
초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발 기획

2024. 2.

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발 기획’ 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2024. 2.

주관연구기관명 : 더플래너	(대표자)	(인)
공동연구기관명 : 한국철도기술연구원	(대표자)	(인)
공동연구기관명 : 한국건설기술연구원	(대표자)	(인)

주관연구기관책임자: 원동규
공동연구기관책임자: 이창영
공동연구기관책임자: 강재윤

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제37조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요	01
제1절. 기획 배경 및 필요성	01
제2절. 기획 추진체계	43
제3절. 기획 추진절차 및 경과	47
제2장. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	49
제1절. 기획의 범위	49
제2절. 국내외 환경 분석	54
제3절. 국내외 연구개발 현황 분석	105
제4절. 종합분석	179
제3장. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	180
제1절. 신규 연구개발사업 추진전략	180
제2절. 중점 추진분야별 기술개발	218
제3절. 소요예산 및 자원 투입계획	248
제4절. 사전타당성 분석	254
제4장. 연구개발성과 및 관련분야에 대한 기여 정도	258
제1절. 기술별 최종 연구개발성과물	258
제2절. 연차별 성과목표 및 지표	259
제3절. 기대효과	262
제5장. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	268
제1절. 연구개발성과물 검증 및 관리 방안	268
제2절. 연구개발성과물 활용 방안	278
제3절. 과제제안요구서(RFP)	282

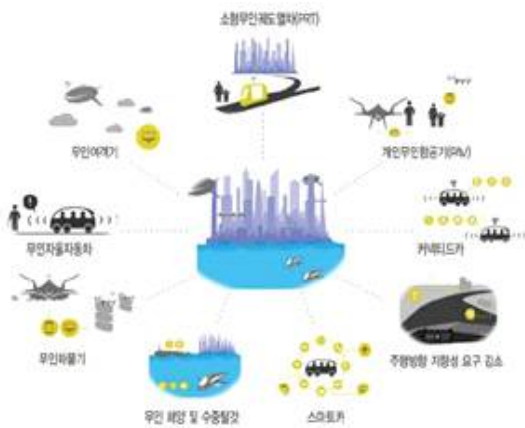
제1장 연구개발과제의 개요

제1절 기획 배경 및 필요성

1. 사업의 배경

□ 제4차 산업혁명 등의 기술발전이 이루어짐에 따라 다양한 新교통수단이 출현

- 제4차 산업혁명은 다양한 교통수단의 등장을 촉진하는 계기가 되었으며, 이에 따라 미래형 혁신 교통시장이 활성화될 것으로 전망
 - 4차 산업혁명으로 인해 ICT 기술의 발전과 공유기반 클라우드 시스템의 활성화, 신 교통수단 개발 등이 21세기의 주류산업으로 주목받고 있는 상황
 - 센싱, 컴퓨팅, 네트워킹, 커뮤니케이션, 포지셔닝, 맵핑 등 다양한 영역에서 ICT와 융합한 자율주행자동차¹⁾
 - 공유기반 클라우드 교통시스템의 등장으로 모든 교통자원을 네트워크로 연계시켜 통합 운영하여 가용 자원을 적재적소에 최적 배치가 가능하고 자원 이용효율의 최적화 가능
 - 하이퍼루프 등을 통한 신 교통수단의 고속화, 친환경 자동차(전기자동차, 수소전기 자동차) 및 개인교통 수단(전기자전거, 전동휠, 전동킥보드)의 신 교통수단 개발 및 보급 활성화 전망
 - 첨단기술을 활용한 교통서비스의 발전으로 최소 비용, 최소 시간의 이동이 가능하여 활발한 교통활용 증가가 예상



※ 출처 : 국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구(국토교통부, 2016), 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립 (한국교통연구원, 2019) 재인용,

[그림 1-2] 무인자율이동 수단의 미래상



※ 출처 : 신(新) 교통기술의 도입, 미래도시는 어떤 모습일까(도시미래신문, 2017)

[그림 1-3] 4차 산업혁명 운송수단

- 또한, 과거 교통수단은 경제활동을 위해 저렴한 비용으로 목적지까지의 이동만을 강조하였으나 현재는 사람들의 삶의 질이 중요해지면서 양질의 교통서비스를 요구하는 시대로 변화

1) 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립, 한국교통연구원, 2019

- 삶의 균형 추구하고 소비의 다양화 등 사회적 변화에 따라 삶의 가치가 일 중심에서 개인 및 가족과의 여가활동 중심으로 변화하여 여가통행의 교통 혼잡 감소와 안전한 통행서비스가 중요한 이슈가 될 것으로 전망



※ 출처 : 교통산업이 국민경제에 미치는 영향 (한국교통연구원, 2015), 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립 (한국교통연구원, 2019) 재인용



[그림 1-4] 교통의 시대별 기능 및 서비스 변화

- 자율주행차 및 하이퍼루프 등 다양한 고급교통수단 및 초고속 교통수단이 도입되는 시대로 이용자 눈높이에 맞는 교통서비스의 다양화에 대한 기대가 커지고 있는 상황

□ 단거리 이동수단에서부터 대중용·중장거리까지의 다양한 미래형 모빌리티 실현을 위한 기술을 개발 중

- 플라잉카, 자율주행차량, 자기부상열차, 초음속비행기, 하이퍼루프 등 다양한 미래 이동수단의 개발과 활용이 기대

<표 1-3> 다양한 미래 이동수단의 활용 전망 비교

미래 이동수단	개념 및 종류	이동수단의 활용 전망 및 한계
플라잉 카 	<ul style="list-style-type: none"> - 합의된 정의가 아직 없으나 통상 '도로를 달릴 수 있고 하늘을 날 수 있는 자동차'를 의미 - NASA는 '도로를 시속 240~320km로 주행하고, 1300km 이상 공중 비행하는 5인승 이하의 자동차로 정의²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 자율주행이 가능한 중장거리 자가용 개인항공기(PAV)로 주목 - 기술 개발이 이루어질 경우 적정 속력(320km/h)과 이동 범위(800km)를 가지고 있어 고소득층의 도시 간 이동수단으로 발전 가능
자율주행차량 	<ul style="list-style-type: none"> - 운전자가 직접 조작하지 않아도 자동차가 주행환경을 인식해 위험을 판단하고 주행경로를 계획해 스스로 운전하는 자동차³⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 저소음, 저진동 및 차량과 선로 유지보수 비용이 낮고 친환경적 및 경제적인 철도시스템으로 수요가 늘 것으로 기대 - 차세대 승용차로 자율화 4단계의 안전성 확보

미래 이동수단		개념 및 종류	이동수단의 활용 전망 및 한계
			<ul style="list-style-type: none"> - 책임 등 자율주행차에 대한 법규/규제 마련이 필요
자기 부상열차		<ul style="list-style-type: none"> - 전기로 발생된 자기력으로 레일에서 낮은 높이로 부상해서 바퀴를 사용하지 않고 직접 차량을 추진시켜 달리는 열차⁴⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 한국, 중국 및 일본에서 운영되고 있으나, 단거리 노선에 국한 - KTX 내구성(2030년대)를 고려할 때, 보다 더 높은 속도영역의 철도를 설치하는 것이 바람직하며, 도입에 따른 경제성 검증이 필요
초음속 비행기		<ul style="list-style-type: none"> - 초음속영역인 마하수 1.2 이상의 속도영역에서 비행하는 항공기⁵⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 향후 장거리 대량수송 항공교통수단으로의 활용이 기대되나 연료소비효율 관련 문제 해결 시 상용화 가능 예상 - 기술개발 성공 시 국가 간 이동 교통수단으로 활용가능하나, 이동거리가 짧은 한국 내에서는 비효율적
하이퍼 튜브		<ul style="list-style-type: none"> - 하이퍼튜브는 자기부상열차가 진공에 가까운 튜브 터널 안에서 공기저항 없이 시속 1,000km로 달리는 미래 교통수단⁶⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 시간-공간 제약을 극복할 수 있는 거점 간 초고속 육상 이동수단인 하이퍼튜브가 중장거리 미래 육상 교통수단으로 등장 - 기술 개발이 이루어질 경우 국가 간 이동 및 초고속 중·장거리 교통수단으로 활용 가능 - 기존 KTX에 비해 운송비/건설비가 저렴할 것으로 예상

□ 새롭게 출현하고 있는 미래형 모빌리티는 국민 삶의 전반을 바꾸어 놓을 것으로 전망

○ 출퇴근 시간단축을 통한 삶의 만족도는 증가할 전망

- 과학기술의 발달로 인한 첨단교통인프라 구축으로 도심지 통행의 혼잡이 완화될 것으로 예상

2) 하늘을 나는 자동차, '플라잉 카'가 온다!, 산업통상자원부 블로그, 2017.06
3) 자율주행車, 어디까지 왔다, 매일일보, 2021.06
4) 위키백과, '자기부상열차' (검색일 2020.03)
5) 제트엔진 개발이 가져온 초음속 항공기의 등장, 사이언스올, 2010.06
6) 하이퍼튜브, KRR|한국철도기술연구원 YouTube, 2018.03

- IoT, 공유교통체계의 도입으로 자가용통행의 감소 및 대중교통 수요증가가 예상⁷⁾
- 무인자율운행 기술의 발전으로 운전애 드는 평균 시간이 약 50분 절약 전망⁸⁾
- 우리나라 주요 거점의 세계화 전략으로 산업구조가 변화될 것으로 예측
 - 과거 20년 동안 행정 및 제도면에서의 분권화의 진전에도 불구하고 경제력의 측면에서는 오히려 지역 간 불균형이 심화⁹⁾
 - 그러나 21세기 경제는 글로벌화(globalization)와 분권화(decentralization)로 인해 "지역(region)"의 주체성과 재량권이 종래보다 월등히 증가하였고, 글로컬라이제이션(Glocalization) 시대가 도래
 - 글로컬라이제이션은 국가보다 지역이 경제정책의 주체로서 지역은 중앙을 경유하지 않고 바로 세계와 연결되어 무한 경쟁에 직면
- Door to Door를 넘은 Anywhere to Anywhere로의 변화
 - 이동수단의 변화 등으로 인하여 특정회사와 공간에서 일하지 않고 상황에 따라 이동하면서 업무를 보는 '디지털 유목민'이 늘어날 것으로 전망¹⁰⁾
 - 도로와 자동차 간 정보·신호를 공유하며 운행하는 완전자율협력주행이 보편화되고, 시속 1,200km급 아진공 튜브 철도가 등장하며, 스마트 모빌리티 서비스(MaaS)를 통한 통합결제 및 수단 간 환승 등이 가능해짐에 따라 승객의 이동이 자유로워질 것으로 전망¹¹⁾
- 시간-공간 제약의 단축으로 모빌리티 다양화 및 엔터테인먼트화
 - 하이퍼루프, 드론 배송, 자율 수송, 로봇 하역 등 시간과 공간을 초월하는 교통수단 이용이 가능
 - 주행과 비행의 결합, 주행과 수중 이동의 결합 등 이동수단의 다양화
 - 무인차, 개인무인항공기(PAV), 초고속 PRT 등 무인이동체 내 독서, 영화감상, 게임 등 탑승자를 위한 엔터테인먼트 일상 보편화¹²⁾

7) 미래 교통수요의 변화 예측, 한국교통연구원, 2016

8) 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립, 한국교통연구원, 2019

9) 글로컬라이제이션(Glocalization)과 지역발전(locality), 기초학문자료센터, 연구과제검색

10) Door to Door의 시대에서 Anywhere to Anywhere의 시대로, CLO, 2015.09

11) 세계를 선도하기 위한 20개 국토·인프라·교통 기술 (20-Wonder) 개발 착수, 국토교통부 보도자료, 2020.05

12) 국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구, 국토교통부, 2017

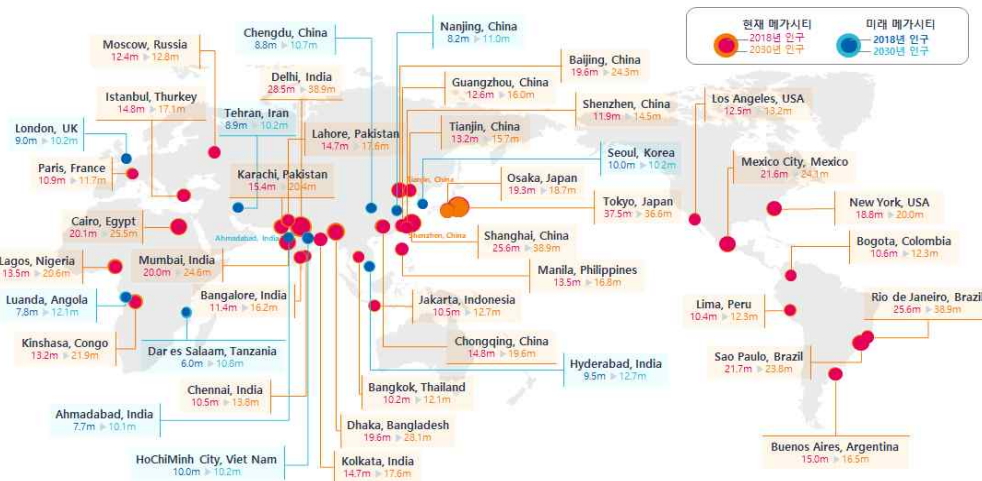
2. 사업 추진 필요성

1) 대도시(거점) 간 기능을 연계하여 활용하기 위해서는 초고속 이동수단이 필요

□ 전 세계적으로 메가시티화가 진행되고 있는 가운데, 국내 또한 광역시를 중심으로 집중화 되고 있어 거점 간 이동 수요가 증가

○ 세계적으로 지속적인 도시집중화 현상으로 2050년에는 전 세계 인구의 70% 이상이 대도시권에 거주하게 되는 메가시티화가 진행될 것으로 예측¹³⁾

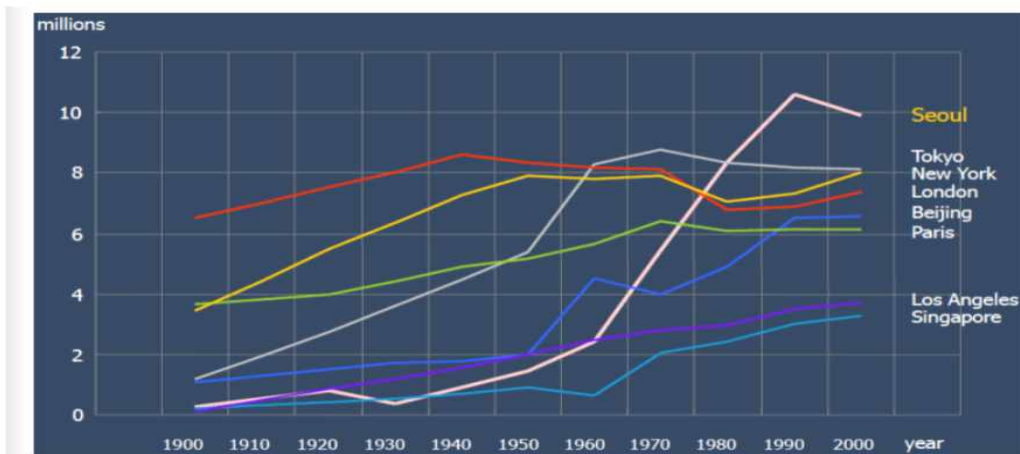
- UN은 인구 1,000만 명 이상이 거주하는 “메가시티”가 '18년 기준 33개에서 '30년에는 43개로 증가할 것으로 전망¹⁴⁾



※ 출처 : UN DESA “The World’s Cities in 2018”, KWs 재구성, 2018

[그림 1-5] 전 세계 메가시티화 전망

○ 국내의 경우, 인구·생산·소득 등 수도권 집중은 강화되는 반면, 비수도권은 지역경제 침체, 인재 유출 등에서 지방소멸까지 논의될 정도로 위기에 봉착



※ 출처 : 서울시정책아카이브, 메가시티가 지속가능할 수 있는가?, 2017

[그림 1-6] 세계 도시인구의 변화추세

13) OECD Environmental Outlook to 2050, OECD, 2012

14) World Urbanization Prospects – The 2018 Revision, UN, 2019

□ 수도권 집중을 분산시키고, 비수도권과의 국토균형 발전을 위해서는 거점 간 초고속으로 이동할 수 있는 교통수단 개발이 필요

- 해외에서는 대도시 간 고속이동을 위한 교통인프라 구축으로 새로운 통근권 형성, 대도시 간 기능 융복합, 지역교류 활성화 등의 영향이 나타난 것으로 확인¹⁵⁾
 - (일본) 신칸센은 나고야를 중간수도로서 새로운 국토공간기능을 부여하는 계기가 되었으며, 고부가가치 일자리가 증가하는 효과가 나타난 상황
 - (프랑스) TGV 도입으로 지방도시 리옹의 경제시장 확대, 탈 산업화 진행 및 교류비용 절감 등에 기여
 - (독일) ICE 도입에 따라 쾰른지역이 새로운 통근권으로 부상해 역 주변에 신주거지역이 생기는 공간변화가 발생
 - (스웨덴-덴마크) 외레순 교량이 도입되면서 스웨덴 남부지역에 주거를 위한 신도시가 만들어 지고, 고용이 증가하는 등 국가 간 교류와 지역발전에 기여

〈표 1-4〉 대도시간 고속 이동을 위한 해외 교통인프라 구축 사례

국가	일본(나고야) : 고속철도	프랑스(리옹) : 고속철도	독일(쾰른) : 고속철도	스웨덴-덴마크 : 외레순 교량
교통	<ul style="list-style-type: none"> • 도쿄/나고야/오사카 553km 연결 • 통행량 예측치 상회 및 5배 증가(65-08) 	<ul style="list-style-type: none"> • 파리와 리옹 464km 연결 • 항공수요의 1/30이 TGV로 이동 (년 30% 증가) 	<ul style="list-style-type: none"> • 프랑크푸르트와 쾰른 177km 연결 • 통근권역 형성 	<ul style="list-style-type: none"> • 스웨덴-덴마크 연결교량 (7.8km, 도로/철도) • 스칸디나비아 반도와 유럽대륙 연결(2만명/일, 4차로) • 10년새 통행량 7배 증가
지역경제	<ul style="list-style-type: none"> • 선진서비스 분야 활성화 • 개통 중후반 고부가 가치 일자리 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • 리옹기업 교류 및 운송비 절감 • 리옹의 탈 산업화 진행 	<ul style="list-style-type: none"> • 통근지역 형성으로 관련 상업시설 입지 	<ul style="list-style-type: none"> • 코펜하겐 고급 일자리 증가 • 덴마크 기업의 스웨덴 이동 • 말뫼 고용 증가 (스톡홀름에 비해 14% 높음)
구조	<ul style="list-style-type: none"> • 도시기능의 재배분 계기로 중간수도역할 담당 	<ul style="list-style-type: none"> • 파리와외의 공생관계 유지 • 경제시장 확장 	<ul style="list-style-type: none"> • 정치역 주변 신 주거 지역 형성 	<ul style="list-style-type: none"> • 스웨덴 말뫼시 주택 가격 상승 • 말뫼 주변 신도시 (370만)조성
노선				

※ 출처 : 초고속교통망 시대에 대비한 컴팩트 국토 형성방안연구 p31, 국토연구원, 2017

15) 초고속교통망 시대에 대비한 컴팩트 국토 형성방안연구 p31, 국토연구원, 2017

□ 대도시를 중심으로 광역화가 진행되는 미래 국토공간 구조 변화에 대응하기 위해 초광역 교통수단 도입이 필요

- 국내의 경우 초광역 협력 지원전략을 통해 지역 간 효율적으로 이동이 가능한 생활권 구성을 목표로 제시
 - 지역별* 메가시티 구상을 추진하고 있으며, 이러한 메가시티(지역 거점) 간 연계·협력을 통해 국가균형발전이 강화될 수 있도록 '21년 '초광역 협력 지원전략'을 발표¹⁶⁾

* 부산-울산-경남, 대전-세종-충북-충남, 대구-경북, 광주-전남

4대 권역별 메가시티 추진 현황



※ 출처 : 17개 시·도지사가 함께하는 '초광역협력 지원 전략', 대한민국 정책브리핑, 2021

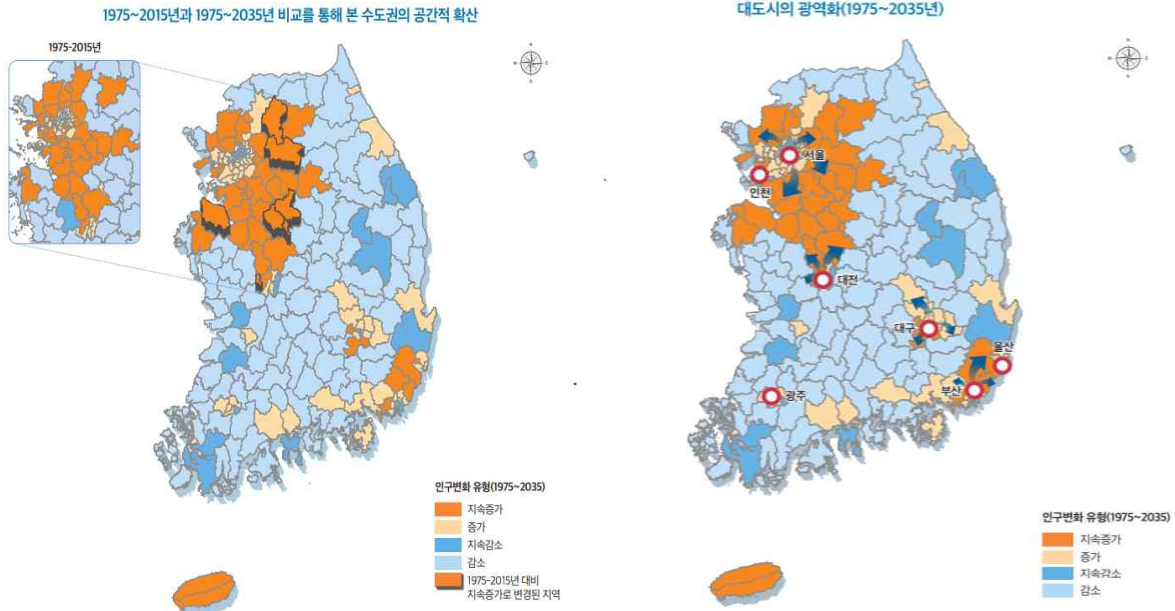
[그림 1-7] '초광역협력 지원 전략'의 4대 권역별 메가시티 추진 현황

- 인구이동의 범위가 동일 시·군 내에 한정되지 않고 주변 지역 또는 광역적으로 넓게 분포하는 것으로 나타나, 국토공간의 광역화가 지속적으로 진행될 것으로 예상¹⁷⁾
 - 대도시로 집중되면서 지방 중소도시와 농어촌지역의 인구가 감소하게 되고, 대도시 내부에서 주변 지역으로 인구이동이 이루어져 대도시 중심으로 한 광역화가 이루어질 것으로 전망
 - 대도시의 광역화로 인해 지역 확장 등 토지이용의 변화가 초래되고, 대도시와 주변 지역 간의 기능적 연계 강화가 중요한 과제로 부각¹⁸⁾
- 미래 국토공간 구조의 도시 간 연계 및 분담을 위해 현재 교통수단 대비 통행속도가 빠른 혁신적 교통수단 개발이 필요
 - 지역 연계를 위한 교통수단이 핵심이 되며, 통행시간 절감을 통한 목적지에서의 활동 시간 증가와 이동의 편리성이 강조될 것으로 전망

16) 17개 시·도지사가 함께하는 '초광역협력 지원 전략', 대한민국 정책브리핑, 2021

17) 인구 및 국토공간구조의 변화와 전망, 균형발전 모니터링 & 이슈 Brief, 2020.08

18) 저출산·고령화시대의 국토공간구조 변화와 대응과제, 국토교통 Brief, 2018.7



※ 출처 : 인구 및 국토공간구조의 변화와 전망, 균형발전 모니터링 &이슈 Brief, 2020.8

[그림 1-8] 수도권 지역의 공간적 확산 (좌) 및 대도시의 광역화(우)

참고 과거 KTX 개통으로 인한 인구이동 변화

- 과거 KTX 개통은 수도권 인구집중현상을 완화하는데 영향을 미치는 것으로 확인
 - '04년 KTX 개통 이후 인구이동을 살펴보면 KTX 정착지역이 수도권 지역 보다 비수도권 지역에 입지하였을 때 순 인구유입이 12.37% 더 높게 조사
 - 이러한 결과는 KTX 개통이 수도권 인구집중을 심화시킬 것이라는 논란에 반하는 결과로 비수도권의 인구 유입이 상대적으로 크게 나타나는 것으로 확인

〈표〉 KTX 개통 전후 인구이동 결과

KTX역 입지 도시로의 순인구 유입	3.70% ↑
비수도권 KTX역 입지 도시의 수도권 입지 도시 대비 순인구 유입	12.37% ↑
“비수도권 KTX역 입지 도시의 도심에 위치/비 도심에 위치”의 순인구 유입	5.96% ↑
“KTX역의 혁신지정 도시 입지/미지정 혁신도시 입지”의 순 인구 유입	2.91% ↑

※ 출처 : 2000년~2016년 인구이동 자료를 이용한 다중회귀분석, “고속철도(KTX)의 입지효과 및 개통으로 인한 수도권 인구집중 완화효과 분석”, 대한국토·도시계획학회지 『국토계획』 제53권 제4호, pp.107~122, 2018

2) 중·장거리 교통수단은 국민 삶의 질 향상과 국가 성장의 핵심적인 요소로 지속적인 고속화 노력 필요

□ 중·장거리 이동수단의 고속화는 국민의 이동시간 절감에 많은 기여를 한 것으로 조사

- 고속철도 이용 비중이 점차 높아짐에 따라 연간 시간절감과 수송인원 1인당 시간절감은 지속적으로 증가하여 '16년 기준 '04년 대비 약 20분의 시간이 절감되어 약 7,590원/인·시간의 편익*이 발생

* '16년 기준 철도의 업무통행시간가치인 22,775원/인·시간을 적용하여 산출¹⁹⁾



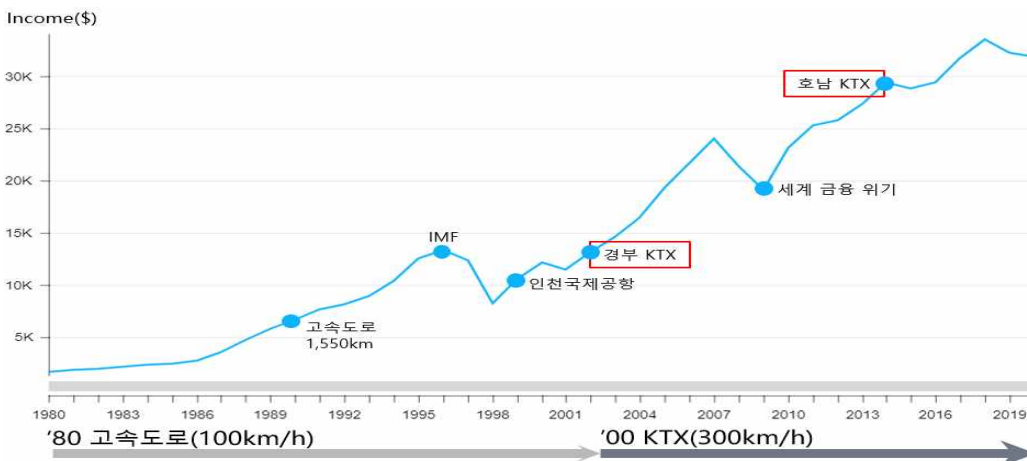
※ 출처 : 통계로 본 교통, 국가교통DB, 2018

[그림 1-9] KTX 개통으로 인한 이동시간 편익

□ 교통수단의 혁신을 통한 속도 개선은 미래 국가성장에 영향을 미치는 핵심적인 요소로 작용

- 속도 혁신이 국가성장으로 이어지기 위해 '90년 시속 100km에서 '10년 시속 300km 개선과 같이 현재 최고속도의 3배 이상(900km/h)의 혁신적 교통수단 도입 필요

- '15년 호남 KTX 개통 후 지역 간 고속교통수단의 속도 개선과 미래 국가성장 동력발굴을 위한 초광역권 단위의 교통수단 개발을 위한 노력은 미흡한 실정



※ 출처 : 한국은행경제통계시스템 자료 활용 작성

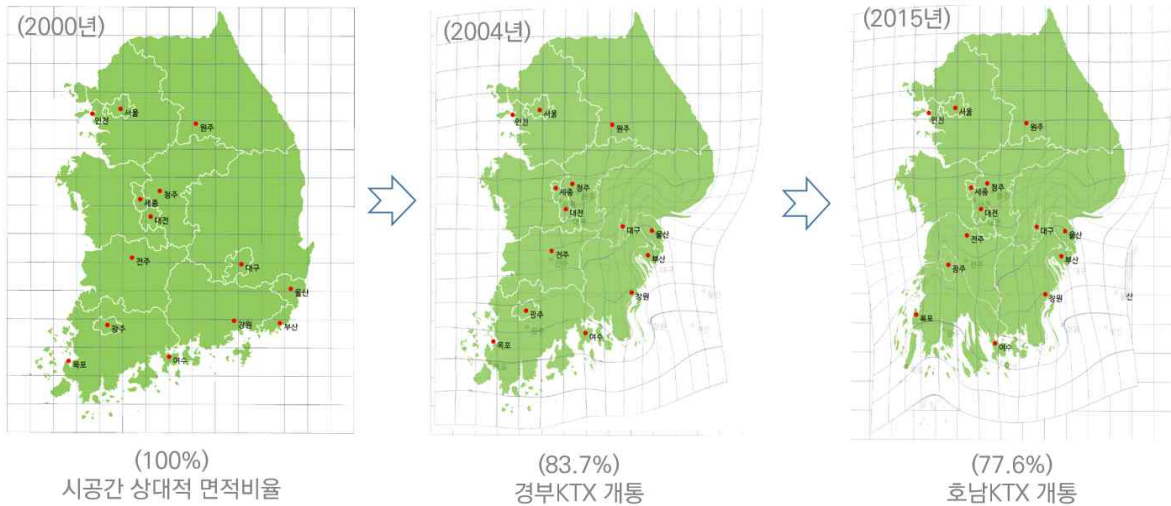
[그림 1-10] 교통수단개선과 국민소득성장 (1980-2020)

- KTX 개통으로 국토면적의 22.4%인 2만2천km²의 압축적 이용효과가 있었으나 중장거리 이동수요

19) 통행시간가치에 대해(Trend), 한국교통연구원, 2016

증가에도 미래 추가적 압축효과 창출 노력은 미흡

- 중·장거리를 고속으로 주행하는 이동수단의 도입은 국토의 압축효과를 발생시키며, 이는 국민의 교통 편의성 향상에 기여하는 매우 중요한 요소로 작용
- '04년 이후 고속철도 KTX가 도입되면서 통행시간이 감소하였으며, 국토공간의 압축효과를 분석한 결과, 국토면적의 22.4%인 2만 2천km²의 압축적 이용이 가능



※ 출처 : 국토정책브리프, 국토연구원, 2017

[그림 1-11] KTX 개통에 따른 국토공간 압축효과

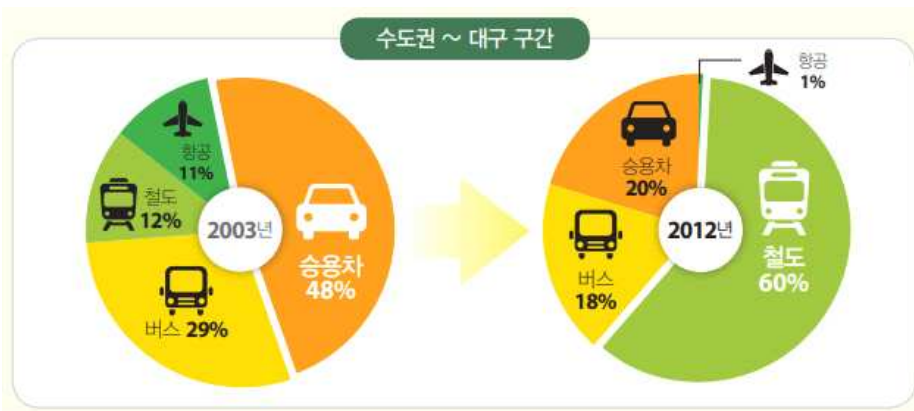
참고 과거 KTX가 가져온 국민 삶의 변화

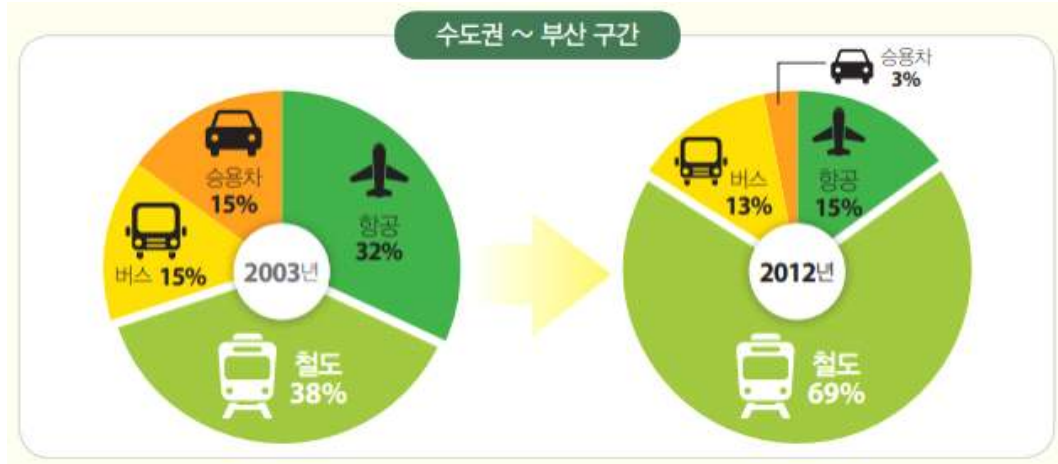
※ 출처 : KTX 개통 10년, 무엇이 달라졌을까, 한국교통연구원/KTX경제권포럼(2014)

- KTX 고속철도 개통이 국내 사회·지역경제에 미치는 영향이 컸으며, 중장거리 초고속 이동수단이 도입될 경우 그 파급력 더 클 것으로 예상

[KTX 영향권 및 접근교통체계 측면]

- ① 중장거리 지역 간 통행의 핵심교통 수단 : KTX는 속도 경쟁력과 합리적 요금을 기반으로 타 수송수단(항공, 고속·시외버스)을 빠르게 대체
 - KTX 개통이후 수도권-대구의 철도 수송분담률은 12 ⇨ 60%로 급증하고 항공수요는 사라졌으며, 같은 기간 수도권-부산 간 철도 수송분담률은 38 ⇨ 69%, 항공 수송분담률은 32% ⇨ 15%로 조정





[그림] 교통의 시대별 기능 및 서비스 변화

- 서울과 대전, 동대구, 부산 간의 고속철도 개통 전후의 철도수송량 변화에서 알 수 있으며, 고속철도 개통에 따라 수송량이 111%~124%까지 증가

<표> 고속철도 개통 전·후 수요량 변화

단위: 만 명/년

구간	개통전 (2003년)	개통후 (2016년)	변화량(증가율)
서울역-대전역	279	589	309(+111%)
서울역-동대구역	276	618	342(+124%)
서울역-부산역	354	747	393(+111%)

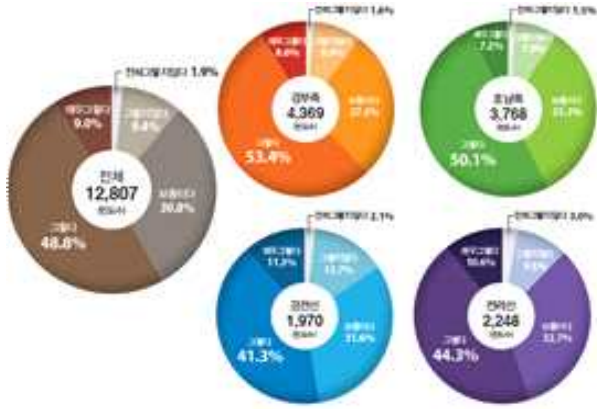
주: 개통전(2003년)은 일반철도 수요이며, 개통후(2016년)은 고속철도 수요
 ※ 출처 : 연도별 철도통계연보 역간 수요

[사회·경제적 변화 측면]

- ② 지방도시 국제회의 급증 : 서울에서만 집중 개최되었던 국제회의가 KTX 개통이후에는 부산, 대구, 대전 등 지방도시에서 분산 개최되는 현상 발생
- ③ 정치도시의 산업구조 고도화 : KTX역으로부터 멀어질수록 보건·복지서비스, 교육서비스, 예술·스포츠 및 레저 서비스 산업 부분의 고용증가가 둔화
- ④ 수도권 인구집중 현상 완화 : KTX 정차역이 수도권 지역보다 비수도권 지역에 입지하였을 때 순 인구 유입이 12.37% 더 높게 조사

[국민생활의 변화 측면]

- ⑤ 통행 빈도와 목적지의 변화 : 기존 통행 수보다 통행빈도가 높아지고, 지역 간 상호교류작용은 증가한 것으로 조사
 - KTX 이용자 대상으로 “KTX 개통이후 통행이 빈번해졌는지?”의 질문에 전체 응답자의 48.8%가 “그렇다”, 9.0%가 “매우 그렇다” 라고 응답
 - “KTX 개통이후 통행이 빈번해진 지역은 어디인지?”를 묻는 질문에 대해 전체 응답자의 43.1%가 “지방 광역도시”라고 응답
- ⑥ 국민생활 변화에 대한 인식 : 지방도시 이미지가 상승하고, 지역 문화활동 기회도 증가했으며, 장거리 관광·레저 활동 부담 축소 등 긍정적 변화로 인식



[그림] 통행빈도 증가여부 설문조사 결과



[그림] 국민생활 변화 인식

[장래 교통수요 전망]

⑦ 장래 구간별 전체 통행량 및 고속철도 이용량 예측 결과(KTDB), 인구감소 등으로 '25년 이후 전체 통행량은 감소할 것이며, 이에 따른 고속철도 이용량도 감소 추세

- 통행 거리가 멀어질수록 고속철도 수송분담률은 높아지는 경향을 보임
- 고속철도 도입 이후, 교통수단 분담률에서 거리가 짧을수록 승용차 분담률이 높으며, 거리가 멀어질수록 고속철도 분담률이 높게 나타남

* 2004년 KTX 개통에 따라 중장거리 지역간 통행에 있어서 KTX는 속도 경쟁력과 합리적 요금을 기반으로 타 수송수단(항공, 고속버스)을 빠르게 대체하였음

<표> 향후 고속철도 통행량 및 분담률

단위: 통행/일

구분		2025년		2030년		2035년		2040년	
		전체	고속철도	전체	고속철도	전체	고속철도	전체	고속철도
통행량	서울~대전	43,185	15,997	42,607	15,674	41,336	15,211	39,646	14,593
	서울~대구	25,624	15,761	24,127	14,788	22,928	14,050	22,114	13,566
	서울~부산	28,344	19,524	26,926	18,385	25,532	17,343	24,221	16,358
고속철도 분담률	서울~대전	37%		37%		37%		37%	
	서울~대구	62%		61%		61%		61%	
	서울~부산	69%		68%		68%		68%	

□ 소결

- 미래 신교통수단 등장에 따른 수송수요변화는 시간, 요금 등 이용자 효용을 극대화할 수 있는 요소에 의해서 민감하게 반응할 것으로 판단
- 고속철도 등장은 과거 육상교통 경험하지 못한 속도혁명(시간단축)을 가지고 왔으며, 이에 따라 많은 통행자들이 고속철도로 전환하는 경우들이 발생하였음
- 하이퍼튜브 등장은 고속철도 보다 월등히 빠른 속도(즉, 획기적인 시간단축)를 가지고 오기에, 기존 교통수단에서 상당 부분 하이퍼튜브로 수요가 전환될 것으로 예상됨

3) 이동시간의 가치 변화에 따라 질적 서비스 중심의 교통수단 요구가 증대되고 있는 상황

□ 중·장거리 이동수단 선택 시 편리성(대기시간 절감, 정시성, 접근성 등)을 중요시 하고 있는 추세

- 교통 서비스에서 이용자 개개인의 편의성, 안전성, 통행시간 절감 등이 중요해졌으며, 교통서비스의 양적 팽창보다 질적 수준의 제고에 대한 요구가 높아지고 있는 상황²⁰⁾
 - '90년대부터 통행자의 요구수준이 높아지면서 교통서비스의 고급화가 시작되었으며, 이동가치 변화에 따른 서비스 중심의 교통수단의 요구 증가²¹⁾
- 사람들은 점차 삶의 질의 향상을 추구하고 있어 통행수단 선택 시 비용보다는 이용의 편리성, 통행시간 절감을 중요시하고 있는 상황²²⁾
 - 항공의 기상악화, 철도의 탈선 사고 등으로 운행이 지연되어 승객들의 대기시간이 길어지며, 운행이 불가할 시 다른 대중교통을 이용해야 하는 불편함이 발생

폭설·한파에 제주 하늘길 마비...사실상 전면 결항 2만명 '고립'(종합)

8일 제주공항 항공편 5편만 출발
(제주=뉴스1) 홍수영 기자 | 2021-01-08 16:51 송고 | 2021-01-08 16:56 최종수정



8일 오전 급변동풍대설특보가 발효 중인 제주국제공항 계류장에 항공기들이 멈춰서 있다. 제주지방기상청에 따르면 이날 오전 7시30분 현재 제주도 산지에는 한파경보, 제주도 산지동부북부에는 대설경보, 제주도 서부남부주지도에는 대설주의보가 발효 중이다.2021.1.8 /뉴스1 © News1 오현지 기자

8일 기상악화로 대설특보 등이 발효된 제주국제공항을 오가는 항공편이 5편을 제외하고 모두 결항했다.

※ 출처 : 폭설·한파에 제주 하늘길 마비...사실상 전면 결항 2만명 '고립', News1, 2021.01

서울역 탈선 사고 여파 열차 운행 지연...코레일 "다른 교통수단 이용"

반기용 기자
2021.07.03 09:49 입력



서울역에서 출발하는 열차 예대 승객들이 운행을 기다리고 있다/반기용 기자

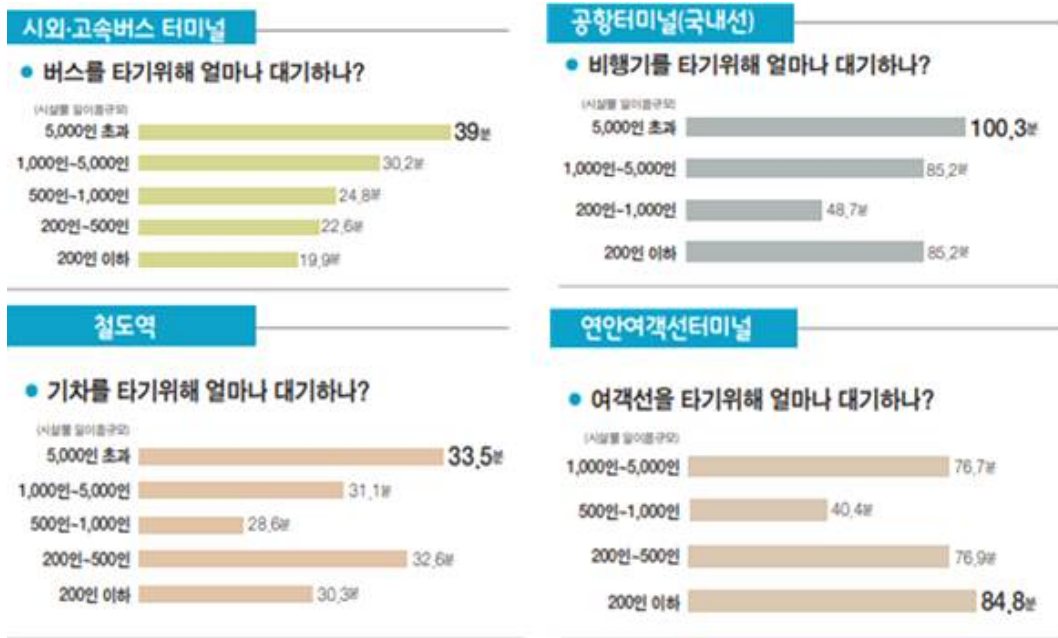
서울역 무궁화호 발전차 궤도이탈 사고 여파로 모든 열차의 출발이 1시간30분가량 지연되고 있다. 주말 열차를 이용하는 승객들의 불편이 예상된다.

※ 출처 : 서울역 탈선 사고 여파 열차 운행 지연.. 코레일 "다른 교통수단 이용", 경향신문, 2021.07

[그림 1-12] 대중교통의 지연 발생 사례

- 기존 교통수단별 승객의 탑승 대기시간을 비교한 결과, 철도가 평균 39분으로 대기시간이 가장 짧았으며, 항공기가 평균 100분으로 가장 긴 대기시간이 소요

20) 이용자 관점의 도시철도 서비스 발전 방안, 한국교통연구원, 2019
21) 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립, 한국교통연구원, 2019
22) 미래 여객 교통수요의 변화 예측, 한국교통연구원, 2016



※ 출처 : 여객통행실태, 한국교통연구원, 2018

[그림 1-13] 교통수단별 탑승 대기시간 비교

- KTX 경부선의 경우 '10년 정치권과 지역의 요구로 신경주역과 울산역이 생기면서 서울~부산의 운행시간이 35분가량 증가하는 문제 발생²³⁾



※ 출처 : 정차역 많은데 "횡수도 늘려달라"... '곰뽕이' 되는 KTX, 조선일보, 2016.09

[그림 1-14] 정차역 추가로 인해 느려지는 KTX

- 항공기의 경우, 공항이 대부분 도심 외곽지역에 위치하고 있어 접근성이 낮고, 출발 30분 전에는 탑승 수속이 마감되는 등 승객의 편의성 측면에서 한계가 존재
 - 서비스 시설물별 한계 접근시간*을 산출한 결과, 공항의 경우 승용차와 도보/대중교통 모두 접근성이 가장 낮은 것으로 분석
 - * 통행비율이 50%인 지점과 80%가 이동하지 않을 것으로 예상되는 지점을 한계치로 가정하여 50% 한계시간, 80% 한계시간으로 정의하여 교통접근성 분석

[표 1-5] 서비스 시설별 한계 접근시간 산출결과

23) 新역사·정차요구 봇물... "KTX, 완행철될라", 매일경제, 2019.10

시설구분		승용차		도보/대중교통		전체	
		50%	80%	50%	80%	50%	80%
철도역	전체	20	30	30	50	25	40
	고속철도역	25	30	35	60	30	60
	일반철도역	15	30	25	40	20	40
지하철역		15	30	20	35	20	35
공항		20	60	55	100	45	90
여객자동차터미널		20	30	30	50	30	50

※ 출처 : 대한민국의 교통접근성 평가 연구, 한국교통연구원, 2015

- 항공기 이용객들은 지역별 인구수와 여행객 비율 등이 각기 다른 점을 고려하더라도 공항까지 도달하는데 걸리는 시간이 짧을수록 이용을 선호하는 비율이 높아지는 것으로 조사²⁴⁾

4) 탄소중립이 글로벌 신 패러다임으로 대두되면서 중·장거리 저탄소 교통수단으로의 전환 요구 가속화

□ 기후 문제 심각성이 부각 되면서 탄소 배출량이 많은 중·장거리 교통수단이 문제로 대두

- 전 세계적으로 온실가스를 감축하기 위해 기존 화석연료를 활용하는 것이 아닌 친환경성이 확보된 중·장거리 교통수단으로의 전환이 시급한 상황
 - '16년 기준 운송부문에서 발생하는 CO₂는 전 세계 CO₂의 약 24%를 차지하고 있는 상황으로 다른 부문보다 빠르게 증가하고 있는 상황²⁵⁾
 - 국내의 경우, 교통수단별 통행수요 및 에너지 사용량의 증가로, 수도권 온실가스 배출량은 4.2백만CO₂로 국내 전체 대비 40.9%에 달하며, 교통부문의 비중이 41.3%로 높게 차지하고 있는 실정
 - '30년까지 온실가스를 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축을 발표했으며, 교통부문의 온실가스 감축목표는 '30년 배출전망치(BAU) 대비 29.3%로 높은 수준²⁶⁾
- 중·장거리 교통수단 중 항공이 탄소 배출량이 가장 높았으며, 철도는 낮은 것으로 조사
 - 교통수단별 1인당 온실가스 배출량을 비교한 결과 항공기가 가장 높았으며, 철도의 온실가스 배출량이 가장 낮게 기록



[그림 1-15] 서울~부산 교통수단별 온실가스 배출량

- 교통수단별 탄소배출량을 비교한 결과 철도와 해운의 탄소배출량은 지속적으로 감소하는 반면, 항공의 탄소배출량은 증가하고 있어 경쟁력 있는 장거리 교통수단 전환 대책 마련 필요

24) 통합신공항 접근성 제고 시급하다, 경북일보, 2020.10

25) BAK economic intelligence(Hyperloop: a breakthrough for vacuum transportation?), BAK, 2020,3

26) 제2차 기후변화대응 기본계획, 관계부처합동, 2019.10

- 항공수요의 지속적인 증가로 탄소배출량은 꾸준히 증가하고 있으며 '16년 기준 항공의 탄소 배출량은 1.66 백만톤으로 철도(0.30 백만톤) 대비 약 5.9배 높은 것으로 조사

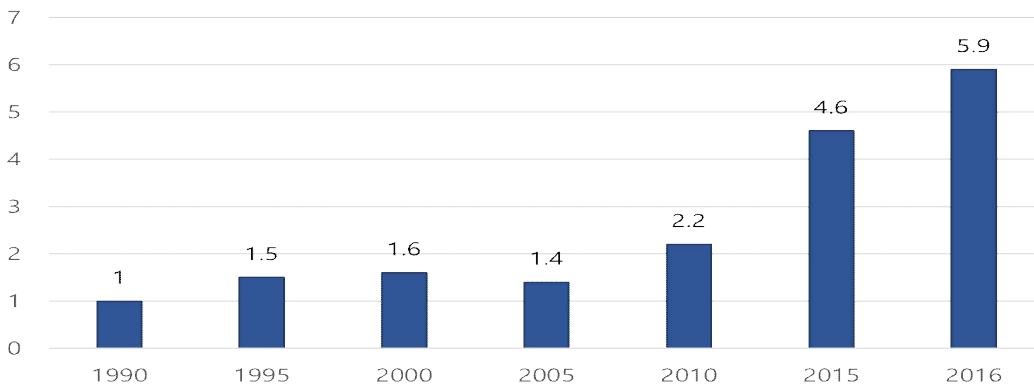
〈표 1-6〉 교통수단별 탄소배출량

(단위 : 백만톤, %)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
철도	0.88	0.94	0.97	0.81	0.56	0.34	0.30
항공	0.82	1.33	1.41	1.04	1.14	1.46	1.66
해운	2.44	3.63	2.75	2.78	2.27	1.64	1.41
합계	4.14	5.9	5.13	4.63	3.97	3.44	3.37

주 : 기타는 파이프라인 수송, 항공 및 항공 지상 운송수단, 비도로 수송 등에 의한 배출량

※ 출처 : 온실가스종합정보센터, 2018



주 : 온실가스종합정보센터(2018)의 수단별 탄소배출량으로 산정

[그림 1-16] 철도대비 항공의 탄소배출량 증가추세 비교(1990년 기준)

□ 탄소중립을 위해서는 중·장거리 이동수단 중 탄소배출량이 가장 많은 항공기의 수요를 대체할 수 있는 새로운 초고속·친환경 교통수단 개발이 시급

- 주요국 중 EU·영국 등에서는 중·장거리 교통수단에서 탄소중립을 위해 탄소 배출량이 가장 많은 항공 대신 철도를 이용을 유도하는 움직임이 일어나고 있는 상황
 - (EU) 프랑스, 독일, 오스트리아, 스위스에서는 탄소 배출을 억제하기 위해 파리, 베를린, 빈, 밀라노를 포함한 도시 간 철도 교통을 증가시키는 야간열차 서비스인 ‘Trans- European Express 2.0 이니셔티브’ 활성화 전략 발표
 - (프랑스) 2시간 30분 이내의 거리를 이동할 경우 국내선 항공 운항을 금지하는 ‘기후와 복원 법안’이 발의²⁷⁾
 - (오스트리아) 항공사와 철도청(OBB)이 협력하여 빈 국제공항과 잘츠부르크의 항공 노선 (3시간 이내 구간)은 비행기 운항을 금지하며, 철도로 우회²⁸⁾
- 국내 고속철도는 항공기의 수요를 일부 대체하였으며, 초고속·친환경 이동수단이 개발될 경우 국내선 항공기의 수요는 더욱 감소할 것으로 전망

27) 해외선 국내선 비행기 막고 야간열차 늘리는데, 국내선 무착륙비행 확대, IMPACT ON(임팩트온), 2021.05

28) 유럽 항공업계, 코로나19·기후변화에 철도로 눈길, 연합뉴스, 2020.07

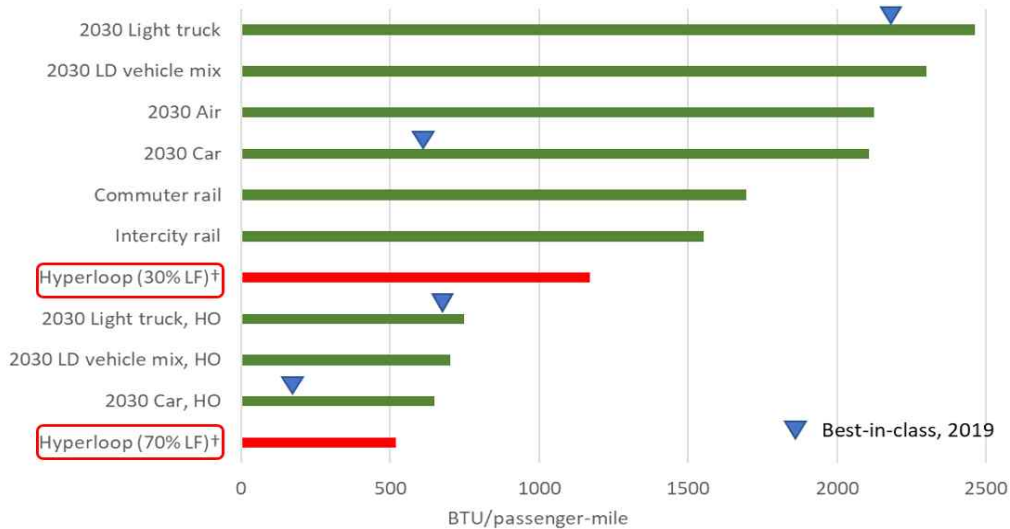
- 국내 고속철도 개통 이후 항공기 운항횟수는 급격한 감소 추세를 보였으며 특히, 김포-대구 노선은 KTX가 개통한 해인 '04년에는 79% 감소
- 최근에는 김포-대구, 김포-포항 등 국내 항공 노선이 폐지되었으며, 호남고속철도가 개통된 후 김포-광주 노선의 경우, 하루 5편 운항하던 노선을 폐쇄²⁹⁾

〈표 1-7〉 고속철도 개통 전후 항공 수요 변화

구분		김포-대구	김포-김해	김포-광주	김포-목포
여객수 (인/년)	개통 전 (03.4.1~04.3.31)	1,401,319	5,176,949	1,177,082	69,538
	개통 후 (04.4.1~05.3.31)	298,017	3,274,995	847,511	26,916
전년 대비 증감(%)		▽79	▽37	▽28	▽61

※ 출처 : 한국공항공사, 항공통계 자료

- 미국 에너지부(US DOE, 2021)에서 '30년 교통수단별 에너지 소비량을 비교한 결과, 하이퍼튜브는 도시·지역 간 교통수단으로 적합하며, 항공기 대비 에너지 절감율이 4배 이상 적을 것으로 전망³⁰⁾
- BTU/PMT³¹⁾지표를 이용하여 타 교통수단 대비 하이퍼튜브(승차율 70%)의 에너지 절감율을 분석한 결과, 승용차 경차/소형트럭 대비 4.3배, 일반통근열차 대비 3.5배 낮은 것으로 추정
- 하이퍼튜브는 통근열차나 지역 간 열차에 비해 에너지 효율이 높은 것으로 추정하고 있어 미래 철도분야 에너지 효율 측면에서도 기여도가 높을 것으로 기대



※ 출처 : US Department of Energy, Effect of Hyperloop Technologies on Electric Grid and Transportation Energy p.28, 2021

[그림 1-17] 미국 2030년 하이퍼튜브 운영 시 교통수단별 에너지 소비량

29) KTX에 밀려 하늘길 축소...김포~광주 운항 중단되나?, 중앙일보, 2016.02

30) Effect of Hyperloop Technologies on Electric Grid and Transportation Energy, US Department of Energy, 2021

31) BTU: British Thermal Unit, PMT: Passenger Mile Traveled

5) 미래 교통 특성 변화에 부합할 수 있는 교통수단의 개발이 필요

□ 미래 환경변화에 따라 3대 교통 특성 변화에 부합할 수 있는 新 교통수단 개발이 요구되고 있는 상황

○ 사회, 기술, 환경, 정책 등 분야에서의 교통 메가트렌드는 미래 이동수단에 대해 3대 교통 특성 변화를 제시

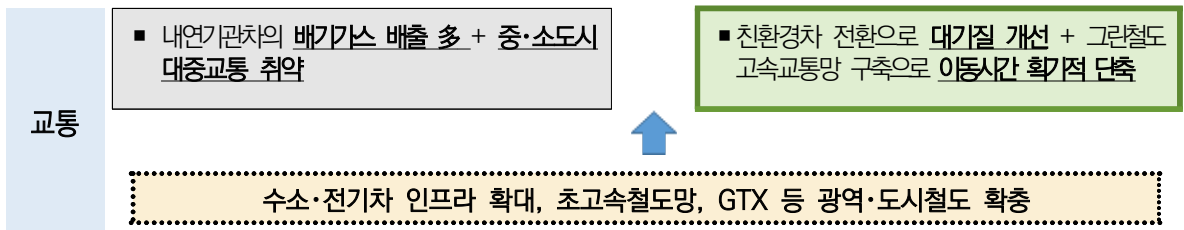
〈표 1-8〉 미래 이동수단의 수요에 따른 3대 교통 특성변화

구분	교통 메가트렌드 (5개)	세부 트렌드 (21개)	미래 이동수단의 수요	3대 교통 특성 변화
사회 (S)	1. 국토공간 구조와 인구구조의 변화	인구 고령화 및 생산인구의 감소	중장거리 거점 간 효율적인 이동수단의 니즈 증가	① 신속한 이동
		1인 가구의 증가		
	대도시권 인구집중으로 인한 메가시티화			
	메가시티 내 교통혼잡의 증가			
2. 삶의 질 중시	2. 삶의 질 중시	중소 도시의 몰락	교통수단의 정시성, 편리성에 대한 요구 증가	② 이용이 편리한 교통
		초연결 스마트시티의 가속		
		교통수단 서비스 기대치 증가 (정시성, 쾌적성, 신뢰성)		
		가치의 다양화		
기술 (T)	3. 교통기술의 발달	라이프스타일 변화	신속한 미래 이동수단 요구 가속화	③ 친환경적, 저에너지 교통
		여가시간 증가 및 활동 다양화		
		교통수단의 속도증가 및 성능향상		
		첨단 신 교통수단의 보급		
환경 (E)	4. 기후변화 (온난화)	자율주행과 스마트 모빌리티 서비스의 일상화	탄소배출량을 줄일 수 있는 친환경 교통수단 이용 요구 증대	③ 친환경적, 저에너지 교통
		교통수단의 고속화(하이퍼루프)		
		온실가스 배출 감축		
		온난화 심화에 따른 이상기후 현상		
정책 (P)	5. 교통수단에 대한 규제 완화 및 친환경 정책 강화	탄소 중립을 위한 에너지 전환 가속화	교통수단에 대한 규제 완화 및 친환경 교통수단 이용 요구 증대	③ 친환경적, 저에너지 교통
		이상기후 발생 증가		
		교통수단의 속도증가 및 성능향상으로 사람 및 사물의 이동성 증대 및 규제 장벽 감소		
		청정에너지 개발 가속화		
		친환경 및 에너지 정책 강화		

3. 사업의 시급성

□ 2050년 탄소중립 목표에 따라 미래 모빌리티로 전환을 위한 초고속 철도망 확충이 시급한 시점

- 「2050 탄소중립」 추진전략에서 경제구조의 저탄소화를 위한 ‘미래 모빌리티로의 전환’ 과제를 추진하고 있으며, 이를 위해서는 현 시점에서의 연구개발이 시급
 - 수송 부문 중 도로의 탄소배출량이 절대적(’17년, 96%)이므로 내연기관차의 친환경차 전환이 필수적인 상황
 - 내연기관차의 친환경차 전환을 가속화하고, 대중교통·철도 등 非도로 부문까지 모빌리티 전반에 대한 친환경화 추진



※ 출처: 2050 탄소중립 추진전략 p24, 관계부처 합동, 2020.12

[그림 1-18] 「2050 탄소중립」 추진전략의 교통분야(As-Is, To-Be)

- 탄소 배출량이 많은 내연기관차의 친환경차 전환을 위해 초고속 철도망 등 철도인프라 확충 필요
 - 새로운 철도 서비스 도입 및 안정적인 기능을 위한 단계적 추진 고려 시 현시점에서의 연구 착수 필요

□ 하이퍼튜브 시장을 선점하기 위해서는 First Mover형 R&D 추진이 시급

- 1차 산업혁명으로 등장한 자동차·철도·항공기 등의 신교통수단은 산업구조 변화 및 신산업 발전에 중요한 역할을 담당하였으며, 하이퍼튜브 또한 미래산업발전에 핵심적인 역할을 담당할 것으로 전망
 - 1차 산업혁명은 증기·가솔린 자동차, 증기기관차, 동력비행기, 교통인프라 등 이전 시기에 없던 새로운 산업이 등장하였으며, 기술발전에 따라 관련 시장은 더욱 확대

<표 1-9> 1차 산업혁명에 따른 교통수단의 발전단계

1세대 : 선박	2세대 : 철도	3세대 : 자동차	4세대 : 항공기
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대량 수송 가능 ▪ 속도 느림 ▪ 선박사고에 따른 환경문제 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시스템이 크고 가속 성능의 한계로 탄력적 운행 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ door-to-door 편리성 존재 ▪ 기존 도로 포화에 따른 정체 환경 문제 초래 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고속 장점 ▪ 접근성 문제(도심외곽) ▪ 수속시간 및 이/착륙시간 과다 ▪ 날씨에 따른 영향 큼

- 하이퍼튜브 또한 기존 교통수단과 같이 관련 부품·장치, 인프라 등 신기술시장을 형성할 것이며, '26년에는 \$6,575 million(약 7조 7천억 원)의 규모로 시장의 성장을 전망하고 있는 상황

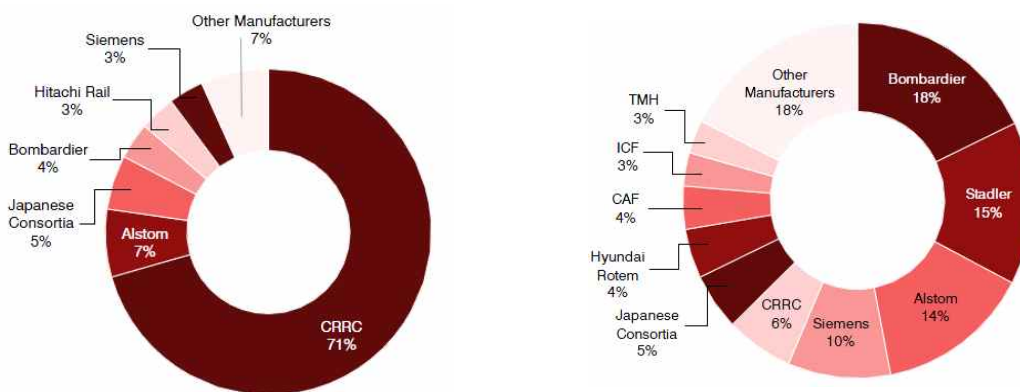
○ 철도산업은 종합고부가가치 산업으로 소수 선진기업이 세계시장을 과점하고 있어 후발주자의 진입장벽은 높은 상황

- KTX의 경우, 기존 선진국의 기술 도입 후 철도 선진국(프랑스, 독일, 일본) 기준의 기술인증 등을 위한 별도의 R&D 추진이 필요한 후발주자에게는 진입장벽*이 높아 시장 점유가 어려운 상황

* (개발 단계) 성능, 품질, 환경, 안전 등에 대한 관련 국제 규격 및 규정(예: 유럽기준(EN))충족을 위한 연구 필요 (완료 단계) First Mover형 기업은 이미 고부가가치화를 위한 기술개발을 통한 원가 절감으로 후발주자의 경쟁력 저하

- 현대로템(주)은 고속철도 시장진입에 난항을 겪고 있으나, EMU 부문에서 4%의 시장을 점유하여 세계 철도시장의 0.7%(15위)를 차지하고 있는 상황

※ 세계 고속철도시장의 규모는 '20년 약 2,340억 달러에서 연평균(CAGR) 9.1%씩 성장하여 '30년 약 5,600억 달러로 증가할 것으로 예상



※ 출처 : Worldwide market for railway industries, SCI Verkehr GmbH 2018

[그림 1-19] 글로벌 철도 시장 점유율(2013년~2017년) : 고속열차 부문(좌) 및 EMU 부문(우)

○ 기존 기술의 개량을 통한 경쟁력 확보보다 파괴적 혁신을 통한 새로운 기술개발에 의해 우리나라 기업의 기술경쟁력 및 기술자주권 확보가 필요한 시점

- 하이퍼튜브는 국제적으로 시장이 형성되기 시작하는 초기 단계로 개발이 성공될 경우, 국가 위상 제고와 함께 'First Mover'로서 전 분야에 걸친 관련 시장의 리드가 가능

※ 하이퍼튜브 관련 기술시장은 총 '21년 \$1,205 million(약 1조 4천억 원)에서 '26년 \$6,575 million(약 7조 7천억 원)으로 성장하여, 연평균 성장률은 약 40.4%로 예상

□ 중·장거리형 초고속 신 교통수단의 선점을 위한 주요국의 노력이 가속화되는 상황에서 국가 차원의 적극적인 사업추진을 통한 기술개발이 시급

○ 세계 각국에서는 정부의 지원·협력하에 초고속 철도 기술개발을 활발하게 진행 중

- 국가는 기술도입 및 이전을 추진하며, 민간기업이 제안한 노선에 대해 연방, 주, 시 정부 차원에서 초고속 이동수단 도입 협력을 추진

- 인도, 아랍에미리트, 사우디아라비아 등의 국가에서는 노선(토지)을 무상 제공하고 하이퍼루프 기술을 도입 및 기술이전 받으려는 상황

〈표 1-10〉 초고속 철도 기술개발 관련 국가 정책 동향




국가	정책동향
<p>미국</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 고속이동·고효율 신 교통수단 도입에 대해 기존 법률 및 규제 구조의 개선을 위하여, 교통부 산하에 신 교통기술위원회를 구성·운영 중 - 미국 교통부 산하 신교통위원회(NETT)는 하이퍼루프 등 미래교통산업에 대한 명확한 규제 프레임 신설을 위해 관련법 제정을 추진 예정 - '19년 7월 교통부에서 하이퍼루프 관련 법 정비와 규제 신설을 위해 교통주택도시 개발 제출 법안 통과 - '인프라 투자·일자리 법안'에 따라 약 1조, 2,000억 달러 규모를 도로·교통·철도·항공 재건과 하이퍼루프, 전기차 등 주요 미래형 운송수단 인프라에 투자 추진 예정
<p>캐나다</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 연방정부는 토론토~몬트리올 간 하이퍼루프 노선 타당성 조사를 통하여 새로운 교통혁신 인프라 개발 지원 - 앨버타 주정부는 하이퍼루프 시스템 신생기업 트랜스포드와 시속 1000km 하이퍼루프 시스템 개발 MOU를 체결하여 지원 예정
<p>유럽</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - CEN(유럽 표준화 위원회)과 CENELEC(유럽 전기기술 표준화 위원회)는 하이퍼튜브의 표준화를 담당하는 새로운 기술 위원회 CEN/ CLC/JTC 20을 신규 개설하고, 하이퍼튜브 표준화 작업 착수 - 유럽위원회에서 '50년까지 대중교통 관련 온실가스 배출량을 줄이고 스마트한 모빌리티 시스템을 갖추고자 추진한 '지속가능한 스마트 모빌리티 전략'에 하이퍼루프 기술을 포함 - (프랑스) HTT 기업과 협력하여 프랑스 툴루즈 지역을 유럽 초고속 하이퍼튜브의 연구 개발본부로 개발 지원
<p>인도</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 마하라슈트라 주정부가 하이퍼루프를 공공 인프라 프로젝트로 간주 - Virgin Hyperloop-DP World 컨소시엄을 푸네-मुंबई 하이퍼루프 프로젝트 원 사업제안사(OPP)로 선정
<p>UAE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - (아부다비) '16년 11월 아부다비 교통행정국은 하이퍼루프 부문 주요 기업인 HTT와 아부다비 - 알 아인(AI Ain) 간 하이퍼루프 노선 개발을 위해 연구협약 체결 - (두바이) 두바이 정부는 HTT, Hyperloop One 등 기업과 협력하여 아부다비~두바이 노선 타당성 조사 시행 및 자금조달 지원
<p>사우디아라비아</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - '19년 7월 사우디아라비아 경제도시건설청(ECA)은 Virgin Hyperloop One과 세계 최초 장거리 하이퍼루프 테스트 트랙 구축 관련 파트너십 체결 <ul style="list-style-type: none"> • 파트너십 체결로 인해 경제 다각화를 달성하기 위한 정부 프로젝트 'Vision 2030' 가속화 전망

○ 한편 우리나라를 포함하여 중국과 일본은 낮은 개발역량을 극복하고, 하이퍼튜브 선점을 위하여 정부주도의 기술 개발을 추진하고 있는 상황

- 한국은 '제5차 과학기술기본계획', '제1차 국토교통 과학기술 연구개발종합계획', '제5차 국토종합계획' 등에서 국가경쟁력 제고 과제로 하이퍼튜브 기술개발 및 지원을 제시
- 중국은 국영기관인 우주과학공업그룹에서 국가 주도의 하이퍼튜브 기술개발을 추진
- 일본은 '70년대부터 국가 차원에서 초전도 자기부상열차 기술개발을 주도하여, 하이퍼튜브 보다 기술적 실행 가능성이 높은 상황

○ 국가주도 하이퍼튜브 기술개발이 진행 중인 국가 현황

〈표 1-11〉 국가주도 하이퍼튜브 개발 국가의 정책 동향

국가	정책동향
<p>대한민국</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - '제5차 과학기술기본계획'에서는 하이퍼튜브 등 저탄소 미래 모빌리티 개발을 추진하여 탄소배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축을 제시 - '한국형 하이퍼튜브 개발 로드맵'에서는 하이퍼튜브 구현을 위한 세계 선도기술 개발을 기본방향으로 제시 - '제2차 국토교통 과학기술 연구개발종합계획'에서는 첨단 지능형 모빌리티 내용으로 지능형·초고속 철도시스템(하이퍼튜브) 개발을 제시 - '제5차 국토종합계획'에서 '미래형 혁신 교통체계 구축'의 일환으로 고속서비스 확대, 하이퍼튜브 등 새로운 개념의 교통시설 구축을 제시
<p>중국</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 국영기관인 중국 우주과학공업그룹(CASCI)에서 1,000km/h의 진공튜브 철도 개발에 대한 중장기 계획 발표
<p>일본</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 일본은 1970년대부터 국가적으로 초고속 자기부상열차 개발을 적극적으로 추진하여, 관련 법령 및 소위원회 심의 결과를 통하여 구체적 추진 방안을 확정 - 도쿄~나고야 2027년 개통, 나고야~오사카 2037년 개통을 예정으로 500km/h급 초전도 자기부상열차 노선인 「츄오 신칸센」 건설이 진행 중

○ 초고속 이동수단에 대한 전 세계적인 관심 및 관련 기술개발로 인해 글로벌 시장 확대가 전망되고 있어 기술 및 시장선점 필요

- 하이퍼튜브 시장은 2021년 기준으로 연평균 40.4%의 증가율로 '26년 기준 7조 7천억 원 규모에 달할 것으로 전망³²⁾
- 또한, 미국, 네덜란드, 캐나다 기업에서 하이퍼튜브 관련 기술개발연구가 이루어지고 있는 상황
 - (버진 하이퍼루프원) '17년 무인 주행시험에서 387km/h 주행 시험 달성, '20년 유인 주행 시험에서 172km/h 성공
 - (HAEDT) '19년 30m(Steel)튜브트랙 건설 및 추진부상 및 분기기 실험 데모
 - (트랜스포드) 캐나다 앨버타주초고속 튜브 교통 프로젝트 착수
- 하이퍼루프 글로벌 챌린지 및 Pod competition를 개최 등으로 기술개발 추진을 유도
 - (하이퍼튜브 글로벌 챌린지) 한국건설기술연구원도 포함되어 최초 2,600개의 팀이 신청했으며, 챌린지를 통해 최적의 노선 개발 예정
 - (Pod competition) 전 세계 115팀이 공모작을 출품하여 30개의 작품이 선정되며, 선정된 작품들로 시험 Pod 제작하여 시험노선에서 경쟁

32) Hyperloop Technology Market with COVID-19 Impact, Markets and Markets, 2021

참고

하이퍼튜브 문제/이슈별 관련 정부 추진 정책

○ 문제/이슈별 관련 정부 추진 정책을 분석할 결과, 하이퍼튜브가 정책 해소 수단으로서의 역할이 매우 높은 것으로 확인

문제/이슈	정책 내용		하이퍼튜브와의 연계성
	유관정책명	주요내용	
① 대도시(거점) 간 기능을 연계하여 활용하기 위해서는 초고속 이동수단이 필요	「제4차 국토종합계획」 (국토교통부, '11)	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 개별 지역이 통합된 新국토골격 형성, 에너지·자원 절약적인 친환경 국토 형성 및 글로벌 개방 거점 확충 • (주요내용) 연대와 협력을 통한 유연한 스마트국토 구현을 위한 공간구상 <ul style="list-style-type: none"> - 중앙과 지역거점간 협력과 지역간 연대, 자율협력을 통한 국가균형발전 추진 - 초연결, 네트워크 효율화/고속화로 전국 2시간 이내, 광역권 30분대로 연결 - 대륙연결형 국토골격 형성으로 글로벌 국가경쟁기반 강화 	<ul style="list-style-type: none"> • 국가균형발전을 위해서는 대도시(광역권)간 빠른 이동이 가능한 초광역 교통수단인 하이퍼튜브 도입이 적합 - 신속한 연결을 통해 수도권 집중을 분산시키고, 비수도권과의 국토균형 발전에 도움이 될 수 있음 - 新모빌리티 도입으로 권역 내 근거리교통은 자율주행차, UAM 등이 담당할 수 있으며, 거점 간 신속한 이동은 하이퍼튜브를 통해 초광역권 차원의 연계구조 형성 가능
	「제5차 국토종합계획」 (국토교통부, '19)	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 균형국토, 스마트국토, 혁신국토를 위한 7개 광역경제권 거점도시 <ul style="list-style-type: none"> - 인구 감소와 저성장 시대에 체계적으로 대비하여 어디서나 살기좋은 균형국토를 조성 - 초연결초지능화 시대로의 전환과 4차 산업혁명에 따른 기술발전을 국토관리와 이용에 활용하여 국민의 편리함과 국토의 지능화 실현 • (주요내용) <ul style="list-style-type: none"> - 지역 간 연계·협력을 위한 장거리 지역 간 고속 교통인프라 구축, 스마트 기술을 활용한 교통인프라 연계의 스마트화 	
	「제4차 국가철도망 구축계획」 (국토교통부, '21)	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 국민이 원하는 경쟁력 있는 철도, 국가 균형발전을 선도하는 철도, 그린 모빌리티의 중심이 되는 철도 • (주요내용) 고속도 운행지역 확대 및 400km/h급 초고속 열차 운행기반 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 고속철도 속도향상을 위한 핵심요소인 차량, 궤도 등 기반시설의 기준정립·기술개발을 통해 해외 진출 경쟁력 확보 	
② 중·장거리 교통수단은 국민 삶의 질 향상과 국가 성장의 핵심적인 요소로 지속적인 고속화 노력 필요	「제2차 국가기반교통망계획」 (교통 최상위 종합계획, '21)	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 이동의 자유, 안전하고 지속가능한 모빌리티 구현 • (주요내용) 이동권 보장, 안전/지속가능교통체계, 자율교통, 글로벌 교통공동체 실현 <ul style="list-style-type: none"> - 고속국가철도망 완성 등 국토균형발전을 위한 교통망 완성 - 대중교통 수단/서비스 다양화 등 대중교통 환경 조성 - 첨단교통수단 개발/보급 등 친환경 첨단모빌리티 일상화 - 유라시아 및 한반도 연결성 강화 등 글로벌 교통공동체 기반 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 대표 도시인 서울-부산을 30분 이내로 이동이 가능하며, 도시 내 접근이 용이한 하이퍼튜브가 적합 • 원활한 유라시아와의 경제협력을 위해 신속하고 효율적으로 연결할 수 있는 신교통수단인 하이퍼튜브 개발이 필요
③ 이동시간의 가치 변화에 따라 질적 서비스 중심의 교통수단 요구가 증대되고 있는 상황	「모빌리티 혁신 로드맵」 (국토교통부, '22)	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 모빌리티 서비스 혁신을 통해 '35년 전국 평균 출퇴근 시간 20분대로 단축, 인구 10만 이상 도시간 2시간대 이동 실현 • (주요내용) 	<ul style="list-style-type: none"> • 중·장거리 총 통행시간을 획기적으로 단축할 수 있는 초고속 이동수단인 하이퍼튜브가 필요

		<ul style="list-style-type: none"> - 초고속 운송(800~1,200km/h)이 가능한 하이퍼튜브 등 핵심 기술 개발 추진 	<ul style="list-style-type: none"> - 거점 간 하이퍼튜브 연계 시 지역 내 통행 포함 지역 간 총통행시간이 3시간 2분 (61.5%) 단축되어 도심지+지역 간 교통 시너지효과가 극대화 <table border="1" data-bbox="1579 311 2060 406"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>총통행시간 단축효과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>하이퍼튜브 미도입 시*</td> <td>-32분 (10.8%)</td> </tr> <tr> <td>하이퍼튜브 도입 시</td> <td>-182분 (61.5%)</td> </tr> </tbody> </table> <p>* 고속철도 기준(3시간) 지역간 총통행시간은 4시간 56분에서 4시간 24분으로 32분 단축(10.8%)되어 개선 효과가 미미</p>	구분	총통행시간 단축효과	하이퍼튜브 미도입 시*	-32분 (10.8%)	하이퍼튜브 도입 시	-182분 (61.5%)
구분	총통행시간 단축효과								
하이퍼튜브 미도입 시*	-32분 (10.8%)								
하이퍼튜브 도입 시	-182분 (61.5%)								
	<p>「광역교통비전 2030」 (관계부처 합동, '19)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 통행·환승시간, 비용 절감을 통한 삶의 질 제고 • (주요내용) 수도권 주요 거점을 광역급행철도로 빠르게 연결하여 세계적 도시 수준의 광역교통망 완성 	<ul style="list-style-type: none"> • 통행 및 환승시간을 획기적으로 단축하기 위해서는 수도권 주요 거점 뿐만 아니라 지역 거점 간 연결을 통해 반일생활권이 가능한 하이퍼튜브가 적합 - KTX의 도입으로 전 국토 일일생활권화가 실현되었고, 이는 국가 생산성 및 경쟁력 향상에 기여 - 일일생활권이 달성도 있었지만 지역 간 총 통행시간은 여전히 8시간 이상이므로 주 52시간 근무제* 고려 시 통행시간이 일일 업무시간을 초과하는 실정 * 법정근로시간(40시간)을 고려하였을 때 평균 1일 8시간 근무로 장거리 이동(서울-부산)은 가능하나 업무를 위한 시간은 부족 - 전 국토 반일생활권을 통한 생산성 및 경쟁력 혁신 기반조성 및 4시간 이내에 왕복이 가능한 교통체계의 혁신이 필요 						
<p>④ 탄소중립이 글로벌 新패러다임으로 대두되면서 친환경/저에너지 중·장거리 교통수단으로의 전환 요구 증대</p>	<p>「제5차 과학기술기본계획 ('23~'27)」 (과학기술정보통신부, '22)</p> <p>「2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략(안)」 (과학기술관계장관회의,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) “과학기술혁신이 선도하는 담대한 미래”를 비전으로 국가 연구 개발 전략성 강화, 민간 중심 과학기술 혁신생태계 조성, 과학기술 기반 국가적 현안 해결 • (주요내용) 산업 저탄소화 기반 조성 및 탄소 관리 인프라 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 탄소 다배출 산업의 대체·사업전환 지원 - 탄소 배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축 * 하이퍼튜브, 성층권 드론 등 저탄소 미래 이동체 개발 추진 <ul style="list-style-type: none"> • (목표) ‘미래모빌리티로 전환’ 과제에서 초고속철도망 등 철도인프라의 확충을 제시 • (주요내용) 창의적 모빌리티 서비스 도입, 철도·선박 등 비도로 부문까지 모빌리티 전반에 대한 친환경화 추진 <ul style="list-style-type: none"> - (철도) 주요 거점의 고속철도망을 연결하고, 초고속철도망 및 광역· 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소배출량이 많은 도로, 항공의 수요를 대체 할 수 있는 新 교통수단으로는 아진공에서 자기부상으로 주행하는 하이퍼튜브가 적합 - 항공기 53.3kg/인, 도로(승용차) 50kg/인, 철도 5.9kg/인으로 철도의 온실가스 배출량이 가장 낮게 기록 						

	21)	도시철도(예: GTX) 등 철도인프라 확충 • (목표) 균형국토, 스마트국토, 혁신국토를 위한 7개 광역경제권 거점도시 - 인구 감소와 저성장 시대에 체계적으로 대비하여 어디서나 살기좋은 균형 국토를 조성 - 초연결초지능화 시대로의 전환과 4차 산업혁명에 따른 기술발전을 국토관리와 이용에 활용하여 국민의 편리함과 국토의 지능화 실현 • (주요내용) - 에너지 및 탄소 저감을 위한 첨단 모빌리티 체계 구축	
5) 미래 교통 특성 변화에 부합할 수 있는 교통수단의 개발이 필요	「제5차 국토종합계획(20~'40)」 (국토교통부, '19)	• (목표) 국가경쟁력 및 국토교통 관련 삶의 질, 연구환경 만족도 상승 • (주요내용) 국토교통 8대 혁신성장동력 중 지능형 철도 중 친환경 초고속 철도 가 포함	• 신교통수단의 니즈 (신속한 이동, 이용의 편리성, 친환경적 교통)에 부합할 수 있는 미래 신교통수단인 하이퍼튜브 개발이 필요 - (신속성) 공기중 마찰로 인한 속도의 한계 극복 - (편리성) 기후의 영향, 대기시간, 접근성의 한계 극복 - (친환경성) 탄소배출량이 많은 항공기 대체 가능
	「제1차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획」 (국토교통부, '18)	• (목표) 균형국토, 스마트국토, 혁신국토를 위한 7개 광역경제권 거점도시 - 인구 감소와 저성장 시대에 체계적으로 대비하여 어디서나 살기좋은 균형 국토를 조성 - 초연결초지능화 시대로의 전환과 4차 산업혁명에 따른 기술발전을 국토관리와 이용에 활용하여 국민의 편리함과 국토의 지능화 실현 • (주요내용) - 지역 간 연계·협력을 위한 장거리 지역 간 고속 교통인프라 구축, 스마트 기술을 활용한 교통인프라 연계의 스마트화 - 에너지 및 탄소 저감을 위한 첨단 모빌리티 체계 구축 - 하이퍼튜브와 같은 새로운 교통수단 등장에 대비한 기술개발 및 체계개편 검토	
	「제5차 국토종합계획(20~'40)」 (국토교통부, '19)	• (목표) 과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여 • (주요내용) 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신기술 중 하나로 '초고속 튜브트레인'이 언급 - 인공지능, 빅데이터 등 미래사회를 변화시킬 기술들이 사회에 널리 확산되면서 혁신적인 변화를 유발하여 '초고속 튜브트레인' 등의 혁신 기술들이 사회에 급속도로 확산	
	「제4차 과학기술기본계획」 (관계부처 합동, '18)	• (목표) 미래사회에 대비한 철도산업 혁신 • (주요내용) 철도산업 생태계 분야에서 글로벌 시대에 대응하는 철도기술 고도화 및 미래사회에 대비한 철도산업 혁신 부분에 하이퍼튜브 기술개발 내용 포함 - 철도 R&D 중장기 로드맵 수립(안)에서 철도수송능력 향상을 위한 차세대 철도시스템으로 하이퍼튜브 기술개발 내용 언급	
제4차 철도산업발전 기본계획('21~'25) (국토교통부, '22)	• (목표) 50대 미래전략프로젝트 및 20대 유망기술 확정 • (주요내용) 미래시장, 기술성, 실현가능성을 종합 고려하여 '50년까지 추진할 50대 미래전략프로젝트와 '30년까지 집중할 20대 유망기술 확정(국토교통과학기술위원회) - 이동수단의 혁명(M이동성, E전동화, C초연결성, A자율운행)을 위한 '최고 시속 1,200km로 아진공 튜브를 주행하는 철도시스템 개발'이 포함		

