시장구조 분담율

(3) 시장규모 전망

○ 튜브 트레인 시장은 총 연장 약 89,500Km에 이를 것이며 초고속 튜브 트레인 시스템의 건설비는 차량, 전기, 신호 등 기타 부분을 모두 고려하여 약 550~750억원/km로 예상됨

○ 따라서 시장규모는 소극적인 전망시 1,654조원, 적극적인 전망시 5,814조원에 이를 것으로 예상됨

○ 철도분야별 시장구조를 현재의 비중대로 인정한다면 튜브 트레인 시장규모는 다음과 같음

<표 8-3-3> 철도산업구조별 시장전망

(단위: 원)

구 분	소극적 전망	적극적 전망
인프라부문	844조	2,965조
철도차량부문	645조	2,268조
전기·신호부문	165조	581조
합 계	1,654조	5,814조

○ 현재 세계 고속철도차량 시장점유율의 경우 프랑스의 알스톰(44%), 독일의 지멘스와 캐나다의 봄바르디아(34%), 일본의 가와사키와 히타치(19%) 순으로 공급시장을 형성하고 있으며 최근 스페인, 이탈리아 등도 주요시장으로 성장하고 있음

○ 한국의 로템은 2.1%의 시장점유율로 세계 8위 수준을 형성하고 있음

2. 경쟁수단과의 시장경쟁력 분석

가. 분석 방법

○ 장래 튜브 트레인이 도입 시 경쟁수단이 되는 항공, 승용차 등과의 경쟁력분석은 이동거리별 수단의 효용함수에 기반한 수단분담모형을 사용하는 것이 적정할 것으로 판단함

- 수단분담은 출발지 i에서 목적지 j로의 통행량을 수단별로 분담하는 과정임

○ 효용함수에 기반 한 수단분담 모형으로는 통행자 개개인의 통행행태 특성을 파악하여 수단분담율을 예측하는 개별 통행행태 모형 중 로짓모형이 주로 이용함

○ 『도로・철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정・보완 연구(제5판), 한국개발연구원, 2008. 12』에서 역시 이에 따라 다음과 같은 형태의 로짓모형을 제시하고 있음

$$P(K) = \frac{\exp(U_K)}{\sum_{i}^{n} \exp(U_i)}$$

여기서, U_K = 수단 K의 효용

U_i = 수단 i의 효용

n = 수단의 수

○ 위에서 효용함수 U_i는 다음과 같은 형태를 지님

$$U_{ijm} = \alpha_1 (T_{time})_{ijm} + \alpha_2 (T_{cost})_{ijm} + Dummy + (\text{상수항})_m$$

여기서, U_{ijm} = 수단 m의 교통죤 i와 j간의 효용함수

$(T_{time})_{ijm}$ = 수단 m의 교통죤 i와 j간의 총 통행시간

$(T_{cost})_{ijm}$ = 수단 m의 교통죤 i와 j간의 총 통행비용

$Dummy$ = 상수항 이외 설정한 더미변수

$(\text{상수항})_m$ = 수단 m의 더미

○ 즉, 효용함수는 수송수단별 통행 및 접근시간, 수송수단별 운임, 그리고 특성을 표현하는 더미를 고려하여 추정됨

- 총통행시간은 이미 구축된 연도별 도로망에 통행배정을 하여 산출
- 도로부문 이용 수단은 부하된 통행량 기반의 이용자 균형상태 도출을 통한 경로 통행시간을 사용
- 철도부문 이용 수단은 지역 간 철도부문의 시설 수준과 관련하여 전철화, 복선화 등 용량확충 사업의 효과를 반영하기 위해 노선운행 자료를 기반으로 산출.

○ 총통행비용 산출 시에는 버스와 철도는 현재 요금을 기준으로 계산하며, 승용차는 km당 평균 차량운행비용을 이용함

- 철도 운임은 해당 열차 또는 여러 열차의 운행회수를 고려한 가중 평균치를 사용
- 철도 운임의 산정은 철도요금 구조인 기본구간 요금과 초과구간에 대한 요율 적용을 통해 도출하거나 링크 기반의 단위 km당 운임을 이용하여 산출

○ 앞서의 효용함수에서 각각의 파라미터 값은 다음과 같으며 항공의 경우 철

도와 동일하게 보았으며 대신에 상수항을 제로로 처리하였음

<표 8-3-4> 지역간 여객 수단선택의 효용함수 파라미터 값

(단위: 천분, 천원)

구 분	T_{time}	$T_{\cos t}$	D_{metro}	상수항
승용차	-2.54	-0.0243	-0.864	-
버 스	-2.54	-0.0733	-	-1.326
철 도	-2.54	-0.1150	-	-1.797
항공	-2.54	-0.1150	-	-

자료: 도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판), 한국개발연구원, 2008. 12

나. 분석결과

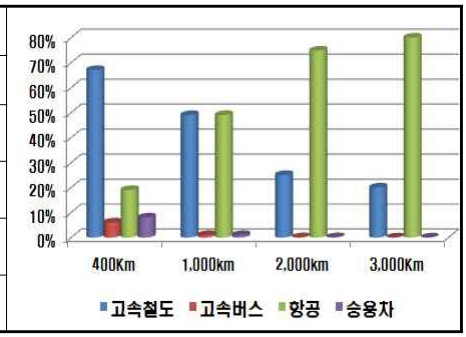
○ 튜브 트레인이 도입되지 않았을 시, 즉 기존철도 또는 현재의 시속 200~300Km의 고속철도만을 운영하였을 경우 거리별로 철도의 경쟁력은 상당히 차이가 나는 것으로 분석되었음

○ 우선 400Km이동거리를 기준으로 고속철도는 교통수단 분담율이 약 2/3을 차지하는 중요한 교통수단이 되나, 이동거리 2,000Km 에서는 교통수단 분담율이 1/4 정도로 떨어지는 것으로 분석되었음

- 최근 국가교통DB자료(2007년 실적)를 기준으로 고속철도가 운행 중인 서울-부산간 408km구간에서 철도 분담율은 73.2%임

<표 8-3-5> 튜브트레인 미 도입시 (Do-Nothing case) 교통수단분담율

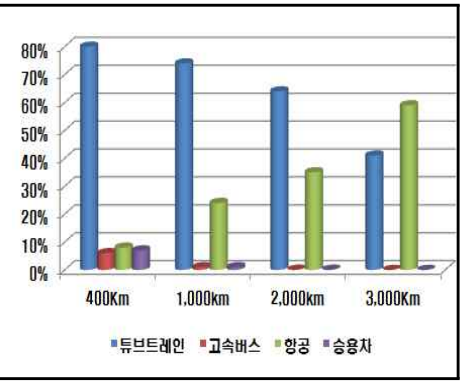
수단	이동거리			
	400Km	1,000km	2,000km	3,000Km
고속철도	67 %	49 %	25 %	20 %
고속버스	6 %	1 %	0.1 %	0 %
항공	19 %	49 %	74.8 %	80 %
승용차	8 %	1 %	0.1 %	0 %



○ 하지만, 튜브 트레인을 도입할 시에는 2,000Km의 이동거리에서도 철도(튜브 트레인)의 교통수단분단율은 2/3 수준을 유지하는 것으로 분석되었음

<표 8-3-6> 튜브트레인 도입시 (Do-Tube Train Case) 교통수단분담율

수단	이동거리			
	400Km	1,000km	2,000km	3,000Km
튜브 트레인	80 %	74 %	64 %	41 %
고속버스	6 %	1 %	0.1 %	0 %
항공	8 %	24 %	35 %	59 %
승용차	7 %	1 %	0.1 %	0 %

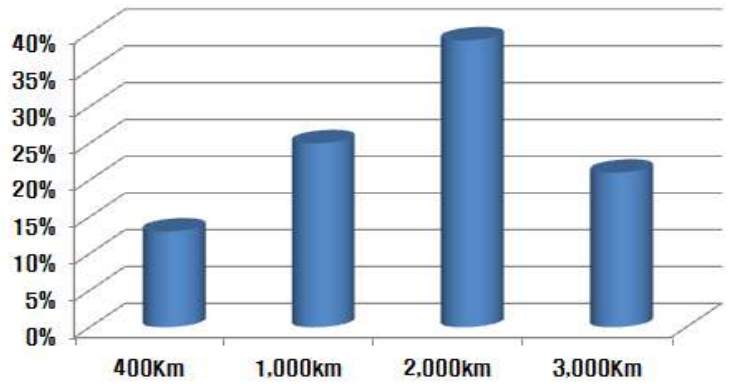


다. 경쟁수단간 시장경쟁력 분석

○ 튜브 트레인의 경쟁력은 이동거리별로 상이하게 나타나는 바, 일반적으로 이동시간이 2~3시간 이내의 거리인 2,000 Km 내외에서 가장 경쟁력이 있는 것으로 분석되었음

<표 8-3-7> 튜브트레인 도입시 (Do-Tube Train Case) 교통수단 분담율 증가분

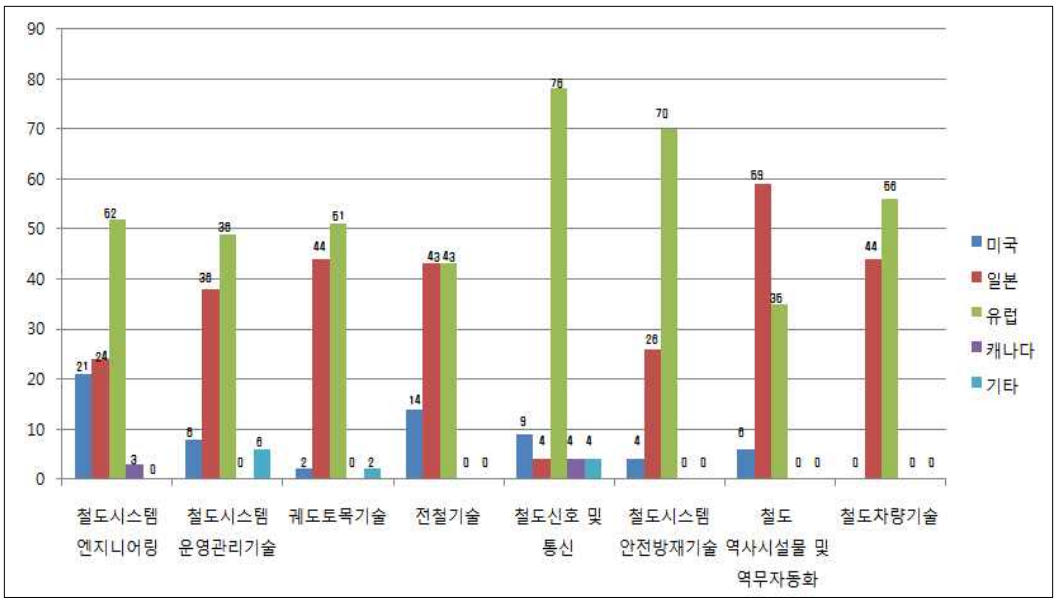
수단	이동거리			
	400Km	1,000km	2,000km	3,000Km
튜브 트레인	13 %	25 %	39 %	21 %



제4절 기술수준 및 성공가능성

1. 철도분야 기술수준

○ 최근 한국건설교통기술평가원에서 관련 전문가를 대상으로 교통분야 기술수준을 조사한 결과에 따르면 철도분야의 최고기술보유국은 유럽(54%), 일본(37%), 미국(6%), 기타(2%), 캐나다(1%) 순으로 나타났음



자료 : 한국건설교통기술평가원, 교통분야 기술수준조사 연구, 2009.6

[그림 8-4-1] 철도분야 최고기술보유국가 응답비율

○ 최고기술보유국으로 선정된 유럽의 철도 분야별 최고기술 선정비율은 철도신호 및 통신기술(78%), 철도시스템 안전방재기술(70%), 철도차량기술(56%), 철도시스템 엔지니어링기술(52%), 궤도토목기술(51%), 철도시스템 운영관리기술(48%)로 평가되었음

○ 최고기술보유국의 기술수준은 궁극적인 기술수준에 대비해 30~80% 수준이고 국내기술수준은 20~60%수준으로 평가되었음

○ 최고기술보유국과 기술격차가 가장 큰 부분은 철도신호 및 통신기술(22.99%)과 철도시스템 운영 관리기술(21.58%)로 나타난 데에 비해 철도차량기술은 8.13%로 철도최고기술 보유국과의 차이가 가장 작게 평가되었음

<표 8-4-1> 철도분야 교통기술 수준 평가

(단위 : %)

구 분	평가점수			최고기술보유국 100% 환산	
	한 국 (A)	최고기술 보유국(B)	차이 (B-A)	한 국	최고기술 보유국
철도 시스템 엔지니어링	47.52	62.63	15.11	75.87	100
철도 시스템 운영 관리 기술	56.12	77.70	21.58	72.28	100
궤도 토목 기술	56.35	70.04	13.69	80.45	100
전철 기술	47.17	61.29	14.12	76.96	100
철도 신호 및 통신기술	54.93	77.92	22.99	70.50	100
철도 시스템 안전 방재 기술	33.58	51.87	18.29	64.74	100
철도역사 시설물 및 역무자동화 기술	62.46	81.34	18.88	76.79	100
철도차량기술	26.86	34.99	8.13	76.76	100

자료 : 한국건설교통기술평가원, 교통분야 기술수준조사 연구, 2009.6

○ 철도분야 기술수준이 궁극적인 기술수준에 도달하기 위해 소요되는 기간을 조사한 결과 최고기술보유국에 비해 전체적으로 2.6배의 시간이 소요될 것으로 조사됨

- 궁극적인 기술수준에 도달하는데 소요되는 기간이 긴 기술로는 운영효율화기술(9.1년), RAM/LCC(8.7년), 위험도 평가기술(8.7년), 차량제어 및 진단기술(7.5년), 철도환경기술(7.3년) 순으로 조사됨

○ 또한 응답자들의 대부분이 우리나라와 최고기술보유국가간의 기술격차가 줄어들고 있다고 응답하고 있으나 반대로 철도통신기술(60%)과 재해예방 및 저감기술(60%), 재해대응복구기술(100%) 등은 격차가 확대되고 있다고 조사되었음

○ 최고기술보유국가간의 기술격차의 주요요인으로 대부분은 연구개발 기반취약, 정부지원정책 미흡, 연구개발 자금부족, 연구개발 인력부족 등으로 나타났음

○ 현재의 발전단계(개발기→도입기→성장기→성숙기→쇠퇴기)를 최고기술보유국 경우 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 성숙기라는 의견이 대부분이었으며 우리나라는 신기술이 본격적으로 실용화되

는 성장기라는 의견이 가장 많았고 다음으로 도입기라는 의견이 순이었음



주1) 기술수준 격차(%) : 최고기술보유국의 기술수준을 100%로 환산할 경우 한국과의 기술수준 차이를 의미함

주2) 기술격차 년도(년) : 한국의 기술수준이 최고기술보유국의 기술수준에 도달하기 위해 필요한 시간을 의미함

자료 : 한국건설교통기술평가원, 교통분야 기술수준조사 연구, 2009.6

[그림 8-4-2] 철도분야 최고기술보유국 대비 국내 기술수준 차이 및 기술격차

2. 초고속 튜브 트레인의 성공가능성

○ 스위스(스위스메트로, 1987), 미국(ET3, '90년대), 중국(초고속 육로교통계획, 2005), 일본(SuperMetro, 2006) 등의 기존 연구사례에서 보는 바와 같이 세계 각국은 향후 차세대 철도로 초고속 튜브 트레인과 관한 개념적 우수성을 발표하며 연구를 진행하고 있는 것으로 파악되고 있으나 아직까지 구체적인 연구실적 및 실용화사례는 없음

○ 국내에서 초고속 튜브 트레인 관련한 연구는 일부 국책연구원을 위주로 연구되고 있으나 아직은 시작단계에 불과함

- 1990년대말 자기부상열차 개발에 관한 기초연구의 수행을 시작으로 2005년부터 초고속 자기부상열차 부상·추진 기술에 관한 연구가 지속적으로 수행 중에 있으며 2007년부터 튜브운송기술에 관한 연구를 통해 개념설계가 진행 중임

○ 국내외적으로 초고속 튜브 트레인에 관한 연구는 개념적 우수성을 토대로 연구개발단계에 있는 것으로 파악되며 실용화 사례가 없어 현 시점에서 개발의 성공가능성을 단언하기는 쉽지 않은 상황임

○ 현재 진공 또는 저진공 상태를 유지하는 튜브기술에 관한 실용화 사례가 없지만 국외에서도 차세대 기술로 인식하고 연구개발 중이며 초고속 자기부상열차의 경우 일본의 RTRI 및 중국의 상하이 자기부상열차가 상업노선에서 최고속도 581km/h를 도달하였음

- 국내에서는 2007년부터 튜브운송기술에 관한 연구가 진행 중에 있고 110km/h급 도시형 자기부상열차의 실용화사업이 진행 중에 있으며 2005년부터 초고속 자기부상열차에 관한 연구가 진행되고 있어 향후 초고속 자기부상열차와 진공튜브기술의 접목되는 초고속 튜브 트레인 시스템 실현이 기대되는 상황임

○ 기존 연구사례에서 초고속 튜브 트레인 기술은 에너지소비 효율성, 소음 등 환경성, 토지이용 측면에서 기존 철도에 비해 많은 장점을 가지고 있으므로 현재 기존 철도가 겪고 있는 문제를 상당부문 완화해 줄 것으로 판단됨

- 스위스 메트로의 연구사례에서 300km/h를 기준으로 교통수단별 에너지 소모량은 기존 자기부상열차(Transrapid)에 비해 84%, 바퀴식 고속철도

(ICE)에 비해 56% 수준에 불과한 것으로 나타났음

- 외부소음은 튜브기술 사용으로 기존 철도에 비해 매우 작은 수준으로 분석되었고 특히 터널구간이 전체구간의 30~35%이상인 노선에서는 고속도로나 철도에 비해 건설비가 저렴한 것으로 분석됨

○ 현재 국내외적으로 대심도철도, 제주~목포구간 철도연결, 한중/한일 해저터널 등 도시내 단거리부터 국가간 장거리까지 철도사업이 논의되고 있는 시점에서 초고속 튜브 트레인이 단기간에 700~800km/h를 달성하지는 못하더라도 개발전략으로 진공튜브를 활용하여 속도를 단계적으로 향상하여 개발시 기술의 활용가능성과 신뢰성은 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단됨

○ 본 연구의 목표에서도 현 시점에서의 개발위험성을 고려하여 단기간의 기술실용화를 목표로 하는 것이 아니라 철도부문의 미래 성장동력으로 해외 최고기술보유국가와 발맞추기 위해 튜브 트레인의 개념적 우수성을 토대로 기초기술 및 모형개발에 목표를 두고 있음

○ 앞서 기술수준 조사에서 국내 철도기술이 최고기술보유국가에 비해 분야별로 65~80%수준이고 기술격차는 2~9년이 나고 있음을 고려할 때 본 기술에 대한 기초기술 및 모형 개발에 관한 연구는 현재시점에서 착수되어야 할 것으로 판단됨

제9장 결론 및 정책제언

제9장 결론 및 정책제언

○ 초고속 튜브 트레인은 현재까지 실용화 사례가 없는 세계 최고의 철도기술로서 중·장거리 통행을 흡수할 수 있는 신개념 교통수단임

○ 초고속 튜브 트레인은 신속성, 에너지 소비효율성, 환경성, 안전성, 건설비용 측면에서 기존 철도나 항공에 비해 많은 장점을 가지고 있음

- 육상교통수단으로 항공과 유사한 속도(700~800km/h)를 실현할 수 있고 자기부상기술과 진공튜브기술을 이용하여 에너지를 적게 소모할 수 있으며 소음, 배기가스 등을 줄일 수 있고 터널건설시 단면을 작게 할 수 있어 공사비 절감이 가능함

○ 본 연구는 초고속 튜브 트레인의 실용화를 위한 본격적인 개발에 앞서 축소 시험선로를 구축하고 관련 기초기술을 개발하는데 목적을 두고 있음

- 기초기술 및 모형개발에 5년의 개발기간이 필요하며, 약1,115억원이 소요될 것으로 추정되었음

○ 초고속 튜브 트레인 기술은 초고속열차 기술과 튜브 트레인 기술의 조합으로 독일, 일본, 미국, 스위스 등에서 기초연구 수행 및 시험선을 구축하여 지속적인 시험을 수행하고 있는 것으로 조사됨

- 초고속 열차 기술과 관련하여 독일은 2003년 중국 상해에 430km/h급 자기부상열차를 건설하여 상업운행 중에 있으며 일본은 1996년 대규모 시험선을 건설하여 시험운행을 현재까지 계속하고 있으며 미국, 중국 등도 초고속 자기부상열차 계획을 수립하여 진행 중임

- 튜브 트레인 기술은 1990년대부터 본격적인 연구가 진행되고 있으며 미국, 일본, 스위스 등이 관련 기초연구를 수행하였고 연구된 사례로 ET3, TubExpress, CargoCap, Flextaxi, Tubeway 등이 있음

○ 국내외적으로 실용화 사례가 없어 철도부문의 장래 신성장 동력원으로 부각될 가능성은 충분하나 해외 연구사례에 비해 국내 연구는 미미한 수준이고 실용화까지 최소 12년이 소요됨을 고려하면 관련기술에 관한 기초연구는 조속히 시작할 필요가 있음

○ 본 기술개발은 국가교통기술개발계획, 과학기술기본계획577 Initiative, 저탄소 녹색성장 국가비전 등 상위계획과 부합되는 사업으로 실용화까지 최소 12년, 약 9,600억원이라는 막대한 기간과 재원이 소요되므로 민간보다는 정부의 적극적인 지원이 필요하며 실용화 단계에 있는 한국형 고속열차나 연구 중인 차세대 고속철도 개발과는 기술적 측면 및 활용도에서 차이가 있음

○ 초고속 튜브 트레인 기초기술을 확보하기 추진전략으로 정부 각 부처, 산·학·연이 참여하는 공동 개발체계를 구성하며 관련 연구경험이 있는 스위스, 미국, 일본 등과 글로벌 네트워크를 구축하여 활용함

○ 향후 본 사업을 통해 도출될 기초기술은 주요 핵심분야로 시스템엔지니어링 분야, 차량시스템 분야, 기반기술 분야, 튜브인프라 분야 등 으로 크게 구분되며 각 분야에서 총16개 세부과제를 도출하였음

○ 초고속 튜브 트레인 기술은 최첨단의 복합기술로서 본 사업인 기초기술개발로 인해 산업적 파급효과는 종합적인 설계 능력, 물류이송시스템 분야, 첨단건설기술 분야, 군사 및 항공우주분야, 자동차 및 첨단부품분야 등 폭넓은 파급효과가 있을 것으로 보임

- 이러한 파급효과 중 일부 계량화가 가능한 클린무빙시스템, 클린리프트, 저진공상태의 소화시스템, 잠수함 등 특수공간의 공기질 조절장치 등의 시장에서 1%만을 점유한다고 해도 경제성은 확보되는 것으로 분석됨

○ 또한 기초기술 및 모형개발로 인해 철도분야에 1,115억원을 투입시 생산유발효과 2,152억원, 부가가치 유발효과 618억원, 고용유발효과 1,367명의 사회경제적 파급효과가 있을 것으로 분석되었음