<p>⑥ 하이퍼튜브 시장을 선점하기 위해서는 First Mover형 R&D 추진이 시급</p>	<p>「윤석열 정부 120대 국정과제」 (대통령직인수위원회, '22)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 하이퍼튜브 등 혁신·도전적인 과제에 투자를 확대하며, 모빌리티 혁신을 위한 하이퍼튜브의 독자기술 확보 • (국정목표 2 : 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제) <ul style="list-style-type: none"> - (약속 04 : 핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다.) · (국정과제 28) '모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화' 에서는 하이퍼튜브 등 혁신·도전적인 과제와 안전·미세먼지·주거환경 등 생활체감도가 높은 분야에 R&D 투자를 확대해야 함을 언급 • (국정목표 4 : 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제) <ul style="list-style-type: none"> - (약속 14. 과학기술이 선도하는 도약의 발판을 놓겠습니다.) · (국정과제 75) '초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약'에서는 (UAM/하이퍼튜브) 모빌리티 혁신을 위한 UAM, 하이퍼튜브 독자기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> • 혁신적인 하이퍼튜브 기술 확보를 통해 新 시장 선점 가능 - 기존 KTX의 경우, 기술 추종전략을 사용한 후발주자로 해외시장 진입장벽이 높은 상황(세계 철도시장의 0.7% 점유) - 1,200km/h급의 초고속 이동수단인 하이퍼튜브 개발을 통해 글로벌 경쟁 우위 선점 ※ (미국) 「버진 하이퍼루프」 아진공튜브 500m 에서 유인 172km/h 달성 (일본) 「츄오 산본선」 유인 최고속도 603.5km/h 달성 (독일) 「Transrapid SMT」 최고속도 500km/h 달성 (중국) 「Shanghai Maglev」 최고속도 501km/h 달성 (이탈리아) 「AGV Italo」 최고속도 574 km/h 달성 (프랑스) 「TGV POS」 최고속도 575km/h 달성
	<p>「제1차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획」 (국토교통부, '18)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 국가경쟁력 및 국토교통 관련 삶의 질, 연구환경 만족도 상승 • (주요내용) “기술융합을 통한 새로운 가치 창출” 전략에서 “기존 수송 시스템 혁신기술 도입”에 포함 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 수송시스템 혁신기술 도입 과제에서 철도차량 및 인프라를 혁신하는 「친환경 초고속 철도시스템」 개발을 전략목표로 제시 - (초고속) 진공에 가까운 튜브 안을 1,000km/h 이상의 고속으로 주행하는 캡슐 형태의 아진공튜브(Hyperloop) 열차시스템 개발 내용 포함 • 국토교통 8대 혁신성장동력 중 지능형 철도 중 「친환경 초고속 철도」가 포함 	
	<p>「제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획(‘23~’32)」 (국토교통부, '23~)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 첨단 지능형 모빌리티 기술과제로 제시된 「지능형·초고속 철도시스템」 과제 및 12대 국토교통 R&D 브랜드과제의 「하이퍼튜브」가 동 사업에 부합 	
	<p>「한국형 하이퍼튜브 개발 로드맵」 (국토교통부, '23)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 초연결성, 신뢰성, 친환경을 가지는 하이퍼튜브 기술 개발 • (주요내용) 하이퍼튜브 구현을 위한 세계선도기술 개발 등의 내용을 포함 <ul style="list-style-type: none"> - (아진공 튜브) 초고밀도 콘크리트 제작, 기밀성능 및 성능평가 등을 위한 재료기술, 설계기술, 실증기반 확보 추진(~'30) - (추진·부상 시스템) 추진전력 제어 기술과 함께, 자기부상 대차 및 저·고속 주행이 가능한 접이식 안내륜 기술 확보 등 추진(~'30) - (캡슐차량) 아진공 환경을 견딜 수 있는 기밀성능을 확보하고, 내부 공기질을 유지할 수 있는 4인승 캡슐차량 개발(~'30) 	

4. 국고지원의 적절성

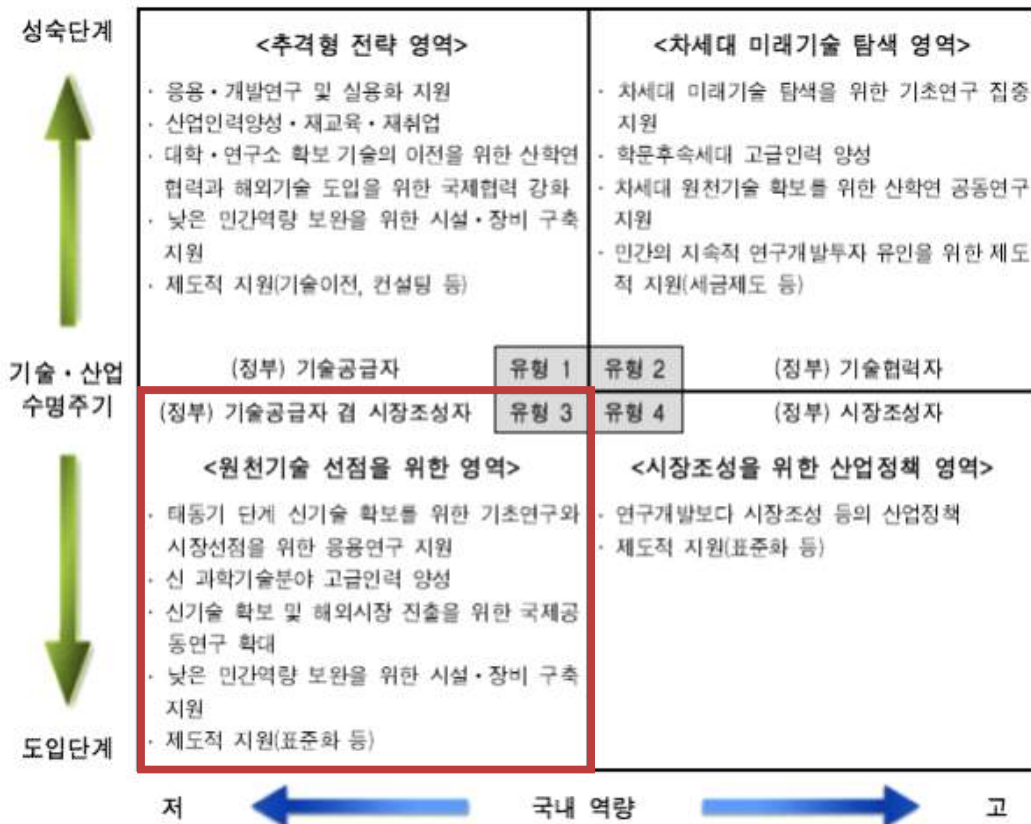
□ 동 사업은 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」에서 제시한 정부지원의 역할 중 정부의 ‘기술공급자 겸 시장조성자’ 역할이 필요한 사업

기술공급자 겸 시장조성자	① 기술·시장의 불확실성이 높고, ② 민간의 연구개발 및 ③ 시장 창출 역량이 부족하여 정부 주도의 기술공급과 시장 창출의 역할이 필요
---------------	---

※ 출처 : 예타세부지침(KISTEP, 2019) 및 과학기술정보통신부(2018) 2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준

참고 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」으로 본 정부의 R&D 역할모델

산업기술개발사업의 경우 해당 산업 분야의 국내 역량과 기술·산업의 성숙도에 따라 정부지원의 필요성을 고려할 필요가 있는데, [그림 3-5]와 같이 4가지 유형에 따라 정부의 역할이 각각 정의될 수 있다. 국내 개발 역량이 낮거나 기술·산업의 수명주기가 도입기인 경우에는 정부가 기술공급자 또는 시장조성자로서의 역할을 수행할 수 있지만, 이외의 경우 민간이 시장을 주도하고 정부가 이를 보조하는 형태의 역할 분담이 대체로 적합하다. (중략)



※ 출처 : 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침, KISTEP, 2019

[그림] 산업기술분야 유형별 정부역할의 실천방안

□ 동 사업은 「예비타당성조사 수행 세부지침」에서 구분한 사업유형 중 도전·혁신형으로, 과학기술 선도를 위해 세계 최초·최고의 지향 필요

- ‘하이퍼튜브 기술’은 아직 전 세계적으로 개발사례가 없는 First Mover 기술로 민간 기업이 투자하기에는 기술/시장에 대한 불확실성이 높기 때문에 국가 주도의 개발이 필요한 영역
 - 하이퍼튜브 기술개발사업은 기존 해외장비의 국산화가 아닌, 핵심기술을 개발하는 것으로 기술의 불확실성이 높아 민간기업의 주도적 개발이 어려운 상황
 - ※ 동 사업에서 개발하고자 하는 기술은 철도시스템의 새로운 영역을 제시하기 때문에 민간 기업에서 주도하여 투자·개발하기에는 Risk가 큰 기술
 - 하이퍼튜브는 기존에 존재하는 기술의 융·복합을 통해 개발해야 하며, 정부 출연연이 보유한 다양한 기술이 필요
 - ※ 기술개발을 위해 초전도 기술, 초고속 자기부상철도 기술, 첨단 건설 및 진공 시스템 기술, 대용량 전력시스템 기술 등 정부 출연연이 보유한 다양한 기술 분야의 융·복합 필요
- 「국가연구개발사업 예비타당성조사 운용지침 및 수행 세부지침」에 따라 본 사업의 유형을 ‘도전혁신형’ 사업으로 분류
 - 초고속으로 주행하는 하이퍼튜브는 아직 어떤 국가도 성공한 사례가 없고, 실패확률과 불확실성이 존재하는 사업이기 때문에 「예비타당성조사 운용지침」에 따라 도전·혁신형 사업으로 분류
 - ※ 도전적인 핵심기술 개발을 통해 기술선도와 세계 시장 주도를 목표로 하며, 개발된 기술은 다양한 응용분야에서 파급효과가 클 것으로 기대됨
 - ※ 아음속 추진/부상기술, 아진공 터널 기술, 급전 엔지니어링, 아진공 차량기술, 초고속 철도 운영기술 등에서 혁신기술로 기존 기술과 대비됨

 **참고**

국가연구개발사업 예비타당성조사 운용지침

제12조(국가연구개발사업 예비타당성조사 대상사업)

- ① (생략)
- ② 국가연구개발사업은 사업 목적에 따라 도전·혁신형사업과 성장형사업, 기반조성형사업으로 구분한다. 국가연구개발사업의 분류 유형은 다음 각 호와 같다.
 1. **도전·혁신형사업** : 과학기술선도를 목표로 하며 **영향력과 파급효과가 크지만 실패확률과 불확실성도 높은 연구**를 지원하는 사업
 2. **성장형사업** : 산업지원 목적의 공정·제품·서비스 등의 개선, 기업 역량 강화를 목적으로 하는 연구를 지원하는 사업
 3. **기반조성형사업** : 연구 인력양성, 연구시설·장비구축, 공익증진을 목적으로 하는 공공성이 높은 연구를 지원하는 사업

- 예비타당성조사 수행 세부지침의 사업 유형 분류상 본 사업은 기반조성형 사업보다 도전혁신형 사업 유형에 해당³³⁾

※ 하이퍼튜브 2km 시제품은 본 사업을 통해 개발된 핵심기술 시험·검증이 주목적으로, '인력양성 인프라', '공공재적 성격의 인프라', '공익증진을 위한 공공기술 R&D 사업'으로 보기에는 적절하지 않은 것으로 판단하였음

※ '다목적 방사광가속기 구축사업', '슈퍼컴 6호기 구축사업', 'K-바이오 랩허브 구축사업', '극한소재 실증연구 기반조성 사업' 등 공동 활용성이 높은 시설·장비 구축사업이 '기반조성형' 사업으로 구분되고 있음을 확인

목적별 유형	정의 및 사업의 특징
도전·혁신형	과학기술선도를 목표로 하며 영향력과 파급효과가 크지만 실패확률/불확실성이 높은 R&D
성장형	산업지원 목적의 공정·제품·서비스 개선, 기업 역량강화 목적의 R&D
기반조성형	연구인력양성, 연구시설·장비구축, 공익증진을 목적으로하는 공공기술 R&D

□ **동 사업은 중·장거리를 초고속으로 이동할 수 있는 대중교통 수단을 개발하는 육상교통 인프라 (SOC)로 국민 삶의 질을 향상시키는 공공재이자 공공서비스**

- 국가 기간망인 철도운영의 효율성 향상과 산업경쟁력 향상은 국가적인 책무에 해당
 - (철도산업발전기본법) 국가는 법령에 따라 국민의 교통 편익증진을 위한 철도 수송 효율성 향상과 철도산업의 경쟁력을 높이기 위한 투자와 시책을 마련해야 함을 명시
- 대통령령인 국토교통부와 그 소속기관 직제에서 철도 기술산업 개발 및 도입에 관한 사항 내용은 국가에서 관리해야 하는 영역으로 지정
 - 국토교통부와 그 소속기관 직제 시행규칙 제18조에 따르면 '철도 기술산업 개발 및 도입에 관한 사항'에 관한 내용은 철도국의 역할로 분장
- 인프라 투자는 경제성장과 일자리 창출 및 국민 복리 증진에 기여하고 있으며, 인프라의 질은 국가 경쟁력을 좌우
 - 인프라에 1달러 투자 시 GDP 0.2달러 성장에 기여³⁴⁾하며, SOC 1조 원 투자 시 신규취업자 14,000명 창출³⁵⁾

□ **철도 산업분야는 민간의 연구개발·시장창출 역량이 부족하여 정부주도의 기술 공급 및 시장창출의 역할이 필요한 분야**

- 세계에서 4번째로 고속철도를 개발하였지만, 기술 도입 후 국산화 개발이라는 추종전략을 사용함으로써, 후발주자의 진입장벽이 너무 높아져 고속철도 수출에 실패³⁶⁾

참고 과거 고속철도(KTX)의 사전대응 미흡으로 인한 손실³⁷⁾

- 해외 기술 도입, 기술 이전 및 국산화 전략을 추진한 고속철도 시스템 분야는 프랑스로부터 차량, 전차제어, 열차제어 등에 관련된 기술이전 교육을 받았으나, 핵심장치 국산화율은 낮은 수준

33) 국가연구개발 예비타당성조사 수행 세부지침 pp.84~85

34) 세계은행, 2015

35) 건설산업연구원, 2017

36) 철도부품산업 생태계 발전방안 수립을 위한 연구 용역 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017.11

- 2만개 이상의 부품으로 구성된 고속철도 차량에서 아직도 주요 핵심부품은 해외업체에 의존하는 경우가 상당
 - 국내에서 KTX는 1,380량이 운행 중이며, 그 중 핵심부품의 국산화율은 30% 수준
- 외산 철도차량 부품의 경우, 단종 및 대체품 개발에 따른 조달기간 장기소요 및 추가 기술개발 비용 소요 문제 등이 발생
- 2010년 국산화 개발 완료된 KTX-산천 부품장치 국산화율은 약 90% 수준이며, 해외수주는 사실상 전무
 - 국내 고속철도차량의 부품장치 제조기업의 경우 자체 기술력 확보 보다는 외국 기술/제품을 도입하여 조합 제작 또는 납품하는 형식이며, 핵심 부품장치는 기술력의 부재로 100% 해외 부품장치에 의존
- 주변압기, 연결기 및 전두부 해치커버, 차축감속기, 제동패드 등 고속철도차량 주요 핵심부품* 은 대부분 수입품을 사용
 - 고속철도차량 제동장치부품 중 제동패드와 제동슈는 소모성 부품으로 주기적으로 교체해야 하는 대체 보수품으로, 대부분 수입에 의존

□ 하이퍼튜브 기술은 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」에서 제시한 시장실패와 시스템 실패를 교정할 수 있는 공공기술에 대한 지원 영역에 해당

○ 하이퍼튜브 기술은 국내 기술 발전의 제약사항을 돌파하기 위한 핵심영역이며, 이는 시스템 실패와 시장실패로 인한 정부의 개입을 통해 교정해야 하는 영역

시스템실패* (System failure) 교정 영역	- 하이퍼튜브 기술개발을 위한 2km 시적품 부지, 시험평가 시설장비, 인력, 안전성 평가 기술 등이 미 구축된 경우, 시스템실패 중 '인프라 실패' 영역에 해당, 정부지원으로 교정하는 역할 필요
시장실패** (Market failure) 교정 영역	- 기업 입장에서 산업생태계가 초기단계인 하이퍼튜브 기술개발은 큰 모험일 뿐 아니라, 기술이 성공적으로 개발된다고 하더라도 기존 산업생태계 진입 등 시장 개척에 따른 불확실성과 위험성이 매우 큰 분야로 국가지원 영역에 해당 - 하이퍼튜브는 공공재적 성격으로 투자 주체가 효과를 독점할 수 없고, 수행주체 외에 파급효과가 큰 기술이기 때문에 국가지원 영역에 해당

* 시스템실패(system failure)는 인프라실패, 제도실패, 네트워크실패 등 시스템이 제대로 작동하지 않았을 때 발생

** 시장실패(market failure)는 재화와 서비스가 지닌 공공재적 특성, 외부효과, 정보의 불확실성과 비대칭성 등 시장의 내재적 결함 (intrinsic fault)으로 인해 적절한 재화의 생산이 사회적으로 이루어지지 않는 문제를 말함³⁸⁾

37) 2016년도 예비타당성조사 보고서: 철도차량 부품개발사업, 한국과학기술기획평가원, 2019.5
차세대 철도 핵심부품장치 기술개발 기획 최종보고서, 국토교통부, 2018.02
철도 주요시스템 및 부품 국산화 기술개발 기획, 국토교통부, 2013.10

38) 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침, 한국과학기술기획평가원, 2019

5. 추진 근거

1) 법적 근거

□ 본 사업은 『과학기술기본법』, 『국토기본법』, 『국토교통과학기술 육성법』 등에 법적 근거를 두고 추진

〈표 1-12〉 초고속 이동수단 하이퍼튜브 개발사업의 지원 근거

근거 법률	내용	소관부처
과학기술 기본법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제1조(목적) <ul style="list-style-type: none"> - 이 법은 과학기술발전을 위한 기반을 조성하여 과학기술을 혁신하고 국가경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 나아가 국민의 삶의 질을 높이고 인류사회의 발전에 이바지함을 목적으로 한다. ○ 제5조 1항(과학기술정책의 중시화 개방화 촉진) <ul style="list-style-type: none"> - 정부는 과학기술정책의 수립과 추진을 통하여 과학기술이 국가의 경제적·사회적 문제를 해결하고 미래전략을 달성하는 중추적인 역할을 할 수 있도록 필요한 자원을 최대한 동원하여 창의적 연구개발과 개방형 과학기술혁신활동을 적극적으로 지원하여야 한다. ○ 제7조 3항(과학기술기본계획) <ul style="list-style-type: none"> - 기본계획에서는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. <ol style="list-style-type: none"> 1. 과학기술의 발전목표 및 정책의 기본방향 2. 과학기술혁신 관련 산업정책, 인력정책 및 지역기술 혁신정책 등의 추진방향 (이하 중략) ○ 제11조 1항(국가연구개발사업의 추진) <ul style="list-style-type: none"> - 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. ○ 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성) <ul style="list-style-type: none"> - 정부는 과학기술에 기반을 둔 성장동력을 발굴·육성하기 위하여 필요한 시책을 세우고 추진하여야 한다. 	과학 기술 정보 통신부
국토 기본법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제2조(국토관리의 기본 이념) <ul style="list-style-type: none"> - 국토는 모든 국민의 삶의 터전이며 후세에 물려줄 민족의 자산이므로, 국토에 관한 계획 및 정책은 개발과 환경의 조화를 바탕으로 국토를 균형 있게 발전시키고 국가의 경쟁력을 높이며 국민의 삶의 질을 개선함으로써 국토의 지속가능한 발전을 도모할 수 있도록 수립·집행하여야 한다. ○ 제4조 1항(경쟁력 있는 국토 여건의 조성) <ul style="list-style-type: none"> - 국가와 지방자치단체는 도로, 철도, 항만, 공항, 용수(用水) 시설, 물류 시설, 정보통신 시설 등 국토의 기간시설(基幹施設)을 체계적으로 확충하여 국가 경쟁력을 강화하고 국민생활의 질적 향상을 도모하여야 한다. 	국토 교통부
철도산업 발전기본법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제4조(시책의 기본방향) <ul style="list-style-type: none"> ② 국가는 에너지이용의 효율성, 환경친화성 및 수송효율성이 높은 철도의 역할이 국가의 	국토 교통부

근거 법률	내용	소관부처
	<p>건전한 발전과 국민의 교통편의 증진을 위하여 필수적인 요소임을 인식하여 적절한 철도수송분담의 목표를 설정하여 유지하고 이를 위한 철도시설을 확보하는 등 철도 산업발전을 위한 여러 시책을 마련하여야 한다.</p> <p>○ 제5조(철도산업발전기본계획의 수립)</p> <p>① 국토교통부장관은 철도산업의 육성과 발전을 촉진하기 위하여 5년 단위로 철도산업발전기본계획(이하 “기본계획”이라 한다)을 수립하여 시행하여야 한다.</p> <p>〈개정 2008. 2. 29., 2013. 3. 23.〉</p>	
국토의 계획 및 이용에 관한 법률	<p>○ 제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙)</p> <p>- 국토는 자연환경의 보전과 효율적 활용을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 이루기 위하여 다음 각 호의 목적을 이룰 수 있도록 이용되고 관리되어야 한다.</p> <p>〈이하 중략〉</p>	국토 교통부
국토교통 과학기술 육성법	<p>○ 제7조(기술수요조사)</p> <p>- 국토교통부장관은 국내외 기술동향조사 등을 통하여 정기적으로 기술수요조사를 하고, 그 결과를 반영하여 연구개발과제를 발굴하여야 한다.</p> <p>- 제1항에 따른 기술수요조사에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다.</p> <p>○ 제8조(연구개발사업의 추진)</p> <p>- 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술연구개발사업(이하 “연구개발사업”이라 한다)을 할 수 있다.</p> <p>- 국토교통부장관은 연구개발사업을 할 때 연도별·분야별 연구과제를 선정하여 다음 각호의 기관 또는 단체등과 협약을 맺어 연구를 하게 할 수 있다.</p> <p>〈이하 중략〉</p>	국토 교통부

(2) 국정과제 근거

□ 본 사업은 윤석열 정부의 120대 국정과제와 연계

- 동 사업은 「윤석열 정부 120대 국정과제*」의 6대 국정목표 중 ‘민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제’, ‘자율과 창의로 만드는 담대한 미래’와 관련

* 윤석열 정부가 5년간 추진해야 할 정책집행의 로드맵을 제시한 계획으로, ▲국가비전 ▲6대 국정목표 ▲23개 약속 ▲120대 국정과제로 구성

- 120대 국정과제 중 “모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화”, “초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약” 과제와 관련
 - (국정과제 28) 하이퍼튜브 등 혁신·도전적인 과제와 안전·미세먼지·주거환경 등 생활 체감도가 높은 분야에 R&D 투자 확대 추진

6대 국정목표 중 ‘민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제’	
약속	05. “핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 건언하겠습니다.”
국정과제	28. 모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화
주요 내용	- (R&D 확대와 강소기업 스케일업) 하이퍼튜브 등 혁신·도전적인 과제와 안전·미세먼지·주거환경 등 생활체감도가 높은 분야에 R&D 투자 확대

- (국정과제 75) (UAM/하이퍼튜브) 모빌리티 혁신을 위한 UAM, 하이퍼튜브 독자기술 확보

6대 국정목표 중 ‘자율과 창의로 만드는 담대한 미래’	
약속	14. “과학기술이 선도하는 도약의 발판을 놓겠습니다.”
국정과제	75. 초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약
주요 내용	- (UAM/하이퍼튜브) 모빌리티 혁신을 위한 UAM, 하이퍼튜브 독자기술 확보

(3) 국가계획 근거

□ 제4차 과학기술기본계획('18~'22)

- 「제4차 과학기술기본계획*」에서 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신 기술 중 하나로 ‘초고속 튜브트레인’이 언급되어 동 사업과 관련

* 동 계획은 「과학기술기본법」제7조에 의거, 우리나라의 과학기술발전에 관한 중·장기 정책목표와 방향, 전략, 중점과제 등을 반영하여 20개 부·처·청 합동으로 수립

- 인공지능, 빅데이터 등 미래사회를 변화시킬 기술들이 사회에 널리 확산되면서 혁신적인 변화를 유발하여 ‘초고속 튜브트레인’ 등의 혁신기술들이 사회에 급속도로 확산

〈표 1-13〉 「제4차 과학기술기본계획」 중 동 사업 관련 내용

계획명	주요 내용										소관부처
제4차 과학기술 기본계획 (’18~’22)	[주요 혁신기술들의 기술확산점(Tipping Point)*]										과학 기술정보 통신부
	실감형 가상·증강현실		자율주행자동차		유전자치료		인공장기		초고속 튜브트레인		
	세계	국내	세계	국내	세계	국내	세계	국내	세계	국내	
	’20	’24	’23	’28	’24	’28	’24	’29	’28	’33	
* 기술확산점(Tipping Point) : 기술이 사회에 급속도로 확산되는 시점											
※ 출처 : 제5회 과학기술예측조사(과학기술정보통신부, 2017)											

□ 제5차 과학기술기본계획(’23~’27)

- 탄소 다배출 산업의 대체·사업전환 지원 중 하이퍼튜브 등 저탄소 미래 이동체 개발 추진 내용과 동 사업과 관련
 - ‘탄소중립 선도 및 지속가능한 환경으로 전환’ 추진과제에서 산업 저탄소화 기반 조성 및 탄소 관리 인프라 구축 추진을 제시
 - 하이퍼튜브 등 저탄소 미래 이동체 개발을 추진하여 탄소 배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축 내용 포함

□ 제1차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획*(’18~’27)

* 「국토교통과학기술육성법」 의거 향후 10년(2018년~2027)간 미래 변화에 대응한 중점 기술 개발전략을 종합적으로 제시하고 사업화 등 개발된 기술의 보급·활용 지원체계를 구축하는 법정계획

- ‘혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통’을 비전으로 제시된 4개 추진 전략 중 “기술융합을 통한 새로운 가치 창출” 전략에서 “기존 수송시스템 혁신기술 도입” 과제가 동 사업과 관련
 - 기존 수송시스템 혁신기술 도입 과제에서 철도차량 및 인프라를 혁신하는 ‘친환경 초고속 철도 시스템’ 개발을 전략목표로 제시
 - (초고속) 진공에 가까운 튜브 안을 1,000km/h 이상의 고속으로 주행하는 캡슐형태의 아진공 튜브(Hyperloop) 열차시스템 개발 내용 포함
- 국토교통 8대 혁신성장동력 중 지능형 철도 중 ‘친환경 초고속 철도’가 포함되어 동 사업과 부합성이 높은 것으로 확인

〈표 1-14〉 「제1차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획」 중 동 사업 관련 내용




추진 전략	실천과제
4차산업혁명 대응 혁신성장동력 육성	- 초연결 도시 구현 기술개발 - 무인이동체 자율주행 기술개발 - 디지털 기반 국토정보 기술 고도화
기술융합을 통한 새로운 가치창출	- 융합기술을 통한 건설 지능화 실현 - 고부가가치 건설기술 창출 - 기존 수송시스템 혁신기술 도입
사람 중심의 국토교통 기술개발	- 재난·재해 예방 안전 기술 개발 - 친환경 생활공간 조성 기술 개발 - 사회이슈 해결형 기술 개발
미래 지향적 R&D 시스템 도입	- 국토교통 R&D 관리체계 혁신 - 국토교통 연구개발 기반강화 - 연구개발 성과와 산업 간 연결고리 강화

□ 제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획 ('23~'32)

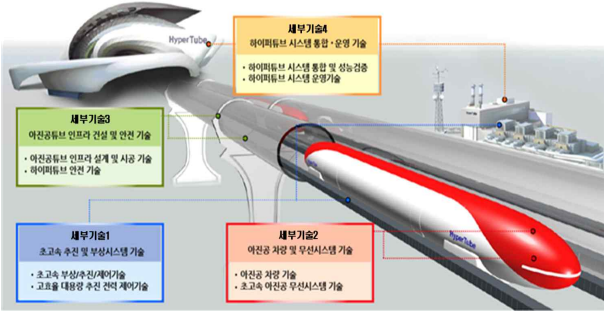
* 「국토교통과학기술육성법」 제4조에 근거하여 국토교통과학기술의 추진방향, 중점기술 개발 전략 등을 포함한 '제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32)'을 수립

- '제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획'에 기술과제 ④ 첨단 지능형 모빌리티의 세부 과제로 '초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발'이 반영
 - 국토교통 미래대응 및 현안 해결을 위한 12대 기술과제 중 기술과제 ④ 첨단 지능형 모빌리티를 제시하였으며, '하이퍼튜브' 등 신모빌리티 혁명에 따른 핵심기술 개발 및 구현 등의 내용이 포함
 - 또한, 12대 국토교통 R&D 브랜드과제(안) 중 국토교통의 혁신적인 미래를 열어가기 위해 필요한 대표기술로서 '초고속 하이퍼튜브'가 포함
 - '제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획'에 하이퍼튜브의 단계적 추진 로드맵 등의 내용이 반영

〈표 1-15〉 「제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획」 중 동 사업 관련 내용

비전 및 목표 & 12대 S.T.A.R 과제	기술과제 세부내용																																																																																																				
<p>• 비전 및 목표</p>   	<p>• 기술과제 ④ 첨단 지능형 모빌리티</p> <p>○ (자율운영·다차원 첨단 철도 시스템) 지능형 기술을 기반으로 한 자동화된 철도 운영 및 초연결 사회 이동 편의를 위한 다차원 모빌리티</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ (목표) 2032년 초연결 사회 MaaS* 구현을 위해 승객수요 및 선로 환경을 실시간으로 반영하고 능동적·지능적으로 운영 및 운행하기 위한 모빌리티 기술 개발 *MaaS: Mobility as a Service ▪ (설정근거) 2030 인구절벽시대 진입, 비대면생활 일상화 해소 및 초연결/다차원 모빌리티 기술을 활용한 기간교통망 구축 ▪ (목표달성 장애요인) 초연결 네트워크망 구축을 위한 모빌리티 기술의 낮은 자율화 및 모빌리티간 연결 단절 ▪ (로드맵) <table border="1" data-bbox="821 1243 1412 1601"> <thead> <tr> <th>세부과제</th> <th>'23</th> <th>'24</th> <th>'25</th> <th>'26</th> <th>'27</th> <th>'28</th> <th>'29</th> <th>'30</th> <th>'31</th> <th>'32</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• 디지털 제조건설 등 스마트 철도 생태계 구축 기술 개발</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>• 철도모빌리티 자율운영무인자율운전주행유지보수 등 플랫폼 기술 개발</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>• Level 5 열차 자율운행차량 및 인프라 기술 개발</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>• 트램도로 모빌리티 간 V2V, V2X 자율주행 기술 개발</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>• 초고속 철도망 확충 기반 고도화 기술 개발</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr style="border: 2px solid red;"> <td>• 초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>• 다차원 모빌리티 연계 수송을 위한 해법도 기술 개발</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>• (초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발) 혁신적인 장거리 교통수단 제공을 위한 1200km/h급 초고속 모빌리티 기술 개발</p> <p>• 초고속 추진/부상시스템 기술, 아진공 차량 및 무선시스템 기술, 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전기술, 하이퍼튜브 시스템 통합 운영 기술</p> <p>• 하이퍼튜브 핵심기술 개발('25년~'30년), 테스트베드 구축 및 실용화 연구('31년~'37년), 시범노선 구축 및 운영('38년~'44년)</p> <table border="1" data-bbox="821 1803 1412 1881"> <thead> <tr> <th>R&D 유형</th> <th colspan="2">연구개발 단계</th> </tr> <tr> <td>혁신도전형</td> <td colspan="2">응용/개발</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>과제개발 방식</td> <td>과제공모 방식</td> <td>연구선정 방식</td> </tr> <tr> <td>Top-down(종합계획)</td> <td>지청공모(Top down)</td> <td>통합발주</td> </tr> </tbody> </table>	세부과제	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	• 디지털 제조건설 등 스마트 철도 생태계 구축 기술 개발											• 철도모빌리티 자율운영무인자율운전주행유지보수 등 플랫폼 기술 개발											• Level 5 열차 자율운행차량 및 인프라 기술 개발											• 트램도로 모빌리티 간 V2V, V2X 자율주행 기술 개발											• 초고속 철도망 확충 기반 고도화 기술 개발											• 초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발											• 다차원 모빌리티 연계 수송을 위한 해법도 기술 개발											R&D 유형	연구개발 단계		혁신도전형	응용/개발		과제개발 방식	과제공모 방식	연구선정 방식	Top-down(종합계획)	지청공모(Top down)	통합발주
세부과제	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32																																																																																											
• 디지털 제조건설 등 스마트 철도 생태계 구축 기술 개발																																																																																																					
• 철도모빌리티 자율운영무인자율운전주행유지보수 등 플랫폼 기술 개발																																																																																																					
• Level 5 열차 자율운행차량 및 인프라 기술 개발																																																																																																					
• 트램도로 모빌리티 간 V2V, V2X 자율주행 기술 개발																																																																																																					
• 초고속 철도망 확충 기반 고도화 기술 개발																																																																																																					
• 초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발																																																																																																					
• 다차원 모빌리티 연계 수송을 위한 해법도 기술 개발																																																																																																					
R&D 유형	연구개발 단계																																																																																																				
혁신도전형	응용/개발																																																																																																				
과제개발 방식	과제공모 방식	연구선정 방식																																																																																																			
Top-down(종합계획)	지청공모(Top down)	통합발주																																																																																																			

참고 「제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획」 12대 국토교통 R&D 브랜드과제 세부내용(안)

브랜드 과제명	하이퍼튜브						
개념	<p>□ 하이퍼튜브는 아진공 환경에서 최고 시속 1,200km/h의 속도로 주행하는 신개념 육상 교통시스템을 의미</p> 						
목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신속성, 편리성, 친환경성을 가지는 하이퍼튜브 핵심기술 확보 - (목표1) 핵심기술 시작품 제작을 통한 하이퍼튜브 성능 검증 - (목표2) 하이퍼튜브 안전기술 (차량, 인프라) 개발을 통한 안전성 확보 						
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대도시(거점) 간 기능을 연계하여 활용하기 위해서는 초고속 이동수단이 필요 ○ 중장거리 교통수단은 국민 삶의 질 향상과 국가 성장의 핵심적인 요소로 지속적인 고속화 노력 필요 ○ 이동시간의 가치 변화에 따라 질적 서비스 중심의 교통수단 요구가 증대되고 있는 상황 ○ 탄소중립이 글로벌 신 패러다임으로 대두되면서 중·장거리 저탄소 교통수단으로의 전환 요구 가속화 ○ 미래 교통 특성 변화에 부합할 수 있는 교통수단의 개발이 필요 ○ 2050년 탄소중립 목표에 따라 미래 모빌리티로 전환을 위한 초고속 철도망 확충이 시급한 시점 ○ 하이퍼튜브 시장을 선점하기 위해서는 First Mover형 R&D 추진이 시급 						
추진근거	<p>□ 법적근거</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진) ○ 국토기본법 제2조(국토관리의 기본 이념) ○ 철도산업발전기본법 제4조(시책의 기본방향) ○ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙) ○ 국토교통과학기술 육성법 제8조(연구개발사업의 추진) <p>□ 관련정책</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 윤석열 정부 120대 국정과제(국정과제 ㉔, ㉕) ○ 제4차 과학기술기본계획(2018~2022) ○ 제5차 과학기술기본계획(2023~2027) ○ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027) ○ 제5차 국토종합계획(2020~2040) ○ 제4차 국가철도망 구축 계획(2021~2030) <table border="1" data-bbox="343 1630 1378 1989"> <thead> <tr> <th>과기정통부</th> <th>국토교통부</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> □ 제4차 과학기술기본계획('18~'22) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「과학기술기본법」 제7조 ○ (반영내용) 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신기술 중 하나로 '초고속 튜브트레인' 언급 </td> <td> □ 제1차 국토교통과학기술 종합계획('18~'27) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「국토교통과학기술 육성법」 제4조 ○ (반영내용) 진공에 가까운 튜브 안을 1,000km/h 이상의 고속으로 주행하는 캡슐형태의 '아진공튜브(Hyperloop) 열차시스템 개발' 포함 </td> </tr> <tr> <td> □ 제5차 과학기술기본계획('23~'27) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「과학기술기본법」 제7조 ○ (반영내용) 탄소 배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축에 '하이퍼튜브 개발 추진' 포함 </td> <td> □ 제2차 국토교통과학기술 종합계획('23~'32 수립중) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「국토교통과학기술 육성법」 제4조 ○ (반영내용) 기술과제 4. 첨단 지능형 모빌리티의 세부과제로 '초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발' 포함 </td> </tr> </tbody> </table>	과기정통부	국토교통부	□ 제4차 과학기술기본계획('18~'22) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「과학기술기본법」 제7조 ○ (반영내용) 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신기술 중 하나로 '초고속 튜브트레인' 언급 	□ 제1차 국토교통과학기술 종합계획('18~'27) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「국토교통과학기술 육성법」 제4조 ○ (반영내용) 진공에 가까운 튜브 안을 1,000km/h 이상의 고속으로 주행하는 캡슐형태의 '아진공튜브(Hyperloop) 열차시스템 개발' 포함 	□ 제5차 과학기술기본계획('23~'27) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「과학기술기본법」 제7조 ○ (반영내용) 탄소 배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축에 '하이퍼튜브 개발 추진' 포함 	□ 제2차 국토교통과학기술 종합계획('23~'32 수립중) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「국토교통과학기술 육성법」 제4조 ○ (반영내용) 기술과제 4. 첨단 지능형 모빌리티의 세부과제로 '초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발' 포함
과기정통부	국토교통부						
□ 제4차 과학기술기본계획('18~'22) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「과학기술기본법」 제7조 ○ (반영내용) 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신기술 중 하나로 '초고속 튜브트레인' 언급 	□ 제1차 국토교통과학기술 종합계획('18~'27) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「국토교통과학기술 육성법」 제4조 ○ (반영내용) 진공에 가까운 튜브 안을 1,000km/h 이상의 고속으로 주행하는 캡슐형태의 '아진공튜브(Hyperloop) 열차시스템 개발' 포함 						
□ 제5차 과학기술기본계획('23~'27) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「과학기술기본법」 제7조 ○ (반영내용) 탄소 배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축에 '하이퍼튜브 개발 추진' 포함 	□ 제2차 국토교통과학기술 종합계획('23~'32 수립중) <ul style="list-style-type: none"> ○ (수립근거) 「국토교통과학기술 육성법」 제4조 ○ (반영내용) 기술과제 4. 첨단 지능형 모빌리티의 세부과제로 '초고속 아진공 튜브철도(hyperloop) 시스템 기술 개발' 포함 						
사업	(세부기술 1) 초고속 추진 및 부상 시스템 기술						

내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ (초고속 추진/부상/제어기술) 아진공 튜브 내 캡슐차량을 자기부상으로 주행시키는 및 부상 시스템 기술을 개발 ○ (고효율 대용량 추진 전력 제어 기술) 고속운행 철도시스템에서 요구되는 필요전력을 안정적으로 공급하기 위한 최적 설계 엔지니어링과 전력시스템 구현을 위한 요소기술 개발
	(세부기술 2) 아진공 차량 및 무선시스템 기술
	<ul style="list-style-type: none"> ○ (아진공 차량 기술) 1mbar(0.001bar) 아진공 튜브 시작품 내를 고속으로 주행하는 캡슐차량 제작 기술개발 ○ (초고속 아진공 무선시스템 기술) 아진공 아음속 튜브 내 차량의 안정적인 통신환경 구축을 위한 전용주파수 기반의 전파 모델링 시뮬레이션 및 무선안테나 기술개발
	(세부기술 3) 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술
	<ul style="list-style-type: none"> ○ (아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술) 캡슐 차량이 초고속으로 안전하게 운행할 수 있도록 주행 통로를 1~10mbar로 유지하여 공기저항을 최소화하는 아진공 튜브의 재료, 설계 및 시공기술 개발 ○ (아진공 튜브 인프라 안전기술) 아진공 튜브 인프라의 건설 및 운영 단계에서 각 구조물과 부속 장치들의 손상을 감지하고, 필요시 급속 보수 또는 보강하거나, 급속 교체하여 아진공 튜브 인프라의 안전성을 유지하는 기술
(세부기술 4) 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술	
<ul style="list-style-type: none"> ○ (하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술) 전체 시스템과 세부 기술에 대한 요구사항과 목표 제시 및 중점분야 간 개발 기술과 연구 내용 인터페이스, 시험을 통하여 시스템 성능과 안전성을 검증하기 위한 통합 관리 기술 ○ (하이퍼튜브 시스템 운영기술) 하이퍼튜브 시스템 실용화를 위해 타 핵심기술개발과 함께 필수적으로 동반되어야 하는 역사·운영·물류 기반기술 개발 	

최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초전도 선형 동기 모터 시작품, 초전도 유도반발식 자기부상 및 주행 안정화 장치 등 ○ 차체 1중, 캡슐 차량용 통신시스템, 아음속 튜브 무선통신시스템을 위한 무선통신 장치 등 ○ 아진공 튜브용 초고밀도 다기능 콘크리트, 아진공 튜브 내부 손상 정밀 탐지 시스템 등 ○ 시스템 요구사항 V&V 검증보고서, RAMA 검증보고서, 최종 역사 플랫폼 외장 및 인테리어 디자인 워킹프로토타입 ○ 하이퍼튜브 연구개발 성과의 상용화 등 실현 가능성을 높이기 위해서 「국가철도망 구축계획」 등에 반영 예정
--------	---

연구개발 예산 및 기간	<input type="checkbox"/> 총 연구개발비 : 3,377억 원 (정부출연금 2,215억 원)																																																																																																																																	
	(단위: 억 원)																																																																																																																																	
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>'23</th><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th><th>'30</th><th>'31</th><th>'32</th> </tr> <tr> <td>-</td><td>-</td><td>181</td><td>527</td><td>819</td><td>1,023</td><td>613</td><td>214</td><td>-</td><td>-</td> </tr> </table>	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	-	-	181	527	819	1,023	613	214	-	-																																																																																																													
	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32																																																																																																																								
	-	-	181	527	819	1,023	613	214	-	-																																																																																																																								
	<input type="checkbox"/> 연구개발 기간 : 2025년~2030년 (6년)																																																																																																																																	
	<input type="checkbox"/> 하이퍼튜브 기술개발 및 상용화 중장기 로드맵																																																																																																																																	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술의 단계적 개량을 통한 점진적 개발을 수행하므로 가시적인 성과가 도출되는 시점에서 관련 계획 반영 추진 예정 																																																																																																																																	
	<ul style="list-style-type: none"> * Stage1(2026) : 하이퍼튜브 추진 필요성 제시 → 제5차 국가철도망 구축계획(2026~2035) Stage2(2031) : 하이퍼튜브 시범노선 구축계획 제시 → 제6차 국가철도망 구축계획(2031~2040) 																																																																																																																																	
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Stage1(핵심기술개발)</th> <th colspan="3">Stage2(테스트베드구축)</th> <th colspan="3">Stage3(시범노선구축)</th> <th>Stage4(운영)</th> </tr> <tr> <th>1단계</th><th>2단계</th><th>3단계</th> <th>1단계</th><th>2단계</th><th></th> <th>1단계</th><th>2단계</th><th></th> <th>영업노선개통</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연구개발</td><td>시제품제작(2km)</td><td>검증</td> <td>실용화연구</td><td>종합성능시험(12km)</td><td></td> <td>시범노선구축(30km)</td><td>장시운전</td><td></td> <td>및 상용운영</td> </tr> <tr> <td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td> <td>'28</td><td>'29</td><td>'30</td> <td>'31</td><td>'32</td><td>'33</td> <td>'34</td><td>'35</td><td>'36</td><td>'37</td><td>'38</td><td>'39</td><td>'40</td><td>'41</td><td>'42</td><td>'43</td><td>'44~</td> </tr> <tr> <td colspan="10">제5차 국가철도망 구축계획(2026~2035) 반영 예정</td> <td colspan="10"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">(하이퍼튜브 추진 필요성 제시)</td> <td colspan="10"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">제6차 국가철도망 구축계획(2031~2040) 반영 예정</td> <td colspan="10"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">(하이퍼튜브 시범노선 구축계획 제시)</td> <td colspan="10"></td> </tr> </tbody> </table>	Stage1(핵심기술개발)			Stage2(테스트베드구축)			Stage3(시범노선구축)			Stage4(운영)	1단계	2단계	3단계	1단계	2단계		1단계	2단계		영업노선개통	연구개발	시제품제작(2km)	검증	실용화연구	종합성능시험(12km)		시범노선구축(30km)	장시운전		및 상용운영	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44~	제5차 국가철도망 구축계획(2026~2035) 반영 예정																				(하이퍼튜브 추진 필요성 제시)																				제6차 국가철도망 구축계획(2031~2040) 반영 예정																				(하이퍼튜브 시범노선 구축계획 제시)																		
Stage1(핵심기술개발)			Stage2(테스트베드구축)			Stage3(시범노선구축)			Stage4(운영)																																																																																																																									
1단계	2단계	3단계	1단계	2단계		1단계	2단계		영업노선개통																																																																																																																									
연구개발	시제품제작(2km)	검증	실용화연구	종합성능시험(12km)		시범노선구축(30km)	장시운전		및 상용운영																																																																																																																									
'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44~																																																																																																															
제5차 국가철도망 구축계획(2026~2035) 반영 예정																																																																																																																																		
(하이퍼튜브 추진 필요성 제시)																																																																																																																																		
제6차 국가철도망 구축계획(2031~2040) 반영 예정																																																																																																																																		
(하이퍼튜브 시범노선 구축계획 제시)																																																																																																																																		

□ 제5차 국토종합계획('20~'40)

- '모두를 위한 국토, 함께 누리는 삶터'를 비전으로 수립된 「제5차 국토종합계획*」의 6대 국토발전 전략 중 4개 전략 및 주요 정책과제가 동 사업과 가장 부합

* 「국토기본법」에 의거 국토의 이용·개발 및 보전에 관한 최상위 법정계획

- 특히, '미래형 혁신 교통체계 구축'의 일환으로 하이퍼루프 등 새로운 개념의 교통수단을 대비한 기술개발을 제시
- 전 국토의 성장 잠재력 극대화를 위해 지역 거점 간을 고속 교통인프라로 연결하는 전략에 부합하며, 온실가스 배출 감축을 위해 추진된 에너지 및 탄소 저감을 위한 첨단 모빌리티 체계 구축 또한 동 사업과 관련

〈표 1-16〉 「제5차 국토종합계획」 중 동 사업 관련 내용

국토발전 전략	주요 정책과제
<p>개성 있는 지역발전과 연대·협력 추진</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연대와 협력을 통한 지역발전기반 조성 <ul style="list-style-type: none"> - 지역 간 연계·협력을 위한 장거리 지역 간 고속 교통인프라 구축, 스마트 기술을 활용한 교통인프라 연계의 스마트화 ○ 지역 특성을 살린 상생형 국가균형발전 ○ 농산어촌의 경쟁력 강화와 새로운 위기지역에 대응 ○ 중앙-지방 간 새로운 협업체계 운영 확대
<p>지역산업 혁신과 문화·관광 활성화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 4차 산업혁명 시대의 신산업 공간 육성 ○ 산업생태계 전환을 통한 지역산업 회복력 제고 ○ 매력적인 문화공간 조성과 협력적 관광 활성화 ○ 문화적 일상의 보편화와 글로벌 문화 경쟁력 향상
<p>세대와 계층을 아우르는 안심 생활공간 조성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인구감소에 대응한 유연한 도시개발·관리 ○ 인구구조 변화에 대응한 도시·생활·주거공간 조성 ○ 포용적 주거복지의 정착 ○ 안전하고 회복력 높은 안심국토 조성
<p>품격있고 환경 친화적 공간 창출</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 깨끗하고 환경친화적 국토 조성 ○ 기후변화 대응과 미세먼지 저감 노력 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 및 탄소 저감을 위한 첨단 모빌리티 체계 구축 ○ 국토자원의 미래가치 창출과 활용도 제고 ○ 품격있고 아름다운 국토경관 창출

국토발전 전략	주요 정책과제
인프라의 효율적 운영과 국토 지능화	○ 기간교통망의 효율화와 대도시권 혼잡 해소
	○ 인프라의 전략적 운영과 포용적 교통정책 추진
	○ 미래형 혁신 교통체계 구축 - 하이퍼루프와 같은 새로운 교통수단 등장에 대비한 기술개발 및 체계개편 검토
	○ 물류산업의 글로벌 경쟁력 강화
	○ 지능형 국토공간 조성 및 국토관리 혁신
대륙과 해양을 잇는 평화국토 조성	○ 한반도 평화·번영의 기반 조성
	○ 대륙과 해양을 잇는 관문국가로 위상강화 - 초고속열차, 하이퍼루프 등 이용 시 서울, 부산 등 주요 대도시와 동북아 주요도시 (단둥, 선양, 베이징, 블라디보스토크) 간 1일 생활권 형성
	○ 글로벌 대한민국의 네트워크 역량 강화

□ 제4차 철도산업발전 기본계획('21~'25)

- '2030년까지 세계적인 철도기업 육성과 함께 국민과 함께하는 My Train 시대 실현' 비전으로 수립된 「제4차 철도산업발전 기본계획('21~'25)*」의 미래사회에 대비한 철도산업 혁신 전략과 동 사업이 부합

* 철도산업 관련 정책을 종합하고 체계화하는 법정 기본계획

- 철도산업 생태계 분야에서 글로벌 시대에 대응하는 철도기술 고도화 및 미래사회에 대비한 철도산업 혁신 부분에 '하이퍼튜브 기술개발' 내용이 포함
- 시간가치 향상에 따른 초고속 이동수요 대응에 대한 교통수단으로 하이퍼튜브 기술개발을 제시
- 도로대비 온실가스 배출이 적은 철도의 수송분담률을 높이면서, 철도의 친환경성 강화 또한 동 사업과 관련

* 철도 R&D 중장기 로드맵 수립(안)에서 철도수송능력 향상을 위한 차세대 철도시스템으로 하이퍼튜브 기술개발 내용 언급

〈표 1-17〉 「제4차 철도산업발전 기본계획」의 철도 R&D 중장기 로드맵 수립(안) 중 동 사업 관련 내용

분야	주요 내용
스마트한 철도관리	빅데이터·AI 기술로 철도차량·시설의 유지관리를 지능화·자동화하여 사고 사전예방 및 운영 효율성 향상
지속가능한 철도	탄소중립 실현을 위한 수소열차 도입기반을 마련하고, 회생에너지 등을 활용한 기술개발 추진
철도수송능력 향상	400MP에 따라 더욱 고속화된 고속열차 운영성을 검증하고, 음속에 가까운 차세대 철도 시스템(하이퍼튜브) 기술개발 추진
국민편의 제고	소음·분진 등을 저감하여 쾌적성을 높이고, 도심지 미관(무가선 등)을 개선하는 등 철도에 대한 국민 편의성 증진
철도의 글로벌화	국제 표준화 및 인증 고도화로 국제철도시장 장벽을 극복하고남북, 대륙 간 철도 연결 기술 개발 추진

(4) 부처계획 근거

□ (국토교통부) 20대 유망기술(20-Wonder 프로젝트)(’20~’30)

- 국토교통 기술의 미래 지향점 도출을 위해 선정한 20대 유망기술(20-Wonder 프로젝트) 중 교통 분야의 “초연결 초고속 철도시스템”이 동 사업과 관련
 - 국토부에서 ’30년까지 집 중할 20대 유망기술 중 확정된 프로젝트 중 ‘최고 시속 1,200km로 아진공 튜브를 주행하는 철도시스템 개발’이 포함

〈표 1-19〉 「20대 유망기술(20-Wonder)」 중 동 사업 관련 내용

전략프로젝트		프로젝트 정의
1	완전 자율협력주행	○ 레벨 5단계의 자율주행차 사용화 및 관련 인프라 구축
2	도로인프라 스마트유지관리	○ ICT 기술과 융합한 선제적 유지관리체계 구축을 통한 국민안전 확보 및 도로 인프라 장수명화
3	미래형 교통관리 시스템(FTMS)	○ 디지털트윈, AI 등에 기반하여 모든 이동체에 대한 완전한 재현·관제를 통한 교통관리
4	스마트 Mobility 서비스(MaaS*)	○ 다양한 모빌리티 서비스의 효율적 운영·제공을 위한 플랫폼, 환승인프라 기술개발
5	고부가가치 융복합 생활물류 혁신기술	○ 빅데이터 등 기술을 현장 (배송/인프라 등)에 융복합하여 자동화, 안전성 강화 등 고부가가치 창출
6	초연결 초고속 철도시스템	○ 최고 시속 1,200km로 아진공 튜브를 주행하는 철도시스템 개발
7	데이터기반 철도안전관리	○ 인력 및 경험 위주의 현행 철도안전관리를 대상으로 스마트기술을 활용한 철도안전관리 기술
8	PAV Flying Car Air Taxi	○ 도심 공중교통수단 활성화를 위해 기체·운항·정비 등 관련 인증제도 고도화를 통한 운용 기반 구축 및 단계적 확장
9	스마트공항 4.0	○ ICT 기술을 통해 보다 편리하고 안전하고 효율적인 스마트공항 체계 구축
10	미래비행체(PAV) 부품개발 및 인증	○ 미래비행체 소재·부품·장비 및 후속 정비산업 연계 육성을 위한 기술개발

□ (과학기술관계장관회의) 2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략(’21)

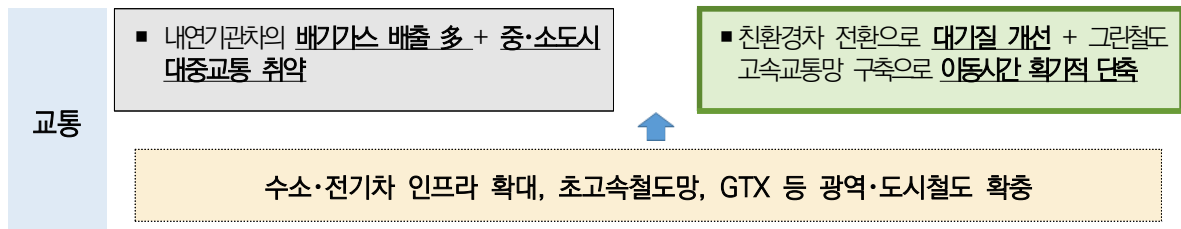
- 연구개발 투자전략* 중 국토부에서 R&D 역점 분야로 선정한 ‘탄소중립도시 조성 기반기술과 친환경 초고속철도망 개발’이 동 사업과 관련
 - * 기술 혁신을 통해 2050 탄소중립을 견인할 수 있도록 전략적 투자규모 확대 및 단기·중장기 투트랙 전략 추진하는 탄소중립 R&D 투자전략
 - ‘친환경 철도’ 투자전략에서 (단기) 370km/h 이상 고속운행, (장기) 미래 초고속 하이퍼튜브 철도 개발 등이 포함
 - 수송분야의 효율향상을 위해 미래 선도 기술 확보를 통한 저에너지·저탄소 수송 체계로의 전환 전략을 발표

〈표 1-20〉 「2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략」 관련 내용

단기 목표	중장기 목표
<ul style="list-style-type: none"> ■ 수요 대응 서비스 연계 충전 인프라 <ul style="list-style-type: none"> - 충전서비스 사업자 간 정보 공유 기반 충전 수요 및 일정 관리 서비스 ■ 철도차량 에너지소비 저감 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 경량·고효율 전기기계제동시스템, 경량·소형 인보드(Inboard) 고속대차 	→
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 차세대 초급속, 자동 충전 선도 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 고효율 전력변환 소자 기반 초급속 MW급 전기차 충전기 개발 및 실증 ■ 철도중심 저에너지·저탄소 교통체계 <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 데이터기반 경제운전 지원시스템

□ (관계부처 합동) 「2050 탄소중립」 추진전략 (‘20)

- 「2050 탄소중립」*의 10대 과제 중 ‘미래모빌리티로 전환’ 과제에서 초고속철도망 등 철도 인프라의 확충 목표가 동 사업과 관련
 - * 온실가스 감축 중심의 “적응적(Adaptive) 감축”에서 새로운 경제·사회 발전전략 수립을 통해 “능동적(Proactive) 대응” 도모하기 위한 추진전략
- (모빌리티 혁신) 창의적 모빌리티 서비스 도입, 철도·선박 등 非도로 부문까지 모빌리티 전반에 대한 친환경화 추진
 - (철도) 주요 거점의 고속철도망을 연결하고, 초고속철도망 및 광역·도시철도(예: GTX) 등 철도인프라 확충



[그림 1-20] 「2050 탄소중립」 추진전략의 교통분야(As-Is, To-Be)

참고 (2050 탄소중립위원회) 「2050 탄소중립 시나리오안」과 「2030 국가 온실가스 감축목표 상황안」 심의·의결

- 「2050 탄소중립 시나리오안」의 수송부문에서 대중교통 이용의 확대, 친환경 철도로의 전환 등의 내용이 동 사업과 관련
 - * 기후위기로부터 안전하고 지속가능한 탄소중립 사회를 비전으로, 국내 순배출량을 0으로 하는 2개 시나리오로 구성
 - (수요관리 강화) 대중교통 및 개인 모빌리티 이용 확대(자전거, 킥보드 등), 화물 운송수단 전환(도로→철도·해운), 공유차량 등으로 승용차 통행량 15% 감축*
 - * '18년 59.6백만 → '50년 50.9백만 (통행량/일)
 - (친환경 철도 전환) 남아있는 디젤철도차량을 무탄소 동력(전기·수소) 철도로 100% 전환*
 - * 전차 등 비상상황을 대비한 최소한의 차량과 에너지원(경유)은 감축량 산정에서 제외
- 「2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상황안」의 수송부문의 대중교통 이용 편의 제고, 연계 교통 강화, 철도 중심 교통체계 강화 등의 주요 온실가스 감축방안이 동 사업과 관련
 - * 「탄소중립기본법」의 입법 취지와 국제 동향, 국내 여건 등을 고려하여, 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 관계부처와 2050 탄소중립위원회는 2030년 온실가스 감축목표(이하 NDC**) 상황안을 제시
 - ** NDC: Nationally Determined Contribution, 기후변화 파리협정에 따라 당사국이 스스로 발표하는 국가 온실가스 감축목표
 - 지역 간 균형을 고려한 철도 등의 대중교통체계를 개선을 통해 승용차 통행량 4.5% 이상* 감축 목표 등이 포함
 - * '18년 215만 → '30년 206만 (통행인km/년), '18년 34.9 → '30년 28.8 (km/대)

□ (국토교통부) 모빌리티 혁신 로드맵 ('22)

○ 「모빌리티 혁신 로드맵*」에서 초고속 운송이 가능한 하이퍼튜브 등의 미래 핵심기술 개발 추진 계획이 동 사업과 관련

* 미래를 향한 멈추지 않는 혁신으로 모빌리티 혁명의 일상 구현과 글로벌 선도를 목표로 추진하는 로드맵

- (스마트 물류 모빌리티로 맞춤형 배송체계 구축) '40년에 하이퍼튜브, 도심 지하튜브 등을 통해 전국 반나절 운송의 초고속 서비스 실현 내용 포함(철도 수송 분담률 '20년 3.9% → '40년 8.0%)

- (첨단 운송기술 도입 지원) 초고속 운송(800~1,200km/h)이 가능한 하이퍼튜브 등 미래 핵심기술 개발 추진 내용 포함

□ (국토교통부) 하이퍼튜브 개발 로드맵 ('23)

○ 「한국형 하이퍼튜브 개발 로드맵('23)」은 '초연결성, 신뢰성, 친환경을 가지는 하이퍼튜브 기술개발'을 목표로 하고 있어 동 사업과 매우 높은 관련성 존재

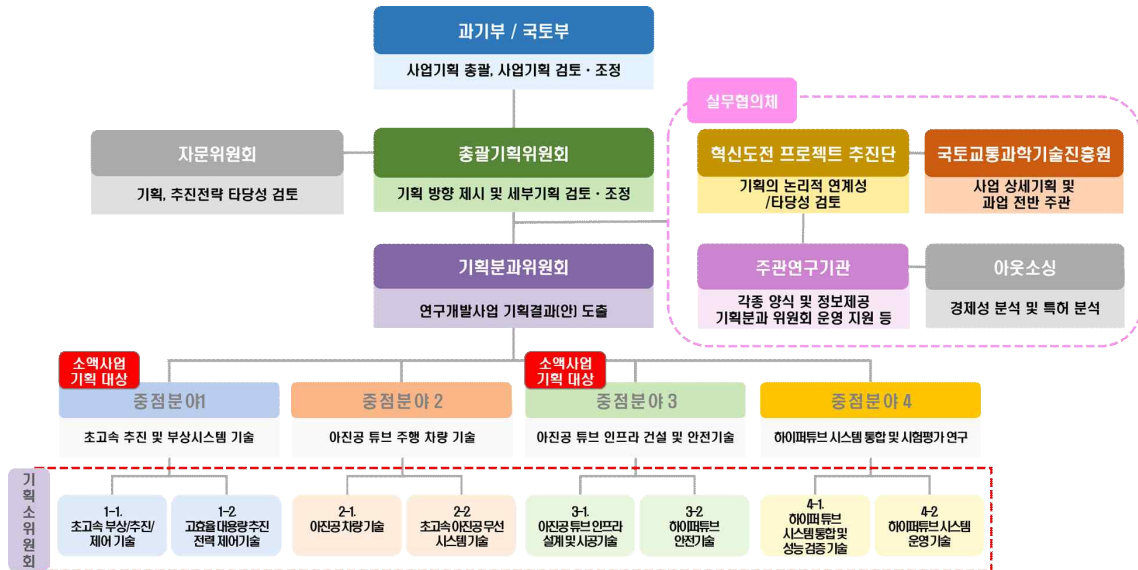
- 추진전략 1은 초고속 추진을 위한 핵심기술 확보를 목표로, 아진공 튜브(재료기술, 설계기술, 실증기반 확보), 추진·부상 시스템(추진전력 제어 기술, 자기부상 대차 등), 캡슐차량(아진공 환경 기밀성능 확보, 내부 공기질 유지 등)의 기술개발 내용을 포함

- 추진전략 2은 하이퍼튜브 상용화를 위한 인프라 구축을 목표로, 하이퍼튜브 테스트베드 구축을 위한 시작품 제작, 종합시험센터 구축, 시범노선 구축 등의 내용을 포함

목표 및 추진전략		추진과제 내용							
<p style="text-align: center;">비전</p> <p style="text-align: center;">K-철도 수출 대전환과 미래사회 국토혁신</p> <p style="text-align: center;">사업 목표</p> <p style="text-align: center;">초연결성, 신뢰성, 친환경을 가지는 하이퍼튜브 기술 개발</p>		<p>□ 기술별 주요 과제</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (아진공 튜브) 초고밀도 콘크리트 제작, 기밀성능 및 성능평가 등을 위한 재료기술, 설계기술, 실증기반 확보 추진(~'30) ○ (추진·부상 시스템) 추진전력 제어 기술과 함께, 자기부상 대차 및 저·고속 주행이 가능한 접이식 안내륜 기술 확보 등 추진(~'30) ○ (캡슐차량) 아진공 환경을 전담 수 있는 기밀성능을 확보하고, 내부 공기질을 유지할 수 있는 4인승 캡슐차량 개발(~'30) <p>□ 하이퍼튜브 테스트베드 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 시작품 제작(2km) → 종합성능시험(12km) → 시범노선(30km) 등 테스트 베드를 단계적으로 구축하여 기술개발 인프라를 확보 - (시작품 제작) 하이퍼튜브 원천기술을 확보하기 위해 시작품 성능을 검증하는 2km 시험인프라' 구축('27~'30) <ul style="list-style-type: none"> * 튜브 200m, 전력·통신 시작품 및 관제실/검수고, 변전소 등으로 구성되며, 새만금 동생명용지(1~3공구)가 시험선로 구축 대상지로 선정('22.8) - (종합시험센터 구축) 주행 안정성 평가 및 종합 성능평가 등을 수행하는 시속 800km 주행시험이 가능한 12km 인프라 구축('31~'37) <ul style="list-style-type: none"> * 연구동, 관제센터/검수고, 변전소, 비상검수고(약 10,000m² 이상)등으로 구성 - (시범노선 구축) 캡슐차량 성능평가 수행 및 전력/통신, 아진공 튜브 인프라, 역사 등을 시범노선(30km)에 설치('38~'41) 							
<p>기본 방향</p> <ul style="list-style-type: none"> ◇ 하이퍼튜브 구현을 위한 세계 선도기술 개발 ◇ 선제적인 정책적·제도적 인프라 구축 ◇ 안전을 최우선으로 고려하는 하이퍼튜브 개발 	<p>추진 전략</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 초고속 추진을 위한 핵심기술 확보 ② 하이퍼튜브 상용화를 위한 인프라 구축 ③ 기술기준 제정, 형식승인 등 제도 기반 마련 								
<p>추진 내용</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>1단계 (핵심기술개발) '25~'30</th> <th>2단계 (테스트베드구축) '31~'37</th> <th>3단계 (시범노선구축) '38~'43</th> <th>4단계 (운영) '44~</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>· 연구개발 · 시작품제작(2km) · 검증</td> <td>· 실용화연구 · 종합성능시험(12km)</td> <td>· 시범노선구축(30km) · 장기 시운전 · 국제기준 호제정</td> <td>· 영업노선개발 및 상용운영</td> </tr> </tbody> </table> <p>* 상용화를 위한 기술개발은 '43년까지 수행</p>		1단계 (핵심기술개발) '25~'30	2단계 (테스트베드구축) '31~'37	3단계 (시범노선구축) '38~'43	4단계 (운영) '44~	· 연구개발 · 시작품제작(2km) · 검증	· 실용화연구 · 종합성능시험(12km)	· 시범노선구축(30km) · 장기 시운전 · 국제기준 호제정
1단계 (핵심기술개발) '25~'30	2단계 (테스트베드구축) '31~'37	3단계 (시범노선구축) '38~'43	4단계 (운영) '44~						
· 연구개발 · 시작품제작(2km) · 검증	· 실용화연구 · 종합성능시험(12km)	· 시범노선구축(30km) · 장기 시운전 · 국제기준 호제정	· 영업노선개발 및 상용운영						

제2절 기획 추진체계

- 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 기획을 위해 과학기술정보통신부와 국토교통부, 전문기관 협의체, 산학연 전문가로 구성된 기획위원회가 협력하여 체계적인 사업기획 추진



[그림 1-21] 기획 추진체계도

- **(과기부/국토부)** 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업에 대한 상세 기획 총괄
 - 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 추진계획(안) 수립 및 총괄 관리
 - 총괄기획위원회 조정의견 등을 종합·검토하고 추진계획의 적합 여부를 확정
- **(총괄기획위원회)** 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업에 대해 거시적 관점에서 기획 방향을 제시하고, 세부계획 결과(안) 검토·조정 및 종합계획 수립
 - 총괄위원장, 당연직위원, 외부전문가 등 15명 내로 구성하고, 각 분과별 위원장, 간사 등을 포함하여 총 20명 내로 구성
 - 기술적, 정책적 및 경제적 타당성의 핵심 예타 항목 중심으로 거시적 기획방향 제시
 - 기획 분과위원회가 도출한 사업 추진내용에 대한 조정의견 제시 및 최종 결과 도출
- **(기획분과위원회)** 사업에 대한 기술적 관점에서 전문적 검토 및 보완
 - 분과별 위원회는 각각 위원장과 외부전문가 10명 내외로 구성(산·학·연 안배 고려)
 - 분과위원장은 분과위원회의 위원 간 의견 조율을 통해 객관적·일관적 추진계획(안)을 도출하고, 총괄위원회의 위원으로서 참여하여 분과위원회의 계획 및 도출 결과 등을 보고
 - 분과위원회 내 세부기획 결과에 대한 교차검토를 수행
- **(기술소위원회)** 사업의 세부 연구개발내용에 대한 전문적인 기획 수행
 - 각 분과 내 핵심기술별로 기술소위원장과 외부전문가를 포함한 5명 내외로 구성

- 외부전문가는 분과별 양식 및 기준을 바탕으로 전문적인 기획을 수행하고, 기술소위원회장은 외부 전문가 간 의견 조율을 통해 핵심기술의 세부 연구개발내용에 대한 일관성 확보
- **(혁신도전 프로젝트 추진단/국토교통과학기술진흥원)** 주관기관을 활용하여 기획 분과위원회 운영, 사업 상세기획 등 과업전반을 주관하며 연구와 관련된 행정적 지원을 수행
 - 과업에 대한 니즈를 제시, 참여 전문가 후보 추천, 과제 수행과 관련하여 상세기획 내용의 검토·조정
- **(실무협의체)** ‘초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업’ 관련 기술적 전문성 관점에서 기획내용에 대한 검토
- **(주관연구기관)** 과업 수행의 전반을 위탁받아 자료 분석, 각종 양식 및 정보 제공, 기획위원회 운영 등 사업 기획의 실무적 역할 수행
 - 총괄기획위원회의 간사기관 역할을 수행하며, 추진 분과 위원회 및 기술소위원회 운영 지원
 - 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업의 세부 추진전략 수립, 신규 사업의 성과목표·지표의 설정, 기존사업과의 차별성 분석, 사업타당성 분석 등 사업기획 전반의 실무업무에 대한 체계적 수행
- **(자문위원회)** 산·학·연 등 하이퍼튜브 관련 분야 전문가를 중심으로 과제 기획, 추진전략의 타당성 등을 검토
 - 기획 과정에 별도 검토사항 발생 시, 이를 위한 특별 자문위원회 형식으로 운영
 - 사업의 객관성 확보, 사업 성과물의 확산 시 문제점·이슈사항 등 논의

□ **위원회 구성**

- **(총괄 기획위원회)** 산업계(6명), 학계(4명), 연구계(4명), 관계(9명) 등 총 23명으로 구성

〈표 1-22〉 총괄위원회 명단

연번	성명	소속	직위	분야	기관구분	비고
1	정채교	국토교통부	정책관	철도정책	관	
2	조성균	국토교통부	과장	철도정책	관	
3	김현옥	과학기술정보통신부	과장	융합기술	관	
4	이인원	국토교통부	사무관	철도정책	관	
5	이경운	과학기술정보통신부	사무관	융합기술	관	
6	정민형	한국과학기술기획평가원	추진단장	혁신도전프로젝트 총괄	관	
7	김용정	한국과학기술기획평가원	팀장	혁신도전프로젝트	관	
8	고영채	한국연구재단	단장	정보·융합기술	관	
9	박현철	국토교통과학기술진흥원	그룹장	전략 기획, 사업 설계	관	
10	박갑동	과학기술대학원대학교	교수	정책	학	총괄위 위원장
11	전홍배	홍익대학교	교수	산업공학과	학	

연 번	성명	소속	직위	분야	기관구분	비고
12	김종학	국토연구원	연구위원	교통설계 및 분석	연	
13	박춘수	한국철도기술연구원	본부장	신 교통혁신연구	연	
14	이호	한국교통연구원	팀장	광역철도연구팀	연	
15	김윤양	한국철도시설공단	처장	철도건설 사업전략	산	
16	김진철	SK텔레콤	매니저	통신	산	
17	양동완	GS건설	상무	토목시공	산	
18	정정래	한국철도공사	원장	철도 운영 및 유지관리	산	
19	김원근	한국항공우주산업	상무	항공기설계/제작	산	
20	박찬배	한국교통대학교	교수	추진시스템	학	1분과 위원장
21	류홍제	중앙대학교	교수	전력전자	학	2분과 위원장
22	김영진	콘크리트학회	소장	콘크리트 재료	연	3분과 위원장
23	이경복	대전도시철도공사	원장	열차신호통신	산	4분과 위원장
24	이주원	과학기술정보통신부	前과장	융합기술	관	
25	이우제	국토교통부	前과장	철도정책	관	
26	윤상원		前사무관		관	
27	정윤채	한국연구재단	前단장	정보·융합기술	관	

○ (기획 분과위원회) 각 분과별 분과위원장(4명), 내부 분과위원(52명) 등 56명으로 구성

〈표 1-23〉 분과위원회 명단

No.	성명	소속	직위	전문분야	구분	비고
초고속 추진 및 부상시스템 기술	박찬배	한국교통대학교	교수	추진시스템	학	위원장
	임정열	한국철도기술연구원	선임	자기부상	연	간사
	조정민	한국철도기술연구원	책임	추진제어	연	
	박병건	한국전기연구원	선임	추진전력	연	
	심기덕	슈퍼제닉스	대표	추진부상전자석	산	
	조영훈	건국대학교	교수	전기공학	학	
	이교범	아주대학교	교수	전기공학	학	
	백주원	한국전기연구원	책임	전기전자	연	간사
	김주용	한국전력연구원	실장	전력공학	산	
	정병환	효성	팀장	전기공학	산	
아진공 차량 및 무선시스템 기술	류홍제	중앙대학교	교수	전력전자	학	위원장
	김래영	한양대학교	교수	전기공학	학	
	박도영	한국기계연구원	책임	자기부상 및 추진	연	간사
	김경택	한국생산기술연구원	수석	차량시스템	연	
	이진호	한국철도기술연구원	선임	차량동역학	연	
	이두희	한국항공우주산업	팀장	차량설계	산	
	이영근	한국철도공사	단장	철도차량	산	
	안치형	한국기술교육대	교수	RF분야	학	
	김주엽	숙명여자대학교	교수	통신공학	학	
	이숙진	한국전자통신연구원	책임	통신공학	연	간사
이은성	LGU+	책임	통신공학	산		
고태영	에스트래픽(주)	차장	단말장치	산		

No.	성명	소속	직위	전문분야	구분	비고
아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	양인환	군산대학교	교수	콘크리트 구조	학	
	백종대	한국건설기술연구원	수석	교통공학	연	간사
	김영진	콘크리트학회	소장	콘크리트 재료	연	위원장
	김아람	한국건설기술연구원	수석	지반공학	연	
	조우연	포스코	박사	구조공학	산	
	염광수	GS건설	책임	토목시공	산	
	허도학	현대건설	부장	터널시공	산	
	남승재	(주)다온	대표	진공구조	산	
	최창림	삼보기술단	전무	토목설계	산	
	김충언	(주)삼현피에프	소장	구조설계	산	
	박승희	성균관대학교	교수	스마트건설/재난관리	학	
	장진환	한국건설기술연구원	책임	시설물모니터링	연	간사
	권세곤	한국철도공사	차장	철도안전	산	
	이희현	씨티씨(주)	대표	구조물유지관리	산	
하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술	김재희	한국기술교육대	교수	철도운행/관제	학	
	이창영	한국철도기술연구원	책임	추진시스템	연	간사
	윤용기	한국철도기술연구원	책임	철도운행/관제	연	
	이경복	대전도시철도공사	원장	열차신호통신	산	위원장
	권혁빈	한국교통대학교	교수	공기역학	학	
	강재윤	한국건설기술연구원	책임	구조공학	연	
	박준서	한국철도기술연구원	책임	시스템엔지니어링	연	
	김용배	철도시설공단	부장	철도사업관리	산	간사
홍혜진	TUV SUD Korea	과장	시스템 기능안전	산		

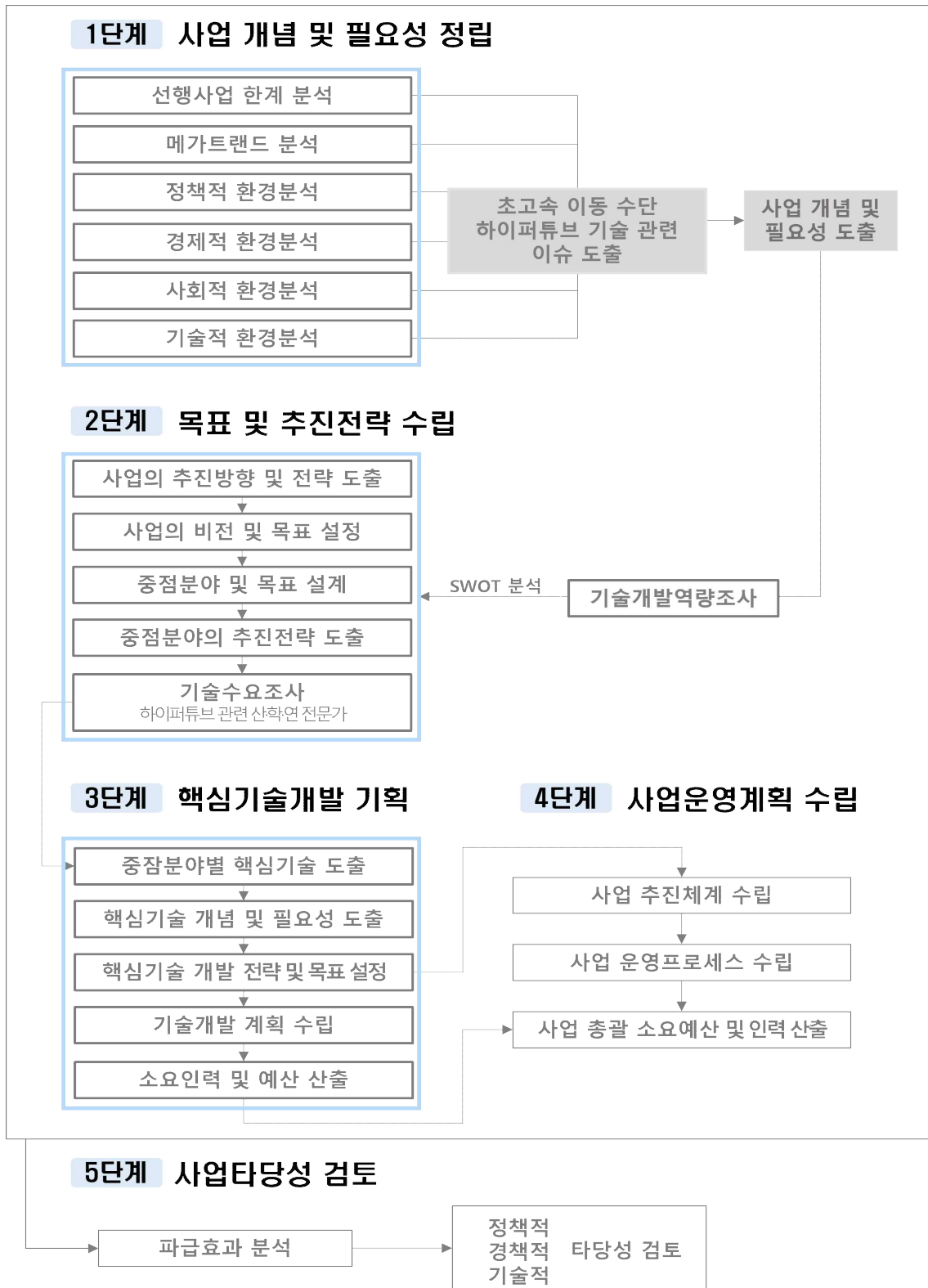
○ (실무위원회) 과학기술정보통신부(1명), 국토교통부(1명), 한국과학기술기획평가원(3명), 국토교통과학기술진흥원(3명), 과학기술전략연구소 등 총 15명으로 구성

〈표 1-24〉 실무위원회 명단

구분	성명	직위	소속	전문분야
1	이경운	사무관	과학기술정보통신부 융합기술과	철도 정책
2	이인원	사무관	국토교통부 철도정책과	철도 정책
3	정민형	단장	한국과학기술기획평가원 혁신도전프로젝트	전략 기획, 사업 설계
4	김용정	팀장		
5	박종화	연구위원		
6	고영채	단장	한국연구재단 정보·융합기술단	전략 기획, 사업 설계
7	정윤채	前단장		
8	김중훈	연구위원		
9	박현철	팀장	국토교통과학기술진흥원 기획5그룹	전략 기획, 사업 설계
10	나종철	책임연구원		
11	신승환	선임연구원		
12	원동규	부대표	과학기술전략연구소	기획전략
13	최준락	실장		
14	최소영	팀장		
15	박종호	프로		

제3절 기획 추진절차 및 경과

□ 연구 추진 프로세스



[그림 1-22] 연구 추진 프로세스

□ 기획 기간

- 1차 기획, 2차 기획 및 소액 기획 기간

순번	날짜	내용
1차 기획	'18.08~'20.08	• 초고속 하이퍼튜브 철도시스템 개발사업
2차 기획	'21.05~'21.11	• 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발사업
소액 기획	'23.11~'24.2	• 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발기획

□ 기획 추진 경위

- 착수 회의(3회)

순번	날짜	내용
1차 기획	'18.08.09	• '초고속 하이퍼튜브 철도시스템 개발사업'의 국토교통부 착수 보고회
2차 기획	'21.05.28	• '초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발사업'의 과학기술정보통신부, 국토교통부 착수 보고회
소액 기획	'23.11.09	• '초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발기획'의 재추진 방식(연구내용, 사업규모, 추진시기 등) 착수 회의(국토교통부)

- 소액 기획위원회 운영

순번	날짜	내용
1	'23.11.09	• '22년 제4차 예비타당성조사 탈락에 따라 재기획 추진 방식(소액) 검토
2	'23.11.21	• 하이퍼튜브 소액 사업 추진을 위한 사업 범위 검토
3	'23.12.05	• 변경된 사업 범위 기준 기획 보고서 수정 방향 검토
4	'24.01.22	• 소액 사업 추진 범위 및 추진 방식에 대한 의견수렴(예타조사진 및 기획연구진)
5	'24.01.31	• 기획보고서 구성 항목 검토 및 보고서 초안 작성
6	'24.02.16	• 기획보고서 검토 및 조정·보완을 위한 자문 회의

□ '22년 4차 예타조사 결과 및 재추진 방안

- 주요 지적사항(예타조사보고서 p278)

- 하이퍼튜브 개발은 핵심기술의 연계·호환 시 위험요인을 고려한 기술의 확보를 전제로, 시스템 차원에서 각 기술의 조합·검증이 이어질 필요가 있음
- 각 기술을 연계·통합하는 대형 체계개발 사업을 추진하기 전에 핵심기술개발을 위한 선행연구 필요
- 하이퍼튜브의 경우, 핵심기술인 추진·부상(아음속) 및 아진공 환경이 우선 구현되어야 함

- 재추진 방안

- (추진방식) 소액사업으로 핵심기술 확보 후 예타사업으로 통합·실증
- (추진주체) 다부처 공동추진 이점이 없으므로 국토부 단독 추진

제2장 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

제1절 기획의 범위

1. 본 사업의 주요 용어 정의

□ 초고속 이동수단

- 시속 400~1,200km로 운행이 가능한 이동수단으로, 기존 철도의 한계인 주행저항 극복이 가능한 미래 혁신 이동수단
 - 단거리 수단은 드론, 중·장거리 수단으로는 플라잉카(드론택시), 플라잉카, 자율주행차량 등이 있으며, 초음속비행기, 하이퍼튜브 등이 존재

〈표 1-1〉 다양한 미래 초고속 이동수단

미래 이동수단		개념 및 종류
드론		- 조종사 없이 무선전파의 유도에 의해서 비행 및 조종이 가능한 비행기나 헬리콥터 모양의 무인항공기 (UAV : unmanned aerial vehicle / uninhabited aerial vehicle) ³⁹⁾
플라잉 카		- 합의된 정의가 아직 없으나 통상 '도로를 달릴 수 있고 하늘을 날 수 있는 자동차'를 의미 - NASA는 '도로를 시속 240~320km로 주행하고, 1300km 이상 공중 비행하는 5인승 이하의 자동차로 정의 ⁴⁰⁾
자율주행차량		- 운전자가 직접 조작하지 않아도 자동차가 주행환경을 인식해 위험을 판단하고 주행경로를 계획해 스스로 운전하는 자동차 ⁴¹⁾
자기부상열차		- 전기로 발생된 자기력으로 레일에서 낮은 높이로 부상해서 바퀴를 사용하지 않고 직접 차량을 추진시켜 달리는 열차 ⁴²⁾
초음속비행기		- 초음속영역인 마하수 1.2이상의 속도영역에서 비행하는 항공기 ⁴³⁾
하이퍼튜브		- 자기부상열차가 진공에 가까운 튜브 터널 안에서 공기저항 없이 시속 1,000km로 달리는 미래 교통수단 ⁴⁴⁾

39) 드론 입문자를 위한 드론종류, 드론 뜻, 역사 안내(뉴스다,2019,04)

40) 하늘을 나는 자동차, '플라잉 카'가 온다!(산업통상자원부 블로그,2017,06)

41) 자율주행차, 어디까지 알고 있니?, 이슈&NDSL, (<http://www.ndsl.kr/ndsl/issueNdsl/detail.do?techSq=77>)

42) 위키백과, '자기부상열차'(검색일 2020.03)

43) 제트엔진 개발이 가져온 초음속 항공기의 등장, 사이언스올, 2010.06

44) 하이퍼튜브, KRRI한국철도기술연구원, YouTube, 2018.03

□ 하이퍼튜브

○ 최고 시속 1,200km의 속도로 주행하는 신개념 초고속 교통시스템

- 공기저항을 근본적으로 해결할 수 있는 아진공 주행 환경과 무인 자율주행 및 전자기력을 이용한 차량의 추진·부상하는 기술적 특징을 보유
- 유사한 개념으로서 Elon Musk가 제안한 Hyperloop가 있으며, 아진공* 튜브 내의 기압 및 수송체 이동에 의해 수송체 주변에 발생하는 공력(空力, aerodynamic)을 고려할 때 운행 가능한 최고속도는 1,200km/h로 한정

* '아진공'이란 진공에 가까운 기압으로 정의되며 본 사업에서 정의하는 아진공은 0.001기압(대기압의 1/1,000) 이하의 기압을 의미

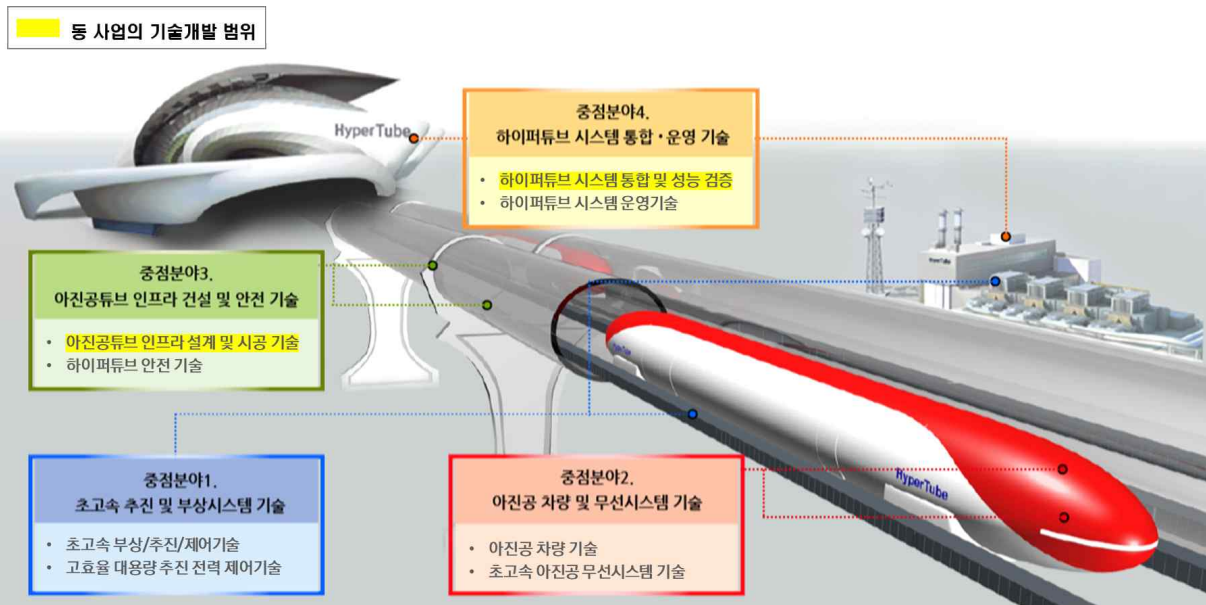
□ 캡슐차량

○ 경량 고강도 항공기 소재를 이용한 경량 기밀 차체 구조를 가지며, 초고속 주행이 가능한 캡슐형 차량

- 승차감을 확보할 수 있는 주행 안정화 장치 및 산소공급 장치 등을 갖추고 있으며, 차량내 전원은 배터리 또는 수소연료전지 이용

□ 아진공 튜브

○ 캡슐차량의 주행통로가 되면서 외부 대기와 차단되어 아진공 상태를 제공할 수 있는 파이프라인



[그림 1-1] 초고속 이동수단 하이퍼튜브 개념도

□ 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술

○ 설계 최고 속도 1,200km/h로 정의하며, 초고속에서의 공기 저항을 근본적으로 해결할 수 있는 아진공 주행 환경환경과 차량의 추진·부상을 기술적 특징으로 함

- (초고속 추진 및 부상시스템 기술) 아진공 튜브 내 캡슐차량을 부상·추진시키고, 1,200km/h로 주행하기 위한 차량 제어 기술개발

구분	내용
선형 전자기 추진 가이드웨이	초고속선형동기모터(LSM [*])의 지상 코일을 설치할 수 있는 구조물로서, 자기적 저항이 최소화되도록 비유도성 재료로 만든 차량 주행로
추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템	차량에 탑재되어 추진과 부상에 필요한 자기장을 발생시키는 장치로, 초전도체를 이용한 전자석과 극저온 냉각 장치
초고속 선형 추진 제어	차량의 속도와 위치를 검지하여 추진에너지를 최소화할 수 있도록 차량이 주행하는 구간에만 전력을 공급할 수 있는 전력장치
초전도 유도반발 자기부상 및 주행체	초전도 전자석(차량)과 지상코일(가이드웨이)의 전자기 유도 반발(EDS ^{**}) 현상을 이용하여 별도의 부상제어 장치가 없어도 차량을 부상시키는 장치

* Linear Synchronous Motor

** Electro Dynamic Suspension

- (아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술) 튜브 내부를 0.001~0.01기압 범위의 진공에 가까운 환경으로 유지할 수 있는 튜브 인프라 구축과 안전기술 개발

구분	내용
초고밀도 콘크리트	일반 콘크리트 대비 강도 3배 이상, 공극률 1/10의 치밀 조직을 갖는 기밀성 콘크리트
기밀 튜브	기밀 재료의 튜브, 기밀 연결부, 온도신축에 대비한 신축이음부 등으로 구성되는 아진공 주행 환경을 위한 밀폐된 구조의 튜브
튜브 개폐장치	튜브 출발지점(감압실), 도착지점(가압실), 튜브 중간지점(안전 대피실) 등에 설치하여 튜브의 일정 구간을 차단 및 개방하기 위한 대형 기밀 개폐 밸브
튜브 분기 장치	초고속으로 주행 중인 캡슐차량의 진로를 변경하거나 본선 합류, 본선 분기를 위한 튜브용 초고속 분기장치
진공 펌프 및 진공 제어기	기밀 튜브 내부 공기를 배출하기 위한 감압 펌프와 튜브 내부의 기압을 0.001~0.01기압 범위로 유지·제어하기 위한 압력 제어기
선로 구축물	기밀 튜브와 캡슐 차량을 지지하고 안내하는 튜브 지지구조, 교량, 터널, 역사 등의 토목구조물

2. 본 사업의 적용 범위

□ 본 사업의 범위 및 적용 대상

○ (사업의 범위) 본 사업은 ‘초고속 이동수단 하이퍼튜브*’를 구현하기 위한 핵심기술을 확보하고, 시작품 제작을 통해 개발된 기술의 성능 검증 등 사업의 범위로 설정

* 초고속 이동수단 하이퍼튜브 : 시간가치 증대에 대응하여 중장거리 이동시간을 혁신적으로 단축할 수 있는 초고속 이동수단

- 본 사업은 총 3단계로 분류되며, 하이퍼튜브 요소기술 확보(1단계), 핵심기술 구현 및 시작품 제작(2단계), 핵심기술 성능 및 연계 호환성 검증(3단계)을 수행
- 핵심기술 시작품 제작을 통해 추진/부상, 전력, 차량, 통신, 아진공 인프라 기술 간 인터페이스 검증을 수행

〈표 1-2〉 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업의 범위

구분	기술명	기술 구분		
		기존 기술적용	기술 고도화	신규 기술 개발
① 추진·운행 제어	고온초전도 선형전자기 추진 기술		✓	
	캡슐차량 경량 주행대차 기술		✓	
	비상 기계제동장치 기술		✓	
	유도반발식 자기부상 및 주행안정화 기술		✓	
	고효율 대용량 추진 전력 제어 기술		✓	
② 분기기	아진공 튜브 분기 기술			✓
③ 차량	경량화 및 기밀 캡슐차체 기술		✓	
	캡슐차량 시스템 엔지니어링 및 안전기술		✓	
	고효율 고밀도 차상전장 기술		✓	
	차상 TCMS 및 진단제어 기술		✓	
	차량 HAVC 및 IAQ 유지 기술		✓	
④ 전력 및 통신	고압 급전망 연계 ESS 시스템			✓
	전력설비 엔지니어링		✓	
	고압 직류차단 기술		✓	
	설비신뢰성 개선 기술		✓	
	고속 섹션 절환스위치 및 제어 기술			✓
	하이퍼튜브 전파 및 안테나 기술			✓
	하이퍼튜브 무선 접속시스템		✓	
⑤ 아진공 튜브 인프라	아진공 튜브 재료 기술			✓
	아진공 튜브 설계·제작·시공 기술		✓	
	아진공 튜브 공간분할개폐장치 기술			✓
	아진공 튜브 지중 설치 터널 기술			✓
	아진공 튜브 안전 모니터링 기술		✓	
	아진공 튜브 유지관리 기술		✓	
⑥ 운행 관제 시스템	차량 간격 및 진로 제어기술			✓
⑦ 시스템 통합 및 검증	시스템 통합 및 검증 평가 기술	✓		

1) 기존 기술 적용 : 별도의 기술개발 없이 바로 적용이 가능한 기술

2) 기술 고도화 : 기존 기술이 존재하나 동 사업의 니즈에 맞추어 고도화가 필요한 기술

3) 신규 기술 개발 : 기존 기술이 존재하지 않아 동 사업을 위해 새롭게 개발되어야 하는 기술



참고 타 운송수단과 하이퍼튜브의 비교

- (KTX) 400km/h급 KTX 개량 대비 건설비 및 소비전력 등을 고려한 경제성 분석 결과 비교 우위에 있는 것으로 확인됨

$$\text{하이퍼튜브} \left(\frac{\text{총투입비용}(A)}{\text{단축시간}(B)} \right) - \text{비교대안} \left(\frac{\text{총투입비용}(A')}{\text{단축시간}(B')} \right) = \text{비용효과비율}(E/C \text{ ratio}) \text{의 차이}$$

$$\left(\frac{76,792.4 \text{억원}(A)}{87.3 \text{분}(B)} \right) - \left(\frac{25,410.9 \text{억원}(A')}{19.6 \text{분}(B')} \right) = \Delta 416.9 \text{억원/분}$$

- 총 건설비의 경우 약 25%(7.1조원) 절감 예상 및 전력요금(/인)의 경우 약 41%(570원) 상승 예상되나 운임(KTX 약6만원) 대비 미미한 수준

구분	KTX (차상동기모터)	하이퍼튜브 (지상 선형동기모터)
건설비(억원, 서울~부산)	286,062억원 *단위 건설비 : ¹⁾ 686억원/km	214,834억원 *단위 건설비 : ²⁾ 659억원/km
³⁾ 소비전력(kWh/인, 서울~부산)	11.86~13.87kWh/인 *전력요금 : 약 1,370원	16.25~16.27kWh/인 *전력요금 : 약 1,940원

- 1) 평택~오송 2복선화 건설사업 기본계획 (국토교통부 제2021-911호) (× 417km)
2) 서울~부산 터널 100% 적용 (× 326km)

- 서울~부산 소요 시간 기준 KTX 대비 약 88분 절감으로, 통행시간가치¹⁾ 절감 예상

구분	²⁾ KTX (차상동기모터)	하이퍼튜브 (지상 선형동기모터)
영업 속도(서울~부산)	300 km	1,000 km
소요 시간 / 수송능력(승객/시간)	112.3 분 / 6,240~11,220 명	24.2 분 / 480~3,600 명

- 1) '20년 기준 철도 통행시간 가치 : 9,703원/60분
2) KTX 이용자 주중 업무·출장 비율 38.4%(경부 40.5%), '21년 시간당 평균임금 19,806원(최저임금 8,720원) 고려 시 시간가치의 중요성은 더욱 높아질 전망

- (항공기) 온실가스 배출량, 에너지 소비량, 대기시간, 정시성 및 운임 등에서 항공기 대비 비교 우위에 있는 것으로 예상됨

구분	항공기	하이퍼튜브(HTX)
온실가스 배출량	• 53.3kg/인 ※ 출처 : 급증하는 비행기는 온실가스 주범 ('19.11.2 세계일보, 한국교통안전공단 자료 인용)	• 6.9kg/인 (추정) - 5.9kg/인(KTX 온실가스 배출량) × 1.17배 (KTX 대비 일인당 최대 소비전력 비율) - 일인당 소비전력 추정치 : (KTX) 13.87 kWh, (HTX) 16.27 kWh
에너지 소비량	• 약 2,000 BTU/passenger-mile ※ 출처 : Effect of Hyperloop Technologies (US DOE, '21)	• 약 500 BTU/passenger-mile ※ 출처 : Effect of Hyperloop Technologies (US DOE, '21)
대기시간	• 100.3분(공항터미널 국내선) ※ 출처 : 여객통행실태(한국교통연구원, 2018)	• 33.5분(철도역) • 시격 5분 반영시 KTX 대비 대기시간 감소 예상 ※ 출처 : 여객통행실태(한국교통연구원, 2018)
정시성	• 결항 3,521건(기상에 의한 영향 3,200건 포함) ※ 출처 : 2021년 항공교통서비스 보고서 제1장 제2절 정시성 정보	• 철도사고·장애 154건(지역간 철도 포함) • 전용 선로 사용에 따라 지역간 철도 대비 운행 장애 감소 및 정시성 향상 예상 ※ 출처 : '20년 철도통계연보 10-3. 연도별 철도사고·운행 발생현황
운임	• 115,000원 ('22.9.2, 서울-부산/김해 대한항공 일반석 기준)	• 인프라 구축 비용이 KTX의 75% 수준이므로 원가와 타 교통수단 운임 형평성에 따라 책정되는 운임 정책 고려 시 운임 경쟁력 확보 가능 예상

제2절 국내외 환경 분석

1. 메가트렌드

1.1. 주요 메가트렌드

- 다보스포럼, 미래사회 전망을 위한 12개 미래이슈, 2050년 메가트렌드, 국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 메가트렌드 등 문헌분석을 통해 5개 교통 메가트렌드, 21개 세부트렌드를 도출
- 발굴된 메가트렌드 키워드들을 정책·경제·사회·기술적 관점에 따라 분류하고, 공통된 키워드들을 취합한 이후 각각에 대한 트렌드를 정리

〈표 2-5〉 세부트렌드 도출

STEEP	교통 메가트렌드(5개)	트렌드(21개)	미래 교통 니즈(5개)
사회 Social	국토 공간 구조와 인구구조의 변화	인구 고령화 및 생산인구의 감소	중장거리 거점 간 효율적인 이동수단의 니즈 증가
		1인 가구의 증가	
		대도시권 인구집중으로 인한 메가시티화	
		메가시티 내 교통혼잡의 증가	
		중소 도시의 몰락	
		초연결 스마트시티의 가속	
	삶의 질 중시에 따른 가치관 변화	교통수단 서비스 기대치 증가 (정시성, 쾌적성, 신뢰성)	교통수단의 정시성, 편리성에 대한 요구 증가
		가치의 다양화	
라이프스타일 변화			
	여가시간 증가 및 활동 다양화		
기술 Technological	교통기술의 발달	교통수단의 속도증가 및 성능향상	신속한 미래 이동수단 요구 가속화
		첨단 신 교통수단의 보급	
		자율주행과 스마트 모빌리티 서비스의 일상화	
		교통수단의 고속화(하이퍼루프)	
환경 Environmental	도시의 양극화	온실가스 배출 감축	탄소배출량을 줄일 수 있는 친환경 교통수단 이용 요구 증대
		온난화 심화에 따른 이상기후 현상	
		탄소 중립을 위한 에너지 전환 가속화	
		이상기후 발생 증가	
		청정에너지 개발 가속화	
정책 political	교통수단에 대한 규제 완화 및 친환경 정책 강화	교통수단의 속도증가 및 성능향상으로 사람 및 사물의 이동성 증대 및 규제 장벽 감소	교통수단에 대한 규제 완화 및 친환경 교통수단 이용 요구 증대
		친환경 및 에너지 정책 강화	

1.2. 3대 교통 특성 변화

□ STEEP 분석의 트렌드를 바탕으로 미래 환경변화에 대응할 수 있는 미래 이동수단의 수요를 조사하고, 이를 연관성이 높은 공통의 키워드를 중심으로 재구조화하여 3대 교통 특성 변화를 도출

〈표 2-6〉 미래 이동수단의 수요에 따른 3대 교통 특성 변화

구분	교통 메가트렌드 (5개)	세부 트렌드 (21개)	미래 이동수단의 수요	3대 교통 특성 변화
사회 (S)	1. 국토공간 구조와 인구구조의 변화	인구 고령화 및 생산인구의 감소	중장거리 거점 간 효율적인 이동수단의 니즈 증가	① 신속한 이동
		1인 가구의 증가		
		대도시권 인구집중으로 인한 메가시티화		
		메가시티 내 교통혼잡의 증가		
		중소 도시의 몰락		
		초연결 스마트시티의 가속		
	2. 삶의 질 증진	교통수단 서비스 기대치 증가 (정시성, 쾌적성, 신뢰성)	교통수단의 정시성, 편리성에 대한 요구 증가	
		가치의 다양화		
라이프스타일 변화				
여가시간 증가 및 활동 다양화				
기술 (T)	3. 교통기술의 발달	교통수단의 속도증가 및 성능향상	신속한 미래 이동수단 요구 가속화	② 이용이 편리한 교통
		첨단 신 교통수단의 보급		
		자율주행과 스마트 모빌리티 서비스의 일상화		
		교통수단의 고속화(하이퍼루프)		
환경 (E)	4. 기후변화 (온난화)	온실가스 배출 감축	탄소배출량을 줄일 수 있는 친환경 교통수단 이용 요구 증대	③ 친환경적, 저에너지 교통
		온난화 심화에 따른 이상기후 현상		
		탄소 중립을 위한 에너지 전환 가속화		
		이상기후 발생 증가		
정책 (P)	5. 교통수단에 대한 규제 완화 및 친환경 정책 강화	교통수단의 속도증가 및 성능향상으로 사람 및 사물의 이동성 증대 및 규제 장벽 감소	교통수단에 대한 규제 완화 및 친환경 교통수단 이용 요구 증대	
		친환경 및 에너지 정책 강화		

2. 정책적 환경 분석

□ 세계 각국의 대부분의 경우 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발을 주도하며, 정부는 민간과 협력하여 기술도입 및 이전을 추진

- 세계 각국에서는 정부의 지원·협력 하에 하이퍼튜브 기술개발을 활발하게 진행 중
 - 국가는 기술도입 및 이전을 추진하며, 민간기업이 제안한 노선에 대해 연방, 주, 시 정부 차원에서 초고속 이동수단 도입 협력을 추진
 - 인도, 아랍에미레이트, 사우디아라비아 등의 국가에서는 노선(토지)을 무상 제공하고 하이퍼튜브 기술을 도입 및 기술이전 받으려는 상황

〈표 2-7〉 하이퍼튜브 기술개발 관련 국가 정책 동향

국가	정책동향
미국 	<ul style="list-style-type: none"> - 고속이동·고효율 신 교통수단 도입에 대해 기존 법률 및 규제 구조의 개선을 위하여, 교통부 산하에 신 교통기술위원회를 구성·운영 중 - 미국 교통부 산하 신교통위원회(NETT)는 하이퍼튜브 등 미래교통산업에 대한 명확한 규제 프레임 신설을 위해 관련법 제정을 추진 예정 - '19년 7월 교통부에서 하이퍼튜브 관련 법 정비와 규제 신설을 위해 교통주택도시 개발 제출 법안 통과 - '인프라 투자·일자리 법안'에 따라 약 1조, 2,000억 달러 규모를 도로·교통·철도·항공 재건과 하이퍼튜브, 전기차 등 주요 미래형 운송수단 인프라에 투자 추진 예정
캐나다 	<ul style="list-style-type: none"> - 연방정부는 토론토~몬트리올 간 하이퍼튜브 노선 타당성 조사를 통하여 새로운 교통혁신 인프라 개발 지원 - 앨버타 주정부는 하이퍼튜브 시스템 신생기업 트랜스포드와 시속 1000km 하이퍼튜브 시스템 개발 MOU를 체결하여 지원 예정
유럽 	<ul style="list-style-type: none"> - CEN(유럽 표준화 위원회)과 CENELEC(유럽 전기기술 표준화 위원회)는 하이퍼튜브의 표준화를 담당하는 새로운 기술 위원회 CEN/ CLC/JTC 20을 신규 개설하고, 하이퍼튜브 표준화 작업 착수 - 유럽위원회에서 '50년까지 대중교통 관련 온실가스 배출량을 줄이고 스마트한 모빌리티 시스템을 갖추고자 추진한 '지속가능한 스마트 모빌리티 전략'에 하이퍼튜브 기술을 포함 - (프랑스) HTT 기업과 협력하여 프랑스 툴루즈 지역을 유럽 초고속 하이퍼튜브의 연구 개발본부로 개발 지원
인도 	<ul style="list-style-type: none"> - 마하라슈트라 주정부가 하이퍼튜브를 공공 인프라 프로젝트로 간주하고, Virgin Hyperloop-DP World 컨소시엄을 푸네-뭄바이 하이퍼튜브 프로젝트 원사업제안사(OPP)로 선정 - 인도 중앙정부는 Virgin Hyperloop과 협력하여 하이퍼튜브 관련 규제 경로를 파악할 방침
UAE 	<ul style="list-style-type: none"> - (아부다비) '16년 11월 아부다비 교통행정국은 하이퍼튜브 부문 주요 기업인 HTT와 아부다비 - 알 아인(AI Ain) 간 하이퍼튜브 노선 개발을 위해 연구협약 체결 - (두바이) 두바이 정부는 HTT, Hyperloop One 등 기업과 협력하여 아부다비~두바이 노선 타당성 조사 시행 및 자금조달 지원
사우디아라비아 	<ul style="list-style-type: none"> - '19년 7월 사우디아라비아 경제도시건설청(ECA)은 Virgin Hyperloop One과 세계 최초 장거리 하이퍼튜브 테스트 트랙 구축 관련 파트너십 체결 - 파트너십 체결로 인해 경제 다각화를 달성하기 위한 정부 프로젝트 'Vision 2030' 가속화 전망

- 한편 우리나라를 포함하여 중국과 일본은 낮은 개발역량을 극복하고, 하이퍼튜브 선점을 위하여 정부주도의 기술개발을 추진하고 있는 상황

- 한국은 '제5차 과학기술기본계획', '제3차 국가교통기술개발계획(국토교통부)', '제1차 국토교통 과학기술 연구개발종합계획', '제5차 국토종합계획' 등에서 국가경쟁력 제고 과제로 하이퍼튜브 기술개발 및 지원을 제시
- 중국은 국영기관인 우주과학공업그룹에서 국가 주도의 하이퍼튜브 기술개발을 추진
- 일본은 1970년대부터 국가 차원에서 초전도 자기부상열차 기술개발을 주도함에 따라, 하이퍼튜브보다 초전도 자기부상열차의 기술적 실행 가능성이 더 높은 상황

【미국】

□ 고속이동·고효율 신 교통수단 도입 계획에 대해 정부기관 및 지방정부가 규제 허가를 통하여 정책적 실현 가능성을 검토 후 추진

- 인프라 투자·일자리 법안⁴⁵⁾에 따라 약 1조, 2,000억 달러 규모를 도로·교통·철도·항공 재건과 하이퍼루프, 전기차 등 주요 미래형 운송수단 인프라에 투자 추진 예정⁴⁵⁾
 - 하이퍼루프가 정부로부터 미래형 교통수단으로 공식 인정을 받으며, 지속 가능한 교통 인프라 구축 프로젝트 일환으로 법제화되면서 관련 기업들도 대규모 지원을 받을 전망
- 교통부* 산하 신 교통기술 위원회**에서 하이퍼루프 등 미래교통산업에 대한 명확한 규제 프레임 신설을 위해 관련법 제정을 추진 예정

* (DOT: Department of Transportation)

** (The Non-Traditional and Emerging Transportation Technology Council)

- 교통부에 따르면 하이퍼루프 기술과 그 이면의 과학적 기반이 탄탄하기 때문에, 'US 정부는 하이퍼루프 수송 기술에 안전하게 투자할 것'이라고 발표⁴⁶⁾
- 미국 교통부 11개 부서는 특정 환경 및 규제 조건에 대해 자체 승인권을 보유하고 있지만, 신기술은 이러한 기존 규제 구조에 맞지 않아 교통혁신 속도를 지연시킬 가능성이 존재
 - 하이퍼루프 민간기업 및 투자자는 안전관련 인증, 허가, 자금조달 등의 문제를 협의하기 위해 교통부의 담당부서를 파악하는데 어려움이 존재
- 교통부의 기존 교통수단 위주의 담당부서가 신 교통기술 도입에 방해가 되지 않도록 '19년 3월 12일 교통부 내에 신 교통기술 위원회를 설립하여 운영
 - 터널링, 하이퍼루프, 자율주행 자동차 등의 새로운 교통혁신 기술 도입을 방해할 수 있는 법률 및 규제를 검토 개선⁴⁷⁾
 - 민간기업의 신 교통 계획 및 제안에 대한 교통부 내 협의 창구를 단일화
- '19년 7월 교통부에서 하이퍼루프 관련 법 정비와 규제 신설을 위해 교통주택도시 개발 제출 법안 통과
- 뉴욕~워싱턴DC 간 하이퍼루프 노선계획은 '17년 8월 연방정부의 구두 승인 후 지방정부가 단계적 규제 허가를 추진 중⁴⁸⁾

45) '꿈의 교통수단' 하이퍼루프 산업 새 국면...美인프라법 통과로 날개 다나, THE GURU 글로벌 뉴스, 2021

46) 「Hyperloop Technology Market - Global Forecast to 2026」, p. 41, MarketsAndMarkets, 2017

47) 미국 교통부 웹사이트 <https://www.transportation.gov/nettcouncil>, 2020.2.26. 기준

- 뉴욕~필라델피아~볼티모어~워싱턴DC 간 노선연장 229마일을 하이퍼루프로 29분에 운행할 계획을 제출
- 메릴랜드 주는 2017년 10월 뉴욕~워싱턴DC 노선 중 10마일 구간에 대한 굴착 허가 발급
- The Boring사는 2018년 2월 워싱턴DC 시정부로부터 초기 터널탐사에 대한 착수 허가 취득

□ 미국 인프라 법안에 하이퍼루프가 포함되었으며, 미래 교통 인프라의 중추를 형성하는 지속 가능한 솔루션 개발을 위해 투자를 증가하고 있는 상황

- 대규모 인프라 패키지(약 1조 달러 규모)에 대한 법안이 상원에서 통과되었으며, 해당 법안에는 하이퍼루프에 대한 추가 기술개발 및 교통시스템 적용을 지원하는 조항이 포함⁴⁹⁾
 - 해당 법안은 기업들이 하이퍼루프 프로젝트에 대한 연방자금지원에 대해 경쟁할 수 있도록 하며, 미국교통부의 비전통 및 신흥교통기술(NETT) 위원회에서 보다 안전하고 빠른 교통 구축체계 지원 가능

【캐나다】

□ 앨버타 주정부는 하이퍼루프 시스템 신생기업 트랜스포드와 시속 1000km 하이퍼루프 시스템 개발 MOU를 체결하여 지원 예정

- 캐나다 앨버타 주정부는 차세대 운송 수단인 하이퍼루프 시스템을 구축하는 신생기업 트랜스포드 (TtransPod)와 하이퍼루프 개발 양해각서(MOU) 체결을 발표⁵⁰⁾
 - 하이퍼루프 프로젝트는 향후 10년간 4만 8,000개의 일자리 창출, 앨버타 경제 다각화 및 효율적인 이동 개선, 연간 최대 30만 톤의 탄소배출 감소 등이 가능할 것으로 예측
 - MOU의 구체적인 내용은 하이퍼루프 시스템 기술 개발 타당성에 대한 추가 연구 지원, 기술 타당성 평가 시 도움이 될 수 있는 교통 데이터 공유, 트랜스포드 관계자들과 협력한 시험 노선 건설부지 검증, 대규모 자금을 운용하는 잠재적 기관 투자자들과 토론 참여
 - 단기/중기/장기 계획으로 타당성 조사('20~'22), 연구 및 개발('20~'24), 시험 노선 건설 및 고속 시험('22~'27), 에드먼턴과 켈거리를 잇는 순환선 건설 ('25년 개시)로 구별

□ 연방정부는 하이퍼루프 노선 관련 사전 타당성 조사를 통하여 새로운 교통혁신 인프라 개발을 적극적으로 지원

- 연방 교통부는 '19년 3월 하이퍼루프 기술에 대한 사전 타당성 조사 실시계획을 공고⁵¹⁾

48) 「Elon Musk receives exploratory permit for D.C. to NYC Hyperloop」 by Jonathan Hilburg, The Architect's Newspaper, 2018.2.21

49) Hyperloop included in \$1.2 trillion US infrastructure bill. GRANTSHALANEWS, 2021.8

50) 캐나다 앨버타 주정부 X 트랜스포드, 시속 1000km 하이퍼루프 시스템 개발 MOU 체결, CLO, 2020.08

51) BlogTO, 「A hyperloop between Toronto and Montreal is moving closer to reality」 by Tanya Mok, posted 2018.3

- 토론토~몬트리올 간을 45분에 주행하는 하이퍼루프 열차 연구에 대한 자금지원을 공식적으로 발표
- 하이퍼루프 기술의 안전과 고속철도 대비 비용효과를 측정하는 사전 기술타당성 조사 제안서 접수를 공고
- 사전 기술 타당성 조사는 낙찰자 선정일로부터 '20년 1월 31일까지 진행

【유럽】

- **CEN(유럽 표준화 위원회)과 CENELEC(유럽 전기기술 표준화 위원회)는 하이퍼루프 시스템의 표준화를 전담하는 새로운 기술 위원회 CEN/CLC/JTC 20을 신규 개설하고 하이퍼루프 표준화 작업에 착수**
 - '18년 6월 브뤼셀에서 CEN/CENELEC는 4개 하이퍼루프 민간기업과 하이퍼루프 공동 표준 및 규정을 정의하는데 상호 협력한다는 협정을 체결⁵²⁾
 - TransPod(캐나다), Zeleros Hyperloop(스페인), Hyper Poland(폴란드), Hardt Hyperloop(네덜란드)
 - '19년 말 네덜란드와 스페인의 국가 표준화 기구인 NEN(네덜란드 표준화 협회)과 UNE(스페인 표준화 협회)는 JTC(Joint Technical Committee) 20 개설 프로젝트를 CEN/CENELEC에 건의하여 '20년 2월 5일 최종 승인
 - JTC 20은 유럽위원회(European Commission)가 요청한 표준화 개발에 적극 참여할 것이며, CEN/CENELEC의 철도, 우주, 압력 장비 표준화 경험을 기반으로 하이퍼루프 표준화 작업에 착수 예정
 - JTC 20은 향후 CEN/TC 256 '철도 어플리케이션' 등과 같은 다양한 기술그룹과 협력 예정
- **유럽위원회에서 '50년까지 대중교통 관련 온실가스 배출량을 줄이고 스마트한 모빌리티 시스템을 갖추고자 추진한 '지속가능한 스마트 모빌리티 전략'에 하이퍼루프 기술을 포함**
 - 유럽위원회(EC)는 「지속가능한 스마트 모빌리티 전략」에서 하이퍼루프를 획기적인 모빌리티 기술이라고 발표⁵³⁾
 - 유럽의 그린딜(Green Deal) 일환으로 '50년까지 대중교통 관련 온실가스 배출량을 90% 줄이는 방법으로 하이퍼루프의 광범위한 사용을 뒷받침할 수 있는 내용 포함
 - EC에서는 모빌리티 기술의 신생기업 및 기술 개발자를 위해 테스트 및 시험을 촉진하고 규제 환경을 적합하게 하여 시장에 솔루션 배포를 지원 예정
- **유럽 하이퍼루프 프로그램은 EU 집행위원회가 운영하는 유럽투자프로젝트포탈*에 등재**
 - * European Investment Project Portal, EIPP
 - 유럽투자프로젝트포탈은 투자자 모집을 위해 EU 내에서 진행되고 있는 주요 투자 프로젝트에 대한 정보를 제공하는 웹기반 정보 플랫폼⁵⁴⁾

52) CENELEC 웹사이트, 「A newcomer in the European transport standardization family : JTC 20 on hyperloop systems」, 2020.2.5. (<https://www.cencenelec.eu/news/articles/Pages/AR-2020-003.aspx>, 2020.2.26. 기준)

53) New Civil Engineer, EU backs hyperloop in sustainability strategy, 2020.12

- EU 집행위원회가 운영하고, 유럽 경제성장 및 일자리 창출을 목표로 하는 유럽투자계획 (Investment Plan for Europe)의 일환 사업
- 잠재 투자자들에게 EU 내에서 이루어지는 공공 및 민간 주요 프로젝트에 대한 정보를 일관된 형태로 제공하고 업데이트
- 사업자들에게는 사업의 가시성을 높여주어, 전 세계의 잠재 투자자 모집에 도움이 될 것으로 기대

□ **프랑스 정부는 HTT사와 협력하여 프랑스 툴루즈 지역을 유럽 하이퍼루프의 연구개발본부로 개발 지원**

- 프랑스 중앙정부와 지자체는 하이퍼루프와 같이 현대적이고 빠르며, 저렴한 교통 대안을 찾아 투자하기를 기대하고 있는 상황
- 프랑스 정부는 '17년 1월 HTT⁵⁵⁾가 프랑스 툴루즈 지역 3,000m²에 신청한 하이퍼루프 시설 건설을 승인
 - 프랑스는 증공업, 기계제조, 항공, 전기, 자동차, 농업 환경 기술을 하이퍼루프 기술개발의 기초 기술로 제공⁵⁶⁾
 - 툴루즈 지자체는 HTT와 40백만 USD 규모의 자금조달 및 세제 감면 지원을 협의 중

【인도】

□ **마하라슈트라 주정부가 하이퍼루프를 공공 인프라 프로젝트로 간주하고, Virgin Hyperloop-DP World 컨소시엄을 푸네-뭄바이 하이퍼루프 프로젝트 원사업제안사(OPP)로 선정**

- 푸네-뭄바이 하이퍼루프 프로젝트 운송 시스템 구축에 있어 획기적 조치로 하이퍼루프 기술을 전통적인 대중교통 수단과 동등하게 인정
 - 인도 중앙정부는 미국의 민간기업 하이퍼루프 원(Virgin Hyperloop One)과 협력해 하이퍼루프 관련 규제 경로를 파악할 방침
 - 인도 내 상용 하이퍼루프 개발을 위해 기존 고속도로망과 더불어 푸네와 뭄바이를 하이퍼루프로 연결하려는 시도⁵⁷⁾

【아랍에미리트】

□ **아부다비 교통행정국은 하이퍼루프 부문 주요 기업인 HTT와 아부다비~알 아인(AI Ain) 간 하이퍼루프 노선 개발을 위해 연구협약 체결**

- '16년 11월 아부다비 교통행정국은 HTT와 아부다비~알 아인 노선의 연구 협정을 체결하여

54) (산업정책) EU 집행위, 유럽투자프로젝트포털(EIPP) 운영계획 발표, 주 벨기에 유럽연합 대한민국 대사관 경제통상 동향, 2016.03
 55) 일론 머스크가 구상한 초음속 교통시스템 하이퍼루프(Hyperloop) 개발을 진행하고 있는 기업 HTT(Hyperloop Transportation Technologies)
 56) Hyperloop Technology Market - Global Forecast to 2026』, pp. 45~46.,MarketsAndMarkets, 2017
 57) 하이퍼루프 첫 유인 주행 안전하게 성공, 다음 탑승자는 인도 푸네 출신, 뉴스와이어, 2020.11

궁극적으로 아부다비-두바이 연결 노선, 아부다비-리야드 연결 노선 개발 추진⁵⁸⁾

- 아부다비와 두바이, 아부다비와 리야드 노선 운영을 통한 하이퍼루프의 국내외 상용화를 목표로 하고 있으며, 하이퍼루프로 알 아인과 주변 지역의 경제적, 사회적 및 관광산업의 발전을 촉진할 것으로 예상



※ 출처 : 하이퍼루프 트랜스포테이션 테크놀로지 웹사이트

[그림 2-2] 하이퍼루프 트랜스포테이션 테크놀로지 아부다비~두바이 구간 예상 조감도

□ **두바이 지방정부는 하이퍼루프 개발 민간기업과 협력하여 두바이~아부다비 하이퍼루프 노선 타당성 조사 시행 및 자금조달 지원**

- Virgin Hyperloop One은 두바이~아부다비 간 여객 하이퍼루프 타당성 조사 추진을 두바이 정부에 제안
 - 노선 : 두바이~아부다비 150km
 - 통행시간 : 기존 1시간 30분, 하이퍼루프 12분
 - 기대효과 : 두바이 정부는 두 도시 간의 하이퍼루프 연결이 경제, 사회, 관광 부문의 성장을 자극할 것으로 기대

〈표 2-8〉 UAE의 하이퍼루프 제안 노선

제안노선	개발 단계	참여 민간기업
두바이~아부다비	- 2016년 11월 두바이 지방정부는 Hyperloop One 제안에 대한 협상착수를 동의 - 제안 : 두바이~아부다비(150km) 간 통행시간을 기존 1시간 30분에서 12분으로 단축하는 하이퍼루프 건설	Virgin Hyperloop One

※ 출처 : MarketsAndMarkets, 『Hyperloop Technology Market - Global Forecast to 2026』, p. 27, 29, 38, 40., 2017

【사우디아라비아】

□ **사우디 경제도시건설청(ECA)은 하이퍼루프 스타트업 기업인 Virgin Hyperloop One과의 파트너십 계약을 통해, 세계 최초로 국가 차원의 하이퍼루프 네트워크 구축 연구 착수**

- 『Vision 2030』의 “Connected Saudi Arabia” 및 “Connected Gulf”라는 비전 실현을 위해,

58)LoTIS, 현실화 앞둔 꿈의 교통수단 ‘하이퍼루프’, 2018.06

하이퍼루프 기술도입에 대한 타당성 조사를 통하여 사우디 전역에 하이퍼루프 네트워크를 구축하는 청사진 마련 예정

- 세계 최초 국가 차원의 하이퍼루프 연구수행을 위해 Virgin Hyperloop One과 '20년 2월 6일 하이퍼루프 기술 도입 협약체결
 - 미래 운송시스템을 단순히 제공하는 것이 아니라, 하이퍼루프 지식을 공유하고 개발할 수 있도록 기술을 이전
- 압둘라 경제도시(King Abdullah Economic City)는 이미 '19년 10월 하이퍼루프 시험트랙, 제조시설 및 연구개발센터 건립, 124,000개 일자리 창출에 관한 협약을 Virgin Hyperloop One과 체결⁵⁹⁾
 - 리야드~제다 46분, 리야드~담맘, 주바이 28분, 리야드~아부다비 48분에 연결 예정



※ 출처: <https://www.materialbidders.com/mb-news-details.php?id=53>


[그림 2-3] 사우디아라비아 및 걸프 지역 하이퍼루프 네트워크 (안)

□ 우리나라를 포함하여 중국과 일본은 낮은 개발역량을 극복하고, 하이퍼튜브 선점을 위하여 정부주도의 기술 개발을 추진하고 있는 상황

- 한국은 ‘제5차 과학기술기본계획’, ‘제3차 국가교통기술개발계획(국토교통부)’, ‘제1차 국토교통 과학기술 연구개발종합계획’, ‘제5차 국토종합계획(안)’ 등에서 국가경쟁력 제고 과제로 하이퍼튜브 기술개발 및 지원을 제시
- 중국은 국영기관인 우주과학공업그룹에서 국가 주도의 하이퍼튜브 기술개발을 추진
- 일본은 1970년대부터 국가 차원에서 초전도 자기부상열차 기술개발을 주도함에 따라, 하이퍼튜브 보다 초전도 자기부상열차의 기술적 실행 가능성이 더 높은 상황

59) Arabnews, 『Saudi Arabia, Virgin Hyperloop One to conduct world’s first national hyperloop study』, 2020.2.9. (<https://www.arabnews.com/node/1624621/saudi-arabia>)

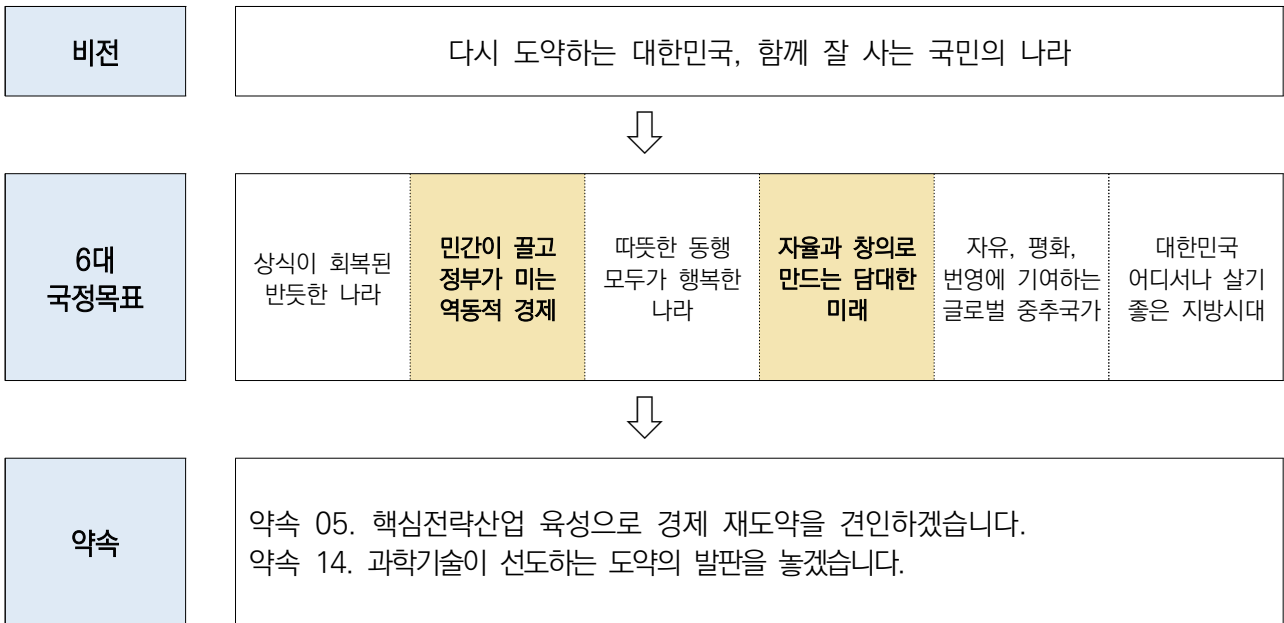
〈표 2-9〉 국가주도 하이퍼튜브 개발 국가의 정책 동향

국가	정책동향
<p>대한민국</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - '제5차 과학기술기본계획'에서는 하이퍼튜브 등 저탄소 미래 모빌리티 개발을 추진하여 탄소배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축을 제시 - '제4차 과학기술기본계획'에서는 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신 기술 중 하나로 '초고속 튜브트레인'이 제시 - '제3차 국가교통기술개발계획(국토교통부)', '제1차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획'에서는 추격자(Fast-Follower)에서 선도자(First-Mover)로의 변화를 통한 기술이 주도하는 국가경쟁력 제고 과제로 '아진공튜브철도시스템'을 제시 - '제5차 국토종합계획'에서 '미래형 혁신 교통체계 구축'의 일환으로 고속서비스 확대, 초고속 하이퍼튜브 철도 시스템 등 새로운 개념의 교통시설 구축을 제시
<p>중국</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 국영기관인 중국 우주과학공업그룹(CASCI)에서 1,000km/h의 진공튜브 철도 개발에 대한 중장기 계획 발표
<p>일본</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 일본은 1970년대부터 국가적으로 초고속 자기부상열차 개발을 적극적으로 추진하여, 관련 법령 및 소위원회 심의 결과를 통하여 구체적 추진 방안을 확정 - 도쿄~나고야 2027년 개통, 나고야~오사카 2037년 개통을 예정으로 500km/h급 초전도 자기부상열차 노선인 「츄오 신칸센」 건설이 진행 중

【대한민국】

- 정부는 「120대 국정과제」에서 하이퍼튜브 등 혁신·도전적인 과제에 투자를 확대하며, 모빌리티 혁신을 위한 하이퍼튜브의 독자기술 확보를 목표로 제시
- 「윤석열 정부 120대 국정과제」의 6대 국정목표 중 ‘민간이 끌고 정부가 미치는 역동적 경제’, ‘자율과 창의로 만드는 담대한 미래’가 동 사업과 관련

〈표 2-10〉 윤석열 정부의 120대 국정목표



※ 출처 : 윤석열정부 120대 국정과제, 대한민국 정책브리핑, 2022

- [국정과제 ㉞] 모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화(국토부)
 - (R&D 확대와 강소기업 스케일업) 하이퍼튜브 등 혁신·도전적인 과제와 안전·미세먼지·주거환경 등 생활체감도가 높은 분야에 R&D 투자 확대
- [국정과제 ㉟] 초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약(과기부)
 - (UAM/하이퍼튜브) 모빌리티 혁신을 위한 UAM, 하이퍼튜브 독자기술 확보

□ 「제4차 과학기술기본계획(’18~’22)」에서는 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신기술 중 하나로 ‘초고속 튜브트레인’이 제시

- 「제4차 과학기술기본계획*」‘창의·선도형 R&D 체계로 전환, 융합과 협력이 활발한 혁신생태계 조성, 혁신성장동력 육성으로 신산업과 일자리 창출을 가속화, 삶의 질 향상과 인류 문제 해결에 기여 확대’라는 과학기술 정책 방향(4대 전략)에 따라 수립
 - * 동 계획은 「과학기술기본법」제7조에 의거, 우리나라의 과학기술발전에 관한 중·장기 정책목표와 방향, 전략, 중점과제 등을 반영하여 20개 부·처·정 합동으로 수립
- 인공지능, 빅데이터 등 미래사회를 변화시킬 기술들이 사회에 널리 확산되면서 혁신적인

변화를 유발하여 ‘초고속 튜브트레인’ 등의 혁신기술들이 사회에 급속도로 확산

- 초고속 튜브트레인은 기술확산점*은 세계에서 '28년, 국내에서는 '33년으로 예측

* 기술확산점(Tipping Point) : 기술이 사회에 급속도로 확산되는 시점

□ 「제5차 과학기술기본계획('23~'27)」에서는 탄소 배출을 줄이고 이용 편의성을 높이는 하이퍼 튜브 등 미래 이동체 개발 추진을 제시

○ 제5차 과학기술기본계획*은 ‘과학기술혁신이 선도하는 담대한 미래’를 비전으로 탄소 다배출 산업의 대체 사업전환 지원 등을 제시

* 과학기술기본법에 따라 매 5년마다 수립되는 법정 중장기 계획이면서 과학기술 분야 최상위 계획으로 연구 개발투자를 통한 경제성장과 성과의 활용·확산까지 과학기술혁신의 전주기를 포괄

○ 탄소 다배출 산업의 대체·사업전환 지원을 통한 산업 저탄소화 기반 조성 및 탄소 관리 인프라 구축이 언급

- 하이퍼튜브, 성층권 드론 등 저탄소 미래 모빌리티 개발을 추진하여 미래 이동체 활용 생태계 구축 목표를 제시

□ 「국토교통 R&D 중장기전략('14~'23)」은 ‘국토교통 기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치 창조’를 비전으로 설정하고 미래 인프라 패러다임 전환에 대비한 선도기술 확보를 지원하는 전략

○ 동 전략은 국토교통산업이 국가 경제에 기여하기 위해 ·노동·자본 중심의 산업적 한계를 극복할 수 있는 국토교통 R&D 대표 브랜드를 발굴하여 지원

- 국토교통 산업이 성숙기에 진입함에 따라 기술혁신을 전제로 한 미래의 인프라 패러다임 전환은 필수

○ ‘국토교통 기술을 통한 국민 행복 및 글로벌 가치창조’를 비전으로 설정하고, 2023년까지 7만 5천개 일자리 창출, 11개 세계 선도기술 및 8개 글로벌 기업 육성, 재해 및 사고 20% 저감을 목표로 설정

- ‘창조 경제’, ‘국민 행복’ 실현을 위한 국토교통 10대 중점 브랜드 기술을 선정하여 중점 프로젝트로 집중 지원

- 10대 중점 프로젝트 중 하나인 ‘스마트 철도교통시스템’에서는 도시 간, 도시 내 이동수단으로서 수송성·정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도시스템이 생활교통수단으로서 더욱 안전하고, 경제적이며 효율적으로 구축·운영될 수 있도록 제반 기술을 확보하는 것을 추진 목표로 설정

□ 추격자(Fast-Follower)에서 선도자(First-Mover)로의 변화를 통한 기술이 주도하는 국가 경쟁력 Boost-Up 계획 추진

- (미래 혁신기술 선정) 과학기술정보통신부 (‘17) 미래세상을 만들어가는 24개 혁신기술 중 하나로 초고속 튜브 트레인을 제시⁶⁰⁾
 - 미국 2028년, 국내 2033년 상업운행이 가능할 것으로 예측
 - (선도기술 투자 강화) 국토교통부 3차 국가교통기술개발계획에서 「따라가는 전략(catch-up)을 지양하고 선도 기술개발 전략(first-mover)을 추진하기 위해, 교통 핵심 및 원천 기술 과제에 투자 강화」를 기본방향으로 설정⁶¹⁾
 - (국토교통 R&D 계획 포함) 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018)에서 ‘4차 산업 혁명 대응과 혁신성장동력 육성, 기술융합을 통한 신 가치창출, 사람 중심 국토교통기술 개발’을 추진방향으로 제시
 - 이를 위한 수송시스템 혁신기술 도입 목표에 ‘아진공 튜브 철도시스템’을 포함⁶²⁾
- 기술 패러다임 변화를 반영한 기존 고속철도의 한계를 극복할 수 있는 초고속, 친환경적인 미래형 혁신 교통기술에 대한 내용을 정부계획에서 제시**
- (제5차 국토종합계획) 전략 5 ‘인프라의 효율적 운영과 국토 지능화’에서는 미래형 혁신 교통체계 구축을 위해 하이퍼루프 등 새로운 개념의 교통시설 구축 준비를 제시
 - (국가기간교통망계획) 국가통합교통체계효율화법 제4조에 의거, 교통 네트워크의 효율적인 구축방향을 제시하는 ‘국가기간교통망계획’에서는 ‘저탄소 녹색성장형 교통체계 구축’을 기본 방향으로 제시
 - ‘15년 기준 ‘제1차 국가기간교통망계획’의 성과는 ‘저탄소 녹색성장 및 에너지 절감형 교통 체계’ 기조에 따라 도로위주 정책에서 철도로 패러다임의 변화 야기
 - KTX 및 고속도로 등 고속교통망의 확충이 이동성 개선에 기여하여 전국 반나절 생활권 형성에 이바지

〈표 2-11〉 국가기간 교통망계획 개요

구분	국가기간교통망계획 1999년 2월 수립 (2000년~2019년)	국가기간교통망 제1차수정 2007년 11월 수립 (2007년~2019년)	국가기간교통망제2차수정 2011년 12월 수립 (2011년~2020년)
계획수립 및 필요성	· 동북아 중심시대 대비 종합적, 체계적인 장기 교통시설의 확충계획 필요	· 국제무역변화 대응 및 국토 공간구조 변화를 반영한 계획 필요 - FTA, 행복, 혁신, 기업도시 등 - 양적, 질적 교통정책 병행 추진 필요	· 교통수단간 연계성 검토 필요 · 녹색교통, 인터모달리즘 등 여건 변화 반영한 새로운 계획 필요 - 부문별 계획과의 정합성, 일관성 제고 - 녹색 성장형 교통 SOC 투자방향 모색
주요 이슈	· 기존 확충사업의 완공과 지역 간 수송애로구간 해소 · 신공항, 신항만 등 국제 교통시설 확충으로 동북아	· 간선도로망의 지속 확충과 철도중심의 고속 간선교통망을 구축 · 동북아 교통물류시장	· 미래사회를 대비한 저탄소 녹색성장형 교통체계 구축 · 육·해·공 교통연계성 강화를 위한 인터모달리즘 구현

60) 기술이 세상을 바꾸는 순간, 미래창조과학부/한국과학기술기획평가원, 2017

61) 제3차 국가교통기술개발계획, 제2014-428호, 국토교통부 고시

62) 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획, 국토교통부/KAIA, 2018

구분	국가기간교통망계획 1999년 2월 수립 (2000년~2019년)	국가기간교통망 제1차수정 2007년 11월 수립 (2007년~2019년)	국가기간교통망제2차수정 2011년 12월 수립 (2011년~2020년)
	교통·물류중심의 기반조성 · 남북·동서교통축 확충과 미연결구간 연결	단일화를 단계적으로 추진	· 교통기본권 확보를 위한 선진국 수준의 교통서비스 제공

※ 출처 : 「국가기간교통망 구축 추진전략 연구」p.7, 2015.12, 한국교통연구원

○ (국가기간 교통망구축 추진전략) 미래 교통정책은 서로 다른 교통수단이 통합/연계되어 단절없는 교통서비스를 제공하는 복지교통 추구

- ‘국가기간교통망구축 추진전략(한국교통연구원,2015)’ 연구에서는 미래 교통부문의 여건변화를 다음과 같이 전망

- 저성장, 고령화, 저출산 등 인구 및 사회구조 변화에 영향을 받아 '30년을 정점으로 교통수요는 더 이상 증가하지 않을 것으로 예상
- 다양한 서비스의 제공을 요구하는 복지교통이 새로운 교통정책의 주를 이룰 것으로 예상되며, 이에 교통시설의 고급화와 더불어 교통서비스의 고급화가 진행
- 다양한 서비스의 제공을 요구하는 미래 교통수요에 따라 다양한 기능을 함께 수행하는 복합교통시설의 공급이 중요한 정책과제로 부상
- 도로, 철도, 항공 등 각 부문별 교통정책도 경쟁관계에서 보완관계로 전환이 예상되며, 따라서 교통수단간 통합(integration)과 연계(intermodal)는 더욱 중요해질 전망
- 친환경성 및 지속가능성 확보, 삶의 질 개선을 위한 핵심교통기술 개발로 혁신적 교통시스템 공급

- 이에 따라 이 연구에서는 6개 정책목표 17개 추진전략을 도출

〈표 2-12〉 『국가기간교통망구축 추진전략 연구』의 6대 정책목표에 따른 추진전략

정책목표	추진전략	시행방안
투자효과 극대화	수단 간 통합 및 연계	- 수단 간 환승편의 증진을 위한 복합환승센터 지속 확대 교통 결절점 및 허브 중심의 연계망 확충
	도시부 교통혼잡 해소	- 대중교통정보시스템 확대를 통한 대중교통 이용편의 증진 - 지속적인 교통시설의 구축을 통한 용량부족구간 우선 해소 - 세종시, 혁신도시 등 새로운 거점에 적기 투자를 통한 장래 혼잡비용 저감
	유지관리 강화 및 재생 활성화	- 노후 교통시설 유지보수 강화, 재생사업을 통한 수명 연장
교통안전성 강화	부문별 안전성 강화체계 마련	- 교통안전 성과지표 중심 교통시설 운영 정책 강화 교통안전 인프라 지속 확충
	선진 안전기술체계 구축	- 첨단기술을 이용한 교통사고 예방 및 피해 저감 위험물 수송 체계 혁신
	방재시스템 및 재난 발생 대응시스템 구축	- 재난 예측 및 방지·대응 교통시스템 구축 사후 수습체계 마련 - 교통시설에 대한 사이버 테러 대응 능력 강화

정책목표	추진전략	시행방안
교통복지 증진	교통서비스 수준 제고	- 이용편의 증진을 위한 스마트폰 앱 개발등 교통정보서비스 제공 강화 - 인구사회 구조변화에 대응하는 교통정책 수립
	대중교통 서비스 확대	- 다양한 대중교통시설 확충 - 대중교통운수업 서비스 개선
	수요 맞춤형 교통서비스 개발	- 수요응답형 교통수단의 개발
기후변화 대응	환경친화적 교통기술 구현	- 전기자동차, 수소연료전지 자동차 등 친환경 교통수단 지속 개발 - 환경친화적인 녹색물류체계 구축
	녹색 교통수단 활성화	- 보행자 전용지구 확충 및 자전거도로 지속 확충
	교통혼잡 대응 및 수요관리 강화	- 유연근무제, 카셰어링, 혼잡통행료 징수, 자동차통행 총량제 등 환경친화적 수요관리정책 강화
교통산업 선진화	교통산업 글로벌 진출	- 물류 정보화 및 국제 표준화 강화 공항, 항만시설의 지속적인 시설 투자
	C-ITS 기반 융복합 첨단 교통기술 개발	- 이동성 및 안전성 중심의 C-ITS 기술개발 및 적용 자율주행차량 등 신 교통기술 도입 대비
	PPP기반 교통시설개선을 통한 교통산업 활성화	- 교통수요에 부응하는 교통시설 구축을 통한 교통산업 활성화 - 교통시설 리모델링 산업 기반 구축
국제위상 강화	통일 대비 한반도 교통망 구축	- 한반도 5대 교통축을 중심으로 철도, 도로, 항공, 해운망 구축
	유라시아 교통물류시장 확대	- 유라시아 국제 운송로 구축 및 물류시장 진출

※ 출처 : C-ITS (Cooperative-Intelligent Transport Systems), PPP (Public Private Partnership), 한국교통연구원, 「국가기간교통망 구축 추진전략 연구」, 2015.12, pp.131~159

- 미래 교통정책의 성공요인으로 다음 2가지 측면을 제안

- 네트워크 측면 : 교통수단 간 연계(intermodal)를 넘어서 각 교통수단을 하나의 개념으로 통합(integration)하여 단절없는 교통망 구축
- 교통기술 측면 : 교통기술 R&D는 무인자동차 및 전기자동차, C-ITS 등의 첨단 융합기술을 중심으로 투자방향 전환

○ (첨단기술 기반 첨단교통수단 개발정책 선도) 첨단 IT기술 기반 자율주행차량 및 스마트 모빌리티 기반 공유경제 교통서비스 네트워크를 연계한 초연결 교통체계* 구축 선도

* hyper-connected transportation system

- 국토공간 구조 변화에 따라 광역권 간을 연결하는 고속 교통수단과, 광역권 내 도시 간을 연결하는 연계형 교통수단, 광역권 내 거점 도시와 최종 목적지까지를 연결하는 접근 교통수단의 통합 네트워크 구축이 필요
- 대중교통의 단점인 연계접속지점에서의 교통수단 간 환승시간 및 비용 증가 문제를 해결하기 위한 노력이 필요

□ 하이퍼루프 교통시스템 개발 관련 여러 연구가 진행되고 있으나 실용화/상용화 단계로 나아가기 위해서는 핵심 요소기술에 대한 더 많은 투자가 필요

- (한국철도기술연구원) '20년 실물 크기의 1/17인 모형캡슐 열차의 1,000km/h 실험실 시험주행 성공
- (울산과학기술원) '17년 10월 하이퍼튜브를 작은 스케일로 제작하여 진공튜브, 자기부상, 리니어 모터 등 주요원리에 의한 작동 구현
- 하이퍼튜브 관련 기술개발에 뒤처지지 않도록 지상 진공 튜브, 자기부상, 배터리, 태양전지판 등의 핵심 요소기술 개발에 대한 투자 필요

〈표 2-13〉 하이퍼튜브 기술개발 관련 국내 연구동향

연구과제	연구개발내용 및 결과
<ul style="list-style-type: none"> • 초고속 튜브철도 핵심기술연구 - 한국철도기술연구원 기관 고유사업 2009.1 ~ 2011.12 	<ul style="list-style-type: none"> • 초고속 튜브철도 핵심요소기술 기초연구 - 초고속 튜브철도 차량핵심기술 - 초고속 튜브철도 급전 및 신호 핵심기술 - 초고속 튜브철도 인프라 핵심기술 • 튜브철도 핵심요소 기반기술 확보 - 세계 최초 튜브 주행 실험 연구(1/52 축척, 최고속 700km, 0.2기압) - 초전도 부상시스템 기초연구 - 고강도 콘크리트 튜브 제작 및 통기성 시험
<ul style="list-style-type: none"> • 초고속 자기부상 핵심기술개발 - 국토교통부 국가 R&D 2013.12 ~ 2015.3 	<ul style="list-style-type: none"> • 550km/h 초고속 자기부상철도 핵심기술개발 - 초고속 자기부상 차량 핵심기술개발 - 초고속 추진 핵심기술개발 및 단거리 시험선 구축 • 차량 시제품 개발 및 단거리 시험선 구축 - 550km/h급 초고속 자기부상철도 시제품 개발 - 150m 단거리 시험선 구축 - 선형동기모터 추진시스템 개발 - 부상전자석 및 제어시스템 개발
<ul style="list-style-type: none"> • Uloop - 울산과학기술원 	<ul style="list-style-type: none"> • 축소 스케일 모델로 진공튜브, 부상 및 선형전동기 구동을 구현 - 진공튜브의 경우 0.001 기압 달성 - 시스템 단순화를 위해 연구자석을 이용한 부상 및 선형유도전동기(LIM) 사용
<ul style="list-style-type: none"> • 차세대 초고속 이동체계 기발 기술개발 - 한국건설기술연구원 기관고유사업 2016 ~ 2017 	<ul style="list-style-type: none"> • Hyperloop 인프라 및 에너지 기술 기초 연구 - 최적 노선 선정 및 허브 스테이션 연구 - 운송관(진공튜브) 재료 및 진공유지 기술 연구 - 터널기술(내진, 해저터널 등) 연구 - 스마트 에너지 적용 기술 연구
<ul style="list-style-type: none"> • 하이퍼튜브 핵심요소기술개발 - 국가과학기술연구회 BIG 사업 2016.1 ~ 2024.12(예정) 	<ul style="list-style-type: none"> • 하이퍼튜브 6개 핵심요소 기술개발 - 공력 통합설계 및 안전·운영 기술 - 냉동기 분리형 초전도 EDS 부상 기술 - 모듈러 기반 아음속 LSM 추진 기술 - 튜브 내 주행 안정화 기술 - 아진공 튜브 및 기밀유지 기술 - 아음속 캡슐 운행제어 기술

※ 출처 : 한국철도기술연구원 내부자료 정리

【중국】

□ **국영기관인 중국 우주과학공업그룹*에서 1,000km/h의 진공튜브 철도 개발에 대한 중장기 계획 발표**

* China Aerospace Science and Industry Corp, CASIC, 미사일, 레이더 등의 군수품을 생산하는 공기업

- 중국우주과학공업그룹에서 초음속 비행기술과 궤도 교통기술의 결합, 초전도 자기부상기술과 진공 터널을 응용한 최고속도 4000km의 차세대 교통수단 연구개발 착수를 발표⁶³⁾

63) 중국, 진공터널 시속 4000km 고속비행열차 연구개발 착수, The JoongAng, 2017.08

- 중국형 하이퍼튜브(T-Flight) 개발에 대한 3단계 사업 추진계획을 발표⁶⁴⁾
 - (1단계) '20년까지 후베이성 우한 지역 네트워크 (최고속도 1,000km/h), (2단계) '27년부터 상하이~청두~베이징 (최고속도 1,235km/h), (3단계) 전 세계 주요 도시 간 (최고속도 4,000km/h)의 추진 계획
 - (1단계) 시속 1000km로 후베이성의 우한과 양양(襄陽), 이창(宜昌) 등 주요 도시를 연결하는 실험적인 노선을 2023년까지 완성
 - (2단계) 2027년까지 베이징-상하이-우한-청두(成都)-광저우(廣州) 등 중국 주요 대도시를 시속 2000km로 한 시간 생활권을 실현
 - (3단계) 일대일로(육·해상 신 실크로드) 비행 열차 교통 네트워크 구축 계획

【일본】

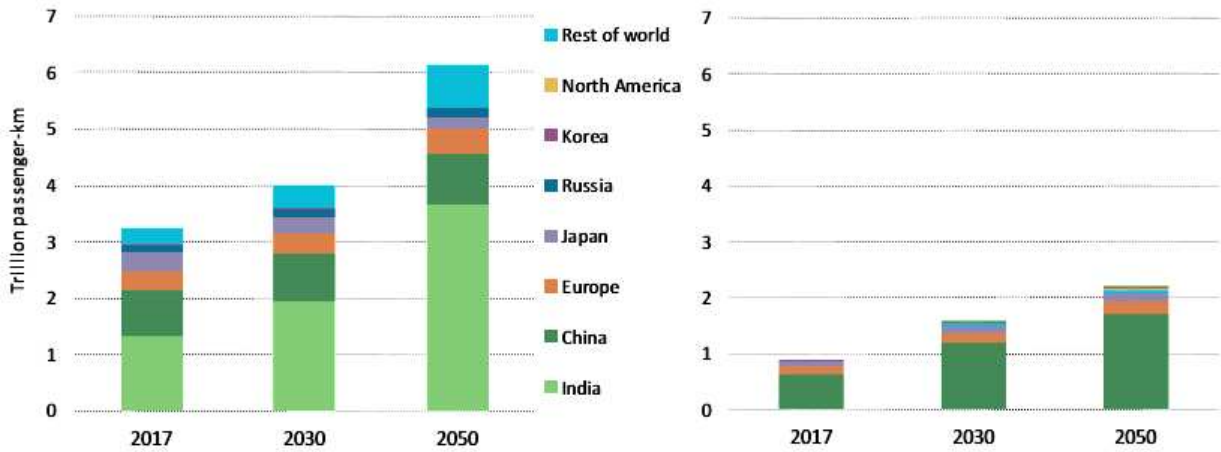
- 1970년대부터 국가적으로 초고속 자기부상열차 개발을 적극적으로 추진하여, 2027년 개통 목표로 「츄오 신칸센」 도쿄~나고야 구간을 500km/h급 초전도 자기부상열차 노선을 건설 중
- 「토카이도 신칸센(도쿄~오사카)」 포화에 따른 대체선로의 필요성 때문에, 1970년 「신칸센 철도정비법」 제4조에 따라 500km/h급 「츄오 신칸센(도쿄~나고야~오사카)」 계획을 수립
 - 「츄오 신칸센」은 초전도 자기부상열차 노선으로서, 관련 법령 및 소위원회 심의 결과를 통하여 구체적 추진방안을 확정
 - 1단계 도쿄~나고야(277km) 구간은 2027년 개통 목표로 건설 중이며, 오사카까지의 2단계 구간은 2037년 개통을 계획 중
 - 자기부상열차 개발 초기에는 RTRI(일본 철도총합연구소) 주도로 기술개발이 진행됐으며, 2005년부터 JR-East 주도로 실용화 개발이 진행

64) 『Chinese company fixes design of hyperloop traveling at 1,000km/h』, China Daily, Updated 2018.10.12.

3. 산업·시장적 환경 분석

□ 글로벌 철도수요는 지속적으로 증가하고 있으나, 우리나라의 고속철도 시장 점유율은 낮은 상황

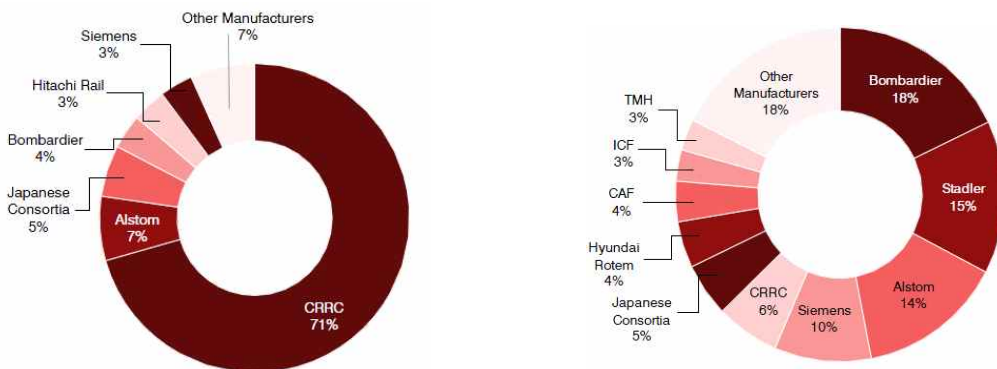
- 글로벌 철도수요는 약 4조 인·km이며, '30년에는 45%, '50년에는 2배 이상 증가하여 8조 인·km 이상일 것으로 예상
- 철도중심의 정책과 철도운영 효율성이 더해진다면 2050년 세계 철도수요는 '17년의 3배인 12.4조 인·km에 달할 것으로 예측



※ 출처 : UIC(2019) The future of rail: Opportunities for energy and the environment

[그림 2-4] 장래 글로벌 철도수요(인·km) 예측(Base scenario 기준) : 일반철도(좌) 및 고속철도(우)

- 해외 철도시장에서 한국의 점유율은 EMU 부문에서 4%에 불과
- SCI Verkehr GmbH(2018) 보고서에 따르면, 한국(현대로템)은 글로벌 철도시장에서 EMU 부문에서만 시장 점유율 4%를 확보하고 있을 뿐, 고속열차의 경우 수출이 전무한 상황



※ 출처 : SCI Verkehr GmbH(2018), Worldwide market for railway industries

[그림 2-6] 글로벌 철도 시장 점유율(2013년~2017년) : 고속열차 부문(좌) 및 EMU 부문(우)

□ 전 세계적으로 하이퍼튜브에 관심이 증가함에 따라 관련 기술시장도 급격하게 성장할 것으로 전망

○ 우리나라는 고속철도 기술개발 후발주자로, 초고속 이동수단인 하이퍼튜브 개발은 기술경쟁력이 시장 선점에 중요한 요소

- 하이퍼루프 글로벌 대회*(Hyperloop One Global Challenge: HOGC)에 전 세계 100여 개국에서 2,600여 개 노선이 제안

* 하이퍼루프 원 주관으로 전 세계를 대상으로 사업제안 공모를 시행



※ 출처 : <https://builtworlds.com/news/challenges-fuel-global-hyperloop-competitions/>

[그림 2-5] 하이퍼튜브 건설 노선 제안 지역

○ 하이퍼튜브 관련 기술시장은 캡슐, 가이드웨이, 추진시스템 및 완전한 운영체계를 구축하기 위한 경로 등의 운송시스템 기술이 포함되어 있으며, '21~'26년 동안 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 하이퍼튜브 관련 기술시장은 총 '21년 \$1,205 million(약 1조 4천억 원)에서 '26년 \$6,575 million(약 7조 7천억 원)으로 성장하여, 연평균 성장률⁶⁵⁾은 약 40.4%로 예상⁶⁶⁾

- 캡슐 시장은 '21년에 \$41 million(약 4백억 5천만 원)으로 평가되었으며, '26년에는 \$431 million(약 5천억 7천만 원)으로 연평균 성장률이 60.1%로 예상되며, 관련 기술 중 가장 높은 CAGR로 성장할 것으로 예상

- 가이드웨이 시장은 '21년에 \$560 million(약 6천억 2천만 원)으로 평가되었으며, '26년에는 \$2,587 million(약 3조 5백억 원)으로 연평균 성장률이 35.8%로 예상

65) CAGR : Compound Annual Growth Rate

66) MarketsandMarkets(2021)

〈표 2-14〉 하이퍼루프 관련 기술 시장규모 (\$million)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	2026	연평균 성장률 (2021~2026)
캡슐	41	114	176	235	323	431	60.1%
가이드웨이	560	1,261	1,632	1,862	2,214	2,587	35.8%
추진시스템	226	569	817	1,030	1,347	1,725	50.1%
경로	377	857	1,120	1,291	1,551	1,832	37.2%
총 합계	1,205	2,801	3,744	4,418	5,434	6,575	40.4%

※ 출처 : MarketsandMarkets(2021)

- 국가별 하이퍼루프 기술 시장규모는 '26년 북아메리카 연간 \$1,973 million(약 2조 3천억 원), 유럽 \$1,381 million(약 1조 6천억 원), 아시아 \$2,301 million(약 2조 7천억 원) 규모로 예상

〈표 2-15〉 국가별 하이퍼루프 기술 시장규모(\$million)

국가	2021	2022	2023	2024	2025	2026	연평균 성장률 (2021~2026)
북아메리카	279	692	984	1,231	1,599	1,973	47.9%
유럽	663	1,533	1,733	1,673	1,599	1,381	15.8%
아시아 (APAC)	96	375	704	1,069	1,609	2,301	88.6%
남아메리카/ 중동	167	201	323	446	627	921	40.7%
총계	1,205	2,801	3,744	4,418	5,434	6,575	40.4%

※ 출처 : MarketsandMarkets(2021)

□ **교통부문에 있어서 장거리 통행수요 증대와 과도한 승용차 의존도로 인해 막대한 사회적 비용이 발생하므로 지역 간 고속 대중교통수단이 필요**

- 지역 간 고속국도, 일반국도, 지방도로의 교통혼잡비용⁶⁷⁾은 '15년 기준 12조 567억 원으로 추정⁶⁸⁾
 - '15년 전국 교통혼잡비용은 33조 4천억 원으로 GDP 대비 2.16% 추정
 - GDP 대비 비율은 우리나라가 미국(0.83%)보다 높은 것으로 조사
- 2018년 도로부문 차종별 교통사고 승용차로 인한 교통사고는 14만5천건으로, 전체 사고건수의 약 68.8%이며 화물차는 2만7천여건으로 승용차에 이어 2번째로 높게 조사⁶⁹⁾
 - 화물차 관련 교통사고 사망자는 868명으로 전체 사망자수의 23%로 승용차 다음으로 높은 비중을 차지
- 도로부문의 온실가스 배출량은 약 9,4백만톤/km³(16년 기준)이며, 교통부문 전체 발생량의 95%를 차지⁷⁰⁾
 - 철도에서 발생한 온실가스 배출량은 0.3백만톤/km³(16년 기준)으로 가장 적은 비중(0.3%)을 차지

67) 교통혼잡비용은 도로상에서 발생하고 있는 교통 혼잡으로 인하여 추가적으로 발생하는 사회적 한계비용의 합으로서 차량운행비용과 시간가치비용을 포함함(한국교통연구원(2014), 2011, 2012년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석)

68) 한국교통연구원 보도자료(2014)

69) 2019년판 교통사고 통계분석, 도로교통공단(2019)

70) 국가 온실가스 배출 인벤토리 보고서, 온실가스종합정보센터(2018)

4. 사회적 환경 분석

□ 전 세계적으로 탄소저감을 위한 노력이 이뤄지고 있으며 탄소배출량이 가장 많은 항공기의 수요를 대체하기 위해 고속철도를 이용하는 움직임이 많아지고 있는 상황

○ 기후변화 심화 현상으로 온난화 등 이상기후로 인한 치명적인 피해가 예상

- 지구 온도가 2017년 기준 산업화 이전 대비 약 1℃ 상승, 해수면이 1993년-2015년간 3.4mm/년 상승, '79년이래 매 '10년마다 3.5-4.1%씩 북극 빙하 감소, CO2 농도는 1750년 278ppm에서 2018년 407ppm으로 상승⁷¹⁾

· 일본 동부지방은 39도 폭염 발생, 중국 남부지방은 평균 기온 40도를 넘어 최근 고온경보 발령, 인도는 50도, 쿠웨이트의 경우 54도로 관측 사상 가장 높은 기온을 연일 경신⁷²⁾

- 한반도는 약 100년간 기온 상승이 1.7도로 지구 평균보다 두 배 높으며 연 강수량은 최근 10년 동안 약 19% 정도 증가했으나 강우 횟수는 감소하여 집중호우로 수해와 가뭄 피해가 동시에 심화⁷³⁾

○ 기후 문제 심각성이 부각되면서 탄소 배출량이 많은 중·장거리 교통수단이 문제로 대두

- 교통수단별 1인당 온실가스 배출량을 비교한 결과 항공기가 가장 높았으며, 철도의 온실가스 배출량이 가장 낮게 기록

서울~부산 교통수단별 온실가스 배출량 (단위: kg, 이산화탄소 환산)

교통수단	항공	철도	버스	승용차 (휘발유)	승용차 (경유)	승용차 (하이브리드)
배출량	8000	5299	291	50	43	38
1인당 배출량	53.3 (150명 탑승 기준)	5.9 (900명 기준)	10 (28명 기준)	50 (승용차는 아반떼 동급 기준)	43	38

자료: 한국교통안전공단

※ 출처 : 세계일보 (2019.11.2)

[그림 2-7] 서울~부산 교통수단별 온실가스 배출량

- 교통수단별 탄소배출량을 비교한 결과 철도와 해운은 탄소배출량이 지속적으로 감소하고 있는 반면, 항공에서는 탄소배출량이 지속적으로 증가하고 있는 상황

71) 한눈에 보는 2019 유엔 기후행동 정상회의, 2019

72) 한눈에 보는 2019 유엔 기후행동 정상회의, 2019

73) '이상기후' 피해의 한가운데 들어선 한반도(시사저널, 2020.03)

〈표 2-18〉 교통수단 별 탄소배출량

(단위 : 백만톤, %)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
철도	0.88	0.94	0.97	0.81	0.56	0.34	0.30
항공	0.82	1.33	1.41	1.04	1.14	1.46	1.66
해운	2.44	3.63	2.75	2.78	2.27	1.64	1.41
합계	4.14	5.9	5.13	4.63	3.97	3.44	3.37

주 : 기타는 파이프라인 수송, 항공 및 항공 지상 운송수단, 비도로 수송 등에 의한 배출량

※ 출처 : 온실가스종합정보센터(2018)

- 세계 각국은 기후변화에 대응하고, 탄소배출을 저감을 위해 정책을 추진하며, 탄소배출의 문제를 줄이기 위해 노력 중
 - (미국) '21년 '청정에너지·인프라 계획' 추진을 통해 '50년까지 경제 전반에 걸쳐 탄소배출 '넷제로(net-zero)'를 달성할 계획⁷⁴⁾
 - 뉴욕시는 '50년까지 뉴욕시 온실가스 배출량을 '05 대비 80%까지 감축할 예정이며, 캘리포니아주에서는 '13년부터 온실가스 배출권 거래제(CTP)의 의무화 시행
 - (EU) EU 집행위원회(European Commission)는 '19년 12월 발표한 유럽 그린딜(European Green Deal)을 통해 '2050년까지 탄소중립*' 목표를 제시⁷⁵⁾
 - * '30년까지 탄소배출을 '90년 수준 대비 최소 55% 감축하는 것을 목표로 함께 제시
 - 강화된 배출권 거래제 시스템을 도입하여 '30년까지 산업단지 건설, 전력 생산 및 항공 분야에서 '05년 대비 탄소배출을 43% 감축
 - (일본) 정부는 '50년까지 온실가스 배출량 80% 저감을 목표로 하는 파리협정에 근거한 장기 전략인 '2050년 장기 저탄소 발전전략'을 발표⁷⁶⁾
 - (중국) '20년 9월 중국 정부는 '30년을 기점으로 탄소배출량을 감축하고 '60년까지 탄소배출 중립을 달성할 것이라고 발표하여 정부 차원에서 처음으로 탄소중립에 대한 목표 연도를 제시⁷⁷⁾
- 한국은 기후변화협약 및 교토의정서에 따라 '50년까지 1990년 대비 최소 50~80%의 온실가스 감축 목표 설정⁷⁸⁾
 - '30년 온실가스 감축 목표 : 2030년 배출 전망치(BAU:Business as usual) 850.8백만톤 → 536.0백만톤(314.8백만톤, BAU 대비 37% 감축)⁷⁹⁾
 - 배출전망치(BAU) 방식의 기존 목표를, 이행과정의 투명한 관리 및 신뢰성이 높은 절대량

74) 대외경제정책연구원(2021.2.4.), 국제사회의 탄소중립 정책 방향과 시사점

75) European Council, "The European Green Deal,"

76) 環境省·外務省 등(2019. 6), 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」

77) 第一财经(2020.11.3.), 人与自然“和谐共生”

“十四五”将明确这些路径, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682342923502148062&wfr=spider&for=pc>(검색일 : 2020.11.6).

78) 2050년 저탄소 경제비전

79) 환경부, 2030 온실가스 감축 로드맵 수정안 및 2018~2020년 배출권 할당계획확정, 2018

방식으로 전환하여 '17년 배출량 대비 24.4% 감축을 우리나라의 '30년 국가 온실가스 감축목표로 확정

- 전세계적으로 탄소중립 시대로의 전환에 따라 국내에서도 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상 동시 달성을 목표로 '2050 탄소중립 추진전략' 마련
 - 탄소중립 사회 실현을 위한 전략적 R&D 투자 확대
- 주요국 중 EU·영국 등에서는 중·장거리 교통수단에서 탄소중립을 위해 탄소 배출량이 가장 많은 항공 대신 철도를 이용을 유도하는 움직임이 일어나고 있는 상황
 - (유럽) 프랑스, 독일, 오스트리아, 스위스에서는 탄소배출을 억제하기 위해 파리, 베를린, 빈, 밀라노를 포함한 도시들 간 철도 교통을 증가시키는 야간열차 서비스인 'Trans-European Express 2.0 이니셔티브' 활성화 전략 발표
 - (프랑스) 2시간 30분 이내의 거리를 이동할 경우 국내선 항공 운항을 금지하는 '기후와 복원 법안'이 발의되어 하원에서 통과⁸⁰⁾
 - (오스트리아) 철도청(OBB)과 협력하여 빈 국제공항과 잘츠부르크 중앙역을 연결하는 기차 'AI레일'(AIRail)을 운영하는 서비스를 강화하여 탄소배출을 50% 감축할 전망⁸¹⁾
- 국내 고속철도는 항공기의 수요를 일부 대체하였으며, 초고속·친환경 이동수단이 개발될 경우 국내선 항공기의 수요는 더욱 감소할 수 있을 것으로 전망
 - 국내 고속철도 개통 이후 항공기 운항횟수는 급격한 감소 추세를 보였으며 특히, 김포-대구 노선은 KTX가 개통한 해인 '04년에는 79% 감소
 - 최근에는 김포-대구, 김포-포항 등 국내 항공 노선이 폐지되었으며, 호남고속철도가 개통된 후 김포-광주 노선의 경우, 하루 5편 운항하던 노선을 폐쇄⁸²⁾

〈표 2-19〉 고속철도 개통 전후 항공 수요 변화

구분		김포-대구	김포-김해	김포-광주	김포-목포
여객수 (인/년)	개통 전 (03.4.1~04.3.31)	1,401,319	5,176,949	1,177,082	69,538
	개통 후 (04.4.1~05.3.31)	298,017	3,274,995	847,511	26,916
전년 대비 증감(%)		▽79	▽37	▽28	▽61

※ 출처 : 한국공항공사, 항공통계 자료

□ 미래사회 인구구조의 변화로 국가경쟁력 및 생산성 문제가 야기될 것으로 예측

80) IMPACT ON(임팩트온) (2021.05.11.) 해외선 국내선 비행기 막고 야간열차 늘리는데, 국내선 무착륙비행 확대

81) 연합뉴스(2020.07.07.) 유럽 항공업계, 코로나19·기후변화에 철도로 눈길

82) 중앙일보(2016.02.22.) KTX에 밀려 하늘길 축소...김포~광주 운항 중단되나?