○ 실용화 사례가 없는 현시점에서 성공가능성을 쉽게 판단하기는 어렵지만 한국형 고속열차 개발로 인한 전문인력 및 경험 보유, 타 산업으로의 파급효과, 장래 시장규모 및 경쟁력 등을 볼 때 성공가능성은 있을 것으로 판단됨

- 특히, 튜브 트레인이 실용화된다면 장래 세계시장 규모는 소극적 전망시 1,654조원, 적극적 전망시 5,814조원으로 매우 클 것으로 분석되었으며 다른 수단과 경쟁력도 400km이상의 거리에서 경쟁력이 있을 것으로 분석되었음

○ 초고속 튜브 트레인은 원유에 의존하고 있는 국가간 중·장거리 교통의 환경친화적인 교통체계로의 전환에 기여하고 국가간 FTA 증대 및 동북아 통

합경제권 형성을 촉진할 수 있는 장래 신성장 동력으로 국가차원의 전략적 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

참 고 문 헌

□ 국내 자료

No	제 목	저자	발행 기관	년 도
A1	초전도자석 기술개발 (I)	김인근	한국기계연구원	1991
A2	동기형 리니어 모터	-	자기부상열차개발 국책연구사업단	1991
A3	고속철도 기계연구보고	-	한국고속철도건설공단	1992
A4	초전도자석 기술개발 (II)	김인근	-	1992
A5	미래지향적 교통수단으로서의 자기부상열차	한규환	현대정공(주)	1992
A6	고속철도 기계연구보고	-	한국고속철도건설공단	1992
A7	21C의 고속철도 국제적 전망	-	한국고속철도건설공단	1993
A8	반발식 자기부상 기술 개발	조흥제	-	1993
A9	반발식 자기부상열차의 동특성해석을 위한 전자력 계산	홍순흠	서울대학교	1994
A10	독일자기부상열차 "Transrapid"의 콘크리트 교각선로구조물에 관한 연구	강보순	중앙대학교	1998
A11	영구자석의 반발력을 이용한 자기부상레일의 해석 및 설계	이강원	한국생산기술연구원	1999
A12	동기형 자기부상열차 개발을 위한 기초연구(I)	-	한국철도기술연구원	1999
A13	자기부상열차	-	대한전기학회지	2000
A14	자기부상철도의 기술개발 및 실용화 현황	이영훈	한국철도기술연구원	2005
A15	자기부상철도	이영훈	한구철도기술연구원	2005
A16	차세대 고속철도 인프라-외국 사례를 중심으로	강윤석	한국철도기술연구원	2006
A17	과학기술기본계획 577전략 세부기술 동향 보고서 (자기부상열차기술)	-	한국철도기술연구원/ 한국기계연구원	2008

□ International Maglev Conference 관련 자료

No	Conference	개최지	개최년
B1	The International Conference on Maglev and Linear Drives	London	1984
B2	The International Conference on Maglev and Linear Drives	Tokyo	1985
B3	The International Conference on Maglev and Linear Drives	Vancouver	1986
B4	The International Conference on Maglev and Linear Drives	Las Vegas	1987
B5	The International Conference on Maglev and Linear Drives	Hamberg	1988
B6	The 10th International Conference on Maglev and Linear Drives	Berlin	1988
B7	The 11th International Conference on Maglev and Linear Drives	Yokohama	1989
B8	The 13th International Conference on Maglev and Linear Drives	Argonne	1993
B9	Proceedings of the International Conference on Speedup Technology for Railway and Maglev Vehicles Vol. I, Vol. II	Yokohama	1993
B10	Electric Transportation Systems Compatibility	California	1995
B11	The 14th International Conference on Maglev and Linear Drives	Bremen	1995
B12	The 15th International Conference on Maglev and Linear Drives	Yamanashi	1998
B13	Linear Drives for Industry Applications	Tokyo	1998
B14	The 16th International Conference on Maglev and Linear Drives	Riode Janeiro	2000
B15	The 17th International Conference on Maglev and Linear Drives	Lausanne	2002
B16	The 18th International Conference on Maglev and Linear Drives	Shanghei	2004

□ 국외 자료(I)

No	제 목	주저자	발행 기관	년 도
C1	Electromagnetic Suspension Dynamics & Control	P.K. Sinha	-	1987
C2	Feasibility of Feight Pipelines to Relieve Highway Congestion	Zane A. Goff	Texas Transportation Institute	1988
C3	Feasibility of Tube Transportation to Relieve Highway Congestion	Zane A. Goff	Texas Transportation Institute	1988
C4	Transrapid Maglev System	Dr. Ing. Klaus Heinrich 외	-	1989
C5	Final Report on the National Maglev Initiative	-	US DOT(Department of Transportation)	1993
C6	Florida Revives Plans For HS Line	-	ABB	1993
C7	Linear Induction Drives	Jacek F. Gieras	-	1994
C8	Contactless Transportation Vehicle with 4 Hybrid-Excited Magnets and an Energysaving Levitation Control	Henneberger	LDIA'95	1995
C9	Analysis of the Reduction of Detent Force in a Permanent Magnet Linear Synchronous Motor	T. Yoshimura	IEEE Trans. on Mag.	1995
C10	The Transrapid Propulsion System - Development and Test Results	U. Henning	MAGLEV	1995
C11	Fail-Safe Computer-Aided Operations Control systems for the Transrapid Maglev High-speed Railway	S. Burkert	MAGLEV	1995
C12	Levitation and Propulsion Motion Control of Controlled-PM LSM Maglev Carrie	K, Yoshida	ICEM'96	1996
C13	Long Stator Propulsion System of the Transrapid Berlin-Hamburg	U. Henning	MAGLEV	1998
C14	Operations Control System Transrapid Berlin-Hamburg	S. Burkert	MAGLEV	1998
C15	Final report on the Main Study	-	Swissmetro	1999

No	제 목	주저자	발행 기관	년 도
C16	Design and Evaluation of a High Temperature Superconducting Maglev System	R.J. Cruise K.	Witwatersrand University	2000
C17	Preliminary Study of Superconducting Bulk Magnets for maglev	Hiroyuki Fujimoto	Railway Technical Research Institute	2000
C18	Superconducting bulk magnets for magnetic levitation systems	H. Fujimoto	Railway Technical Research Institute	2000
C19	Nachfrageabschatuzung Swissmetro	Georg Abay	National Research Programm NPR 41	2000
C20	Linear Synchronous Motors (Transportation and Automation Systems)	Jacek F. Gieras Zbigniew J. Piech	-	2000
C21	The Transrapid Propulsion System - Results of Operation	U. Henning	MAGLEV	2000
C22	Energy-and Environmental Assessment of EUROMETRO	Walter Ernst	Swiss Transport Research Conference	2001
C23	Dynamic of Passive Guidance Forces of Polarized Linear Motors Application to Swissmetro MAGLEV	Alain CASSAT	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne	2001
C24	Swissetro: a revolution in the high-speed passenger transport system	Michele Mossi	Swiss Transport Research Conference	2001
C25	The acceptance of modal innovation: The case of Swissmetro	M Bierlaire	Swiss Transport Research Conference	2001
C26	Maglev Deployment Program Volume I	John A	National Transportation System Center	2001
C27	Maglev Deployment Program Volume II	John A	National Transportation System Center	2001
C28	Linear Motion Electromagnetic Devices	Ion Boldea S. A. Nasar	-	2001

No	제 목	주저자	발행 기관	년 도
C29	The first man-loading high temperature superconducting Maglev test vehicle in the world	Jiasu Wang	Southwest Jiaotong University	2002
C30	Electromagnetic field Characteristics of the Transrapid TR08 Maglev system	-	US DOT	2002
C31	Propulsion System and Power Supply for Transrapid Commercial Lines	Rolf Hellinger	MAGLEV	2002
C32	Maglev on the Development Track for Urban Transportation	-	Lawrence Livermore National Laboratory	2003
C33	The Incremental Maglev and Railroad Maglevication as on Option for Ultra High Speed Rail	Lexcie Lu	Rail Industry Technology Scanning Group	2003
C34	The Status of the running tests of JR-Maglev	S. Miyamoto	JR Central	2003
C35	The Novel Power Supply System in the Yamanashi Maglev Test Line	E. Jun	JR Central	2003
C36	The measurement and analysis of the New-Type guideway	Y Mine	JR central	2003
C37	磁浮列車 Maglev Train	Xiang Ming Wu	SMTC	2003
C38	A superconducting levitation vehicle prototype	R.M. Stephan	-	2004
C39	MAGLEV HIGH SPEED RAIL IN SOUTHERN CALIFORNIA	-	Southern California Association of Governments	2004
C40	The Research on Power Test of Shanhai High-Speed Maglev Transportation	S. Liming	MAGLEV	2004
C41	The Maglev Radio System - Features for Future Applications	-	MAGLEV	2004
C42	High Precision Alignment Design for Swissmetro Rig	Fengxiang JIN	Shandong University of Science and Technology	2004
C43	Special Issue Transrapid	-	ZEV Rail	2004

No	제 목	주저자	발행 기관	년 도
C44	A Study of the Effect of Using Electrodynamic Wheels in Series	J. Bird	Wisconsin-Madison University	2005
C45	Shanghai's maglev project - levitating beyond transportation theory	Kevin C Coates	NGINEERING WORLD	2005
C46	Assessment activities of joint task group TÜV Transrapid during commissioning of the Shanghai Maglev line	-	TÜV	2005
C47	Levitation-guidance stabilization of superconducting maglev through LSM currents	Tetsuzo Sakamoto	Kyushu Institute of Technology	2006
C48	Transporting Freight Containers by Pneumatic Capsule Pipeline(PCP): Port Security and Other Issues	Henry Lie	Freight Pipeline Company	2006
C49	浮上式鐵道開發の現況と展望"	K. Takahashi	RTRI	2006
C50	A novel propulsion method for high-Tc superconducting maglev vehicle	Guangtong Ma	Southwest Jiaotong University	2007
C51	A two-pole Halbach permanent magnet guideway for high temperature superconduction Maglev vehicle	H. Jing	Southwest Jiaotong University	2007
C52	High-speed maglev noise impacts on residents: A case study in Shanghai	Xiaohong Chen	Ministry of Education	2007
C53	Studies on the levitation height decay of the high temperature superconducting Maglev vehicle	Z.G. Deng	Southwest Jiaotong University	2007
C54	浮上式鐵道の技術開發の現況と展望	K. Takahashi	RTRI	2007
C55	超傳導磁氣浮上式鐵道のおよび走行試驗狀況	W. Katsutoshi	JREA	2007
C56	The Running Tests of the Superconducting Maglev Using the HTS Magnet	K. Kuwano	IEEE Tran. on Applied Supercon.	2007
C57	The Project overview of the HTS Magnet for Superconducting Maglev	S. Kusada	IEEE Tran. on Applied Supercon.	2007
C58	Durability Evaluation Tests of Mold Resin for Ground Coil	H. Suzuki	RTRI	2008

□ 국외 자료(II)

No	제 목	주저자	발행 기관	년 도
D1	Tube Vehicle System Technology Review	-	FRA	1970
D2	U.S. Patent No. 4,458,602	William Vandersteel	U.S. Patent Office	1980
D3	Tube Transportation	Vance	US Dept of Transportation	1994
D4	The Great Freight Stream	Vandersteel	Natural Science	1995
D5	Dynamics and Stability of Capsules in Pipeline Transportation	Zhao	University of Minnesota	1996
D6	Feasibility of Tube Transportation to Relieve Highway Congestion	-	Texas Transportation Institute	1998
D7	Tube Freight Transportation	Ingersoll	University of Texas	1998
D8	Tube Transportation for Freight	-	Gifford-Hill American Inc.	1998
D9	Truck Size and Weight Study	-	DOT	2000
D10	Feasibility of Tube Transportation to Relieve Highway Congestion	-	FHWA	2001
D11	Feasibility of Underground Pneumatic Freight Transport in New York City	Frank Ralbovsky	NYSERDA	2004
D12	SUPERMETRO-Super-High-Speed-Train in Low Pressure Tunnel	Y. Sato	WCRR2006	2006

부 록

A. 국외기술동향

B. 자문회의 및 공청회 회의록

A. 국외 기술 동향

1. 독일의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 1970년대부터 자기부상열차에 관한 활발한 연구를 진행해온 독일은 중저속용으로 M-Bahn과 초고속용으로 Transrapid를 개발하였음

○ 70년대부터 현재까지의 초고속 자기부상열차에 대한 정부와 민간의 일관적인 노력과 투자로 인하여, 세계 최초로 상용화에 성공한 기술을 가지게 되었음

○ 1970년대 중반 베를린 정부는 Gleisdreieck로부터 북쪽으로 몇 블록에 기존의 길옆으로 구간을 만들고 중저속 자기부상열차를 운행하기로 결정하였으며, 이것이 현재에 M-Bahn이라 불리게 되었음

○ 베를린에서 M-Bahn은 1980년대에 기관사가 없는 자기부상 시스템 1.6km 트랙을 3개의 기차역에 걸쳐 연결하였으며, 1989년 8월에 여객 수송 테스트를 시작하였고, 1991년 7월에 정기적인 운행을 하였음

○ 베를린 장벽이 무너진 이후에 교통이 바뀌었기 때문에 두 달 후에 라인의 해체가 시작되었고 1992년 3월에 완료되었으나 그 노선은 정기적인 지하철 노선으로 대체되었음



그림 1. M-Bahn

○ 독일은 자기부상열차의 기술개발을 시작하면서 기술의 가능성을 타진하는 한편, 여러 차례의 시제열차 제작 및 시험을 실시하였고, 1977년 연방정부는

자기부상열차를 선형동기전동기(LSM, long stator) 추진방식의 흡인식 부상 시스템(EMS)으로 결정하고, 반발식 부상시스템의 개발을 중단함

○ 이후 독일은 초고속형의 흡인식 선형동기전동기 방식의 자기부상열차 개발에만 주력하게 되어 오늘에 이르렀으며, 독일 서북부 국경지역인 Emsland 지역에 31.5km의 세계 최장의 시험선을 건설(1987년 완공)하여, 현재 시제차량인 Transrapid 09를 시험운행하고 있음



그림 2. 독일의 자기부상열차 Transrapid 05 및 07



그림 3. 독일의 자기부상열차 Transrapid 08

○ 독일은 도시 간 획기적인 여행시간 단축요구가 증대되고 에너지 소비 저감 및 친환경적 시스템을 필요로 하면서 자기부상열차 개발에 힘쓰게 되었음

○ 1989년 Transrapid 07이 436km/h로 당시 세계 최고속도를 기록하면서 연방정부는 콜로네(Cologne) 공항과 뒤셀도르프(Dusseldorf) 공항 사이 연결노선을 결정하였으나, 통독 후 취소되었음

○ 또한 1992년 연방 교통종합계획에 베를린~함부르크 간 300km의 노선에 초

고속 자기부상열차 시스템을 포함시키는 한편, 1994년 초고속 자기부상열차 실용화를 결정하였으나 2000년 경제성을 이유로 노선 실현불가를 발표하면서 취소되었음

○ 이무렵 중국은 주룽지 총리 및 상하이 시장, 독일 연방교통장관 등 고위 관료들이 Transrapid 08을 시승하는 등, 자기부상열차 도입에 대한 기술조사와 함께 마침내 상하이~푸동공항 간 30km 거리에 독일의 초고속 자기부상열차를 도입하였음

○ 이 노선은 2002. 12. 31 세계 최초의 초고속 자기부상열차 노선이 되었으며, 501km/h의 속도로 영업철도로서는 세계 최고속도를 기록하였고 결국 독일은 애써 개발한 기술을 자국 내에서 실용화하지 못하고, 중국에 수출되어 세계 최초의 초고속 자기부상열차 영업노선 개통 및 영업열차의 최고속도 신기록 타이틀도 함께 빼앗기게 되었음

○ 독일은 상하이 프로젝트를 통하여 이미 중국 측에 선로분야 기술을 이전하였으며, 이를 토대로 상업운행을 개시하였고 중국은 상하이 프로젝트의 2단계/3단계로 2010년도에 항조우에서 개최되는 세계무역박람회를 위해 약 180km의 상하이~항조우 간을 자기부상열차 시스템으로 구축하는 것을 검토 중임

○ 이 프로젝트가 추진될 경우 선로전환기 및 추진시스템, 차체 정도의 기술이전까지 고려하고 있으나, 차량의 부상기술 및 운영 소프트웨어 부분은 기술이전에서 제외되고 있음

- 노선 연장 30km, 역사 2개, 최고운행속도 430km/h, 2003.12.31 개통

- 영업철도로서 세계 최고운행속도, 세계 최고속도 기록(501km/h)

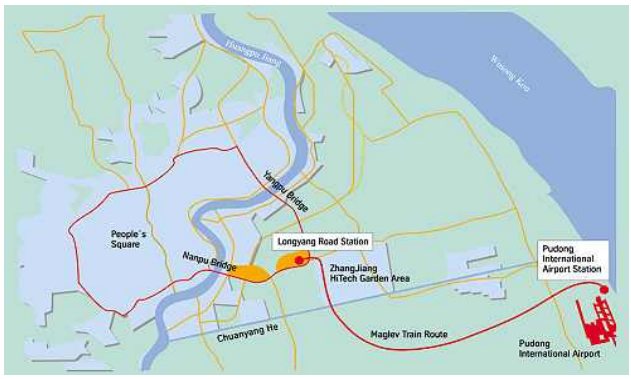


그림 4. Shanghai 영업 노선

○ 이에 대하여 독일 내에서 비판과 자성의 목소리가 높아지면서 뮌헨 공항과 뮌헨 도심을 연결하는 뮌헨 프로젝트가 추진되었음

○ 뮌헨 프로젝트용으로 제작된 TR09가 공개되었는데, 독일철도청의 기능설명서를 참고하고 뮌헨에 사용할 차량으로 여러 특수조건을 고려하였을 때 이전 모델인 TR 08을 다소 변형시켰음

○ 차량구조, 차체문, 에어컨, 디자인, 인테리어가 바뀌었고, 그뿐만 아니라, 버팀용 지상코일, 2차 완충장치, 기관실에너지공급, 자기장조정, 기관실 차량조정 등을 개선하였음

○ 새로운 차량의 제작비용은 BMVBS의 자기부상열차 개발프로그램이 지원하였음

○ TR 09의 3 세션의 내부는 고급 인테리어로 꾸밀 예정이며 TR 09를 위해 개발한 압력이 가해지지 않는 승하차 도어에는 1350mm의 틈이 있고 각 세션의 1/4 지점에 설치되어 있어 승객이 신속하게 승하차 할 수 있도록 하여 승강장이 붐비지 않도록 하였고, 내부는 TR08과 비교해서 약 15cm 높일 수 있었으며, TR 09는 자동운전이 가능함

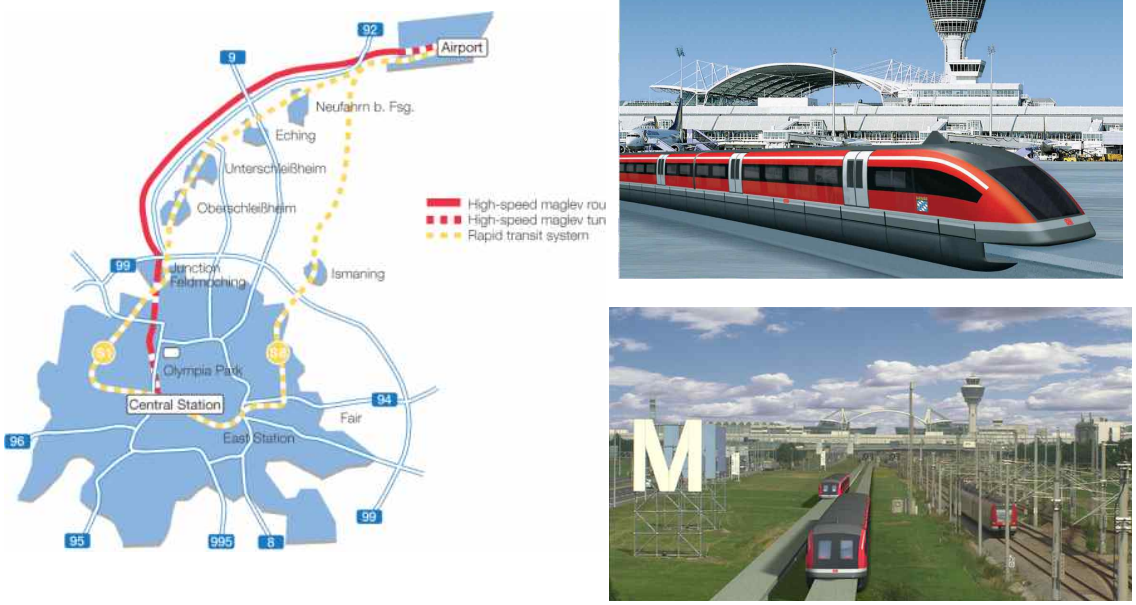


그림 5. Munich 프로젝트 노선 및 차량 개념도

○ Transrapid는 바퀴, 축, 변속기, 판토그래프 등을 가지고 있지 않으며, 회전하지 않고 공중을 떠다니는, 초기 철도차량 이래로 철도공학에 있어서 최초의 근본적인 기술혁신으로 평가되고 있음

○ 바퀴와 레일 대신에 비접촉 전자석에 의한 부상, 안내, 추진시스템을 사용함

○ 전자시스템으로 제어되는 부상시스템은 차량 양측면에 지지용 전자석이 설치되어 있으며, 차량을 선로 하부에 설치된 강자성의 고정자(stator)까지 끌어당기는데, 부상 시 약 10mm의 간격으로 일정하게 유지시킴

○ 자력조정기는 최대 100kHz로 부상 전자석의 전류를 변화시키며, 자력제어회로의 고유 주파수는 약 30Hz로 선로를 추종하도록 하고 있음

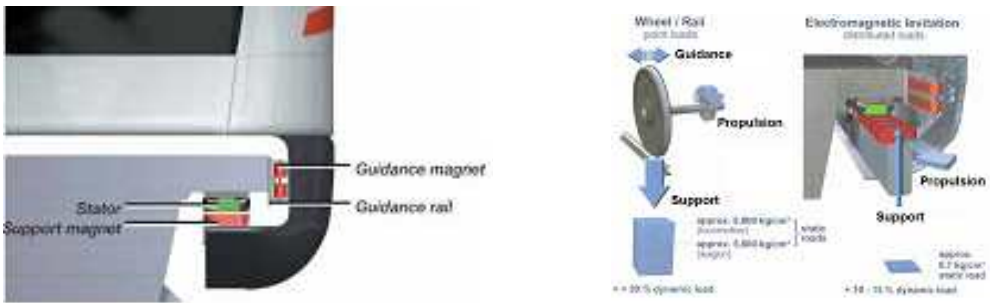


그림 6. Transrapid의 부상 시스템

○ 이러한 부상을 위한 전력은 차량의 에어컨 장치보다도 작고, 차상의 축전지에서 공급받으며, 외부 에너지 없이 한 시간 동안 부상할 수 있는 용량을 갖추고 있음

○ 차상의 축전지는 운행 중 지지용 전자석에 통합 설치된 선형발전기로 충전되며, 추진시스템과는 독립적임

○ 차량 양 측면에 설치된 안내용 전자석은 선로에서 차량의 측면을 유지하며 이와 같이 차량이 선로를 감싸는 구조로 되어있어 실질적으로 탈선이 불가능 함