- (초고령사회 진입) 한국의 경우 '20년 65세 이상 고령인구가 15.7%로, 향후에도 계속 증가하여 '25년에는 20.3%에 이르러 초고령사회에 진입할 것으로 예측*
 - * 노인비중 7%이상 → 고령화사회, 14%이상 → 고령사회, 20%이상 → 초고령사회로 분류
- (유례없는 변화 속도) 한국의 인구구조 변화는 전 세계적으로 가장 빠른 속도
 - 미국, 영국의 경우 고령화사회 → 초고령사회 진입 기간이 약 100에 걸쳐 일어난 반면에 한국의 경우 '26년으로 단축 예상⁸³⁾
- (소규모 가구수 증가) '17년 기준 전체 가구 중 28.6%가 1인 가구로 1~2인 소규모 가구수는 증가하는 추세
- (생산가능인구 감소) 생산가능 인구(15~64세)의 비중은 '15년 72.9%를 기점으로 지속 감소 중이며, 생산인구 감소는 장기적으로 인력난을 초래하고 임금상승을 초래할 것으로 예상



※ 출처 : 통계청(2020), 2020 고령자통계

[그림 2-8] 고령인구 비중 추이

- 2065년에는 생산가능인구가 약 45% 정도 급감할 것으로 예측되며, 주 52시간 근무제의 시행으로 생산성 향상이 기업의 우선 해결 과제로 부상
 - 정부의 목표인 1인당 국민소득 4만불 달성을 위해서는 생산성 향상 혁신 대책이 필요한 시점
- 한국의 노동생산성은 상위 50% 국가에 비해 절반 수준으로 장시간 노동으로 낮은 생산성을 보완해왔으나 주 52시간제 도입, 생산인구감소로 OECD는 한국이 경제성장 둔화를 벗어나기 위해서는 생산성 향상 노력이 필요함을 지적⁸⁴⁾

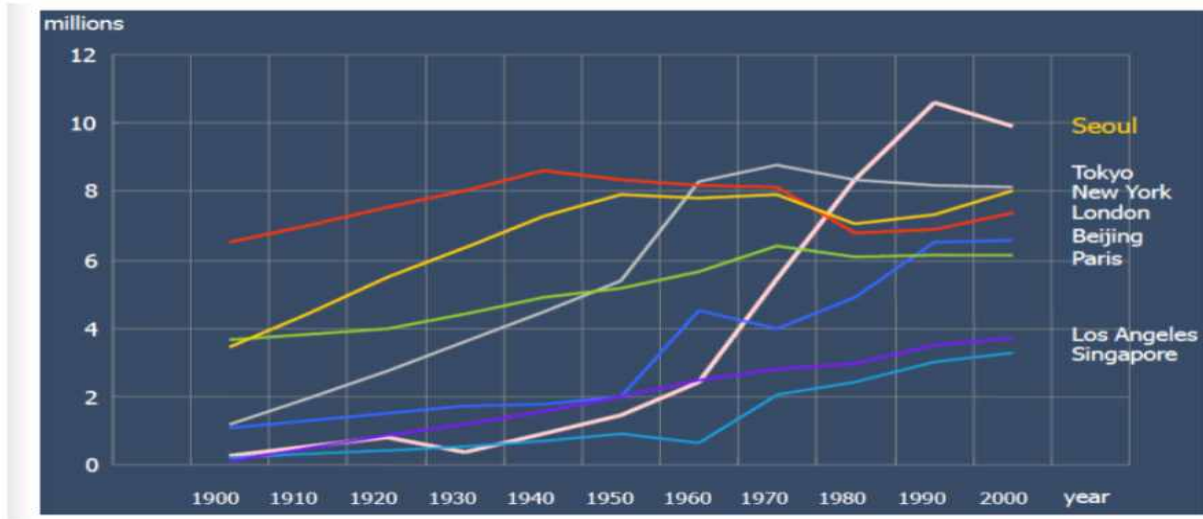
□ **메가시티화의 가속으로 도심지 교통기술 및 체계의 혁신이 일어나고 도시 간 통행패턴 변화로 소용량 다빈도 초고속 교통수단 필요성이 증대**

83) 한겨레신문, 고령사회 진입한 한국 일본보다 7년 빨라, 2018

84) OECD, 두달 만에 한국 성장률 2.6% → 2.4%로 또 낮춰, 조선비즈, 2019.05.21

한경연, 저성장 위기 한국경제, 노동생산성만이 해법, 파이낸셜뉴스, 2019.03.25

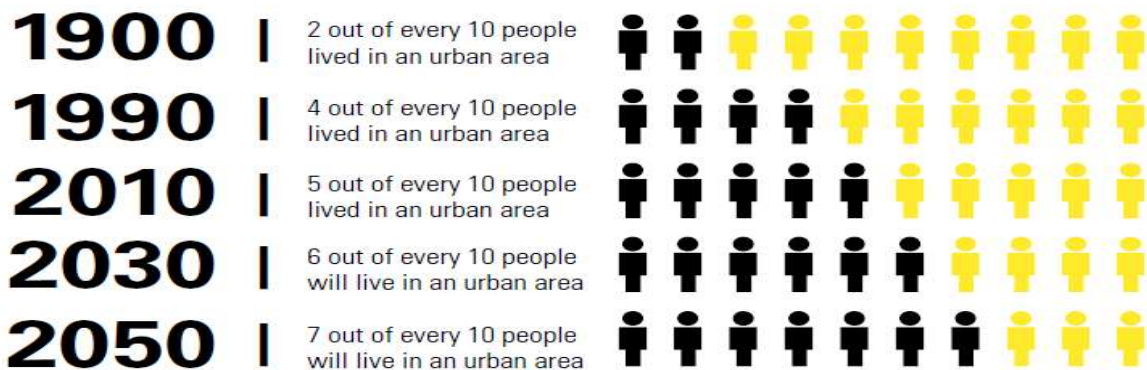
- 2050년에는 도시에 인구가 집중하여 비 도시권은 쇠퇴하고 전 인구의 70% 이상이 대도시권에 살게 되는 메가시티화가 될 것으로 예측
 - 메가시티 도시 이동 총수요는 2010년 대비 2050년 160% 증가될 것으로 예측



※ 출처 : 서울시정책아카이브, 메가시티가 지속가능할 수 있는가?, 2017

[그림 2-9] 세계 도시인구의 변화추세

Urbanisation



Source: <http://catalystreview.net/>

※ 출처 : (Colin Stewart, Future of Rail 2050, 2015)

[그림 2-10] 도시인구 집중화 예측

- 공유교통체계, 교통체증해소 및 통행시간 단축으로 도시 내 대중교통 수요가 증가되며, 삶의 질 추구하고 통행시간가치 증대로 이에 따라 도시 간 초고속 이동수요도 증가될 것으로 예측⁸⁵⁾
- 생산가능인구 감소 및 통행시간가치 증대로 항공기 총 통행시간을 상회하는 새로운 계층의 도시 간 소용량 다빈도 초고속 교통수단 수요가 발생

85) Arthur D. Little 예측자료의 LG경제연구원 재인용, 2014

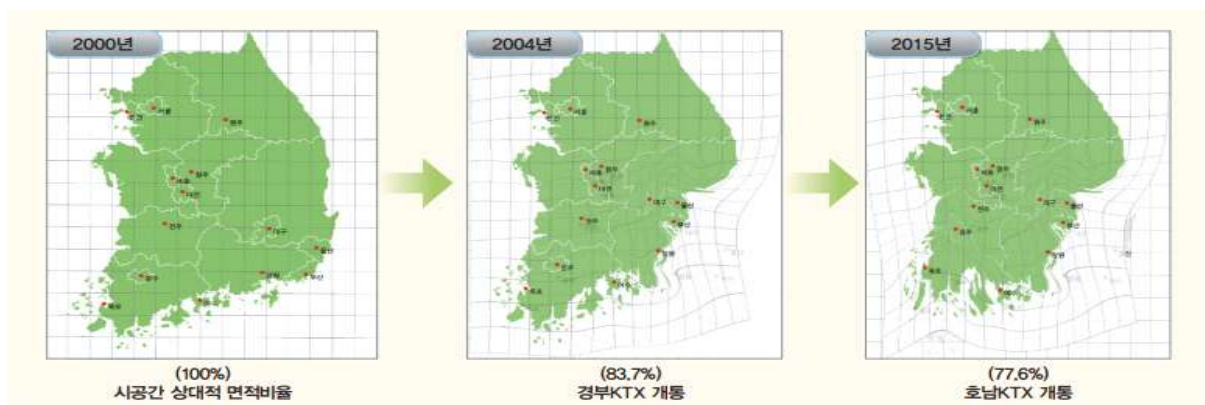
주요 요인	교통수요 영향
 인구구조 종인구 감소, 1·2인 가구 증가, 고령화	교통수요 총량 감소, 통행목적 및 통행수단의 변화
 신교통물류기술 자율주행차 상용화 하이퍼루프 등장, 스마트 모빌리티 실용화	교통수단의 다양화, 고속화, 무인화
 국토이용구조 수도권 및 광역권 위주의 분산적 집중형 구조	광역권 간 연계 고속형 교통수단 이용증가
 온실가스 감축 화석연료형 수송에너지 과세 정책	차량운영비 증가, 대중교통우대 정책
 경제성장 경제성장 저성장기조 우세	여가 및 관광수요 증가, 고속형 교통수단 선호
 차량공동이용 자동차등록대수 감소	승용차통행 감소, 대중교통·보행·자전거 통행수요 증가

※ 출처 : 우리나라 미래 교통수요의 변화 (Brief KOTI, 2017)

[그림 2-11] 도시 간 통행패턴의 변화

□ 중장거리 교통기술이 발달하면서 지역 간 중장거리 이동수요에 대한 요구도 지속적으로 증가하고 있는 상황

- 중·장거리를 고속으로 주행하는 이동수단의 도입은 국토의 압축효과를 발생시키며, 이는 국민의 교통 편의성 향상에 기여하는 매우 중요한 요소로 작용
 - '04년 이후 고속철도 KTX가 도입되면서 통행시간이 감소하였으며, 국토공간의 압축효과를 분석한 결과, 국토면적의 22.4%인 2만 천km²의 압축적 이용이 가능
 - 경부KTX가 16.3%(1만 6천km²), 호남KTX는 6.1%(6천km²)로 통행시간을 1분 단축할 때마다 광화문 면적의 1.7배인 국토면적 2만 2천m²의 압축적 이용이 가능



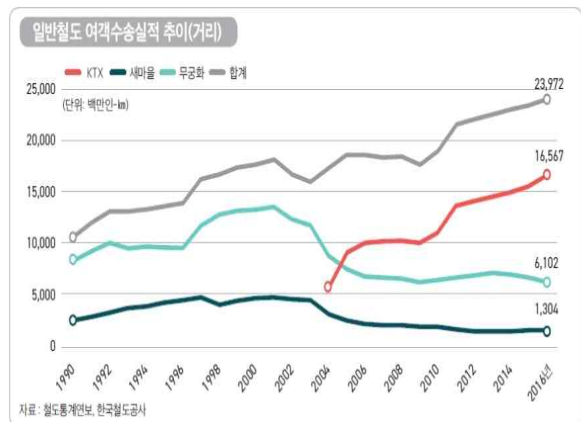
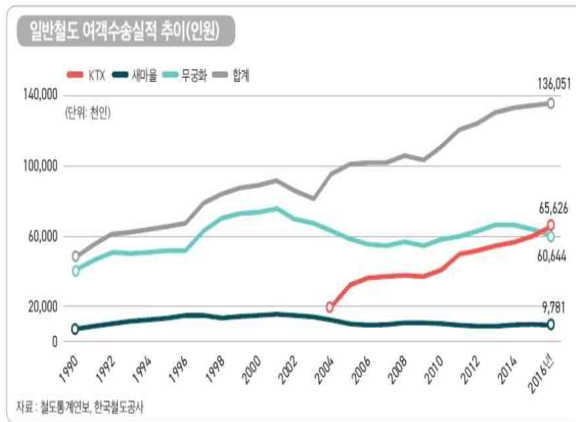
※ 출처 : 국토정책 Brief(2017), 플로우 빅데이터로 바라본 호남KTX 개통 후 변화

[그림 2-12] KTX 개통에 따른 국토공간 압축효과

- 국내 철도의 경우, 고속철도를 개통한 '04년 이후 철도 수송인원이 지속적으로 증가하였으며, '19년 약 9천만 명으로 '11년 약 5천만 명 대비 약 80% 증가⁸⁶⁾

86) e-나라지표, 한국철도공사 및 (주)SR에서 제공하는 「KTX, SRT 여객 수송 통계」

- KTX 개통 이후 새마을, 무궁화호 여객수송실적의 연평균 증가율은 각각 -1.9%, -0.4%인 반면 KTX는 연평균 증가율 9.6% 기록



※ 출처 : 한국교통연구원(2018), 고속철도 개통과 여객수송의 발전

[그림 2-13] 철도 수송실적 추이

□ 삶의 질의 향상을 추구하고 있어 이동수단 선택 시 비용보다 이용의 편리성, 통행시간 절감 등 시간의 가치를 중요시하고 있는 상황

- 중·장거리 이동수단 중 항공의 기상악화, 철도의 탈선 사고 등으로 인해 운행의 지연, 결항 등 불편사항 발생
 - 승객들의 탑승 대기시간이 길어지며, 운행이 불가할 시 다른 대중교통을 이용해야 하는 상황

폭설·한파에 제주 하늘길 마비...사실상 전면 결항 2만명 '고립'(종합)

8일 제주공항 항공편 5편만 출발
 (제주=뉴스1) 홍수영 기자 | 2021-01-08 16:51 송고 | 2021-01-08 16:56 최종수정



8일 오전 금번항공운대실특보가 발효 중인 제주국제공항 계류장에 항공기들이 정박해 있다. 제주지방기상청에 따르면 이날 오전 7시30분 현재 제주도 산지에는 영하권으로 제주도 산지중부지역에는 대설경보, 제주도 서부남부지역에는 대설주의보가 발효 중이다.2021.1.8/뉴스1 © News1 오렌지 기자

8일 기상악화로 대설특보 등이 발효된 제주국제공항을 오가는 항공편이 5편을 제외하고 모두 결항했다.

※ 출처 : News1(2021.01.08.)폭설·한파에 제주 하늘길 마비...사실상 전면 결항 2만명 '고립'

서울역 탈선 사고 여파 열차 운행 지연...코레일 "다른 교통수단 이용"

반기문 기자
 2021.07.03 09:49 입력 ~



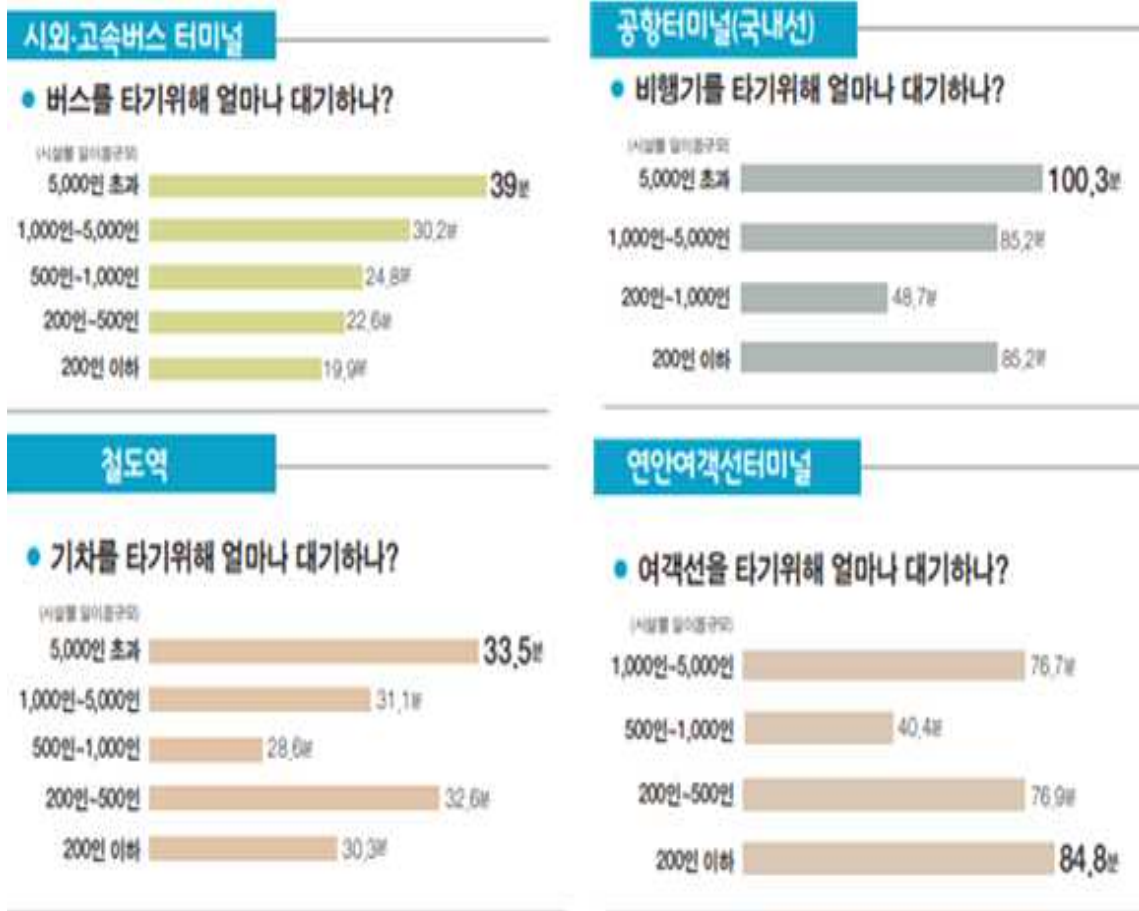
서울역에서 출발하는 열차에 승객들이 운행을 기다리고 있다.반기문 기자

서울역 무궁화호 발전차 궤도이탈 사고 여파로 모든 열차의 출발이 1시간30분가량 지연되고 있다. 주말 열차를 이용하는 승객들의 불편이 예상된다.

※ 출처 : 경향신문 (2021.07.03.) 서울역 탈선 사고 여파 열차 운행 지연... 코레일 "다른 교통수단 이용"

[그림 2-14] 대중교통의 지연 발생 사례

- 기존 교통수단별 승객의 탑승 대기시간을 비교한 결과, 철도가 평균 39분으로 대기시간이 가장 짧았으며, 항공기가 평균 100분으로 가장 긴 대기시간이 소요



※ 출처: 여객통행실태, 한국교통연구원, 2018

[그림 2-15] 교통수단별 탑승 대기시간 비교

- 높아지는 시간가치에 대응하기 위해 고속철도와 같은 이용의 편리성·정시성을 확보하면서 항공기보다 빠른 교통수단 요구
 - 800km 이상, 4시간 이상 소요되는 목적지로 이동할 경우 고속철도의 시간가치는 떨어지며, 항공기의 경우 이동시간 외에 소요되는 시간(대기시간 등)이 많은 상황⁸⁷⁾
 - KTX의 운행속도는 320km/h로 이미 세계적 수준에 도달했으며, 정차역 등을 고려할 때 선로개량을 하더라도 추가적인 시간단축에는 한계
 - KTX 경부선의 경우 '10년 정치권과 지역의 요구로 신경주역과 울산역이 생기면서 서울~부산의 운행시간이 35분 가량 증가하는 문제 발생⁸⁸⁾

87) 레일뉴스(2015.12) 고속철도vs항공기 4시간의 벽에 대하여

88) 매일경제('19.10), 新역사·정차요구 봇물... "KTX, 완행철될라"

□ 과거 이동수단은 주로 경제활동을 위한 목적으로 사용되었으나 이제는 삶의 가치 증진을 목적으로 개인 맞춤형 공유수단으로 전환되고 있는 상황

- 과거 교통수단의 역할은 단순히 경제활동을 위해 저렴한 비용으로 원하는 장소로 이동하는 것만을 강조하였으나 교통의 시대별 기능 및 서비스는 복지교통 개념의 방향으로 발전 중
 - 1960년대~1980년대 : 교통은 경제발전의 지원역할
 - 1990년대~2000년대 : 도시화에 따른 국가균형발전과 개인의 경제활동 지원 역할
 - 2010년대 : 통행자의 요구수준이 높아지고 교통서비스의 고급화 시작
 - 2020년대 이후 : 고령화 및 지방도시의 인구감소로 인한 인구구조 변화가 시작되고 교통복지, 즉 여성, 노인, 장애인에 대한 복지 및 사회적 참여가 더욱 확대되고 교통약자의 이동권 보장이 중요해질 전망



※ 출처 : 교통산업이 국민경제에 미치는 영향 (한국교통연구원, 2015), 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립 (한국교통연구원, 2019) 재인용

[그림 2-16] 교통의 시대별 기능 및 서비스 변화

- 한국의 미래사회는 삶의 질을 중시하여 성장과 행복추구가 공존하는 시대가 될 것으로 예측⁸⁹⁾
 - 소득의 증가, 가족형태 변화, 근로시간 단축, 삶의 질 향상 등으로 인해 미래 교통수단은 저렴하면서도 양질의 쾌적한 교통서비스를 원하고, 개인 맞춤형 고급 이동 서비스를 요구하는 시대가 될 것으로 예상
 - 교통수단 이용 시 통행으로 인한 혼잡과 통행서비스가 중요한 이슈로 부각
 - 교통안전에 대한 인식 증대로 안전한 통행권 요구 증대 예상
- 미래시대의 변화에 따른 이동수단과 교통시스템의 변화와 교통수단간 연계, 사용자 니즈에 맞는 다양한 교통수단의 제공으로 복지교통 실현이 예측

89) 미래창조과학부 미래준비위원회(2016), 미래전략보고서 「10년 후 대한민국 이제는 삶의 질이다」

- 세계적 미래학자 제러미 리프킨은 2050년 협력적 공유사회라는 새로운 경제시스템이 자본주의를 대체할 것으로 예측⁹⁰⁾
- 기존 개인소유를 통한 경제체제에서 공유 경제체제로 변화되어 자가소유 자동차는 감소하고 공유교통체계가 활성화될 것으로 예측
- 미래변화 트렌드의 교통통행변화 동인으로 인해 대중교통분담율이 30%에서 42%까지 자연 증가 될 것으로 분석되며 강력한 교통정책 시행 시 더 급격히 증가할 것으로 예측⁹¹⁾
 - (공유성) 공유기반 교통시스템이 등장하여 이용자에게 최적의 모빌리티 서비스를 제공할 것으로 예측
 - (연계성) 언제, 어디서, 누구나 원하는 목적지에 편리하게 이동가능한 대중교통 및 모든 이동수단이 연계되어 하나의 교통수단을 이용하는 것과 같은 통합교통 구현
 - (다양성) 자율주행차 및 하이퍼루프 등 다양한 고급교통수단 및 초고속 교통수단이 도입되면서 이용자 눈높이에 맞는 다양화·고급화 교통서비스 제공



※ 출처 : 국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구 (국토교통부, 2016)

[그림 2-17] 막힘없는 교통 배리어 프리

□ **산업혁명은 신산업 등장**의 동력으로 작용하여 4차 산업혁명 도래로 인한 미래 신 교통수단의 출현이 예상

- 1차 산업혁명은 증기·가솔린 자동차, 증기기관차, 동력비행기 등 이전 시기에 없던 새로운 교통수단이 등장하여 자동차·철도·항공기 산업 등 신(新)산업을 등장
 - 1차 산업혁명으로 등장한 신산업은 20세기를 대표하는 주류산업으로 발전했으며 교통기술이 교통 분야의 혁신과 산업구조 변화 및 신산업 발전에 중요한 역할을 담당⁹²⁾
 - 1세대 교통수단인 선박은 대량 수송은 가능하나 속도가 매우 느리고 선박사고에 따른 환경문제를 야기
 - 2세대 교통인 기차는 1차 산업혁명을 촉발시켰으며, 대량 수송이 가능한 장점이 있으나,

90) 미래창조과학부 미래준비위원회, 미래전략보고서, 2016

91) 한국교통연구원, 미래교통수요의 변화예측, 2016

92) 국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구(국토교통부, 2016), 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립 (한국교통연구원, 2019) 재인용, 신(新) 교통기술의 도입, 미래도시는 어떤 모습일까(도시미래신문, 2017)

가·감속 성능의 한계와 탄력적 운행의 어려움이 존재

- 3세대 교통은 자동차로서 door-to-door의 편리성이 있으나 교통혼잡과 환경문제 야기
- 4세대 교통인 항공기는 고속이동의 장점이 있는 반면, 접근성이 부족하고 수속시간 및 이착륙 시간의 과다, 날씨에 따른 영향에 민감

○ 제4차 산업혁명은 다양한 교통수단의 등장을 촉진하는 계기가 되어 미래형 혁신 교통시장이 활성화될 것으로 전망

- 4차 산업혁명시대에는 기술혁신으로 신 교통수단이 함께 등장하여 1차 산업혁명때와 같이 신 교통기술들이 21세기 주류산업으로 성장할 가능성이 큰 것으로 예측

[자율주행자동차⁹³⁾ 운행]

- V2X 네트워크(5G, LTE, WAVE 등) 연결을 기반으로 인공지능 SW가 구현되고 환경센서 정보를 이용하여 위치와 주변 환경을 탐지하는 ICT 모빌리티 제공
- 자율주행 자동차 간, 인프라와 자율주행 자동차 간의 커뮤니케이션을 통해 운행
- 센싱, 컴퓨팅, 네트워킹, 커뮤니케이션, 포지셔닝, 맵핑 등 다양한 영역에서 ICT와 융합

[첨단 ICT 기술을 활용한 교통서비스 발전]

- 빅데이터를 활용한 교통분석 기술의 발달과 빅데이터 운영 및 관리를 통한 자동차 ICT-융합기술의 활성화 예상
- ICT 기술의 발전으로 실시간 교통정보 기반의 내비게이션 앱을 이용하여 최소 비용, 최소 시간의 경로나 교통사고와 혼잡 정보를 이행한 주행 시간 최소화 가능
- 운행 안전도 향상 및 이용자 맞춤형 정보서비스 제공 및 데이터 기반의 공유교통 서비스 확대

[공유기반 교통시스템의 대두]

- 인터넷을 기반으로 이용자에게 최적의 모빌리티 서비스를 제공하는 교통자원의 통합적 운영시스템으로 클라우드 교통시스템 등장
- 모든 교통자원을 네트워크로 연계시켜 통합 운영하여 가용 자원을 적재적소에 최적 배치가 가능하고 자원 이용효율의 최적화 가능
- 이용자는 클라우드 교통시스템에 등록된 차량을 편하게 이용할 수 있어 승용차 보유와 유지비용 절감이 가능하고, 민간은 개인의 승용차를 클라우드 교통시스템에 제공하여 수익 창출이 가능

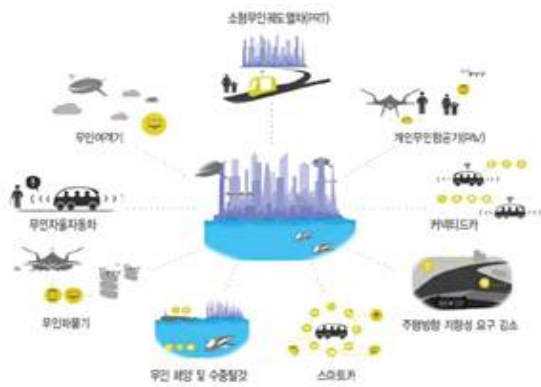
93) 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립, 한국교통연구원, 2019

[신 교통수단 개발]

- 교통수단의 고속화 : 하이퍼루프와 같이 기존 철도 속도의 한계를 가져오는 주행저항*을 극복하는 기술개발이 예상

* 바퀴차륜과 레일 간의 접촉에 의한 마찰력과 공기에 의한 저항력

- IoT, 자율주행기술, 지능제어기술, 초고속 통신기술 등의 융합기술이 요구
- 전기자동차, 수소전기 자동차와 같은 친환경 자동차 및 전기자전거, 전동휠, 전동킥보드와 같은 개인교통 수단의 보급이 활성화



[그림 2-18] 무인자율이동 수단의 미래상



[그림 2-19] 4차 산업혁명 운송수단

※ 출처 : 국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구(국토교통부, 2016), 미래 교통수요 변화 대응 교통 SOC 추진전략 수립 (한국교통연구원, 2019) 재인용, 신(新) 교통기술의 도입, 미래도시는 어떤 모습일까(도시미래신문, 2017)

□ 중단거리 이동수단에서부터 대중용·중장거리까지의 다양한 모빌리티가 출현·실현되고 있는 상황

○ 플라잉카(드론택시)

- 플라잉카는 합의된 정의가 아직 없으나 통상 ‘도로를 달릴 수 있고 하늘을 날 수 있는 자동차’를 의미하며 NASA는 도로를 시속 240~320km로 주행하고, 1300km 이상 공중 비행하는 5인승 이하의 자동차로 정의⁹⁴⁾
- 자동차의 기능과 비행기의 기능을 합쳐 놓은 미래형 중장거리 개인용 교통수단으로서 자율주행이 가능한 자가용 개인항공기(PAV)로 주목
- 미국의 항공기 제조업체 Terrafugia가 구상한 TF-X는 자동차와 비행기의 기능을 합쳐 놓은 미래형 2인승 플라잉 카로 '18년 시험주행을 실시하고 '25년 상용화를 목표
- '17년 UAE 두바이시에서는 독일 e-블로사의 블로콥터(Volocopter)를 이용한 무인자율주행 항공기 시범운영에 성공

94) 하늘을 나는 자동차, '플라잉 카'가 온대!(산업통상자원부 블로그, 2017,06)



※ 출처 : 미래형 자율비행 개인항공기 교통수요 예측 및 교통부문 적용방안 연구 (한국교통연구원, 2017)

[그림 2-20] Uber Elevate의 수직이착륙 개념

○ 자율주행차량

- 자율주행차량은 운전자가 직접 조작하지 않아도 자동차가 주행환경을 인식해 위험을 판단하고 주행경로를 계획해 스스로 운전하는 자동차⁹⁵⁾를 의미
- ICT 기반 자동주행 기술(자차의 위치와 주변 환경을 탐지하고 주행 경로를 계획하여 자동차 스스로 충돌 없이 교통법규에 따라 안전하게 운행)이 탑재되어 무인운전이 가능한 차량
- 미국의 우버(Uber)사는 '16년 최초로 자율주행택시 시범운영을 시작했고, 우리나라는 자율주행자동차 실증사업을 판교에서 시행
- 미국에서는 '23년에, 국내에서는 '28년에 사회적으로 확산될 것으로 예측되고, 실제 공공도로에서 상용화(자율주행 5단계)되는 것은 '40년 이후로 전망

○ 자기부상열차

- 자기부상열차는 전기로 발생 된 자기력으로 레일에서 낮은 높이로 부상해서 바퀴를 사용하지 않고 직접 차량을 추진시켜 달리는 열차⁹⁶⁾를 의미
- 바퀴 없이 자석의 흡인제어식 또는 유도반발식으로 레일로부터 부상하여 주행하는 자기부상열차(Maglev)는 바퀴식 차량의 단점을 극복
- 저소음, 저진동 및 차량과 선로 유지보수 비용이 낮고 친환경적 및 경제적인 철도시스템으로 수요가 늘 것으로 기대
- 세계 각국에서 자기부상열차의 개발과 실용화가 진행중
- 독일은 1960년 후반부터 500km/h 자기부상열차 Transrapid를 최초로 개발
 - 중국은 Transrapid를 기반으로 430km/h급 초고속 자기부상철도를 '04년 상하이에 실용화
 - 일본은 '05년에 도시형 Linimo를 실용화하였고 2025년 개통을 목표로 중장거리용 500km/h급 추오신칸센을 건설 중
 - 국내에는 2016년 인천공항 자기부상열차 시범노선이 개통되어 현재 복선 6.1km 구간에서

95) 자율주행차, 어디까지 알고 있니?, 이슈&NDSL, (<http://www.ndsl.kr/ndsl/issueNdsl/detail.do?techSq=77>)

96) 위키백과, '자기부상열차' (검색일 2020,0)

최고 속도 110km/h, 완전 무인운전으로 운행 중

○ 초음속비행기

- 초음속비행기는 초음속영역인 마하수 1.2 이상의 속도영역에서 비행하는 항공기⁹⁷⁾를 의미
- 1976년 운항을 시작한 초음속여객기 콩코드는 운행 시 발생하는 소닉 붐 문제와 연료소비 비효율성 문제로 인해 '03년 현재 운행을 종료한 상태
- 최근 일본, 미국 등에서 소닉 붐 현상을 최소화시키고 연료효율성을 높이는 연구가 진행 중으로, 미국의 Aerion사와 Airbus가 공동으로 설계한 Aerion AS2는 '19년 시험비행을 거쳐 2023년에 서비스 시작 예정
- 일본은 현재 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)에서 D-SEND 프로젝트를 진행 중이며 이후 소형 초음속여객기 개발에 착수하여 '40년 시장투입을 목표로 연구 진행 중
- 향후 장거리 대량수송 항공교통수단으로의 활용이 기대되나 연료소비효율 관련 문제를 해결해야 상용화될 것으로 예상

○ 하이퍼루프

- 하이퍼튜브는 자기부상열차가 진공에 가까운 튜브 터널 안에서 공기저항 없이 시속 1,000km로 달리는 미래 교통수단⁹⁸⁾
- 시간-공간 제약을 극복할 수 있는 거점 간 초고속 육상 이동수단인 하이퍼루프가 중장거리 미래 육상 교통수단으로 등장
- '13년 Elon Musk*가 하이퍼루프 기술을 공개**함에 따라 기존 이동수단의 한계를 극복할 수 있는 차세대 이동수단으로 관심이 집중⁹⁹⁾
 - * 일론 머스크(Space X, Tesla Motor CEO)
 - ** 하이퍼루프가 중장거리의 교통량이 많은 도시 간 최적화 되었으며, 기존 이동수단의 한계를 극복할 수 있는 이동수단이 될 것으로 전망
- 과기정통과학부는 미래세상을 만들어가는 24개 혁신기술 중 하나로 초고속튜브트레인을 제시하고, 미국 '28년, 국내 '33년 상업운행이 가능할 것으로 예측¹⁰⁰⁾
 - 최고시속 1,200km의 하이퍼루프(Hyperloop)는 1,500km 이내의 중거리 도시 간 이동에 최적화된 초고속 운송수단

97) 제트엔진 개발이 가져온 초음속 항공기의 등장 (사이언스올,2010,06)

98) 하이퍼튜브,KRRI한국철도기술연구원, (YouTube,2018,

99) Elon Musk. (2013.08.12.). Hyperloop Alpha

100) 기술이 세상을 바꾸는 순간, 미래창조과학부 한국과학기술기획평가원, 2017

101) 하늘을 나는 자동차, '플라이잉 카'가 온다! (산업통상자원부 블로그,2017,06)

102) 자율주행차, 어디까지 알고 있니?, 이슈&NDSL, (<http://www.ndsl.kr/ndsl/issueNdsl/detail.do?techSq=77>)

103) 위키백과, '자기부상열차' (검색일 2020.03)

〈표 2-20〉 다양한 미래 이동수단의 활용 전망 비교

미래 이동수단		개념 및 종류	이동수단의 활용 전망 및 한계
플라잉 카		<ul style="list-style-type: none"> - 합의된 정의가 아직 없으나 통상 '도로를 달릴 수 있고 하늘을 날 수 있는 자동차'를 의미 - NASA는 '도로를 시속 240~320km로 주행하고, 1300km 이상 공중 비행하는 5인승 이하의 자동차로 정의¹⁰¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 자율주행이 가능한 중장거리 자가용 개인항공기(PAV)로 주목 - 기술 개발이 이루어질 경우 적정 속력(320km/h)과 이동 범위(800km)를 가지고 있어 고소득층의 도시 간 이동수단으로 발전 가능
자율주행차량		<ul style="list-style-type: none"> - 운전자가 직접 조작하지 않아도 자동차가 주행환경을 인식해 위험을 판단하고 주행경로를 계획해 스스로 운전하는 자동차¹⁰²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 저소음, 저진동 및 차량과 선로 유지보수 비용이 낮고 친환경적 및 경제적인 철도시스템으로 수요가 늘 것으로 기대 - 차세대 승용차로 자율화 4단계의 안전성 확보 - 책임 등 자율주행차에 대한 법규/규제 마련이 필요
자기부상열차		<ul style="list-style-type: none"> - 전기로 발생된 자기력으로 레일에서 낮은 높이로 부상해서 바퀴를 사용하지 않고 직접 차량을 추진시켜 달리는 열차¹⁰³⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 한국, 중국 및 일본에서 운영되고 있으나, 단거리 노선에 국한 - KTX 내구성(2030년대)을 고려할 때, 보다 더 높은 속도영역의 철도를 설치하는 것이 바람직하며, 도입에 따른 경제성 검증이 필요
초음속비행기		<ul style="list-style-type: none"> - 초음속영역인 마하수 1.2이상의 속도영역에서 비행하는 항공기¹⁰⁴⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 향후 장거리 대량수송 항공교통수단으로의 활용이 기대되나 연료소비효율 관련 문제 해결 시 상용화 가능 예상 - 기술개발 성공 시 국가 간 이동 교통수단으로 활용가능하나, 이동거리가 짧은 한국 내에서는 비효율적
하이퍼튜브		<ul style="list-style-type: none"> - 하이퍼튜브는 자기부상열차가 진공에 가까운 튜브 터널 안에서 공기저항 없이 시속 1,000km로 달리는 미래 교통수단¹⁰⁵⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - 시간-공간 제약을 극복할 수 있는 거점 간 초고속 육상 이동수단인 하이퍼루프가 중장거리 미래 육상 교통수단으로 등장 - 기술 개발이 이루어질 경우 국가 간 이동 및 초고속 중·장거리 교통수단으로 활용 가능 - 기존 KTX에 비해 운송비/건설비가 저렴할 것으로 예상

104) 제트엔진 개발이 가져온 초음속 항공기의 등장 (사이언스올, 2010.06)

105) 하이퍼튜브, KRR이한국철도기술연구원, (YouTube, 2018.03)

5. 기술적 환경 분석

□ 초고속 추진 및 부상시스템 분야

【 국내 】

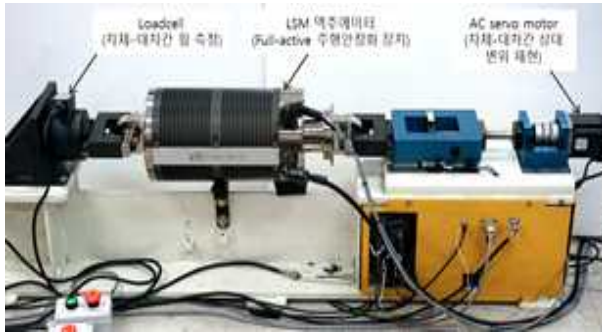
- 초고속 철도 적용을 위한 선형 동기 모터 추진 기술은 국내 정부 출연기관의 사업, 국토부 국가 R&D사업 등을 통해 설계기술은 확보되었으나, 시스템 구현에 필요한 부품·소재 기술은 미흡
 - 고온초전도선 업체인 (주)서남은 '16년에는 2세대 고온초전도 선재를 사용하여 26.4 T급 초전도 전자석 코일개발에 성공
 - 한국철도기술연구원은 '19년에 아음속 캡슐트레인의 추진 부상용 초전도 전자석으로 냉동기 없이 장시간 운전이 가능한 150kAt급의 냉동기 분리형 고온 초전도 전자석 시제품 개발
 - 2020년 축소모델 고온초전도 선형 모터 시제품을 개발하여 120 m 단거리 시험선에서 최고 50 km/h 주행시험 성공
 - 추진을 위한 가이드웨이용 소재로 포스코에서 고망간 강이 개발되어 있으나, 비유도 가이드웨이 기술 미흡
- 초전도 유도반발식 자기부상 기술은 주로 한국철도기술연구원에서 기초연구를 진행 중인 상황



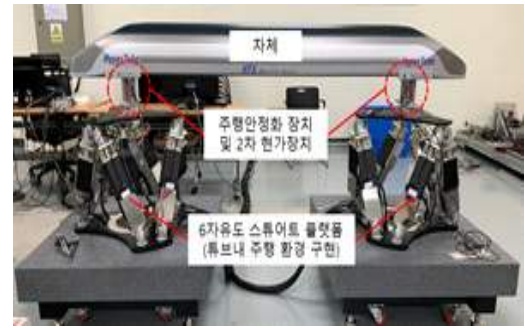
[그림 2-21] 초전도 하이브리드 자기부상시스템

[그림 2-22] 초전도 유도반발식 자기부상시스템

- 초고속 철도의 주행안정화 기술은 차륜/레일 접촉방식의 철도차량용으로 개발된 횡방향 진동 저감용 능동현가장치 기술을 보유
- 초전도 유도 반발식 자기 부상을 고려한 주행체 모델을 해석적으로 구축하고 이를 통해 동특성 해석 및 주행안정화 장치 사양 분석을 수행



[그림 2-23] HILS 실험모델



[그림 2-24] 1/10 동특성 상사시험장치

- 초전도 자기부상 주행 대차 기술 관련 연구는 국가 R&D 사업 중 핵심기술 개발에서 기초연구로 진행
 - 상전도 흡인식 자기부상 대차 기술은 ‘초고속 자기부상철도 핵심기술개발’ 사업(11.12~15.3)에서 차량 핵심기술개발에서 전자석을 이용한 상전도 흡인식 자기부상 대차(길이 약 13m)가 적용되어 연구가 진행



[그림 2-25] 초고속 자기부상철도 차량



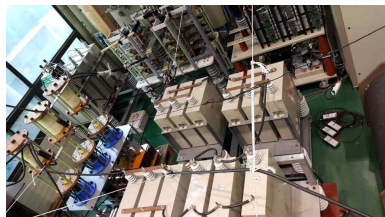
[그림 2-26] 초고속 자기부상철도 대차

- 초전도 유도 반발식 자기부상 대차 기술은 한국철도기술연구원의 ‘아음속 캡슐 트레인 핵심기술 개발 사업’에서 초전도 유도 반발식 자기부상 실용화 대차 개념 설계 진행
 - 한전은 고압 직류 급전망 기술개발에 대한 타당성 조사 및 해석모델을 개발하는 기초 연구과제를 통해 시나리오별 효과적 급전방식에 대한 연구를 수행
 - 중소기업진흥공단은 고압 직류 배전 시스템 기초 연구, 직류 마이크로 그리드 엔지니어링 기술개발, MVDC 배전선로용 전력변환기 요소기술 개발에 투자
- 한국철도기술연구원을 중심으로 하이퍼튜브 및 초고속 자기부상열차에 대한 연구가 특정 분야에서 수행 되었으나 대용량 급전 시스템에 대한 구체적인 연구는 기술 동향 파악과 기본개념 설정에 국한
 - 한국전력과 한국전기연구원에서 '15년부터 고창 전력시험센터 내에 저압 직류배전망 구축과 실증을 위한 설비 개발사업을 추진하였으며, 직류배전을 위한 고전압 연계 반도체 변압기를 개발하여 실증, 하이퍼튜브 시스템에 필요한 전력변환설비에 대한 기초기술을 확보



[그림 2-27] 고창실증 사이트 배전설비

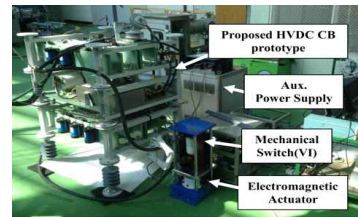
- 철도시스템에서는 대구도시철도공사 차량기지 내 7.5MW급 ESS(에너지 저장 장치) 연계한 사례가 있으며 수십 MW의 에너지 저장 설비 구축과 에너지운영 제어기술 적용 사례는 전무
- 수십 kV의 직류급전이 철도 전력시스템에 적용된 사례는 없으며, 고압직류배전 및 송전분야에 적용할 DC 차단기 역시 일부 개발은 되었으나 상용화되지 않은 상황



80kW DCCB (KERI-LSIS)



33kW DCCB (KERI)



4.5kW DCCB (효성)

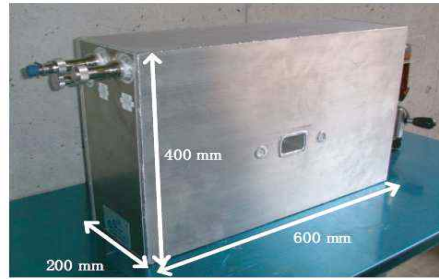
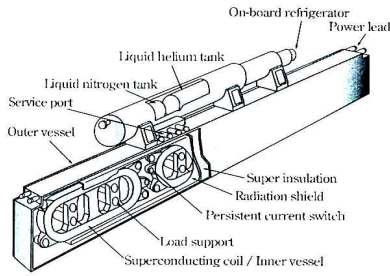
[그림 2-28] 국내 DC 차단기

- 한국전기연구원에서 33kW급 DC 차단기 개발, 한국전기연구원과 LS산전 공동연구로 80kW급 DC 차단기 개발
- 효성중공업 자체연구를 통해 4.5kW급 DC 차단기를 개발
- LS Electric은 '18년에 대용량 에너지저장용 전력변환기의 핵심 부품인 펌(Power electronic building block, PEBB) 모듈에 독립운전기능을 탑재하고, 자체 개발한 ESS 스마트 운영 시스템을 통해 일부 펌 고장 발생 시 부분 운전을 통해 전체 시스템 정지 시간을 최소화함으로써 안정성을 확보
- 전기산업기술연구조합은 윌링스, 큐아이티, 전기연구원 등 17개의 산학연구원과 컨소시엄을 구성해 국제표준에 기반한 전력변환기의 신뢰성 시험(실증) 및 평가방법 등을 개발 진행 중

【 국외 】

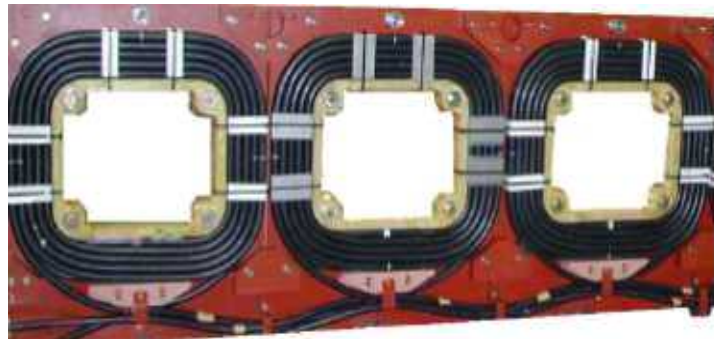
- 초전도 선형 동기 모터를 이용한 추진 기술은 일본의 500km/h급 초고속 자기부상철도에서 실용화 되었으며, 차량의 초전도 전자석은 액체 헬륨 냉각 방식의 저온초전도 전자석을 사용 중
- 일본 RTRI에서는 초고속 자기부상열차의 추진 성능 향상 및 건설비용 저감을 목적으로, 2세대

고온초전도선을 이용한 고온 초전도 전자석을 개발 진행 중



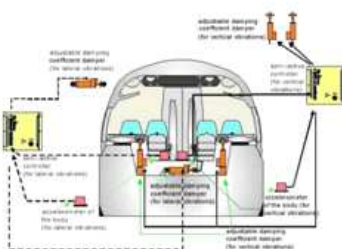
[그림 2-29] 일본의 초고속 자기부상 열차용 저온초전도 전자석(좌) 및 2세대 고온초전도 초전도 전자석 시제품(우)

- 초전도 전자석용 극저온 냉각 시스템은 Linde 및 Air-liquid사에서 기존 헬륨 액화기술을 활용하여 10kW급 이상의 액체질소 냉각 시스템 기술을 보유
- 추진용 전자레일은 일본의 초고속자기부상철도에서 22kV 1000A급의 에폭시 몰드형으로 개발되었으며, 시험차량 최고속도 603km/h에서 전자레일 성능을 달성



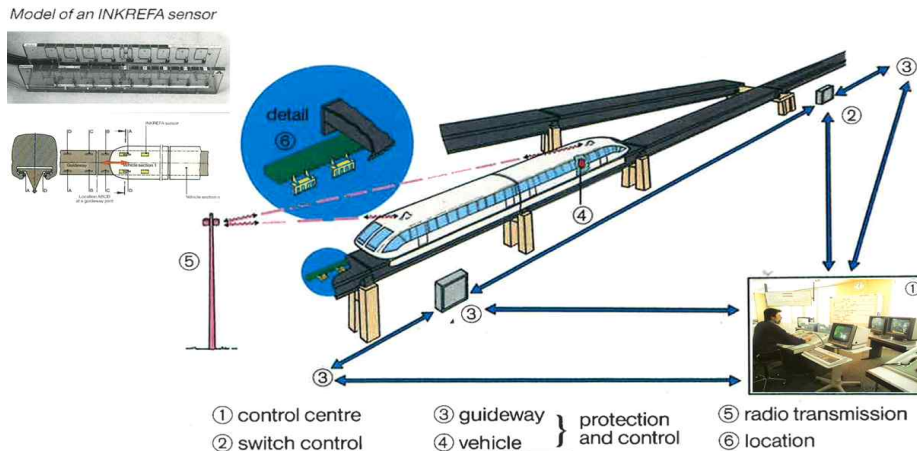
[그림 2-30] 일체형 및 케이블형 추진용 전자레일(일본)

- 주행 안정화 기술은 일본과 유럽에서 전통적인 바퀴식 고속열차에 횡방향의 능동현가장치를 개발하여 적용 중인 상황
 - 일본은 가와사키나 스미토모, 미쓰비시 철도차량 제작사에서 능동현가장치를 적용하고 있으며, 가야바에서 제작한 유압식 가변댐퍼를 이용한 횡방향의 반능동현가장치 및 유압식 액츄에이터를 이용한 능동현가장치, 전자기식 선형액츄에이터를 이용한 능동현가장치 등이 많이 사용
 - 유럽에서는 독일의 DLR(항공우주연구소) 및 스웨덴의 KTH(왕립연구소) 등 유럽의 9개국에서 연구개발을 수행한 후 BOMBARDIER사에서 상용화한 횡방향 능동현가장치가 적용된 철도차량이 운행되기 시작



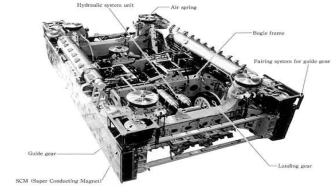
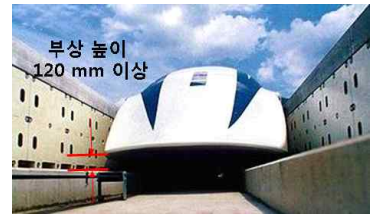
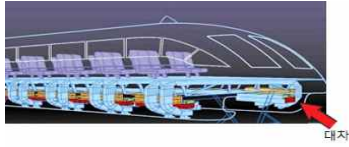
[그림 2-31] 일본 초고속 자기부상열차의 능동/반능동 현가장치

- 자기부상열차를 대상으로 추진 전력시스템 및 위치 검지시스템 개발을 수행
 - 일본에서 자기부상철도 MLX의 제어시스템은 출력 전류의 피드백 제어와 선형전동기의 기자력과 Feed-forward 제어 및 비대칭 출력전압에 의한 DC성분이 포함되는 경우 편자 억제 제어(Asymmetrical Magnetization Suppression Control)를 수행
 - 일본의 초고속 자기부상철도 (L0)는 지상의 유도루프를 이용하여 차량에서 방사된 고주파 신호로부터 cross-inductive wire로 유도된 고주파 신호를 처리하여 위치검지를 수행
 - 독일 TVE 시험선은 두 대의 20kV/1.2kV 정류용 변압기를 통해 1.2kV로 변환되며, 위상제어 정류기 시스템을 통해 인버터 DC링크 전압을 발생시키고, 추진인버터는 최대 7.8kV의 상전압과 정격용량 2.2MW 전력변환기 모듈, DC링크전압 2.6kV의 인버터 16대로 구성된 35MW의 추진전력시스템을 구축
 - 독일의 초고속 자기부상철도(Transrapid)의 경우 차량 위치검지시스템은 약 200m 구간마다 절대 위치검지시스템을 설치하고, 차량에는 치차 간격을 카운트하여 높은 분해능의 위치검지시스템을 구성



[그림 2-32] 독일 Transrapid 위치 검지 장치

- 초전도 자기부상 주행 대차 기술은 선진국을 중심으로 시험선을 구축하여 주행시험을 진행 중
 - 독일의 Transrapid는 상전도 흡인식 자기부상 대차를 적용한 430km/h급 자기부상열차로서 현재 상하이 푸둥 공항과 시내를 연결하는 32km 구간을 2002년부터 상용운행
 - 2017~2020년, 미국 Virgine Hyperloop One 사에서는 상전도 유도반발식 자기부상 대차가 적용된 차량을 이용하여 500m 길이의 진공튜브 시험선에서 최고속도 387km/h(2017년, 무인) 및 173km/h(2020년, 유인) 주행시험에 성공
 - 일본은 초전도 유도반발식 자기부상 대차를 적용한 500km/h급 자기부상열차(MLX)를 개발 중에 있으며 현재 2027년 동경-나고야 상용 노선의 건설이 진행 중



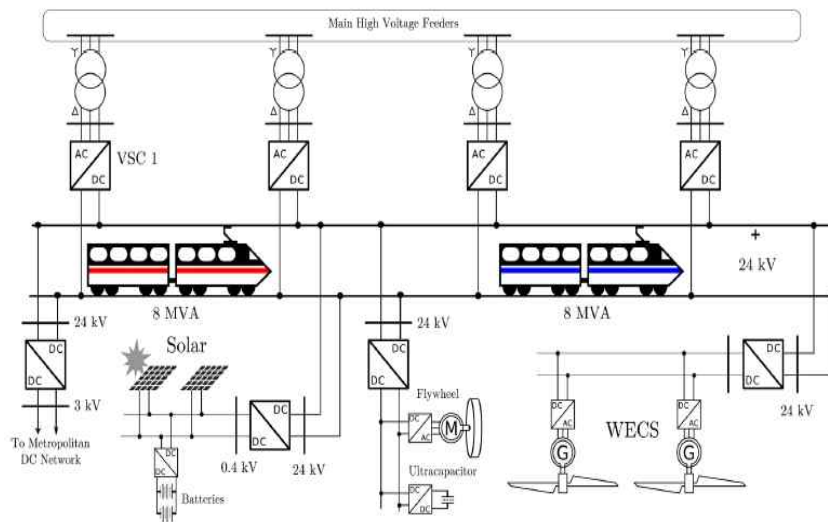
[그림 2-33] 독일 Transrapid 및 대차

[그림 2-34] 버진 하이퍼루프 원의 시험차량 및 대차

[그림 2-35] 일본 MLX 차량 및 대차

○ 전력망 구축 및 관련 보호 협조 운전 및 운용 기술을 검증해 나가는 수준

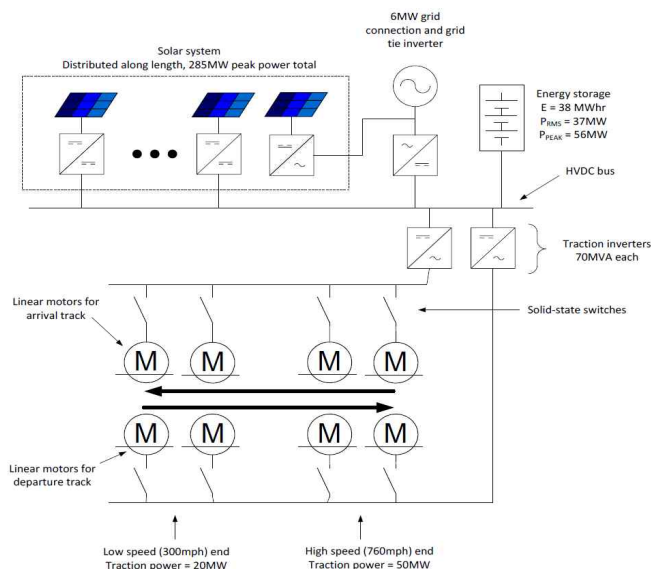
- 독일 RWTH Aachen University에서 새로운 분원을 직류 전력망 형태로 건설 중이며, BESS와 연계하여 약 20kV의 전압 레벨로 배전 계통을 구성하여 선로 규격에 따른 전력 전송량, 직류 전압 제어 기술, 직류 조류 계산, 보호 장치, 고장 분석에 대해 다방면으로 연구하고 실증
- 스페인에서는 철도 전력공급 시스템 연계 프로젝트를 통해 교류 기반 철도용 전력공급 시스템 체계에서 신재생에너지원과 에너지저장장치 기반의 직류 시스템이 상호연계 되는 신규 시스템의 설계를 완료



[그림 2-36] 전압형 전력변환장치기반 철도급전시스템 구성도

- 유럽의 Bosch 사는 직류 전력 공급망 구축 시 기존의 교류 전력망 대비 효과를 검증하는 프로젝트를 수행하였으며, 캘리포니아에 있는 Honda 자동차의 플랜트를 위한 직류 전력망 구축을 수주
- ABB에서는 덴마크 풍력발전소 그리드에 9kV 배전 방식을 적용하였으며, 향후 직류 배전시장 규모를 고려하여 DC 20kV 고압 배전선로와 DC 380V 저압 배전선로에 필요한 각종 전력변환장치와 차단기, 개폐기 등의 전력 기기를 개발하고 '13년부터 고압-저압 직류 통합 전력공급 모델 실증 사업을 추진 중

- 핀란드 국립연구소인 VTT에서는 'Distribution Network 2030'에서 향후 배전망 구축에서 고전압 직류 도입의 필요성을 제시하였으며 직류망에 대한 연구를 저압 직류망에서부터 실증 연구를 진행
- 대용량 직류 급전기술은 영국 Angle에 SP energy network에 의해 33kV 직류망이 구축된 사례가 있으나 철도시스템에 적용된 사례는 아직 없는 상황
- 미국에서 전체 전력에너지가 49MW에 이르며 285MW의 태양광 에너지를 생산하여 전력수요를 충당하고 37MW의 ESS 시스템은 태양광 에너지 및 LIM(Linear Induction Motor)의 회생 전력을 저장하여 안정적으로 전력을 전달하는 기술개발



[그림 2-37] Hyperloop One의 하이퍼튜브 구동을 위한 전력 시스템

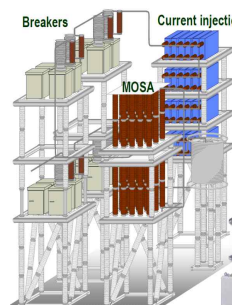
- 하이퍼루프 원 외에는 하이퍼튜브와 직접 관련한 전력시스템 개발 사례가 거의 없으며 유사한 고압 직류배전에 대해서는 독일의 아헨공대의 5kV 실증사이트, 상하이 Nanhui의 VSC DC 프로젝트, ABB의 직류 네트워크 실증사이트 구축 사례 등 다수 존재
 - 관련 전력설비 기술로 ABB, 지멘스에서 독자적인 설비 모델 기술을 보유하고 있으며 전력변환설비의 제작 및 구축 기술을 보유
 - ABB에서 철도용 DC 배전 4.5MW ESS를 개발하였으며, 벤츠 및 테슬라에서 전기차 배터리를 재사용한 13MWh급 ESS 개발하고 '17년 남호주에 100MW/129MWh급 규모의 ESS 단지를 구축
 - 테슬라는 '22년까지 남호주에 태양광 250MW, 배터리 650MWh 규모의 최대 규모의 VPP(Virtual Power Plant)를 구축 계획
- 세계적으로 고압의 직류계통을 적용한 철도 급전 시스템은 개발 사례가 전무한 실정이며, 전력계통으로 고압직류배전, 고압직류송전이 있으나, 해당 송·배전망에 적용할 수 있는 DC 차단기의 경우 현재까지 규격이 제정되지 않으며, 일부 선진국을 중심으로 개발 및 실증 중



350kV DCCB
(ABB)



24kV DCCB
(SciBreak)



160kV DCCB
(Mitsubishi)



500kV DCCB
(SGCC)

[그림 2-38] 해외 고압 직류 차단기 개발 사례

- 유럽 및 일본은 PROMOTioN Project를 통해 해상풍력 연계 고압직류송전 연구를 진행해 왔으며, 350kV급 DC 차단기(ABB사), 24kV급 DC 차단기(SciBreak사), 160~200kV급 DC 차단기(Mitsubishi사)의 성능평가를 완료
- Aalborg 대학교에서 '15년부터 신재생 및 각종 전력변환기에서의 고장 원인 분석과 소자 및 시스템 신뢰성 개선에 관한 연구를 대규모 프로젝트로 수행
- Huawei에서 전력변환기의 신뢰성 향상을 위한 자가 고장 진단 및 유지 보수 기술개발 프로젝트를 수행

□ 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 분야

【 국내 】

- 아진공 튜브 인프라를 구현하기 위해 튜브용 재료기술에 대한 연구를 지속적으로 수행
 - 한국철도기술연구원은 강도 약 70MPa의 고강도 콘크리트를 대상으로 원형 튜브의 기밀성 평가 실험을 실시하였으며, 콘크리트 강도 및 표면 방수재 처리가 기밀성에 미치는 영향 평가를 수행
 - 한국건설기술연구원은 나노재료 등 작은 크기의 재료를 최적화시키고 강섬유를 혼입한 초고성능 콘크리트 기술을 확보하고 아진공 튜브 건설 재료로서의 적용성 평가를 위한 기밀성 실험을 수행
- 초전도 자기부상열차 및 1,200km/h급의 초고속 주행 열차에 대응하는 구조물 설계기준 및 주행안전성 평가 기술은 전무
 - 한국철도기술연구원에서 '06년부터 수행된 도시형 자기부상열차 실용화 사업을 통해 '도시형 자기부상철도 토목구조물 설계기준(안)'에 설계속도 최대 110km/h에 대응하는 구조물 설계 제한치가 규정되어 하이퍼튜브 기술에 적용이 불가능
- 초고속 자기부상열차 기술은 한국철도기술연구원과 한국기계연구원 등에서 기초적인 연구를 수행하고 있으나, 실물모형 및 가이드웨이 구조에 대한 연구는 전무한 상황
 - 한국기계연구원에서 LIM 방식의 중저속 자기부상열차(UTM01, 02)를 개발하여 시험선로를 설치하였으며, 도시형 자기부상열차 실용화사업을 통해 인천국제공항 내에 시범노선을 건설하여 설계최고속도

- 110km/h로 운영 중이며, 한국철도기술연구원에서는 가이드웨이 성능개선 및 궤도구조 개발을 추진
- 또한, 기계(연)에서 가이드웨이 관련 자기부상 연구가 진행되었으며, 인천공항에 6.1km의 시범노선이 건설되어 개통되었으나, 상대적으로 초고속 자기부상열차의 가이드웨이에 대한 연구는 미미한 상태



[그림 2-44] 인천 자기부상 시범노선

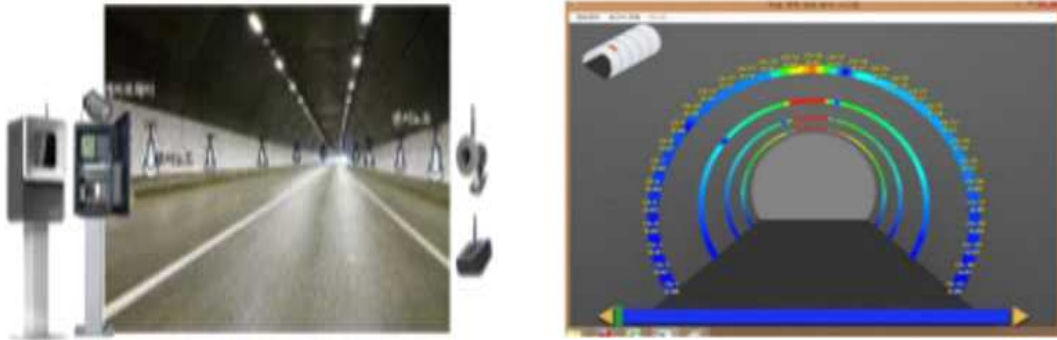
- 하이퍼튜브의 실사용 크기 공간분할개폐기술이 적용된 사례가 없으나, 근접한 기술로 한국건설기술 연구원의 DTVC 시스템에서 검토 중인 게이트도어가 존재
 - 국내에 처음 시도되는 기술로 내부 반경 2m의 반원형식의 도어로 주챔버와 보조챔버의 공간분할 및 개폐를 수행
 - 한국철도기술연구원에서 진공 상태(대기압의 1/3~1/1000) 유지가 필요한 튜브 철도시스템에서 작동 신호에 의해 튜브 통로를 빠른 속도로 차단하기 위한 관리시스템과 진공차단막 장치에 관한 기초연구 수행
 - 한국표준과학연구원은 진공펌프 특성평가 기술을 보유하고 있으며, 실험실에서의 측정결과는 세계 최고 수준을 기록
- 초고속 철도시스템의 안전진단을 위한 지능형 시스템 등의 개발이 이루어지고 있으나 국토 특성을 고려한 안전진단 연구가 필요한 상황
 - (주)상상돔과 한국철도기술연구원에서 5년간 터널 시설물에 대한 종합적인 안전 검사가 가능한 데이터 융합형 기반의 자동화 솔루션인 TIBOS(철도터널 안전검사 로봇 시스템) 개발



[그림 2-45] 한국시설안전공단 특수교 통합관리 계측시스템 구성도

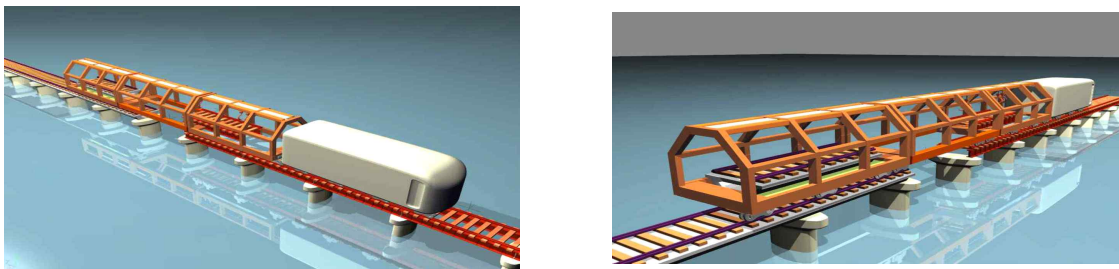
- U-Eco City 연구단은 '13년에 교량에서 발생하는 비정상적 거동, 규열, 파손 등을 실시간으로 분석·관리하는 시스템인 'U-교량안전관리시스템'을 세종시 금강1교, 2교에 설치하여 테스트를 진행

- 한국건설기술연구원, 한국전자통신연구원, (주)흥인이엔씨의 공동 연구로('15년) 시설물의 변위를 실시간으로 원격 계측하여 자동 분석할 수 있는 실시간 터널 케이블 센싱 및 분석 시스템 개발



[그림 2-46] 무선통신 중계기 및 센서 노드 및 지반 변위 자동 분석 S/W

- 한국시설안전공단에서는 열화상 카메라를 활용한 터널 외부 온도와 온도변화가 터널 내부에 영향을 주는 구간 범위를 산정하는 연구를 진행
- 국내에서의 교량 급속교체 기술은 교체공사 시 우회로 확보가 어려운 철도분야에서 주로 적용되고 있으며, 노후화된 철도교를 교체하기 위하여 야간에 열차 운행이 정지되는 3~4시간 내에서 짧은 경간의 교량 상부구조를 교체하는 것을 목표로 공법 개발
 - 기존에는 철도교 급속교체와 관련하여 주로 측면 밀어넣기 공법이 적용되었고, 크레인을 이용한 직접 교체 공법으로 시공된 사례도 존재
 - 최근에는 레일 위를 주행하는 이동식 크레인으로 신규 교량을 운반하고, 수직 방향 교체를 하는 형태로 장비 및 공법 개발



[그림 2-47] 이동식 크레인을 이용한 철도교 상부구조 교체 개념도

- 도로교 분야에서는 주로 바닥판 급속 교체 등의 부재 단위 교체 공법이 주로 연구되었고, 부재 단위로 분할된 모듈러 부재를 현장에서 조립하여 교량을 구성하는 형태의 모듈러 교량 공법이 급속 시공법으로 연구

【 국외 】

- 미국, 유럽 등 선진국에서는 강재의 단점을 극복하기 위해 콘크리트 재료의 적용성을 검토하는 단계에 있으며, 기밀성 및 강도 확보를 위한 콘크리트 재료 발굴에 초점
 - 네덜란드 Delf 공대에서는 '19년 직경 3.6m, 경간장 30m의 콘크리트 운송관에 대해서 타당성을 검토한 결과, UHPC 운송관은 철근으로 보강하지 않고 프리스트레싱 보강만으로 동적 거동을 포함한

구조 요건을 만족하고 강재 운송관에 비해 경쟁력을 갖는 것으로 분석

- 독일 뮌헨공대에서 '19년에 하이퍼루프의 타당성, 지속가능성 및 경제성 측면에서 검토하였고, Heidelberg Cement AG와 Effix Plus의 UHPC 기술로 관 두께를 30mm, 길이 17.5m의 튜브의 시작품을 제작
- 미국, 유럽 등의 국가를 중심으로 대부분 기존의 운송관 구조물 설계 개념을 토대로 시험선 구축을 위한 구조설계를 수행하고 있으며, 구체화된 설계기준과 주행안정성 평가 방법에 대한 연구는 전무한 상황
 - 유럽의 고속철도의 설계기준은 UIC Code와 Eurocode가 대표적이며, 이 기준에는 주행속도 200km/h 이상에 대해서 차량-구조물 상호작용을 고려한 동적 안정성 검토 방법에 대한 절차 및 동적거동 제한치가 제시되어 있으며, 차량의 속도 범위 및 구조물의 형식(지지방식 및 경간장)에 따라 동적 안정성을 검토하는 기준이 제시
 - 네덜란드, 이탈리아 등에서 운송관 개념 정립 단계에 있으며 구체화 된 설계기준이나 고속주행에 따른 주행 안정성 평가 기술은 전무
 - 중국 및 일본은 자국의 고속철도 시스템에 맞는 설계기준을 보유하고 있고, 특히 일본은 '04년에 초전도 자기부상식 철도에 관한 실용화 기술을 확보하고 관련 설계기준 및 안정성 검토 기술을 보유 하여 최고속도 기록 603km/h에 대한 주행안정성을 확인
 - 미국의 Hyperloop One사는 1억불(1200억 원)의 민간펀드를 투자하여 120여명의 전문기술자가 네바다 사막에서 Steel 튜브(지름 약 3.2m) 477m 시험선을 개발하여 시험 중
- 미국의 대표적인 하이퍼튜브 관련 기업에서 아진공 튜브를 제작하여 지속적으로 시험을 진행
 - Virgin Hyperloop One사에서 '17년에 길이 500m, 직경 3.3m의 강관튜브로 하이퍼루프 시험선로를 Nevada 사막에 건설
 - 일론 머스크가 '15년에 캘리포니아 호손에 직경 1.83m, 길이 1.6km의 강관튜브로 SpaceX 하이퍼튜브 시험선로를 건설하였으며, 매년 전 세계에서 약 20여 팀이 참가하여 포드 속도 시합을 개최
 - HTT(Hyperloop Transportation Technologies)사는 '21년 3월에 직경 5m, 무게 35톤, 약 0.1MPa의 압력에 견딜 수 있으며, 캡슐이 운행을 멈출 경우 승객들의 비상대피용도인 격벽밸브(isolation valve)를 공개
- 프랑스, 일본, 미국에서 주도적으로 자기부상열차에 대한 터널 설계 연구를 지속적으로 진행 중이며, 아진공 튜브용 터널 설계 및 시공 기술은 전무
 - 프랑스의 스위스메트로(Swissmetro)는 터널 내 압력이 낮을 경우 공기역학에 의한 aerodynamic drag를 감소시킬 수 있으므로 터널단면에 대한 열차의 단면적 비(blockage ratio)를 0.4로 하고 터널 내 압력을 대기압의 1/10로 줄인 아진공 터널에서 운행하는 자기부상철도에 대한 연구를 진행
 - 일본의 야마나시 자기부상 열차의 경우 기존 터널단면적을 절반으로 줄이고, 터널 내 기압을 0.5 또는 0.1기압으로 줄여 속도를 기존 대비 30% 증가시키는 구상 중
 - 미국의 Transatlantic tunnel은 아직은 이론적인 터널로 대서양을 가로질러 북아메리카와 유럽을 연결하여, 속도는 500~8000km/h가 가능할 것으로 예상

- 미국 HTT사와 GNB사가 세계 최초로 하이퍼루프용 게이트밸브를 제작하여 공개하여 공간분할개폐 기술의 시작품을 개발하여 공개하였으나, 장거리용 아진공 튜브 펌핑 시스템은 구축 사례는 없는 상황



※ 출처 : businesswire.com

[그림 2-48] HyperloopTT와 GNB가 개발한 Hyperloop용 게이트밸브

- 미국 Virgin Hyperloop One사는 공간분할용 게이트도어와 튜브 내부 진공을 위한 배기 모듈을 같은 공간에 설치하여 차량 진입챔버와 주행튜브를 공용으로 제어할 수 있게 구성

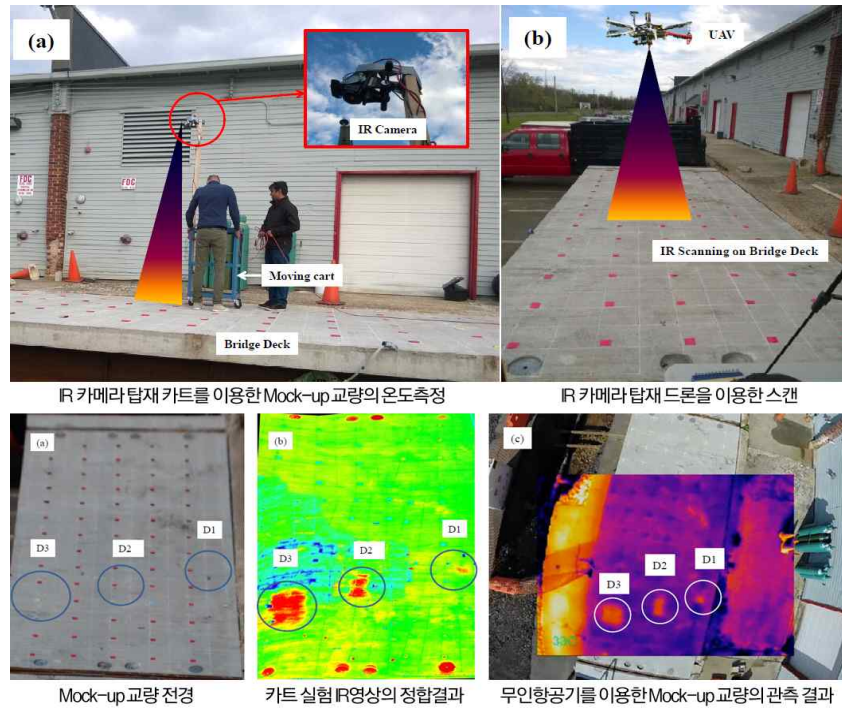


※ 출처 : <https://hyperloop-one.com/media-gallery>

[그림 2-49] 미국 VHO사의 차량 진입챔버와 공간분할 게이트도어 모듈

- 하이퍼튜브의 재질로 콘트리트가 사용될 경우 아웃게싱과 자연기밀누설량 등에 대한 연구결과가 없어 아직 정확한 진공펌프의 요구성능의 기준을 결정하기 어려운 상태
 - 미국 HyperloopTT사의 테스트 트랙에 설치된 독일 Leybold사가 개발한 하이퍼루프 전용 진공펌프 시스템이 적용되었으며, HyperloopTT사는 이러한 펌핑시스템을 약 10km마다 설치하는 계획에 대해 연구 중
 - 스위스메트로에서 진공튜브 달성을 위한 펌프의 배치간격 및 개략적인 비용을 제시한 바 있으나, 튜브 구조물의 기밀성 요구조건 및 기밀성 확보 방안에 대한 연구는 거의 없는 상태
 - HyperloopTT사에 적용된 독일 Leybold사의 설치 예를 보면 대량의 공기를 저진공 영역까지 배기 하는 것에 효과적인 루츠펌프가 적용되었음을 확인
- 미국, 유럽, 일본을 중심으로 인프라 안전진단을 위해 드론 및 열영상 카메라 등을 이용한 시스템 개발

- 미국 드렉셀 대학에서는 교량의 상태를 점검하기 위해 원격 센서가 탑재된 회전익 무인항공기 활용 방안에 대해 연구(Khan et al., 2015)를 하고 있으며, 소형 mock-up 콘크리트 교량의 상부 실험을 수행



[그림 2-50] 드론을 활용한 교량 열화상태(층분리) 측정

- 일본 JR 동해에서는 광학기술 및 영상처리 기술의 발전으로 인하여 고화질 카메라를 이용한 시스템인 Tunnelas 개발
 - 캐나다 Pavemetrics에서는 레이저 스캐닝이 가능하며 3차원 데이터 추출하여 가시화를 수행할 수 있는 Laser Tunnel Scanning System 개발
 - 미국 FLIR에서는 영국 남부 웨일즈 지역 소재의 360m 길이의 Brynglas 터널을 대상으로 내부에서 발견된 잠재적인 위험요소와 내부 사고 발생 시 정보 전달하는 시스템을 구축
- 미국에서는 콘크리트에 대한 보수 가이드를 작성하였으며, 보수공법을 개발하여 적용하고 있는 중
- 미국과 캐나다 등에서는 주로 노후된 도로교의 급속 교체를 목적으로 기술개발이 이루어지고 있으며, 미리 제작된 하나의 교량 경간을 자주식 이동 크레인으로 현장에 운반하여 일괄 거치하는 형태
 - 미국의 Clayton street bridge의 경우는 중량 약 250ton에 달하는 교량 경간을 자주식 인양장비로 운반하여 일괄 거치하는 것으로 급속 교체 공사가 진행
 - 캐나다의 Averdeen Avenue Bridge는 미리 제작된 교량을 이동식 크레인으로 운반하고, 인양 후 측면 슬라이딩 공법으로 급속교체하여 적용

참고 해외 기술 대비 경쟁력 확보 가능성

- **(기술경쟁력)** 경쟁 기술 대비 기술 구현 방식, 주요 소재, 기반 기술 축적 수준 등을 고려 시 해외 기술 대비 경쟁력 확보 가능할 것으로 판단
 - 추진/부상을 위한 선형동기모터(LSM) 및 고온 초전도 방식 적용에 따라 고속화 및 건설비 측면에서 경쟁력 확보 예상
 - * 하이퍼루프(미)의 경우 LIM 및 영구자석 반발식 적용으로 제어가 간단하지만 효율이 낮아 고속화 구현에 불리하며, 차량 부상 간격이 20mm 내외로(하이퍼튜브 50~100mm) 정밀 시공이 요구되어 건설비 측면에서 불리
 - 슈퍼콘크리트를 이용한 튜브 구축 시 강재 튜브 대비 휨강성, 진동, 자기장 영향 등에서 유리하며, 국내 슈퍼콘크리트의 생산비용이 해외 대비 60~80% 수준으로 기술적, 경제적 경쟁력 확보 예상
 - 5G 세계 최초 상용화 및 직류 기술 개발을 선도하고 있는 등 통신·전력 분야의 축적 기술 수준 고려 시 향후 경쟁력 확보 예상
- **(슈퍼콘크리트)** 하이퍼튜브 아진공 튜브의 재료인 슈퍼콘크리트는 탄소 저감 추세에 걸맞을 뿐 아니라 공사 비용과 기간을 크게 줄일 수 있는 시장성이 매우 높은 자재로 주목
 - 슈퍼콘크리트의 고내구성·고강도를 통해 구조물 주요부재의 수명은 100% 증가, 구조물 중량은 30% 이상 줄어들며, 탄소 배출량 30% 이상 절감 예상
 - 슈퍼콘크리트는 일반 콘크리트 대비 제조원가 50%, 공사비 10% 절감
 - * 유사한 성능을 가진 해외 콘크리트 대비 제조비용이 1/3 수준
 - 세계 콘크리트 시장은 '24년 367조 원으로 성장할 전망이다, 슈퍼콘크리트 비중이 전체의 20%까지 늘어날 것으로 전망
 - 국내 슈퍼콘크리트의 생산비용이 해외 대비 60~80% 수준이란 점을 감안하면, 미래시장에서 경쟁력을 확보 하기에 충분
- **(통신)** 한국의 5G 세계 최초 상용화 후 각국에서는 적극적으로 5G망을 구축 중이며 동시에 6G 시장 선도 또한 가능할 것으로 전망
 - 하이퍼튜브 무선통신 기술을 통해 하이퍼튜브 장비의 신뢰성 향상 및 안전성 확보 기여가 가능
 - 국내는 LTE부터 5G 까지 개발한 기술력과 인프라를 바탕으로 HTX 무선통신 시스템 장비, 단말기, 무선접속 표준화 기술등 모든 분야를 선도하는 것이 가능
 - 추후 6G 저지연 초고속 입체통신 분야의 새로운 시장경제 창출에 기여할 것으로 전망
- **(추진/부상/제어)** 고온초전도 선형동기모터* 방식의 추진·부상기술은 초고속에서 추진 효율이 우수할 뿐 아니라, 하이퍼튜브의 건설비 및 운영 에너지 절감이 가능함에 따라 경쟁력 확보 가능
 - 하이퍼튜브 궤도와 차량 사이 공극을 50mm 이상 확보할 수 있기 때문에 궤도 시공 정밀도를 완화시켜 건설비 저감 효과 기대
 - 냉동기 없는 냉매 주입방식의 고온초전도 기술은 차량 전력 저감과 경량화로 차량 추진 에너지 절감 가능
 - * 선형동기모터(LSM:Linear Synchronous Motor)는 종래의 선형유도모터(LIM:Linear Induction motor)방식에 비해 고속에서 효율이 우수함

6. 주요 시사점

□ PEST분석을 통한 초고속 이동수단 하이퍼튜브 타당성 분석 사업의 시사점 도출

환경분석		시사점	
정책 동향	<p>[국외]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 세계 각국은 민간 기업 중심 또는 국가 주도로 하이퍼튜브 기술 개발을 위한 협력구도 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 미국, 캐나다, 유럽, 프랑스, 아랍에미리에이트, 사우디아라비아는 국가 또는 민간 차원의 자체 기술개발보다는 민간기업이 제안한 노선에 대해 연방, 주, 시 정부 차원에서 하이퍼튜브 도입 협력 추진 중 - 한국, 중국, 일본은 낮은 개발역량 극복을 위한 정부주도의 기술개발이 추진 중 	<ul style="list-style-type: none"> · 세계 각국은 다양한 형태로 초고속 교통수단 기술 개발에 협력하여 신 교통수단 구축 노력 강화 	
	<p>[국내]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 정부는 국정과제의 실현을 위해 교통분야에서 4차 산업 혁명을 확산·촉진할 수 있는 기술개발 추진 <ul style="list-style-type: none"> - '제5차 과학기술기본계획'에서는 탄소배출은 줄이고 이용 편의성을 높이는 하이퍼튜브 등 저탄소 미래 이동체 개발 추진을 제시 - '제3차 국가교통기술개발계획', '제1차 국토교통 과학기술 연구 개발종합계획'에서는 '아진공튜브철도시스템'을 제시하여 기술 선도자로의 변화를 통한 국가경쟁력 제고를 도모 		<ul style="list-style-type: none"> · 정부는 정책적으로 교통기술 개발을 과학기술 패러다임 변화를 선도하는 국가 중점기술로 선정하여 국가경쟁력 강화를 도모
경제 동향	<ul style="list-style-type: none"> · 하이퍼튜브 관련 글로벌 시장의 급성장과 상당한 경제적 파급 효과 예상 <ul style="list-style-type: none"> - 하이퍼튜브 글로벌 시장은 연평균 약 47.2%성장률¹⁰⁶⁾이 예상¹⁰⁷⁾ - 전 세계 100여 개국의 약 2,600개 후보 노선 중 10%의 사업수주를 가정해도 5,009조원의 경제적 가치 창출이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 지리적 이동성 증대, 정치여건 변화로 인한 초고속 중장거리 이동수단의 도입은 상당한 경제적 파급효과를 야기할 것으로 기대 	
	<ul style="list-style-type: none"> · 교통부에서 장거리 통행수요 증대와 과도한 승용차 의존도로 인해 막대한 사회적 비용이 발생 <ul style="list-style-type: none"> - 미국의 교통혼잡비용 GDP비율은 0.83% 수준 - 국내의 교통혼잡비용 관련 GDP비율은 2.16%로 미국보다 높음 		<ul style="list-style-type: none"> · 교통부문의 도로 의존도로 사회적 비용 발생저감을 위한 신 교통수단 구축이 필요
사회 동향	<ul style="list-style-type: none"> · 중장거리 교통기술이 발달하면서 지역 간 중장거리 이동수요가 지속적으로 증가하고 있는 상황 <ul style="list-style-type: none"> - '04년 이후 고속철도 KTX가 도입되면서 매년 지속적으로 중장거리 통행량이 증가 	<ul style="list-style-type: none"> · KTX가 도입되면서 중장거리 이동수요의 지속적인 증가 	
	<ul style="list-style-type: none"> · 경부고속도로 개통, 인천공항 개항, KTX 전 구간 개통 등의 교통 개선은 국가경제성장에 크게 기여하였으며, 국가성장을 위해서는 향후 10년 국토 전체에 영향을 미치는 혁신적 교통수단 도입 필요 · 중·장거리를 고속으로 주행하는 이동수단의 도입은 국토의 압축 효과를 발생시키며, 이는 국민의 교통 편의성 향상에 기여하는 매우 중요한 요소로 작용 		<ul style="list-style-type: none"> · 국가 성장을 주도한 고속도로와 KTX 개통 이후 혁신적 교통수단 도입이 필요
	<ul style="list-style-type: none"> · 삶의 질의 향상을 추구하고 있어 이동수단 선택 시 비용보다 이용의 편리성, 통행시간 절감 등 시간의 가치를 중요시하고 있는 상황 <ul style="list-style-type: none"> - 중·장거리 이동수단 중 항공의 기상악화, 철도의 탈선 사고 등으로 인해 운행의 지연, 결항 등 불편사항 발생 - 경제성장 모델에서 교통비용의 감소는 긍정적 영향요인으로 작용해 초고속 교통수단이 중장거리적으로 지역투자 제고와 혁신 시스템의 통합에 기여할 것으로 전망 · 주로 경제활동을 위한 목적으로 사용된 과거 이동수단은 삶의 가치 증진을 목적으로 개인 맞춤형 공유수단으로 전환되고 있는 상황 		<ul style="list-style-type: none"> · 대중교통에 대한 이용의 편리성과 통행시간 절감에 대한 필요성 증대 · 수도권 일극화 현상 및 지역 균형 발전을 위해 중장거리 통행시간 절감이 필요 · 삶의 질을 중시하는 가치관의 변화로 중장거리 거점 간 효율적이고 쾌적한 이동수단 필요가 증대

환경분석	
	<ul style="list-style-type: none"> - 소득 증가, 가족형태 변화, 근로시간 단축 등으로 개인 맞춤형 고급 이동 서비스를 요구하는 시대가 될 것으로 예상
	<ul style="list-style-type: none"> · 미래사회 인구구조의 변화와 메가시티화로 도시 간 소용량 다빈도 초고속 교통수단 필요성이 증대 - '50년에는 전 인구의 70% 이상이 대도시권에 살게 되는 메가 시티화가 예상 - 미래 국토공간 구조 변화에 대한 예측 시나리오 모두 초광역 간 교류와 협력에 기반하여 연계의 중요성이 커져 교통수단의 중요성이 지속적으로 증가할 것으로 예상 - 중·장거리 신 교통수단 중 하이퍼튜브는 건설비의 경우 기존 KTX 대비 약 35% 이하로 저렴한 것으로 추정되어 국가재정 부담을 경감 할 수 있을 것으로 기대
	<ul style="list-style-type: none"> · 전세계적으로 탄소저감을 위한 노력이 이뤄지고 있으며 탄소배출량이 가장 많은 항공기의 수요를 대체하기 위해 철도를 이용하는 움직임이 많아지고 있는 상황 - 국내 고속철도는 항공기의 수요를 일부 대체하였으며, 초고속·친환경 이동수단이 개발될 경우 국내선 항공기의 수요는 더욱 감소할 수 있을 것으로 전망 - 미국 에너지부(US DOE, '21)에서 '30년 교통수단별 에너지 소비량을 비교한 결과, 하이퍼튜브는 도시 간·지역 간 교통수단으로 적합하며, 경쟁수단인 항공 대비 에너지 절감율이 4배 이상 적을 것으로 전망
기술 동향	<ul style="list-style-type: none"> · (국내) 초고속 철도 적용을 위한 추진 기술은 국가 R&D 사업을 통해 설계기술 확보를 위한 기초연구만 수행 · (국외) 미국 HyperLoop One사에서 전력시스템 개발사례만 존재
	<ul style="list-style-type: none"> · (국내) 하이퍼튜브 차체에 대한 개발 경험은 없으며, 항공기 동체 또한 제작 납품하는 수준 · (국외) 하이퍼튜브 차체는 아직 상용화 단계에 이르지 못한 상태이며, 기술개발 경쟁이 진행 - 최근 두바이에서 개최된 전시회에서 HyperLoop One이 단순한 외형만 있는 캡슐차량에서 내부 좌석까지 설치된 차량을 발표
	<ul style="list-style-type: none"> · (국내) 아진공 튜브 인프라 구현을 위해 튜브용 재료기술에 대한 연구가 진행 중이며, 안전성 확보를 위한 지능형 시스템 개발이 이루어지고 있으나 국토 특성을 고려한 연구가 필요 · (국외) 미국, 유럽 등 선진국에서는 기밀성 및 강도 확보를 위한 콘크리트 재료 발굴에 초점을 맞추어 개발 - 시험선 구축을 위해 구조설계를 수행하고 있으나, 구체화된 설계기준과 주행안정성 평가방법에 대한 연구는 전무
	<ul style="list-style-type: none"> · (국내) 하이퍼튜브 각 기술을 통합하기 위한 시스템 엔지니어링 기술이 전무한 상황 · (국외) 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 시스템 성능 및 안전성 입증을 위해 시험선 구축을 추진 중

시사점
<ul style="list-style-type: none"> · 미래 국토공간 및 환경변화에 대응할 수 있는 신 교통수단 도입이 필요하며, 하이퍼튜브가 가장 효율적인 교통수단으로 주목
<ul style="list-style-type: none"> · 탄소배출량이 많은 항공기를 대체할 수 있는 중장거리 교통수단 전환의 요구가 가속화
<ul style="list-style-type: none"> · 초고속으로 주행할 수 있는 추진 기술 및 전력시스템에 대한 기술이 전무하여 하이퍼튜브에 적합한 추진/부상 기술 개발이 필요 · 아음속 환경에서 주행이 가능한 캡슐 차체가 필요하며, 전파환경을 극복할 수 있는 무선전송기술개발 필요
<ul style="list-style-type: none"> · 캡슐차량이 안전하게 운행될 수 있는 아진공 튜브의 재료개발, 설계·시공 기술이 필요하며, 문제 발생에 있어 빠르게 분석·대응할 수 있는 안전관리 기술개발이 필요
<ul style="list-style-type: none"> · 하이퍼튜브는 아직 초기 연구단계이므로, 고도의 시스템 엔지니어링 기술이 필요하며, 안전성을 입증할 수 있는 시험선 구축이 필요

106) CAGR : Compound Annual Growth Rate
107) MarketsandMarkets(2017)

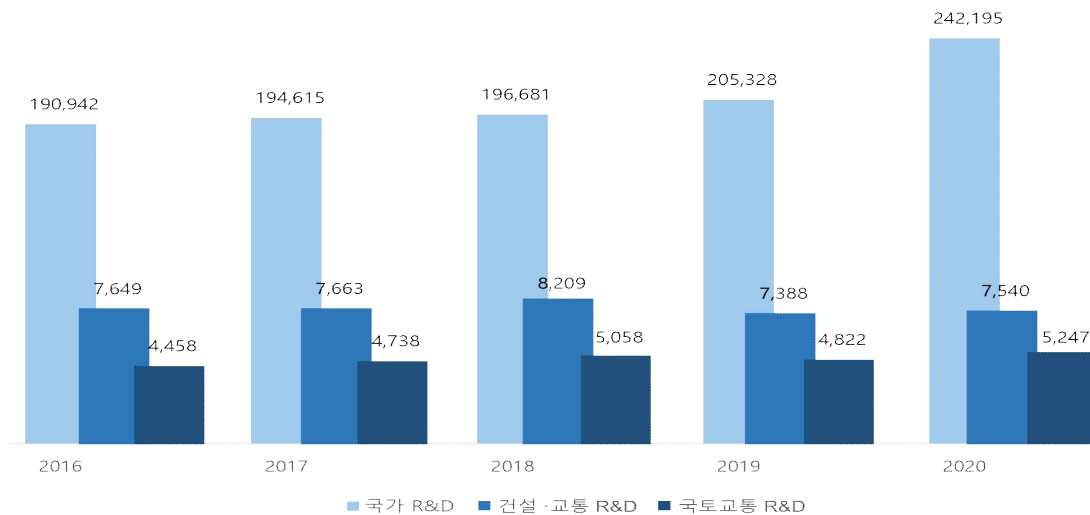
제3절 국내외 연구개발 현황 분석

1. 연구개발 투자 현황 분석

1.1 국가연구개발사업과 국토교통 R&D

- '20년 국가연구개발사업의 예산은 24조 2,195억 원으로 전년 대비 약 18.0% 증가하였으며, 미래 대비 과학기술 혁신 역량을 확충하고, 경제활력 제고와 행복한 삶 구현을 위해 R&D 투자시스템을 고도화
- 연구자 중심의 창의·도전적인 기초연구에 R&D 투자를 확대하며, 4차 산업혁명 대응 혁신성장 성과 창출을 가속화하고, 기후·환경변화 대응을 통한 지속가능 사회 구현을 지원
 - 건설·교통 분야의 '18년도까지 연평균 증가율이 3.6%로 높게 나타났으며, '19년도에 감소추세를 보였으나 '20년 7,540억 원으로 전년 대비 2.1% 증가
- 국토교통 R&D는 국가연구개발사업 총 예산의 약 2.17%로 '20년에는 5,247억 원의 예산이 투자될 계획으로 혁신성장동력 육성, 경제활력 제고, 스마트 SOC 등을 중점으로 추진될 예정

(단위: 억 원)



※ 출처 : 한국과학기술기획평가원(2020) 2020년도 정부연구개발예산 현황분석, 국가과학기술자식정보서비스(NTIS)를 참고하여 재가공

[그림 3-1] 국가연구개발사업과 국토교통 R&D 사업의 투자동향

1.2. 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 투자 동향

1.2.1 분석 개요

- (목적) 우리나라는 건설시스템의 성장 동력화를 위해 국가연구개발에 지속적으로 투자해왔으며 하이퍼튜브 관련 정부 R&D 투자동향 분석을 통해 국내 연구개발 역량 진단의 참고자료로 활용
- (조사범위) 최근 5년('16~'20년)간 국가연구개발 사업 및 과제
- (검색범위) 하이퍼튜브 관련 R&D 사업과 과제를 검색하기 위해 국가과학기술표준분류 중 다음의 기술분류에서 아래의 검색어를 활용하여 검색

※ 인력양성, 국제교류협력, 기획지원 성격의 과제는 제외

[과학기술표준분류]

대분류	중분류
기계	측정표준/시험평가, 자동차/철도차량, 항공시스템
재료	금속재료, 세라믹재료, 주조/용접/접합, 분석/물성 평가기술
전기/전자	충전기, 전기전자부품, 계측기기, 전지, 무기센서 및 제어
정보/통신	소프트웨어, 이동통신, 정보통신 모듈/부품
건설/교통	국토정책/계획, 시설물 설계/해석기술, 건설시공/재료, 철도교통기술, 물류기술, 시설물 안전/유지관리 기술

[검색어]

초고속철도; “하이퍼튜브”; “하이퍼루프”; EMS 철도; 자기부상철도/자기부상열차; 아음속 트레인; 철도 급전 시스템

- (분석항목) 연도별, 부처별, 연구단계별, 수행기관별, 적용처별 정부 R&D 출연금 및 과제 수

1.2.2 분석결과

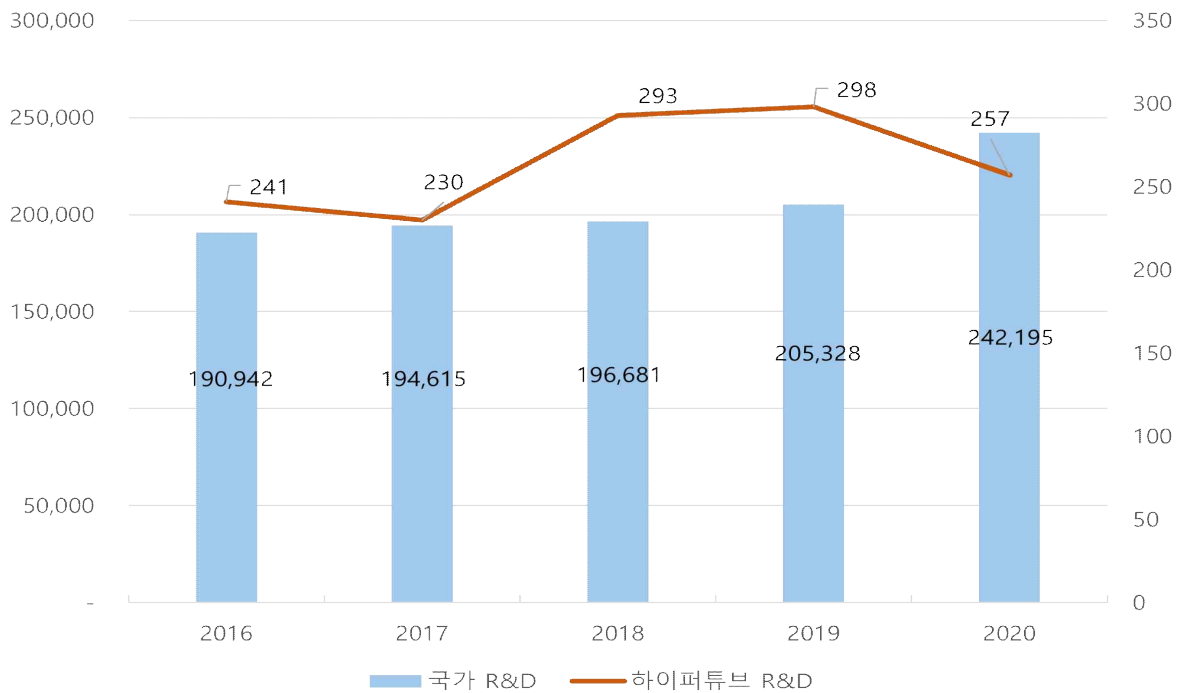
(1) 연도별 투자동향

- '16년 이후 하이퍼튜브 분야의 정부 R&D 연구비 투자는 연평균 약 264억 원이며, 전체 R&D 대비 하이퍼튜브 분야의 투자 비중은 연평균 0.13% 수준으로 투자
 - 하이퍼튜브 분야 정부연구비는 '16년 241억 원에서 '19년 298억 원으로 연평균 증가율이 7.3%로 높게 나타났으나, '20년에는 257억 원으로 전년 대비 13.8% 감소
 - 하이퍼튜브 분야 정부 R&D 과제 수는 연평균 6.2%로 증가하고 있으며, '16년 33건에서 '20년 42건으로 약 배 증가

〈표 3-1〉 국가 R&D 예산 및 하이퍼튜브 R&D 투자 현황

구분	'16	'17	'18	'19	'20
국가 R&D (A)	190,942	194,615	196,681	205,328	242,195
하이퍼튜브 R&D (B)	241	230	293	298	257
국가 R&D 중 하이퍼튜브 분야 투자 비중 (B/A)	0.13	0.12	0.15	0.15	0.11

(단위: 억 원)

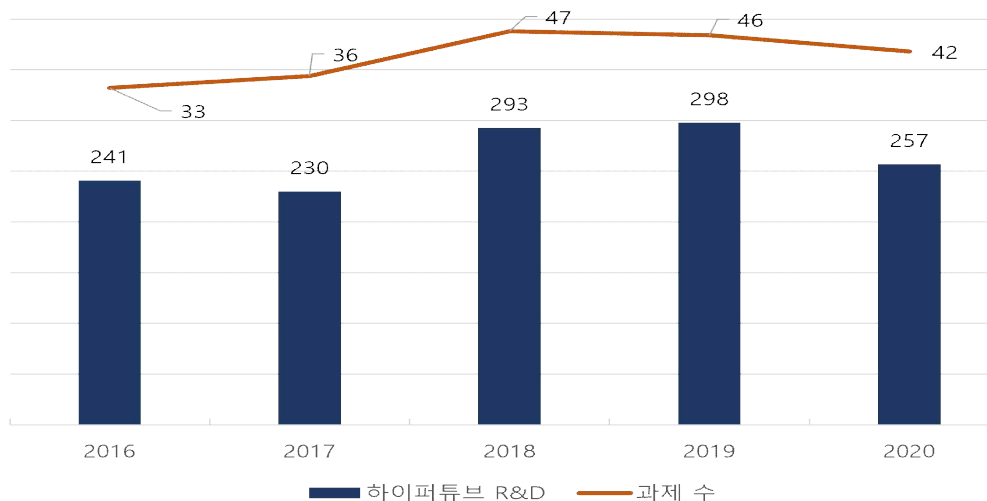


[그림 3-2] 국가 R&D 예산 및 하이퍼튜브 R&D 투자 현황

〈표 3-2〉 하이퍼튜브 R&D 예산 투자 현황 및 과제 현황

(단위: 억 원, 건)

구분	'16	'17	'18	'19	'20	합계	CAGR(%)
하이퍼튜브 R&D	241	230	293	298	257	1,319	1.6%
과제 수	33	36	47	46	42	204	6.2%



[그림 3-3] 하이퍼튜브 R&D 예산 투자 현황 및 과제 현황

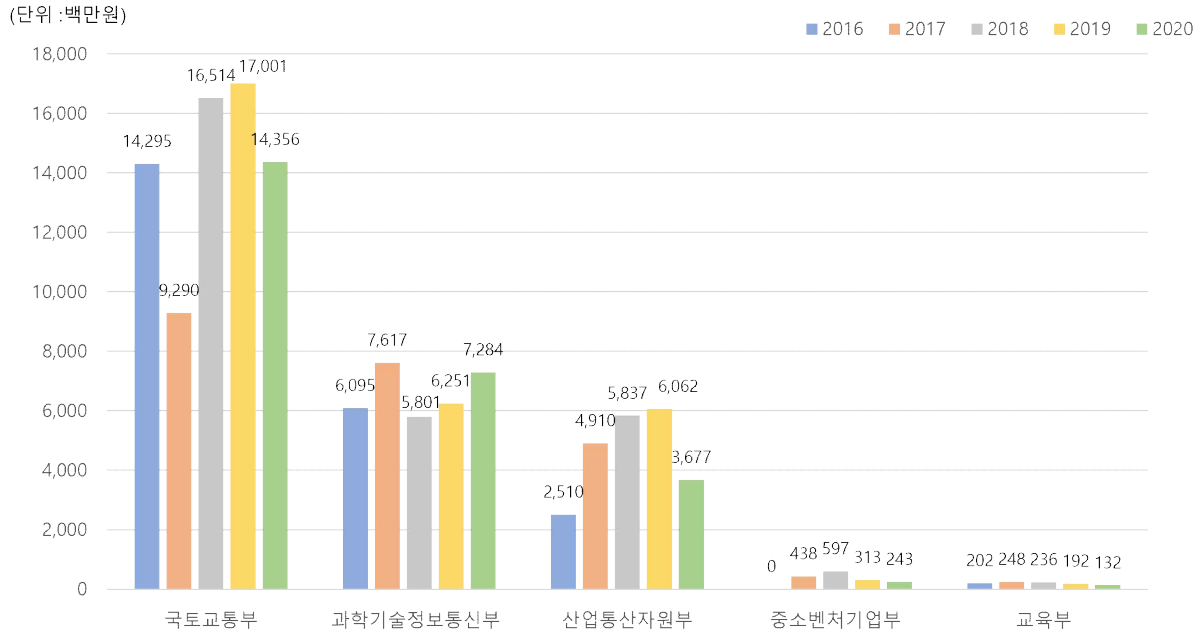
(2) 부처별 투자동향

- 최근 5년('16~'20년)간 하이퍼튜브 관련 R&D에는 국토교통부가 714억 원(54.2%)으로 가장 많이 투자
 - '16년 국토부 예산은 142억 원으로 과기부(60억 원), 산자부(25억 원) 등 다른 부처보다 높은 수준을 유지하였으며, 연평균 증가율이 '19년까지 5.9%로 높게 나타났으나, '20년에는 감소한 143억 원을 기록
 - 과기부는 '16년 60억 원에서 연평균 4.6%로 투자를 늘려 총 330억 원(17.4%)을 투자

〈표 3-3〉 부처별 하이퍼튜브 R&D 예산 투자 현황

(단위: 백만 원, %)

구분	'16	'17	'18	'19	'20	합계	비중
국토교통부	14,295	9,290	16,514	17,001	14,356	71,456	54.2
과학기술정보통신부	6,095	7,617	5,801	6,251	7,284	33,048	25.1
산업통상자원부	2,510	4,910	5,837	6,062	3,677	22,996	17.4
중소벤처기업부	-	438	597	313	243	1,591	1.2
교육부	202	248	236	192	132	1,010	0.8
환경부	480	479	320	-	-	1,279	1.0
중소기업청	505	-	-	-	-	505	0.4
합계	24,087	22,982	29,305	29,819	25,692	131,885	100



[그림 3-4] 부처별 하이퍼튜브 R&D 투자 규모 (5년간)

○ 국토부는 타 부처에 비해 대형 R&D 과제 위주로 투자

- 국토부는 총 714억 원을 70개 과제에 지원하고 있으며 과제 당 평균연구비는 약 10억 원 수준
- 과기부는 총 330억 원을 58개 과제에 지원하고 있으며 과제 당 평균연구비는 약 5억 원 수준으로 국토부에 비해 1/2 수준
- 산자부는 총 229억 원을 26개 과제에 지원하고 있으며 과제 당 평균연구비는 약 8억 원 수준

<표 3-4> 부처별 하이퍼튜브 R&D 투자현황 (연구비)

(단위: 백만 원, 개)

구분	정부연구비	과제수	과제 당 평균연구비
국토교통부	71,456	70	1,021
과학기술정보통신부	33,048	58	570
산업통상자원부	22,996	26	884
중소벤처기업부	1,591	14	114
교육부	1,010	30	34
환경부	1,279	3	426
중소기업청	505	3	168

(3) 연구단계별 투자동향

- 최근 5년('16~'20년)간 하이퍼튜브 관련 개발연구 분야의 R&D에 가장 많은 투자가 이루어지고 있으며, 연평균 2.4% 증가하는 추세
- 응용단계 연구는 연평균 15.5%로 지속적으로 증가하고 있으나, 기초단계 연구는 점점 감소하는 추세를 보이다가 '20년도에도 급격히 감소

〈표 3-5〉 연구단계별 하이퍼튜브 R&D 예산 투자현황

(단위: 백만 원, %)

구 분	기초연구	응용연구	개발연구	기 타
'16	5,289	4,442	14,330	26
'17	4,932	4,534	12,016	1,500
'18	3,928	6,204	16,818	2,355
'19	3,469	4,774	20,077	1,500
'20	993	7,892	15,768	1,040
합계	18,611	27,846	79,009	6,421
비 중	14.1	21.1	59.9	4.9
CAGR	△34.2	△15.5	△2.4	△151.5

- 과기부와 교육부를 제외한 부처에서 R&D 개발연구가 차지하는 비중이 가장 높으며, 특히 국토부는 전체 R&D의 97% 이상을 응용·개발연구에 투자

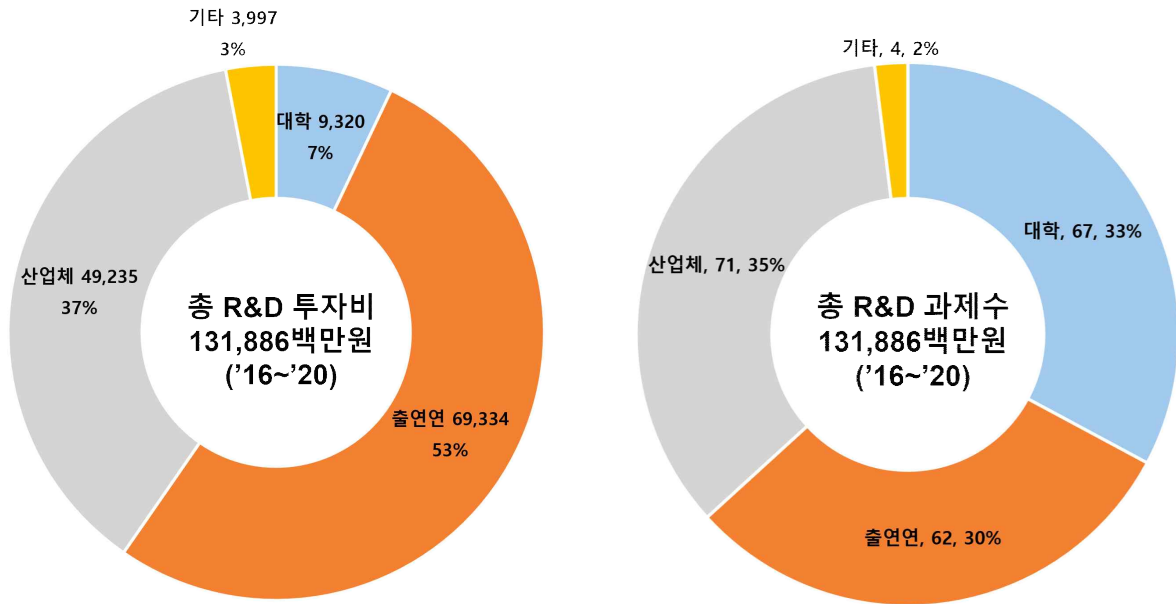
〈표 3-6〉 부처별 연구단계에 따른 하이퍼튜브 R&D 투자현황

(단위: 백만 원)

구 분	기초연구	응용연구	개발연구	기 타
국토교통부	2,076	23,250	46,129	-
과학기술정보통신부	15,609	4,330	12,608	15,609
산업통상자원부	-	180	16,896	5,920
중소벤처기업부	-	-	1,592	-
교육부	925	86	-	-
환경부	-	-	1,279	-
중소기업청	-	-	505	-
합계	18,610	27,846	79,009	21,529

(4) 연구수행주체별 투자동향

- 정부 R&D 투자금을 기준으로 출연연(53%), 산업체(37%), 대학(7%)으로 나타났으며, 과제 수 기준은 산업체(35%), 대학(33%), 출연연(30%) 비중으로 비슷한 수준



[그림 3-5] 수행주체별 하이퍼튜브 관련 R&D 투자현황 및 과제현황

- 대학과 산업체에 투입되는 정부연구비는 최근 5년('16~'20년)간 증가하는 추세를 보였으며, 출연연의 경우 '19년도까지 증가하다가 감소하는 추세

<표 3-7> 연도별 수행기관에 따른 하이퍼튜브 R&D 예산 투자 현황

(단위: 백만 원, %)

구분	대학	출연연구소	산업체	기타	총계
'16	1,156	13,246	9,685	-	24,087
'17	1,261	13,604	7,561	556	22,982
'18	2,322	15,719	9,629	1,635	29,305
'19	2,661	15,006	12,153	-	29,820
'20	1,920	11,759	10,207	1,806	25,692
합계	9,320	69,334	49,235	3,997	131,886
비중	7.1	52.6	37.3	3.0	100
CAGR	△13.5	△2.9	△1.3	-	△1.6

1.3. 특허 분석

1.3.1. 분석개요

□ 분석배경

- 중·장거리 교통기술의 발달과 도시집중화의 가속화로 인하여 도시 간 중·장거리 이동수단의 수요는 지속적으로 증가하고 있으며, 대중교통의 수송거리는 경제성장과 더불어 지속적인 증가추세이며, 고속도로의 경우 300km 이상 중장거리 이동 수요가 크게 증가하고 있는 추세
- 지역 간 대중교통 수송량 변화는 통행시간이 짧고 편리한 고속 교통수단의 선호현상이 뚜렷
- 지속적인 도시 집중화 현상으로 인해 2050년에는 전 세계 인구의 70% 이상이 대도시권에 거주하게 되는 메가 시티화가 진행될 것으로 예측되고, 도시지역 양극화와 글로벌화에 따른 문제 해소를 위해 교통 및 물류의 운송망 및 운송수단의 다변화와 효율화의 필요성이 요구되는 상황
- 다양한 미래 이동수단이 개발되고 있으나 초연결·초고속화에 적극적으로 대응할 수 있는 새로운 중·장거리 이동수단의 개발이 필요
- 하이퍼튜브는 시속 1,200km의 속도로 주행하는 신개념 초고속 교통 시스템으로 공기저항을 근본적으로 해결할 수 있는 아진공 주행 환경과 무인 자율주행 및 전자기력을 이용한 차량의 추진·부상하는 기술
- 신속성, 통행비용, 건설비, 친환경성 등을 고려하였을 때 이를 모두 만족할 수 있는 중·장거리 이동수단으로는 하이퍼튜브가 가장 적합
- 초고속 이동수단 관련 기술 개발은 관련 산업분야 뿐만 아니라 다양한 과학기술분야에서의 기술경쟁력 확보에도 기여할 것으로 예상되며, 초고속 이동수단 개발을 통해 창출된 성과물은 다양한 비즈니스 모델을 생성하여 관련 시장 선점에 기여할 것으로 전망

□ 분석 목적

- 본 특허동향조사는 국내 하이퍼튜브 관련 산업의 지속 성장을 유도하고 전략적 기획을 위해 하이퍼튜브 기술에 대한 특허 동향을 분석함으로써, 국내외의 기술 수준, 연구개발 동향을 파악하고, 우리나라의 기술 수준 및 연구개발 현황을 분석하여 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 정보를 제공하고자 함

1.3.2. 분석범위

□ 분석대상 특허

- 출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개

- 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2020~2021년 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 ~ 2019년 12월까지 한정

〈표 3-8〉 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WINTELIPS	~ 현재 (2021.10)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서
	일본	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서
	유럽	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서
	국제	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서

1.3.3. 분석대상 기술 및 검색식 도출

□ 기술분류체계

- 본 분석에서는 과제의 기술요약서를 기초로 연구범위내의 기술을 정량분석 대상으로 하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술 분야와 심층분석의 기술 분야를 동일하게 적용함
- 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)은 초고속 추진/부상/제어기술(AAA), 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)로 분류할 수 있고, 아진공 튜브 주행 차량기술(AB)은 아진공 차량 기술(ABA), 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)로 분류할 수 있고, 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)은 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술(ACA), 아진공 튜브 인프라 안전기술(ACB)로 분류할 수 있고, 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술(AD)은 하이퍼 튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA), 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)로 분류할 수 있음

〈표 3-9〉 분석대상 기술의 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
하이퍼튜브(A)	초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)	초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)
		고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)
	아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)	아진공 차량 기술(ABA)
		초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)
	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)	아진공 튜브 인프라 설계 및 기송기술(ACA)
		아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)
하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구(AD)	하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA)	
		하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)

□ 기술분류기준

- 본 분석에서는 과제의 기술자료 및 기획위원이 제공한 자료를 바탕으로, 자문회의를 통해 기술분류를 확립하여 분석을 수행함

〈표 3-10〉 분석대상 기술분류기준

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
하이퍼튜브(A)	초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)	초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 고온 초전도 선형 동기 모터 기술 ◆ 초전도 유도반발식 자기부상 및 주행 안전화 기술 ◆ 추진 전력제어시스템 기술 ◆ 초전도 자기부상 주행 대차기술
		고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 직류 전력급전망 엔지니어링 기술 개발 ◆ 고압 대용량 직류 급전 전력 설비 개발 ◆ 전력설비 신뢰성 개선기술
	아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)	아진공 차량 기술(ABA)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 경량화 및 기밀 캡슐 차체 기술 ◆ 차량 교효율 고밀도 전장기술 ◆ 캡슐차상 TCMS 및 진단제어기술 ◆ 하이퍼튜브용 HAVC 및 IAQ 유지기술 ◆ 차량 시스템 엔지니어링 및 안전기술
		초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 초고속 아진공 튜브 환경 전파기술 및 안테나 기술 ◆ 초고속 아진공 튜브환경에 적합한 무선통신 시스템 개발 기술
	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)	아진공 튜브 인프라 설계 및 기송기술(ACA)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 아진공 튜브 재료 기술 ◆ 아진공 튜브 구조 시스템 설계 기술 ◆ 아진공 튜브 제작 및 시공 기술 ◆ 아진공 튜브 지중 건설 기술 ◆ 아진공 튜브 공간분할 개폐장치 기술
		아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 아진공 튜브 안전진단 기술 ◆ 아진공 튜브 보수·보강 기술
	하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구(AD)	하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술 (ADA)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 하이퍼튜브 시스템 인터페이스 및 종합 성능 평가 기술 ◆ 하이퍼튜브 시스템 안전체계 기술 ◆ 하이퍼튜브 시스템 설계 최적화 기술
		하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Hyper-Station (역사 및 관제, 플랫폼, 분기기 등) 기술 ◆ 하이퍼튜브 교통연계 및 운영 최적화 기술

□ 핵심 키워드 도출

- 자문위원들이 제공한 하이퍼튜브 및 구성 기술, 세부기술 관련 키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 연구원들의 키워드 검토를 거쳐 2차 키워드를 도출하였음
- 중분류별 개별적 키워드 검색 외에, 대분류 키워드를 통한 검색식을 추가로 도출하였음

□ 검색식 도출 과정

- 본 보고서에 사용된 검색식은 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 전문위원들의 검토를 반영하여 최종 검색식을 완성함
- 기술분류별 검색식에 대하여, 개별적으로 검색한 결과 중복되는 문헌이 있고, 기술분류별 검색식으로 한정함에 따라 검색에서 제외될 수 있는 문헌들에 대한 추가 검색을 위해 하이퍼튜브 또는 자기부상 기술에 대한 대분류 키워드를 추가 완성함
- 하이퍼튜브와 관련이 없는 자기부상 기술에 대한 검색 결과가 많아, 자기부상 키워드 없이 하이퍼튜브 키워드만으로 대분류 검색식을 추가로 작성하여 검색하였으나, 검색 결과가 적어, 실제 자기부상 키워드 없는 2번째 대분류의 키워드 검색은 진행하지 않았음

□ 검색식

〈표 3-11〉 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELPIS
하이퍼튜브 (A)	초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)	초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)	(((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL).ap) and (b61*.ipc))) and (((추진* propel* propulsion* 추력* propul* 모터* 전동기* motor* 운전* 운행* drive* driving* drove* 승차감* 진동* 흔들림* 떨리* vibrat* ocsiliat* 주행* 레일* rail 전력* power* energy* 급전* (Electric* adj suppl*) recharg* charg*) near3 (제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag* 안정화* stabilit* stabilize* stabilization*)) ((고압* 고전압* high-current* high-volt* highvolt* 대용량* (large adj capacity)) near2 (인버터* inverter* converter* 컨버터* 레일* rail 추진* propel* propulsion* 추력* propul*)) ((위치* position* 자세* pose* posture* posing*) adj (검지* 검출* 감지* 탐지* 센싱* 계측* 측정* sensing detect* measur* recog* monitor*)) ((냉각* 쿨링* cooling* cool*) near2 (설비* equipment* facilities* 시스템* system* 기술* techni* engineer* 제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag*)) ((대차* 운반차* truck bogie (wheel adj truck) 주행장치 (주행* adj 장치*) (driv* adj (device* equipm*))))) near3
		고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)	

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
			(구조* structur* shape* 형태* 설계* 디자인* design*) ((전력* power* energy* 급전* (Electric* adj suppl*) recharg* charg* (전력 adj 망) (power adj grid) ESS* EMS*) near3 (설비* equipment* facilities* 시스템* system* 기술* techni* engineer* 제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag* 차단* block* 변환* 전환* chang* convert* switch*)) ((전력* power* energy* 급전* (Electric* adj suppl*) recharg* charg* (전력 adj 망) (power adj grid) 설비* equipment* facilities*) near3 (((사고* accident* danger* 비상* emergen*) near2 (방지* 억제* prevent* 예방* treatment* 처리*)) ((고압* 고전압* high-current* high-volt* highvolt*) adj (차단 차단* block* 변환* 전환* chang* convert* switch*))))))
아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)	아진공 차량 기술(ABA)		((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식 띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL)).ap) and (b61*.ipc))) and (((경량화* Lightning* 경량* Lightweight* 기밀* seal* 밀폐* 차폐* shield*) and (차체* body* 구조* struct* 전자파* electromagnetic*)) (형상* 모양* pattern* 생김새* 구조* structur* shape* 형태* 설계* 디자인* design*) ((차량* 차체* car* body* 고밀도* (high adj density) WBG* 고효율* (high adj efficiency)) near3 (전장* (electronic adj equipment) 전원* power* electr* algorism* algorithm* 제어* 컨트롤* control* manag*) ((대차* 운반차* truck bogie (wheel adj truck) 주행장치 (주행* adj 장치*) (driv* adj (device* equipm*))) near3 (시험* 실험* test* simula* 검증* verify*)) ((캡슐 capsul* pod* 포드 철도* 기차* 열차* 트레인* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재* vehicle* TCMS 안전* safety*) near3 (시험* 평가* test* exam* 검사* 점검* 테스트* 진단* 보수* 수리* mainatain* maintain* maintenance* repair* 검증* verify*)) (HVAC IAQ 여압* squeezing* pressur* ((산소* 공기* air* oxy*) near3 (supply* 공급* 투입* suppl* feed*))) (주파수* frequency* hi-frequency* frequenc* hertz* radiowave* electrowave* 전파* 무선* wireless* wire-less* 통신* communicat* network*))
	초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)		
아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)	아진공 튜브 인프라 설계 및 기술기술(ACA)		((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식 띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*))

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
		아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)	and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL)).ap) and (b61*.ipc))) and ((tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 캡슐 capsul* pod* 포드) near 2 (재료* 소재* 물질* material* ingredient* 구조* structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling* 시공* 공사* 건설* construction* build* construc* architecture* 개/폐* 개폐* (open* and clos*) 공간분할* (공간 adj 분할) (space* adj devision*) 인프라 Infrastructure* 시험* 평가* test* exam* 검사* 점검* 테스트* 진단* 보수* 수리* mainatain* maintain* maintenance* repair* 검증* verify* isolate* valve tunnel* maint* health*))
	하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구(AD)	하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술 (ADA)	((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식 띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL)).ap) and (b61*.ipc))) and (((시스템* system* apparat* equipment* equipment* 장치* 장비* 설비* 성능* performance* efficiency* performanc* ability* 방호* 사고* 보호* 안전* safety* security* 인터페이스* interface*) and (통합* 병합* 조합* 단일* unification* combine* combinat* unity* unification* integration* united* 시험* 평가* test* exam* 검사* 점검* 테스트* 진단* 보수* 수리* mainatain* maintain* maintenance* repair* 검증* verify*)) ((구조* structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling* 시공* 공사* 건설* construction* build* construc* architecture*) near2 (최적* optim*)) ((시스템* system* apparat* equipment* equipment* 장치* 장비* 설비* 구조* structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling*) near2 (방호* 사고* 보호* 안전* safety* security*) (RAMS Fail-safe (fail adj safe) RCM M&S (Modelling adj Simulation))) ((진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 저압 (low adj pressure) low-pressure) near2 (제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag* 안정화* stabil* stabilize* stabilization*)) (역사* station* 관제* control* manag* 플랫폼* platform* 분기기* 분기장치* branch* distributor* allotter* splitter* 운용* 운영* operat*) ((대중교통* 교통* traffic* 지하철* bus* taxi* 택시* 버스* subway* 여객* passenger* 물류* 물류* 화물* 탁송* shipment* freight* cargo* logistic* shipping*) near3 (연계* 연동* 관계* 릴레이션* 매핑* syncro* relation* association* ties* 운영* 운용* operate* manage*)) (HaaS))
		하이퍼튜브 시스템 운영 기술 (ADB)	

○ 본 기술분류체계에 따른 최종 검색식은 하기 표와 같음

〈표 3-12〉 대분류 기술에 따른 최종 검색식

대분류	검색식
	WINTELIPS
하이퍼튜브 (A)	((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*))

□ 검색결과

〈표 3-13〉 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
하이퍼튜브 (A)	초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)	초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)	((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL).ap) and (b61*.ipc))) and (((추진* propel* propulsion* 추력* propul* 모터* 전동기* motor* 운전* 운행* drive* driving* drove* 승차감* 진동* 흔들림* 떨리* vibrat* ocsiliat* 주행* 레일* rail 전력* power* energy* 급전* (Electric* adj suppl*) recharg* charg*) near3 (제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag* 안정화* stabiliz* stabilize* stabilization*)) ((고압* 고전압* high-current* high-volt* highvolt* 대용량* (large adj capacity)) near2 (인버터* inverter* converter* 컨버터* 레일* rail 추진* propel* propulsion* 추력* propul*)) ((위치* position* 자세* pose* posture* posing*) adj (검지* 검출* 감지* 탐지* 센싱* 계측* 측정* sensing detect* measur* recog* monitor*)) ((냉각* 쿨링* cooling* cool*) near2 (설비* equipment* facilities* 시스템* system* 기술* techni* engineer* 제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag*)) ((대차* 운반차* truck bogie (wheel adj truck) 주행장치 (주행* adj 장치*) (driv* adj (device* equipm*))) near3 (구조* structur* shape* 형태* 설계* 디자인* design*)) ((전력* power* energy* 급전* (Electric* adj suppl*) recharg* charg* (전력 adj 망) (power adj grid) ESS* EMS*) near3 (설비* equipment* facilities* 시스템* system* 기술* techni* engineer* 제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링*
		고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)	

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
			monitor* 관리* manag* 차단* block* 변환* 전환* chang* convert* switch*) ((전력* power* energy* 급전* (Electric* adj suppl*) recharg* charg* (전력 adj 망) (power adj grid) 설비* equipment* facilities*) near3 (((사고* accident* danger* 비상* emergen*) near2 (방지* 억제* prevent* 예방* treatment* 처리*)) ((고압* 고전압* high-current* high-volt* highvolt*) adj (차단 차단* block* 변환* 전환* chang* convert* switch*))))))
아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)	아진공 차량 기술(ABA)		((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기떡움 (자기 near2 떡움) 자석식떡움 (자석식 near2 떡움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL)).ap) and (b61*.ipc))) and (((경량화* Lightening* 경량* Lightweight* 기밀* seal* 밀폐* 차폐* shield*) and (차체* body* 구조* struct* 전자파* electromagnetic*)) (형상* 모양* pattern* 생김새* 구조* structur* shape* 형태* 설계* 디자인* design*) ((차량* 차체* car* body* 고밀도* (high adj density) WBG* 고효율* (high adj efficiency)) near3 (전장* (electronic adj equipment) 전원* power* elect* algorism* algorithm* 제어* 컨트롤* control* manag*) ((대차* 운반차* truck bogie (wheel adj truck) 주행장치 (주행* adj 장치*) (driv* adj (device* equipm*)))) near3 (시험* 실험* test* simula* 검증* verify*)) ((캡슐 capsul* pod* 포드 철도* 기차* 열차* 트레인* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재* vehicle* TCMS 안전* safety*) near3 (시험* 평가* test* exam* 검사* 점검* 테스트* 진단* 보수* 수리* mainatain* maintain* maintenance* repair* 검증* verify*)) (HVAC IAQ 여압* squeezing* pressur* ((산소* 공기* air* oxy*) near3 (supply* 공급* 투입* suppl* feed*))) (주파수* frequency* hi-frequency* frequenc* hertz* radiowave* electrowave* 전파* 무선* wireless* wire-less* 통신* communicat* network*))
	초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)		
아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)	아진공 튜브 인프라 설계 및 기송기술(ACA)		((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기떡움 (자기 near2 떡움) 자석식떡움 (자석식 near2 떡움) (자기 near2 궤도) maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL)).ap) and (b61*.ipc))) and ((tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 캡슐 capsul* pod* 포드) near 2 (재료* 소재* 물질* material* ingredient* 구조*
	아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)		

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
			<p>structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling* 시공* 공사* 건설* construction* build* construc* architecture* 개/폐* 개폐* (open* and clos*) 공간분할* (공간 adj 분할) (space* adj devision*) 인프라 Infrastructure* 시험* 평가* test* exam* 검사* 점검* 테스트* 진단* 보수* 수리* maintain* maintain* maintenance* repair* 검증* verify* isolate* valve tunnel* maint* health*)</p>
	하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구(AD)	하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술 (ADA)	<p>((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식 띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도 maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL)).ap) and (b61*.ipc))) and (((시스템* system* apparat* equipment* equipment* 장치* 장비* 설비* 성능* performance* efficiency* performanc* ability* 방호* 사고* 보호* 안전* safety* security* 인터페이스* interface*) and (통합* 병합* 조합* 단일* unification* combine* combinat* unity* unification* integration* united* 시험* 평가* test* exam* 검사* 점검* 테스트* 진단* 보수* 수리* maintain* maintain* maintenance* repair* 검증* verify*)) ((구조* structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling* 시공* 공사* 건설* construction* build* construc* architecture*) near2 (최적* optim*)) ((시스템* system* apparat* equipment* equipment* 장치* 장비* 설비* 구조* structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling*) near2 (방호* 사고* 보호* 안전* safety* security*) (RAMS Fail-safe (fail adj safe) RCM M&S (Modelling adj Simulation))) ((진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 저압 (low adj pressure) low-pressure) near2 (제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag* 안정화* stabilit* stabilize* stabilization*)) (역사* station* 관제* control* manag* 플랫폼* platform* 분기기* 분기장치* branch* distributor* allotter* splitter* 운용* 운영* operat*) ((대중교통* 교통* traffic* 지하철* bus* taxi* 택시* 버스* subway* 여객* passenger* 물류* 물류* 화물* 탁송* shipment* freight* cargo* logistic* shipping*) near3 (연계* 연동* 관계* 릴레이션* 매핑* syncro* relation* association* ties* 운영* 운용* operate* manage*)) (HaaS))</p>
		하이퍼튜브 시스템 운영 기술 (ADB)	<p>((초전도* superconduct* 캡슐 capsul* pod* 포드 자기부상 (자기 near2 부상) 자석식부상 (자석식 near2 부상) 자기 띄움 (자기 near2 띄움) 자석식 띄움 (자석식 near2 띄움) (자기 near2 궤도 maglev* (magnet* near levitat*) (magnet* near track*) (magnet* near rail*) 마그레브 maglev* 하이퍼루프* hyperloop* 하이퍼튜브* hypertube* (hyper adj loop) (hyper adj tube*)) and (tabula 튜브* tube* tubular 파이프* pipe* 진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 아음속* 음속* 소닉* sonic* subsonic* 초음속* SUPERSONIC* 저압 (low adj pressure) low-pressure) and ((B61*).ipc) and (철도* 기차* 열차* railroad* railway* (rail* adj road*) (rail* adj way*) train* transport* transit* 차량* 차재*)) or (((thyssenkrupp (RAILWAY adj TECHNICAL)).ap) and (b61*.ipc))) and (((시스템* system* apparat* equipment* equipment* 장치* 장비* 설비* 성능* performance* efficiency* performanc* ability* 방호* 사고* 보호* 안전* safety* security* 인터페이스* interface*) and (통합* 병합* 조합* 단일* unification* combine* combinat* unity* unification* integration* united* 시험* 평가* test* exam* 검사* 점검* 테스트* 진단* 보수* 수리* maintain* maintain* maintenance* repair* 검증* verify*)) ((구조* structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling* 시공* 공사* 건설* construction* build* construc* architecture*) near2 (최적* optim*)) ((시스템* system* apparat* equipment* equipment* 장치* 장비* 설비* 구조* structur* 디자인* constructur* design* 모델링* 설계* modeling*) near2 (방호* 사고* 보호* 안전* safety* security*) (RAMS Fail-safe (fail adj safe) RCM M&S (Modelling adj Simulation))) ((진공* vacuum* evacuat* 아진공* subvacuum* 저압 (low adj pressure) low-pressure) near2 (제어* 컨트롤* 조정* 통제* 조절* control* 모니터링* monitor* 관리* manag* 안정화* stabilit* stabilize* stabilization*)) (역사* station* 관제* control* manag* 플랫폼* platform* 분기기* 분기장치* branch* distributor* allotter* splitter* 운용* 운영* operat*) ((대중교통* 교통* traffic* 지하철* bus* taxi* 택시* 버스* subway* 여객* passenger* 물류* 물류* 화물* 탁송* shipment* freight* cargo* logistic* shipping*) near3 (연계* 연동* 관계* 릴레이션* 매핑* syncro* relation* association* ties* 운영* 운용* operate* manage*)) (HaaS))</p>

〈표 3-14〉 최종 기술분류별 검색식에 따른 검색 결과

대분류	중분류	소분류	한국	미국	일본	유럽	국제	합계	
하이퍼튜브 (A)	초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)	초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)	17	25	264	7	11	324	
		고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)							
	아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)	아진공 차량 기술(ABA)	37	95	751	47	43	973	
		초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)							
	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)	아진공 튜브 인프라 설계 및 기술(ACA)	29	94	557	51	37	768	
		아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)							
	하이퍼큐브 시스템 통합 및 시험평가 연구(AD)	하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술 (ADA)	20	95	313	45	42	515	
		하이퍼튜브 시스템 운영 기술 (ADB)							
	총합계			103	309	1,885	150	133	2,580
	기술분류별 중복 문헌 제거된 총합계			43	114	1,010	66	54	1,287

〈표 3-15〉 최종 대분류 기술 키워드 검색식에 따른 검색 결과

대분류	한국	미국	일본	유럽	국제	합계
하이퍼튜브 (A)	370	345	472	160	139	1,486
총합계	370	345	472	160	139	1,486

1.3.4. 유효특허 선별 기준

□ 하이퍼튜브 기술의 Raw Data에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용

〈표 3-16〉 유효특허 선별기준

대분류	중분류	소분류	유효특허추출기준
하이퍼튜브 (A)	초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)	초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)	하이퍼루프 하이퍼튜브에 사용되는 지상전자레일 기술, 초전도 유도반발식 자기부상 기술, 주행 안정화 기술, 부상 열차에 대한 전력 제어 기술, 주행 대차의 구조체 기술
		고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)	열차의 전력 급전망 기술, 전력 시스템 기술, 급전 설비 및 컨버터 시스템, 고압 직류 차단기, 사고 방지 기술, 스위칭 기술
	아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)	아진공 차량 기술(ABA)	차체 경량과 기밀 및 전자파 차폐 기술, 차체 회부 형상 기술, 고밀도 전장기술, 캡슐 차상 전장 및 진단 제어 기술, 하이퍼튜브용 여압 산소 공급 기술
		초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)	아진공 튜브 환경에서의 주파수 및 전파 모델 기술, 안테나 기술, 무선접속 기술, 무선통신 기술
	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술 (AC)	아진공 튜브 인프라 설계 및 기술기술(ACA)	아진공 튜브 재료, 특수 강재, 구조 시스템, 전자레일지지 가이드웨이 기술, 튜브 제작, 연결 시공 설계 등 건설 기술
		아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)	아진공 튜브 손상 정밀 탐지, 드론 기반 외부 손상 탐지, 변형 모니터링 기술, 보수 보강 기술, 교체 기술
	하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구 (AD)	하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능검증 기술(ADA)	시스템 통합, 성능 평가, 종합 계측, 목표 관리, 안전 체계 기술, 건설 최적화, 공기업 분석 안전 관리 기술
		하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)	역사 및 플랫폼 설계, 운행 관제 기술, 분기기 기술, 연계교통 기술, 여객 및 물류 기술

1.3.5. 유효특허 선별 결과

□ 위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과, 하이퍼튜브 관련 기술이 943건 도출

- 상세하게는 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)은 236건, 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)은 254건, 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)은 245건, 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술(AD)은 208건으로 나타났음
- 상기 기술분류는 유효특허로 선별된 건들 중에서 여러 기술분류로 중복 분류된 건들을 반영한 것으로, 각 기술분류의 합이 전체 검색 건수의 합보다 많음

〈표 3-17〉 하이퍼튜브의 유효특허 선별결과

기술분류		검색건수 (필터링 후)					
		KR	US	JP	EP	WIPO	합계
AA	AAA	54	42	18	13	14	141
	AAB	20	33	15	7	20	95
AB	ABA	53	31	95	25	11	215
	ABB	3	14	19	2	1	39
AC	ACA	36	78	43	22	42	221
	ACB	13	3	4	2	2	24
AD	ADA	25	11	23	5	3	67
	ADB	20	20	83	11	7	141
총계		224	232	300	87	100	943

1.3.6. 특허기술동향조사 분석방법

□ 본 분석에서는 하이퍼튜브 기술 분야의 특허기술 분석, 세부기술 분석 및 심층 분석으로 나누어 분석

(1). 특허기술 분석

□ 특허기술 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 기술개발 활동현황, 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 특허기술성장단계 파악 및 국가 간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 특허기술 동향을 분석

- 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구 주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석

(2). 세부기술 분석

□ 세부기술 분석에서는 세부기술별 연도별 특허출원 동향, 세부기술별 IP 출원국 분석 등을 통해 세부기술별 특허기술 동향을 분석

- 세부기술별로 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석

(3). 심층분석

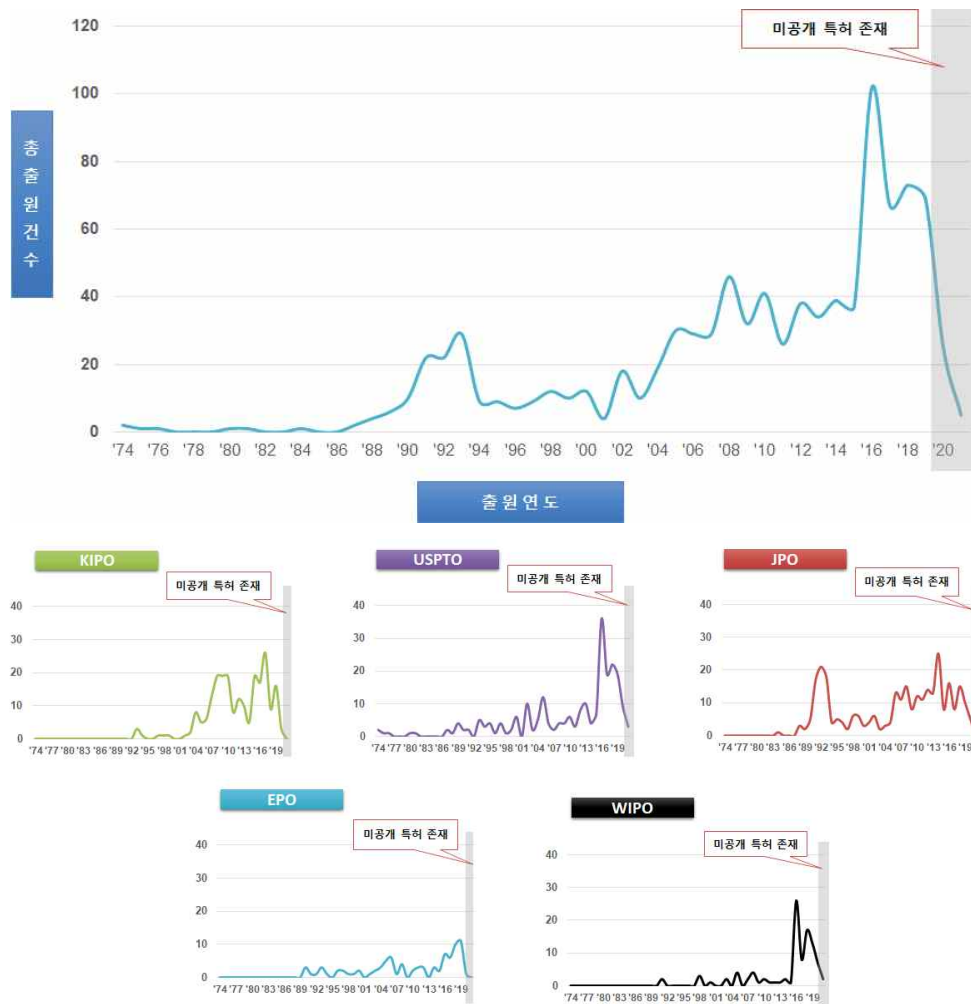
□ IP 부상도 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽에서의 이전 구간 대비출원증가율, 출원 점유율을 분석하여 특허 관점에서의 해당 기술 분야 부상 정도를 판단

- 세부기술별로 구간별 특허출원 동향, 주요시장국별 세부기술 동향, 다출원인의 특허 동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 특허와의 관계를 분석

1.3.7. 특허기술 Landscape

(1). 국가별 분석

□ 주요출원국 연도별 특허동향



[그림 3-6] 전체 연도별 동향

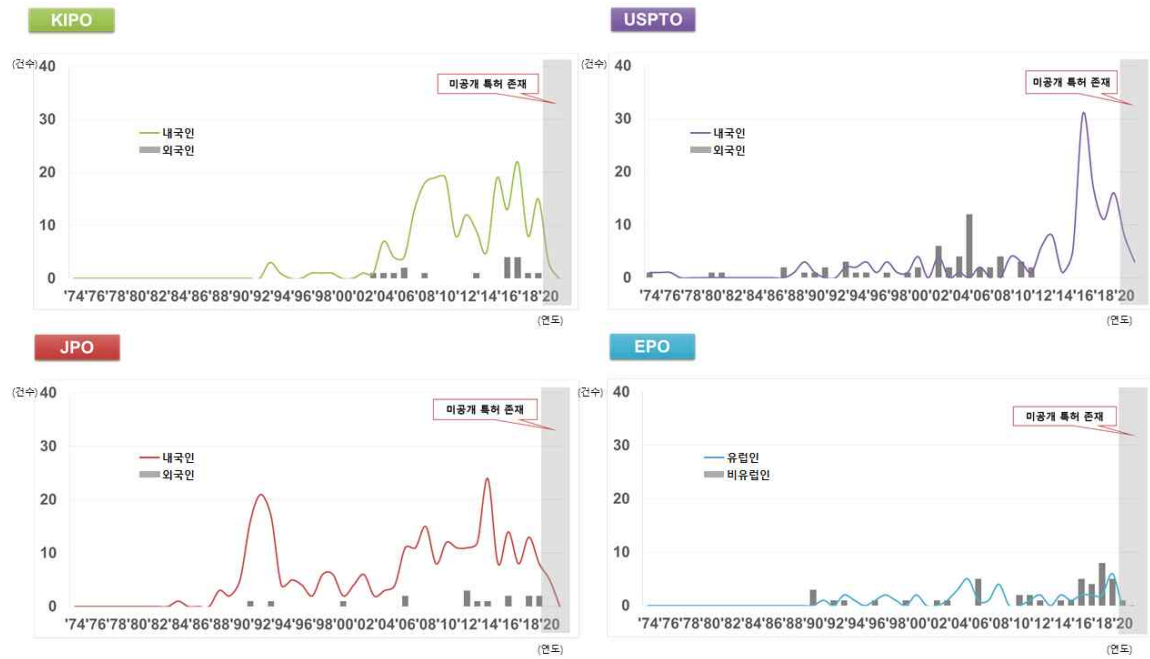
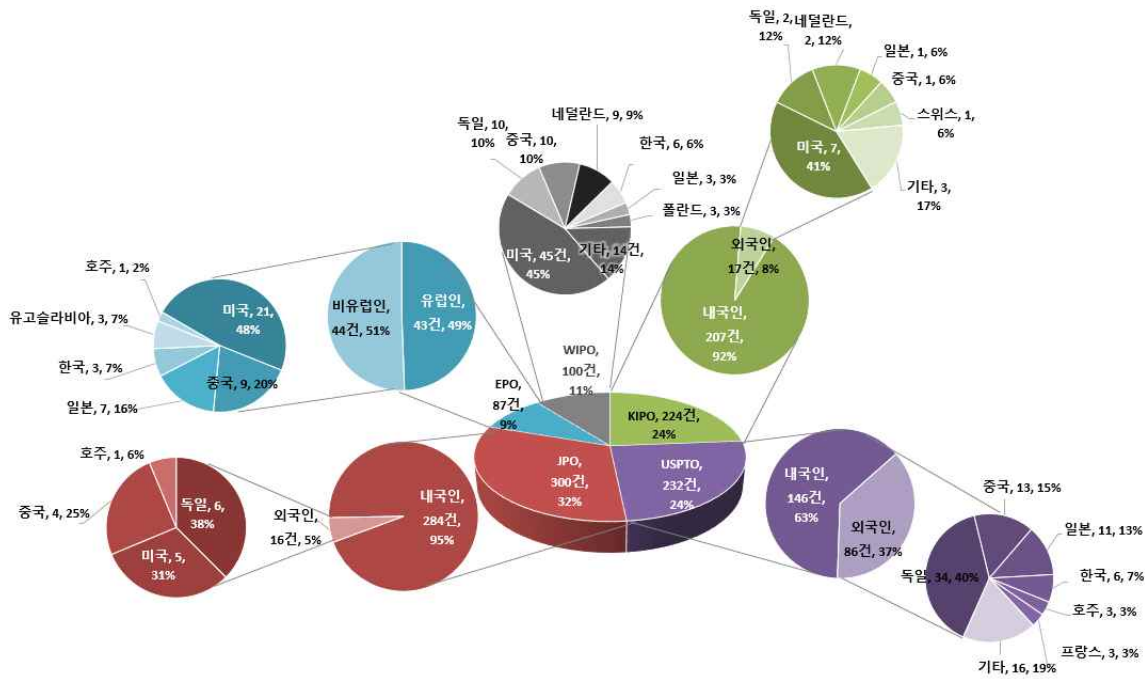
- 하이퍼튜브 기술의 전체 연도별 특허동향을 살펴보면 1974년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를

보이다가 '90년대 초반 본격적인 출원활동이 이루어졌으며, 2016년에 102건을 출원하여 최다 건을 기록

- 특히, 하이퍼튜브에 직접 관련된 기술로만 한정하기 위해 자기부상 키워드를 제외하고 검색한 경우에는 노이즈를 포함한 검색 건수가 135건에 불과하여, 자기부상에 대한 키워드를 포함하여 조사하였고, 이에 따라 1990년대 초반의 급격한 출원 건수가 확인
- 현재 하이퍼튜브에 대한 활발한 연구 및 이에 따른 위 그래프와 같은 출원 건수의 증가 양상으로 볼 때 해당 분야의 특허출원 건수는 꾸준히 증가할 것으로 전망
- 주요시장국 중 일본, 미국과 한국이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사되었으며, 2020년 이후 특허출원이 감소하는 것은 2020년 4월 이후 출원한 특허출원이 아직 공개되지 않아 이러한 특허 기술들이 배제되어 감소하는 것으로 나타남
 - 주요시장국의 연도별 특허동향을 살펴보면, [한국]은 1993년에 출원이 시작되었으며, 2004년에 급격한 증가폭을 이루며 활발히 출원하기 시작하였고 2010년 이후에 다소 출원이 감소하였다가 최근에 다시 출원 건수가 증가한 것으로 나타남
 - [미국] 1974년대부터 꾸준히 자기부상 기차 관련 출원을 시작하였고, 전체적으로 다소 증감을 반복하고 있으나, 전체적으로 증가세를 보이고 있으며, 특히 2016년 이후 출원 건수가 급증
 - [일본] 1990년에서 1993년 사이에 출원 건수가 급증한 것으로 나타났는데 이 당시의 출원은 하이퍼 튜브 기술보다는 하이퍼튜브에 적용되는 자기부상 열차 관련 출원이 활발했던 것으로 보이며, 1993년 이후에는 이전보다 출원 건수가 다소 줄어든 것으로 나타났지만 전체적으로는 완만히 증가하는 추세
 - [유럽] 1990년부터 지속적인 출원을 하고 있으며, 출원 건수의 기복을 보이다가 2018년도에 10건, 2019년에 11건으로 최근 출원 건수가 증가하는 추세로 판단
 - [국제출원] 1990년 이후, 5건 내외의 기복이 있는 완만한 출원 건수를 보이다가 2016년 이후, 최근에 이르러 출원이 증가한 것으로 나타났음

□ 주요출원국 내·외국인 특허출원 현황

- 하이퍼튜브 기술에서의 각 주요시장국의 내외국인 특허출원현황을 살펴보면, 일본에서의 출원 건수가 300건으로 전체 32%를 차지하여 비중이 가장 높았음
- 대부분의 국가에서 내국인에 의하여 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 유럽에서는 유럽인과 비유럽인이 비슷한 수준으로 출원 활동을 하고 있는 것으로 나타났음

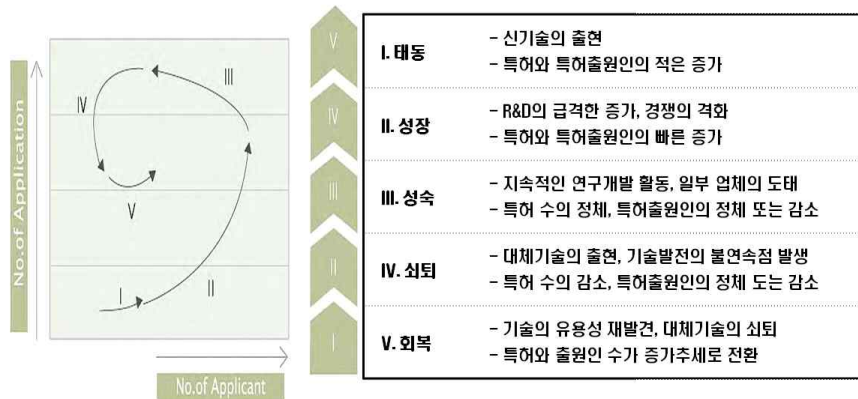


[그림 3-7] 주요출원국 내·외국인 특허출원현황

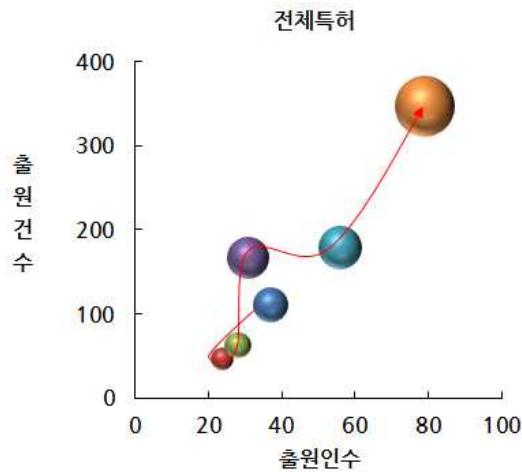
- 한국, 일본은 내국인에 의해 출원이 주도되고 있으며, 미국은 내국인, 외국인의 출원 비율이 비슷하다가 최근에는 내국인에 의한 급격한 출원 건수 증가가 있는 것으로 나타났고, 유럽은 비유럽인과 유럽인의 출원 활동이 비슷하게 이루어지다가 최근 비유럽인의 출원 활동이 증가한 것으로 나타났음

(2). 기술 성장단계 파악

□ 국가별 기술성장단계 파악

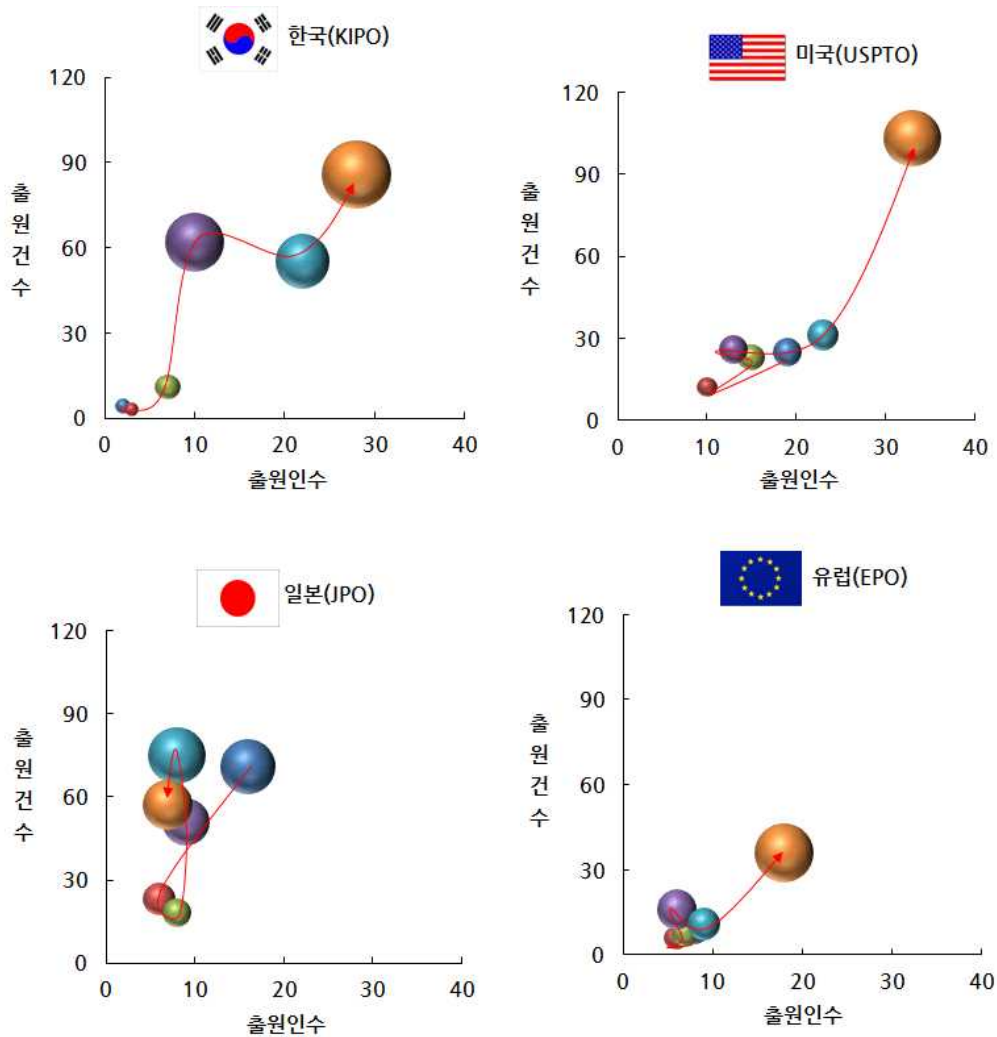


구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
연도	'94 이전	'95~'99	'00~'04	'05~'09	'10~'14	'15~'19



[그림 3-8] 전체 통합 기술 성장단계

- 하이퍼튜브 기술 관련 분야의 전체 기술 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 6개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음. 각 구간은 1구간(1994년 이전), 2구간(1995~1999), 3구간(2000~2004), 4구간(2005~2009), 5구간(2010~2014), 6구간(2015~2019)으로 나누었음
- 포트폴리오로 나타낸 전체특허의 기술 위치는 2구간(1995~1999)에서 6구간(2015~2019)까지 출원 건수와 출원인의 수가 함께 증가하는 성장기 단계에 있는 것으로 나타남. 1구간에 비해 2구간의 출원 인수와 출원 건수가 감소하는 것으로 나타났으나 실제 2구간 이전에는 하이퍼튜브에 대한 실질적인 연구가 없었고, 자기부상 열차에 대한 출원만이 있었기 때문에 최근의 하이퍼튜브 기술에 관한 내용으로 한정하면, 2구간 및 6구간에서 출원 건수 및 출원인수가 함께 증가하는 성장기에 있다고 보는 것이 타당할 것



[그림 3-9] 국가별 기술성장 단계

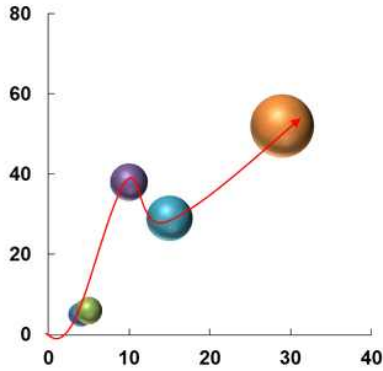
- [KIPO] 한국특허의 기술위치는 3구간(2000~2004) 이후, 출원 건수와 출원인이 꾸준히 증가하는 성장기 단계에 있는 것으로 나타남. 특히, 3구간(2000~2004) 과 4구간(2005~2009) 사이에서 출원인수 및 출원건수의 변화가 상당히 나타남
- [USPTO] 미국특허의 기술위치는 1구간(1994년 이전)에서 2구간(1995~1999)까지 감소하는 것으로 나타났고, 2구간(1995~1999) 이후 출원인수와 출원건수가 증가하는 것으로 나타남. 1구간에서의 기술 대부분은 자기부상 열차 관련 기술이 대부분이므로 하이퍼튜브 기술에 대한 미국특허의 기술 위치는 성장기에 있다고 판단됨
- [JPO] 일본특허의 경우 1구간(1994년 이전)에서 출원건수와 출원인수가 최대였다가 2구간(1995~1999)이후 출원인수와 출원건수가 다소 감소였고, 그 이후 구간에서는 출원인수는 감소 하였으나 출원건수는 증가하였다가 다소 감소하는 것으로 나타나 성숙기 초입에 있다고 판단됨
- [EPO] 유럽특허의 기술위치는 미국특허의 기술위치와 유사한 그래프를 보이고 있는 것으로 나타남. 2구간(1995~1999)부터 출원인수와 출원건수가 증가하고 있으므로 성장기에 있다고 판단

□ 기술별 기술성장단계 파악

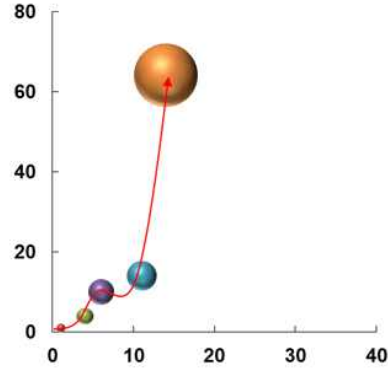
○ 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
연도	'94 이전	'95~'99	'00~'04	'05~'09	'10~'14	'15~'19

초고속 추진/부상/제어기술 (AAA)



고효율 대용량 급전 전력 제어 기술 (AAB)



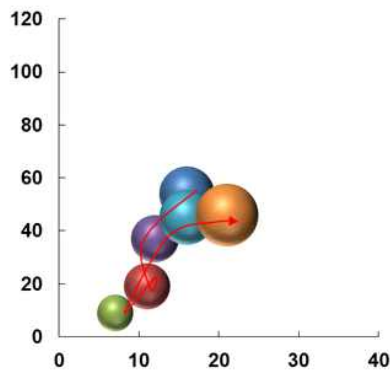
[그림 3-10] 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)의 단위 기술 성장단계

- 포트폴리오로 나타난 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)의 단위기술들 중 초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)는 1구간에서 6구간까지 출원인수와 출원건수가 증가하고 있으므로 성장기에 있다고 판단
- 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)의 경우 1구간에서 6구간까지 출원인수와 출원건수가 증가하고 있어 성장기에 있다고 판단됨. 특히, 5구간부터 6구간까지 변화폭이 큰 것으로 나타났음

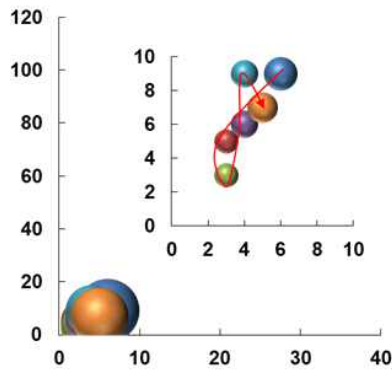
○ 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
연도	'94 이전	'95~'99	'00~'04	'05~'09	'10~'14	'15~'19

아진공 차량 기술 (ABA)



초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)



[그림 3-11] 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB) 단위 기술 성장단계

- 포트폴리오로 나타난 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)의 아진공 차량 기술(ABA)는 1구간에서

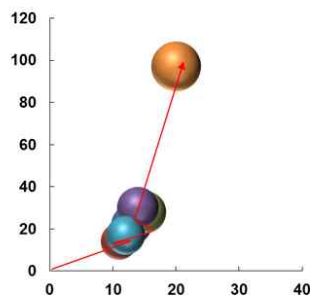
3구간 사이에서 출원인수와 출원건수가 감소하다가 4구간에서 6구간 사이에는 출원건수와 출원인수가 다시 증가하는 회복기를 보이고 있음. 하이퍼튜브에 직접 관련된 최근 4구간 이상에서는 성장기에 있는 것으로 파악됨

- 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)은 1구간에서 6구간 사이로 출원인수와 출원건수가 대체적으로 증가하는 성장기의 형태를 보이고 있으나, 검색된 건수가 많지 않아 성장 단계 파악의 큰 의미는 없음

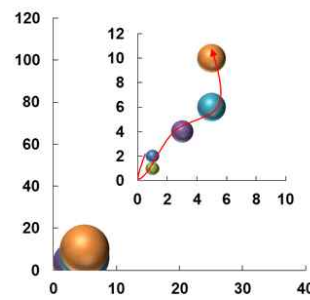
○ 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술 (AC)

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
연도	'94 이전	'95~'99	'00~'04	'05~'09	'10~'14	'15~'19

아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술 (ACA)



아진공 튜브 인프라 안전기술 (ACB)



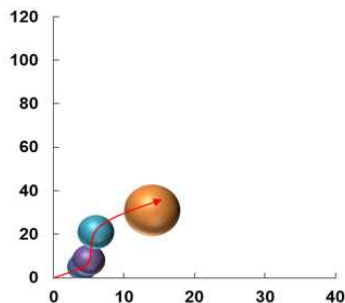
[그림 3-12] 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC) 단위 기술 성장단계

- 포트폴리오로 나타낸 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)의 단위기술들은 1구간부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨
- 아진공 튜브 인프라 안전기술(ACB)의 경우 검색 건수가 많지 않아 성장 단계 파악의 큰 의미는 없음

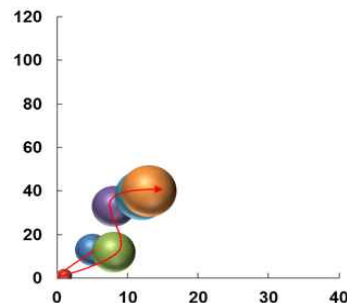
○ 하이퍼튜브 시스템 운영 통합 및 시험 평가 연구 기술(AD)

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
연도	'94 이전	'95~'99	'00~'04	'05~'09	'10~'14	'15~'19

하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술 (ADA)



하이퍼튜브 시스템 운영 기술 (ADB)



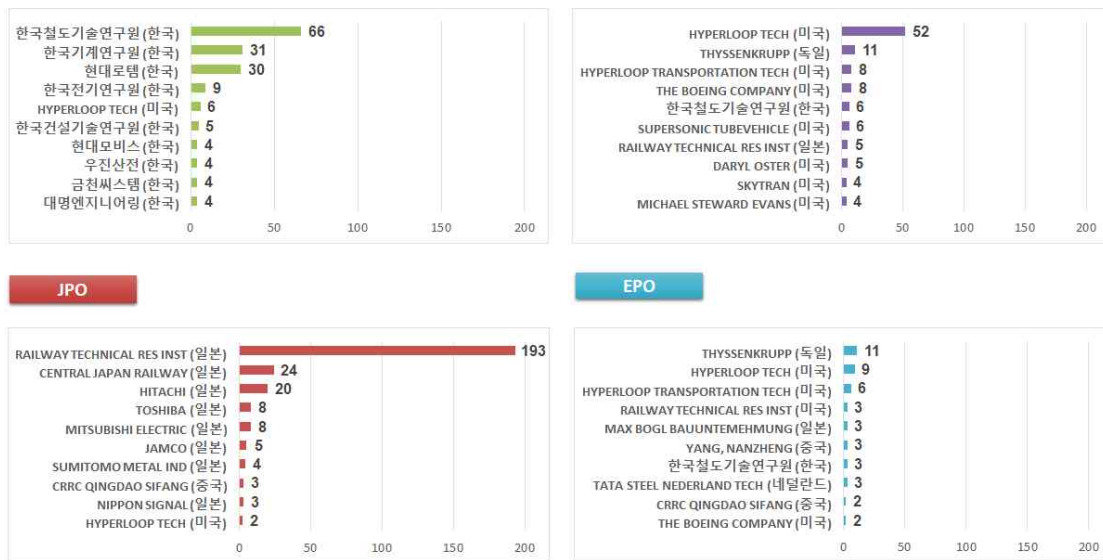
[그림 3-13] 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(AD) 단위 기술 성장단계

- 포트폴리오로 나타낸 하이퍼튜브 시스템 운영 통합 및 시험 평가 연구 기술(AD)의 단위기술들은 1구간에서부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

- 출원건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고, 출원인수의 증가는 시장의 신규진입자가 증가하는 것을 의미하며, 이는 해당기술분야의 시장이 커지고 있다는 것을 의미함
- 태동기 단계에서는 출원인과 출원건수가 활발하게 진행되는 단계로써 연구활동이 활발한 것을 판단할 수 있으며, 성숙기 단계는 출원건수 및 출원인의 증가율이 낮아지면서 시장진입자들이 빠져나가는 단계임. 쇠퇴기 단계는 출원인뿐 아니라 출원건수도 감소하여 해당기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있음. 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 현 시장에 맞는 기술들이 다시 개발되어 새로운 아이디어와 함께 시장이 재형성되는 단계로 볼 수 있음
- 해석 및 활용 시 유의사항 : 모든 출원국은 속지주의 원칙, 즉 동일한 발명에 대하여 상이한 국가에서 획득한 특허는 각각 독립적으로 해당국가의 법률에 따라 존속소멸한다는 원칙에 따라 독립적으로 권리의 효력이 발생하기 때문에, 해당출원국가에 특허출원한다는 것은 해당 시장에서 권리를 이행하려는 의지가 있다고 볼 수 있음. 이에 출원국가별로 해당기술의 시장 및 개발현황을 비교해봄으로써, 어느 시장이 활발한지, 기술개발형성이 어디까지 진행되었는지 판단할 수 있음. 주요 시장국과 우리나라의 상황을 비교해보고, 우리나라보다 기술개발단계가 앞서있는 시장국을 파악하여, 현재 기술개발과 기술 시장에 진입하기 위한 기술적인 강점은 무엇이며, 기회요인이 어떤 것들이 있는지 연구기획시 주도 면밀하게 분석해야 할 것

(3). 경쟁자 분석

□ 주요시장국 상위 출원인 현황



[그림 3-14] 주요 시장국 상위 출원인 현황

- 한국에서는 한국철도기술연구원(한국), 한국기계연구원(한국) 및 현대로템(한국)이 타 주요출원인에 비해 많은 출원을 하여 기술시장을 선도하고 있다고 판단되며, 주요출원인 대부분이 한국 국적의 출원인으로 나타났음

- 미국에서는 HYPERLOOP TECH(미국)가 52건으로 최다출원인으로 나타났으며, 독일과 한국, 일본의 출원인들이 활발한 특허출원활동을 진행하고 있는 것으로 나타남
- 일본에서는 RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 압도적으로 많은 출원 건수인 193건을 출원하였고 주요출원인 대부분이 일본 국적의 출원인으로 나타남
- 유럽에서는 THYSSENKRUPP(독일)가 주요 출원인으로 나타났으며, HYPERLOOP TECH(미국), HYPERLOOP TRANSFORTATION TECH(미국)가 그 뒤를 따르고 있고, 유럽인뿐만 아니라 미국, 일본, 한국의 출원인들이 활발한 특허 출원을 진행하고 있는 것으로 나타남

□ **주요 경쟁자 현황 및 IP로 본 출원국**

- 하이퍼튜브의 주요 출원인을 살펴보면, 일본의 RAILWAY TECHNICAL RES INST가 가장 많은 출원을 한 출원인으로 나타났고, 그 뒤로, 미국의 HYPERLOOP TECH와 한국의 한국철도기술 연구원이 각각 상위 2~3위를 차지하고 있어, 본 과제에 대해 일본 국적의 출원인에 의한 관심도가 상당히 높은 것으로 분석되며, 이들 중 일본의 RAILWAY TECHNICAL RES INST은 본 과제 관련 출원건이 총 203건으로 타 주요출원인에 비해 출원건수가 압도적으로 많은 것으로 파악
- 최근 5년간의 특허출원 증가율을 살펴보면, 주요출원인들 중 한국철도기술연구원(한국), HYPERLOOP TECH(미국), HYPERLOOP TRANSFORTATION TECH(미국)의 출원이 최근 활발하게 증가하고 있으며, 특히 한국철도기술연구원(한국)은 최근 5년간 특허 증가율이 221.4%였으며, HYPERLOOP TECH(미국)와, HYPERLOOP TRANSFORTATION TECH(미국)의 최근 출원 건수는 각각 92건 및 20건으로 크게 증가하였음
- 주요출원인 중 RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)는 대부분 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(AD)에 주력하여 출원하였고, 한국철도기술연구원(한국)은 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)에 주력하여 출원하였고, HYPERLOOP TECH(미국), HYPERLOOP TRANSFORTATION TECH(미국)는 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)에 주력하여 출원하였음