○ Transrapid의 추진시스템은 선형동기전동기(LSM, Linear Synchronous Motor)로서 회전형 전동기와 같은 기능을 하는데, 추진과 제동에 모두 사용됨

○ 전동기 권선에 교류를 인가하면 자장이 생성되고, 차량의 부상용 전자석이

계자의 기능을 하여 차량을 접촉 없이 움직임

○ 자장의 방향이 반대로 되면 전동기는 발전기가 되며, 차량을 멈추게 하고, 이러한 제동 에너지는 재사용 가능하며 전력망으로 귀환되며, 전동기 속도는 교류 주파수를 조절하여 제어함

○ 이러한 비접촉식 추진 방식은 에너지 소비를 대폭 줄일 수 있는데, ICE와 같은 바퀴차륜 시스템은 정지/출발에서 300km까지 가속하는데 약 30km의 거리가 필요하나, 초고속 자기부상열차인 Transrapid는 5km의 거리밖에 필요하지 않고, 지상에서 전력이 공급되는 추진시스템의 특성상 다른 차량과의 충돌이 기술적으로 배제되어 있음

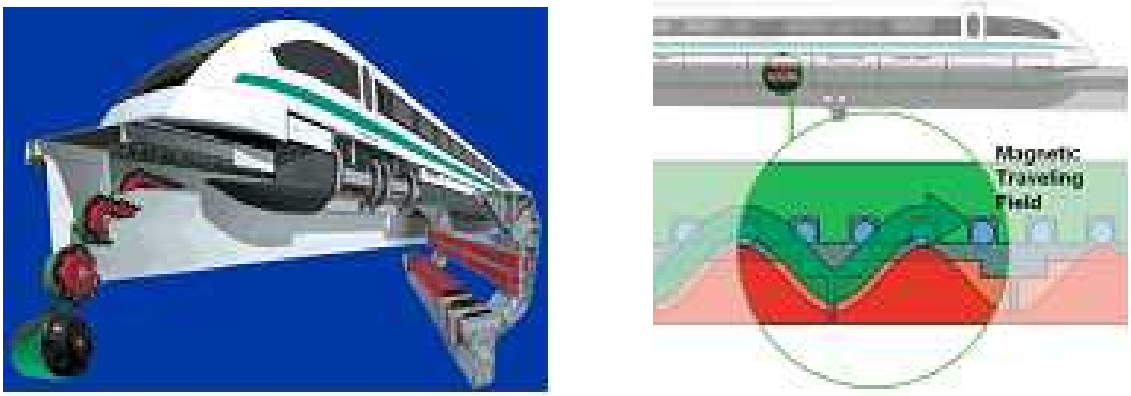


그림 7. Transrapid의 추진 시스템

○ Transrapid 시스템의 선로는 지면 위나 고가형으로 설치할 수 있으며, 2.8m 게이지의 강철 또는 콘크리트 빔을 사용함

○ 특히 선로전환기는 구부릴 수 있는 강철 재질로서, 78m～148m 길이의 강철 박스 빔으로 구성되어 있음

○ 선로전환기 빔은 진로방향으로 휘어지며, 전환된 후 쇄정됨. 직선구간에서는 속도제한 없이 분기기를 통과할 수 있고, 선로 변경구간에서는 200km/h(고속용), 또는 100km/h(저속용)로 제한됨. Transrapid의 구배 등판능력은 10%(기존 철도차량 4%), 곡선한계는 시속 300km/h에서 1,950m(기존 철도차량 3,200m) 임

표 1. 속도에 따른 곡선반경

속도	최소 곡선반경	선로간 간격	비고
	350 m		캔트 12°~16°
200km/h	750m	4.4m	
300km/h	1,950m	4.4m	
400km/h	2,825m	4.8m	
500km/h	4,415m	5.1m	

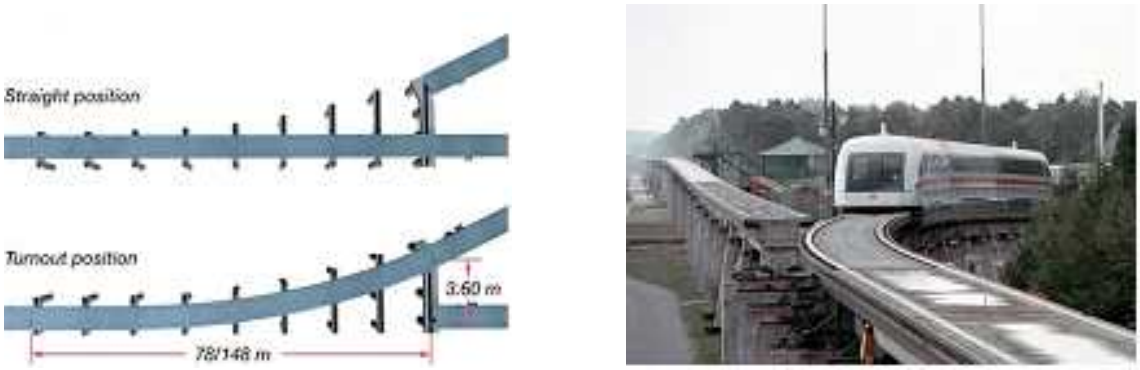


그림 8. Transrapid의 선로전환기

○ Transrapid 차량은 차량당 90석 규모로 최소 2량(51m, 180석)으로 이루어지며, 최대 10량(전,후 차량과 8개의 중간 차량, 900석)까지 편성될 수 있고, 고속 화물 운송을 위해 객차와 결합된 특별 화물칸이나 전용 화물차량(유효 탑재량 15톤/량)이 있으며, 추진시스템은 선로에 존재하기 때문에 차량의 길이나 유효 탑재량이 가속력에 영향을 미치지 않음

○ 운행제어시스템은 열차운행을 제어하고 시스템의 안정성을 보장하는 기능을 수행하며, 차량이동이나 분기기 위치 등, 안전기능 및 운영기능을 보호하고, 차량위치는 선로에 있는 부호화된 디지털 위치표식을 차상에서 검지하여 파악하며, 중앙통제실과 차량사이의 통신을 위해 무선전송 시스템을 사용함

○ 선로는 전용의 보수차량으로 점검하고 감시하는데, 보수차량에는 선로장치(stator packs, 케이블, 안내 레일)의 변화를 파악하는 감시시스템이 있음

○ 부식과 같은 표면상태를 검사하기 위해 디지털 사진 해독법을 사용하는 광학시스템이 있으며, 운행 중 센서 데이터를 평가하여 선로 특정위치의 변화를 파악하도록 함

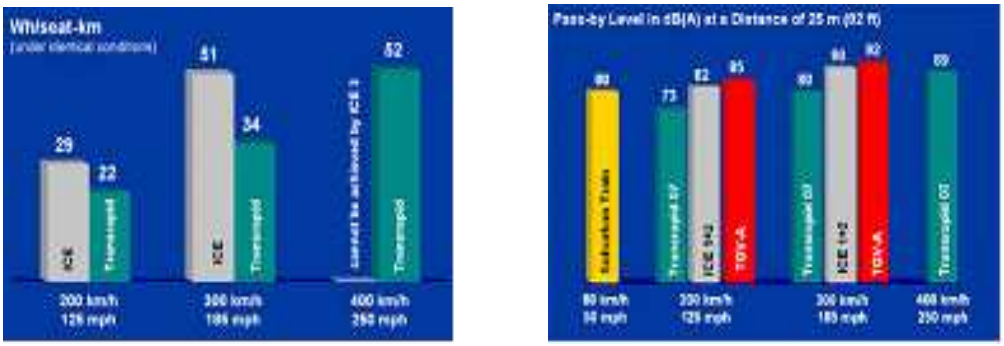


그림 9. Transrapid와 ICE의 사용 에너지 및 발생소음 비교

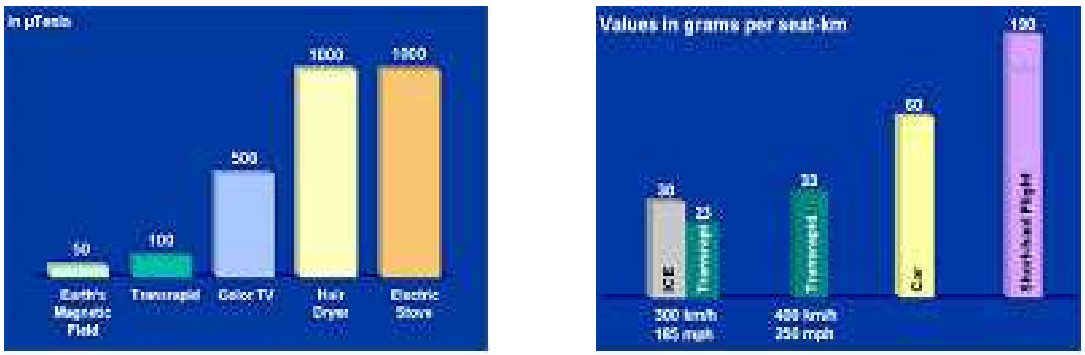


그림 10. Transrapid의 자기장 및 환경성 비교

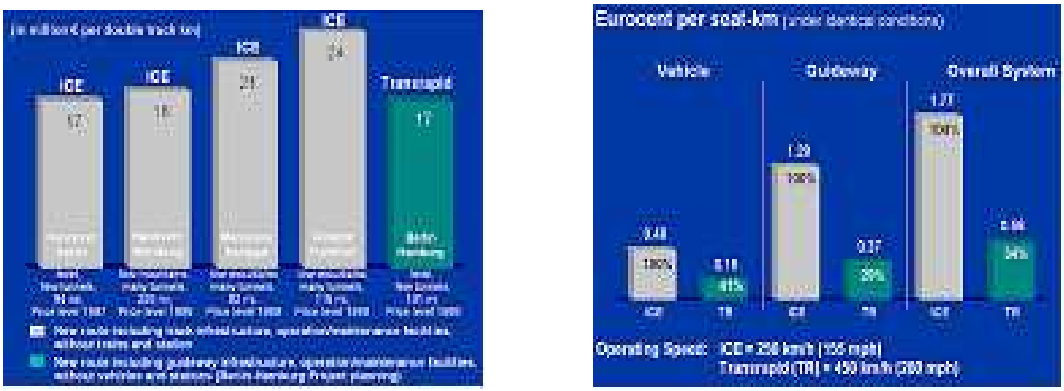


그림 11. Transrapid의 건설비용 및 유지보수비용 비교

○ 자세한 Transrapid의 시스템 구성을 살펴보면, 선로, 차량, 전력공급, 운행 제어 시스템 등 4가지 부분으로 구성됨

- 선로

· 선로는 열차를 정해진 길로 유도하는 역할뿐만 아니라, 열차의 하중을 감당하여 목표지점까지 운송하게 하는 기초 역할을 수행하며 선로상부의 구조는 긴 고정자를 정밀하게 용접시킨 강철 구조나 철근 콘크리트 구조의 지지 거더를 연결하여 이용하고 하부구조는 철근 콘크리트를 이용, 버팀과 기초의 역할을 함

· 지지거더 자체는 기계적 하중을 담당하며 전통적인 토목공사의 간단한 구조의 버팀 형교(桁橋, girder bridge)나 연속 형교의 거더부분과 똑같으며 그 상부에는 필요한 자기부상 시스템의 고정자 코일과 철심을 설치해야 하기 때문에 제조와 시공에 있어서 높은 정밀도를 요구함

· 자기부상열차와 선로간의 인터페이스 때문에 자기부상 철도의 선로는 반드시 일정한 높이로, 거더식 구조를 채택해야 하며 선로는 고가(高架)나 지형에 따라 직접 거더를 지상 (저치(low implantation)선로라고 함)에 고정시킬 수 있고, 교량이나 터널 구역에서는 교량과 터널의 기초구조가 기본적으로 완성된 상태에서 저치선로의 방식을 이용해 지지거더를 상부에 설치함

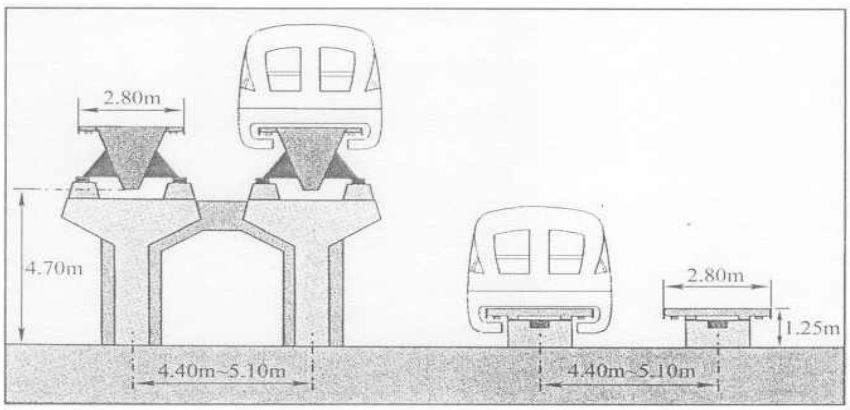


그림 12. 선로구조

· 선로의 또 다른 중요 구성 부분은 선로전환기로서 자기부상철도의 '궤도'는 강도가 상당히 크기 때문에 선로전환기의 설계와 시공이 비교적 복잡함

· 자기부상철도의 선로전환기는 수평방향으로 철제 거더에 걸쳐있기 때문에 선로전환기 측면방향은 차량속도 측면에서 견뎌야 하며 측방향 속도가 ∠200km/h로 통과하면 고속 선로전환기라 하고, 측방향 속도가 ∠100km/h로 통과하면 저속 선로전환기라 함

· 길이는 각각 148.6m와 78.4m로 구별되며 최근 ThyssenKrupp 회사가 간선 분기의 특수지역에 사용될 수 있는 초고속 선로전환기를 개발하였으며 그 측면방향 차량통과 속도는 400km/h에 달하고, 그림 2-3은 2분기 선로전환기와 3분기 선로전환기의 구조도임

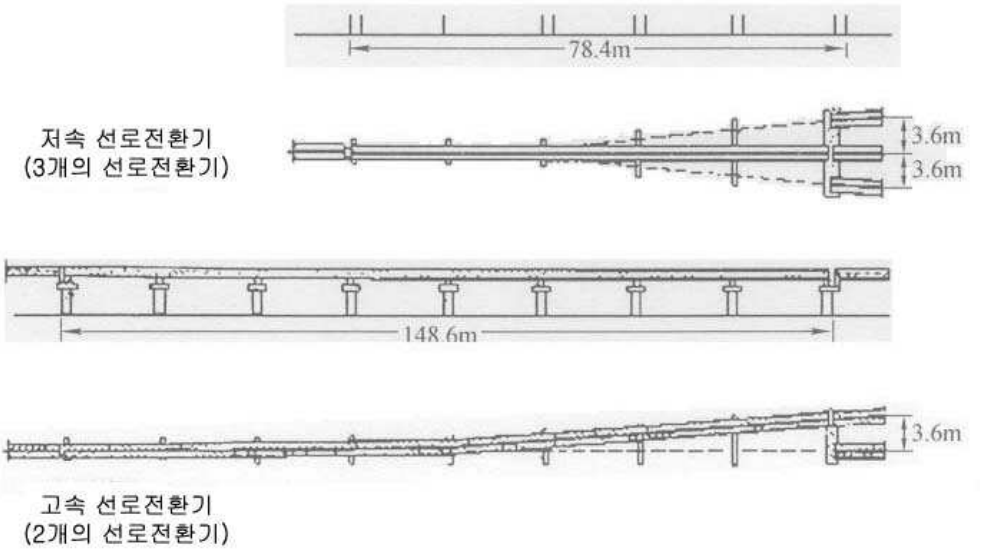


그림 13. 선로전환기 구조의 설명도



그림 14. 상하이 시범선의 3개 선로전환기

- 차량

· 차량은 고속자기부상 여객운송 시스템 중에서 가장 중요한 부분으로서 차량에는 부상 프레임 및 그 위에 설치한 전자석, 2차 부상 시스템과 객차를 포함하고 그밖에 탑재 축전지, 비상제동 시스템과 부상 제어 시스템 등의 전기설비가 있음

· 부상 프레임: 부상 프레임의 역할은 전자석을 탑재하고 열차가 순조롭게 곡선과 고갯길을 통과시키는 능력을 갖출 수 있도록 해야 하며, 각 객차마다 4개의 부상 프레임이 설치되어 있고, 부상 프레임마다 차체의 양측 밑 부분에 각각 부상 전자석이 설치되어 있음

· 인접하고 있는 두 개의 부상 프레임 사이에도 부상 전자석이 연결되어 있으며 각 부상 전자석의 양끝은 두 개의 독립된 제어 단위로 나뉘어져 있으므로 만약 전자석의 제어 단위 고장이 생기더라도 또 다른 제어 단위에 문제없이 전자석이 계속 동작할 수 있도록 제어해 주며 이것은 통상적으로 말하는 이중화 설계로서 시스템의 신뢰성을 높여 줌

· 그 밖에 부상 전자석은 차량의 양측에 밀집하여 분포해 있기 때문에 한 열차에 몇 개의 전자석이 동시에 작동하지 않더라도 남아있는 전자석으로 충분한 부상력을 제공하여 열차의 안전운행을 유지함

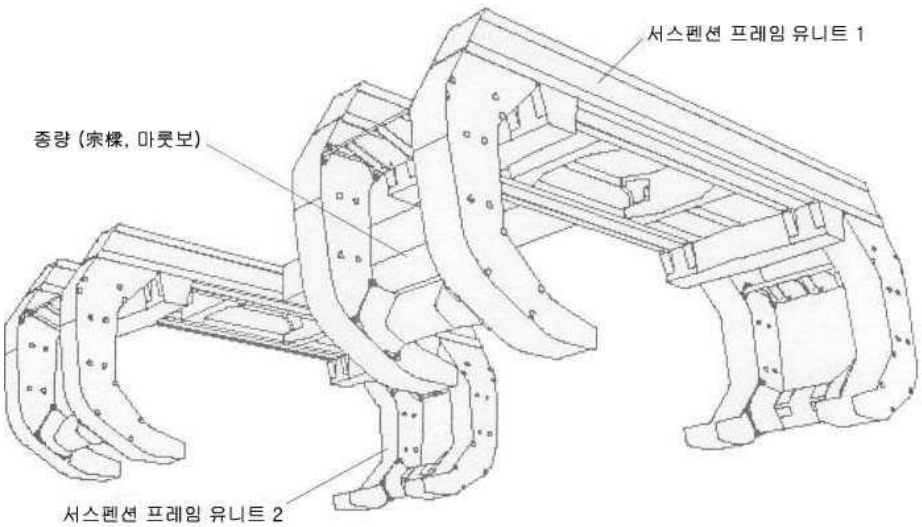


그림 15. 부상 프레임

· 부상 전자석의 설치와 대응하여 차량 부상 프레임의 측면에는 가이드 전자석이 설치되며 그 중 일부 개소(매 두 개의 전자석 프레임의 중간마다)에는 와류제동기가 설치되고 여분으로 설계되기 때문에 개개의 가이드 전자석이 고장 날 경우에도 열차운행의 중단을 초래하지 않음

· 2차 부상 시스템: 2차 부상 시스템의 역할은 객차의 하중을 부상 프레임에 전달하는 것이며 이때, 진동 감소 장치를 통해 차량이나 선로의 경계를 이루는 면 사이에서 발생하는 진동을 객차에 전달하기 전에 감쇄시키기 위하여 공기 스프링을 비롯한 진동장치와 출렁임을 방지하는 안정기를 포함하고 있고, 2차 부상 시스템은 부상 프레임과 객차 사이에서 상대적으로 수평방향과 수직방향 변위가 가능하기 때문에 곡선과 고갯길에서 열차의 운행을 가능하게 함

· 객차의 진동 감소 장치에는 두 층이 있는데, 제 1층의 진동 감소 장치는 전자석과 부상 프레임 사이의 스프링으로서 공기 스프링은 차체와 궤도 사이에 제공되어 제 2층의 진동 감소 장치의 작용을 하고 각 차의 객차와 부상 프레임 사이에 16개의 공기 스프링(각 스프링의 탑재량은 2t)을 설치함

· 열차 운행 중 측방향 풍력을 만나거나 평형 원심의 가속도가 아닐 때 객차는 좌우로 흔들리는 현상이 나타나는데 차량이 좌우로 흔들리는 것을 줄이기 위해 객차와 부상 프레임 사이의 로크샤프트(rockshaft)에 붙어 있는 팔모양의 흔들대(rocker)에 흔들림을 방지하는 안정기를 설치함

· 객차: 객차는 알루미늄소재의 거더와 샌드위치 벌집모양의 알루미늄판에 용접이나 리벳(rivet) 방식으로 만들어지는데, 각 부분은 여러 가지 소재 가운데서 가장 우수한 것을 선택하여 설계한 외형과 매끄러운 표면을 갖추고 있고, 측면의 창문은 이중의 유리로 구성되어 각각 내부와 외부로 차체에 고정돼 있음

· 앞쪽 유리는 3층 경화학으로 굳어진 움직이는 유리판으로 돼 있고 차체의 강도를 더하기 위해 차문은 차량의 끝부분에 설치되어 있는데, 차 내 부장치는 항공방제 기준에 따라 설계되어 짐

· 전기 설비: 탑재전기설비에는 부상, 가이드, 긴급제동, 탑재 제어 시스템, 조명, 에어컨디셔너 및 전원 설비 등을 포함함

· 탑재 전원은 차안에 있는 선형 발전기를 통해 전기 에너지를 얻으며 탑재 축전지에 저장되는데 열차 운행 시에 발전기 고정자 코일에서 유도전위가 생겨나고 열차가 일정한 속도(100km/h 정도)에 도달 하면 충분한 전기 에너지를 차체에 공급할 수 있는 유도전위가 생기고, 동시에 탑재 축전지에도 충전됨

· 열차가 긴급하게 정차할 상황일 때는 탑재한 전기와류 제동기를 사용하며, 부상과 가이드 제어 시스템은 전자석과 궤도 사이의 정상적인 갭을 유지할 수 있도록 함

· 자기부상열차의 조립부품 대부분은 전기·전자장치로 설계되어있고 여분의 설계를 충분히 하여 차량운행의 신뢰성을 크게 높이며 그 밖에 부품 대부분은 모듈화로 설계되어있기 때문에 교체가 편리함

· 고장진단 시스템이 고장난 부품을 모니터링하면 신속하게 교체 할 수 있고 단시간 안에 수리가 가능하기 때문에 시스템의 이용효율이 높음

- 전력공급 시스템

· 전력공급 시스템에는 변전소, 외부 전력공급 케이블, 스위치 터미널 및 기타 전력공급 설비를 포함함

· 자기부상열차 전력공급 시스템은 지상에 긴 고정자 코일을 통해 열차운행에 필요한 전기 에너지를 제공하는데 먼저 110kV의 전력망으로부터 AC 고압전류를 끌어들려 감압변압기를 통해 20kV나 1.5kV까지 내린 후, 정류기로 통하여 DC로 변화시키고 다시 인버터로 0~300Hz의 교류전류로 바꿔 전압을 높인 후 전력 케이블과 스위치 터미널을 통해 선로상의 긴 고정자 코일에 공급되어 고정자와 탑재 전자석 사이의 견인력(traction)을 형성함