(4) **소결**

- 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1974년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 '90년대 초반 본격적인 출원활동이 이루어졌으며, 2016년에 102건을 출원하여 최다 건을 기록하였음. 이와 같은 양상으로 볼 때 해당 분야의 특허출원 건수는 꾸준히 증가할 것으로 전망됨(주요시장국 中 일본, 미국, 한국이 시장을 주도하고, 2016년 이후에는 미국과 한국이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사됨)
- 1980년대 말에서 1990년 초반에는 현재의 하이퍼튜브와는 직접적인 관련이 없는 자기 부상 열차에 대한 개발 붐에 의해 급격한 출원 건수가 있었고, 2010년대 후반에 하이퍼튜브에 대한 연구가 활발히 진행되면서, 급격한 증가세를 이어가고 있음. 다만, 하이퍼튜브에 대한 연구 기관의 수가 일반 기술에 비해 많지 않고, 기술 자체가 일반 기업을 대상으로 판매하는 제품에 대한 것이 아니기

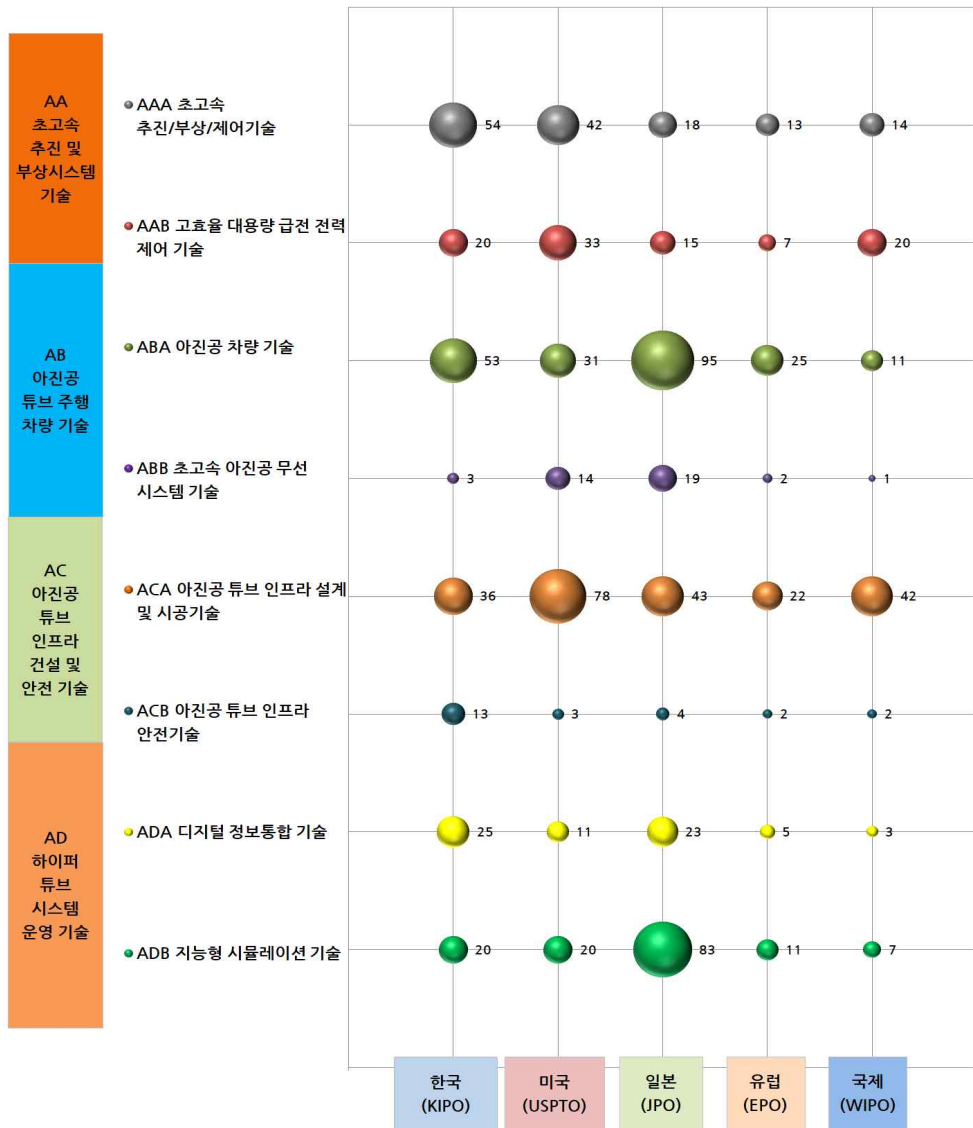
때문에 출원 건수 자체는 크지 않음

- 또한, 모든 주요시장국들의 특허출원건수가 현재까지 증가와 감소를 반복하고 있는 것으로 조사되었으나, 대체적으로 현재까지 증가하는 추세를 보이고 있음(특히 일론 머스크가 진공튜브 캡슐 열차를 공개한 2013년 이후 급격히 출원 건수가 증가하고 있음)
- 주요시장 내외국인 특허출원현황을 살펴보면, 일본에서의 출원 건수가 300건으로 전체 32%를 차지하여 비중이 가장 높았음. 미국과 유럽은 최근 외국인의 출원활동이 활발해졌으며, 한국과 일본은 외국 국적의 출원인에 비해 내국인의 출원인의 출원활동이 활발하였음. 특히, 유럽은 비유럽인과 유럽인의 출원 활동이 비슷하게 이루어지다가 최근 비유럽인의 출원 활동이 증가한 것으로 나타났음
- 기술시장 성장단계를 살펴보면, 전체 특허의 기술 위치는 성장기에 있는 것으로 판단됨. 2구간은 1구간에 비해 출원인수와 출원건수가 감소하는 것으로 나타났으나, 하이퍼튜브에 대한 실질적인 연구가 이루어진 2010년 이후만 보면, 성장기에 있는 것으로 보는 것이 타당할 것임
- 포트폴리오로 나타낸 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)의 단위 기술들 중 - 초고속 추진/부상/제어기술(AAA)은 1구간에서 6구간까지 출원인수와 출원 건수가 증가하는 성장기에 있는 것으로 파악되며, 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)도 경우 1구간에서 6구간까지 출원인수와 출원건수가 증가하는 성장기 있는 것으로 판단됨. 또한, 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB), 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC) 및 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(AD)도 출원인수와 출원건수가 계속 증가하는 성장기에 있는 것으로 파악됨
- 한국에서는 한국철도기술연구원(한국)이 66건, 미국에서는 HYPERLOOP TECH(미국)이 52건, 일본에서는 RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 193건 출원한 것으로 나타났음
- 최근 5년간의 특허출원 증가율을 살펴보면, 주요출원인들 중 한국철도기술연구원(한국), HYPERLOOP TECH(미국), HYPERLOOP TRANSPORTATION TECH(미국)의 출원이 최근 까지도 활발한 출원활동을 나타냈으며, 특히 한국철도기술연구원(한국)은 최근 5년간 특허 증가율이 221.4%였으며, HYPERLOOP TECH(미국)와, HYPERLOOP TRANSPORTATION TECH(미국)의 최근 출원 건수는 각각 92건 및 20건으로 크게 증가한 것으로 나타났음

1.3.8. 세부기술 분석

(1) 시장별 세부기술 점유율 현황 버블그래프 분석

□ 각국의 특허청에 출원된 출원 데이터를 기준으로 세부기술의 집중도 및 공백영역 등을 나타내어 주요시장에서 어떠한 세부기술이 중점적으로 특허 출원되고 있는가를 파악하고자 하며, 해당 세부기술에 대하여 시장별(특허청별)로 비교 분석



* 원의 크기 : 출원 건수를 나타냄

[그림 3-15] 세부기술별 국가별 특허집중도 현황

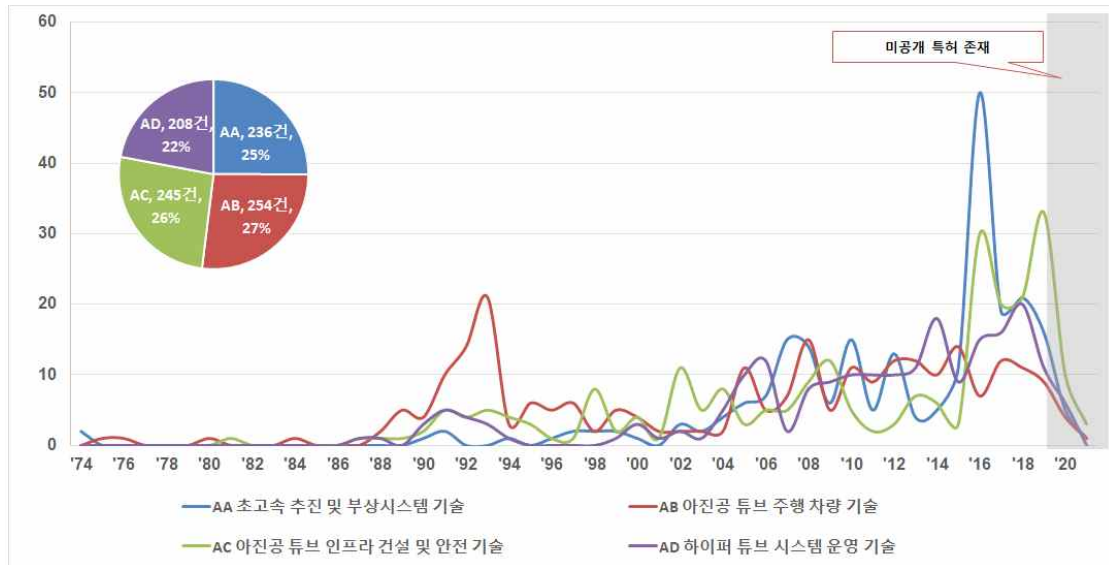
- 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 초고속 추진/부상/제어기술(AAA) 분야에 집중하고 있는 것으로 나타났으며, 한국과 일본의 경우에는 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)의 출원 비율도 미국에 비해 높은 것으로 나타났음
- 아진공튜브 주행 차량 기술(AB) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 아진공 차량

기술(ABA) 분야에 집중하고 있는 것으로 나타남

- 일본은 타 시장국에 비해 초고속 아진공 무선시스템 기술(ABB)과 관련된 출원을 많이 한 것으로 나타났음
- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술(ACA) 분야에 집중하고 있는 것으로 나타남
- 한국은 타 시장국에 비해 아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)과 관련된 출원을 많이 한 것으로 나타났음
- 하이퍼튜브 시스템 운영기술(AD) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 각 기술분야에 골고루 출원을 한 것으로 나타남
- 일본은 타 시장국에 비해 지능형 시뮬레이션 기술(ADB)과 관련된 출원을 많이 한 것으로 나타났음

(2) 세부기술별 연도별 특허출원 동향 및 점유율 분석

□ 전체동향



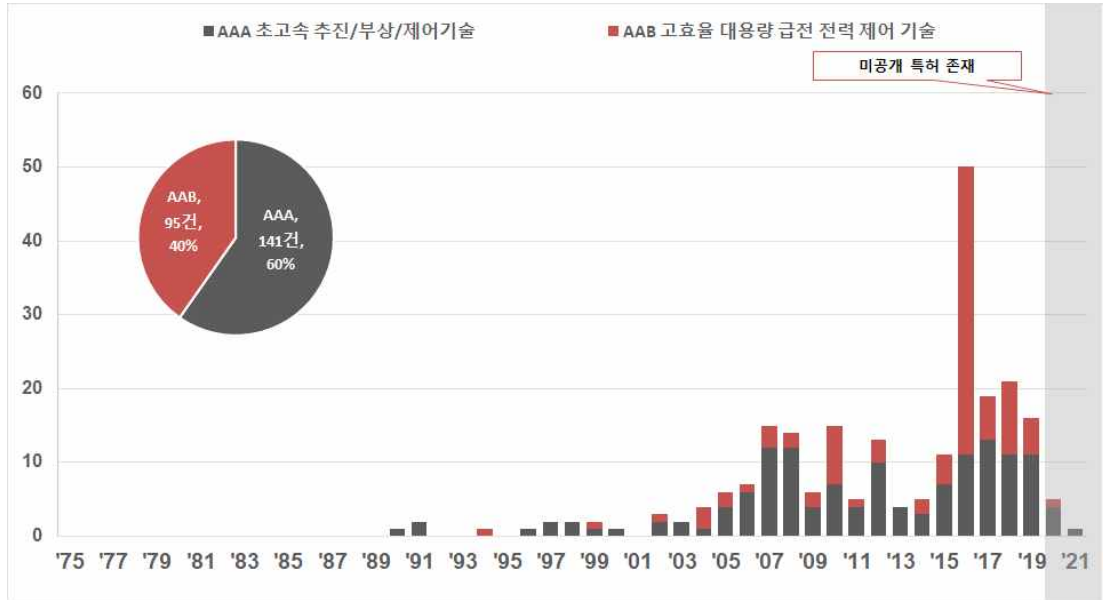
[그림 3-16] 분류별 점유율 및 연도별 출원동향

- 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)이 25%, 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)이 27%, 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)이 26%, 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(AD)이 22%의 점유율을 차지하고 각 기술분류별로 출원 비중이 분산되어 있음
- 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)은 1992년에서 1994년 사이 매우 높은 출원 건수를 차지하였고, 2016년 이후에는 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)과 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(AD)이 높은 출원 점유율을 차지하고 있어, 주요 연구 내용 및 기술 개발 내용의 분야가 바뀌는 것을 알 수 있음. 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)은 꾸준히 높은 출원 비중을 차지하였음
- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)이 가장 늦게 출원되었으나, 최근에 가장 많은 출원 비중을 차지하고 있으며, 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(AD)은 꾸준한 증가세와 함께 출원 비중의

증가도 함께 이루어지고 있음

○ 하이퍼튜브 관련 기술 모두 최근들어 출원이 증가하고 있는 추세로 나타났음

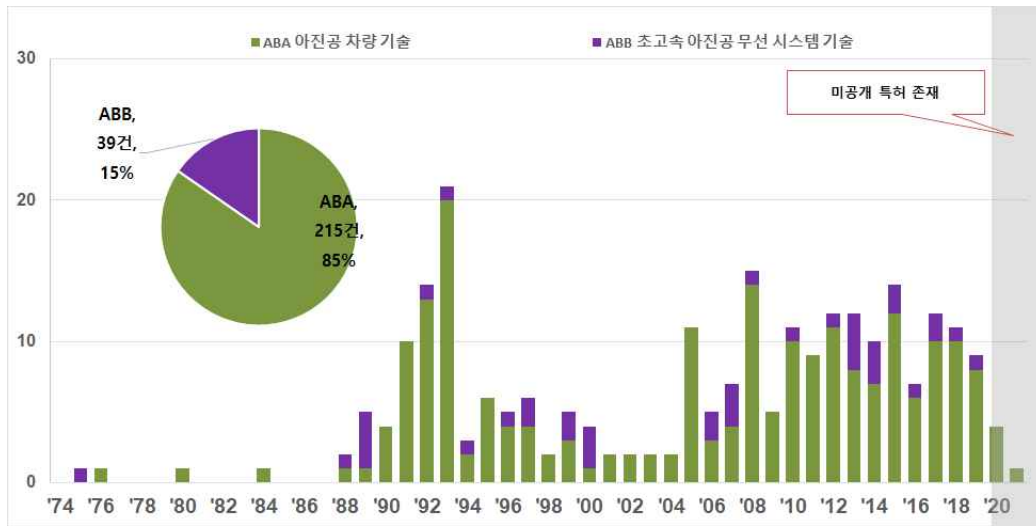
□ 초고속 추진 및 부상 시스템 기술(AA)



[그림 3-17] 분류별 점유율 및 연도별 출원동향

- 초고속 추진/부상/제어기술(AAA) 관련 특허출원이 점유율이 60%로 높고, 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)은 40%로 낮은 편임
- 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)은 하이퍼튜브에만 전용되는 기술이 아니어서 관련된 특허출원이 많을 수 있지만, 하이퍼튜브 관련된 검색 건수는 많지 않음
- 초고속 추진/부상/제어기술(AAA)은 1990년부터 출원되기 시작하고, 2003년 이후 서서히 증가하기 시작하여 최근까지도 증가하는 추세로 나타났으며, 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)은 1994년부터 출원되기 시작하였고, 특히 2016년에 건 출원하여 최고치를 나타내었는데, HYPERLOOP TECH(미국)가 해당연도에 많은 출원을 하였기 때문인 것으로 파악되었음
- 단위기술 분야 중 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)은 2010년을 기점으로 출원 비중이 높아지는 것으로 나타남

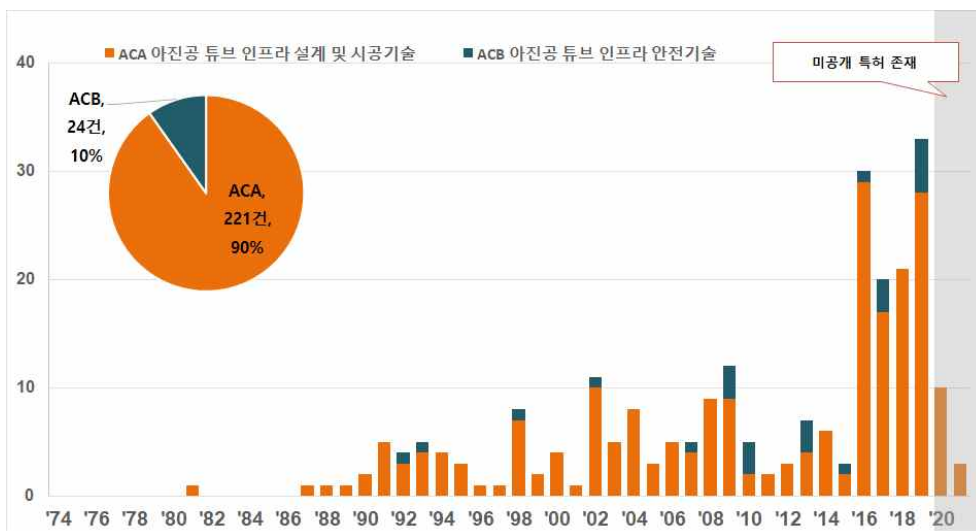
□ 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)



[그림 3-18] 분류별 점유율 및 연도별 출원동향

- 아진공차량 기술(ABA) 관련 특허출원이 점유율이 85%로 매우 높은 비중을 차지하였으며, 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)은 15%를 차지하였음
- 아진공차량 기술(ABA)은 1976년부터 출원되기 시작했으나 실질적으로는 1990년 이후 출원 건수가 급격히 증가하였고, 1994년 이후 출원 건수가 급격히 감소하였으나 2005년 이후 다시 출원 건수가 증가하였고, 이후 감소와 증가가 반복되는 추세를 보이고 있음
- 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)은 1975년부터 출원되기 시작하였으나, 검색 건수가 많지 않아 분석의 큰 의미는 없는 것으로 판단됨

□ 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)



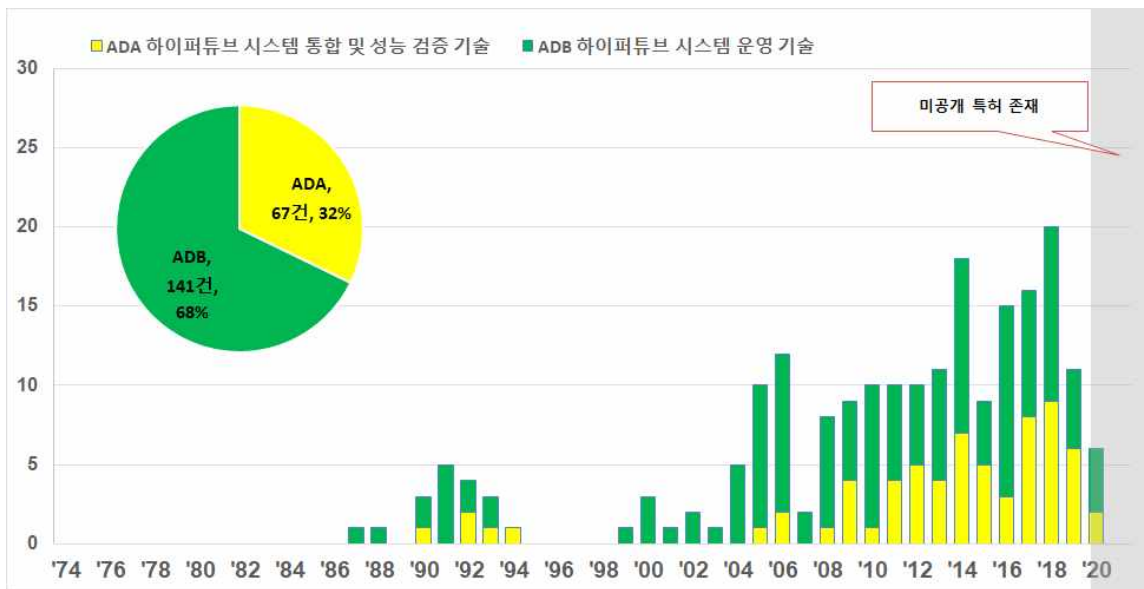
[그림 3-19] 분류별 점유율 및 연도별 출원동향

- 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술(ACA) 관련 특허출원이 점유율이 90%로 높게 나타났으며,

아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)은 10%의 출원 비중을 나타냄

- 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술(ACA)은 1981년 출원이 시작된 것으로 나타났으나 실질적으로 1987년 이후 본격적으로 출원되기 시작했고, 2016년 이후 급격한 출원 건수의 증가를 나타냄
- 아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)은 1992년 이후 출원되기 시작했으며, 2019년 출원 건수가 증가하여 상대적으로 높은 출원 비중을 나타내었음
- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)의 세부기술 분야들은 최근들어 특허출원활동이 활발해지고 있는 것으로 나타남

□ 하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험 평가연구(AD)



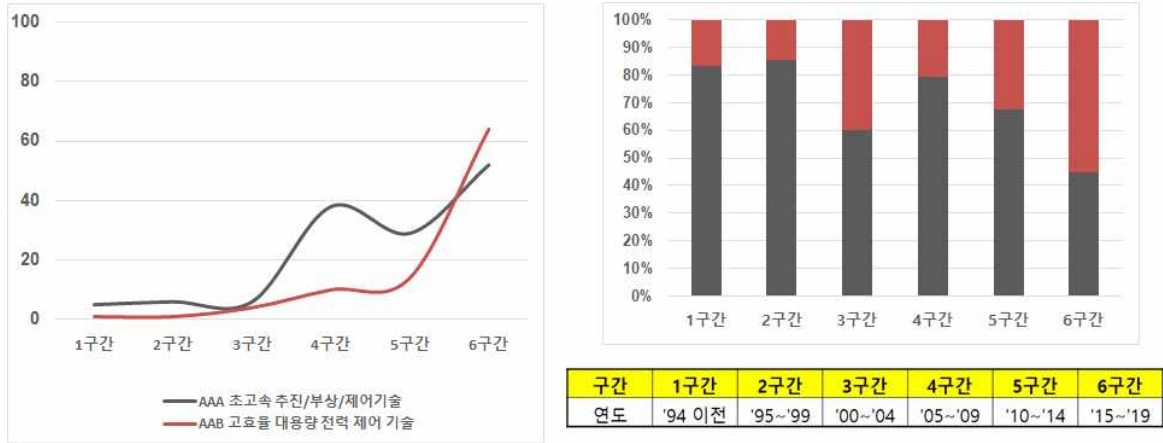
[그림 3-20] 분류별 점유율 및 연도별 출원동향

- 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)이 68%의 출원 비중을 차지하였으며, 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA)이 32%의 출원 비중을 차지하고 있음
- 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA)은 1990년부터 출원되기 시작하였으나, 이후 출원 건수가 급격히 감소한 후, 2003년 이후부터 꾸준히 출원 건수 및 출원 비중이 증가하고 있는 추세임
- 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)은 1987년부터 출원되기 시작하였고, 1999년 이후부터 꾸준히 출원건수 및 출원비중이 증가하고 있는 추세임
- 단위기술 모든 분야는 2004년 이후 현재까지 특허출원건수가 계속해서 증가하는 추세에 있으며, 가장 최근인 2014년도와 2018년도에 특허출원활동이 가장 활발했던 것으로 나타남

(3) 부상기술 분석

□ 초고속 추진 및 부상시스템 기술 (AA)

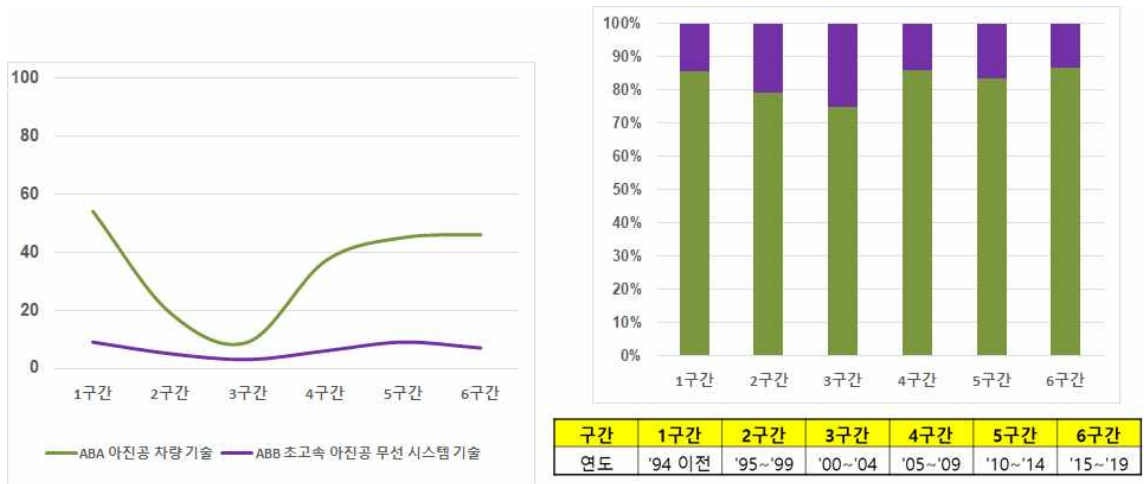
- 세부기술 추세를 통한 부상기술을 파악하기 위해서 아래의 그래프에서는 세부기술별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 살펴봄. 왼쪽의 그래프는 출원건수를 통한 절대치를 나타내며, 오른쪽 그래프는 세부기술에 대한 연도구간별 상대비교를 보여주고 있음



[그림 3-21] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)의 단위기술인 초고속 추진/부상/제어 기술(AAA)과 고효율 대용량 전력 제어 기술(AAB) 모두 부상하고 있는 기술로 파악되었으며, 고효율 대용량 전력 제어 기술(AAB)은 그 출원 비중이 높지 않으나 꾸준히 일정한 비율을 유지하고 있음
- 고효율 대용량 전력 제어 기술(AAB)은 3구간에서 출원비중이 높아졌다가 그 이후 비중이 감소된 것으로 나타났으나 6구간에서 다시 그 비중이 증가한 것으로 나타남

□ 아진공 차량 및 무선시스템 기술 (AB)



[그림 3-22] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)의 단위기술 중 아진공 차량 기술(ABA)은 1구간에서 2구간 및 3구간까지 출원 건수가 급격히 감소하다가 4구간에서 5구간까지 급격히 증가하여 다시 부상하는 것으로 나타났고, 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)은 아진공 차량 기술(ABA)과 유사한

부상 흐름을 나타냄

- 초반에는 아진공 차량 기술(ABA) 위주로 출원하다가 2구간부터 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)의 비중이 늘어났으나, 이는 아진공 차량 기술(ABA) 출원 건수가 급감함에 따라 상대적으로 출원 비중이 늘어난 것으로 보이는 것으로 판단됨. 3구간 이후에서 다시 아진공 차량 기술(ABA)의 출원 건수 증가로 이에 따라 아진공 차량 기술(ABA)의 출원 비중도 늘어났고, 더불어, 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)도 출원 건수의 증가로 그 비중이 점차 늘어난 것으로 나타남

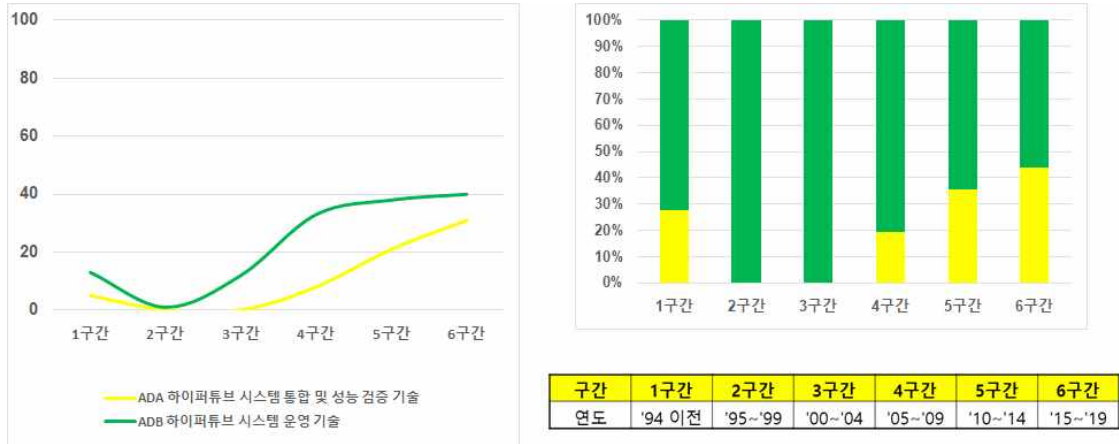
□ 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술 (AC)



[그림 3-23] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)의 단위기술은 모두 부상하고 있는 기술로 나타남
- 특히 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술(ACA)의 경우 5구간에서 6구간까지 급격하게 증가하여 그 비중이 크게 높아진 것으로 나타남
- 초반에는 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술(ACA)에 대해서 출원하다가 5구간에서는 아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)의 비중이 크게 늘어났으나, 이는 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술(ACA)이 5구간에서 급감함에 따라 나타난 현상으로 판단됨
- 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술(ACA)은 꾸준히 증가하고 있고 그 비중이 조금씩 높아지고 있는 것으로 나타남

□ 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술 (AD)

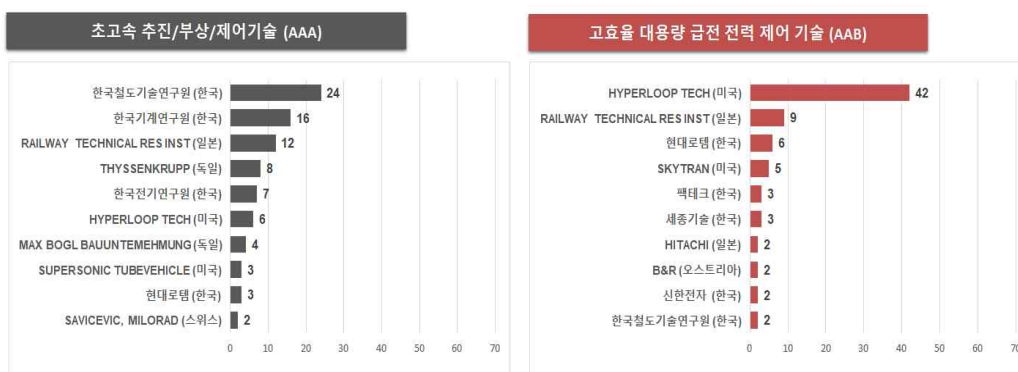


[그림 3-24] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 기술(AD)의 단위 기술은 모두 부상하고 있는 기술로 나타남
- 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)의 비중이 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA) 보다는 항상 높았으며, 특히 2구간 및 3구간에서는 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)의 비중이 매우 높은 것으로 나타남
- 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA)은 4구간 이후 계속해서 그 비중이 높아지고 있는 것으로 나타남

7.4 세부기술별 주요출원인 특허동향

□ 초고속 추진 및 부상시스템 기술 (AA)



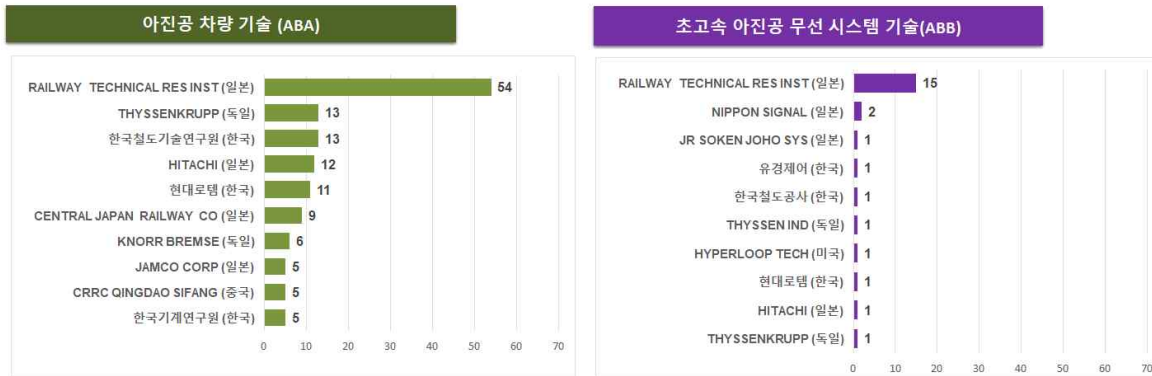
[그림 3-25] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)의 세부기술별 주요 출원인을 살펴보면, 초고속 추진/부상/제어기술(AAA)에서는 한국의 한국철도연구원이 24건으로 최다출원인으로 조사되었으며, 한국기계연구원(한국)이 16건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB) 분야에서는 HYPERLOOP TECH(미국)가 42건으로 최다출

원인으로 조사되었으며, RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 9건 출원하여 그 뒤를 잇고 있음

- 초고속 추진/부상/제어기술(AAA) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기 보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사되었고, 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB) 분에서는 최다출원인과 2위 출원인의 기술격차가 큰 것으로 나타남

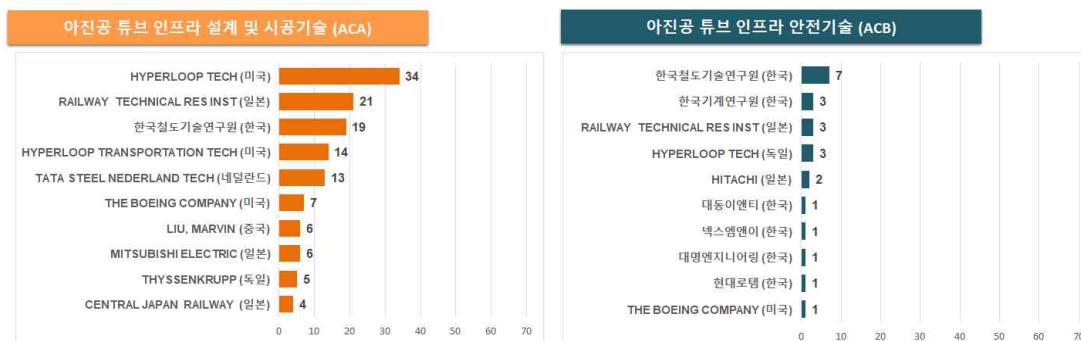
□ 아진공 차량 및 무선시스템 기술 (AB)



[그림 3-26] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 아진공 차량 기술 (ABA)에서는 RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 54건으로 최다출원인으로 조사 되었으며, 한국철도기술연구원(한국)이 13건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB)에서는 RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 15건 으로 최다출원인으로 조사되었으며, NIPPON SIGNAL(일본)이 2건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)에서는 최다출원인인 RAILWAY TECHNICAL RES INST (일본)와 다른 출원인들과의 기술격차가 큰 것으로 조사됨

□ 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술 (AC)



[그림 3-27] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술(ACA)에서는 HYPERLOOP TECH(미국)가 34건으로 최다출원인으로 조사되었으며, RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 21건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)에서는 한국철도기술연구원(한국)이 7건으로 최다출원인으로 조사되었으며, 한국기계연구원(한국)이 3건 출원하여 그 뒤를 잇고 있음
- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)의 세부기술 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기 보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사됨

□ 하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구 (AD)



[그림 3-28] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구(AD)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA)에서는 RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 23건으로 최다출원인으로 조사되었으며, 한국철도기술연구원(한국)이 11건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB) 분야에서는 RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)가 66건으로 최다출원인으로 조사되었으며, CENTRAL JAPAN RAILWAY CO(일본)가 9건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB) 분야에서는 최다출원인인 RAILWAY TECHNICAL RES INST (일본)와 다른 출원인 상의 기술격차가 큰 것으로 나타났고, 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술 (ADA)에서는 최다 및 2위 출원인과 그 외의 출원인 사이의 기술 격차가 큰 것으로 나타났음

7.5 소결

- 시장별 중분류별 점유율 현황을 살펴보면, 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA) 분야 점유율에서는 주요 시장국 모두 초고속 추진/부상/제어기술(AAA) 분야에 집중하고 있는 것으로 나타났으며, 한국과 일본의 경우에는 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB)의 출원 비율도 미국에 비해 높은 것으로 나타났음
- 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)과 아진공 차량 및 무선시스템 기술(AB)은 1992년에서 1994년 사이 매우 높은 출원 건수를 차지하였고, 2016년 이후에는 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)과 하이퍼 튜브 시스템 운영 기술(AD)이 높은 출원 점유율을 차지하고 있어, 주요 연구 내용 및 기술 개발 내용의 분야가 바뀌는 것을 알 수 있음. 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)은 꾸준히 높은 출원 비중을 차지
- 초고속 추진/부상/제어기술(AAA)은 1990년부터 출원되기 시작하고, 2003년 이후 서서히 증가하기 시작하여 최근까지도 증가하는 추세로 나타났으며, 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술

(AAB)은 1994년부터 출원되기 시작하여 2016년에 39건 출원하여 최대 건수를 기록

- 아진공차량 기술(ABA)은 1990년 이후 출원 건수가 급격히 증가하였고, 1994년 이후 출원 건수가 급격히 감소되었다가 2005년 이후 다시 출원 건수가 증가하였고, 이후 감소와 증가가 반복되는 추세를 보이고 있음
- 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술(ACA)은 1981년 출원이 시작된 것으로 나타났으나 실질적으로 1987년 이후 본격적으로 출원되기 시작했고, 2016년 이후 급격한 출원 건수의 증가를 나타냄
- 아진공 튜브 인프라 안전 기술(ACB)은 1992년 이후 출원되기 시작했으며, 2019년 출원 건수가 증가하여 상대적으로 높은 출원 비중을 나타내었음
- 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB)은 1999년 이후부터, 그리고 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA)은 2003년 이후부터 꾸준히 출원 건수 및 출원 비중이 증가하고 있는 추세
- 초고속 추진 및 부상시스템 기술(AA)의 세부기술별 주요 출원인을 살펴보면, 초고속 추진/부상/제어 기술(AAA) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고 있어 기술격차가 크지 않을 것으로 예상되며, 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술(AAB) 분야는 특정 출원인[HYPERLOOP TECH(미국)]에 의해서 기술이 선도되고 있는 것으로 판단됨
- 진공 튜브 주행 차량 기술(AB)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)는 세부 기술분야인 아진공 차량 기술(ABA)과 초고속 아진공 무선 시스템 기술(ABB) 분야 모두에서 타 주요출원인보다 압도적으로 많은 출원을 하여 해당기술을 선도하고 있는 것으로 판단
- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술(AC)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술(ACA) 분야와 아진공 튜브 인프라 안전기술(ACB) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않을 것으로 예상
- 하이퍼튜브 시스템 통합 및 시험평가 연구(AD)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, RAILWAY TECHNICAL RES INST(일본)는 세부 기술분야인 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술(ADA)과 하이퍼튜브 시스템 운영 기술(ADB) 분야 모두에서 타 주요출원인보다 압도적으로 많은 출원을 하여 해당기술을 선도하고 있는 것으로 판단

1.4 논문 분석

(1) 해외 논문 분석

〈표 3-18〉 해외 논문 검색식 및 검색 키워드

검색식 및 검색 키워드	건수	비고
하이퍼 OR hyper 튜브 OR tube OR loop OR 루프 OR 트레인 OR train OR 열차 OR 기차	267	
"hyperloop transportation"	214	
"hyperloop tube"	32	
capsule OR 캡슐 하이퍼 OR hyper 트레인 OR train	7,380	- 2015년 이후 건수로 한정하여 1,850건 검토
"vacuum tube" train	15,200	- 2015년 이후 건수로 한정하여 1,760건 검토
hyperloop	2,770	
vacuum tube maglev train "high speed"	478	
vacuum hyperloop	393	
합 계	7,773	

- Capsule과 관련하여서는 의료, 의학과 관련된 노이즈 논문들이 다수 검색되어 필터링 제외
- Vacuum과 관련하여서는 진공관, 증폭기, 전기 펄스, 통신 등 다양한 분야의 노이즈 논문들이 다수 검색되어 필터링 제외
- Hyperloop 키워드와 관련하여서는 관련성이 높은 기술들의 논문이 다수 검색되고 있어, 본 기술 대상의 경우 Hyperloop 키워드가 통용되고 있는 것으로 분석
- 다양한 키워드 검색을 통하여 Raw-Data 7,773건이 검색되고 의료 및 의학, 전자, 기계 등 다양한 기술 분야의 논문이 다수 검색
- 논문 주제 검토를 통해 관련성 낮은 논문을 필터링하여 216건의 1차 유효데이터 중 초록 및 내용 검토를 통하여 최종적으로 본 과제 기술트리에 해당하는 104건 유효데이터를 추출

〈표 3-19〉 해외 주요 논문 List

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
1	Grebennikov, Nikolay	Hybrid electromagnetic suspension for high-speed vacuum transport	2019	IAES Institute of Advanced Engineering and Science	0	차체
2	Schulz, William	A6_2 Safety Concerns over Hyperloop	2017	Physics Special Topics	0	인프라
3	Radziszewski, Paweł Marek	Optimization of an air cushion sealing edge geometry for vacuum train vehicle	2018	Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki	0	부상장치

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
				Stosowanej		
4	Lapidus, Boris M	Magnetic levitation as the fundamental basis for superfast vacuum levitation transport technologies	2018	Transportation systems and technology	0	부상장치
5	Zhang, Lei	Oblique tunnel portal effects on train and tunnel aerodynamics based on moving model tests	2017	Elsevier	0	인프라
6	Miller, Arnold R	Hydrogen tube vehicle for supersonic transport: 7. Experimental vehicle	2015	Elsevier	0	공력
7	Barajas Solano, José Ignacio	Novel active magnetic bearings for direct drive C-Gen linear generator	2017	The University of Edinburgh	0	부상장치
8	Wang, Hongdi	Dynamic Simulation of the HTS Maglev Vehicle-Bridge Coupled System Based on Levitation Force Experiment	2019	IEEE	0	부상장치
9	Yu, Jinbo	Vibration Suppression of High-Temperature Superconducting Maglev System via Electromagnetic Shunt Damper	2019	Springer	0	운행제어
10	Jiang, Jing	Trapped Field and Levitation Performance of a YBCO Superconductor Magnetized in Different External Magnetic Fields	2018	Springer	0	부상장치
11	Park, Chan-Bae	Development of a small-scale superconducting LSM using Gd-Ba-Cu-O high-temperature superconducting wire	2016	IEEE	13	추진장치
12	Liao, Hengpei	Simulation and Experiment Research on the Dynamic Levitation Force of Bulk Superconductors Under a Varying External Magnetic Field	2019	IEEE	0	부상장치
13	Suzuki, Yasuaki	Adhesive Bonding for Railway Application	2018	Springer	0	차체
14	Robinson, M	Application of Composites in Rail Vehicles	2016	Newcastle University	2	차체
15	Yoon, Hyuk-Jin	Distributed Strain Monitoring of Railway Composite Bogies Using a Brillouin Optical Correlation Domain Analysis System	2018	Multidisciplinary Digital Publishing Institute	0	차체
16	Gao, Mingyuan	Condition monitoring of urban rail transit by local energy harvesting	2018	SAGE Publications Sage UK: London, England	1	전력공급 장치(지상)
17	Jin, Long	Self-powered wireless smart sensor based on maglev porous nanogenerator for train monitoring system	2017	Elsevier	32	운행제어
18	Zhou, Dajin	Study of running stability in side-suspended HTS-PMG maglev circular line system	2017	IOP Publishing	3	운행제어
19	Ji, Woo-Young	A Study of Non-Symmetric Double-Sided Linear Induction Motor for Hyperloop All-In-One System (Propulsion, Levitation, and Guidance)	2018	IEEE	3	추진장치
20	Fomin, Vasily M	Vacuum magnetic levitation transport: definition of optimal characteristics	2016	Transportation systems and	3	전력공급 장치(지상)

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
				technology		
21	Kireev, AV	Comparison between a Maglev Electromagnetic Suspension System and a Hybrid Suspension System Equipped With Permanent Magnets	2017	International Journal of Applied Engineering Research	0	부상장치
22	Grebennikov, Nikolay	Model Test of Hybrid Electromagnetic Suspension for High-Speed Vacuum Transport	2018	IEEE	0	부상장치
23	Long, Zhiqiang	A novel design of electromagnetic levitation system for high-speed maglev train	2018	Transportation systems and technology	0	부상장치
24	Choi1a, Jaegu	Development of Air Inflow Model for Airtightness Performance Evaluation of Concrete Tube Structures with Cracks	2016	Fourth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies	1	기밀튜브
25	Kang, Hyungmin	A Study on the Aerodynamic Drag of Transonic Vehicle in Evacuated Tube Using Computational Fluid Dynamics	2017	International Journal of Aeronautical and Space Sciences	2	기밀튜브
26	Alexander, Nicholas A	Exploring bridge dynamics for ultra-high-speed, Hyperloop, trains	2018	Elsevier	3	인프라
27	Yan, Zhou	Simulation of Aerodynamic Characteristics of Evacuated Tube Transportation Based on Similarity Theoretics	2015	Chinese Journal of Vacuum Science and Technology	0	운행제어
28	Zhou, Dajin	Running stability of a prototype vehicle in a side-suspended HTS maglev circular test track system	2016	IEEE	7	운행제어
29	Deng, Zigang	Dynamic Simulation of the Vehicle/Bridge Coupled System in High-Temperatur Superconducting Maglev	2019	IEEE	0	운행제어
30	Zhou, Dajin	Static and dynamic stability of the guidance force in a side-suspended HTS maglev system	2016	IOP Publishing	4	운행제어
31	Zhao, Lifeng	Attenuation of Levitation performance for Side-Suspending HTS Maglev System under Vibration	2019	IEEE	0	부상장치
32	Niu, Jiqiang	Numerical analysis of aerodynamic characteristics of high-speed train with different train nose lengths	2018	Elsevier	2	공력
33	Hao, Luning	Study on Electrodynamic Suspension System with High-Temperature Superconducting Magnets for a High-Speed Maglev Train	2019	IEEE	0	운행제어
34	Park, Joo Nam	Probabilistic Estimation of Airtightness Performance of Concrete Vacuum Tube Structures	2015	Trans Tech Publ	3	기밀튜브
35	Janzen, Ryan	TransPod ultra-high-speed tube transportation:	2017	Elsevier	7	운행제어

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
		dynamics of vehicles and infrastructure				
36	Vijayan, Sandeep	Effects of acceleration, deceleration, and cornering on occupants inside a hyperloop capsule/pod at supersonic velocities	2017	Wichita State University	0	차량 인프라
37	Zhou, Peng	Numerical study on wave phenomena produced by the super high-speed evacuated tube maglev train	2019	Elsevier	0	공력
38	Werfel, Frank N	Impact of cryogenics and superconducting components for HTS magnetic levitation devices	2017	IEEE	2	부상장치
39	Floegel-Del or, Uta	Bulk Superconductor Levitation Devices: Advances in and Prospects for Development	2018	IEEE	0	부상장치
40	Zhou, Dajin	High- <i>t_c</i> superconducting maglev prototype vehicle running at 160km/h in an evacuated circular track	2018	IEEE	4	운행제어
41	Jin, Li'an	Dynamic Characteristics of the HTS Maglev Vehicle Running Under a Low-Pressure Environment	2019	IEEE	0	운행제어
42	Kim, Konstantin I	Suspension system of hyper loop	2017	Transportation systems and technology	0	차체
43	Niu, Jiqiang	Numerical study on the impact of Mach number on the coupling effect of aerodynamic heating and aerodynamic pressure caused by a tube train	2019	Elsevier	0	공력
44	Li, YJ	Field homogeneity improvement of maglev NdFeB magnetic rails from joints	2016	Nature Publishing Group	1	운행제어
45	Belova, OV	Pneumatic capsule transport	2016	Elsevier	1	공력
46	Park, Chan-Hee	Probabilistic performance assessment of airtightness in concrete tube structures	2016	Springer	0	기밀튜브
47	Kurbatov, Pavel	Simulation of the Body Motion in a Tube with the Linear HTS Suspension	2018	IEEE	0	운행제어
48	Pandey, Sumit	Automatic Fire Initiated Braking and Alert System for Trains	2015	IEEE	2	운행제어
49	Yang, Yi	Research on optimal design method for drag reduction of vacuum pipeline vehicle body	2019	Taylor & Francis	0	차체
50	Wei, Wei	An air brake model for longitudinal train dynamics studies	2017	Taylor & Francis	14	제동장치
51	Sharma, Rakesh Chandmal	Braking systems in railway vehicles	2015	International Journal of Engineering Research & Technology	20	제동장치
52	Wei, Wei	Heavy haul train impulse and reduction in	2018	Taylor & Francis	1	제동장치

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
		train force method				
53	Deng, Zigang	A high-temperature superconducting Maglev-evacuated tube transport (HTS Maglev-ETT) test system	2017	IEEE	40	공력
54	Liang, Gang	Study of the maglev performance of the side-mounted high-temperature superconductor maglev rotating system	2015	IEEE	7	부상장치
55	Ulusarslan, Deniz	Analysis of the Pressure Gradients According to Capsule Flow Mechanism	2012	Wiley Online Library	1	공력
56	Mun, Jeongmin	Operating Thermal Characteristics of REBCO Magnet for Maglev Train Using Detachable Cooling System	2019	IEEE	0	부상장치
57	Sun, Yan	Position Sensing Method for Linear Synchronous Motor Propelled High-Speed Train by Using Single Cross-Loop Inductive Cable and Three-Phase Receiving Antennas	2017	Sensors and Materials	1	운행제어
58	Jia, Wenguang	Air flow and differential pressure characteristics in the vacuum tube transportation system based on pressure recycle ducts	2018	Elsevier	2	공력
59	Du, Fen	Design and implementation of automatic control for a condensation-induced depressurization system	2018	SAGE Publications Sage UK: London, England	1	공력
60	Torres Torres, Christian Fernando	Desarrollo de metodología para la implementación de índices de mantenimiento CMD para sistemas ferroviarios	2016	Universidad Politécnica Salesiana	1	운행제어
61	O'Connell, Robert M	Capsule Separation by Linear Induction Motor in Pneumatic Capsule Pipeline Freight Transport System	2010	American Society of Civil Engineers	2	기밀튜브
62	Gillani, SA	CFD Analysis of Aerodynamic Drag Effects on Vacuum Tube Trains	2019	Journal of Applied Fluid Mechanics	0	기밀튜브
63	Bao, Shijie	Preliminary Study of Aerodynamic Characteristics of High Temperature Superconducting Maglev-Evacuated Tube Transport System	2017	DEStech Transactions on Engineering and Technology Research	1	기밀튜브
64	Pegin, Pavel	A model for dynamic design of a superstructure for magnetic levitation vehicles	2018	Elsevier	0	인프라
65	McGinniss, James Roland	System design of a high speed ground vehicle lifted by air bearings	2017	Texas Scholar Works	0	차체
66	Lim, Jaewon	Analysis and experimental evaluation of normal force of linear induction motor for	2017	IEEE	8	추진장치

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
		maglev vehicle				
67	Zhou, Dajin	Study on Suspension Stability of High-Speed HTS Maglev System in Evacuated Tube	2018	Springer	0	운행제어
68	de la Fuente, Eduardo Pilo	Power Systems and Railway Power Systems: So Similar, So Different	2016	IEEE	0	전력공급 장치(지상)
69	Bibin, Sreeja	Numerical Investigation of Aerodynamic Drag on Vacuum Tube High Speed Train	2013	American Society of Mechanical Engineers	4	공력
70	Pierwocha, Piotr Jacek	Hyperloop unit compressor design	2017	Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej	0	기밀튜브
71	Bempah, Kwabena Opoku	Experimental study of photovoltaic panel mounting configurations for tube-shaped structures	2019	Elsevier	0	인프라
72	Pekardan, Cem	Thermal lift generation and drag reduction in rarefied aerodynamics	2016	AIP Publishing	4	공력
73	D İ n d i ş, Gökhan	A Preliminary Study for A Non-Stop Cargo Transportation Concept for the Railroads	2017	International Symposium on Electrical Railway Transportation Systems	0	운행제어
74	Springer, Maximilian	Analyse von Strukturkonzepten für das Transportsystem Hyperloop	2016	Technische Universität München	1	차체
75	Grebennikov, Nikolay	Electromagnetic suspension used for high-speed vacuum transport	2017	International Journal of Applied Engineering Research	4	차체
76	Liu, Shibing	Optimal Vibration Reduction of Flexible Rotor Systems By the Virtual Bearing Method	2018	American Society of Mechanical Engineers	3	차체
77	Naik, Prabhakar	STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF HYPERLOOP POD CHASSIS	2018	International Journal of Research In Science &Engineering	0	차체
78	Sykut, Grzegorz	Conceptual project and endurance analysis for the Hyperloop prototype pod frame structure	2017	Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej	0	차체
79	Kowalewski,	Numerical analysis in the problem of	2018	Instytut Techniki	0	차체

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
	Michał	designing chassis elements in the Hyperloop pod		Lotniczej i Mechaniki Stosowanej		
80	Li, Danxue	Studying a New Embarking and Disembarking Process for Future Hyperloop Passengers	2018	Springer	0	인프라
81	Sajó, Zsófia	Modeling The Hyperloop With COMSOL Multiphysics®: On The Design Of The EPFLoop Pressurized Systems	2018	Lausanne COMSOL Conference	0	차체
82	Battenberg, Andreas	Lightweight Design Concept for a Vacuum-tube Jet	2017	Springer	1	추진장치
83	Wong, Felix	Aerodynamic Design and Optimization of a Hyperloop Vehicle	2018	Delft University of Technolog	0	차체
84	Indraneel, TS	Levitation array testing for Hyperloop Pod Design	2019	AIAA Scitech 2019 Forum	0	부상장치
85	Pradhan, Roshan	Vehicle Dynamics of Permanent-Magnet Levitation Based Hyperloop Capsules	2018	American Society of Mechanical Engineers	0	공력
86	DaTian, Zhou	Study on Model based Hazard Identification for the Hyperloop System	2015	Atlantis Press	3	운행제어
87	Soni, Abhishek	Magnetic Brake testing for Hyperloop Pod Design	2019	AIAA Scitech 2019 Forum	1	제동장치
88	Braun, James	Aerodynamic design and analysis of the Hyperloop pod	2016	52nd AIAA/SAE/ASME Joint Propulsion Conference	1	차체
89	Heaton, Thomas H	Inertial forces from earthquakes on a Hyperloop pod	2017	Seismological Society of America	1	운행제어
90	Wei, Bang	Field Distribution Characteristics of Leaky-Wave System in the Vacuum Tube for High-Speed Rail	2018	IEEE	0	운행제어
91	Opgenoord, Max M	On the aerodynamic design of the Hyperloop concept	2017	35th AIAA Applied Aerodynamics Conference	8	차체
92	Oh, Jae-Sung	Numerical Analysis of Aerodynamic Characteristics of Hyperloop System	2019	Multidisciplinary Digital Publishing Institute	0	공력
93	Strawa, Natalia	Dynamics and control of Hyperloop suspension system	2018	Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej	0	운행제어
94	Chaidez, Eric	Modeling and Performance Evaluation of Electromagnetic Suspension Systems for the Hyperloop	2018	Texas A&M University	0	운행제어

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
95	Braun, James	Aerodynamic design and analysis of the hyperloop	2017	American Institute of Aeronautics and Astronautics	8	공력
96	Yang, Yi	Aerodynamic simulation of high-speed capsule in the Hyperloop system	2017	35th AIAA Applied Aerodynamics Conference	4	공력
97	Abin, E	Intelligent Airlock System for Hyperloop with Landing Wheels	2017	Asian Journal of Applied Science and Technology	1	제동장치
98	Dudnikov, EE	The Problem of Ensuring the Tightness in Hyperloop Passenger Systems	2018	IEEE	0	기밀튜브
99	Nikolaev, Ruslan	Software system in Hyperloop pod	2018	Elsevier	0	운행제어
100	Riva, Nicolò	Modeling The Hyperloop With COMSOL Multiphysics®: On The Aerodynamics Design Of The EPFLoop Capsule	2018	Lausanne COMSOL Conference	0	차체
101	NAGASHIMA, Ken	Research and Development Concerning Superconducting Maglev and Research on Applying Superconducting Maglev Technology to the Conventional Railway System	2017	Railway Technical Research Institute	0	차체
102	Zhang, Jiachi	Two Novel Structures of Broadband Wireless Communication for High-speed Flying Train in Vacuum Tube	2019	WOCC2019	0	운행제어
103	Sayeed, Jawwad M	Hyperloop Transportation System: Control, and Drive System Design	2018	IEEE	0	운행제어
104	Kwon, Kyoungjun	Photovoltaic panel orientation study for tube-enclosed transportation systems	2017	IEEE	2	인프라

(2) 국내 논문 분석

〈표 3-20〉 국내 논문 검색식 및 검색 키워드

검색식 및 검색 키워드	건수	비고
하이퍼루프	401	
하이퍼튜브	206	
튜브 트레인	276	
캡슐 트레인	64	
캡슐 열차	213	
진공 열차	1,662	
아진공 트레인	128	
합 계	2,950	

- 스트레인, 열차폐, 진공, 열진공 등 관련기술들이 함께 검색(전자, 기계 등 다양한 기술분야)되어 Raw-Data를 구성하는 것으로 나타남
- 하이퍼루프, 하이퍼튜브와 관련하여서는 관련성 높은 기술들이 다수 검색되었으며, 양 키워드의 경우 중복되는 검색 논문이 다수 도출됨
- 이에 따라, 국내에서도 해외 논문과 유사하게 대상 기술과 관련하여 하이퍼루프, 하이퍼튜브 등의 용어가 통용되고 있는 것으로 분석됨
- 다양한 키워드 검색을 통한 Raw-Data 2,950건 검색
- 제목검토 등을 통한 1차 필터링 유효데이터 138건은 본 대상 기술과 관련된 논문이나 Hyperloop 기술의 동향, Hyperloop 기술 정의, 기술도입 경제성 등의 논문이 다수 포함됨
- 초록 및 내용 검토를 통하여 본 과제 기술트리에 해당하는 최종 유효데이터 84건은 1차 필터링에서 나타난 Hyperloop 기술과 관련한 일반적인 기술동향, 전망, 경제성분석 등의 논문은 제외함

〈표 3-21〉 국내 주요 논문 List

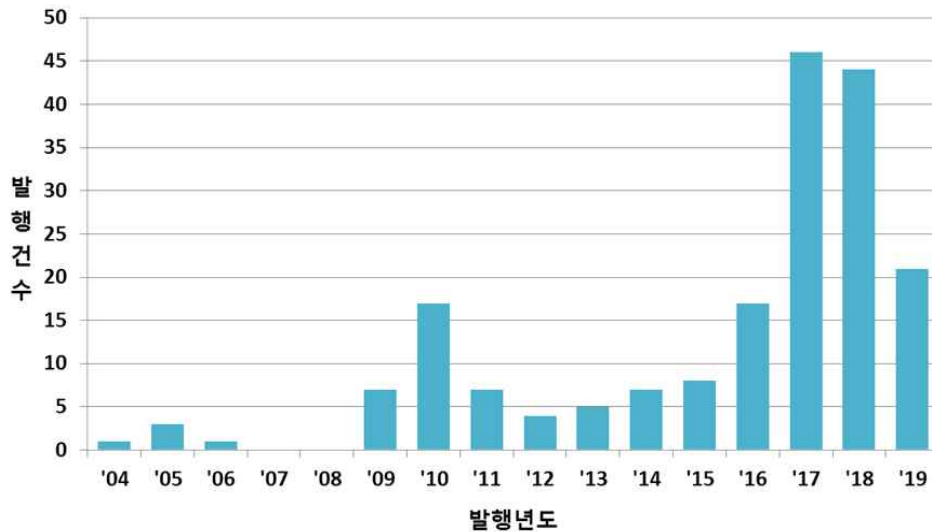
No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
1	박주남	누출률 모델을 이용한 균열 발생 콘크리트 초고속 운송관의 압력 변화 해석	2018	콘크리트학회	0	기밀튜브
2	허원호	온도분포예측기법을 이용한 초고속 자기부상 열차용 콘크리트 튜브 구조물의 변형 예측 연구	2012	한국철도학회	0	기밀튜브
3	곽문규	캡슐 차량의 동적 모델링 및 수치 해석	2018	한국소음진동 공학회	0	운행제어
4	김형목	모형실험을 통한 콘크리트 블록 및 시공 이음부의 기밀성 측정	2010	터널과 지하공간	1	기밀튜브
5	하창완	대차 피치운동을 반영한 흡인식 자기부상제어	2015	한국철도학회	0	운행제어
6	임재문	철도 인프라 적용 교량형 조립식 모듈의 경량화 설계	2016	한국생산제조 학회지	0	인프라
7	박주남	초고속 튜브철도 시스템을 위한 튜브 구조물의 기밀성 평가	2011	한국철도학회	0	기밀튜브
8	정재현	전자기 유도를 이용한 철도 레일의 상대 변위 측정	2009	대한기계학회	0	운행제어
9	장동욱	전기철도 절연구간 자동 절체 시스템 구성안 연구	2010	대한전기학회	0	운행제어
10	박주남	콘크리트 튜브 구조물의 기밀성능 평가 실험	2010	한국철도학회	0	기밀튜브
11	김이현	콘크리트 구조물의 기밀성 평가	2014	한국콘크리트 학회	0	기밀튜브
12	박주남	콘크리트 튜브구조의 기밀성능 신뢰성 평가	2014	한국콘크리트 학회	0	기밀튜브
13	신재희	초전도 공동관 실험을 위한 극저온 시스템 초기 설계	2013	대한기계학회	0	추진장치
14	박찬배	초고속 철도차량용 축소형 초전도 선형동기 전동기의 설계 연구	2014	대한전기학회	0	추진장치
15	박형준	균열 발생 콘크리트 튜브 구조의 기밀성능 평가	2016	대한토목학회	0	기밀튜브
16	김정석	한국형 틸팅열차용 복합재 차체의 하중적재에 따른 구조적 특성고찰	2006	한국철도학회	3	차체
17	윤성호	틸팅열차 차체용 탄소섬유직물/에폭시 복합재의 모드 I 층간파괴인성 평가	2005	한국철도학회	0	차체
18	김정철	자기부상열차용 선형 유도전동기	2005	한국철도학회	0	추진장치
19	김종문	손실 없는 하이브리드 자기부상열차 설계	2005	대한전기학회	0	부상장치
20	이준석	선로특성이 능동제어 자기부상열차의 주행성에 미치는 영향	2009	대한토목학회 논문집	0	운행제어
21	박찬배	700km/h급 초고속 자기부상열차의 추진/부상용 선형동기전동기의 기본설계 및 특성	2009	한국철도학회	0	추진장치

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
		분석 연구				
22	정상기	Long stator LSM을 적용한 초고속 튜브 자기 부상열차를 위한 급전시스템 설계	2009	한국철도학회	0	운행제어
23	박찬배	초고속튜브열차 추진/부상용 LSM의 제작성을 고려한 권선형 계자 설계 및 특성 분석	2010	대한전기학회	0	추진장치
24	장재승	틸팅열차 안전운행을 위한 비상시 응급조치 방안 연구	2010	한국철도학회	0	운행제어
25	박찬배	초고속튜브열차 추진/부상용 LSM의 설계 기법 및 특성 분석 연구	2010	한국철도학회	0	추진장치
26	이창영	흡인제어식 초고속 자기부상열차용 Prototype 초전도 하이브리드 자기부상시스템 개발	2012	한국철도학회	0	부상장치
27	정도원	틸팅열차 운행안전성 확보를 위한 비상시 응급 조치 요령 연구	2010	한국철도학회	0	운행제어
28	이진호	자기부상열차와 가이드웨이 상호작용을 고려한 가이드웨이 구조물의 진동사용성 처짐 한계	2017	한국철도학회	0	운행제어
29	이준석	능동제어를 고려한 자기부상열차와 가이드웨이 교량의 동적상호작용 해석	2009	대한토목학회논문집	1	운행제어
30	박주남	초고속 열차 시스템을 위한 튜브 구조물의 기밀성 평가	2011	한국철도학회	0	기밀튜브
31	박주남	초고속 진공튜브 시스템의 기밀성 연구	2009	한국철도학회	1	기밀튜브
32	권혁빈	유선형 형상 개선을 통한 고성능 EMU 열차의 공기저항 저감 연구	2013	한국철도학회	0	공력
33	허원호	초고속 자기부상열차용 콘크리트 튜브 구조물의 온도변형예측 연구	2012	한국콘크리트학회	0	기밀튜브
34	조한욱	초고속 자기부상열차를 위한 하이브리드형 부상 추진 시스템의 설계 및 특성해석	2010	전기학회논문지	1	추진장치
35	남성원	초고속 튜브 구조물의 진공 펌프 용량 설계에 관한 기초 연구	2010	한국정밀공학회	0	기밀튜브
36	남성원	튜브구조물의 누설을 포함한 진공 펌프 용량에 관한 연구	2011	한국철도학회	0	기밀튜브
37	김강희	열차거리에 따른 절연구간 무접전 자동 통과 시스템의 검토	2010	한국철도학회	0	운행제어
38	박찬배	초고속튜브열차용 LSM의 추진력 특성 개선을 위한 MPSS/TM 기법 연구	2010	한국철도학회	0	추진장치
39	이형우	초고속 자기부상열차용 선형동기전동기 제어 시스템 모델링	2010	한국철도학회	0	추진장치
40	서일	자기부상열차 선로시설물 점검시스템 개발을 위한 연구	2013	한국철도학회	0	운행제어

No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
41	박주남	콘크리트 진공튜브의 압력 변화에 대한 확률적 평가	2014	한국철도학회	0	기밀튜브
42	여인창	자기장 변화에 따른 열차 차륜 검지 센서의 형상 최적화	2014	한국철도학회	0	운행제어
43	박찬배	레일방식 초고속열차 추진용 축소 초전도 LSM 설계 연구	2014	전기학회논문지	0	추진장치
44	민동주	열차-교량의 동적 상호작용을 고려한 중·저속 및 초고속 자기부상열차와 가이드웨이의 동특성 해석	2011	한국지진공학회논문집	0	가이드웨이
45	프러카	균열 발생에 의한 진공튜브 구조의 공기 유입 해석모델 개발	2017	한국철도학회	0	기밀튜브
46	박주남	콘크리트 진공튜브의 균열 발생에 따른 기밀성능 평가 실험	2018	대한토목학회 논문집	0	기밀튜브
47	권혁빈	진공튜브 내 초고속열차의 공기저항 파라메타 연구 - 2	2010	한국철도학회	1	공력
48	남성원	튜브열차 구조물의 진공 펌프 용량에 관한 파라메타 연구	2010	한국철도학회	0	기밀튜브
49	백종대	초고속 이동체계 허브스테이션 환적 최적화 방안	2017	대한토목학회	0	인프라
50	윤란희	초전도 EDS 부상차량의 동적변위 특성 연구	2019	한국소음진동공학회	0	운행제어
51	정우석	철도통합무선망 열차제어 시스템 연동기술 연구	2014	한국통신학회	0	운행제어
52	유원희	섭동법에 의한 캡슐열차용 대차의 상하방향 불안정성 연구	2019	한국소음진동공학회논문집	0	운행제어
53	김영매	Ram wing을 적용한 하이퍼루프 부상시스템에 대한 양력 분석	2017	대한기계학회	0	부상장치
54	김동현	아진공 터널에서 초고속 열차의 속도향상에 관한 실험적 연구	2011	한국철도학회	0	인프라
55	최종근	장거리 터널 내 고속 운송체의 유동 해석을 위한 1-3차원 혼합격자 기법개발	2011	한국철도학회	0	인프라
56	김태경	1-3차원 혼합격자를 이용한 장거리 터널 내 고속 운송체 유동해석	2011	한국철도학회	0	인프라
57	윤란희	속도에 따른 9-자유도 모델 캡슐열차의 동특성 연구	2019	한국철도학회	0	운행제어
58	권혁빈	진공튜브 내 초고속열차의 공기저항 파라메타 연구 - 1	2010	한국철도학회	1	공력
59	조수연	튜브형 레일을 갖는 초고속 자기부상열차의 와전류 현상 해석	2009	한국철도학회	0	운행제어
60	김태경	튜브 트레인 공력특성 해석	2010	한국철도학회	0	운행제어
61	장용준	하이퍼튜브 내부에서 BR 계수 변화에 따른 칸트로위프 한계 현상 수치 해석	2017	한국철도학회	0	기밀튜브
62	장지만	하이퍼튜브 주행안정성 분석 및 향상에 관한 연구	2017	한국철도학회	0	운행제어

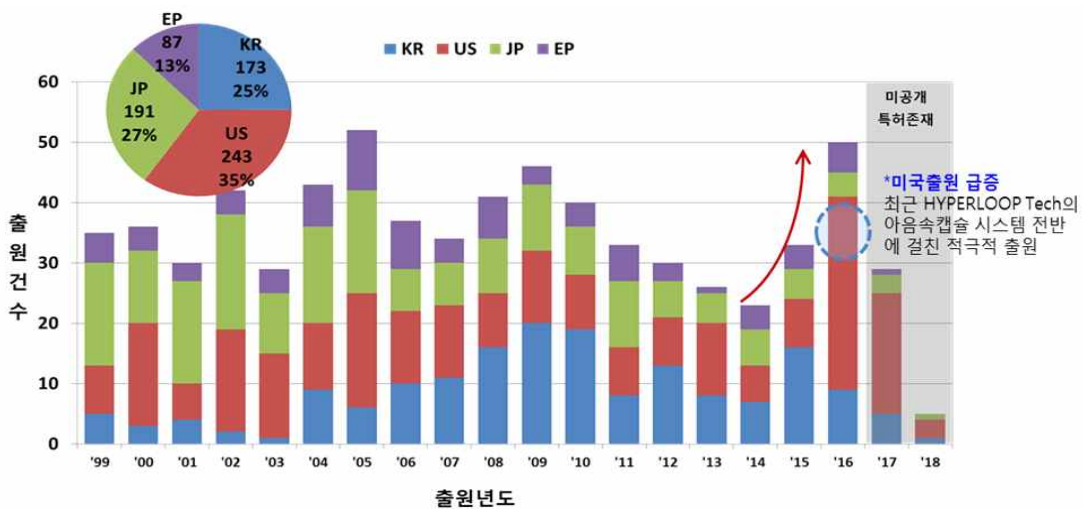
No.	제 1 저자	Title	Year	Publisher	인용 횟수	소분류
63	강형민	전산유체역학을 이용한 하이퍼튜브 열차의 축대칭 해석	2017	한국철도학회	0	공력
64	장용준	다양한 속도에 대한 하이퍼튜브 캡슐 차량 공력저항 계수 수치해석 및 분석	2017	한국철도학회	0	공력
65	이진호	하이퍼튜브 주행동특성 분석 및 향상 방안 고찰	2017	한국철도학회	0	차체
66	장용준	하이퍼튜브 캡슐트레인 압축기 장착 및 미장착에 따른 유속 해석	2018	한국철도학회	0	기밀튜브
67	장용준	하이퍼튜브 캡슐트레인 압축기 장착 및 미장착에 따른 튜브 내부 유동형태 및 공기저항 해석	2018	한국철도학회	0	기밀튜브
68	이창영	하이퍼튜브의 추진·자기부상용 초전도 전자석 실험 모델에 대한 냉동기 부리 운전 성능 평가	2018	한국철도학회	0	차량 인프라
69	김기정	선형동기전동기 추진 자기부상시스템 동특성 해석	2016	전기학회논문지	0	운행제어
70	김경표	고속 이동체를 위한 무선통신시스템의 구조 및 성능	2017	한국통신학회	0	운행제어
71	김정탁	Hyperloop 튜브의 소재에 따른 EM 기반 무선 통신의 특성에 관한 연구	2017	한국통신학회	0	운행제어
72	권경준	튜브형 초고속 이동수단을 위한 태양광 시스템 연구	2017	전력전자학회	0	전력공급 장치(지상)
73	최순욱	초고속이동체계용 터널구조물의 기밀성 연구	2017	대한토목학회	0	기밀튜브
74	문학룡	초고속 이동체계용 신재생에너지 응용 기술 연구	2017	대한토목학회	0	전력공급 장치(지상)
75	강재윤	차세대 초고속 이동체계를 위한 운송관 단면 예비설계	2017	대한토목학회	0	기밀튜브
76	최순욱	아진공상태를 고려한 세그먼트라이닝의 구조 안정성	2017	대한토목학회	0	기밀튜브
77	최용혁	진공-튜브 내 초 고속열차의 공력성능 향상을 위한 디자인 선행분석 연구	2018	Journal of Integrated Design Research	0	차체
78	홍상원	압축기 성능해석 결과를 적용한 캡슐트레인 CFD 해석	2018	한국전산유체공학 학회	0	기밀튜브
79	장용준	초고속 튜브트레인 아음속 및 초음속 유동 해석을 통한 공력 저항 비교 분석	2018	한국전산유체공 학회지	0	기밀튜브

(3) 논문 발행 동향



[그림 3-29] 연도별 논문발행 동향

- 본 대상기술과 관련하여 연도별 논문 발행동향을 살펴본 바, 국내 논문의 경우 2010년경 대한 철도학회를 통해 다수의 관련 논문이 발행된 것으로 조사
- 이후 관련 논문의 발행이 이어져오다 최근 다시 관련 기술에 대한 논문 발행이 증가하는 양상을 나타내고 있는 것으로 조사



[그림 3-30] 연도별 특허출원 동향 비교

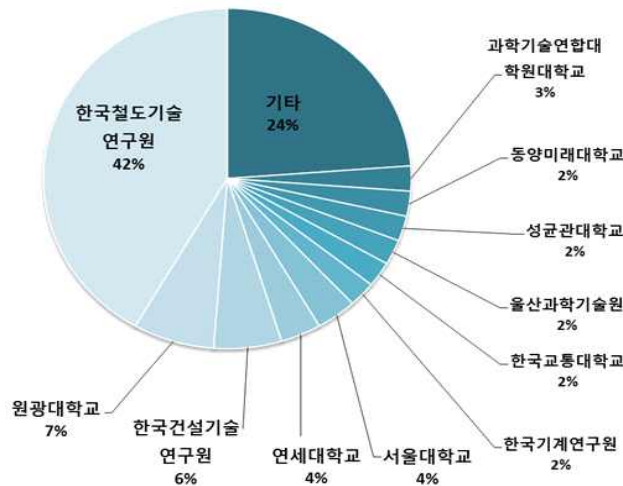
- 해외 논문의 경우, 2015년 이후 대상 기술에 대한 논문 발행이 눈에 띄게 증가하고 있으며, 특히 2017년 이후 관련 논문의 발행건수가 급증하고 있는 것으로 조사
- 연도별 논문발행 동향 및 특허출원 동향을 검토해 본 바, 2010년 이후 논문 발행 동향과 특허출원 동향이 유사한 형태로 진행되고 있는 것으로 조사
- 2010년 이전 논문의 경우, 자기부상열차와 관련하여 다수의 논문이 발행되었을 것으로 사료되나,

본 논문분석 대상에서 제외되어 특허출원과 차이가 존재

- 타 기술 분야의 경우, 일반적으로 논문 발행이 우선적으로 이루어진 후, 특허 출원이 진행되는 양상을 나타내는 것과 달리 논문발행 및 특허출원이 거의 병행하여 이루어지고 있는 모습으로 분석
- 이는 본 대상기술이 원천기술과 가까운 기술에 대하여 비교적 출원이 신속하게 이루어지고 있는데 비롯된 현상으로 파악

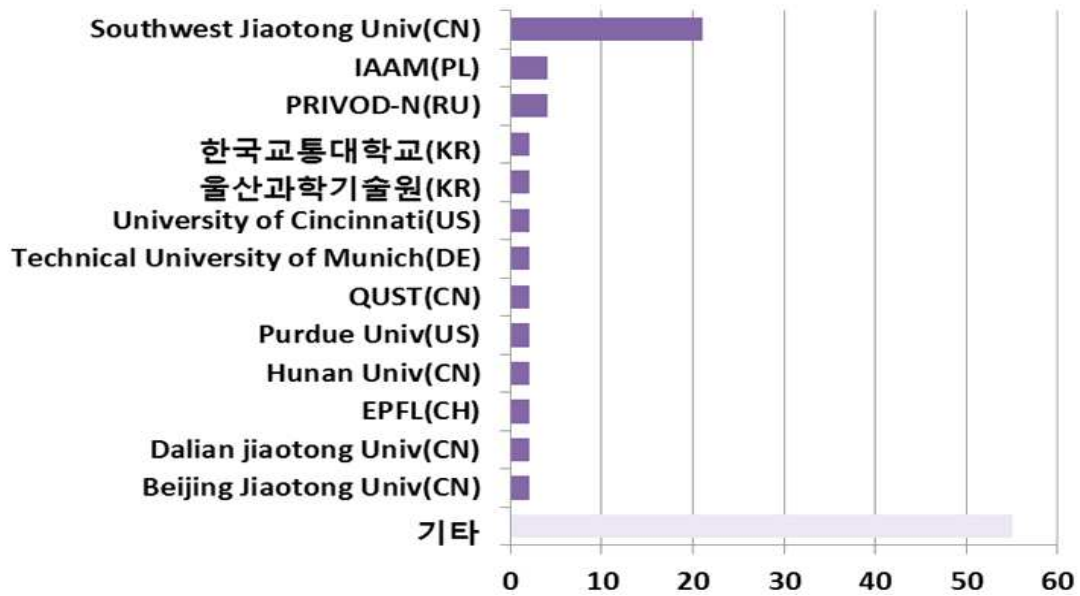


[그림 3-31] 국내 논문 제 1저자 소속

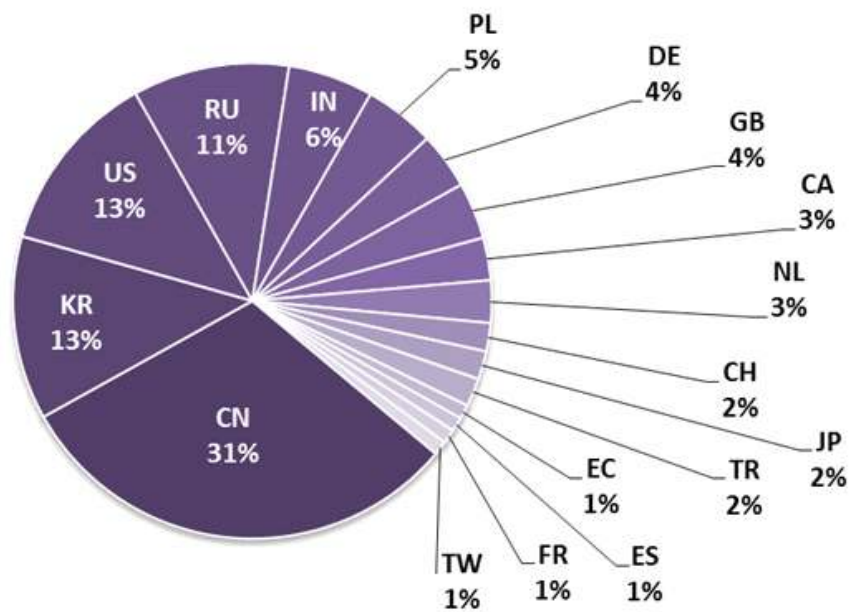


[그림 3-32] 국내 논문 제 1저자 분포

- 본 대상기술과 관련하여 해외에서 발행되고 있는 논문의 제 1저자 소속을 검토해보면, Southwest Jiaotong Univ(CN)에서 20%의 높은 비중으로 다수의 논문을 발행하고 있는 것으로 조사
- 그밖에 Institute of Aeronautics and Applied Mechanics(IAAM)(PL) 및 “Scientific and Technical Center PRIVOD-N”(RU)에서 비교적 다수의 논문을 발행하고 있는 것으로 조사

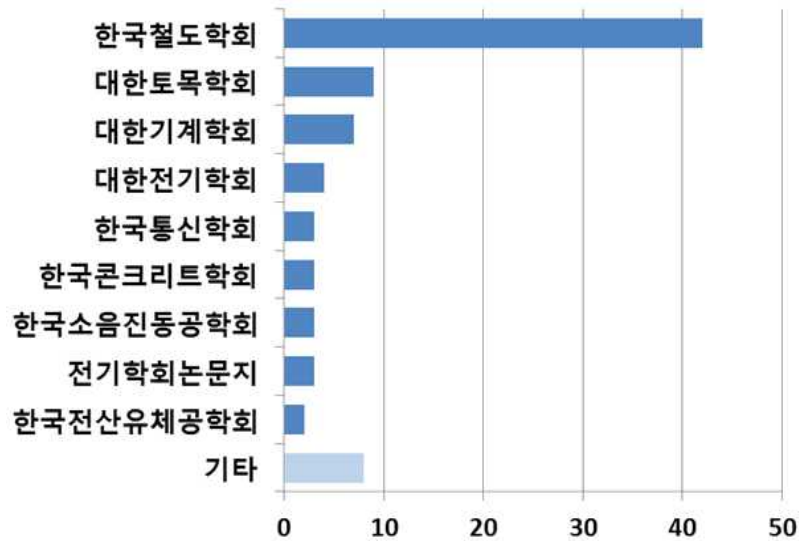


[그림 3-33] 해외 논문 제 1저자 소속



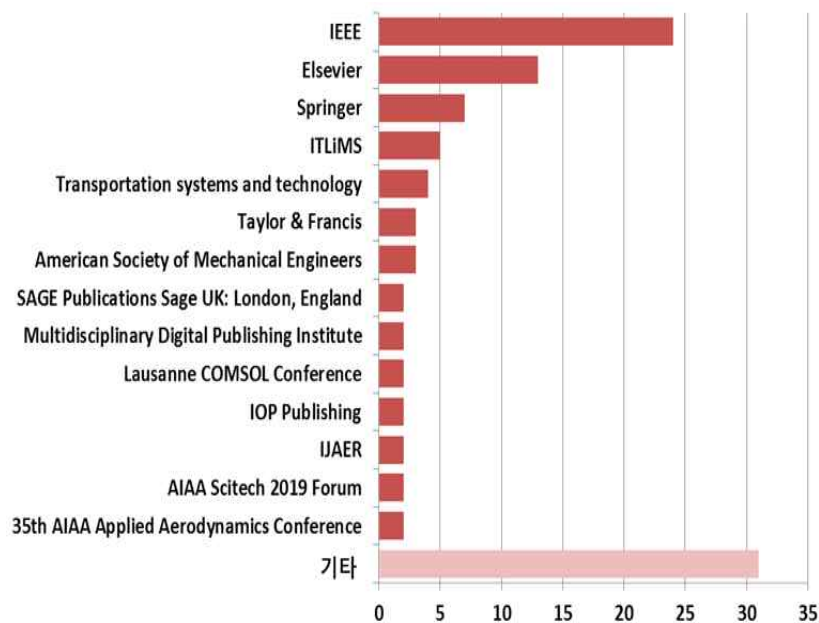
[그림 3-34] 해외 논문 발행 국적 분포

- 해외 논문 발행 저자의 국적 분포를 살펴본바, 중국에서 가장 높은 비중으로 논문을 발행 중에 있는 것으로 조사
- 그밖에 한국, 미국, 러시아 등 정부 연구원 및 대학을 중심으로 관련 논문이 발행되고 있는 것으로 조사



[그림 3-35] 국내 주요 논문 발행 저널

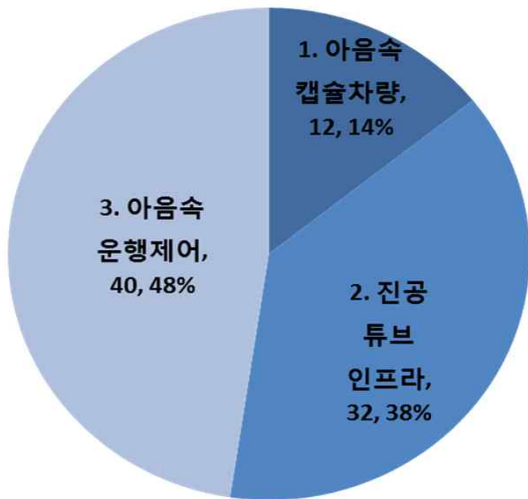
- 본 대상기술 관련한 국내 논문 및 해외 논문의 주요 저널별 발행동향을 살펴본바, 국내 논문의 경우 한국철도학회에서 압도적으로 많은 수의 논문을 발행하고 있는 것으로 조사
- 그밖에 대한토목학회, 대한기계학회, 대한전기학회 등 다양한 학술지에서 관련기술 논문이 발행되고 있는 것으로 조사



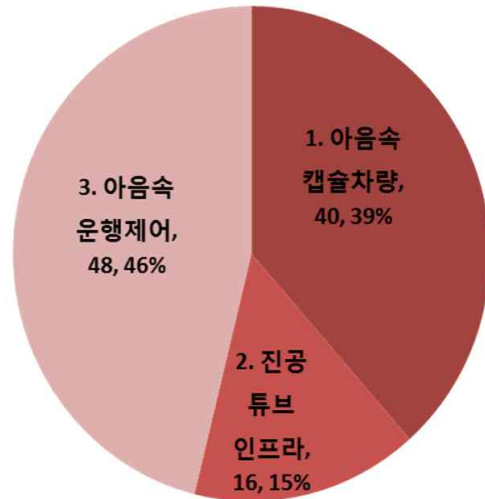
[그림 3-36] 해외 주요 논문 발행 저널

- 국외 논문의 경우 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)를 통해 가장 많은 논문 발행이 이루어지고 있는 것으로 조사
- ELSEVIER, Springer 등 국내보다 다양한 저널에서 관련 논문들이 발행되고 있는 것으로 조사

- 국내 논문의 경우, 논문 발행 초기 아음속 운행제어 기술과 관련한 논문이 다소 활발하게 발행되었다가, 2010년 이후 전체 기술인 아음속 캡슐차량, 진공 튜브인프라, 아음속 운행제어와 관련하여 비슷한 동향으로 논문 발행이 이루어지고 있는 것으로 조사
- 해외 논문의 경우, 논문 발행 초기 아음속 캡슐차량과 관련한 논문 발행을 시작으로 2014년 이후 전체기술인 아음속 캡슐차량, 진공튜브 인프라, 아음속 운행제어 관련 기술 논문이 비슷한 양상으로 발행되고 있는 것으로 조사



[그림 3-37] 중분류별 국내 논문 발행 동향



[그림 3-38] 중분류별 해외 논문 발행 동향

- 국내 논문 및 해외 논문의 중분류 기술별 발행 비중을 검토한 바, 아음속 운행제어 기술과 관련하여 가장 활발한 논문 발행이 이루어지고 있는 것을 볼 수 있으며, 이는 특히 출원 동향과 유사한 양상으로 파악
 - 다만, 국내 논문의 경우 아음속 캡슐 차량에 비해 진공 튜브 인프라와 관련한 논문 발행이 보다 활발한 것에 반해 해외 논문의 경우, 아음속 캡슐 차량이 진공 튜브 인프라에 비해 상대적으로 다수의 논문이 발행
 - 해외 논문 발행 동향과 특허 출원 양상은 비슷한 모습으로 조사
 - 현재 본 대상기술 관련 연구의 경우, 세부적인 한 분야에 집중된 연구개발 보다는 상용화를 위한 종합적이고 다방면의 연구가 병행되고 있는 것으로 판단
 - 기술개발에 따라 논문 발행과 특허 출원이 큰 차이를 두지 않고 병행되는 것으로 파악

〈표 3-22〉 세분류별 논문 발행 동향

주요 논문	국내 발행 건수	해외 발행 건수
1. 아음속 캡슐차량	12	40
공력	7	15
차체	4	19
차량 인프라	1	1
제동장치	-	5
2. 진공 튜브 인프라	33	16
가이드웨이	1	-
기밀튜브	26	9
인프라	6	7
3. 아음속 운행제어	39	48
부상장치	3	15
추진장치	10	4
운행제어	24	26
전력공급장치(지상)	2	3
총합계	84	104

- 본 대상기술과 관련한 국내 논문 및 해외 논문의 세분류별 발행 동향을 살펴본바 국내 논문의 경우, 진공 튜브 인프라 및 아음속 운행제어와 관련한 연구개발에 다소 집중되고 있는 것으로 조사
 - 국내의 진공 튜브 인프라와 관련한 논문의 경우, 콘크리트 재질로 튜브를 건설할 경우의 튜브 기밀성과 관련하여 관련 논문이 계속적으로 발행되고 있으며, 동일 연구진을 통해 연속적인 논문 발행이 이루어지고 있는 것으로 조사
 - 해외 논문의 경우, 국내 논문 발행 동향과 비교했을 때 아음속 캡슐 차량과 관련한 논문 발행이 상대적으로 활발하게 진행되고 있는 것이 조사
 - 열차 운행 시 발생하는 공력 및 이에 따른 동력 분석을 통한 자체 형상 및 구조 설계에 대한 논문이 다수 발행되고 있는 것으로 조사
 - 또한, 국내 및 해외에서 공통적으로 초고속 열차를 운행하기 위해 열차운행의 안정성을 확보하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 것으로 조사
 - 이에 관련한 부상장치, 추진장치 및 운행제어 관련 논문이 활발하게 발행되고 있는 것으로 조사

〈표 3-23〉 세분류별 국내 논문 인용비율 분포

국내 주요 논문	발행 건수	피인용 문헌수	인용비율 (%) (=피인용문헌수/총 발행문헌수)
1. 아음속 캡슐차량	12	5	42
공력	7	2	29
차체	4	3	75
차량 인프라	1	-	-
2. 진공 튜브 인프라	33	2	6
가이드웨이	1	0	-
기밀튜브	26	2	8
인프라	6	0	-
3. 아음속 운행제어	39	2	5
부상장치	3	0	-
추진장치	10	1	10
운행제어	24	1	4
전력공급장치(지상)	2	0	-
총합계	84	9	11

- 본 대상기술과 관련한 국내 논문 및 해외 논문의 세분류별 인용 비율을 살펴본바, 국내 논문의 경우 아음속 캡슐차량과 관련한 논문의 인용비율이 상대적으로 높은 것으로 조사

〈표 3-24〉 세분류별 해외 논문 인용비율 분포

국내 주요 논문	발행 건수	피인용 문헌수	인용비율 (%) (=피인용문헌수/총 발행문헌수)
1. 아음속 캡슐차량	40	123	308
공력	15	67	447
차체	19	19	100
차량 인프라	1	-	-
제동장치	5	37	740
2. 진공 튜브 인프라	16	14	88
기밀튜브	9	9	100
인프라	7	5	71
3. 아음속 운행제어	48	104	217
부상장치	15	9	60
추진장치	4	25	625
운행제어	26	66	254
전력공급장치(지상)	3	4	133
총합계	104	241	232

- 해외 논문의 경우, 아음속 캡슐차량 및 아음속 운행제어와 관련한 논문의 인용비율이 상대적으로 높은 것으로 조사
- 국내 논문과 해외 논문의 인용 비율을 비교해 봤을 때, 국내 논문의 전체 인용 비율은 11%이며, 해외 논문의 전체 인용 비율은 232%로 해외 논문의 인용 비율이 매우 높은 것으로 확인
- 이는, 해외에서 발행되고 있는 논문 내용이 국내의 논문 내용보다 기술적으로 활용도가 높은 내용을 포함하고 있는 것으로 판단 가능
- 국내 논문의 경우, 진공 튜브 인프라와 관련한 논문이 집중적으로 발행되고 있음에도 불구하고

인용비율이 높지 않은 것은 특정 연구진의 관련 기술에 대한 연속적인 논문 발행이 이어지고 있는 것에 따른 현상인 것으로 판단

(3) 논문 분석 소결

□ 국내·외 논문의 발행 동향을 살펴본바, 2010년 이후 국내·외에서 초고속 철도시스템과 관련하여 다수의 논문이 출원되고 있는 것으로 조사

- 국내의 경우, 2010년 LSM 추진 장치 관련 논문이 다수 발행된 이후, 최근에는 아음속 캡슐차량, 진공 튜브 인프라, 아음속 운행 제어와 관련한 모든 분야에서 논문 발행이 이루어지고 있는 것으로 조사
- 국내 아음속 캡슐 차량 관련 논문의 경우, 열차 운행 시 발생하는 공력 및 동력 해석과 관련한 논문과 이에 따른 차체 설계와 관련한 논문이 발행되고 있는 것으로 분석
- 국내 진공 튜브 인프라와 관련한 논문의 경우, 한국철도기술연구원, 한국건설기술연구원, 원광대학교 연구원을 중심으로 콘크리트 재질을 이용한 기밀튜브 건축 시 튜브의 기밀성을 유지할 수 있는 기술에 대한 수치 해석 연구가 활발히 진행되어 관련 논문이 다수 발행되고 있는 것으로 분석
- 국내 아음속 운행 제어와 관련한 논문의 경우, 본 기술의 상용화 가능성에 바탕을 두고 초고속으로 속도를 높이며 열차를 운행할 경우, 발생할 수 있는 안전성 문제 및 차량 운행 제어와 관련한 분석 논문이 다수 발행되고 있는 것으로 조사

□ 해외의 경우, 2015년 이후 눈에 띄는 발행 증가세를 나타내고 있으며 관련하여 최근 연구 개발이 활발히 진행되고 있는 것으로 파악

- 해외 아음속 캡슐차량 관련 논문의 경우, 국내에서와 마찬가지로 열차 운행 시 발생하는 공력 및 동력 해석과 관련한 논문과 이에 따른 차체설계와 관련한 논문이 활발히 발행되고 있는 것으로 분석
- 해외 진공 튜브 인프라와 관련한 논문의 경우, 기밀튜브에서 열차 운행 시 발생할 수 있는 압력파에 따른 운행효율 저하를 방지하기 위해 진공 펌프를 적절히 설계하는 방법에 대한 실험적 해석의 논문이 발행
- 기밀튜브 건축 시 튜브의 기밀성을 유지 할 수 있는 기술에 대한 수치 해석과 관련한 국내 연구진의 해외 논문 발행 건이 함께 나타나고 있는 것으로 조사
- 해외 아음속 운행 제어와 관련한 논문의 경우, 국내 논문과 마찬가지로 본 기술의 상용화 가능성에 바탕을 두고 초고속으로 속도를 높이며 열차를 운행할 경우 발생 할 수 있는 안전성 문제 및 차량 운행 제어와 관련한 분석 논문이 다수 발행되고 있는 것으로 조사

□ 국내 및 해외 발행 논문의 인용비율을 검토해 보았을 때, 해외 발행 논문의 인용 비율이 상대적으로 높게 나타나고 있어 정량적인 논문 발행 동향에 비해 정성적으로 해외 논문의 내용이 기술적으로 다소 발전된 내용을 포함하고 있는 것으로 판단이 가능

○ 다만, 국내 및 해외 논문 내용에 있어 현실적으로 제품화 또는 상용화 가능한 기술 내용이 아닌 캡슐 차량 운행을 상용화하기 위한 실험적 예측 모델의 분석 내용이 대다수인 것으로 조사

2. 기술수준 분석

□ 하이퍼튜브 관련 기술은 기술선도 국가 대비 평균 74.4%, 3.7년으로 기술수준이 추격 그룹으로 구분되며 기술성속도는 3~4단계로 조사

※ 델파이 조사방법을 활용하여 기술수준 분석

- 초고속 추진 및 부상시스템 : 기술선도국 대비 74.9%, 기술격차 4.1년 수준
- 아진공 튜브 주행 차량 : 기술선도국 대비 75.9%, 기술격차 3.1년 수준
- 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 : 기술선도국 대비 77.5%, 기술격차 3.8년 수준
- 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술 : 기술선도국 대비 69.3%, 기술격차 4.0년 수준

〈표 3-25〉 중점분야별 기술수준 및 기술격차

구분	기술수준 (%)	기술격차 (년)	기술성속도 (단계)
초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발 사업	74.4	3.7	3.7
① 초고속 추진 및 부상시스템 기술	74.9	4.1	4.5
1-1. 초고속 추진/부상/제어 기술	74.1	4.4	4.6
1-2. 고효율 대용량 추진 전력 제어 기술	75.9	3.6	4.3
② 아진공 차량 및 무선시스템 기술	75.9	3.1	4.0
2-1. 아진공 차량 기술	75.6	3.3	4.7
2-2. 초고속 아진공 무선 시스템 기술	76.6	2.8	2.5
③ 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	77.5	3.8	3.6
3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술	77.2	3.8	3.5
3-2. 아진공 튜브 인프라 안전기술	78.1	3.6	4.1
④ 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술	69.3	4.0	2.5
4-1. 하이퍼튜브 시스템 통합 및 성능 검증 기술	68.7	4.0	2.9
4-2. 하이퍼튜브 시스템 운영 기술	70.1	4.0	2.0

□ 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 관련 국가전략기술의 수준 및 격차

- 하이퍼튜브 관련 국가전략기술의 수준 및 격차는 기술선도 국가 대비 81.9%, 2.8년으로 추격그룹에 포함
 - 건설·교통 분야의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 86.5%, 기술격차는 3.0년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함
 - 우주·항공·해양의 하이퍼튜브 관련 2개 국가전략기술의 기술수준은 75.0%, 기술격차는 4.3년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 및 후발 그룹에 포함
 - 소재·나노의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 75.0%, 기술격차는 2.5년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함
 - 에너지·자원 분야의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 90.0%, 기술격차는 2.0년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함
 - ICT·SW 분야의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 90.0%, 기술격차는 1.0년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함

〈표 3-26〉 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 국가전략기술별 기술수준 및 기술격차

분야	국가전략기술	최고 기술국	기술 수준 그룹*	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)
건설·교통	10. 스마트 철도교통 기술	EU	추격	86.5	3.0
우주·항공·해양	19. 유·무인 통합 자율 비행체 기술	미국	추격	80.0	3.5
	20. 유·무인 자율 비행체 통합 관제시스템 기술	미국	후발	70.0	5.0
소재·나노	43. 다기능 융·복합소재 기술	미국	추격	75.0	2.5
에너지·자원	77. 고효율 전력수송 기술	EU	추격	90.0	2.0
ICT·SW	118. 초고속·대용량·초저지연 통신 네트워크 기술	미국	추격	90.0	1.0

* 중점과학기술별로 변화의 속도 및 급변점이 다르기 때문에 기술수준(%)에 따라 기술수준 그룹을 정의하는 것은 한계가 있어 수준결과에 상관없이 독립적으로 그룹을 평가하도록 구성

※ 출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2021.4

 **참고** 해외 기술 대비 경쟁력 확보 가능성

- **(기술경쟁력)** 경쟁 기술 대비 기술 구현 방식, 주요 소재, 기반 기술 축적 수준 등을 고려 시 해외 기술 대비 경쟁력 확보 가능할 것으로 판단
 - 추진/부상을 위한 선형동기모터(LSM) 및 고온 초전도 방식 적용에 따라 고속화 및 건설비 측면에서 경쟁력 확보 예상
 - * 하이퍼루프(미)의 경우 LIM 및 영구자석 반발식 적용으로 제어가 간단하지만 효율이 낮아 고속화 구현에 불리하며, 차량 부상 간격이 20mm 내외로(하이퍼튜브 50~100mm) 정밀 시공이 요구되어 건설비 측면에서 불리
 - 슈퍼콘크리트를 이용한 튜브 구축 시 강재 튜브 대비 휨강성, 진동, 자기장 영향 등에서 유리하며, 국내 슈퍼콘크리트의 생산비용이 해외 대비 60~80% 수준으로 기술적, 경제적 경쟁력 확보 예상
 - 5G 세계 최초 상용화 및 직류 기술 개발을 선도하고 있는 등 통신·전력 분야의 축적 기술 수준 고려 시 향후 경쟁력 확보 예상

- **(슈퍼콘크리트)** 하이퍼튜브 아진공 튜브의 재료인 슈퍼콘크리트는 탄소 저감 추세에 걸맞을 뿐 아니라 공사 비용과 기간을 크게 줄일 수 있는 시장성이 매우 높은 자재로 주목
 - 슈퍼콘크리트의 고내구성·고강도를 통해 구조물 주요부재의 수명은 100% 증가, 구조물 중량은 30% 이상 줄어들며, 탄소 배출량 30% 이상 절감 예상
 - 슈퍼콘크리트는 일반 콘크리트 대비 제조원가 50%, 공사비 10% 절감
 - * 유사한 성능을 가진 해외 콘크리트 대비 제조비용이 1/3 수준
 - 세계 콘크리트 시장은 '24년 367조 원으로 성장할 전망이며, 슈퍼콘크리트 비중이 전체의 20%까지 늘어날 것으로 전망
 - 국내 슈퍼콘크리트의 생산비용이 해외 대비 60~80% 수준이란 점을 감안하면, 미래시장에서 경쟁력을 확보 하기에 충분

- **(통신)** 한국의 5G 세계 최초 상용화 후 각국에서는 적극적으로 5G망을 구축 중이며 동시에 6G 시장 선도 또한 가능할 것으로 전망
 - 하이퍼튜브 무선통신 기술을 통해 하이퍼튜브 장비의 신뢰성 향상 및 안전성 확보 기여가 가능
 - 국내는 LTE부터 5G 까지 개발한 기술력과 인프라를 바탕으로 HTX 무선통신 시스템 장비, 단말기, 무선접속 표준화 기술등 모든 분야를 선도하는 것이 가능
 - 추후 6G 저지연 초고속 입체통신 분야의 새로운 시장경제 창출에 기여할 것으로 전망

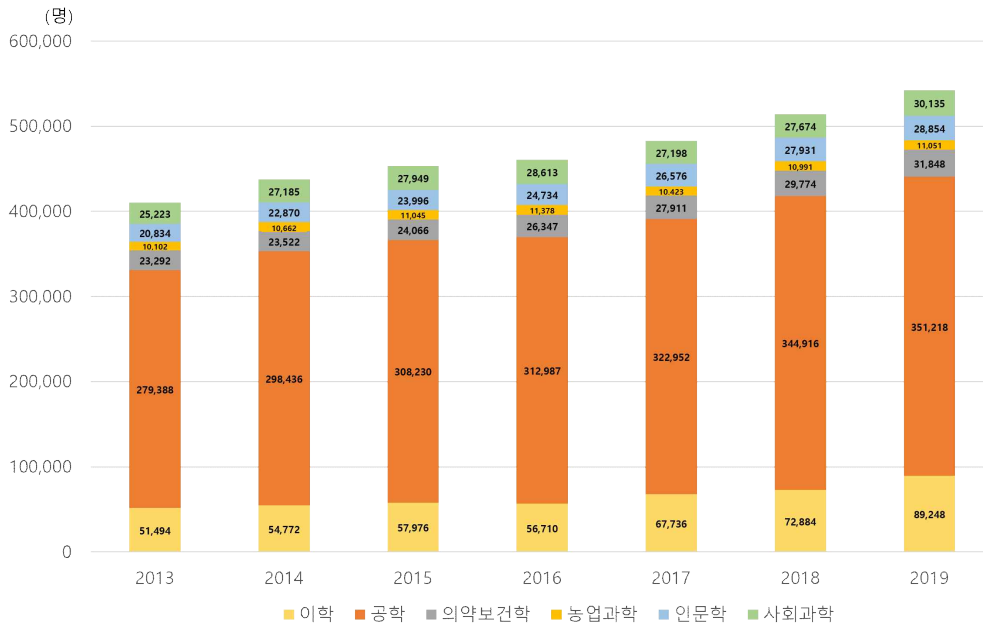
- **(추진/부상/제어) 고온초전도 선형동기모터*** 방식의 추진·부상기술은 초고속에서 추진 효율이 우수할 뿐 아니라, 하이퍼튜브의 건설비 및 운영 에너지 절감이 가능함에 따라 경쟁력 확보 가능
 - 하이퍼튜브 궤도와 차량 사이 공극을 50mm 이상 확보할 수 있기 때문에 궤도 시공 정밀도를 완화시켜 건설비 저감 효과 기대
 - 냉동기 없는 냉매 주입방식의 고온초전도 기술은 차량 전력 저감과 경량화로 차량 추진 에너지 절감 가능
 - * 선형동기모터(LSM:Linear Synchronous Motor)는 종래의 선형유도모터(LIM:Linear Induction motor)방식에 비해 고속에서 효율이 우수함

2. 연구개발 인프라 현황 분석

2.1. 연구인력 현황

□ 우리나라 공학 분야 전공자 수가 35만명 이상으로 충분한 인력 수급이 가능한 수준

○ 과학기술 분야(이학, 공학, 의약보건학, 농업과학) 전공자 비중은 전체의 89.1%를 차지



[그림 3-39] 우리나라 전공별 연구원 수 추이

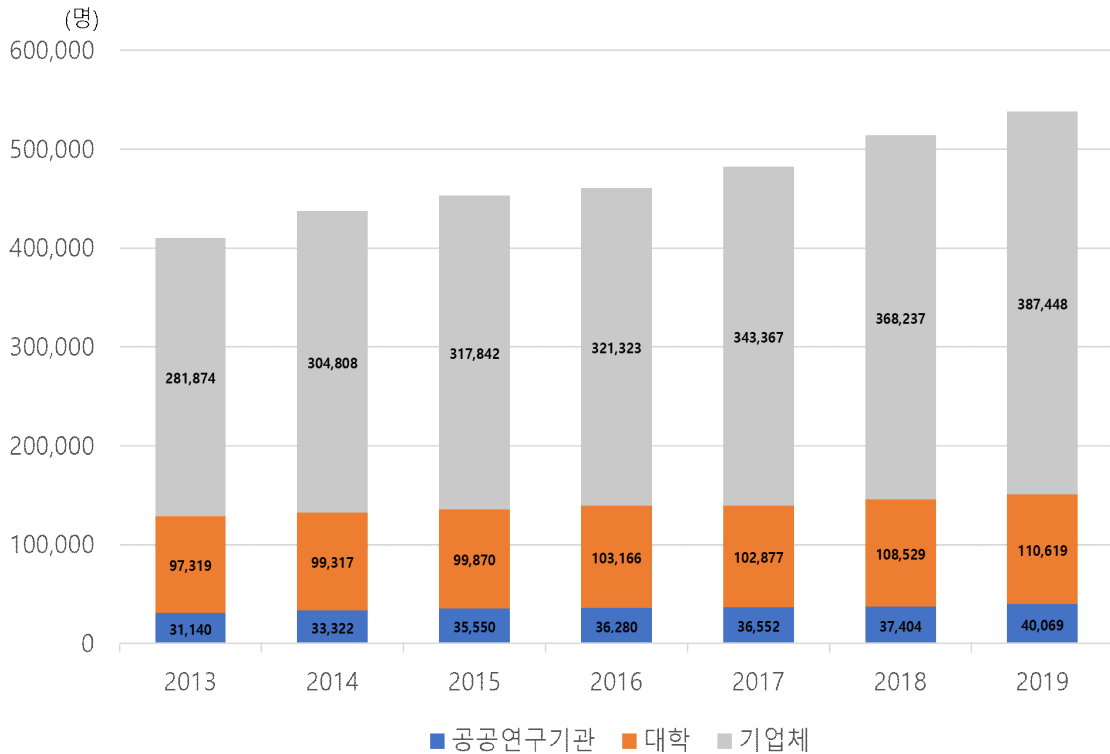
<표 3-27> 우리나라 전공별 연구원 수

(단위 : 명, %)

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
이학	연구원 수	51,494	54,772	57,976	56,710	67,736	89,248
	비중	12.5	12.5	12.8	12.3	14.0	16.0
공학	연구원 수	279,388	298,436	308,230	312,987	322,952	351,218
	비중	68.1	68.2	68.0	67.9	66.9	65.1
의약 보건학	연구원 수	23,292	23,522	24,066	26,347	27,911	31,848
	비중	5.7	5.4	5.3	5.7	5.8	5.9
농업과학	연구원 수	10,102	10,662	11,045	11,378	10,423	11,051
	비중	2.5	2.4	2.4	2.5	2.2	2.0
인문학	연구원 수	20,834	22,870	23,996	24,734	26,576	28,854
	비중	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.3
사회과학	연구원 수	25,223	27,185	27,949	28,613	27,198	30,135
	비중	6.1	6.2	6.2	6.2	5.6	5.6
총계	연구원 수	410,333	437,447	453,262	460,769	482,796	539,354
	비중	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

※ 출처 : 2019년도 연구개발활동조사보고서, KISTEP, 2020.2.

○ 우리나라 연구원 수는 기업체 387,448명, 공공연구기관 40,069명, 대학 110,619명으로 매년 증가하는 추세



[그림 3-40] 우리나라 주체별 연구원 수 추이

<표 3-28> 우리나라 주체별 연구원 수

(단위 : 명, %)

구분		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
공공연구기관	연구원 수	31,140	33,322	35,550	36,280	36,552	37,404	40,069
	비중	7.6	7.6	7.8	7.9	7.6	7.3	7.4
대학	연구원 수	97,319	99,317	99,870	103,166	102,877	108,529	110,619
	비중	23.7	22.7	22.0	22.4	21.3	21.1	20.6
기업체	연구원 수	281,874	304,808	317,842	321,323	343,367	368,237	387,448
	비중	68.7	69.7	70.1	69.7	71.1	71.6	72.0
총계	연구원 수	410,333	437,447	453,262	460,769	482,796	514,170	538,136
	비중	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

※ 출처 : 2019년도 연구개발활동조사보고서, KISTEP, 2020.2.

□ 본 사업의 선행사업 및 유사사업인 「건설기술연구사업」, 「국토교통기술사업화지원사업」, 「국토교통기술촉진 연구사업」, 「국토교통연구기획사업」, 「철도기술연구사업」 등의 최근 9년('13~'21)간 참여 인력은 3,125명이며 연평균 347명으로, 본 사업의 연간 평균 필요 인력인 62명 대비 인력 인프라는 확보 가능한 수준

〈표 3-29〉 선행사업 및 유사사업의 참여 인력('13~'21)

(단위 : 명)

년도	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	합계
책임급	143	173	151	107	74	120	100	112	106	1,086
선임급	157	203	161	111	82	118	111	119	121	1,183
연구원급	120	168	177	117	66	46	46	63	53	856
합계	420	544	489	335	222	284	257	294	280	3,125

○ 동 사업에서 투입이 필요한 인원은 연평균 132명

- 책임급 인력은 449명, 선임급 인력은 207명, 연구원급은 139명이 소요되는 것으로 산정
- 본 사업 기간인 6년('25~'30)간 인력투입계획은 총 795명(연평균 약 132명)

〈표 3-30〉 동 사업의 참여 인력('25~'30)

(단위 : 명)

년도	'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
책임급	55	74	105	86	77	52	449
선임급	28	34	43	37	35	30	207
연구원급	21	25	27	26	23	17	139
합계	104	133	175	149	135	99	795

2. 시설 및 장비 현황

□ 하이퍼튜브 관련 시설 및 장비는 2,471개의 충분한 장비가 구축되어 있으므로, 기존 연구시설장비의 활용을 통하여 적절한 연구개발 수행이 가능할 것으로 확인

- 국가연구시설장비 표준분류 중 중분류 16개 항목, 소분류 66개 항목이 초고속 이동수단 하이퍼튜브 개발에 필요한 장비에 해당
 - 소분류 시설장비를 기준으로 활용 가능한 장비를 차별하여 조사

〈표 3-31〉 국가연구시설장비 표준분류별 투자현황

(단위: 개수)

중분류	소분류	구축수	
		점수	합계
카메라/ 영상처리장비	3D카메라	6	228
	고속카메라	72	
	모션캡처카메라	31	
	열화상카메라	46	
	3D스캐너	73	
절삭장비	선반장비	19	264
	밀링장비	42	
	드릴링장비	11	
	보링장비	4	
	연삭장비	54	
	복합절삭장비	49	
	절단장비	78	
	편칭장비	7	
성형/가공장비	프레스장비	100	323
	압연장비	18	
	사출장비	54	
	용접장비	82	
	레이저가공기	69	
자동화/이송장비	오버헤드크레인	4	61
	이동크레인	3	
	이송장치/차량	54	

중분류	소분류	구축수	
		점수	합계
재료물성 시험장비	만능시험기	71	394
	만능피로시험기	73	
	가속수명시험기	37	
	초음파검사장비	30	
	열충격시험기	73	
	진동내구시험장비	69	
	환경모사시험기	41	
측정시험장비	전압/전류/전력측정시험장비	187	513
	절연/누설/정전기측정시험장비	23	
	오실로스코프	131	
	전자파측정시험장비	84	
	유무선네트워크 측정시험장비	69	
	안테나측정시험장비	19	
신호발생장비	아날로그신호발생기	40	110
	임의파형발생장비	31	
	펄스발생장비	39	
전력발생장비	무정전전원공급장치	14	156
	직류전원공급장치	59	
	교류전원공급장치	43	
	교류/직류전원공급장치	20	
	교류/직류전원공급장치	20	
자기력발생/측정장비	자기력측정장비	29	48
	자기력발생기	19	
교정장비	전압교정기	2	7
	주파수교정기	5	
장비소프트웨어	데이터처리장비기반 소프트웨어	48	101
	연구장비기반 소프트웨어	53	
온도/열/습도/수분측정장비	투습도측정기	24	24
시간/주파수/속도/회전수측정장비	주파수계수기	6	33
	파장계	11	
	속도/회전수측정장비	16	
힘/토크/압력/진공측정장비	부하시험기	19	60
	압력/진공측정장비	41	
음향/소음/진동/충격측정장비	소음계/잡음지수분석장비	26	131
	진동계	42	
	평형시험/충격시험기	15	
	지진계	48	
환경조성형시설	진공/압력/밀폐시설	6	18
	풍동/수조시설	9	
	충격/충돌/주행시험시설	3	
총 계			2,471

※ 출처 : 과학기술정보통신부, 2017년도 국가연구시설장비 조사분석 보고서

□ 시설 및 장비활용계획

- 아진공 인프라 기술과 아음속캡슐차량 기술개발 등의 개발을 위한 부품, 시스템 기술 개발에 활용 가능
- 기존 연구시설·장비를 최대한 활용하되 현재 보유하지 못한 연구개발 장비, 기존 활용도가 높아 전용 장비의 구축이 필요한 경우, 기존 시설 장비의 노후화로 과제 목표를 위하여 신규 시설 장비의 구축이 필요한 경우에 한하여 구축을 추진

※ 연구장비종합포털(www.zeus.go.kr) 등록 연구시설·장비를 검색·분석한 결과 기존 주요 시설 및 장비별 활용 가능분야는 다음 표와 같이 제시가 가능

〈표 3-32〉 하이퍼튜브 과제 수행을 위한 주요 인프라 및 활용가능 분야

순번	보유 기관명	시설 및 장비명	취득 일자	수량	활용가능분야
1	한국철도 기술연구원	휴대용 데이터 저장 및 분석장비(GX-1)	2003	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
2	한국철도 기술연구원	초고속 자기부상철도 계측장비(NI PXI-8110)	2012	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
3	한국철도 기술연구원	터널주행열차모형시험기(MMR)	2000	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
4	한국철도 기술연구원	자계측정기 및 실시간분석시스템(A/C)(부대장비)(THM1176)	2010	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
5	대흥기업	전력분석기(PW3198)	2011	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
6	한국철도 기술연구원	디지털 오실로스코프(MDA810)	2016	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
7	Enterasys	10톤 피로시험기(370)	2008	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
8	한국철도공사	직진도검사기(RAILPROF 1000)	2008	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
9	경남테크노파크	대형정밀지그보링머신(jig1200)	2012	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
10	건국대학교 산학협력단	스넵편칭기(SM600)	2007	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
11	전주대학교 산학협력단	편칭머신(EM2510NT)	2004	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
12	한국과학기술원	UHT 편칭머신(MP-7150Z)	2005	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
13	명지대학교 산학협력단	오버헤드크레인(200kN)(B DCM-20-7350)	2017	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
14	가톨릭관동대학교	오버헤드크레인(MHJ-1T-26000 (1ton))	2012	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
15	(사)한국금형	호이스트(천장주행)	2014	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술

순번	보유 기관명	시설 및 장비명	취득 일자	수량	활용가능분야
	산업진흥회	크레인)(모델명 없음)			
16	한국원자력 연구원	진공챔버 내부 2축 이송장치(개발장비)	2017	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
17	강원대학교 삼척캠퍼스	초음파검사장치(AWAC 600kHz)	2010	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
18	두산중공업(주)	고출력 초음파 Pulser Receiver Module (MS5800 UT Module)	2012	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
19	한국과학기술원	C 스캔(IMMERSION EZ-SCAN)	2011	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
20	(주)파카하니핀커 벡터	열충격시험기 (SHOCK2A00)	2007	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
21	울산테크노파크	대용량 열충격시험기 (TST-2Z-3696S)	2016	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
22	한국산업기술 시험원	위치 차단기용 열충격 시험기(DHST-615)	2005	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
23	디엠씨	진동내구시험장비(VS-600/SA1M)	2012	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
24	한양대학교 ERICA캠퍼스	환경모사식저주기피로 시험기2(Corrosion Fatigue)	2009	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
25	한국기계연구원	복합환경진동 시험기(SDA200/EDS2000-650LS3/TBT2000 M)	2019	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
26	LS산전(주)	200A 파워 소스 및 표준 미터(모델명 없음)	2009	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
27	한국전기연구원	측정시스템(WT3000)	2013	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
28	한국전기연구원	전력분석기/파워조절기 측정장비(WT3000)	2007	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
29	한국과학기술원	오실로스코프 (HP54810A (Infinium))	1999	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
30	전자부품연구원	LVDC 방사잡음 측정장비(모델명 없음)	2016	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
31	충북테크노파크	펄스 발생기 (CS115)(9355-1)	2010	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
32	중소기업기술 혁신개발	고전압 펄스 전원장치(PDS-4000D)	2016	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
33	울산과학기술원	무정전전원공급장치 (SPU-3000M)	2017	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술

순번	보유 기관명	시설 및 장비명	취득 일자	수량	활용가능분야
34	충남테크노파크	전류공급안전장치 (모델명없음)	2007	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
35	구미전자정보 기술원	직류전원공급장치 (2304A)	2007	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
36	한국산업기술 시험원	교류전원공급장치 (DACPF-150KVA)	2011	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
37	오송첨단의료 산업진흥재단	교류직류 전원 공급장치(DPR3000)	2014	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
38	한빛이디에스 (주)	전압전류교정기 (FLUKE 550A)	2006	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
39	한국전기 안전공사	다기능전압전류교정기 (5520A)	2004	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
40	한국표준과학 연구원	미터교정기(5700A/5720 A)	2005	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
41	재단법인 한국조명 아이씨티연구원	주파수교정기(5520A)	2002	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
42	충북테크노파크	투습도측정기(PERMATR AN-W Model 3/33 Plus)	2013	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
43	대구테크노파크	고차단투습도측정기 (AQUATRAN Model 1)	2009	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
44	구미전자 정보기술원	고정밀투습도 측정기 (AQUATRAN 2)	2017	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
45	한국표준과학 연구원	파장계(WA-1500-NIR- 58)	2004	1	1-2. 고효율 대용량 급전 전력 제어 기술
46	오송첨단의료 산업진흥재단	디지털압력측정장비 (PACE1001)	2015	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
47	고려대학교 산학협력단	이동식 지진계 (Centaur Trilium Compact)	2017	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술
48	가톨릭관동대학교 산학협력단	단면수조용풍동터널 (모델명 없음)	2012	1	3-1. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술

3. 연구개발 성과 및 한계분석

□ 다양한 과제를 통해 하이퍼튜브 관련 추진·부상·제어, 인프라 관련 요소기술 개발을 성공

〈표 5-20〉 기술성공 사례를 통한 하이퍼튜브 기반 기술

구분	기술성공 사례	내용						
추진/부상/ 제어	<ul style="list-style-type: none"> 세계 최초 냉동기 분리 방식의 고온 초전도 전자석 기술 구현 (과제명 : 축전형 초전도 선형 추진 시스템 기술 개발) 	<ul style="list-style-type: none"> 추진 제어 및 단거리 시험선에서 주행 시험 성공(0.2G, 50 km/h) 2021년 과기부 우수성과 100선 선정  <p>〈초전도 전자석 사진품〉 〈초전도 선형 추진 시험〉</p>						
	<ul style="list-style-type: none"> 선형 동기모터(LSM) 추진 방식의 자기부상 실험 차량 개발 (과제명 : 550 km/h급 초고속자기부상철도 선형 추진 기술 개발) 	<ul style="list-style-type: none"> 추진전력 제어 시스템(3MVA) 및 단거리 시험선 구축  <p>〈LSM 추진 차량 사진품〉 〈추진전력제어시스템〉</p>						
	<ul style="list-style-type: none"> 능동 및 반능동 현가장치 개발 (과제명 : 철도차량용 능동 현가장치 기술 개발) 	<ul style="list-style-type: none"> 중고속(150 km/h) 차량에 적용하여 성능 검증 2015년 10대 기계기술 선정  <p>〈철도차량용 능동현가장치 개발 및 성능 검증〉</p>						
인프라	<ul style="list-style-type: none"> 슈퍼 콘크리트 개발 (과제명 : 압축강도 80~180 MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 재료 및 구조물 기술 개발) 	<ul style="list-style-type: none"> 세계적 수준의 압축강도 80~180 MPa 슈퍼콘크리트를 국내 최초로 개발. 일반 콘크리트에 비해 강도 3~5배 이상, 공극률 1/10의 고성능 고내구성 재료로서, 이를 활용한 구조물 응용 기술 확보.  <table border="1"> <thead> <tr> <th>일반 콘크리트</th> <th>고강도 콘크리트</th> <th>슈퍼 콘크리트</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> Strength: 20~40MPa Porosity: 10~20% </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Strength: 50~100MPa Porosity: 5~8% </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Strength: 150~300MPa Porosity: 2% below </td> </tr> </tbody> </table>	일반 콘크리트	고강도 콘크리트	슈퍼 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> Strength: 20~40MPa Porosity: 10~20% 	<ul style="list-style-type: none"> Strength: 50~100MPa Porosity: 5~8% 	<ul style="list-style-type: none"> Strength: 150~300MPa Porosity: 2% below
	일반 콘크리트	고강도 콘크리트	슈퍼 콘크리트					
	<ul style="list-style-type: none"> Strength: 20~40MPa Porosity: 10~20% 	<ul style="list-style-type: none"> Strength: 50~100MPa Porosity: 5~8% 	<ul style="list-style-type: none"> Strength: 150~300MPa Porosity: 2% below 					
	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 콘크리트 튜브 설계 및 시공 기반기술 개발 (과제명: 차세대 초고속 이동체계 Hyperloop 기반기술개발) 	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 120 MPa의 초고밀도 콘크리트를 이용하여 길이 10 m, 내경 4m의 원형 운송관 프로토타입 시험 시공 완료. 1/1000 기압 아진공 상태 약 45분 유지 성능 확보. 						
<ul style="list-style-type: none"> 대형 챔버의 대기압과 진공압의 압력차를 버티며 진공상태를 유지하는 기술 (과제명 : 대형 진공 챔버의 밀폐도어 제작 기술개발) 	<ul style="list-style-type: none"> 국내기술로 5m3급의 D형상의 대형 진공챔버를 제작하여 우주환경 분야에서 활용. 실험체의 인입을 위한 대형 도어가 적용되었으며, 대형 챔버의 대기압과 진공압의 압력차를 버티며 진공상태를 유지하는 기술 확보 							
<ul style="list-style-type: none"> 대형 진공 챔버(도어) 제작 (과제명 : 우주환경모사를 위한 대형열진공챔버 국산화 구축) 	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술로 직경 8m x 길이 10m급의 대형 진공챔버를 제작하여 항공우주 분야에서 활용. 실험체의 인입을 위한 대형 도어 적용으로, 대기압과 진공압의 압력차에 저항하는 밀폐도어 제작, 설치기술 확보 							

4. 주요 시사점

현황		시사점
투자 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ '16년 이후 하이퍼튜브 분야의 정부 R&D 연구비 투자는 약 264억원 수준이며, 전체 R&D 대비 연평균 0.13% 수준 ○ '16~'20년 간 국토부에서 714억원(54.2%)로 가장 많이 투자하였으며, 과기정통부에서 '16년 연평균 4.6% 상승한 60억원을 투자하여 총 330억 원(25.1%) 규모를 투자 ○ 과기정통부의 경우 기초연구 중심의 투자하였으며, 국토부의 경우 응용개발 연구 중심으로 투자 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과기정통부의 기초연구 및 국토부의 응용개발연구 투자현황을 고려하면 하이퍼튜브 연구개발에 필요한 투자 역량은 충분
기술 수준 현황	<p>[기술수준]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 하이퍼튜브 관련 기술은 기술선도국가 대비 평균 74.4%, 3.7년 차이가 있어 추격그룹으로 구분되며 기술 성숙도는 3~4단계로 조사 <p>[특혜]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 세계 주요국 모두 초고속 추진/부상/제어기술 분야에 집중하고 있으며, '03년도 이후 특허 출원이 서서히 증가하여 최근까 지도 지속적으로 증가하는 추세 ○ 아진공튜브 인프라 설계 및 시공 관련 기술의 경우 '16년 이후로 출원 건수가 급격히 증가하고 있으며 특정 출원인이 기술을 선도하기 보다는 다양한 국가에서 골고루 개발하고 있어 기술 격차는 크지 않은 것으로 예상 <p>[논문]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ '10년 이후 국내외에서 초고속 철도시스템 관련 논문이 다수 출원되고 있는 상황 ○ 특히 해외의 경우 '15년 이후 눈에 띄게 발생 증가세를 보이고 있으며 관련된 연구 역시 최근에 활발히 진행 중인 것으로 파악 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이퍼튜브 관련 기술수준은 추격그룹 수준이나, 요소기술별 기술개발 수준 등을 고려하였을 때 기술적 우위를 확보하고 있는 기술이 존재하여 꾸준한 투자를 통해 초고속 하이퍼튜브 기술 확보가 필요 ○ 전 세계적으로 관련 연구가 치열한 초고속 하이퍼튜브 시장의 선점을 위해서 관련 기술개발 추진이 시급
인프라 현황	<p>[인력]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 동 사업에서 투입이 필요한 인원은 연평균 29명으로 본 사업의 선행사업 또는 유사사업에 최근 9년간('13~'21)간 참여한 인력 3,125명(연평균 347명)이므로 충분히 확보 가능한 수준 <p>[시설 및 장비]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 하이퍼튜브 관련 시설 및 장비는 2,471개로 충분히 기구축 되어 있으며, 기존 연구시설장비의 활용을 통해 연구개발 수행이 가능할 것을 확인 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 충분히 투입할 수 있는 인력을 바탕으로 초고속 하이퍼튜브 개발에 활용 ○ 기존 연구시설 및 장비를 최대한 활용하되, 현재 보유하지 못한 장비, 기존 활용도가 높아 전용 장비의 구축이 필요한 경우, 기존 시설장비의 노후화 등으로 인해 신규 시설장비 구축이 필요한 경우에 한하여 구축 추진 필요
기존 연구 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이퍼튜브에 필요한 요소기술은 개발되었으나, 이러한 성과를 연계활용한 초고속 하이퍼튜브 관련 연구는 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 각각 개발되어 있는 요소기술을 초고속 하이퍼튜브 개발 등에 활용 필요

제4절 종합분석

□ 대내외 환경분석

〈표〉 대내외 환경분석 종합분석

환경분석	주요 시사점
정책적	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 각국은 다양한 형태로 초고속 교통수단 기술 개발에 협력하여 신 교통수단 구축 노력 강화 • 정부는 정책적으로 교통기술 개발을 과학기술 패러다임 변화를 선도하는 국가 중점기술로 선정하여 국가경쟁력 강화를 도모
경제적	<ul style="list-style-type: none"> • 지리적 이동성 증대, 정치여건 변화로 인한 초고속 중장거리 이동수단의 도입은 상당한 경제적 파급효과를 야기할 것으로 기대 • 교통부문의 도로 의존도로 사회적 비용 발생저감을 위한 신 교통수단 구축이 필요
사회적	<ul style="list-style-type: none"> • KTX가 도입되면서 중장거리 이동수요의 지속적인 증가 • 국가 성장을 주도한 고속도로와 KTX 개통 이후 혁신적 교통수단 도입이 필요 • 대중교통에 대한 이용의 편리성과 통행시간 절감에 대한 필요성 증대 • 수도권 일극화 현상 및 지역 균형 발전을 위해 중장거리 통행시간 절감이 필요 • 삶의 질을 중시하는 가치관의 변화로 중장거리 거점 간 효율적이고 쾌적한 이동수단 필요가 증대 • 미래 국토공간 및 환경변화에 대응할 수 있는 신 교통수단 도입이 필요하며, 하이퍼튜브가 가장 효율적인 교통수단으로 주목 • 탄소배출량이 많은 항공기를 대체할 수 있는 중장거리 교통수단 전환의 요구가 가속화
기술적	<ul style="list-style-type: none"> • 초고속으로 주행할 수 있는 하이퍼튜브에 적합한 추진/부상 기술 개발이 필요 • 캡슐차량이 안전하게 운행될 수 있는 아진공 튜브의 재료개발, 설계·시공기술이 필요하며, 문제 발생에 있어 빠르게 분석·대응할 수 있는 안전관리 기술개발이 필요

□ 국내 역량분석

〈표〉 국내 역량분석 종합분석

환경분석	주요 시사점
R&D 투자 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 과기정통부의 기초연구 및 국토부의 응용개발연구 투자현황을 고려하면 하이퍼튜브 연구개발에 필요한 투자역량은 충분
인프라 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 충분히 투입할 수 있는 인력을 바탕으로 초고속 하이퍼튜브 개발에 활용 • 기존 연구시설 및 장비를 최대한 활용하되, 현재 보유하지 못한 장비, 기존 활용도가 높아 전용 장비의 구축이 필요한 경우, 기존 시설장비의 노후화 등으로 인해 신규 시설장비 구축이 필요한 경우에 한하여 구축 추진 필요
특허현황	<ul style="list-style-type: none"> • 하이퍼튜브 관련 기술수준은 추격그룹 수준이나, 요소기술별 기술개발 수준 등을 고려하였을 때 기술적 우위를 확보하고 있는 기술이 존재하여 꾸준한 투자를 통해 초고속 하이퍼튜브 기술 확보가 필요 • 전 세계적으로 관련 연구가 치열한 초고속 하이퍼튜브 시장의 선점을 위해서 관련 기술개발 추진이 시급 • 각각 개발되어 있는 요소기술을 초고속 하이퍼튜브 개발 등에 활용 필요

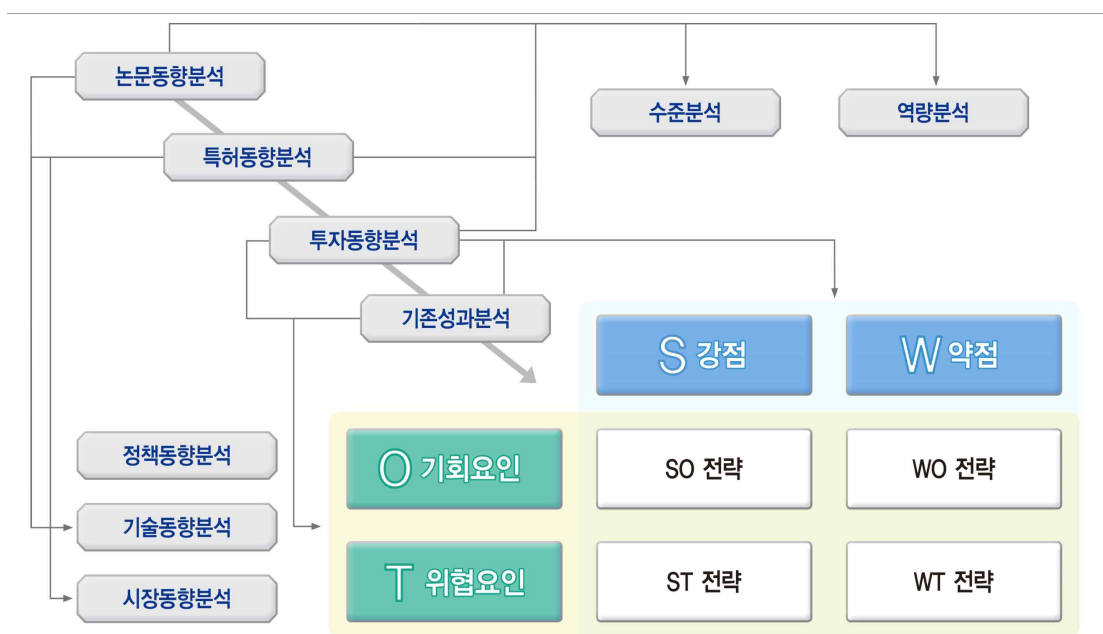
제3장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

제1절 신규 연구개발사업 추진전략

1. 사업 추진방향 및 범위

1.1. 사업추진 방향 및 중점분야 도출방법

- 글로벌 메가트렌드, 정책, 사회, 경제, 기술 환경변화를 고려한 대내외 거시환경분석(PEST) 결과와 본 사업의 추진 필요성, 시급성, 국고지원 필요성 등을 종합적으로 고려하여 사업 추진방향과 전략을 도출
 - 국내 철도산업 관련 국내 R&D 수준 및 역량 시점을 ‘내부환경’으로, 정책, 연구개발, 시장 약점을 ‘외부 환경’으로 조사하여 SWOT-Matrix 분석 실시
 - 내부환경은 강점과 약점(SW)으로 외부환경은 기회요인과 위협요인(OT)으로 반영
 - 논문동향과 특허동향은 외부환경인 연구개발동향 분석과 시장동향 분석, 내부환경인 수준분석과 역량분석에 연계반영
 - 투자동향분석과 기존성과분석 결과는 내외부 구분 없이 적용하되, 투자동향은 역량분석에도 연계반영
 - SWOT분석은 대내외 환경변화와 R&D 역량분석을 통하여 도출된 철도산업 투자의 강점(S)과 약점(W)을 도출하고 이에 따르는 기회요인(O)과 위협요인(T)을 분석하여, SWOT matrix 분석을 통한 기술개발 전략 도출 절차로 진행
 - SO는 강점을 활용한 사업성공 전략, WO는 약점극복을 통한 기회를 활용하는 전략, ST는 강점을 활용하여 위협요인을 최소화하는 전략, WT는 위협을 회피하고 약점을 최소화하는 전략 기술



[그림 5-1] 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 R&D 추진방향 도출 방법

1.2. 종합분석(SWOT)을 통한 전략 및 중점 분야도출

1.2.1 외부환경 : 기회와 위협

(1) 기회 (Opportunity)

□ (기회 1) 하이퍼튜브 관련 기술시장은 '21년~'26년 동안 연평균 40.4%씩 증가할 것으로 전망

- 하이퍼튜브 관련 기술시장은 캡슐, 가이드웨이, 추진시스템 및 완전한 운영체계를 구축하기 위한 경로 등의 운송시스템 기술이 포함되어 있으며, '21~'26년 동안 지속적으로 성장할 것으로 전망
 - 하이퍼튜브 관련 기술시장은 총 '21년 \$1,205 million(약 1조 4천억 원)에서 '26년 \$6,575 million(약 7조 7천억 원)으로 성장하여, 연평균 성장률¹⁰⁸⁾은 약 40.4%로 예상¹⁰⁹⁾
 - 캡슐 시장은 '21년에 \$41 million(약 4백억 5천만 원)으로 평가되었으며, '26년에는 \$431 million(약 5천억 7천만원)으로 연평균 성장률이 60.1%로 예상되며, 관련 기술 중 가장 높은 CAGR로 성장할 것으로 예상
 - 가이드웨이 시장은 '21년에 \$560 million(약 6천억 2천만 원)으로 평가되었으며, '26년에는 \$2,587 million(약 3조 5백억 원)으로 연평균 성장률이 35.8%로 예상

〈표 5-1〉 하이퍼튜브 관련 기술 시장규모 (\$million)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	2026	연평균 성장률 (2021~2026)
캡슐	41	114	176	235	323	431	60.1%
가이드웨이	560	1,261	1,632	1,862	2,214	2,587	35.8%
추진시스템	226	569	817	1,030	1,347	1,725	50.1%
경로	377	857	1,120	1,291	1,551	1,832	37.2%
총 합계	1,205	2,801	3,744	4,418	5,434	6,575	40.4%

※ 출처 : MarketsandMarkets(2021)

- 국가별 하이퍼튜브 기술 시장규모는 '26년 북아메리카 연간 \$1,973 million (약 2조 3천억 원), 유럽 \$1,381 million(약 1조 6천억 원), 아시아 \$2,301 million(약 2조 7천억 원) 규모로 예상

〈표 5-2〉 국가별 하이퍼튜브 기술 시장규모(\$million)

국가	2021	2022	2023	2024	2025	2026	연평균 성장률 (2021~2026)
북아메리카	279	692	984	1,231	1,599	1,973	47.9%
유럽	663	1,533	1,733	1,673	1,599	1,381	15.8%
아시아 (APAC)	96	375	704	1,069	1,609	2,301	88.6%
남아메리카/ 중동	167	201	323	446	627	921	40.7%
총계	1,205	2,801	3,744	4,418	5,434	6,575	40.4%

- 국내 하이퍼튜브 시장 '24년 \$107 million(약 1천억 원)에서 '26년 \$276 million(약 3천억 원)으로 성장하여, 연평균 성장률은 약 60.7%로 전망

〈표 5-3〉 국내 하이퍼튜브 기술 시장규모(\$million)

구분	2022	2023	2024	2025	2026	연평균 성장률 (2024~2026)
시장규모	-	-	107	177	276	60.7%

□ (기회 2) 교통수단의 속도개선은 국가 경제성장을 주도할 수 있는 미래 성장 동력 기반으로 활용 가능

108) CAGR : Compound Annual Growth Rate

109) MarketsandMarkets(2021)

- 정부통개선은 국가경제 성장에 크게 기여하였으며, 미래 국가성장을 위해서는 국토 전체에 영향을 미칠 수 있는 혁신적 교통수단 도입 필요
 - '15년 호남 KTX 개통 후 지역 간 고속교통수단의 속도 개선과 미래 국가성장 동력발굴을 위한 초광역권 단위의 교통수단 고속도로, KTX 개통 등의 교개발이 미흡



※ 출처 : 한국은행경제통계시스템 자료 활용 작성

[그림 5-2] 교통수단개선과 국민소득성장 (1980-2020)

- 과거의 KTX의 개통은 수도권 인구집중현상을 완화하는데 영향을 미치는 것으로 확인
 - '04년 KTX 개통 이후 인구 이동을 살펴보면 KTX 정차역이 수도권 지역보다 비수도권 지역에 입지 하였을 때 순 인구유입이 12.37% 더 높게 조사
 - 이러한 결과는 KTX 개통이 수도권 인구집중을 심화시킬 것이라는 논란에 반하는 결과로 비수도권의 인구유입이 상대적으로 크게 나타나는 것으로 확인
 - 초고속교통수단 도입으로 분산된 대도시 간의 공간거리장벽을 줄여 대도시기능의 합리적 이용 및 배분이 가능한 컴팩트 국토*형성 방안 마련이 필요

* 통행시간 단축에 따른 통근권, 업무 교류권 등의 확대 등과 같은 국토공간의 압축적 이용

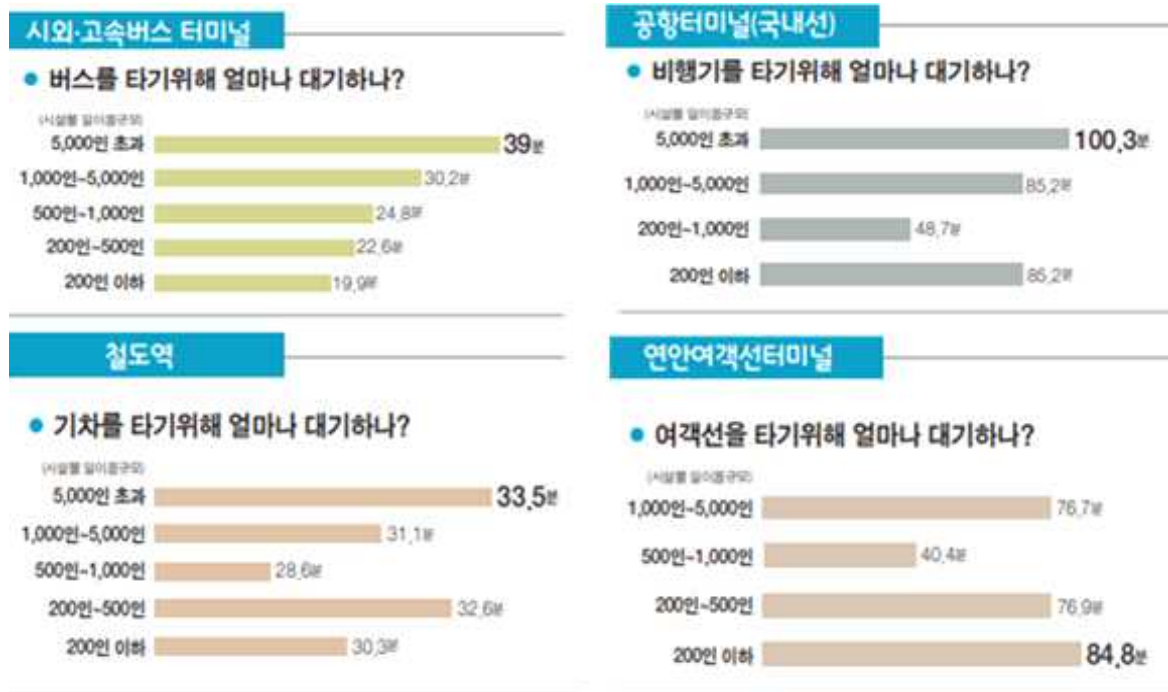
□ (기회 3) 중·장거리 이동수단에 대한 이용의 편리성, 통행시간 절감 등에 대한 이용객의 요구 증가

- '04년 이후 고속철도 KTX가 도입되면서 매년 지속적으로 중장거리 통행량이 증가
 - 국내 철도의 경우, 고속철도를 개통한 '04년 이후 철도 수송인원이 지속적으로 증가하였으며, '19년 약 9천만 명으로 '11년 약 5천만 명 대비 약 80% 증가¹¹⁰⁾
 - KTX 개통 이후 새마을, 무궁화호 여객수송실적의 연평균 증가율 각각 -1.9%, -0.4%인 반면, KTX는 연평균 증가율 9.6% 기록
- 사람들은 점차 삶의 질을 향상을 추구하고 있어 통행수단 선택 시 비용보다는 이용의 편리성, 통행시간 절감을 중요시하고 있는 상황¹¹¹⁾

110) e-나라지표, 한국철도공사 및 (주)SR에서 제공하는 「KTX, SRT 여객 수송 통계」

111) 한국교통연구원, 미래 여객 교통수요의 변화 예측, 2016

- 기존 교통수단별 승객의 탑승 대기시간을 비교한 결과, 철도가 평균 39분으로 대기시간이 가장 짧았으며, 항공기가 평균 100분으로 가장 긴 대기시간이 소요



※ 출처 : 여객통행실태, 한국교통연구원, 2018

[그림 5-3] 교통수단별 탑승 대기시간 비교

- KTX의 운행속도는 320km/h로 이미 세계적 수준에 도달했으며, 정차역 등을 고려할 때 선로개량을 하더라도 추가적인 시간단축에는 한계
 - KTX 경부선의 경우 '10년 정치권과 지역의 요구로 신경주역과 울산역이 생기면서 서울~부산의 운행시간이 35분가량 증가하는 문제 발생¹¹²⁾
 - 높아지는 시간가치에 대응하기 위해 고속철도와 같은 이용의 편리성·정시성을 확보하면서 항공기보다 빠른 교통수단 요구
- 통행시간 가치 측면에서 미래 사회에서 요구되는 중·장거리 교통수단으로는 하이퍼튜브가 가장 적합한 교통수단인 것으로 분석
- 통행시간의 관점에서 하이퍼튜브는 4,500km 이하의 구간에서는 가장 우위에 있는 것으로 조사¹¹³⁾

112) 매일경제, 新역사·정차요구 봇물...“KTX, 완행철될라”, 2019.10

113) 김동희 외, 하이퍼튜브시스템의 개발목표수준 분석에 관한 연구, 2021

□ (기회 4) 하이퍼튜브는 탄소배출량이 많은 항공기를 대체할 수 있는 초고속 장거리 이동수단으로 주목

- 전 세계적으로 온실가스를 감축하기 위해 기존 화석연료를 활용하는 것이 아닌 친환경성이 확보된 중·장거리 교통수단으로의 전환이 시급한 상황
 - '16년 기준 운송부문에서 발생하는 CO2는 전 세계 CO2의 약 24%를 차지하고 있는 상황으로 다른 부문보다 빠르게 증가하고 있는 상황¹¹⁴⁾
 - 국내의 경우, 교통수단별 통행수요 및 에너지 사용량의 증가로, 수도권 온실가스 배출량은 4.2백만 tCO2로 국내 전체 대비 40.9%에 달하며, 교통부문의 비중이 41.3%로 높게 차지하고 있는 실정
- 중·장거리 교통수단 중 항공이 탄소 배출량이 가장 높았으며, 철도는 낮은 것으로 조사되어 철도 이용의 필요성 증대
 - 교통수단별 1인당 온실가스 배출량을 비교한 결과 항공기가 가장 높았으며, 철도의 온실가스 배출량이 가장 낮게 기록
 - 서울-부산 간 항공수요가 장래 하이퍼튜브로 전환된다면 1인당 온실가스 배출량 감소효과는 88.9% 정도 감소할 것으로 예상

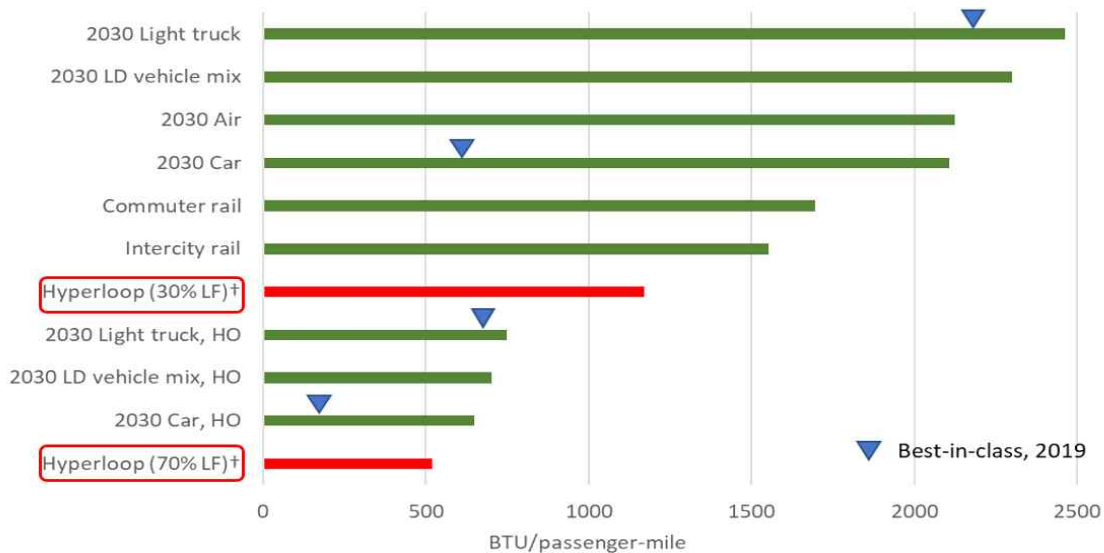


[그림5-4] 서울~부산 교통수단별 온실가스 배출량

- 미국 에너지부(DOE, '21)에서 '30년 교통수단별 에너지 소비량을 비교한 결과, 하이퍼튜브는 도시·지역 간 교통수단으로 적합하며, 항공 대비 에너지 절감율이 4배이상 적을 것으로 전망¹¹⁵⁾
 - BTU/PMT¹¹⁶⁾지표를 이용하여 타 교통수단 대비 하이퍼튜브(승차율 70%)의 에너지 절감율을 분석한 결과, 승용차 경차/소형트럭 대비 4.3배, 일반통근열차 대비 3.5배 낮은 것으로 추정

114) BAK, BAK economic intelligence(Hyperloop: a breakthrough for vacuum transportation?), 2020.3
 115) US Department of Energy, Effect of Hyperloop Technologies on Electric Grid and Transportation Energy, 2021
 116) BTU: British Thermal Unit, PMT: Passenger Mile Traveled

- 하이퍼튜브는 통근열차나 지역 간 열차에 비해 에너지 효율이 높은 것으로 추정하고 있어 미래 철도 분야 에너지 효율 측면에서도 기여도가 높을 것으로 예상



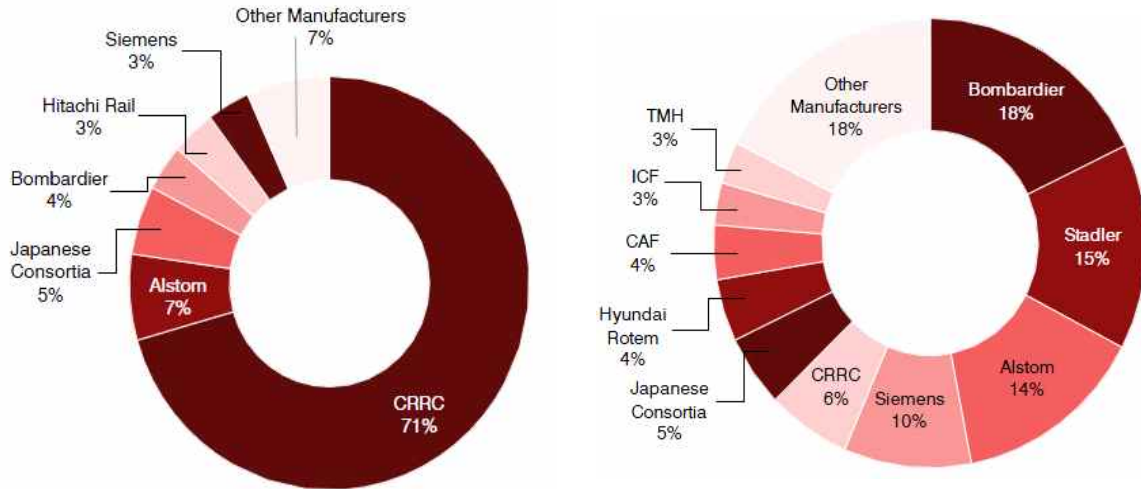
※ 출처 : US Department of Energy, Effect of Hyperloop Technologies on Electric Grid and Transportation Energy p.28, 2021

[그림 5-5] 미국 2030년 하이퍼튜브 운영시 교통수단별 에너지 소비량

(2) 위협 (Threat)

□ (위협 1) 고속철도 시장은 후발주자의 진입장벽이 매우 높아 기술의 선도가 반드시 필요한 분야

- 철도산업은 종합고부가가치 산업으로 소수 선진기업이 세계시장을 과점하고 있어 후발주자의 진입장벽은 높은 상황
 - 철도차량 산업은 10위 이내 기업이 세계시장의 67%를 점유하고 있으며, 1위에서 3위 기업인 봄바르디아(1위), 지멘스(2위), 알스톰(3위)이 세계시장의 15.4%, 중국(CNR(4위), CSR(5위))이 7.2%를 점유
 - KTX의 경우 기술 추종전략을 사용한 후발주자로서 국내업체인 현대로템(주)이 세계철도시장의 0.7%인 세계 15위 수준으로 더 이상 시장 점유가 어려운 상황
- 기존 고속철도 개발의 국산화 전략보다는 하이퍼튜브를 개발하여 국내외 시장을 선점하는 전략 및 정책이 더욱 유리
 - 글로벌 철도시장에서 한국(현대로템)은 EMU 부문에서만 시장 점유율 4%를 점유하고 있을 뿐, 고속열차의 경우 수출이 전무한 상황으로 고속철도 분야에서 북미나 유럽의 글로벌 기업과의 경쟁은 어려운 상황



※ 출처 : SCI Verkehr GmbH(2018), Worldwide market for railway industries

[그림 5-6] 글로벌 철도 시장 점유율(2013년~2017년) : 고속열차 부문(좌) 및 EMU 부문(우)

- 기존 기술의 개량을 통한 경쟁력 확보보다 파괴적 혁신을 통한 새로운 기술개발에 의해 우리나라 기업의 기술경쟁력 및 기술자주권 확보가 필요한 시점
 - 국내외 시장 선점과 기술개발사업이 시급하여 기존의 기술개발이 아닌 혁신적 기술로 국산화 개발을 해야 하는 시점
 - 신속한 초고속 하이퍼튜브 사업추진으로 국내 기술개발 및 해외기업 협력 등 원활한 기술선도 가능

□ (위협 2) 하이퍼튜브 기술개발이 가속화되고 있는 상황으로 기술 경쟁이 점차 심화될 전망

- 전 세계적으로 초고속 이동수단 하이퍼튜브에 대한 기술개발이 진행 중이며 기술개발 경쟁이 가속화 되고 있는 상황
 - 세계 각국에서는 정부의 지원·협력하에 초고속 철도의 기술도입 및 이전을 추진하며, 민간기업이 제안한 노선에 대해 연방, 주, 시 정부 차원에서 협력
 - 인도, 아랍에미리트, 사우디아라비아 등의 국가에서는 노선(토지)을 무상 제공하고 하이퍼튜브 기술을 도입 및 기술이전 받으려는 상황
- 중국과 일본은 낮은 개발역량을 극복하고, 하이퍼튜브 선점을 위하여 정부주도의 기술 개발을 추진하고 있는 상황
 - 중국은 국영기관인 우주과학공업그룹에서 국가 주도의 하이퍼튜브 기술개발을 추진
 - 일본은 '70년대부터 국가 차원에서 초전도 자기부상열차 기술개발을 주도하여, 하이퍼튜브보다 기술적 실행 가능성이 높은 상황

〈표 5-4〉 초고속 철도 기술개발 관련 국가 정책 동향

국가	정책동향
<p>미국</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 고속이동·고효율 신 교통수단 도입에 대해 기존 법률 및 규제 구조의 개선을 위하여, 교통부 산하에 신 교통기술위원회를 구성·운영 중 - 미국 교통부 산하 신교통위원회(NETT)는 하이퍼루프 등 미래교통산업에 대한 명확한 규제 프레임 신설을 위해 관련 법 제정을 추진 예정 - '19년 7월 교통부에서 하이퍼루프 관련 법 정비와 규제 신설을 위해 교통주택도시 개발 제출 법안 통과 - '인프라 투자·일자리 법안'에 따라 약 1조, 2,000억 달러 규모를 도로·교통·철도·항공 재건과 하이퍼루프, 전기차 등 주요 미래형 운송수단 인프라에 투자 추진 예정
<p>캐나다</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 연방정부는 토론토~몬트리올 간 하이퍼루프 노선 타당성 조사를 통하여 새로운 교통혁신 인프라 개발 지원 - 앨버타 주정부는 하이퍼루프 시스템 신생기업 트랜스포드와 시속 1000km 하이퍼루프 시스템 개발 MOU를 체결하여 지원 예정
<p>유럽</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - CEN(유럽 표준화 위원회)과 CENELEC(유럽 전기기술 표준화 위원회)는 하이퍼튜브의 표준화를 전담하는 새로운 기술 위원회 CEN/ CLC/JTC 20을 신규 개설하고, 하이퍼튜브 표준화 작업 착수 - 유럽위원회에서 '50년까지 대중교통 관련 온실가스 배출량을 줄이고 스마트한 모빌리티 시스템을 갖추고자 추진한 '지속가능한 스마트 모빌리티 전략'에 하이퍼루프 기술을 포함 - (프랑스) HTT 기업과 협력하여 프랑스 툴루즈 지역을 유럽 초고속 하이퍼튜브의 연구 개발본부로 개발 지원
<p>인도</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 마하라슈트라 주정부가 하이퍼루프를 공공 인프라 프로젝트로 간주하고, Virgin Hyperloop-DP World 컨소시엄을 푸네-मुंबई 하이퍼루프 프로젝트 원사업제안사(OPP)로 선정 - 인도 중앙정부는 Virgin Hyperloop과 협력하여 하이퍼루프 관련 규제 경로를 파악할 방침
<p>UAE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - (아부다비) '16년 11월 아부다비 교통행정국은 하이퍼루프 부문 주요 기업인 HTT와 아부다비 - 알 아인(AI Ain) 간 하이퍼루프 노선 개발을 위해 연구협약 체결 - (두바이) 두바이 정부는 HTT, Hyperloop One 등 기업과 협력하여 아부다비~두바이 노선 타당성 조사 시행 및 자금조달 지원
<p>사우디아라비아</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - '19년 7월 사우디아라비아 경제도시건설청(ECA)은 Virgin Hyperloop One과 세계 최초 장거리 하이퍼루프 테스트 트랙 구축 관련 파트너십 체결 - 파트너십 체결로 인해 경제 다각화를 달성하기 위한 정부 프로젝트 'Vision 2030' 가속화 전망
<p>중국</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 국영기관인 중국 우주과학공업그룹(CASCI)에서 1,000km/h의 진공튜브 철도 개발에 대한 중장기 계획 발표
<p>일본</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 일본은 1970년대부터 국가적으로 초고속 자기부상열차 개발을 적극적으로 추진하여, 관련 법령 및 소위원회 심의 결과를 통하여 구체적 추진 방안을 확정 - 도쿄~나고야 2027년 개통, 나고야~오사카 2037년 개통을 예정으로 500km/h급 초전도 자기부상열차 노선인 「츄오 신칸센」 건설이 진행 중

1.2.2 내부환경 : 강점과 약점

(1) 강점 (Strength)

□ (강점 1) 전문 연구인력과 관련 시설장비 등 국내 R&D 수행 인프라 역량 충분

- 본 사업의 선행사업 및 유사사업인 「건설기술연구사업」, 「국토교통기술사업화지원사업」, 「국토교통기술촉진연구사업」, 「국토교통연구기획사업」, 「철도기술연구사업」 등의 최근 9년('13~'21)간 참여 연구원 수는 연평균 347명으로 총 3,125명의 인력이 투입되었으며, 본 사업의 소요 인력은 연평균 62명으로 R&D 수행을 위한 연구인력은 충분히 확보된 것으로 파악

〈표 5-5〉 선행사업 및 유사사업의 참여 인력('13~'21)

(단위: 명)

년도	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	합계
책임급	143	173	151	107	74	120	100	112	106	1,086
선임급	157	203	161	111	82	118	111	119	121	1,183
연구원급	120	168	177	117	66	46	46	63	53	856
합계	420	544	489	335	222	284	257	294	280	3,125

- 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 시설 및 장비가 2,471개로 충분히 구축되어 있으므로, 기존 연구 시설장비의 활용을 통하여 적절한 연구개발 수행이 가능
 - 국가연구시설장비 표준분류 중 중분류 16개 항목, 소분류 66개 항목이 초고속 이동수단 하이퍼튜브 개발에 필요한 장비에 해당

□ (강점 2) 기존 철도법·제도에 따라 시행될 것으로 사업추진에 큰 제약사항이 없음

- 초고속 이동수단 하이퍼튜브 실용화 노선 구축 및 운영에 필요한 법·제도의 대부분이 현행 법령에 이미 포함
 - 법률 제16394호「철도사업법」 및 이하 국토교통부령 제628호「철도사업법 시행규칙」 제2조에 따르면, 본 사업의 초고속 철도시스템은 고속철도노선에 해당하며, 고속철도사업 및 운영 등에 필요한 세부 시행령과 시행규칙이 규정되어 제시
 - 법률 제16146호「도시철도법」제2조(정의) 2항에 본 시스템과 유사한 자기부상열차의 도시 교통권역 건설·운영에 대해 이미 정의되어 있으며, 지자체 관할 권역 내 실용화 노선 구축이 가능하도록 법·제도 구비
 - 국토교통부훈령 제1162호「경전철 민간투자사업 업무처리지침」에서 정의하는 “경전철”에 자기부상 추진형식이 명기되어 있으며, 경전철 민간투자사업 추진에 필요한 관련 업무처리 절차 및 기준이 정립되어 명시
- 전자파 유해성 및 적합성 관련 법·제도적 기준에 부합되는 R&D 수행이 가능

- 국토교통부고시 제2019-132호「철도시설의 기술기준」제102 및 149조에 전기 및 전자파 유해성에 관한 철도시설의 기술기준이 마련
- 전파법 제47조의 2의 1항에 따라 동작 주파수 관련 전자파인체보호기준이 마련
- 초고속 철도시스템에서 사용될 초전도 전자석의 주파수 대역은 위 두 개의 구간(1Hz 이하, 0.025KHz~0.8KHz)이며, 검토 결과 초전도 전자석과 인접한 사람의 거리와 높이에서 전자파 강도 기준을 고려하여 설계 가능

○ 통신 시스템의 경우 전파법, 전기통신사업법 및 전자파적합성에 대한 기술기준이 마련되어 있으며 본 사업은 기준에 부합된 연구개발 추진

- 전파법, 전기통신사업법 및 전자파적합성에 대한 기술기준을 충족하도록 초고속 철도 시스템의 차량과 튜브인프라에 설치되는 무선통신장치를 개발
- 법률 제16756호「전파법」제10조에 따라 무선통신장치가 사용할 주파수를 할당받고, 제22조에 따라 주파수 사용승인 사전 취득
- 「전파법」제47조의3에 따라 무선통신장치는 전자파 적합성기준이 마련되어 있으므로 이를 준수하여 개발
- 무선통신 단말장치는 대통령령 제29886호「방송통신설비의 기술기준에 관한 규정」제14조, 15조, 16조에 따라 “단말장치의 기술기준” 및 “전자파장애 방지기준” 등을 준수하여 개발
- 시설물에서 무선통신서비스를 제공하기 위해서는 법률 제16824호「전기통신사업법」 제6조의 “기간 통신사업의 등록 등” 및 제69조의2의 “구내용 이동통신설비의 설치” 준용

□ (강점 3) 세계 최초로 하이퍼튜브 기본설계 원천기술 확보 등 높은 기술 경쟁력을 보유

○ 세계 최초로 한국 철도기술연구원에서는 아진공 상태에서의 시속 1,019km 공력시험에 성공하여 하이퍼튜브 기본설계에 대한 원천기술 확보¹¹⁷⁾

- 차량속도 100~1,000km/h 이상, 튜브 내 압력 0.1~0.001 기압 이하의 범위에서 필요한 조건으로 다양한 주행시험이 가능
- 해외의 에어건 형식 튜브 공력시험장치는 일본과 중국의 시속 600km, 1기압이 최고 수준이며, 0.001기압의 튜브 시험장치는 전무한 실정
- 시속 1,000km 이상 초고속으로 주행하는 하이퍼튜브는 공기저항을 최소화하여 진공상태에 가까운 튜브 속을 달리는 기술이 핵심 중 하나이며, 이를 통해 기존 고속철도의 마찰저항 및 공기저항에 따른 속도한계를 극복할 수 있는 이점 존재

117) 한국철도기술연구원, 철도연, 하이퍼튜브 시속 1,019km 공력시험 성공, 2020.11

- 향후 하이퍼튜브 시스템 설계 시 하이퍼튜브 차량의 크기 및 형상, 아진공 튜브의 크기, 튜브 내부 압력 등을 결정하기 위해, 이와 같은 공력시험장치를 통한 원천기술 활용 가능

□ (강점 4) 안전하고 튼튼한 슈퍼 콘크리트 기술 보유

- 한국건설기술연구원에서 개발한 슈퍼 콘크리트는 일반 콘크리트 대비 제조원가 50%, 공사비 10% 이상 절감할 수 있는 건설 신재료로 하이퍼튜브에 적용 시 건설비 절감이 가능할 것으로 기대¹¹⁸⁾
 - 재료를 국산화하면서 성능까지 향상시켜 비싼 재료의 사용량을 줄이는 방법으로 제조비용을 크게 줄였으며, 유사한 성능을 가진 외국의 콘크리트 대비 제조비용이 1/3수준에 불과
 - 기존 콘크리트에 비해 압축·인장 강도가 강해 단면 크기는 50%, 무게는 75%까지 줄일 수 있고, 철근을 대체할 수 있어 공사비 절감 효과가 뛰어난 수준¹¹⁹⁾
- 중·장거리 신 교통수단 중 하이퍼튜브는 건설비의 경우 기존 KTX 대비 약 43% 수준으로 높지 않은 것으로 추정되어 국가재정 부담을 경감할 수 있을 것으로 기대
 - 교통 SOC는 '19년까지 감소하는 추세를 보였으나, 최근 '19년 18조원→'21년 26조원으로 인해 다시 증가하는 추세
 - 교통 SOC가 증가하고 있는 추세이나, 국가의 재정 부담을 경감하기 위해서는 고속철도 보다 저렴한 인프라 기술이 필요
 - 국내 서울~부산 직결노선(340km) 초고속 철도 사업비*는 KTX 사업비의 약 26% 수준¹²⁰⁾
 - * 사업비는 건설비, 시스템비 및 차량구입비 포함, 차량의 크기 및 중량이 비슷한 경전철 단위공사비 기준으로 검토, 서울과 부산 정차역 가정
 - 국내 서울~부산 경부선 구간(355.7km) 하이퍼루프 사업비는 KTX 사업비의 약 34% 수준¹²¹⁾
 - * 사업비는 건설비, 시스템비 및 차량구입비 포함, 일론 머스크 하이퍼루프(여객 전용) 단가 적용, KTX와 동일한 정차역 가정
 - 고속철도 건설비용이 하이퍼루프 건설비용 대비 서울~부산 간 2.68배, 서울~목포 간은 3.10배 더 소요되는 것으로 분석

118) 한국건설기술연구원 보도자료, 건설연 김병석 박사 “200년 가는 슈퍼콘크리트”로 R&D 우수성과 100선 선정, 2020.11

119) 헤럴드경제, “철강재 대체 가능” 슈퍼콘크리트 본격 생산..강도·내구성 뛰어나, 2021.07

120) 한국철도기술연구원, 초고속미래교통시스템 연구개발, 2018

121) 유신기술회보, 하이퍼루프의 가치공학적 이해, 2016

〈표 5-6〉 서울~부산 간 하이퍼튜브 건설비용(좌)과 고속철도 건설비용(우)

구분	단위	여객 및 화물 겸용 건설			서울~부산간		
		단가	수량(km)	건설비(억원)	수량(km)	건설비(억원)	
서울~부산간 경부라인	튜브 + 교각	km	91.64	226.85	20,789.5		
	튜브 + 터널	km	357.44	128.85	46,055.6		
	정거장	ea	1,454.40	5ea	7,272.0		
	추진장치 등(교량부)	km	14.53	226.85	3,295.6		
	추진장치(터널부)	km	4.08	128.85	525.8		
	진공펌프	km	0.20	355.70	72.6		
	인허가 및 용지	km	21.32	355.70	7,583.5		
	계				85,594.7		
고속철도	토공	일반부	km	141.5	96.1	15,363.2	
		연약부	km	212.8	34.0	8,168.5	
	교량	일반부	km	468.5	51.2	27,113.4	
		연약부	km	557.7	45.6	28,732.4	
	터널	산악터널	km	315.1	128.8	45,880.3	
		정거장	ea	298.5	5ea	1,686.3	
	궤도	km	44.0	355.7	17,684.1		
	건물	km	14.3	355.7	5,735.4		
	전력	km	5.9	355.7	2,389.7		
	신호	km	22.6	355.7	9,081.0		
통신	km	16.6	355.7	6,691.3			
전차선	km	25.0	355.7	10,036.9			
용지	km	42.9	355.7	17,243.3			
계				195,805.7			