· 변전소: 변전소 내에 고압 AC전류의 감압과 정류, 그리고 다시 역으로 0~300Hz의 AC전류로 변환시키기 때문에 변전소 내 설비에는 감압변압기, 정류변압기, 정류기, 인버터 및 입력변압기가 있음

· 변전소는 일반적으로 선로 옆에 설치되어 있고 한 선로에 여러 개의 변전소를 설치하는데 매 변전소는 양 옆의 선로구역에 전력을 공급하며 두 개의 변전소 사이에 있는 선로는 단지 한 열차밖에 운행할 수 없기 때문에 변전소의 거리에 따라 실제로 전 구간의 열차운행밀도를 제어하

고 있음

· 전력공급 케이블: 전력공급 케이블은 견인 전동기에 대한 긴 고정자에 전력을 공급하는데 쓰이며 매 자기부상선로에는 2조나 3조의 상호 독립된 3상 케이블이 있어 선로 양측의 긴 고정자에 전력을 공급함

· 스위치 터미널: 스위치 터미널은 선로를 따라 분포해 있고 동일한 전력공급 구간의 전동기 지상 고정자는 몇몇 작은 구간(수백미터)으로 나누어져 있으며 열차가 통과할 때마다 번갈아 switching 된다. 스위치 터미널의 설치 목적은 고정자 구간에서 공급할 전류의 전력손실을 줄이기 위함이며 그 설치 거리는 기술과 경제 분석에 근거하여 확정함

· 기타 전력공급 설비: 긴 고정자에 대한 전력공급 이외에 관련 선로전환기, 데이터 전송 안테나, 정류장 혹은 정차소의 정지열차 등에 대해서도 전력공급이 필요함

- 운행 제어 시스템

· 운행 제어 시스템은 모든 자기부상 교통 시스템에 대한 정상운행을 근본적으로 보장해야하며 안전보호, 제어, 집행 및 계획을 위한 H/W를 포함해 H/W 사이의 상호 통신으로도 사용됨

· 자기부상열차의 고속과 안전한 운행을 보장하려면 운행 중의 차량이나 선로의 상황에 근거해 언제든지 운행계획을 조정할 수 있어야 하며 운행 중의 각종 돌발 사고에 대해서도 신속하게 대처하여야 하므로 열차의 운행 제어는 반드시 자동화로 진행되어야 함

· 운행 제어 센터: 운행 제어 센터는 운행계획을 조정하고, 운행차트의 편성을 담당하는 곳이며 또한, 선로조건에 근거하여 계획에 따라 열차를 발차하는 곳이기도 함

· 고장이나 충돌이 생길 때, 상황의 변화에 따라 계획을 바꾸거나 무산시키고 예정계획과 실제운행 상황을 비교하여 모든 시스템의 최적화 운행을 실현시키며 계획의 정상적인 수행을 보장하기 위해 제어센터는 데이터 전송장치를 통해 부속분산 제어 시스템으로부터 각종 정보를 얻어 분석하고 운행 조정계획을 수립하며 아울러 운행 제어 센터는 각종 기술 데이터의 저장과 업그레이드된 통계를 분석하고 고장을 진단하는데도 관여하고 그 밖에 승객에게 열차운행 정보를 알려주는 역할도 수행함

· 분산 제어 시스템: 분산 제어 시스템은 열차의 제어와 운행에 직접 관여하고 해당 구역 내 열차의 운행안전을 보장하며 해당 구역의 각종 장비 상황에 대해 감독, 제어, 보호하는 기능을 하며, 각종 정보는 운행 제어 센터에 전달되어 비계획된 상황에서 운행 제어 센터의 지시대로 집행하고 장비 상황과 열차운행에 대해 인위적으로 관여함

○ 자기부상열차의 운송능력은 매 차량의 정원, 열차편성, 발차간격 및 매일 열차시간에 맞추어 보낼 수 있는지에 따라 결정됨

○ 바퀴식 교통 시스템의 운송능력은 일반적으로 정거장 분포와 혼잡구간에 따라 제한을 받는데, 운행 차트 주기나 열차추종 시간에 의해 결정되며 마찬가지로, 자기부상 시스템의 변전소 간격, 운행속도는 정차구역의 운행방식과 정거장 시간 등, 자기부상 시스템에 대해 최소 추종시간이 열차에 결정적인 영향을 줌

○ 여기서 언급한 정차구역 운행 방식은 열차가 드나드는 역의 속도 제한을 가리키며 이것은 열차사이의 허용시간 간격과 여행 시간에 대해 중요한 영향을 미침

○ 안전 운행의 요구에 따라, 자기부상열차의 추종 시간 간격에 다음 상황을 포함함

- 구간열차 최소 추종시간 간격

- 전방열차가 간선 정차역일 때의 추종시간 간격

- 전방 측선 정차시의 열차 추종시간 간격

- 열차가 정거장에서 나오는 추종시간 간격

○ 실제운행중의 열차 추종시간 간격은 상기 언급한 각 사항의 추종시간 간격에 대한 요구를 동시에 만족시켜야 하며, 추종시간 간격은 다음의 기술 매개변수에 의해 결정 됨

- 열차의 가속과 감속의 특성은 즉 가속도와 제동 감속도의 한정치임

- 열차의 정상 운행의 최고속도

- 선로전환기 허용 통과 속도

- 정거장 전력공급 지역과 구간 전력공급 지역의 길이

- 역내의 정차가 위치할 곳은 차량의 앞부분이 역에 들어오는 선로전환기 끝부분의 거리임

○ 자기부상철도의 통과능력은 매일 특정 단면을 통과하는 열차의 대수(對數)나 열수(列數)이며, 고속여객 전용선에 대해 여행속도를 보장하기 위해서는 일반적으로 복선궤도를 채택하고, 통과능력은 매일 매 방향에 통과할 수 있는 열차의 열수임

○ 수송능력은 교통 시스템 설계 중에서 가장 중요한 지표이며, 통과능력에 대한 일정한 조건하에서 열차 편성 차량수와 매 차의 승객 탑승 능력에 따라 수송능력이 결정됨

○ 고속 여객운송 시스템의 설계는 시장 수요로부터 출발하는데 여행객의 여행시간을 가능한 줄여야하기 때문에 일반적으로 소편성과 고밀도의 원칙을 따름

○ 현재 이미 상용화 중인 Transrapid는 유럽의 인문사회 환경을 충분히 고려하여 10대로 편성하는 것이 충분히 시장의 수요를 만족시킨다고 보고 있으며 따라서 자기부상시스템은 현재 10대를 최대 편성으로 잡고 있음

○ 자기부상철도의 수송능력을 반영하는 또 다른 중요 요소는 매 차량의 정원으로서, 독일의 TR08 자기부상 차량 내 폭은 3.43m이고, 자리 편성은 일등석이 4석/열, 이코노미석이 6석/열로 되어 있으므로 자기부상열차의 차체가 비교적 넓어 휠 트랙 고속 차량보다 더 많은 좌석을 설치할 수 있음

○ 또 다른 관점에서 보면, 교통 시스템 설계 시, 여행 시간이 비교적 짧을 때, 승차공간크기에 대한 사양을 적당히 줄일 수 있는데, 예컨대, 속도가 비교적 빠른 비행기에서 1인당 평균 차지하는 좌석공간은 휠 트랙 고속 철도의 상응치보다 작으며, 이 논리대로 자기부상열차는 속도가 비교적 높기 때문에 여행시간을 현저히 줄일 수가 있게 되므로, 촘촘한 좌석이 적당할 수 있고, 이 원리는 열차의 길이를 늘이지 않은 상황에서 약 10%의 정원을 늘릴 수 있음

○ 초고속 자기부상열차에 있어서 에너지 소모는 매우 중요함

○ 고속 운행 조건에서 공기항력은 열차가 받는 항력 중에서 가장 크며 공기항력은 속도의 제곱과 정비례하여 운행속도의 향상에 따라 공기항력이 빠르게 증대 되고 열차의 에너지 소모도 확실히 늘어나기 때문에 고속자기부상 철

도 운송 에너지 소모의 영향에 대한 운행속도를 반드시 분석하여 자기부상 철도 건설 항목의 기술경제 분석을 위한 증거로 제공함

○ 독일은 최대속도에 대한 기술적 제한은 거의 없으나, 더 높은 속도를 위해 필요한 비용에 이익이 비례하는 것은 아니기 때문에 가장 큰 속도제한 항목으로 경제성을 꼽았음

○ 독일이 500km/h를 운행속도로 설정한 이유는, 1일 여행권으로 환승구간이나 목적지에서 최소 6시간의 체류와 3시간 이하의 여행시간을 갖도록 하는 독일 연방정부의 요구에 따라 Transrapid 시스템 개발은 400km/h의 설계속도를 기초로 하였음

○ 독일의 자기부상열차 시험소인 TVE(Transrapid Versuchsanlage Emsland)는 자기부상열차에 있어서 세계에서 가장 큰 시험 시설이며, TVE에서 Transrapid 기술을 상용운행과 가까운 조건하에서 계속 시험하고 있음



그림 16. 독일 TVE 시험소 공장(Test Center)

○ 연장 31.5km의 TVE 시험선은 남북으로 길게 건설되어 있으며, 선로의 남북쪽 양 끝에 루프가 있고 두 루프가 12km의 직선 선로로 연결되어 있는 형태로 선로전환기는 2개의 루프에 1개씩, 시험소로 연결되는 유치선과 직선 선로와의 교차점에 1개, 모두 3개가 설치되어 있음

○ 선로는 시험을 위하여 18가지 방식으로 구분 시공되었으며, 선로마다 승차감, 진동, 소음 내역이 다름

표 2. TVE 시험소 사양

총길이	31.5 km (19.5 mile)
직선 구간	12 km
북쪽루프의 곡선반경	1,690 m
남쪽루프의 곡선반경	1,000 m
캔트	9 ~ 12 도

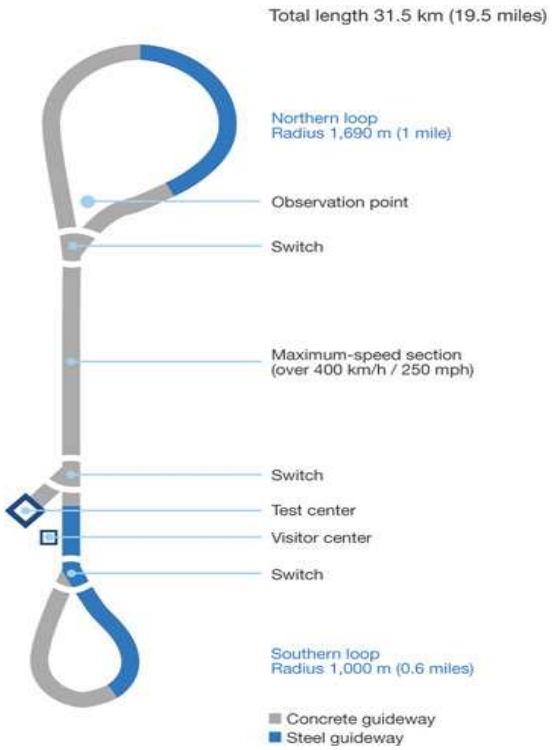


그림 17. TVE 시험선

2. 일본의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 기술 개발 배경 및 현황

- 일본은 토카이도 신칸센 노선(도쿄～오사카)의 포화로 대체선로의 필요성이 증가하면서 추오 신칸센 계획을 수립(신칸센 철도정비법 제4조)하고, 1970년도부터 500km/h 이상의 초고속 자기부상철도에 대한 연구개발을 진행함

- 국가 대동맥으로서 지진 등에 의해 차단되는 경우 국가 전체의 사회, 경제 활동에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 생각하고, 재해시의 대체 보완 방법을 확보하기 위해 추오 신칸센을 구축함으로서 토카이도 신칸센과 이중화시켜 지진 등의 재해에 대한 위험 분산이 가능하도록 국가적인 차원에서 추진함

- 1962년 리니어모터에 의한 추진시스템의 조사를 시작으로 당시 JR부설연구소에 초고속철도연구회를 설치하고, 종래의 바퀴식 철도의 속도 한계를 극복하기 위한 다양한 추진방식에 대한 조사 및 모의실험과 함께 차량의 지지를 위한 공기부상, 영구자석 또는 초전도 자석에 의한 반발식 자기부상 등의 기초 연구를 시작함

- 이러한 기초연구를 통하여 초고속 자기부상열차를 구현하기 위한 기술로서 초전도 반발식 자기부상방식으로 결정하였고 1970년 당시 일본 교통성의 지원하에 본격적인 연구개발에 착수함

- 1972년에는 초전도 자기부상 LSM(Linear Synchronous Motor) 추진 실험차인 LSM200과 초전도 자기부상 LIM (Linear Induction Motor) 추진 실험차인 ML100으로서 자기부상주행실험에 성공함으로서 초전도에 의한 초고속 자기부상 열차의 실현 가능성을 확인함

- 1977년에는 500km/h의 주행가능성을 확인하기 위하여 미야자키현에 길이 7km의 실 규모에 가까운 시험선을 건설하고, 시험차인 ML500에 의한 주행 시험을 실시하여 1979년에 목표 최고속도인 500km/h를 초과한 무인 517km/h의 속도를 달성함

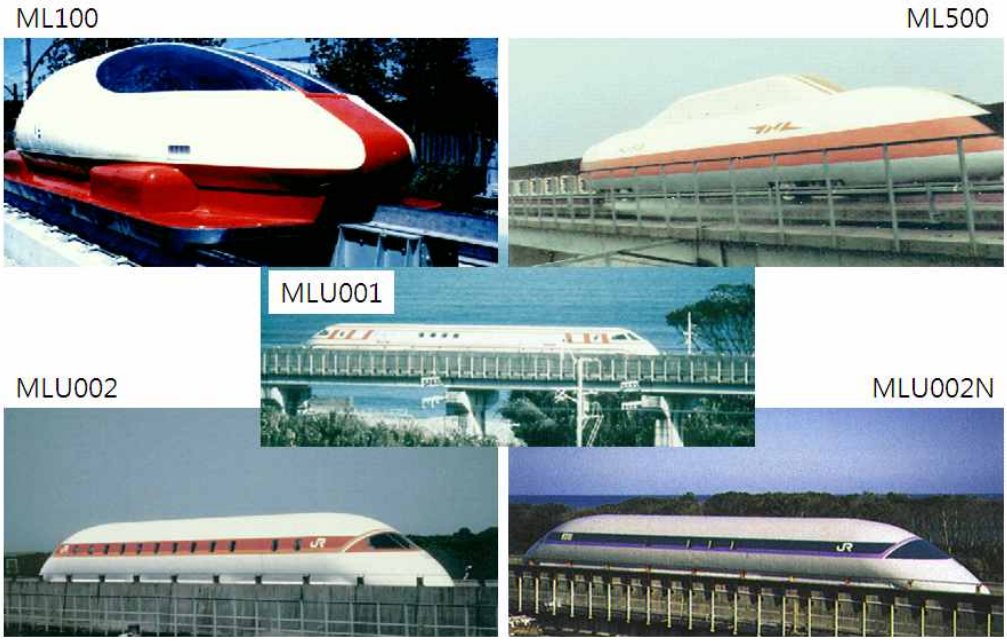


그림 18. 일본 초고속 자기부상열차 시제 차량

- 또한 효율적인 추진 및 부상 안내 방식을 개발하여 가이드웨이 단면형상을 역T에서 U로 개조하고, 승객의 탑승이 가능하도록 실제 차량에 가까운 유인형 시험차인 MLU001, MLU002, MLU002N을 제작하여 2량 또는 3량 편성 주행에 따른 승차감등의 시험을 실시함

- 차량개발와 함께 또한 분기기의 연구, 초전도 마그넷 및 냉각시스템 성능평가, 비접촉 집전장치 및 전력공급장치 특성평가 등 실제 운행 차량과 궤도의 설계를 위한 데이터를 확보함

- 1996년에는 야마나시 시험선을 건설하고 실제 주행 환경에서의 시제차량에 대한 신뢰성 및 내구성 평가, 공력특성 개선, Cost 저감 등 초전도 자기부상열차의 실용화를 위한 기술개발을 진행함

- '야마나시 시험선은 당초 42.8km 규모의 시험 구간을 계획하였으나 용지매수지연, 주행시험의 조속시행의 필요성 등으로 인해 18.4km구간을 우선건설 하였으며, 시험차량(MLX)은 전두부 형상을 달리한 3종의 선두차량과 표준 및 장대 중간 객차를 3량 또는 5량 편성하여 1997년부터 주행시험을 개시하여 현재에 이르고 있음

○ 초전도 자기부상열차의 원리 및 주요 기술

- 일본의 초고속 자기부상열차는 지상코일과 차상의 초전도 자석 사이에 작용하는 전자기력에 의한 반발력으로 열차를 부상시키고 선형동기전동기(LSM : Linear Synchronous Motor)방식으로 열차를 추진시킴

- LSM은 선형유도전동기 (LIM : Linear Induction Motor)에 비해 효율 및 출력특성이 뛰어나기 때문에 고속주행용에 적합하며 독일의 Transrapid도 LSM에 의한 추진 방식을 적용하고 있음

- 일본의 LSM 방식은 차량에 탑재된 초전도 마그넷에 의해 추력에 충분한 공극자속밀도를 만들 수 있기 때문에 철심이 없는 공심형 1차 계자코일을 사용하고 있으며 이 때문에 궤도의 경량화가 가능한 장점이 있음

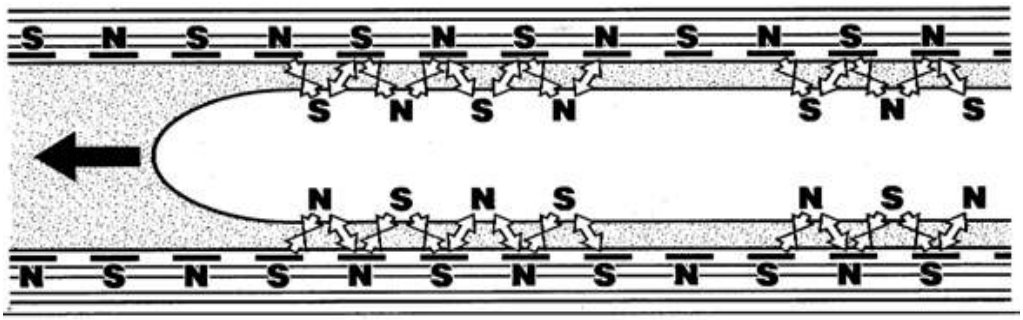


그림 19. LSM 방식에 의한 추진 원리

- 독일의 초고속 자기부상열차(Transrapid)와 구별되는 일본의 초고속 자기부상열차의 가장 큰 특징은 EDS (Electro-dynamic Suspension)방식에 의한 부상 및 안내 원리에 있음

- EDS 방식이란 마그넷을 코일에 가까이 할 때 코일과 마그넷사이에 발생하는 로렌쯔 힘에 의한 반발력을 부상력으로 이용하는 원리로서 마그넷을 탑재한 차량이 코일이 설치된 지상궤도를 따라 주행함으로서 부상력을 얻음

- 독일식에 비해 부상과 안내를 위한 별도의 제어장치가 필요하지 않으며 부상 간격이 100mm이상으로 충분히 크기 때문에 주행 신뢰성이 뛰어남

- 충분한 부상력을 얻기 위해서는 바퀴식으로 일정 속도 이상으로 주행시켜야 하며 차량에 강력한 자기장을 만들 수 있도록 초전도 마그넷의 탑재가 필요함

- 안내는 궤도 양측면에 안내용 코일을 Null Flux방식으로 연결하여 차량의 초전도마그넷과 궤도에 근접하는 측면에서는 반발력이, 멀어지는 측면에서는 흡인력이 작용하도록 함으로서 안내를 유지하도록 함

- 미야자키 시험선에서는 별도의 안내코일을 두었으나 야마나시 시험선에서는 8자형 지상코일이 부상 및 안내를 겸하고 있으며, 현재에는 궤도건설비용 저감을 위하여 추진, 부상, 안내가 하나의 코일에서 가능한 일체형 코일시스템을 개발 중에 있음

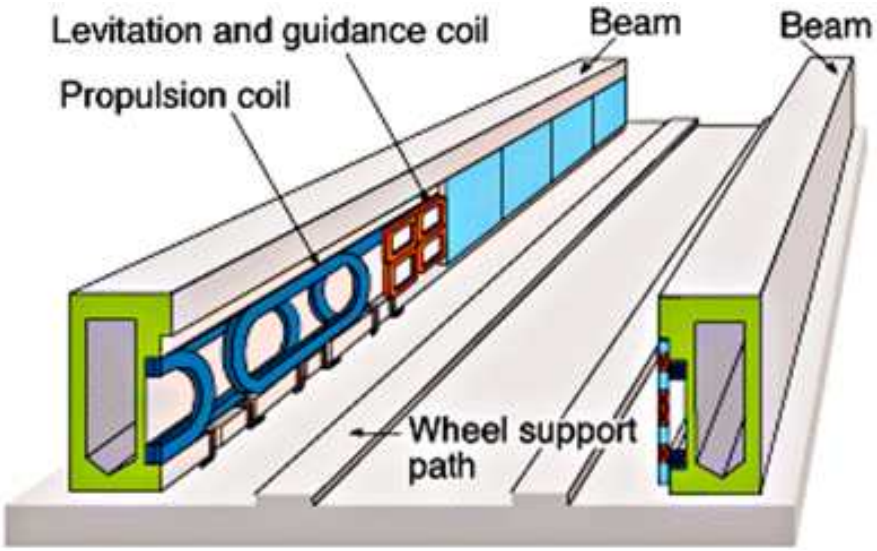
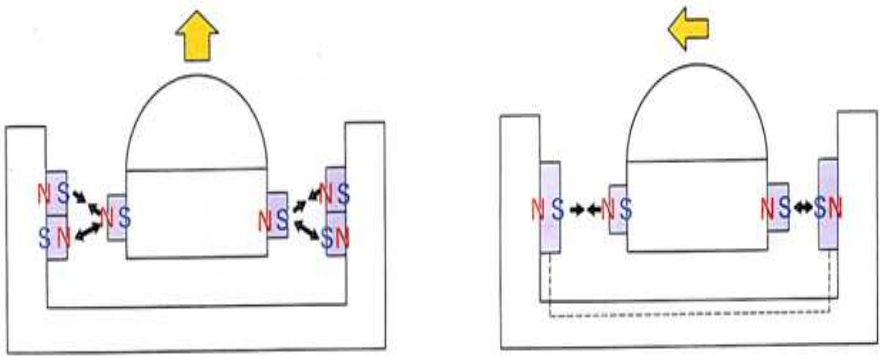


그림 20. 추진 및 부상・,안내 코일 배치



(a) 부상 (b) 안내

그림 21. 부상 및 안내 원리

- 차량에 탑재되는 초전도 마그넷은 초전도체 현상에서 나타나는 영구전류 운전모드에 의해 외부 전원의 공급 없이도 강력한 마그넷 작용이 가능한 특징이 있음

- 초기 시제 차량에 탑재된 초전도 마그넷은 초전도 MRI에 상용화 되어 사용 중인 니오브티탄(NbTi) 금속합금계 초전도 선재를 사용하고 영하 269도까지 냉각시키기 위한 액체 헬륨 냉각시스템을 사용하는 저온초전도 마그넷으로 개발함

○ 실용화 주요 기술 개발

- 1990년도에 수립된 초전도자기부상방식철도기술개발기본계획에 따라 제1기에서는 기본성능 및 종합성능시험 위주로 진행되었고 제2기부터 현재까지는 고속 반복 주행 시험을 통한 신뢰성 및 내구성의 검증 위주로 진행되고 있음

- LSM 추진을 위하여 변전소로부터 공급되는 구분전원공급장치의 신뢰성 시험, 대피·추월 등의 제어성능을 검증하는 복수열차제어시험 등, 영업선에서 필요로 하는 각종기능이 검증되었음

- 특히 열차가 서로 지나칠 때의 차량운동을 검증할 목적으로 상대속도 1,026km/h의 교차주행을 실시하여 영업선의 500km/h에서의 차량 교차 운행어서도 문제가 없다는 것이 확인됨



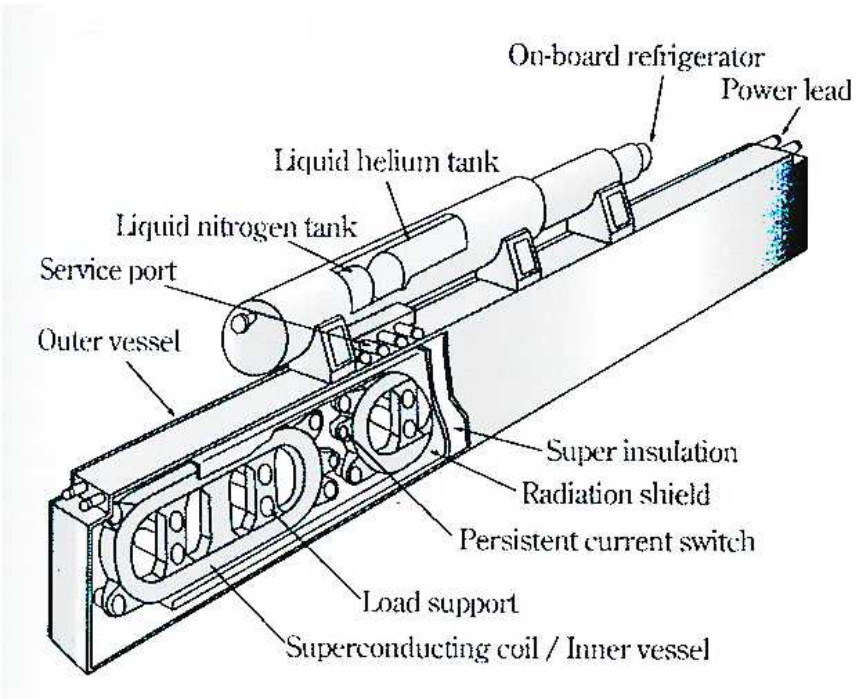
그림 22. 1,026km/h 교차 주행 시험 모습

- 이 외, 장대편성의 중간차의 차량운동을 검증하기 위해 5량 편성 주행시험도 실시하여 552km/h를 기록하였고, 2003년 12월 2일에는 영업속도 및 야마나시실험선의 설계최고속도를 크게 넘는 581km/h를 기록함

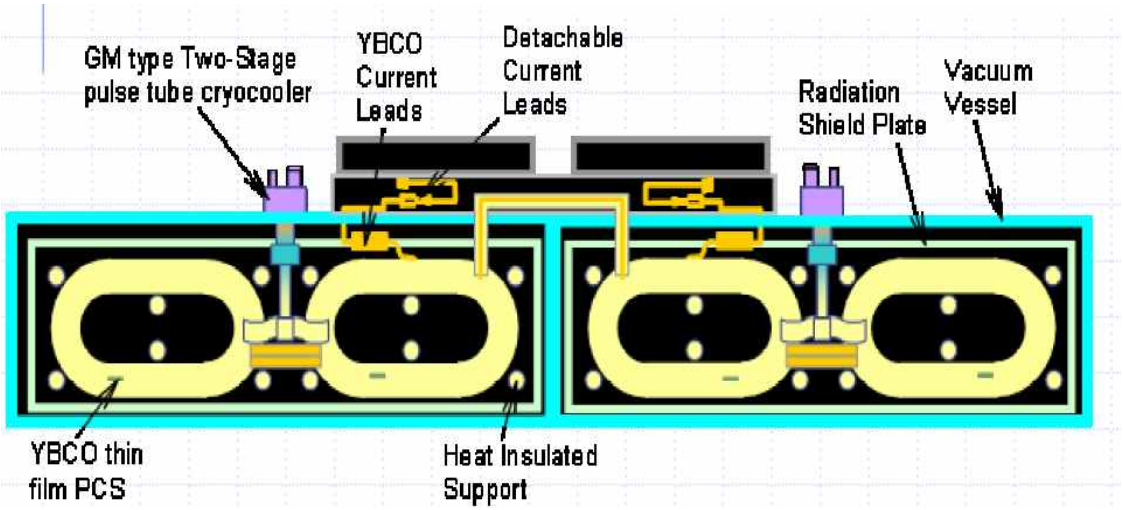
- 기존 영업선은 1편성당 1일의 평균주행거리를 2,500km정도로 상정되지만, 이것을 넘는 2,876km/일의 주행거리(야마나시실험선을 89왕복주행)을 기록하여, 충분한 신뢰성·내구성을 보유하고 있는 것을 확인함

- 또한 영업선에서 각종 이상상태가 발생하는 것을 가정한 특수시험으로서 주행불능이 된 편성을 별도의 편성에 연결해서 주행하는 구조차 연결주행시험, 차량의 저속 주행시 사용하는 고무타이어가 펑크가 났거나 부상지지장치의 상태가 좋지 않을 경우 외접 보조륜 및 긴급착지륜 등에 의한 부상착지주행 시험, 차량에 낙뢰가 떨어졌을 때의 영향을 확인하는 낙뢰시험등을 실시하여 어떠한 시험에서도 성능에 문제가 없다는 것이 확인됨

- 2005년에는 초전도 마그넷의 비용절감을 목적으로 액체 헬륨 냉각 방식을 적용하지 않는 세라믹계 고온초전도체(BSCCO)를 사용한 마그넷을 개발하여 차량에 탑재, 최고속도 553km/h의 주행시험에 성공함



(a) 저온 초전도 마그넷



(b) 고온 초전도 마그넷

그림 23. 초전도 마그넷 구조

표 3. 초고속 자기부상차량용 초전도 마그넷 제원

	고온초전도 마그넷	저온초전도 마그넷
코일수	4 개	4 개
기자력	750kA	700-750kA
코일크기	1.070 X 500mm	1.070 X 500mm
코일 직선부 길이	570mm	570mm
코일정격전류	544 A	500A
코일 턴수	1,380	1,400-1,500
초전도체	BSCCO	NbTi
전류감쇄율	<1%/day	<0.1%/day
냉각온도	<20 K	4.2 K
냉각방식	전도냉각	액체헬륨냉각

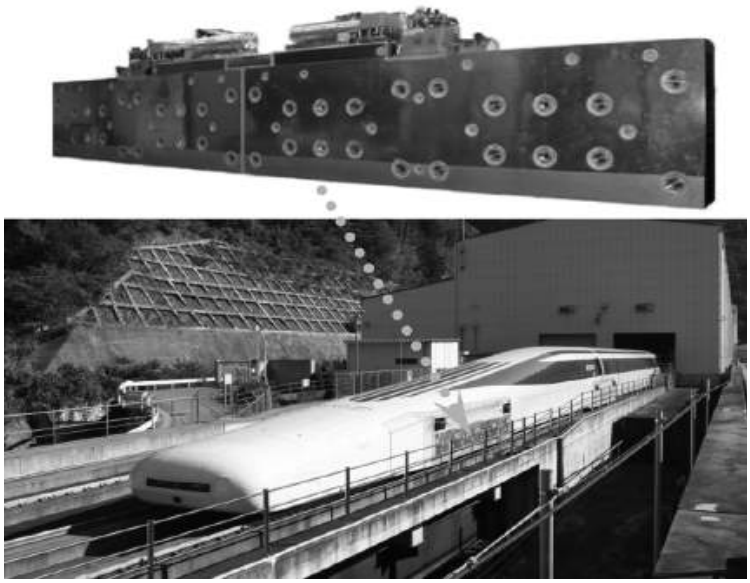
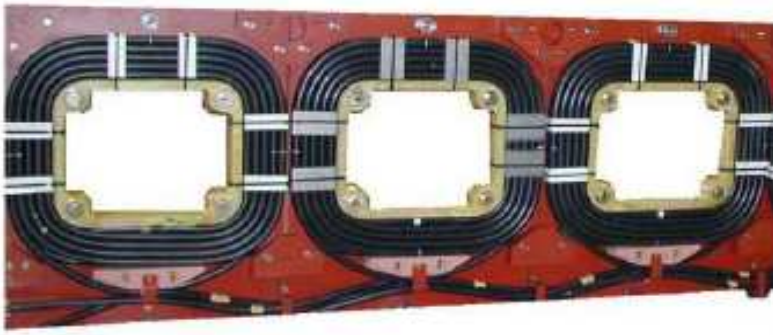


그림 24. 고온 초전도 마그넷 탑재 주행 시험 모습



(a) 신형 가이드 웨이



(b) 케이블형 지상코일

그림 25. 신형 가이드 웨이 및 지상코일의 개발

- 지상 가이드웨이는 자립식(Free-standing RC) 가이드웨이로서 단면이 역T 형상으로 자립이 가능한 프리캐스트구조의 측벽으로 되어있고 그 체결구조에 대해서 개량을 행한 것으로서 본체중량의 경감에 의한 작업성(시공성, 보수성)의 향상 및 비용 절감이 가능함

- 지상코일은, 종래 2층의 추진코일과 부상안내코일을 가이드웨이에 부착한 구성으로 되어있지만, 비용 절감을 위해 일체형지상코일과 케이블형 추진코일을 개발함

- 일체형지상코일은 추진코일과 안내부상코일을 일체 성형하는 것으로 코일의 수량을 줄이고, 설치비용의 절감이 가능하고 케이블형추진코일은, 전력케이블을 사용함으로서 제작비용을 줄일 수 있음

- 전력변환기에는 전력변환소자로서 GTO(Gate Turn Off)사이리스터를 이용하고 있지만, 전력변환기의 건설 및 운전비용의 절감을 목적으로 설비의 소형화, 저손실화가 가능한 전력변환소자를 이용한 고효율전력변환기를 개발함

○ 야마나시 시험선 개요

- 건설년도 : 1996년

- 위치 : Sakaigawa ~ Akiyama

- 노선길이 : 18.4km(12.8km 이중 트랙)

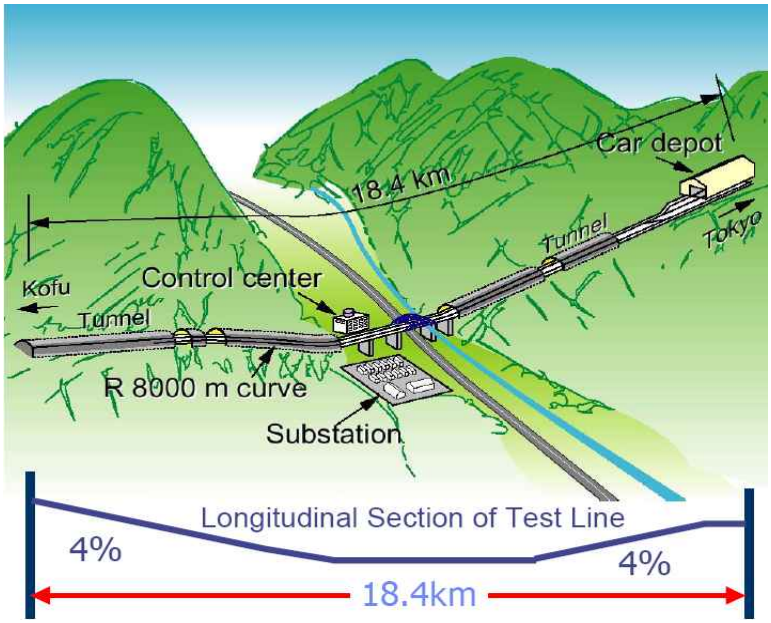
- 터널 구간 길이 : 16.0 km

- 교각 구간 길이 : 2.4 km

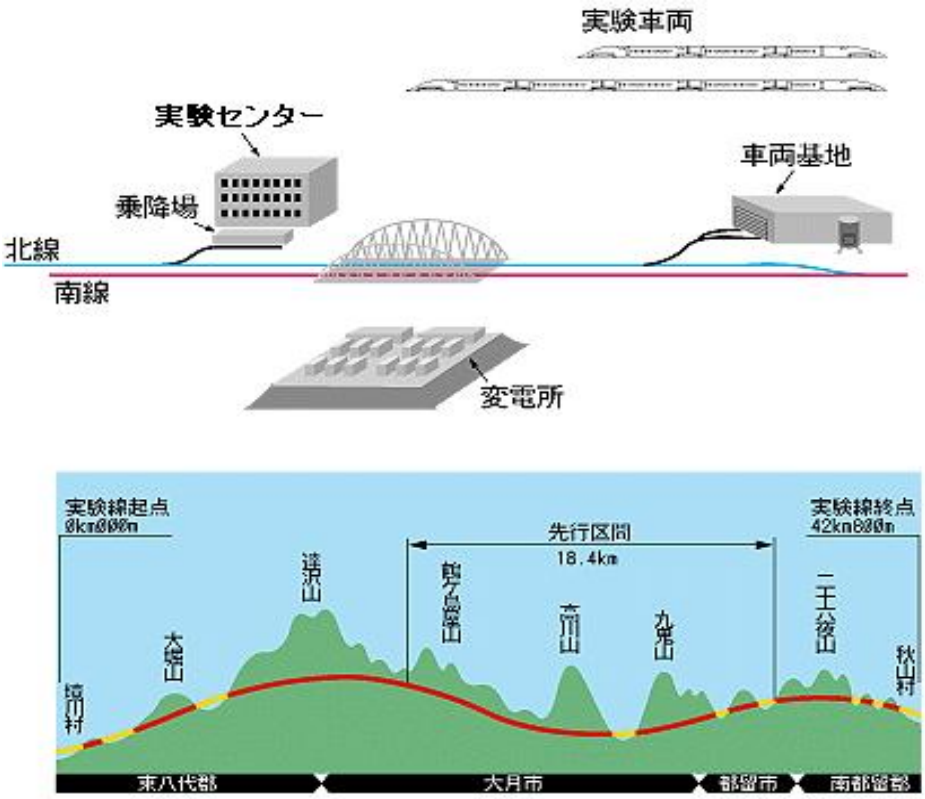
- 커브반경 : 8 ~ 20 km

- 최대 구배 : 4%

- 관제소 및 급전소 각 1개소



(a) 선행 노선 구간



(b) 시험선 구성 설비 및 전체 노선

그림 26. 야마나시 시험선 개요

- 야마나시 시험선에서는 시속 500km/h 이상의 운행 속도를 가지는 초전도 자석을 사용하는 초고속 자기부상열차의 시험을 수행하고 실제 주행 환경에서의 시제차량에 대한 신뢰성 및 내구성 평가, 공력특성 개선, 비용 저감 등 실용화를 위한 기술개발 진행함

- 시험은 크게 제1기 시험기간(1997~1999)과 제2기 시험기간(2000~2004)으로 나누어지며 시제편성차량에 대한 장기신뢰성의 평가를 비롯하여 실용화에 요구되는 다양한 기술 및 구성품의 개발을 중심으로 진행됨

- 2003년에는 3량 편성 MLX로서 유인 세계최고기록인 581km/h의 주행속도를 달성

- 2004년도 말에는 8년에 걸친 야마나시 시험선에서의 기술개발성과에 대해서 일본 국토교통성 산하 '초전도 자기부상식 철도 실용 기술 평가위원회'에서『초전도자기부상식철도에 대해서 실용화의 기반기술이 확립되었다』는 최종 평가를 내림

- 야마나시 시험선에서의 연장시험과 노선 변경에 관한 계획을 담은「초전도자기부상식 철도기술개발 기본계획」과 「초전도자기부상식철도 야마나시실험선 건설계획」을 국토교통성으로부터 승인받음

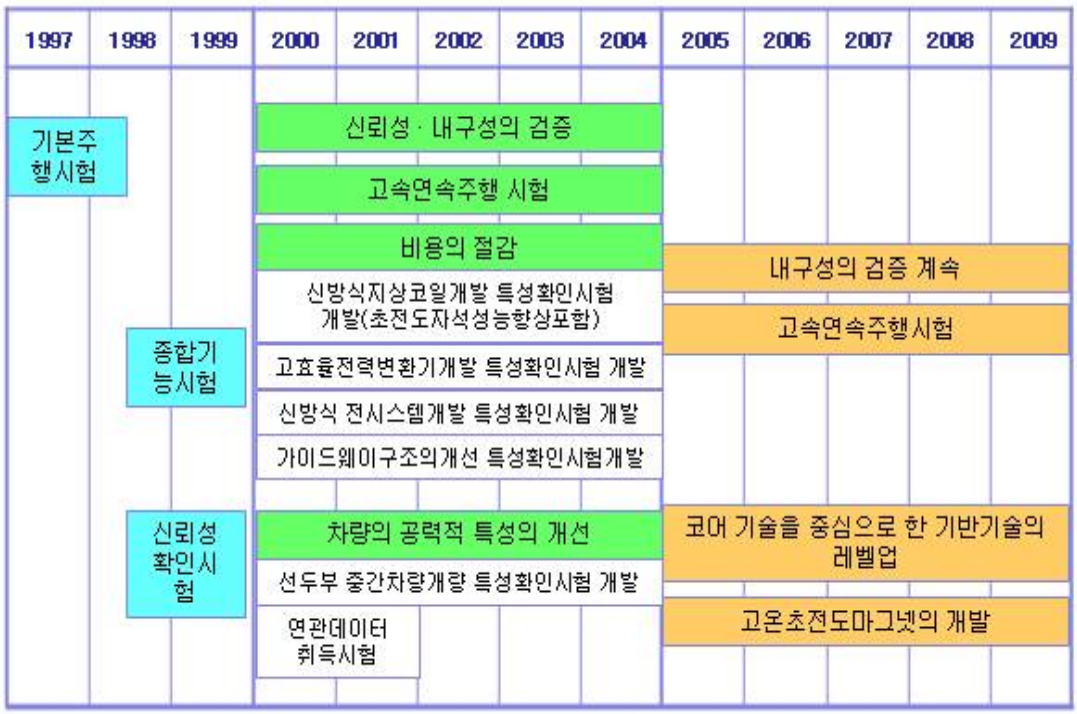


그림 27. 야마나시 시험 추진 성과 및 계획

- 2005년도부터 2009년도까지 5년 더 연장하여 실용노선에 투입될 차량의 장기내구성에 대한 검증과 영업선에 적용할 설비사양의 검토 실시예정
- 2006년에는 현 야마나시 시험선을 당초 계획구간인 42.8km로 연장 건설하기로 발표함

○ 추오 신칸센 개요

- 도쿄와 오사카 간 약 500km 구간을 초전도 자기부상열차로 약 1시간 내에 주파하는 노선 계획이며, 전체노선 중 1단계 우선사업으로서 도쿄에서 나고야까지 약 290km 구간을 2025년까지 건설 완료하는 것을 목표로 함
- 전체 노선에서는 Tokyo, Kanagawa, Yamanashi, Nagano, Kifu, Aichi, Mie, Nara, Osaka 등 9개 역이 예정되어 있으며 야마나시 시험선이 이 노선의 일부로 포함되어 건설됨
- 공사비용은 170억~180억 엔/km 정도로, 전체 약 7조 7,000억~9조 2,000억 엔이 소요될 것이며, 차량의 경우에 8억 엔/량 정도로 전체 차량 비용은 6,000억~7,000억 엔 정도 될 것으로 추산

표 4. 리니어 신간선과 기존신간선의 비교

구분	리니어신간선(A)	신간선(B)	A/B
최고속도(km/시간)	500km	300km	1.7
운행시간(도쿄~오사카)	1시간	2시간 30분	0.4
수송능력(열차당)	900명	1,345명	0.7
수송능력(단방향/시간)	1만명	1.5만명	0.7
수송능력(1일)	25.3만명	38만영	0.7
비용(억 엔/km)	154～184억 엔	118～140억 엔	1.3
차량크기	높이 : 3.3미터 차폭 : 2.9미터	높이 : 4.0미터 차폭 : 3.38미터	0.8
차량중량	23톤	37.5톤(700계)	2.6
구배	4%	1.5%	2.6

○ 추오 신칸센 실용화 추진 전망

- 그간 일본정부에서 1965년 이후 리니어 신간선의 연구비를 계속 부담하고 있고, 기술적인 문제는 해결된 것으로 판단함
- 실용화에 있어서는 기술적인 문제보다는 비용이 큰 문제로 현재 도쿄~오사카구간의 수송수요는 1일 철도수요는 24만 명, 도로 12만 명, 항공 7만 명인데 결국 항공수요가 리니어 신간선으로 이전되어야 경제성이 확보될 것으로 전망함
- 앞으로 새로운 여건변화에 맞게 추진논리를 세련화 시키고, 실용화를 위한 재원조달 등의 문제가 구체적으로 검토 중에 있음

○ 일본의 경우 추오 신칸센 건설에 따라 다음과 같은 국가적 효과를 예상하고 있음

- 최대의 이점은 고속성에 있으며 도쿄~오사카간의 1시간대로 연결함으로써 정치, 경제 및 국민 생활에 1일 행동권이 확대가 가능할 것으로 예상함

(예를 들면 오사카 사람이 도쿄돔에서 프로야구 야간게임을 마지막까지 관전하고 오사카에 있는 자기 집으로 그날로 귀가하는 것, 또는 도쿄 사람이 오사카에서 늦은 밤까지 거래처 사람과 비즈니스를 하여도 그날 밤 귀가가 가능)

- 최대 경제 파급 효과는 건설에 따른 투자효과를 들고 있으며, 건설로 인한 투자는 건설, 전기, 기계, 철강, 수송기계 등 직접적으로 수요가 발생하는 산업뿐만 아니라, 금융, 부동산, 서비스 등 관련 산업에도 파급효과를 시켜 새로운 고용창출이 가능함

- 일본 초전도 자기부상열차는 기존의 수송수단과 비교할 때 새롭고 혁신적인 기술을 포함하고 있으며 각 분야에서의 개념설계를 개량하면서, 다른 상품이나 산업에 기술적인 파급효과를 갖는 기술적 진보가 상당히 많이 잠재되어 있음

- 도시 간 수단인 항공, 자동차의 교통 인구가 자기부상열차로 이동함으로서 화석 에너지 고갈 및 환경오염 등의 문제를 경감시킬 것으로 예상함

3. 중국의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 국방 과학기술대학의 연구 상황

- 국방 과학기술대학의 자기부상기술에 대한 연구작업은 1980년대부터 시작하여 전후로 몇 개의 소형 자기부상 실험 시스템을 개발

- 1989년에는 서스펜션 가이드와 추진기를 하나로 모아 무게 약 80kg의 소형 자기부상 모형의 열차를 성공적으로 연구제작하여 10m 길이의 궤도에서 왕복 운행할 수 있게 하였음

- 이 시스템은 창샤(長沙)와 베이징에서 전시되어 정부부문의 지도자들과 만명에 가까운 참관자들이 참가하였고, 1991년 3월에는 장쩌민(江澤民)주석이 시찰해 이 시스템의 시범을 관람하였으며, 1991년 5월에는 항목 입안건으로 국가 과학 위원회 조직의 논증을 거쳐 1992년에 정식으로 국가의 “제8차 5개년 계획”과학기술의 난관돌파 계획에 들어갔음

- 과학기술의 난관돌파를 통해, 1995년에는 단일 전향차 자기부상열차 시스

템을 개발

- 자기부상 전향차는 자기부상열차 차량의 최소 기능 unit으로서 독립적인 서스펜션과 가이드 및 추진기와 제동 등의 기능을 갖추고 있음
- 이 시스템은 4세트의 독립적인 서스펜션 제어 시스템(8개의 전자석, 4세트의 제어기 포함)과 1세트의 추진 시스템(한 쌍의 전동기 포함), 상응하는 2차 서스펜션 시스템, 3m × 3.3m의 객차 머더보드를 갖추고 있어 40여명을 태우고 10m 길이의 궤도 위를 왕복으로 안전하게 운행
- 국방 과학기술대학은 "제8차 5개년 계획"의 과학기술 난관 돌파 계획에서 얻은 진전으로 베이징 지주회사와 공동으로 중저속 자기부상열차의 기술을 더욱 개발할 수 있도록 연구진행에 대한 협정을 체결
- 창샤(長沙) 중저속 자기부상열차의 중간단계 시험기지에는 있는 CMS-03형 실험차의 첫차 길이는 15m이고, 중간차 길이는 14m, 폭은 3m이며 100명 정도 탑승할 수 있으며 차체는 4그룹의 전향차로 구성되며 2001년 7월에 조립을 마쳤음

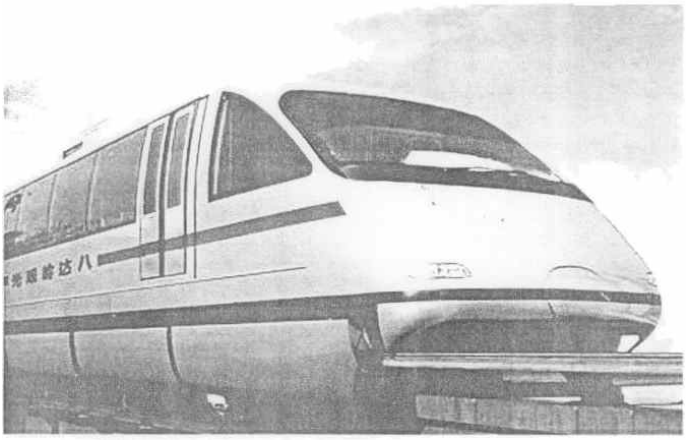


그림 28. CMS-03형 중저속 자기부상 실험차

- 실험선로의 길이는 204m, 트랙의 커브 반경은 100m, 경사도는 4.0%이고 수직곡선 반경은 1000m
- 선로부분은 2001년 5월에 완성되었으며 9월초부터 시작된 시스템 실험은 11월에 전문가의 검수를 통해 2002년 6월까지 이미 2500km를 넘게 운행



그림 29. 창샤 중저속 자기부상열차의 중간단계 시험기지 실험선의 일부현황

○ 서남 교통대학의 연구 상황

- 서남 교통대학은 1986년부터 자기부상열차의 기술에 대한 연구를 시작하여 1994년에 처음으로 사람을 태울 수 있는 4t의 자기부상열차와 그 실험선 개발에 성공

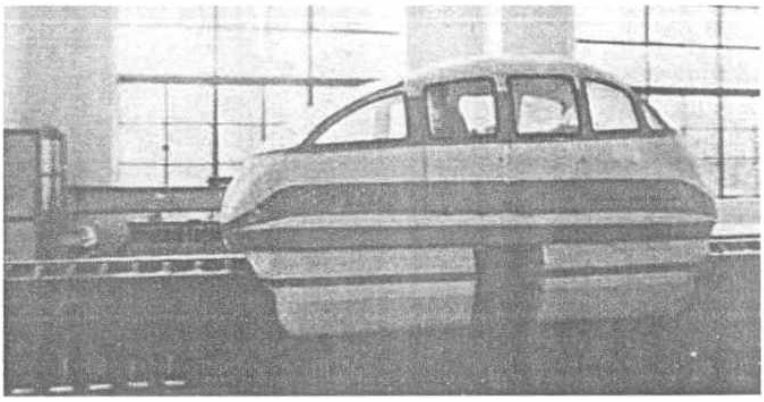


그림 30. 4t의 자기부상차 및 그 실험선

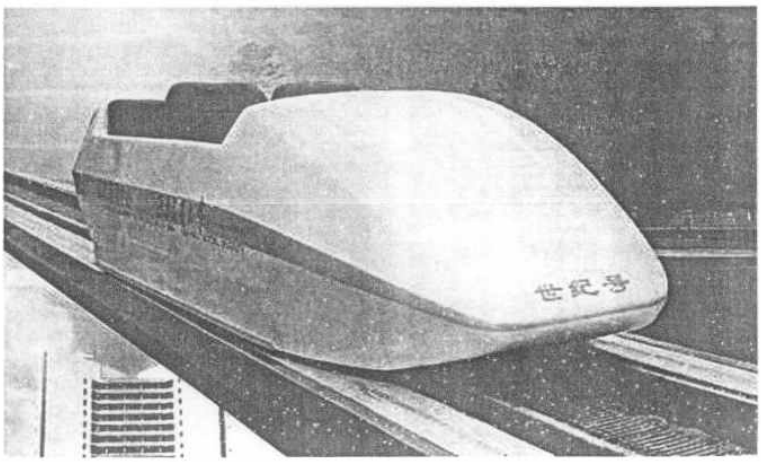


그림 31. 고온의 초전도식 자기부상열차 시스템 실험장치

- 이 성과로 1996년도에 철도부과학기술 진보2등상과 1997년도에 국가과학기술 진보3등상을 수상
- 이로써 "제8차 5개년 계획" 기간에 국가 중점 난관돌파 프로젝트인 "상전도식 짧은 고정자 자기부상열차 공사의 핵심기술 연구"와 국가 고기술 연구발전계획(863) 프로젝트인 "고온 초전도식 자기부상열차 시스템의 실험장치"를 담당

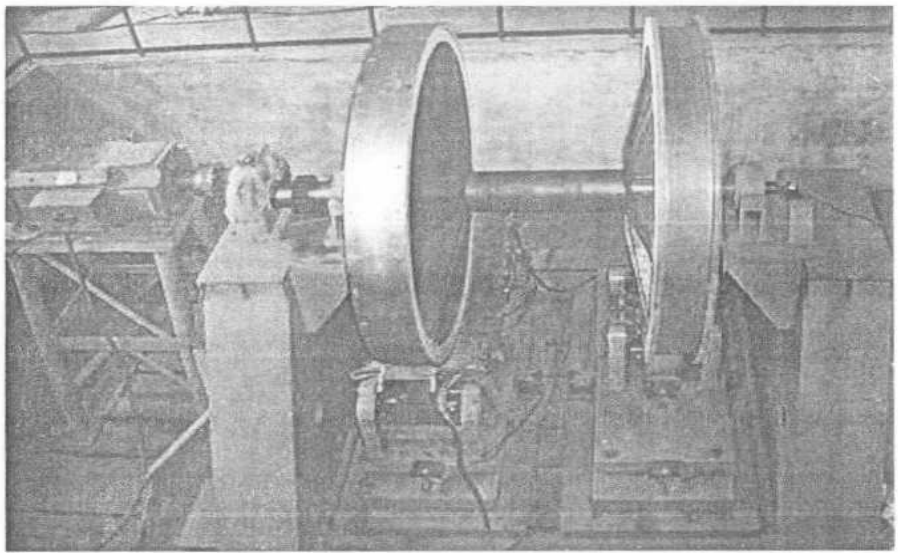


그림 32. 중저속 자기부상열차 직선형 전동기 및 서스펜션 자석의 종합 실험대

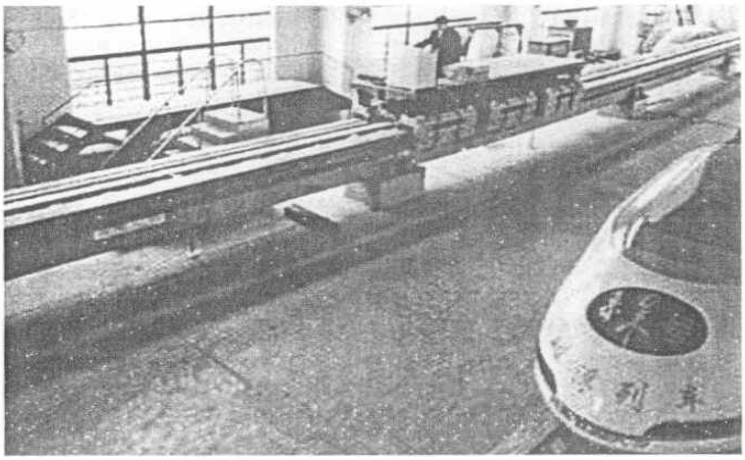


그림 33. 3 자성 전향차 자기부상차 및 S형 실험궤도

- 1996년에 전기공정, 토목공정, 기계공정의 세 개의 일급 학과를 기초로 하여 “서남 교통대학 자기부상열차 공정 연구 센터”를 설립하고, 센터아래 “자기부상열차와 자기부상 기술 연구소” 및 “자기부상열차와 자력 응용 공정 실험실”을 설립하였으며 실험실은 사천성 중점 실험실과 사천성 청년 과학기술 창조 시범기지로 확정
- “제8차 5개년 계획” 기간에는 국가 “211 공정”의 건설 프로젝트인 “자기부상열차 기초 연구설비 및 실험선”을 완성
- 이 프로젝트에는 자기부상열차 전기 실험 시스템, 중저속 자기부상열차 동기형 직선형 전동기와 서스펜션 자석 종합 실험대, 3 자성 전향차 자기부상차 및 S형 실험선이 포함되어 중저속 자기부상열차 기초 실험기지의 초보적인 건설을 마침

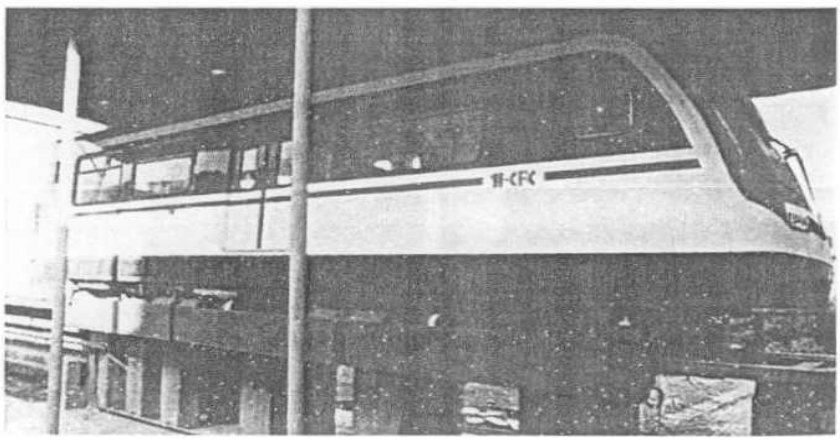


그림 34. 칭청산(青城山) 자기부상열차 및 그 시험조정 궤도



그림 35. 칭청산 자기부상열차 공정 실험 시범선

- 서남 교통대학의 자기부상열차 기술을 실제에 응용시키기 위해 학교는 장춘(長春) 객차공장과 주조우(株洲) 전기 기관차 연구소와 연합하였으며 자기부상열차의 연구제작을 위해 산업체, 학교, 연구소가 서로 결합하여 상호 보조적인 수평적 연합 경영체를 설립

- 또한, 지방의 여러 회사와 설계하고 공정단위와의 합자(合資)를 통해 칭청 자기부상열차 공정 발전 유한회사를 조직하여 칭청산 자기부상열차 공정 실험 시범선의 건설과 실험을 담당

- 칭청산 자기부상열차 차량의 길이는 11.2m, 폭은 2.6m 무게는 18t, 적재량은 4t, 좌석은 30석, 최대시속은 100km/h임

- 짧은 고정자 비동기(非同期)형 직선형 전동기를 이용해 견인하며, 제동 시스템은 전동기 저항 제동과 액체 압력(hydraulic pressure) 제동이 서로 결합한 혼합 시스템

- 열차는 자동 운행 제어 시스템과 기관사 조종 제어 시스템을 이용하며 선로 길이는 425m, 최대 경사도는 2.0%, 최소반경은 250m임

- 선로 궤도거더는 전부 속빈콘크리트(hollow concrete) 거더구조를 이용하고 교차 유도회선 위치확인 장치, 측속(測速)장치와 통신장치를 이용

○ 중국과학원 전기공학소의 연구 상황

- 서남 교통대학은 1986년부터 자기부상열차의 기술에 대한 연구를 시작하여 1994년에 처음으로 사람을 태울 수 있는 4t의 자기부상열차와 그 실험선 개발에 성공

- 중국과학원 전기공학소는 1970년대 초에 직선형 전동기에 대한 연구를 전개하였으며 당시의 핵심은 짧은 고정자 직선형 유도전동기였는데 직선형

유도전동기의 세로방향과 가로방향 양끝 반응과 짧은 고정자 양끝 데드 슬롯(dead slot) 반응에 대한 이론분석과 실험연구에 깊이 파고들어 그것의 산출공식을 내는 등, 비교적 만족할만한 성과를 얻었음

- 이외에 직선형 유도전동기의 설계에 대한 연구를 하였으며 직선형 유도전동기 가속기(100kVA, 추진력 4820N, 속도 15m/s)를 개발하여 항공 조립 부품 실험 장치에서 만족스러운 응용을 얻었음

- 또한, 철로 자동 편성 추진 화물차 차량의 직선형 전동기(추진력 1940N, 동기속도 7.2m/s, 12대 전동기를 직렬 연결하여 차를 미는 동력단위로 구성)를 개발

- “제8차 5개년 계획”의 “자기부상열차 핵심기술”에 대한 과학기술의 난관돌파 프로젝트 중에서 전기공학소는 직선형 전동기에 대한 연구제작을 담당

- 견본기계의 설계와 연구제작으로, 견본기계 공률 93kW, 규정속도 60km/h를 완성

- 견본기계는 중국철도과학원에서 임시 주도하에 개발한 6t의 자기부상차에 설치하였으며, 실험실에 짧은 고정자 직선형 유도전동기 실험대를 만들어 자기부상열차의 짧은 고정자 직선형 유도전동기의 특성과 설계계산을 적용하여 이론과 실험연구를 진행

- 초전도 반발식 자기부상열차에 대해 중국과학원의 전기공학소는 그 복잡한 다회로와 공심형의 전자 시스템에 대한 이론 연구를 진행

- 전로 회로법을 이용해 공간자장을 연구하였고, 추진력과 서스펜션력 및 가이드력을 산출

- 고온 초전도체 반발식 자기부상에 대해 독일 Braunschweig 대학의 전기전동 연구소 및 중국 서북 비철금속 연구소와 합작하여 1997년에 고온 초전도식 자기부상열차의 원리를 이용한 모델차를 개발

- 모델차의 무게는 약 7kg으로, 유효 하중은 20kg이고 고리형 궤도의 둘레는 10cm

- 긴 고정자 공심형 동기형 직선형 전동기의 구동을 이용해 각 구역에 전력을 공급하며 이 실험장치는 1997년 국제 제 15회 초전도 자성체 기술 회의에 전시

- 아울러 모델의 정태와 동태적 특성에 대해서도 이론분석과 실험연구를 계속하여 고온 초전도식 자기부상의 시스템 구조에 대한 분석과 연구를 진행

○ 1996년 중국 과학기술부는 저속 자기부상철도 집중연구에 대한 성과평가와 함께, 국외 전문가와 기술교류를 추진하였고, 일본·독일 자기부상철도에 대하여 조사 검토하며 중국 내 발전 가능성과 기본방향에 대한 연구와 더불어, Shanghai의 고속 자기부상철도 노선의 가능성 연구를 진행

○ 1999년 말 중국과학기술부는 집중연구 과제인 "중국 최초 고속자기부상철도 시험선에 대한 가능성 연구"와 함께, 독일의 상전도 흡인식 초고속 자기부상철도(Transrapid) 기술을 검토

○ 국립 자기부상철도 기술센터를 설립하여 기술을 집중하고, 고온 초전도 자기부상열차 대차 개발 등 중저속형, 초고속형 자기부상철도에 대한 자체기술력 확보를 위한 노력과 함께 다양한 시스템의 독자 개발 (Zhonghua 06 시속 530㎞ 모의주행, 2006) 추진 중

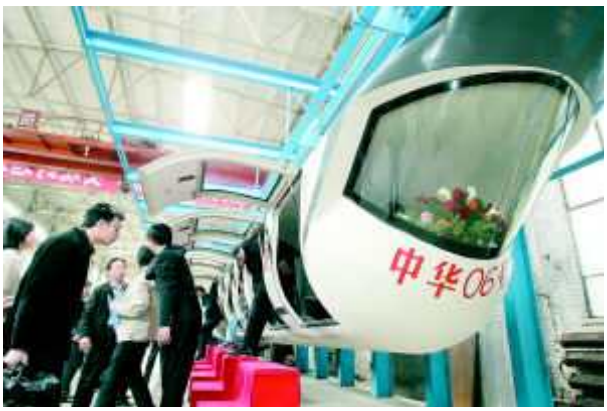


그림 36. Zhonghua 06

○ 상하이 자기부상열차 프로젝트

- 중국은 영토가 넓고 인구가 많기 때문에 중장거리 여객운송시장의 잠재력은 거대하며, 경제력의 지속적 급속 발전과 생활수준의 향상에 따라 대량의 고속수송 수단에 대한 요구가 증가되고 있음에 따라 지속발전 가능한 육상 고속교통시스템의 요구와 서로 부합되는 상황임

- 중국은 독일의 초고속 자기부상철도 기술개발의 성숙함과 육상교통수단으로서 세계 최고속도라는 관점에서 자국의 육상 고속교통시스템에 대한 정책범위에 추가하고, 공산당 및 국무원 등에서 독일의 기술도입 결정과 함께 세계 최초로 상하이에 초고속 자기부상열차 상용화 운행선을 건설하였음

- 중국은 Shanghai 프로젝트 수행을 위하여 자체적으로 SMTDC(Shanghai Maglev Transportation Development Co., SMT)라는 기술 공단을 구성하여 독일로부터 기술을 전수받는 것과 동시에 자체적으로 기술 개발을 추진하였음

- 이에 따라 중국은 Shanghai 프로젝트를 통해 자기부상 선로 기술을 완전 이전 받았고, 22개월에 걸친 극히 단기간에 세계 최초의 초고속 자기부상철도 시스템을 건설하는 기염을 토하여 세계를 놀라게 하였으며, 2002년 12월 31일 단선 시운행을 실시하면서 공식 개통식을 가졌음



그림 37. 중국 Shanghai 자기부상철도 개통 포스터

표 5. 중국 Shanghai 프로젝트

총 구간	30 ㎞ 복선 및 3.5 ㎞ 보조 선로
총 여행 시간	8 분
운행 속도	430 ㎞/h
배차 시간	10 분
정차역	2 개
차량	3 편성 (5량 1편성)
연간 예상 승차 인원	3,350만 명
예상 투자 비용	35억 달러
공급자	Siemens, TyssenKrupp Transrapid International

- 중국은 2010년 Shanghai 세계무역박람회를 위하여 그 전까지 현재의 자기부상철도 노선을 Hangzhou까지 약 175㎞ 노선을 연장 건설하여 개통하고자 함

- Hangzhou는 Shanghai에서 서쪽 내륙 쪽으로 약 180여㎞ 떨어져 있는 상업도시로, 연장건설을 통하여 독일의 차량 및 운행기술을 모두 전수받고 자국 기술화하려는 의도를 가지고 있으며, 최소 차량 제작기술까지는 기술이전이 가능할 것으로 예상하고 있음

- 아울러 중국은 연장노선에 대하여 자체 개발한 차량을 투입하면서 운행최고속도를 시속 500 ㎞로 향상시킬 계획임

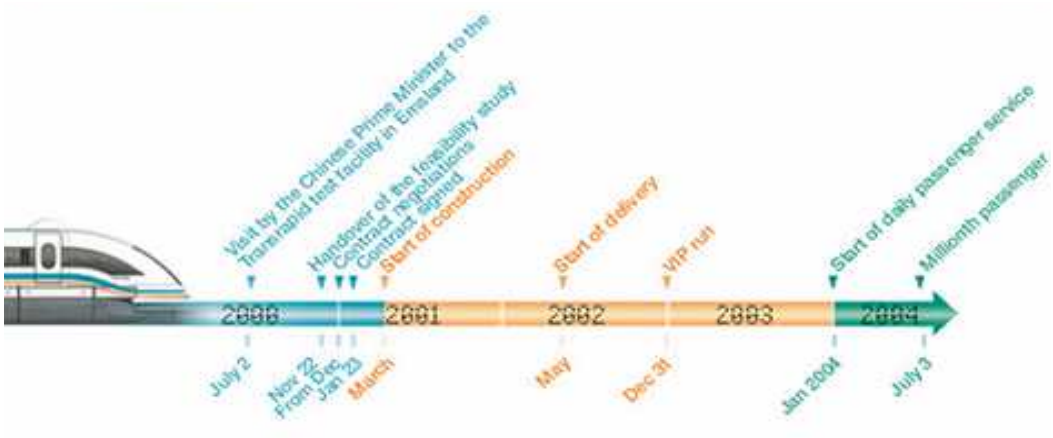


그림 38. Shanghai 프로젝트 추진 일정

○ 상하이 자기부상철도 프로젝트 추진일정

- 2000. 6. 30. 중·독 정부는 상하이 자기부상철도 프로젝트 타당성연구에 대해 정식으로 합작 체결
- 2000. 8. 상하이 선통(申通)그룹 유한공사 등 6개 회사가 연합해 출자 등록하여 상하이 자기부상교통발전 유한회사(SMTDC) 설립

  국가계획위원회는 국무원 동의로 프로젝트 건의서 비준
- 2000.10. 상하이시 위원회·시청은 상하이시 자기부상철도 공사지휘부 설립을 비준
- 2000.11.20. 중·독 쌍방 합작 편제 완성 및 타당성연구 보고,

  상하이시 계획위원회는 국가계획위원회에 보고, 심사비준

  중국은 독일 컨소시엄과 설비공급 및 서비스 계약 협상



그림 39. 중·독 상하이 자기부상철도 프로젝트 계약 조인 모습

- 2001. 1.23. 중·독 상하이 자기부상철도 프로젝트 계약 조인
- 2001. 2. 상하이 자기부상철도 프로젝트 타당성연구 보고를 기초로 확충공사의 초안설계를 완성

국무원은 타당성연구 보고와 착공 보고에 대해 상하이시 계획위원회와 건설위원회에 확충공사 초안설계 비준을 회답

- 2001. 3. 1. 상하이시 위원회, 시청에서 상하이 자기부상철도 공사 착공식을 주관, 거더제작 기지 구축, 공사의 정식 착공을 선포



그림 40. 상하이 자기부상철도 프로젝트 착공식

- 2001. 3. 푸동 신해방구·남후이(南匯)현청의 협조로 토지징수, 이주작업의 기초 완성, 공사의 전면적인 착공 조건을 구성함

- 2001. 5. 상하이 자기부상교통발전 유한공사에 운영 사전기획준비부 설립, 각 항목별 준비작업에 착수, 운영기술·관리인원을 독일에 파견해 훈련·양성시켜 시스템의 학습·훈련에 적극 돌입

- 2001. 6.10. 본선공사 시공 시작, 시공 준비의 정식 착수단계 진입



그림 41. 상하이 자기부상철도 첫번째 궤도거더 운송

- 2001. 7.12. 첫 번째 장비의 상하이 도착
- 2001. 7.21. 첫 번째 궤도거더 주조완성
- 2001.11. 2. 공사 첫 조립으로 고정자 철심의 완제품인 궤도거더를 운송, 도리스 슈뢰더(Doris Schroder) 독일 총리부인은 주룽지 총리와 부인의 동행 하에 현장 운송식 참석
- 2002. 2. 시스템 설비의 장착 시작
- 2002. 5.31. 롱양루 변전소에서 110kV 전기 수전
- 2002. 7. 2. 전체노선에 전기 공급, 롱양루 변전소에서 전체노선에 고압 전원을 투입, 시스템 조정 테스트 단계 진입



그림 42. 롱양루역 외부 모습

- 2002. 9. 5. 모든 궤도거더의 가설 완성
- 2002. 9. 첫 열차의 설치 완성, 종합 조정시험 실시
- 2002. 12.31. 중국 주룽지 총리와 독일 슈뢰더 총리 등 현장 시험운행 커트식 및 자기부상열차 시승, 최고속도 430km/h 도달

○ 상하이 자기부상철도의 부상 및 안내 시스템

- 상하이 자기부상철도의 전자석은 모듈화 하여 분해·조립 등 유지보수가 용이하도록 구성되었으며, 차량의 부상용 프레임에 설치됨
- 부상을 위한 전자석은 길이가 약 3m, 수직방향 자속 제어용 전자석 12개, 부상 간격 센서 4개 등으로 구성되어 있으며, SMT의 부상·안내 시스템은 독일의 Transrapid 시스템과 동일함
- 부상·안내 시스템은 전자석과 선로 및 측면 안내 레일 사이에 적정 간극을 유지하면서 비접촉 운행을 위한 것이며, 부상 전자석과 선로 사이 간격(gap)은 차량 동하중이나 선로 공차, 곡선 및 구배에 의한 수직·수평 가속도 등으로 인해 편차가 발생하나 10㎜이내로 유지되도록 제어됨
- 또한 차량에 와전류 제동용 전자석을 차량 당 2개씩 장착하여 500~10㎞/h 사이에서 동작가능하며, 10㎞/h 이하에서는 내려 앉아 미끄러지면서 정차하도록 설계되어 있음

○ 상하이 자기부상철도의 전기 시스템

- 추진 시스템은 선로를 계층적 모듈화 구조의 시스템으로 5개의 구동제어 지역으로 나누어지며, 구동제어지역은 1~2개의 추진블록으로 나뉘어 공급 규칙에 따라 전력이 인가됨

- 차량이 블록 내에 있을 경우에만 추진전력이 인가되는, 폐색시스템과 유사하며, 추진블록은 컨버터와 추진 제어장치, 진단장치, 데이터 전송장치 등으로 구성됨

- 전력공급 변전소는 정차시간 등을 고려하여 열차의 주행시간에 따라 설계되어 선로 양 끝에 있는 변전소에서 110㎸를 공급하며, 한 쪽 전원에 장애가 발생할 경우에는 스위치기어를 통하여 연장급전이 이루어짐

- 운행제어 시스템은 집중화 시스템, 분산 컴퓨터, 차상장치, 통신망 등으로 구성되며, 자기부상열차 관련 시스템의 운전 및 감시, 안전을 담당함

- 모든 열차는 무인 자동 운전되며, 사령원만이 장애 관련 조작을 할 수 있음

- 차상 컴퓨터와 차량 및 역 구내 설비간의 통신을 위한 무선장치가 있으며, 운행제어 데이터나 전자석의 현재 각도, 위치정보, 진단 데이터, 승객정보 등과 같은 데이터를 전송함

○ 상하이 자기부상철도의 선로

- 고가형 선로로, TVE의 합성 빔을 개량하여 설치하였으며, 경제성 등을 위해 선로와 차량, 운행, 환경 등과의 상호작용을 고려하였음

- 2개 역간에 175ton에 달하는 24m 길이의 거더를 2,551개 사용하였음

- 또한 중국은 이를 바탕으로 독일로 자기부상철도 선로 제품의 수출을 고려하고 있음



그림 43. Shanghai 자기부상열차 선로

○ 상하이 자기부상철도의 차량

- 독일 연방철도청이 상용성을 인증한 TR07 차량 이후, Berlin~Hamburg 프로젝트를 위해 선행 개발한 TR08 차량은 경제성, 생산성, 승차감 향상 등에 대한 차량기술을 최적화하였음
- 중국은 Shanghai 프로젝트 차량으로 이미 검증된 Transrapid 08 사양을 가능한한 변경하지 않고 적용할 것을 요구하였고, 이에 따라 극히 일부분만을 수정하여 적용한 차량을 도입하였음

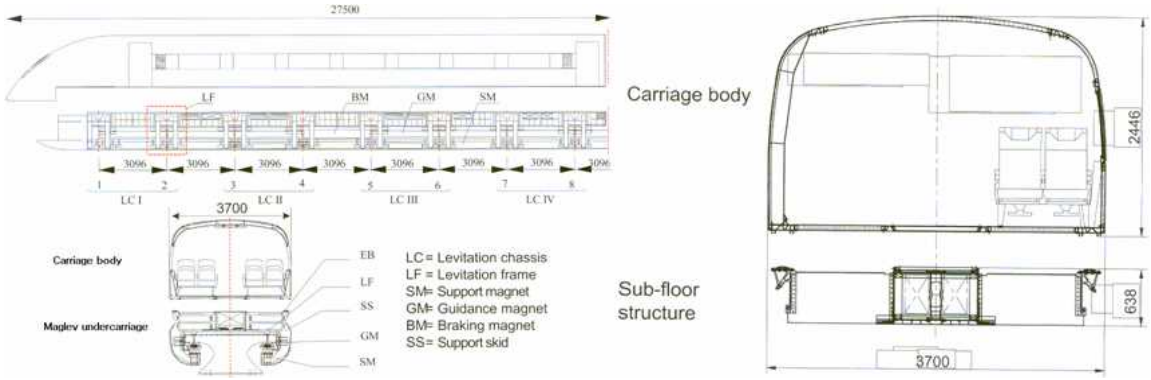


그림 44. SMT 차량 차체

- 차량 전력은 차량에 탑재된 선형발전기에서 차상의 전력을 공급함
- 선형발전기는 지지용 전자석에 장착되며, 한 차량에 약 160개까지 장착되는데 여기서 유도되는 교류 전압을 전력변환장치에서 정류하여 공급하며, 차상의 축전지 충전도 담당함

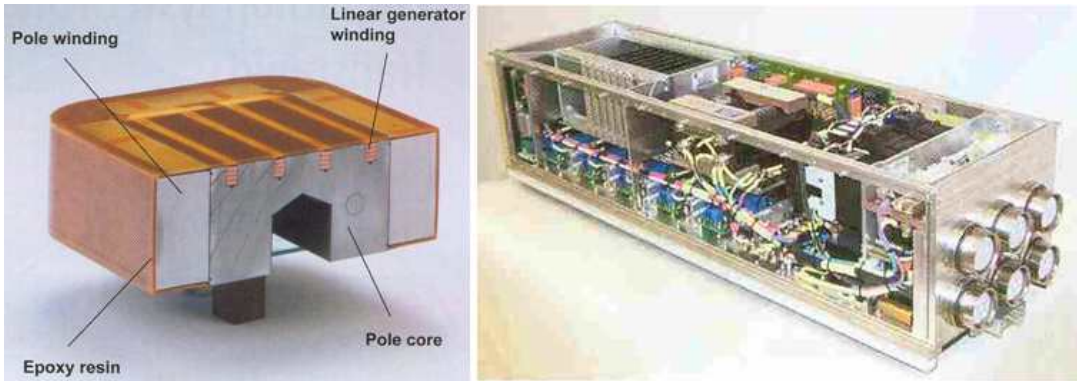


그림 45. SMT 선형발전기 및 차상 전력변환장치

4. 미국의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 1998년 미 의회에서는 21세기를 위한 교통법령(Transportation Equity Act, TEA21)에서 자기부상열차개발 프로그램(Maglev Deployment Program, MDP) 으로서, 미전역에서 7개의 추진사업을 계획하고, 그중에서 하나의 프로젝트를 선정하는데 10억불 이상을 할당하였음

○ 다음은 가선정된 7개의 사업이며, 현재 확정된 사업은 없음

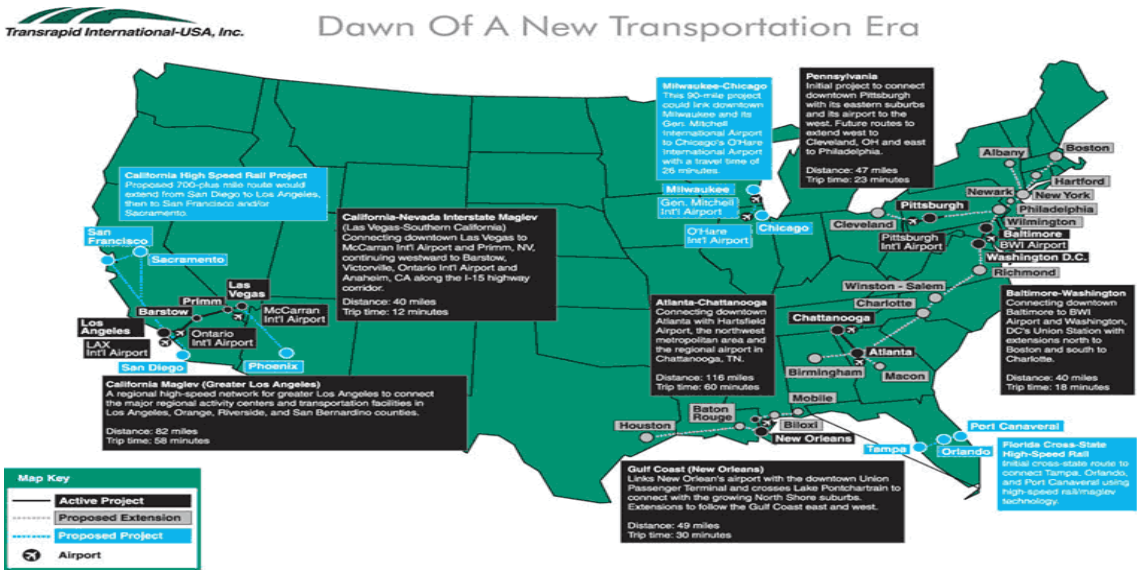


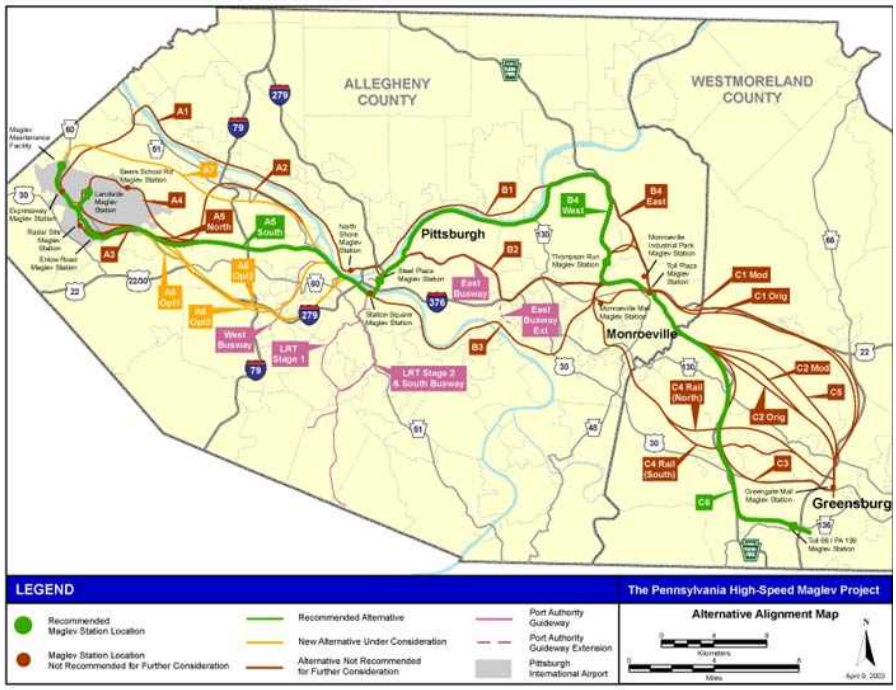
그림 46. 미국 내 자기부상열차 개발 예상지역

○ California : Ontario 공항과 LA 공항을 연결하는 7개 역, 70mile 구간

- Florida : 3개역 20mile 구간
- Georgia : 4, 5개 역 32mile 구간
- New Orleans : 4개역 48mile 구간
- Maryland : 4개역 40mile 구간
- Nevada : 2개역 42mile 구간
- Pennsylvania : 4개역 54mile 구간

○ Pennsylvania 프로젝트

- Pittsburgh 국제공항과 시내, 도시동쪽의 외곽지대를 연결하는 계획. 추후, 동으로 Philadelphia와 서쪽으로 Cleveland와 그 외곽으로의 연장안을 가지고 있으며, 주요사항은 다음과 같음
- 총 구간 : 86.9 km / 54 miles
- 총 여행시간 : 35 분
- 배차시간 : 7.5 분
- 정차 역 : 5 개
- 차량 : 8 개 (각각 3 량)
- 연간예상승차인원 : 33.5 백만명
- 예상투자비용 : 35억 불



http://www.maglevpa.com

그림 47. Pennsylvania 프로젝트 예상 노선도

○ Baltimore-Washington 프로젝트(Maryland)

- BWI 공항을 포함하여 5개의 정거장을 가지는 두 도시 간을 연결하도록 계획하였으며, 추후에는 그 연장안이 북으로 Boston에서부터 남으로 Atlanta를 연결하고 있으며 주요사항은 다음과 같음

- 총 구간 : 62.8 km / 39 miles

- 총 여행시간 : 18.5 분

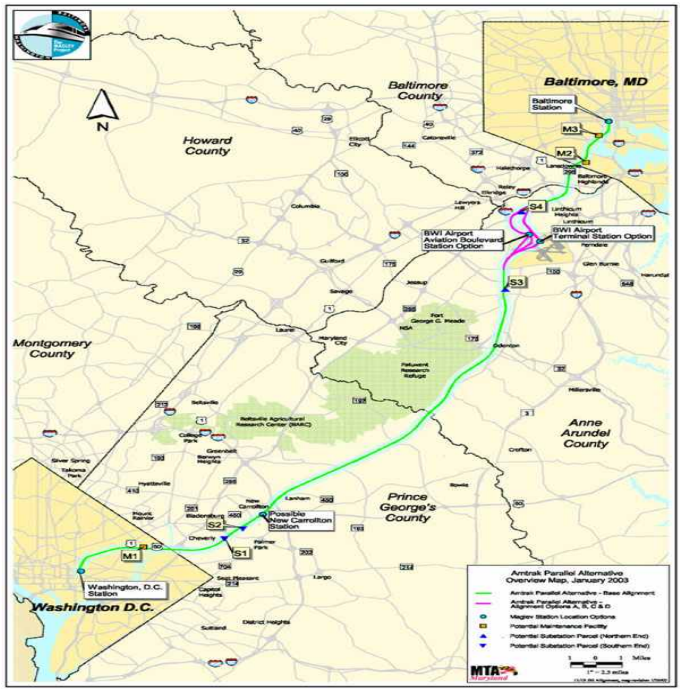
- 배차시간 : 12 분

- 정차 역 : 3 개

- 차량 : 7 개 (각각 3 량)

- 연간예상승차인원 : 12.9 백만명

- 예상투자비용 : 37억 불



http://www.bwmaglev.com/

그림 48. Baltimore-Washington 프로젝트 예상 노선도

○ California-Nevada Interstate 프로젝트

- 자기부상열차 개발프로그램에 선정되지는 않았지만, Las Vegas와 Los Angeles 시는 McCarran 국제공항과 LA국제공항을 연결하는 자기부상열차노선을 계획 중이며, 주요사항은 다음과 같음

- 총 구간 : 56 km / 35 miles

- 총 여행시간 : 11 분

- 정차 역 : 2 개

- 차량 : 3 개 (각각 8 량)

- 예상투자비용 : 13억 불

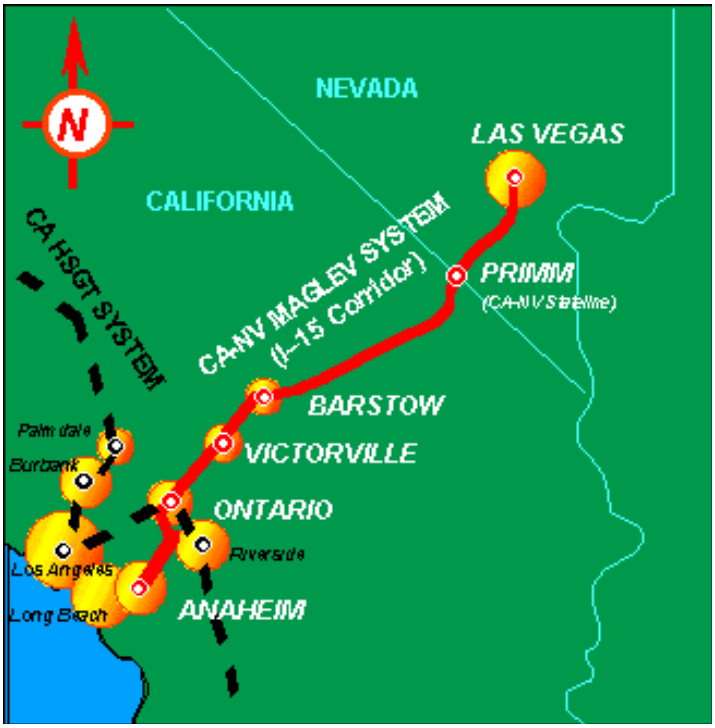


그림 49. California-Nevada Interstate 프로젝트 예상 노선도

○ 현재 미국에 있는 대표적인 자기부상열차 회사는 American Maglev Technology (AMT), Transrapid international USA, Magna Force, Maglev, General Atomics 등이며, 각 회사들은 그들 나름대로의 기술력을 가지고 시장가능성이 풍부한 미국의 자기부상열차 건설에 적극 참가중이며, 현재 여러 지역에서의 자기부상열차 사업에서 경쟁중. 이들이 주장하는 자기부상열차 사업의 지역주민에 대한 긍정적인 면은 다음 사항들을 들 수 있음

○ 미국의 자기부상열차 개발 현황을 말하기 위해서는 이들 회사들을 언급할 필요가 있음

- American Maglev Technology

· AMT는 Dominion 에너지회사, Lockneed Martin, Old Dominion 대학, Siemens로 컨소시엄을 이룬 회사로서 독일의 기술력을 가지고 있으며, 독일과 일본처럼 기술위주의 시스템보다는 저가로 건설 및 구동하는 것을 목표로 연구하고 있음

· 2001년에 버지니아 주정부 교통과로부터 연구개발 자금을 받아 Old Dominion 대학 안에 시험선로를 설치하고 시험운행 하여 2004년 12월

파키스탄의 Karachi 시에 약 18 km의 선로를 수행하는 프로젝트를 계약한 바 있으며, 이것은 대략 US 20억 달러규모의 Karachi 시의 대량교통계획발전 6단계 중 그 첫 단계이나 현재 진행 중이지 않음



그림 50. Karachi시 프로젝트 노선도

- Magna Force Inc.

· 1993년 설립된 자기커플링 회사로서 LEVx라는 초전도나 전자석을 이용하는 일반적인 자기부상 시스템과 달리 영구자석을 사용하여 부상 및 추진을 하는 시스템을 개발하였으나 사업화된 것은 없음

- Maglev Inc.

· 1987년 카네기 멜론대학의 고속철센터를 모태로 하여 자기부상열차의 개발을 위해 1990년 Pennsylvania에 설립된 회사로서 1991년 자기부상실험을 수행한 후, 1995년부터 Pennsylvania에서의 자기부상열차 적합성에 관한 조사를 하였음

· 1997년 Transrapid international 과의 기술제휴 이후, 미국 내의 7개 자기부상열차 사업(Pennsylvania, Nevada, California, Georgia, Florida, Baltimore-Washington, Louisiana)을 계획하였으며, 2001년 두 개(Baltimore-Washington, Pennsylvania)로 축소하여 현재 미국연방철도회로부터 Pittsburgh의 초고속 자기부상열차 사업(Pennsylvania project)을 얻어내기 위해 노력중임

· Pennsylvania 프로젝트는 Pittsburgh 국제공항과 도심, Monroeville,

Greensburg 도시를 연결하는 자기부상열차사업으로서, 총 노선구간은 87km이며, 소요시간은 35분 이내임

- 다음은 Pennsylvania 프로젝트에 제시된 각 구간의 소요시간임

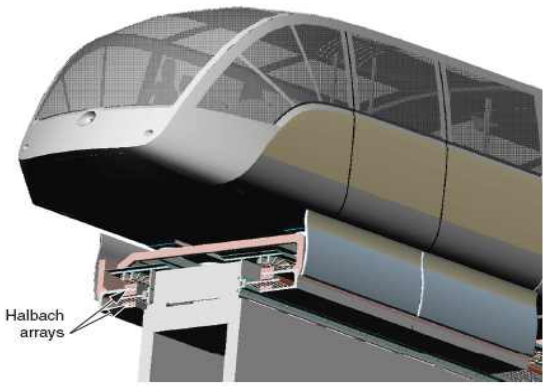
Airport (landside) to Airport (commuter)	1.5 min.
Airport (commuter) to Downtown	8 min.
Downtown to Monroeville	12 min.
Monroeville to Greensburg	9 min.

- General Atomics

· 독일, 일본과 달리 1990년대 중반 영구자석을 이용하는 Inductrack 이라 불리는 도시형 자기부상열차를 개발, 기존의 영구자석으로는 부상력이 충분하지 않았으나, 새로운 Halbach 영구자석배열과 Nd계열의 자석발달로 인하여 영구자석과 속도기전력의 반발력으로 부상을 이루고, 추진은 선형동기전동기방식을 사용함

· 본 연구는 미 항공우주국의 로켓 발사를 위한 발사대로 사용되도록 연구되어졌으나, 이후 2000년 General Atomics사가 연방교통국으로부터 도시형 자기부상열차의 계약을 체결하게 되었음

· 2003년 5월 San Diego에 120m 길이의 시험선로 제작을 시작하였으며, 2004년부터 열차를 시험 중임



(a) 모형도



(b) 시험선로에 있는 실제크기의 시험기

그림 51. Inductrack

○ 미국의 MSNBC에 의하면, 2008년 8월 초 조지 부시 미국 대통령은 캘리포니아 애너하임과 네바다 라스베가스에서 운행할 최고 시속 498km의 자기부상열차을 연구하기 위한 예산 4천5백만불을 포함한 대중교통법안을 통과시켰음

○ 3년의 연구기간이 끝나면 아메리칸 매그라인 그룹은 건설비용으로 120억불을 받게 될 것이며, 네일 커밍스(아메리칸 매그라인 그룹의 회장)는 이 캘리포니아 네바다 사이 열차가 빠르면 2015년에 개통할 수 있을 것이라 발표하였음

○ 미국에서 가장 빠른 열차의 건설을 지연시키는 장애는 엄청난 기초 건설비용이라고 할 수 있으며, 연방정부에서 받는 4천5백만불로는 환경검사를 비롯한 아주 기본적인 사전단계만을 진행할 수 있음

○ 하지만 최근 엄청난 유가 상승과 교통난 그리고 항공기 가격 상승에 따라 자기부상열차가 유력한 대안으로 떠올랐음

○ 캘리포니아 애너하임에서 라스베가스로 가는 항공기의 탑승 가격은 150불이지만, 초고속 자기부상열차는 55불이면 될 것이라고 하며 공해를 유발하지 않으며 에너지 효율이 높고, 보수유지비용이 많이 들지 않는다고 홍보함

○ 폴 사포(실리콘밸리 기술 예측전문가)는 디즈니랜드와 라스베가스라는 매력적인 장소를 잇는 미국의 고속열차가 흑자를 기록할 조건을 갖췄다고 평가함

5. 스위스의 튜브트레인 기술 동향

○ 기술개발 추진 배경은 TGV나 ICE와의 경쟁이 아닌 진공을 이용한 항공기 대신이라는 개념으로 연구 개발을 시작함

○ 특히 스위스의 경우 환경적으로 산악지형이 많음에 따라 지하터널의 건설 필요성이 높기 때문에 튜브트레인의 타당성이 크다고 판단함

○ 스위스에서는 산악지형에 적합한 초고속 지상운송수단 개발을 위하여 1987년부터 스위스메트로(Swissmetro) 프로젝트를 시작하여 2000년대 초반에 연구개발을 완료하였음

○ 스위스메트로의 가장 흥미로운 특이사항은 비행기, 고속열차, 메트로 및 지하철 혹은 자기부상열차와 같은 잘 알려진 분야의 기술들을 특별한 환경에서 조합하였다는 점임

○ 신뢰성 측면과 총체적인 안전 측면에서 이미 입증된 기술들의 조합이라는 관점에서 보면 스위스메트로 기술은 기술적 및 경제적인 면에서 기회의 분야라고 말할 수 있음

○ 연구개발 경위

- 1974년 : 로돌파 니즈가 스위스의 인구 밀집지역을 고속으로 연결하는 스위스메트로의 개념을 제창
- 1981년 : 로잔 연방공과대학 교수 그룹을 중심으로 타당성 연구 착수
- 1985년 : 제네바의 로벨트 듀크레 그리고 치치노주의 세르지오 살라비오니가 연방의회에서 지지를 표명함
- 1988년 : 타당성 연구결과가 보고되었으며, 독일의 도르니에사가 연방의회에서 실용화 가능성을 설명
- 1989년 : 50만 스위스 프랑이 예비조사를 위해 지출됨
- 1990년 : 연방정부 관료인 아돌프 오기가 뮌헨에서 개최된 교통박람회에서 알프스 횡단을 위한 교통기관 유로메트로 설립 공표
- 1992년 : Swissmetro 설립 및 정부로부터 설립 인가
- 1993년 : 예비연구 결과 발표

- 1994년 : 핵심연구가 시작됨(1,500만 스위스 프랑, 공공자금+민간자금) 연구의 목적은 기술적 방법론 확정, 필요성, 사회적 편익, 환경측면에서의 편익, 재정적 가능성, 안전성 등에 대한 분석임

- 1995년 : 스위스메트로 진흥협회 설립

- 1997년 11월 : 제네바-로잔간 실증선(60km, 32억 스위스 프랑) 건설을 위한 허가 신청

○ 연구이력

- 1988-1992년 : 예비연구 (50만 스위스프랑)

- 1994-1999년 : 핵심연구 (1,500만 스위스 프랑, 공공자금+민간자금)

- 1999-2002년 : 바젤-취리히 공항 연결 노선에 대한 타당성을 검토하여 90km를 50억 스위스 프랑을 투입하여 건설하는 계획을 제안함

○ 시스템의 기본방식은 직선성확보, 기개발지역과의 경합회피, 환경친화성의 확보를 위하여 인프라가 지하에 건설되는 것을 기본으로 함

○ 아진공 환경에서의 차량은 여객기가 운행되는 환경과 동일한 환경에 노출되어 운행되기 때문에, 항공기 수준의 안전성과 신뢰성을 유지하기 위한 연구가 중요함

○ 스위스메트로 시스템은 다음과 같은 핵심기술을 가짐

- 내경 5m의 양방향 두 개의 터널을 갖는 완전한 지하 구조물

- 추진에 소요되는 에너지소모를 줄이기 위하여 터널내압을 아진공으로 유지 가능

- 500km/h 이상의 속도로 주행 가능한 선형전동기를 이용한 추진시스템

- 선로와 직접적인 마찰이 없도록 전자기 부상 및 제어 방식

- 추진방식은 리니어 모터를 사용하며(추진파워는 최고 약 6MW) 터널내 유지보수를 간편하게 하기 위하여 차상 1차형을 고려하고 있으며, 이를 실현하기 위하여 무접촉 에너지 전달장치 기술을 도입함

- 자기부상 및 자기안내로 지지(갭:20mm±2.5mm), 집전, 추진, 부상, 안내가 모두 독립적으로 설계됨

- 전체 투자비용의 70-75%가 튜브인프라 건설비용으로 예상함
- 승객당 에너지 소비량이 자동차의 1/3 수준이며 비행기와 비교할 때 1/5 수준에 불과함

○ 비상시 차량 내 압력변동을 보상해주는 안전 시스템의 설계 사양이 제안되었고, 비상시에 사용될 차량 내 산소 공급장치와 공기 오염도 조절장치안도 제안함

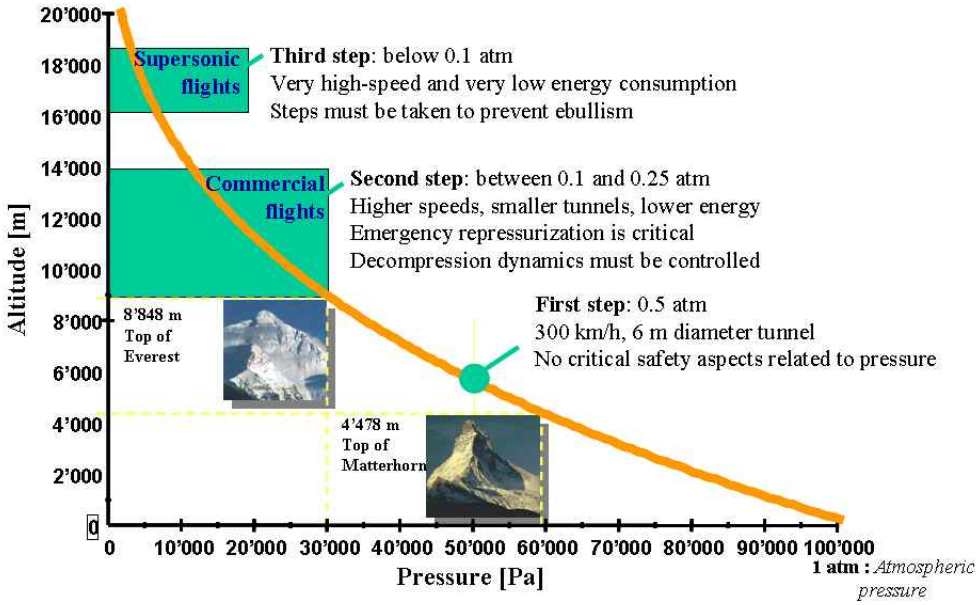


그림 52. 고도에 따른 압력변화에 상응한 안전대책

○ 여러 다양한 적용 노선을 검토하였는데 그림 58의 실용화 노선 계획 A는표준 노선망이고, 그림 59의 실용화 노선 계획 B는 취리히(Zurich)에서 교차되는 노선망이며, 초기 실용화 예비 노선으로서 제네바에서 로잔에 이르는 약 60km(32억 스위스 프랑,1997년 기준) 구간에 대하여 검토가 실시되었음

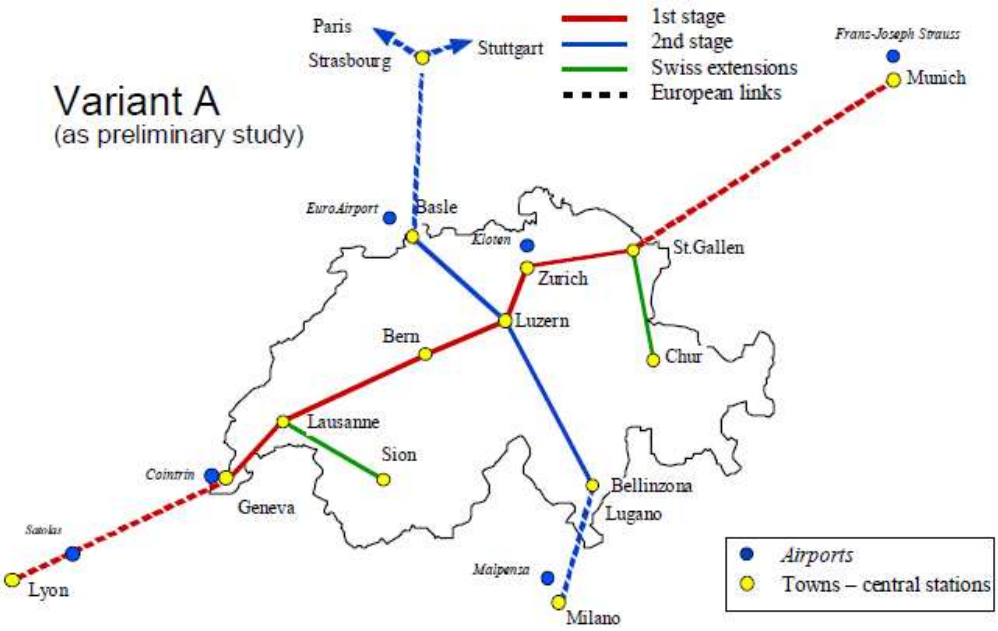


그림 53. Swissmetro 실용화 노선 계획 A

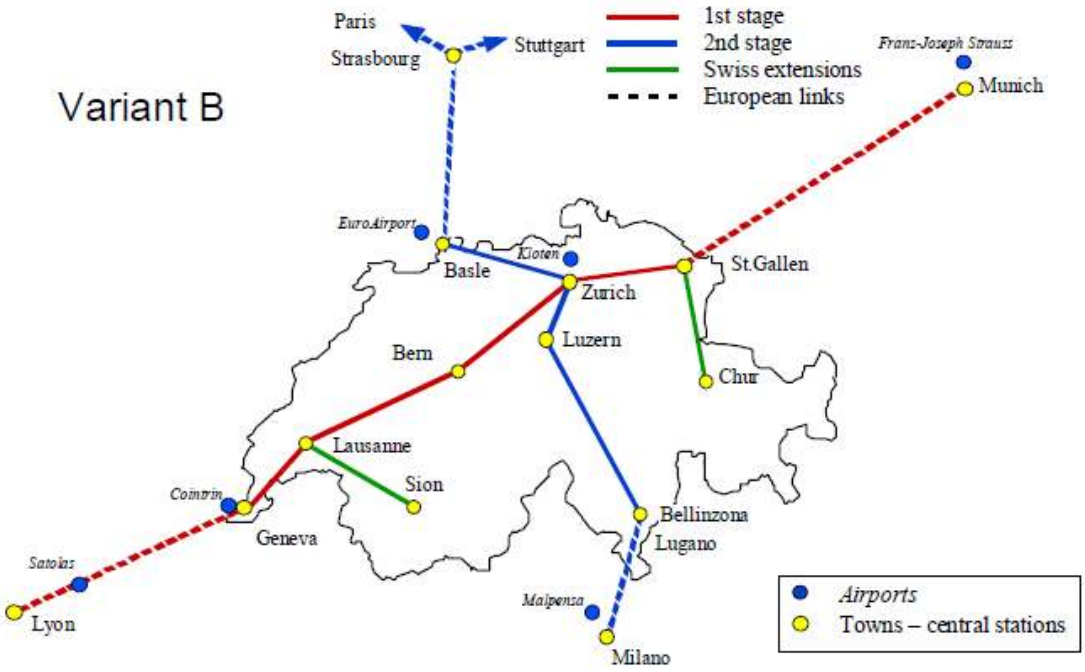


그림 54. Swissmetro 실용화 노선 계획 B

○ 차량의 각 부분의 에너지 소비율을 바탕으로 수행된 에너지 종합평가 결과를 보면 스위스의 에너지 총 소비량과 비교하여 볼 때 스위스메트로의 직접 에너지 소비량은 적음

○ 그림 46에 나타낸 제네바에서 쎙-갈을 연결하는 동서노선의 경우 수송 능력을 완전 가동하였을 때의 에너지 소비량은 스위스 총 에너지 소비량의 0.18%~0.24%에 불과함으로 스위스메트로는 스위스의 에너지 수급 전략에 있어 미미한 영향을 미치고 있음



그림 55. Swissmetro 실용화 예비 노선 제안 (제네바-로잔 구간)

○ 스위스메트로의 타당성 분석 결과에 따르면 지상점유 면적, 소음 수준, 에너지 소모량, 터널 건설비 등 측면에서 튜브 트레인 시스템이 타 교통 기관보다 우세한 장점을 가지고 있음

B. 자문회의 및 공청회 회의록

1. 제1차 자문회의

초고속 (튜브)트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전기획 관련 자문회의

□ **일시/장소** : '10. 1. 29(금) 15:00~18:00, KTX 용산역 회의실

□ **참석자** : 한국철도기술연구원, 한국건설교통기술평가원, 이선하 교수, 안성태 부쉬코리아 팀장, 손훈 교수, 장대성 교수, 김정수 교수, 배덕권 교수

□ 이선하 교수(교통부문)

○ 초고속 튜브트레인의 활용가능성 고려해야 할 것임

정책결정자 입장 : 활용가능성을 고려해야

예) 제주~목포, TSR TKR 등 범위 확대 필요

○ 초고속과 자기부상과의 기능이나 위상을 명확히 할 필요성 있음

□ 손훈 교수(토목부문)

○ 초고속 튜브트레인 이라는 새로운 시장을 선점한다는 의미 있음

○ 장점

- 시공 비용측면 : 해저터널 혹은 산악 지역에서 시공비용 측면

에서 경비절감 가능성을 가짐

- 유지관리 비용측면: 바퀴식에 비해 유지관리비용 절감 가능성을 가짐
- 교량측면 : 튜브형태는 장대교량이 가능하여 교각의 수가 감수, 경비 절감의 가능성 있음

○ 단점

- 심리적 불안요소 존재 : 갖힌공간, 화재 등에 대한 불안요소
- 연계성 : 일반철도와의 연계성을 고려해야, 대안으로 튜브에서 자기부상으로 이어지는 하이브리드 기술을 고려 할 수 있음
- 700kph 시장은 국내시장으론 한계가 있음

□장대성 교수(차량)

○ 최종 상용화 노선 즉 목표를 정하고 그에 대한 명분 개발이 필요

○ 차량개발 스케쥴과 차량 사양에 대한 세부내역이 보고서에 포함되어야 할 것임

□ 김정수 교수(기계)

○ 초고속/튜브 두가지 개념을 별도로 놓고 대안을 개발할 필요 있음

예) 속도별(200kph, 300kph 튜브 트레인)

- 이와 같은 대안을 가질 때 대도심 연결 등과 같은 현실적 상용화를 고려할 수 있으며 타 교통수단과의 연계성을 고려할 수 있음

○ 이와 함께 에너지차원, 시간절감, 연계성강화, 환경 문제 등 당위성을 강화 할 필요 있음

○ 쾌적성

- 튜브의 장점

- 속도단면진공정도에 따른 쾌적성 분석이 추가 되야 함
- 기압, 차량직경, 튜브직경 등 종합적 측면에서 상용화 할 수 있는 모델개발 필요

□ 배덕권 교수

○ 700kph 속도 및 비용, 녹색에너지 측면에서 항공수단과의 경쟁력 확보

○ 초고속/ 튜브 개념을 별도로 고려할 필요 있음

- 속도 측면에서 볼 때 700kph는 튜브 없이도 가능하며, 일복 중국 등과의 연계를 고려해 볼 때 튜브를 고려해 볼 필요 있음

주 의

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 건설기술연구개발사업의 기획과제 최종 연구보고서입니다.

2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

2. 제2차 자문회의

초고속 (튜브)트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전기획 관련 자문회의

□ **일시/장소** : '10. 2. 8(월) 15:00~18:00, 한국교통연구원 인덕원 대회의실

□ **참석자** : 한국철도기술연구원, 한국건설교통기술평가원, 손기민 교수, 이승구 한국철도공사, 김종헌 한국철도공사시설공단, 한병문 교수, 이상엽 현대로템, 한형석 기계연구원, 조의경 현대건설, 홍승수 표준과학연구원, 오수관 (주)KOCAT,

□ 오수관 (주)KOCAT(환경 부문)

○ 기존수단 대비 탄소배출 저감방식, 환경적 측면에서 획기적

○ 승객에게도 쾌적한 환경제공

□ 손기민 교수(교통부문)

○ 항공기와 비교하여 훨씬 큰 파급효과 기대

○ 심리적 부담감 극복 : 200~300kph급 시험선 유치 필요

○ 경제적 측면에서 국제간 연계 : 중국, 일본, 대륙간

○ 진공유지비용과 진공으로 인한 절감비용을 비교해볼 필요 있음

□ 이상엽 현대로템(차량)

○ 초고속 자기부상에 대한 기술확보에 대한 어려움을 고려해야 함

- 초고속와 중저속 자기부상은 부상 추진 원리 등 기술적 측면에서 상이함

□ 한형석 기계연구원(기계부문)

○ 초고속 튜브 트레인 최종목적을 명확이 제시할 필요 있음

○ 지리 인구분포를 감안한 계획이 필요하며 국내적용 시 비용적 측면 등 객관적 측면을 가지고 필요성을 제시해야

□ 홍승수 표준과학연구원(진공부문)

○ 대기압 상태와 진공상태의 환경이 매우 상이하므로 진공상태 였을 때 열차 작동 적정성 점검을 충분히 고려해야 함

○ 진공 튜브 인프라 기술에 대한 언급을 강화할 필요가 있음

□ 조의경 현대건설(토목부문)

○ 700kph급의 진공 튜브, 차량 등을 지지할 수 있는 토목적 기술력은 확보 된 것으로 판단

○ 구조물 자체의 비용 절감효과를 분석해야 할 필요 있음

- 기존 구조물 보다 터널이 많이 않으면 비용 절감효과 측면에서 불리하게 작용할 수 있음

○ 튜브 트레인은 장거리용 사업이 되어야 할 것으로 판단

□ 김종헌 한국철도시설공단(신호부문)

○ 700kph급 차량과 함께 차세대 신호분야 시설이 개발되어야 할 것 임

□ 이승구 한국철도공사(운영부문)

○ 운영기관 입장에서 초고속 튜브트레인의 안전성 및 신뢰성을 확보해야 할 것임

3. 전문가 토론회

초고속 (튜브)트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전기획 관련 전문가 토론회

□ **일시/장소** : '10. 2. 26(금) 15:00~18:00, 건설회관 대회의실

□ **참석자** : 한국철도기술연구원, 한국건설교통기술평가원, 이용상 교수, 목형수 교수, 이상엽 차장, 홍승수 박사, 김문영 교수, 한형석 박사, 김동선 교수, 조의경 차장

□ 목형수 교수(철도차량, 추진/전기시스템)

○ 국내 기술 개발 수준향상에 따른 연구의 연속성을 고려 했을 때 철도차량의 개발이 시기 적절

○ 초고속 튜브 트레인 시스템

- LSM 추진
- 튜브 진공 유지
- 비접촉식 전원공급장치

○ 기술확보가 가능하다고 예측되나 새로운 시스템이니 만큼 사전연구 및 기술검토 가 필요

□ 이상엽 차장(철도 차량)

○ 국내 자기부상열차는 1993년부터 약 20년간의 기술 축적으로 부

상, 추진, 제어시스템의 원천기술 확보

○ LSM 방식이 기존과는 다르므로 꾸준한 연구가 필요

○ 차량무게의 경량화가 관건이라고 판단됨

□ 홍승수 박사(진공)

○ 진공분야가 철도에 접목된 사례와 관련 연구개발이 되지 않은 실정

○ 그러나 우리나라의 진공기술은 세계적 수준이므로 충분한 가능성이 있다고 판단

○ 특히 기밀기술이 항공기에 비해 심도있는 연구 및 기술이 필요할 것으로 판단

□ 김문영 교수(토목)

○ 대심도 튜브 터널로써 기존터널보다 장대터널 형태임, 터널 시공에 관한 기술력은 충분히 확보되었다고 판단되며 피난, 펌프시설 등의 확보 필요

○ 거대한 공간에 저 진공상태의 관리문제가 연구되어야 할 것으로 판단

○ 성장사업으로써 어려움이 예상되나 충분한 실용화 가능성이 있을 것으로 판단

□ 한형석 박사(기계)

○ 튜브 트레인의 차별성을 강조할 필요가 있다고 판단

○ 본 사업이 실용화되기 위해 타당성을 인정받기 위한 튜브 트레인 만의 창의적 결과물을 적극적으로 반영할 필요가 있음

○ 튜브 트레인 만의 고유기술개발 및 특성화의 부각을 통해 정부지원 및 대국민 이해를 얻는 절차가 필요함

□ 김동선 교수(교통)

○ 막대한 기간과 예산이 투입되는 본 사업의 필요성을 제시할 필요가 있음. 즉 구현되었을 경우의 기대효과의 명확한 분석결과(구체적 노선대, 이용수요, 처리능력 등)를 제시 할 필요가 있음.

□ 조의경 현대건설(토목부문)

○ 700kph급의 진공 튜브, 차량 등을 지지할 수 있는 토목적 기술력은 확보 된 것으로 판단

○ 구조물 자체의 비용 절감효과를 분석해야 할 필요 있음

- 기존 구조물 보다 터널이 많이 않으면 비용 절감효과 측면에서 불리하게 작용할 수 있음

○ 튜브 트레인은 장거리용 사업이 되어야 할 것으로 판단

□ 이용상 교수

○ 본 과제에 대한 사회적 합의 도출을 위한 연구 노력 필요

○ 이를 위해 단계별 효과가 나타나고 정리되어야 할 필요가 있음