※ 출처 : 유신기술회보 Vol.23, 하이퍼튜브의가치공학적 이해

□ (강점 5) 하이퍼튜브 개발에 관한 적극적인 정책 및 계획 수립 등 정부의 사업추진의지가 높음

- 우리나라는 낮은 개발역량을 극복하고 초고속 철도의 선점을 위해 정부 주도의 기술개발을 추진하고 있는 상황
 - 한국은 ‘윤석열 120대 국정과제’, ‘제5차 과학기술기본계획’, ‘제3차 국가교통기술개발계획(국토교통부)’, ‘제1차 국토교통 과학기술 연구개발종합계획’, ‘제5차 국토종합계획’, ‘국가기간교통망계획 등에서 국가경쟁력 제고 과제로 초고속 하이퍼튜브 철도 시스템 기술개발 및 지원을 제시
 - ‘윤석열 120대 국정과제’ 중 국정과제 Ⅷ. Ⅳ에서 하이퍼튜브 등 혁신·도전적인 과제에 R&D 투자 확대 추진을 언급하였으며, 모빌리티 혁신을 위한 하이퍼튜브 독자기술 확보 내용 언급
 - ‘제5차 과학기술기본계획’에서는 하이퍼튜브 등 저탄소 미래 모빌리티 개발을 추진하여 탄소배출은 줄이고 이용 편의성은 높이는 미래 이동체 활용 생태계 구축을 추진
 - ‘제4차 과학기술기본계획’에서는 미래사회에 확산되어 혁신적인 변화를 유발할 주요 혁신기술 중 하나로 ‘초고속 튜브트레인’이 제시
 - ‘제3차 국가교통기술개발계획(국토교통부)’, ‘제1차 국토교통 과학기술 연구개발종합계획’에서는 추격자(Fast-Follower)에서 선도자(First-Mover)로의 변화를 통한 기술이 주도하는 국가경쟁력 제고 과제로 ‘아진공튜브철도시스템’을 제시
 - 제5차 국토종합계획에서 ‘미래형 혁신 교통체계 구축’의 일환으로 고속서비스 확대, 초고속 하이퍼튜브 철도 시스템 등 새로운 개념의 교통시설 구축을 제시
 - 교통 네트워크의 효율적인 구축방향을 제시하는 ‘국가기간교통망계획’에서는 ‘저탄소 녹색성장형 교통체계 구축’을 기본 방향으로 제시
- 또한, 국토교통부에서 하이퍼튜브 기술개발을 위해 관련 R&D 투자 전략 등을 발표하여 수행 중
 - 제3차 철도산업발전 기본계획(2016-2020)에서 미래 선도형 철도 R&D 수행을 위해 차세대 고속철 방식*과 최종속도대역을 선정하여 개발여부를 결정하고, 시험운행을 통해 안전성 검증 추진
 - * 초고속 철도방식으로 유럽은 레일형(EMU 고속화), 일본은 자기부상형(초고속자기부상철도) 건설, 미국은 진공 튜브형(하이퍼루프) 열차 개발 중
 - ‘2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략(안)’에서 탄소중립도시 조성 기반기술과 친환경 초고속철도망 개발을 위해 장기적으로 미래 초고속 하이퍼튜브 철도 개발 전략을 제시

(2) 약점 (Weakness)

□ (약점 1) 국내 민간기업에서 하이퍼튜브를 자체개발하기에 기술 및 시장에 대한 불확실성이 존재

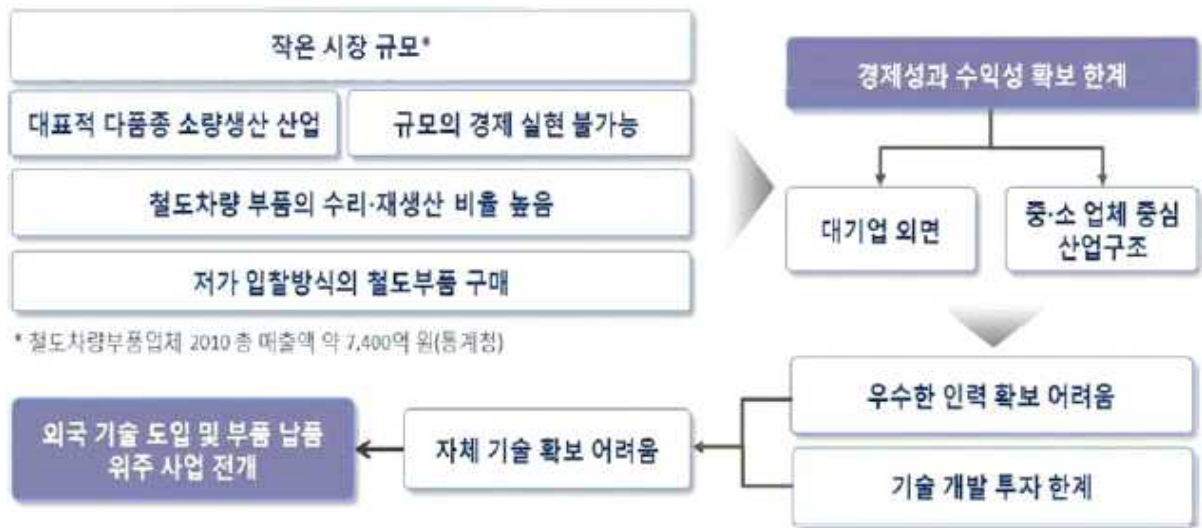
- ‘하이퍼튜브 기술’은 아직 전 세계적으로 개발사례가 없는 First Mover 기술로 민간기업이 투자하기에는 기술/시장에 대한 불확실성이 높기 때문에 국가 주도의 개발이 필요한 영역
 - 하이퍼튜브 기술개발사업은 기존 해외장비의 국산화가 아닌, 핵심기술을 개발하는 것으로 기술의 불확실성이 높아 민간기업의 주도적 개발이 어려운 상황
 - 동 사업에서 개발하고자 하는 기술은 철도시스템의 새로운 영역을 제시하기 때문에 민간기업에서 주도하여 투자·개발하기에는 Risk가 큰 기술
 - 하이퍼튜브는 기존에 존재하는 기술의 융·복합을 통해 개발해야 하며, 정부 출연연이 보유한 다양한 기술이 필요
 - 기술개발을 위해 초전도 기술, 초고속 자기부상철도 기술, 첨단 건설 및 진공 시스템 기술, 대용량 전력시스템 기술 등 정부 출연연이 보유한 다양한 기술 분야의 융·복합 필요
- 철도산업(철도장비제조업) 관련 업체는 규모가 작고 영세하여 기술개발을 위한 적극적인 선투자가 어려운 실정

〈표 5-7〉 철도산업(철도장비제조업부문) 주요 통계지표 비교(2017년 기준)

구분	자동차	조선	철도	항공
국내시장규모(백만원)	136,034,901	9,559,808	1,884,714	6,820,339
GDP 비중 (%)	7.41	0.52	0.10	0.37
생산액 (10인 이상, 백만원)	186,832,269	42,127,300	2,077,602	5,142,457
부가가치액 (10인 이상, 백만원)	53,735,421	12,835,000	781,085	2,090,696
사업체수 (1인 이상) (개)	10,441	2,866	282	341
종사자수 (명)	352,486	120,622	5,747	16,892
노동생산성 (10인 이상, 백만원/명)	159.01	109.10	154.70	124.01
자본생산성 (%)	90.85	53.04	85.25	81.49
총산출 (백만원)	193,103,024	46,103,471	2,381,874	6,355,197
수출액 (백만달러)	65,686	40,989	207	3,180
수입액 (백만달러)	18,148	1,526	77	3,692

※ 출처 : 산업통계분석시스템, 주제별 통계자료 정리(2017년 기준)

- 철도산업은 전국민 대상 서비스 영역이므로 영세성을 보완할 수 있는 국가주도 기술개발이 필요
 - 국내 부품기업의 영세성과 국내 내수기반의 취약성은 경영 불안을 초래하고, 이에 따른 기술 개발 부족과 인력양성의 어려움으로 철도부품의 기술발전에 대한 악순환 야기¹²²⁾
 - 또한, 철도 선진국의 부품에 의존하는 환경에서 국내 철도부품 산업이 활성화되지 못하고 영세함을 면하지 못하는 상황
 - 이는 철도의 운영 및 안전에 그 영향이 미치고 있을 뿐만 아니라 향후 철도 산업의 해외 진출에 큰 어려움을 초래



※ 출처: 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, “차세대 철도 핵심부품장치 기술개발 기획” 최종보고서, pp. 8, 2018.02

[그림 5-7] 철도차량 부품 산업의 특성

- 철도산업은 공공성이 강한 산업이라는 특성과 함께 대규모의 자본투입이 필요한 산업으로, 정부나 지방자치단체가 주도하는 집행예산에 따라 철도차량의 수량과 가격, 사업의 전체 규모가 결정되는 국가 기간산업¹²³⁾
- 따라서 철도는 국민 삶의 질, 복지, 안전 등과 밀접한 관련이 있는 공공 인프라적 성격이 강하고, 국내 시장규모가 작아 민간의 적극적 투자가 어려워 국가전략산업으로 정부 주도 R&D 투자가 필요
 - 철도시스템 특성상 다품종 부품 산업으로 공공재의 특성을 가지며, 철도산업은 좁은 시장과 독과점적 구조로 인해 기업들의 R&D 투자에는 인색
 - 또한 수요자가 한정되어 민간 사업자의 수익성 측면에서도 불리하므로 국가의 R&D 지원이 필요

122) 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, “차세대 철도 핵심부품장치 기술개발 기획” 최종보고서, pp. 7, 2018.02

123) 한국철도기술연구원, “철도부품산업 생태계 발전방안 수립을 위한 연구 용역” 최종보고서, pp. 22, 2017.11

□ (약점 2) 하이퍼튜브 관련 국가전략기술은 추격그룹에 포함되는 수준

- 하이퍼튜브 관련 국가전략기술의 수준 및 격차는 기술선도 국가 대비 81.9%, 2.8년으로 추격그룹에 포함
 - 건설·교통 분야의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 86.5%, 기술격차는 3.0년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함
 - 우주·항공·해양의 하이퍼튜브 관련 2개 국가전략기술의 기술수준은 75.0%, 기술격차는 4.3년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 및 후발 그룹에 포함
 - 소재·나노의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 75.0%, 기술격차는 2.5년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함
 - 에너지·자원 분야의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 90.0%, 기술격차는 2.0년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함
 - ICT·SW 분야의 하이퍼튜브 관련 1개 국가전략기술의 기술수준은 90.0%, 기술격차는 1.0년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 추격 그룹에 포함

〈표 3-26〉 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 국가전략기술별 기술수준 및 기술격차

분야	국가전략기술	최고 기술국	기술 수준 그룹*	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)
건설·교통	10. 스마트 철도교통 기술	EU	추격	86.5	3.0
우주·항공·해양	19. 유·무인 통합 자율 비행체 기술	미국	추격	80.0	3.5
	20. 유·무인 자율 비행체 통합 관제시스템 기술	미국	후발	70.0	5.0
소재·나노	43. 다기능 융·복합소재 기술	미국	추격	75.0	2.5
에너지·자원	77. 고효율 전력수송 기술	EU	추격	90.0	2.0
ICT·SW	118. 초고속·대용량·초저지연 통신 네트워크 기술	미국	추격	90.0	1.0

* 중점과학기술별로 변화의 속도 및 급변점이 다르기 때문에 기술수준(%)에 따라 기술수준 그룹을 정의하는 것은 한계가 있어 수준결과에 상관없이 독립적으로 그룹을 평가하도록 구성

※ 출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2021.4

1.2.3. SWOT 분석결과

- 하이퍼튜브 핵심기술 개발 관련 정책·산업·시장 및 기술개발 동향과 트렌드 변화를 분석하고 국내 내부 연구역량을 고려한 SWOT 분석을 통해 하이퍼튜브 핵심기술 개발사업의 추진방향성을 도출

〈표 5-9〉 SWOT 요약

<ul style="list-style-type: none"> · (기회 1) 하이퍼튜브 기술시장은 '21년~'26년 간 연평균 40.4% 씩 증가할 것으로 전망 · (기회 2) 교통수단의 속도개선은 국가 경제성장을 주도할 수 있는 미래 성장 동력 기반으로 활용 가능 · (기회 3) 중·장거리 이동수단에 대한 이용의 편리성, 통행시간 절감 등에 대한 이용객의 요구 증가 · (기회 4) 하이퍼튜브는 탄소배출량이 많은 항공기를 대체할 수 있는 초고속 장거리 이동 수단으로 주목 	<ul style="list-style-type: none"> · (위협 1) 고속철도 시장은 후발주자의 진입 장벽이 매우 높아 기술의 선도가 반드시 필요한 분야 · (위협 2) 하이퍼튜브 기술개발이 가속화되고 있는 상황으로 기술 경쟁이 점차 심화될 전망
<p>동 사업이 대응해야 하는 외부환경의 이슈</p>	
<p>O</p>	<p>T</p>
<p>S</p>	<p>W</p>
<p>동 사업이 고려해야 하는 내부역량</p>	
<ul style="list-style-type: none"> · (강점 1) 전문 연구인력과 관련 시설장비 등 국내 R&D 수행 인프라 역량 충분 · (강점 2) 기존 철도법·제도에 따라 시행될 것으로 사업추진에 큰 제약사항이 없음 · (강점 3) 세계 최초로 하이퍼튜브 기본설계 원천기술 확보 등 높은 기술 경쟁력을 보유 · (강점 4) 안전하고 튼튼한 슈퍼 콘크리트 기술 보유 · (강점 5) 하이퍼튜브 개발에 관한 적극적인 정책 및 계획 수립 등 정부의 사업추진의지가 높음 	<ul style="list-style-type: none"> · (약점 1) 국내 민간기업에서 하이퍼튜브를 자체 개발하기에 기술 및 시장에 대한 불확실성이 존재 · (약점 2) 하이퍼튜브 관련 국가전략기술은 추격그룹에 포함되는 수준

1.2.4. 사업설계를 위한 조사분석

1) 기술수요 조사

(1) 조사목적

□ 산·학·연 전문가를 대상으로 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술 수요 발굴

- 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업의 중점분야별 핵심·구성기술 선정의 근거자료로 활용

* 기술 성공가능성, 기술 파급효과, 전략적 중요성, 실행 용이성 등의 관점에서 수요기술에 대한 평가 실시

- 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발 분야의 핵심·구성기술 선정에 있어 산·학·연 전문가의 다양한 의견수렴 및 반영

(2) 조사개요

〈표 4-1〉 기술수요조사 개요

조사명칭	구분	조사기간	조사대상
초고속 이동수단 하이퍼튜브를 위한 기술개발 조사	1차 기술수요조사	2019.03.01.(금) ~ 04.11(목)	<ul style="list-style-type: none"> • 연관 산업계 종사자 • 공공기관 및 대학 등 연구자 및 유관 학회*
	2차 기술수요조사	2019.05.01.(수) ~ 05.08(수)	
	3차 기술수요조사	2019.06.01.(토) ~ 06.15(토)	
	4차 기술수요조사	2021.06.14.(월) ~ 06.25(금)	

* 한국철도공학회, 한국진공학회, 대한기계학회, 한국콘크리트학회, 한국지반공학회, 대한전자공학회, 전력전자학회, 대한전기학회, 한국통신학회, 대한토목학회

□ (1차) 산·학·연 전문가 대상의 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술수요조사 개요

- 조사목적 : 하이퍼튜브 기술수요자 입장에서 필요로 하는 하이퍼튜브의 기술전반에 대한 기술수요 조사를 통해 기술개발 범위 설정 등에 기초자료로 활용하기 위한 목적
- 조사대상 : 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 연구자(산·학·연·관 전문가), 기술 수요처 및 기술 개발 전문가
- 조사기간 : 2019. 03. 01. (금) ~ 2019. 04. 11. (목)
- 조사방법 : 이메일을 통한 조사
- 조사건수 : 총 114건

〈표 4-2〉 1차 기술수요조사 회신 결과

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
1	▪ 초고속 철도시스템의 System Engineering (시스템엔지니어링)				•

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
	기술개발				
2	▪ Digital Twin 기술을 이용한 운행안전 향상 기술개발				•
3	▪ 초고속 철도 캡슐차량용 고압압축기 기술		•		
4	▪ 초고속 철도시스템 차량용 고성능 공기압축기 시스템 개발		•		
5	▪ 튜브내 아진공(0.001기압 이하) 공력 기술 및 기타 운행 안전 및 시스템 인터페이스와 관련된 기술				•
6	▪ 초전도 전자석 냉각을 위한 스테이션용 30K 대용량 극저온 냉각시스템 개발				•
7	▪ 반발식 자기부상용 고성능 고온 초전도 전자석 시스템 개발	•			
8	▪ 부양, 추진, 유도코일의 5M 일체형 권선 기술 개발	•			
9	▪ 초고속 부상 제어시스템 기술	•			
10	▪ 초고속 추진·자기부상용 자상 전자레일 개발	•			
11	▪ 직류 배전망 급전시스템용 대용량 3레벨 PWM 컨버터 병렬운전 기술 개발	•			
12	▪ 초고속 LSM 추진 제어기술	•			
13	▪ 추진인버터 제어기술개발, 고정밀 차량위치검지 기술개발	•			
14	▪ 하이퍼튜브용 LSM 추진시스템의 차량위치 센서리스 제어기술 개발	•			
15	▪ 튜브트레인의 가감속 구간에서 안정성 확보를 위한 active damper의 설계 및 제어 알고리즘 개발	•			
16	▪ 1,200km/h 주행환경에서 승객 안전성 확보를 위한 초고속 철도차량 주행 제어 및 승차감 향상 기술	•			
17	▪ 이착륙 시 캡슐열차의 주행안정성 및 승차감 향상기술 개발	•			
18	▪ 초고속 철도 부상/안내 특성과 연동된 차량 주행 특성 해석 및 향상 기술	•			
19	▪ 광통신을 이용한 운행관제시스템 개발				•
20	▪ 캡슐 운행상황 멀티스크린 복합관제 기술				•
21	▪ 캡슐차량 및 운행유지설비 관제체계 및 시스템 구축방안 연구				•
22	▪ 아음속 캡슐군집주행 기술				•
23	▪ 초고속 철도시스템의 자동 자율 주행 관제시스템				•
24	▪ 중저속 제동과 착륙장치 I/F 규격 및 검증 평가 기술	•			
25	▪ 차량시스템 엔지니어링 기술		•		
26	▪ 1,200km/h 주행이 가능한 초고속 철도차량 차체 소재 기술 및 차체 설계/제작 기술		•		
27	▪ 아진공 상태에서 초고속 주행 가능한 캡슐차량 개발		•		
28	▪ 차상 전기시스템 엔지니어링 기술 개발		•		
29	▪ 초고속 철도차량용 전자기 제동시스템 및 공기저항 제거를 위한 압축기 개발	•			
30	▪ 캡슐차량 탄소 복합소재 차체 급속 경화 기술 개발		•		

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
31	▪ 캡슐차체 기술		•		
32	▪ CFRP 적용 초경량 캡슐 차량 구조체 제작 기술		•		
33	▪ 기타 캡슐차량과 관련된 기술		•		
34	▪ 차량내부 전원장치 기술개발 및 배터리 충전기 기술개발		•		
35	▪ 비접촉 발전 리니어 제너레이터와 컨디셔너의 효율 및 신뢰성 향상 기술 개발	•			
36	▪ 초고속 철도시스템용 Pod 내부 DC 전력망의 전력선 통신과 EMI 저감을 위한 양방향 공진형 컨버터 개발	•			
37	▪ 고속 대용량 공기압축기 구동용 초고효율 VSD 개발	•			
38	▪ 직류 배전망 기반 대용량 급전시스템용 고밀도 모듈형 컨버터 플랫폼 및 제어 인터페이스 개발 및 신재생에너지 연계 플랫폼 개발	•			
39	▪ 초고속 열차 차량 공조시스템		•		
40	▪ 튜브 및 튜브의 시공이음부에 대한 설계, 제작 및 시공기술 개발			•	
41	▪ 자기장 교란 방지 및 자율 성능유지를 위한 고성능 분절형 프리캐스트 콘크리트 튜브 시스템 기술			•	
42	▪ 유동성을 가진 무수축고단열 EPS 기포콘크리트 제조 및 시공기술			•	
43	▪ 기밀성 확보를 위한 PSC콘크리트 원형관 제작기술			•	
44	▪ 콘크리트 운송관 Outgassing(기체 누설) 영향 분석			•	
45	▪ 철근콘크리트 구조의 시공이음부 기밀성 확보 방안 개발			•	
46	▪ 운송관 온도제어 - 냉각시스템			•	
47	▪ 원형콘크리트 운송관의 강도와 균열에 대한 설계기준 개발			•	
48	▪ 초고속 철도 건설에 따른 지능형 주변 시설 취약성평가 플랫폼				•
49	▪ 아진공 인프라 기술 중 튜브 재료 및 제조 기술개발			•	
50	▪ 스마트 시멘트 복합재료 기반 튜브 시스템			•	
51	▪ UHPC 기반 튜브 및 유선형 교각의 설계 및 시공 기술			•	
52	▪ 튜브 기밀성 확보를 위한 콘크리트 균열 저감 기술 개발			•	
53	▪ BIM 기반 초고속 운송관(Hyperloop) 통합 유지관리 플랫폼			•	
54	▪ 아진공 캡슐의 캡슐 간 연결, 안전성 점검 및 보수기술			•	
55	▪ 초고속 철도시스템 주행 안정성 확보를 위한 초정밀 선로 인프라 선형유지 기술 개발			•	
56	▪ 초고속 철도시스템용 튜브 인프라 소재 및 구조기술 개발			•	
57	▪ 직경 5m, 길이 10km 이하의 진공시스템 인프라 기술개발			•	
58	▪ 아진공 튜브용 고밀도·저비용 콘크리트 제조 및 시공 기술 개발			•	
59	▪ 하이퍼루프 운송관의 성능중심 최적 설계법 개발			•	
60	▪ 초고속 철도시스템 인프라 유지관리를 위한 자산관리시스템 구축 기술				•

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
61	▪ 듀얼형 아진공 튜브 설계, 시공, 유지관리 기술			●	
62	▪ 진공 컴프레셔용 기어리스 대용량 초고속 드라이브	●			
63	▪ 신개념 튜브형 분기장치 및 운행계적 유지기술				●
64	▪ 튜브열차 내 배터리의 충전 및 자동 교체 로봇 시스템/IOT 자동 개폐 스크린 도어 시스템	●			
65	▪ 초고속 철도시스템 역사 위치 최적화 기술				●
66	▪ 초고속 교통수단의 화물수송을 고려한 역사 공간계획 설계 기술 개발				●
67	▪ 초고속 열차와 아진공 튜브의 상호작용 해석과 진동 및 부상제어 기준 설정	●			
68	▪ 레이저 기반 고정밀 튜브 상태 측정 및 모니터링 기술			●	
69	▪ 이미지 기반 기계 학습을 이용한 콘크리트 튜브 내부 표면 손상도 평가 기술			●	
70	▪ 광섬유 기반 선형 센서 및 디지털 트윈 기술을 활용한 초고속 철도 튜브의 안전감시 기술 개발			●	
71	▪ 하이퍼튜브 초고속 열차용 고신뢰 저지연 무선통신 기술 개발		●		
72	▪ 초고속 철도에서의 도플러천이를 고려한 무선통신 기술 개발		●		
73	▪ 아음속 환경의 하이퍼튜브 안전운행을 위한 고신뢰성 IoT 무선통신기술 개발		●		
74	▪ 아음속 극한환경의 IoT 통신 RF 및 모뎀 개발		●		
75	▪ 초고속 철도시스템(하이퍼튜브)의 차량 간 직접통신 기술개발		●		
76	▪ 하이퍼튜브 초고속 열차용 무선통신 기술 개발		●		
77	▪ 초고속 철도시스템 무선 채널에 최적화된 Gbps급 초저지연 물리계층 연구		●		
78	▪ 초고속(1200km/h) 철도시스템 지원 동시 및 동기화 전송을 위한 통신 프로토콜 기술		●		
79	▪ 아진공/아음속 환경의 초고속 철도시스템(하이퍼튜브)을 위한 초고속 무선전송 및 IoT 무선센싱 기술 개발		●		
80	▪ 초고속철도시스템 통신을 위한 전파환경 기술개발		●		
81	▪ 하이퍼튜브를 위한 아진공/아음속 환경의 초고속 무선통신기술 개발		●		
82	▪ 초고속철도시스템용 초고속 통신기술 개발		●		
83	▪ 1,200km/h급 아진공관 환경에서의 저지연·고신뢰 통신 기술 개발		●		
84	▪ 차량 내부 상태 감시 및 장치관리용 상시가용 근거리 통신기술		●		
85	▪ 초고속(1200km/h) 철도시스템 지원 전파방식 무선 통신을 위한 사용 주파수 전파전파 특성 시험 및 모뎀 개발 기술		●		
86	▪ 이중 및 동중 이중화 방식기반 초고속(1200km/h) 철도시스템 지원 초신뢰 무선 데이터 전송 및 네트워크 기술		●		
87	▪ 차량 내 탑승객을 위한 Seamless 통신 환경 구축 기술		●		
88	▪ 릴레이 비콘을 활용한 초고속 저지연 네트워크 기술		●		
89	▪ 컴퓨팅 가상 분산/캐싱 기술 기반 초고속(1200km/h) 철도시스템		●		

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
	지원 초저지연 네트워크 기술				
90	▪장거리 차폐 튜브 환경의 초고속 이동체 IoT 무선통신 기술 개발		•		
91	▪초고속 이동체를 위한 초저지연 무선네트워크 관리 기술		•		
92	▪초고속 초저지연 달성 네트워크 자원할당 및 스케줄링 기법 연구		•		
93	▪초고속 이동체를 위한 초저지연 양방향 스트리밍 기술		•		
94	▪슬라이딩 윈도우 기술 기반 초고속(1200km/h) 철도시스템 지원 초고속/초저지연/초신뢰 무선 데이터 전송 및 네트워크 기술		•		
95	▪하이퍼튜브 트래픽 저지연 스티어링 기술 연구		•		
96	▪IoT 기반 하이퍼튜브 고속열차 통신 서비스 기술 개발		•		
97	▪하이퍼튜브를 위한 초저지연 핸드오버 기술 및 백본망 기술 연구		•		
98	▪초고속 철도시스템(하이퍼튜브)의 고속핸드오버 기술개발		•		
99	▪하이퍼튜브 초고속 열차용 무선 센서네트워크 기술 개발		•		
100	▪하이퍼튜브 고속열차용 센서 네트워크 기술 개발		•		
101	▪초고속 하이퍼튜브 시스템 무선센싱 기술		•		
102	▪하이퍼튜브 초고속 열차용 초연결 무선통신 기술 개발		•		
103	▪초고속 철도시스템의 IoT 무선센싱망 연동기술개발		•		
104	▪초고속 철도시스템(하이퍼튜브)의 안전을 위한 PUF기반 단말장치 플랫폼 개발		•		
105	▪캡슐 탑승객 데이터통신 보안기술		•		
106	▪초고속 철도시스템을 위한 열차 보안 및 통신 보안 기술		•		
107	▪초고속 철도시스템용 DC 그리드에 대한 실시간 전력 시스템 모의시험 기술을 이용한 가상 전력 테스트 플랫폼 (Virtual Power Test Platform) 기술	•			
108	▪대용량 멀티레벨 인버터의 효율 및 신뢰성 향상 기술 개발	•			
109	▪HLDC 배전망 연계를 위한 고효율 다기능 AFE 정류기 기술	•			
110	▪DC 배전망의 시스템 보호 및 고장 확산방지를 위한 초고속 철도시스템용 DC 반도체 및 하이브리드 전력 차단기 기술	•			
111	▪MMC VSC를 이용한 직류 급전 설비 구축	•			
112	▪직류배전망 기반 PV 및 양방향 컨버터가 통합된 대용량 급전 시스템	•			
113	▪전압형 고압 직류(MVDC) 기반 차세대 철도 급전시스템 개발	•			
114	▪분산전원을 가진 MV급 직류배전반 시스템	•			

□ (2차) 산·학·연 전문가 대상의 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술수요조사 개요

- 조사목적 : 하이퍼튜브 기술수요자 입장에서 필요로 하는 하이퍼튜브의 기술전반에 대한 기술수요 조사를 통해 기술개발 범위 설정 등에 기초자료로 활용하기 위한 목적

- 조사대상 : 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 연구자(산·학·연·관 전문가), 기술 수요처 및 기술 개발 전문가
- 조사기간 : 2019. 05. 01. (수) ~ 2019. 05. 08. (수)
- 조사방법 : 이메일을 통한 조사
- 조사건수 : 총 34건

〈표 4-3〉 2차 기술수요조사 회신 결과

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
1	▪ 원활한 피크부하 공급 및 Reliability 향상을 위한 energy management 기법 개발	●			
2	▪ 초고속 철도 시스템의 추진 및 전력시스템 개발 기술	●			
3	▪ 초고속 철도시스템용 특고압 직류전원 공급시스템 개발	●			
4	▪ 하이퍼루프 시스템 추진용 고속주파수 구동기반 초고효율 전력변환시스템 개발	●			
5	▪ 초고속 철도시스템 회생형 고안전성의 전력저장시스템 개발	●			
6	▪ 단권변압방식의 직류배전시스템	●			
7	▪ 하이퍼튜브용 신재생에너지 연계형 모듈러방식의 DC/DC 컨버터 및 EMS 개발	●			
8	▪ 초고속 철도시스템용 직류 배전망과 신재생 에너지원의 연계를 위한 다중포트 전력변환장치 기술	●			
9	▪ 고전압 DC-Grid 연계를 위한 신재생에너지 전력변환시스템 개발	●			
10	▪ 신재생 에너지 연계계통 안정화를 위한 MMC 적용 기술/철도 급전 계통에 최적화된 전압보상 기술	●			
11	▪ 기차의 이동에 따른 급전부 코일의 임피던스 변화를 감지하여 급전부 출력크기 및 on/off 제어의 고속화 및 transient 안정화		●		
12	▪ 튜브형 초고속 철도 시스템을 위한 고효율 고출력 Capacitive Power Transfer System	●			
13	▪ 송수신부 간 이물질 검출 기술/대용량 가변공진탱크 구현 요소기술/ 하니스부품 설계 및 안전성·신뢰성 검증기술			●	
14	▪ 비접촉 무선급전 시스템		●		
15	▪ 무선전력전송 시스템 및 제어기술 개발/차량경량화/무선전력전송 시스템		●		
16	▪ 신뢰성 향상 및 cyber security 기술 기반 전력시스템 안전기술	●			
17	▪ 하이퍼튜브의 선로 상태 센싱 및 모니터링 기술개발			●	

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
18	▪하이퍼튜브 전력 모니터링을 위한 통신 기술 개발		●		
19	▪지능형 IoT기반 초고속 철도시스템 안전기술 개발				●
20	▪초고속 캡슐 차량의 운행 제어를 위한 광신호 기반 위치검지 기술 개발		●		
21	▪고장·재난 시 차량 비상 제동 및 대피 기술	●			
22	▪음향(진동) 하중에 의한 초고속 철도 인프라 및 차량 운행 안정성 예측제어 기술 개발			●	
23	▪초고속 철도시스템의 인프라시설물 안정성 확보를 위한 광학기반 상시진단 및 모니터링 기술 개발			●	
24	▪2D/3D 센서 데이터 융합을 통한 고속/정밀 튜브 결함 탐지 기술			●	
25	▪무인 드론 기반 아진공 인프라 안전점검시스템 기술			●	
26	▪유체-구조-전자기 연동해석을 통한 튜브트레인의 동특성 해석 프레임워크 개발 및 안전성 평가				●
27	▪캡슐 탑승객 근거리 보안검색기술				●
28	▪아진공 튜브 철도 시스템			●	
29	▪주요 장치, 부품, 지원설비의 RAM 설계 연구				●
30	▪초고속 교통수단 건설 타당성 분석 기술 개발				●
31	▪하이퍼튜브 연계 철도망 운영 효율화 기술				●
32	▪기술개발 개념 및 스펙과 연계된 역사운영체계 최적화 연구				●
33	▪Door-to-Door 교통서비스 제공을 위한 초연결 연계수송망 (Hyper-connected transport network) 구축 및 초연결 스마트 교통서비스 시스템 (Hyper-connected smart transport service system) 기술개발				●
34	▪초고속 철도시스템 도입에 관한 교통수요예측 모형 및 국토공간 구조변화예측 모형 개발				●

□ (3차) 산·학·연 전문가 대상의 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술수요조사 개요

- 조사목적 : 하이퍼튜브 기술수요자 입장에서 필요로 하는 하이퍼튜브의 기술전반에 대한 기술수요 조사를 통해 기술개발 범위 설정 등에 기초자료로 활용하기 위한 목적
- 조사대상 : 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 연구자(산·학·연·관 전문가), 기술 수요처 및 기술 개발 전문가
- 조사기간 : 2019. 06. 01. (토) ~ 2019. 06. 15. (토)

○ 조사방법 : 이메일을 통한 조사

○ 조사건수 : 총 4건

〈표 4-4〉 3차 기술수요조사 회신 결과

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
1	▪ 초고속 철도 운영 및 타교통 연계 체계 기술				•
2	▪ 초고속 철도시스템의 멀티모달 인터페이스 검토를 위한 선형 최적화 및 입지적 특성 검토				•
3	▪ 클라우드 기반 수요 맞춤형 교통서비스 공급 기술 개발				•
4	▪ 규격/표준화기술/시험평가 기술				•

□ (4차) 산·학·연 전문가 대상의 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술수요조사 개요

- 조사목적 : 하이퍼튜브 기술수요자 입장에서 필요로 하는 하이퍼튜브의 기술전반에 대한 기술수요 조사를 통해 기술개발 범위 설정 등에 기초자료로 활용하기 위한 목적
- 조사대상 : 초고속 이동수단 하이퍼튜브 관련 연구자(산·학·연·관 전문가), 기술 수요처 및 기술 개발 전문가
- 조사기간 : 2021. 06. 14. (월) ~ 2021. 06. 25. (금)
- 조사방법 : 이메일을 통한 조사
- 조사건수 : 총 17건

〈표 4-5〉 4차 기술수요조사 회신 결과

연번	제안기술명	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
1	▪ High Power 핵TBM 기초개발연구(타당성 조사)			●	
2	▪ 튜브 내 구간별 기압조절기술			●	
3	▪ TBM 제작비 절감을 위한 직접 현장 조립 및 신제작 방안연구(공장제작없이)OSDA(On Site Direct Assembly)			●	
4	▪ 아진공 튜브 진공의 효율적 유지 기술			●	
5	▪ 초고속 이동수단 하이퍼튜브 외관상태 및 안전성 모니터링 기술 개발			●	
6	▪ 섬유보강 Ring Segment 개발 (Fibre Reinforced Concrete Lining 지보재)			●	
7	▪ 하이퍼튜브 인프라 건설지반 위험예측 및 회피기술			●	
8	▪ 광섬유 센서와 디지털트윈 기반 아진공 튜브의 스마트 안전관리 기술개발			●	
9	▪ 하이퍼튜브 실시간 안전진단용 광섬유 그리드 센서 핵심기술 개발			●	
10	▪ 진공상태 하이퍼튜브 내부 환경 조성을 위한 대용량 진공펌프 및 배기시스템 개발			●	
11	▪ 고강도 경량 열경화성 복합재 수지주입 일체형 차체 기밀구조 개발		●		
12	▪ 고강도 열가소성복합재를 적용한 경량 캡슐차체 개발		●		
13	▪ 아음속 경량 캡슐차량 개발 구조건전성 기술		●		
14	▪ 아음속 캡슐차량 인증체계구축		●		
15	▪ 캡슐 차량 출입문 장치 및 제어시스템 기술		●		
16	▪ 캡슐 차상 TCMS 및 진단제어 기술		●		
17	▪ 하이퍼튜브 지중 터널 설계 및 시공 기술			●	

(3) 응답자 현황

- 1차~4차까지 총 4번에 걸친 기술수요조사에서 초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발과 관련하여 응답한 자는 산업체, 대학, 연구기관 등에서 총 148명이 응답
 - 산·학·연 별 수요조사 응답자 수는 산업체 62명(42%), 학계 33명(22%), 연구기관 5명(36%) 순으로 나타남

〈표 4-6〉 기술 제안기관별 응답자 현황

구분		산업체	학계	연구기관	합계
1차	명	47	23	33	103
	%	46%	22%	32%	100%
2차	명	5	7	15	27
	%	18%	26%	56%	100%
3차	명	1	1	2	4
	%	25%	25%	50%	100%
4차	명	9	2	3	14
	%	64%	14%	22%	100%
합계	명	62	33	53	148
	%	42%	22%	36%	100%

(4) 응답자가 제시한 기술수요 결과

- 기술수요조사(1차~4차)를 통해 발굴한 기술은 총 169건이며, 그 중 아진공튜브 추행 차량기술이 59건으로 가장 많은 기술수요가 있었으며, 초고속 추진 및 부상시스템기술(42건), 아진공튜브 인프라 건설 및 안전기술(41건), 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술(27건)순으로 나타남

〈표 4-7〉 분야별 접수현황

(단위: 건)

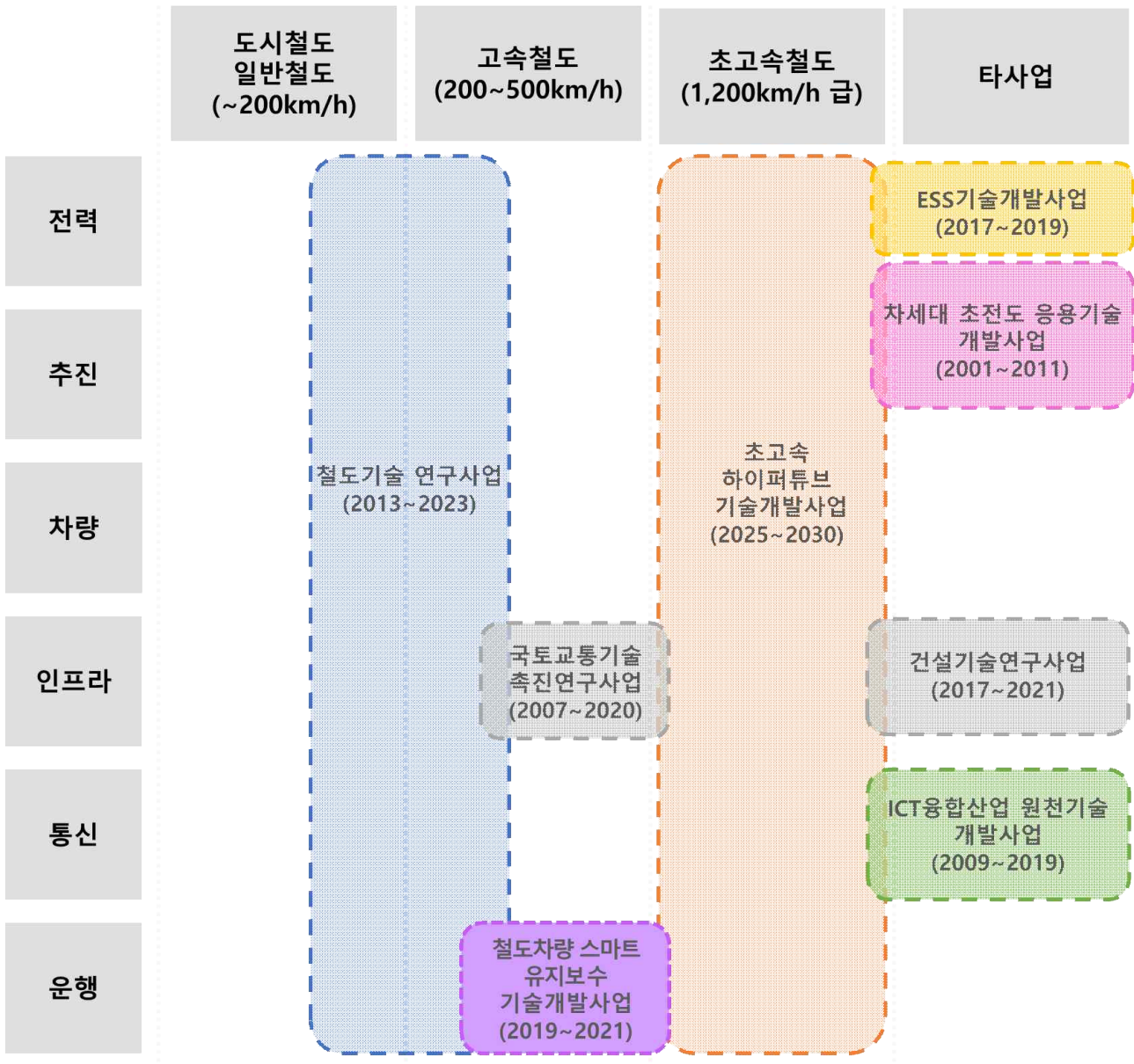
구분	초고속 추진 및 부상시스템 기술	아진공 차량 및 무선시스템 기술	아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술	합계
1차 기술수요 조사	29	48	23	14	114
2차 기술수요 조사	13	5	7	9	34
3차 기술수요 조사	-	-	-	4	4
4차 기술수요 조사	-	6	11	-	17
합계	42	59	41	27	169

1.2.5. 사업 추진현황 및 중복성 검토

1) 유사사업 현황 및 중복성 검토

□ 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 관련 각 부처별 유사사업을 조사 및 분석하여 차별성 및 연계방안을 제시

- ‘하이퍼튜브’, ‘하이퍼루프’, ‘튜브철도’, ‘캡슐차량’ 등의 포괄적 키워드로는 사업이 검색되지 않아 ‘고속철도’, ‘미래철도’, ‘전력’, ‘철도’ 등의 키워드를 활용하여 7개 사업을 도출



[그림 4-1] 부처별 유사사업과의 차별성

〈표 4-24〉 사업수준 중복성 검토

사업명	초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 (기획사업)	철도기술연구사업 (유사사업)	국도교통기술촉진연구사업 (유사사업)	차세대 초전도 응용기술개발사업 (유사사업)
소관부처	국도교통부	국도교통부	국도교통부	과학기술정보통신부
관리기관	국도교통과학기술진흥원	국도교통과학기술진흥원	국도교통과학기술진흥원	한국과학재단
사업기간	2025~2027	2013~2023	2007~2020	2001~2011
예산	269억 (총 예산)	217억 (2021년)	374억 (2020년)	1,475억 ('01~'11)
사업목적	<ul style="list-style-type: none"> - 신속성, 편리성, 친환경성을 가지는 하이퍼튜브 핵심기술 확보* * 추진/부상, 아진공 기술개발 및 검증 수행 	<ul style="list-style-type: none"> - 국민행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도시스템 개발 및 강소기업 기술경쟁력 제고를 통한 철도산업의 고부가가치 창조 혁신성장 동력으로 육성 	<ul style="list-style-type: none"> - 국도교통기술 촉진을 위한 핵심 원천 기술 개발 및 연구인프라 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 구리도체 100배의 통전 능력을 갖는 초전도 선을 사용하여 동일정격 전력기기의 크기와 에너지 손실을 50% 이상 절감할 수 있는 초전도 전력기기 개발
사업내용	<ul style="list-style-type: none"> - 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술 · 다기능 초고밀도 콘크리트 최적배합 설계 및 제조기술 · 아진공 튜브 설계기준 개발 및 Mock-up 제작 - 초고속 추진 및 부상 시스템 기술 개발 · 고온 초전도 선형 동기 모터 기술 · 초전도 유도반발식 자기부상 기술 · 추진 전력제어시스템 기술 · 초전도 자기부상 주행체(대차) 기술 	<ul style="list-style-type: none"> - 고밀도 운행을 위한 고속철도용 열차제어시스템 개발, 도심 내 신 교통수단 확산을 위한 무가선 저상트램 실증 연구 - 친환경 수소열차 추진시스템 개발 및 국민안전 확보를 위한 철도교통 사고예방 기술 등 개발 - 철도 운영·유지보수 효율화 및 노후 인프라의 경제적인 개량 등을 위한 기술개발 지원 - 철도 강소기업 육성 및 일자리 창출 등 정부정책과 연관성이 높은 철도부품 개발 과제 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 국도교통 분야의 독창적이고 혁신적인 미래 원천·핵심기술 발굴 및 국민의 실생활과 직접 관련이 있는 사회이슈 해결을 위한 기술 개발 - 글로벌 기술경쟁력 확보를 위한 해외 우수 인적·기술적 자원을 활용하는 국제 공동연구 및 연구정보·인적 네트워크 활성화를 위한 국제협력 기반 구축 지원 - 기초·원천 및 응용·개발 기술의 성과 성능 및 안전성 등을 검증할 수 있는 실험 장비와 대형 인프라 실험센터 구축 및 운영 기술 개발 - 스마트도시를 위한 공유형 자율주행차량 기반 교통시스템 구축기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 실용 초전도선 개발 및 대용량의 전기에너지 이용에 필수적인 초전도 케이블, 초전도 변압기, 초전도 한류기 및 초전도 모터의 실용화 기술개발
차별성	<ul style="list-style-type: none"> - 프로토타입 하이퍼튜브 모델을 개발하고, 핵심기술 및 시스템에 대한 성능 및 신뢰성을 평가하여 실제 실용화 가능성을 증명(TRL7 단계) · 핵심기술별 설계 및 시제품 개발 · 프로토타입 하이퍼튜브 구현 및 성능 검증 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도기술연구사업의 도시철도·일반철도 및 고속 철도를 대상으로 철도시스템을 개발하는 반면, 본 사업은 신개념의 초고속철도 시스템을 개발하는 사업으로 차별성 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - 국도교통기술촉진 연구사업은 전체 R&D 분야의 기초 인프라 기술개발을 지원하는 사업이며, 본 사업은 하이퍼튜브에 특화된 기술개발 연구를 한다는 점에서 차별성이 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 초전도 응용기술개발사업은 전력 분야에 초전도기술을 접목하여 국가전력 공급기반을 구축하는 사업이며, 본 사업은 하이퍼튜브가 요구하는 추진전력 기술을 개발한다는 점에서 차별성 존재
연계성	<ul style="list-style-type: none"> - 철도기술연구사업에서 개발된 도시형 자기부상 열차 추진, 부상 등의 기술 및 기존 철도 시스템의 통합시스템 활용하여 본 사업의 하이퍼튜브 제동장치에 대한 설계기술 및 시스템 통합기술 개발 시 연계 활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도기술연구사업에서 개발된 도시형 자기부상 열차 추진, 부상 등의 기술 및 기존 철도 시스템의 통합시스템 활용하여 본 사업의 하이퍼튜브 제동장치에 대한 설계기술 및 시스템 통합기술 개발 시 연계 활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 국도교통기술촉진 연구사업에서 개발한 초고속 자기부상열차의 추진/부상/안내 시스템의 원천기술을 활용하여 본 사업의 고온 초전도 선형 동기 모터 기술에서 연계 활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 초전도 응용기술개발사업에서 개발한 초전도 실용화 기술을 활용하여 본 사업의 고온 초전도 선형 동기 모터 기술 등 추진 전력 기술에서 연계 활용 가능

사업명	철도차량스마트유지보수 기술개발사업(유사사업)	건설기술연구사업(유사사업)	ESS기술개발사업(유사사업)	ICT융합산업원천기술 개발사업(유사사업)
소관부처	국토교통부	국토교통부	산업통상자원부	과학기술정보통신부
관리기관	국토교통과학기술진흥원	국토교통과학기술진흥원	한국에너지기술평가원	정보통신기술진흥센터
사업기간	2019~2021	2017~2021	2017~2019	2009~2019
예산	67억(2021년)	248억(2021년)	366억(2019년)	622억(2019년)
사업목적	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 센싱(차상/지상) 및 분석 자동화를 기반으로 한 실시간 상태진단 및 맞춤형 능동유지보수 기술개발을 통한 3R* 달성 * Reduce Service Failure, Reduce Maintenance Cost, Reduce Diagnosis Time 	<ul style="list-style-type: none"> - SOC 시설물의 전주기(설계, 시공, 유지 관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가 가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - ESS, 전기차용 이차전지 부품 소재 국산화, 다양한 수요처에 에너지저장시스템 실증 등을 통해 관련 산업의 경쟁력 강화 및 수출 사업화를 위한 기술개발 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - ICT 기반의 산업 융합 핵심·원천기술 개발에 대한 집중 지원으로 미래 ICT 융합 신산업을 육성하여 우리 경제의 성장 잠재력 확충
사업내용	<ul style="list-style-type: none"> - IoT, 빅데이터, AR 등 IT 기술을 활용하여 도시/일반철도차량의 주요장치 자가상태진단과 유지보수 지원을 위한 시스템 개발 및 철도차량 이상상태 자동 검지를 위한 스마트 유지보수 장치 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 재난 재해로부터 SOC 시설물의 안전성 강화 및 선제적 유지관리기술, 다기능·고성능·친환경 新 건설재료 개발 지속 지원 - 건설산업 해외시장 진출 지원을 위한 설계엔지니어링, 고부가 메가스트럭처(케이블교량, 터널 등) 건설 기술개발 최종 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지저장시스템 부품소재 국산화 및 산업 경쟁력 강화를 위한 기술 개발 지원 - 전력망·신재생연계·피크저감 등 ESS 성공 사례 창출 및 시장 확대를 위해 신규 수요처 및 경제적 비즈니스 모델 발굴 - 전기차용 이차전지 등 중대형 이차전지 시장 주도권 확보를 위하여 중대형 리튬 이온전지 성능향상 및 공정혁신 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - IT·SW 융합 기술개발 지원(융합서비스, 네트워크, ICT 장치 분야별 기술을 선정하여 융합 기술개발 지원) - 범부처 협력에 의한 칸막이 제거, ICT와 타 사업 간 융합 및 사업화 R&D 기술개발로 공공의 이익과 국민 생활의 행복감 증진 - 신산업 창출 및 서비스 사업화 연계 기술의 개발과제 중점 지원
차별성	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량스마트유지보수 기술개발사업은 도시/일반철도가 대상이며, 본 사업은 아진공 상태에서 IoT, 빅데이터 등을 활용하여 주요 장치 상태진단과 이상상태를 자동감지하는 지능형 운용제어 기술을 개발하는 것에서 차별성이 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기술연구사업은 SOC 시설물이 대상이며, 본 사업은 하이퍼튜브의 안전성 강화를 위해 핵심요소기술을 개발하는 사업으로 차별성이 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - ESS 기술개발사업은 부품·소재 국산화 및 공정기술개발 관련인 반면, 본 사업은 하이퍼 튜브가 요구하는 고용량 급전 기술 및 추진 전력 기술에 적용 가능한 기술을 개발한다는 점에서 차별성이 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - 본 사업은 아진공·아음속 조건에서 ICT 기술을 활용한다는 점에서 차별성이 존재
연계성	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량스마트유지보수 기술개발사업에서 개발한 최적 유지보수지원시스템, 능동 유지보수 지원 기술을 활용하여 지능형 운행제어가 가능한 TCMS·진단제어 기술 개발에 연계 	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기술연구사업에서 개발한 균열 자기 치유 콘크리트 소재를 본 사업의 초고밀도 아진공 튜브 자기치유 소재 및 반응제어 기술개발에 연계 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - ESS 기술개발사업에서 개발한 PCS, EMS 등 기반기술은 본 사업의 대용량 추진전력 공급 및 제어 기술 개발 시 연계 	<ul style="list-style-type: none"> - ICT 융합산업원천기술개발사업에서 개발한 융합서비스, 지능정보 기술을 활용하여 본 사업의 아음속 튜브 무선통신 기술 개발 시 연계 가능

〈표 4-25〉 기관 고유사업과의 중복성 검토

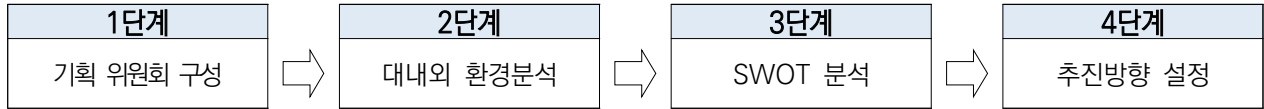
사업명	초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 (기획사업)	아음속 캡슐트레인 핵심기술개발 (기관 고유사업)	차세대 초고속 이동체계(Hyperloop) 인프라 핵심 기반기술 개발사업 (기관 고유사업)
소관부처	국도교통부	과학기술정보통신부	과학기술정보통신부
관리기관	국도교통과학기술진흥원	한국철도기술연구원	한국건설기술연구원
사업기간	2025~2027	2016.01.01.~2024.12.31.	2016~2021
예산	269억 (총 예산)	355억원 (총 예산)	58억원 (총 예산)
사업목적	- 신속성, 편리성, 친환경성을 가지는 하이퍼튜브 핵심기술 확보* * 추진/부상, 아진공 기술개발 및 검증 수행	- 1000km/h급 초고속 지상 교통수단의 개발을 위한 아음속 캡슐 트레인 핵심 요소기술을 개발	- 국가 신성장 동력과 세계로의 진출 동력 확보를 위한 차세대 초고속 이동체계 인프라 핵심 기반기술 개발
사업내용	- 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술 • 다기능 초고밀도 콘크리트 최적배합 설계 및 제조기술 • 아진공 튜브 설계기준 개발 및 Mock-up 제작 - 초고속 추진 및 부상 시스템 기술 개발 • 고온 초전도 선형 동기 모터 기술 • 초전도 유도반발식 자기부상 기술 • 추진 전력제어시스템 기술 • 초전도 자기부상 주행체(대차) 기술	- 아진공 공력·통합 설계 및 안전·운영 연구 • 아진공 튜브내 다양한 운행환경에서의 차량 공력 현상 규명 • 하이퍼튜브 공력통합설계 및 해석기술확보 - 초전도 전자기 주행체 기술 • 고온초전도 전자석설계 및 요소 기술개발 • 주행체 실험모델 및 주행안정화 기술개발 - 초고속 선형추진제어기술 • 1,000km/h급 선형추진시스템 요구사항분석 및 기본 설계사양 도출 • 선형추진제어시스템에 대한 설계 해석 및 축소시스템에 의한 성능 검증	- (재료) 세계최고 수준의 기밀성과 수축균열 저항성을 갖는 아진공 운송관용 초고밀도 콘크리트 재료 기술 확보 - (설계) 하이퍼루프 아진공 운송관 성능요구조건(설계기준) 정립, 콘크리트 및 강재 활용 운송관 기본단면 설계안 도출, 경제성 분석 등 설계 핵심기술 확보 - (시공) 운송관 연결부 및 이종재료 접합부 기밀유지방안 등 관련 기술 확보 - (안전) LiDAR 기반 지능형 안전관리 모니터링 시스템 요소기술 확보 - (실증) 세계최초, 세계최대의 실대형 초고밀도 콘크리트 아진공 운송관 시제품 구축 및 기밀성 평가
차별성	- 프로토타입 하이퍼튜브 모델을 개발하고, 핵심기술 및 시스템에 대한 성능 및 신뢰성을 평가하여 실제 실용화 가능성을 증명(TRL7 단계) • 핵심기술별 설계 및 시제품 개발 • 프로토타입 하이퍼튜브 구현 및 성능 검증 - 하이퍼튜브 인프라 성능 요구사항을 반영하여 최적 구조 시스템 개발, 시작품 구축 및 신뢰성 평가를 통해 구조 시스템 실용화 가능성 검증 (TRL 7 단계) • 개발 차량 사양에 대응하는 하이퍼튜브 인프라 최적 구조 시스템 설계·시공 기술 및 유지관리 기술 개발 • 인프라 시스템 구성 핵심 부속장치 설계 및 제작기술 개발 • 시작품 구축을 통한 인프라 성능 및 주행 안전 신뢰성 검증	- 유사환경에서 [Bench Scale모델, 테스트 용 샘플, 시제품]의 성능 평가 및 신뢰성 시험단계 (TRL5 단계) • 핵심기술별 기본설계 및 해석모델개발 • 핵심기술별 축소시스템 개발 을 통한 기술 가능성 검증	- 실험실 환경에서의 콘크리트 재료 기밀성능 평가 및 아진공 튜브 시제품을 이용한 기밀유지 성능 평가 단계 (TRL 5 단계) • 초고밀도 콘크리트 활용 아진공 튜브 성능 확보 가능성 확인 • 하이퍼튜브 인프라 구축을 위한 재료, 설계, 시공 핵심 기반기술 개발을 통한 시작품 제작 및 기본 성능 평가
연계성		- 시스템 사양 및 주요 핵심 기술과 연계하여 본 과제에서의 프로토타입 하이퍼튜브 개발 활용 - 주요 개발 해석 Tool 및 추진 부상 시험 평가 장치 일부를 본 사업에 연계 활용함	- 아진공 주행환경 제공을 위한 인프라 시스템 성능 요구 사양 및 재료·설계·시공 핵심 기술을 발전시켜 본과제에서의 하이퍼튜브 인프라 프로토타입 개발에 연계 활용

□ 문제/이슈 및 핵심·구성기술 간 연계도

추진 배경	필요성(해당 기술이 부재하여 발생하는 문제)	해결방안(추진방향)	핵심·구성기술(안)
<p>◆ 수도권 집중을 분산시키고, 비수도권과의 국토 균형 발전을 위해서는 거점 간 초고속으로 이동할 수 있는 교통수단 개발이 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전 세계적으로 메가시티화가 진행되고 있으며, 국내 또한 광역시를 중심으로 집중화되고 있는 추세 - 대도시를 중심으로 광역화가 진행되는 미래 국토공간 구조 변화에 대응하기 위해 초광역 교통수단 도입 필요 - 또한, 수도권 집중을 분산시키고, 비수도권과의 균형 발전을 위해서는 거점 간 초고속으로 이동할 수 있는 새로운 교통 수단 도입이 필요 <p>◆ 기존 중·장거리 교통수단의 한계를 극복하고, 거점 간 초고속 이동이 가능한 하이퍼튜브로의 전환 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 중·장거리 이동수단 중 철도의 경우 마찰력에 의한 최고속도 제한 및 속도에 비례한 공기저항 증가로 초고속 이동에 제한이 있음 - 항공기의 경우 높은 탄소배출 및 빈번한 결항 등의 문제가 존재 - 따라서, 기존 중·장거리 교통수단의 한계를 극복하고, 거점 간 초고속 이동이 가능한 초고속 하이퍼튜브로의 전환이 필요 <p>◆ 하이퍼튜브 도입의 불확실성을 해소하고, 향후 종합감증 및 실증을 위한 핵심기술 개발 추진 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - 새로운 교통수단 도입을 위해서는 핵심기술의 확보 및 실증이 필요하나, 현재로서는 하이퍼튜브 관련 핵심기술 부재 - 따라서, 하이퍼튜브 구현을 위해 핵심적인 추진/부상, 아진공 기술개발 선행을 통해 기술개발의 불확실성을 해소하고, 향후 종합감증 및 실증을 위한 기반 확보 필요 	<p>◆ 기존 바퀴식의 고속철도 시스템으로는 초고속화에 기술적인 한계 존재</p> <ul style="list-style-type: none"> - 바퀴식 고속철도의 경우, 활-레일 마모, 전차선 아선 문제, 기술적 제한이 있어 초고속 구현을 위해서는 바퀴식이 아닌 추진·부상 방식의 기술 적용 필요 - 바퀴식이 아닌 이동수단인, 하이퍼루프를 데모한 '하이퍼루프원(미국)'의 선형유도모터 (LIM: Linear Induction Motor) 방식은 속도가 증가할수록 모터 효율이 저하되는 문제가 있어 고속에서도 효율이 저하되지 않는 기술적 해결 방안 마련 필요 <p>◆ 고속철도 등 기존 교통수단은 속도에 비례하여 공기 저항이 증가함에 따라 운영 가능한 한계 속도가 있으며, 공기저항 장애 요인을 해소하는 것이 고속화의 관건</p> <ul style="list-style-type: none"> - 차량 외형을 유선형 설계로 하더라도 개방형 트랙에서는 공기저항과 난류 발생을 감소시키는 데에 한계가 있음 - 차량 하부의 복잡한 설비 구조는 형상 설계로는 공기저항 해소가 어려운 부분 <p>* 공기저항은 속도의 제곱(V²)에 비례하여 기하급수적으로 증가</p>	<p>① 고속화를 위한 기술로 추력밀도 및 효율이 높은 지상 급전 방식의 선형동기모터를(LSM : Linear Synchronous Motor) 적용한 새로운 추진·부상 및 제어 시스템 기술 구현을 통해 초고속 이동수단의 기술적 문제 해결</p> <p>① 선로 구조를 튜브형 폐단면으로 하고 내부를 아진공 상태로 함으로써 공기저항이 원천적으로 소멸되어 차량 형상 설계의 한계를 극복하고 고속화 한계를 뛰어넘을 수 있음</p> <p>② 튜브형 폐단면 구조는 휨강성과 비틀림 강성이 높아 변위 발생이 적고 초고속 주행 안전성 확보 측면에서도 유리한 구조 형태</p> <p>③ 튜브형 구조가 연속적으로 연결된 폐단면 선로 내부를 아진공 상태로 유지할 수 있는 인프라 건설 기술 개발이 필요</p>	<p>1. 초고속 추진 및 부상 시스템 기술</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.1. 선형 전자기 추진 가이드 웨이 기술 1.2. 추진/부상용 고온 초전도 전자석 시스템 기술 1.3. 초고속 선형 추진 제어 기술 1.4. 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술 <p>2. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술</p> <ol style="list-style-type: none"> 2.1. 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술 2.2. 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적 설계 기술 2.3. 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

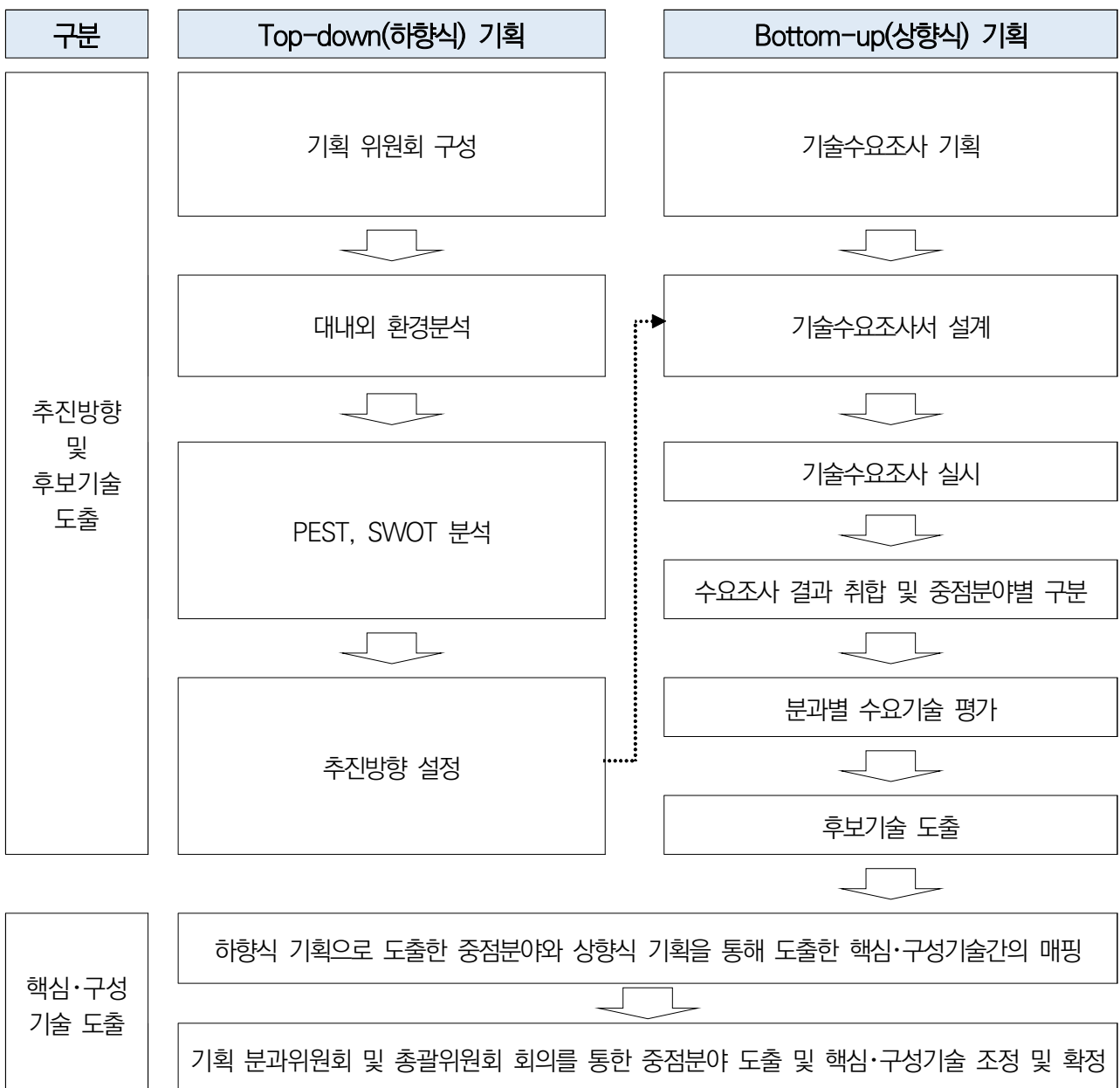
□ 사업(안) 선정 및 추진과제 도출과정

- (추진방향 설정) Top-down(하향식) 방식으로 글로벌 메가 트렌드, 대내외 환경, 국내 R&D역량 등의 분석을 통해 '하이퍼튜브' 관련 주요 이슈도출 및 SWOT 분석을 통한 사업 추진방향 설정



[그림 5-8] 중점분야 도출방법

- (추진과제 도출) Bottom-up 방식의 하이퍼튜브 관련 산·학·연·관의 전문가 대상 기술수요와 Top-down 방식으로 도출한 주요 이슈와 SWOT 분석 결과를 반영한 추진과제(핵심·구성 기술) 도출



[그림] 추진과제 도출 방법

2. 사업 비전 및 목표

2.1. 비전 체계도

비전	혁신적인 장거리 교통수단인 초고속 하이퍼튜브 구현	
사업목표	추진/부상, 아진공 기술개발을 통한 하이퍼튜브 핵심기술 확보	
전략목표	① 하이퍼튜브 기술의 타당성 입증 및 실용화 모델 설계를 위한 단거리 추진·자기부상 성능 검증	② 하이퍼튜브 시스템 튜브 인프라의 1/1,000 기압급 아진공 환경 1시간 이상 유지 가능한 재료, 설계, 시공 패키지 기술 확보
성과목표	① 시험용 단거리 비유도 전자기 가이드웨이 구축 ② 급가감속 추진시스템 및 핵심 부품 개발 ③ 유도반발 자기부상 주행체 개발	④ 콘크리트 재료 기밀성능 확보 ⑤ 아진공 튜브 최적설계기술 확보 ⑥ 폐단면 튜브 정밀시공기술 확보
핵심기술	[핵심기술 1] 초고속 추진 및 부상 시스템 기술	[핵심기술 2] 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술
구성기술	1-1. 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술 1-2. 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술 1-3. 초고속 선형 추진 제어기술 1-4. 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	2-1. 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술 2-2. 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술 2-3. 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

2.2. 성과목표 및 지표

□ 동 사업의 성공적인 추진을 위해 각 핵심기술별 성과 목표 및 지표를 설정

○ (핵심기술1) 초고속 추진 및 부상 시스템 기술

- (성과목표①) 모듈형 비유도 전자기 가이드웨이 구축 (300~350m)
- (성과목표②) 추진·부상 검증용 초전도 주행체 및 추진 장치 개발
- (성과목표③) 실주행 조건 에서 유도 반발식 자기 부상 구현

○ (핵심기술2) 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술

- (성과목표④) 콘크리트 재료 기밀성능 확보
- (성과목표⑤) 아진공 튜브 최적설계기술 확보
- (성과목표⑥) 폐단면 튜브 정밀시공기술 확보

〈 성과목표 및 성과지표 〉

성과목표	가중치	성과지표명	목표치			측정방법/측정산식
			'25	'26	'27	
성과목표 ① 모듈형 비유도 전자기 가이드 웨이 구축 (300~350m)	0.15	가이드웨이 구축 공정율	0	20	100	(측정방법) 목표 대비 가이드웨이 구축 길이 측정 / 연차별 확인 (측정산식) =
		전자레일 최소 기자력	-	4 kAt 이상	-	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) (측정산식) = 전자레일 권선수(N) X 운전전류(A)
성과목표 ② 추진·부상 검증용 초전도 주행체 및 추진 장치 개발	0.20	초전도 전자석 최소 기자력	-	350k At 이상 (정적)	350k At 이상 (동적)	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) 확인 / 연차별 확인 (측정산식) = 초전도 전자석 코일 권선수(N) X 운전 전류(A)
		최대 가감속력	-	-	2.3 m/s ² 이상	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) 확인 / 연차별 확인 (측정산식) = 가속도계를 이용한 주행체 성능 확인
성과목표 ③ 실주행 조건 에서 유도 반발식 자기 부상 구현	0.15	주행체 자기부상공극	-	-	100 mm 이상	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) (측정산식) = 가이드웨이와 주행체 사이 거리 측정

성과목표	가중치	성과지표명	목표치			측정방법/측정산식
			'25	'26	'27	
성과목표 ④ 콘크리트 재료 기밀성능 확보	0.15	0.001→0.01 기압 유지 성능	-	유지 시간 60분 이상	-	(측정방법) 내경 1m 내외 축소형 시편 단위의 진공압 변화 측정(0.001 → 0.01 기압범위 유지시간 측정 투기실험) (측정산식) =
		자가치유 가능 균열폭	-	0.2m m 균열 치유	-	(측정방법) 재료 시편 단위의 균열폭 대비 기밀유지 성능 측정(0.2 mm 이하 균열 폭에 대한 자가치유 발현 후 투기실험) (측정산식) =
성과목표 ⑤ 아진공 튜브 최적설계기술 확보	0.15	하이퍼튜브 단면 기본설계	1	-	-	(측정방법) 전문설계사 및 외부전문가 검 토를 통한 적정성 평가 (측정산식) =
		하이퍼튜브 목업 상세설계	-	1	-	(측정방법) 전문설계사 및 외부전문가 검 토를 통한 적정성 평가 (측정산식) =
		하이퍼튜브 설계가이드라인	-	-	1	(측정방법) 외부전문가 평가를 통한 지침 의 구체성 및 충실도 평가 (측정산식) =
성과목표 ⑥ 폐단면 튜브 정밀시공기술 확보	0.20	신축이음장치 설계 및 제작	-	1	-	(측정방법) 전문설계사 및 외부전문가 검 토를 통한 적정성 평가 (측정산식) =
		하이퍼튜브 시공가이드라인	-	-	1	(측정방법) 외부전문가 평가를 통한 지침 의 구체성 및 충실도 평가 (측정산식) =
		실대형 목업 시스템 진공도 유지성능	-	-	유지 시간 60분 이상	(측정방법) 실대형 목업 현장계측 실험을 통한 시스템 성능 평가 (0.001 → 0.01 기압범위 유지시간 측정 실험) (측정산식) =

3. 사업 추진전략

- SWOT 분석을 통한 사업 추진방향 메가트렌드, 산업현황, 기술동향, R&D 역량 등을 종합적으로 고려하여 SWOT 분석을 통한 본 사업의 전략 방향 도출

〈표 5-10〉 SWOT분석을 통한 주요 전략 추진방향 도출

	S(강점) <ul style="list-style-type: none"> • 전문 연구인력과 관련 시설·장비 등 국내 R&D 수행 인프라 역량 충분 • 기존 철도법·제도에 따라 시행될 것으로 사업추진에 큰 제약사항 없음 • 세계 최초 하이퍼튜브 기본설계 원천 기술 확보 등 높은 기술 경쟁력 보유 • 안전하고 튼튼한 슈퍼 콘크리트 기술 보유 • 하이퍼튜브 개발에 관한 적극적인 정책 및 계획 수립 등 정부의 사업 추진의지가 높음 	W(약점) <ul style="list-style-type: none"> • 국내 민간기업에서 하이퍼튜브를 자체개발하기에 기술 및 시장에 대한 불확실성이 존재 • 하이퍼튜브 관련 국가전략기술은 추격그룹에 포함되는 수준
O(기회)	SO 전략 추진전략	WO 전략 추진전략
<ul style="list-style-type: none"> • 하이퍼튜브 기술시장은 '21년~'26년 동안 연평균 40.4%씩 증가할 것으로 전망 • 교통수단의 속도개선은 국가 경제성장을 주도할 수 있는 미래 성장 동력 기반으로 활용 가능 • 중장거리 이동수단에 대한 이용의 편리성, 통행시간 절감, 안전성 등에 대한 이용객의 요구 증가 • 하이퍼튜브는 탄소배출량이 많은 항공기를 대체할 수 있는 초고속 장거리 이동수단으로 주목 	<ul style="list-style-type: none"> • SO1. 중·장거리 이용객의 요구에 부합하도록 국내 우수한 R&D 인프라 및 기술력을 기반으로 한 하이퍼튜브 연구개발을 수행 • SO2. 추진전력을 효율적으로 관리할 수 있는 급전시스템 기술 기반의 친환경 이동수단 개발을 통한 교통 분야의 탄소중립 달성 • SO3. 슈퍼 콘크리트 기술을 활용한 '튜브 인프라' 기술개발을 통해 하이퍼튜브 인프라의 건설·유지보수 비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> • WO1. 시장의 불확실성을 해소하기 위한 국가차원의 R&D 추진으로 국가의 미래 성장동력 기반 확보 • WO2. 하이퍼튜브 개발을 위한 국가차원의 대규모 투자를 통해 민간이 기술개발에 적극적으로 참여할 수 있도록 유도 • WO3. '하이퍼튜브 차량 및 인프라 안전기술'을 세계 선도그룹 수준으로 달성하여 중·장거리 이용객의 안전성에 대한 요구를 만족
T(위협)	ST 전략 추진전략	WT 전략 추진전략
<ul style="list-style-type: none"> • 고속철도 시장은 후발주자의 진입 장벽이 매우 높아 기술의 선도가 반드시 필요한 분야 • 하이퍼튜브 기술개발이 가속화 되고 있는 상황으로 기술 경쟁이 점차 심화될 전망 	<ul style="list-style-type: none"> • ST1. 진입장벽이 낮은 현 시점에서 국내 우수한 R&D 인프라 역량을 기반으로 한 기술개발을 통해 관련 기술시장을 선도 • ST2. 정부의 높은 사업 추진의지에 기반한 하이퍼튜브 개발을 통해 글로벌 기술 경쟁 우위 선점 • ST3. 국내에서 보유한 무선통신, 슈퍼콘크리트 등 세계 선도 수준의 기술을 하이퍼튜브에 적용하여 새로운 비즈니스 모델 창출 	<ul style="list-style-type: none"> • WT1. 정부 주도의 R&D 추진을 통해 하이퍼튜브 시장에 대한 민간의 투자 위험 최소화 • WT2. 하이퍼튜브 시장의 후발주자로 진입하지 않기 위한 세계 선도그룹 수준의 기술 경쟁력 확보 • WT3. 국제 유관기관과의 긴밀한 협력을 통한 하이퍼튜브 분야의 글로벌 시장 진출 기회 확보

□ 사업 목표를 효과적으로 달성하기 위해 SWOT 분석을 통한 사업 추진전략(R.A.I.L)을 도출



<p>유관기관과 긴밀한 상호 협력 Reciprocal Cooperation</p>	<p>하이퍼튜브 관련 인프라 및 네트워크를 보유한 국내·외 유관기관과의 긴밀한 협력네트워크 구축을 통한 사업목표 달성을 극대화</p>
<p>중·장거리 이동수단에 대한 승객 중심의 기술개발 Achieving customer needs</p>	<p>국내 우수한 R&D 인프라 역량을 기반으로 새로운 중·장거리 이동수단에 대한 안전성, 편의성, 친환경성 등 탑승객의 요구에 만족하도록 승객 중심의 하이퍼튜브 기술개발을 추진</p>
<p>정부주도의 R&D 투자를 통한 기업의 참여 유도 Inducing participation</p>	<p>정부 주도의 R&D 사업 추진을 통한 국내 민간기업의 참여 유도 및 기술이전을 통한 철도 개발 산업의 생태계 조성</p>
<p>하이퍼튜브 핵심기술 개발을 통한 기술시장 선도 Leading the market</p>	<p>하이퍼튜브 구현을 위한 핵심기술 개발로 세계 선도그룹 수준의 기술경쟁력 확보 및 다양한 분야의 국내 우수 기술력을 하이퍼튜브에 적용하여 새로운 비즈니스 모델 창출</p>

4. 사업 중점 추진분야

□ 동 사업의 핵심기술 및 구성기술

〈표〉 핵심기술 및 구성기술명

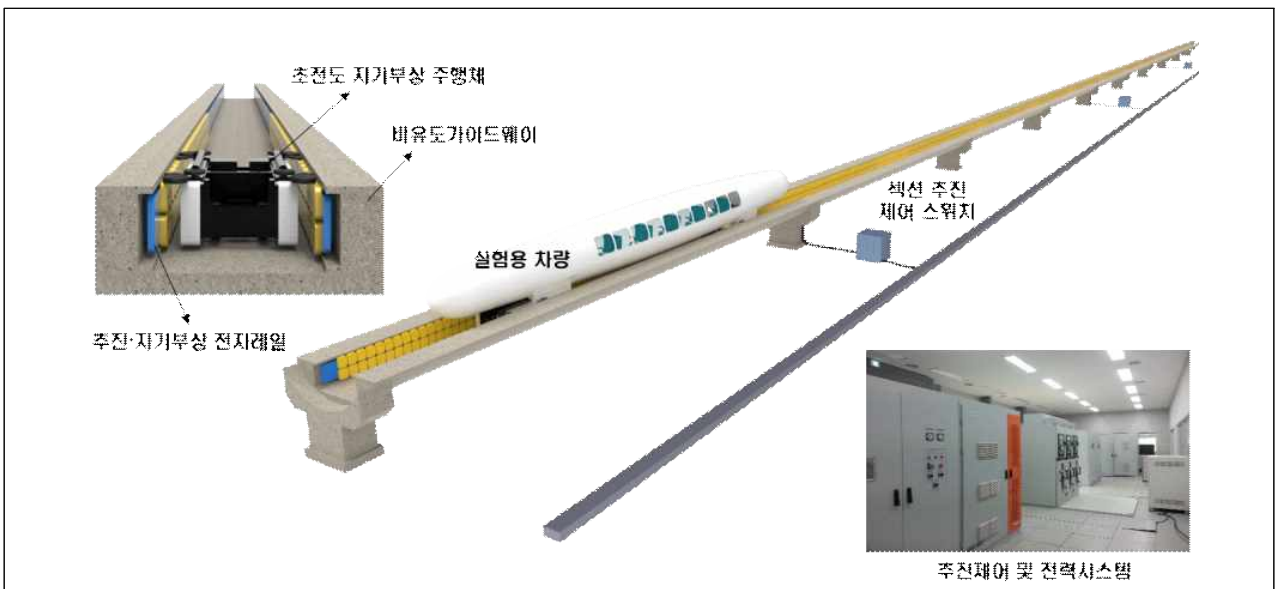
핵심기술	구성기술	주요 연구내용
[핵심기술 1] 초고속 추진 및 부상 시스템 기술	1-1. 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 자기저항 최소화 비유도 가이드웨이 개발 및 검증 대용량 추진 전자기 개발 및 검증 추진/인프라 전자기 인터페이스 성능 검증
	1-2. 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 고화질소 냉각 고온초전도 전자석 설계 및 제작 고화질소 냉각 분리형 극저온 냉각 시스템 설계 및 제작 초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 기술 개발 고온초전도 전자석 주행 동적 성능 검증
	1-3. 초고속 선형 추진 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 섹션 추진 제어기 개발 및 검증 추진전자레일 섹션 스위치 설계 및 제작 고정밀 차량 위치(위상각) 검지 시스템 설계 및 제작
	1-4. 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 추진/자기부상/안내 인터페이스 설계 및 성능 검증 자기부상/안내용 전자레일 개발 및 검증 주행체용 초경량 프레임 구조 설계 및 제작 주행체용 주행안정화(부상/안내차륜, 현가장치 등) 기술 개발 및 검증 초전도 전자석 자기장 차폐 기술 개발 및 검증
[핵심기술 2] 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술	2-1. 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술	<ul style="list-style-type: none"> 다기능 초고밀도 콘크리트의 구성 재료 특성 분석 (보강섬유 및 혼화제 등의 밀도, 자기치유 영향 등 특성 분석) 기밀성·경제성·시공성을 고려한 다기능 초고밀도 콘크리트의 배합설계 및 제조기술 개발 (※ 믹서 운용, 양생 습도·온도·기간 등) 재료성능 평가 및 검증을 통한 아진공 튜브용 초고밀도 다기능 콘크리트의 성능 고도화 아진공 튜브 적용을 위한 다기능 콘크리트의 제조·품질관리지침 작성
	2-2. 아진공 튜브 구조 시스템 설계기준 및 최적설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 구조시스템 요구성능 및 설계조건 분석 사용재료 특성 및 단면구성 등을 고려한 기본단면 분석 아진공 튜브 기밀성 및 안전성 확보를 고려한 설계지침(안) 도출 및 단면최적화 연구 아진공 튜브 Mock-up 시스템 구축계획 수립 및 기본단면 설계 Mock-up 구축을 통한 설계상세 정립 및 보완 사항도출
	2-3. 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 제작 공정 및 품질기준 도출 아진공 튜브 기밀성 검증기법 및 시스템 구축 아진공 튜브 제작 공정 최적화를 위한 장비 운영 및 시공기술 개발 아진공 튜브 Mock-up 시스템 시험시공을 통한 기밀성 및 시공성 평가 아진공튜브 시공절차서 및 품질관리지침서 도출

제2절 중점 추진분야별 기술개발 내용

1. 초고속 추진 및 부상 시스템 기술

(1) 기본 개념

- 하이퍼튜브 차량을 최고속도에 도달할 수 있도록 가속하기 위한 초고속 선형 추진 시스템 기술
 - 초전도 전자석을 계자 전자석으로 하는 지상 1차 선형 동기 모터 방식으로, 차량의 초전도 전자석과 지상 가이드웨이의 추진용 전자레일(전기자 코일)에 공급되는 전력을 제어하여 추진력을 제어하는 방식
 - 초전도 전자석은 차량 탑재 및 경량화가 가능하도록 고온 초전도 기술을 기반으로 하며, 운전에 필요한 극저온 냉각 및 제어시스템 필요
 - 지상 가이드웨이 측벽을 따라 추진용 전자레일(전기자 코일)을 설치하며, 초전도 전자석에 의한 자기저항을 최소화하기 위해 비유도 방식의 지상 가이드웨이 필요
 - 추진용 전자레일(전기자 코일)은 일정 구간마다 급전 구분 개폐장치에 의해 전기적으로 분리함으로써, 추진에너지를 최소화하고, 차량 위치를 정밀하게 검지하여 추진 효율을 높이도록 함
- 초전도 전자석을 탑재하고 지상 전자레일과의 전자기 유도 반발력으로 자기부상과 차량 안내가 되도록 하는 경량 주행체 기술
 - 자기부상 및 안내력을 얻기 위한 별도의 부상용 전자레일이 가이드웨이 측벽을 따라 설치됨
 - 자기부상 주행체는 추진/부상/안내력을 차량에 전달할 수 있는 강도 및 내구성을 지니면서도 급가속과 자기부상을 위해 경량 구조체로 구성
 - 차량의 추진 및 자기부상에 의해 발생하는 진동을 최소화하기 위한 장치와 자기부상에 따른 기계적/전자기적 주행안정성 검증



[그림] 기술개념도(핵심기술 1)

(2) 기술 범위

□ (구성기술1-1). 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술

- 자기저항을 최소화 할 수 있는 비유도 가이드웨이 및 시공 기술
- 전류밀도가 높은 대용량의 추진용 전자기레일(전자자 코일) 설계 기술
- 추진/인프라 전자기 인터페이스 성능 검증 기술

□ (구성기술1-2). 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술

- 차량 탑재 및 경량화가 가능한 고온 초전도 기반 초전도 전자석(계자 전자석) 기술
- 초전도 전자석의 극저온 냉각에 필요한 차량 분리형 극저온 냉각시스템 기술
- 초전도 전자석의 전류 충방전 제어 시스템 및 상태(자기장, 온도) 모니터링 기술

□ (구성기술1-3). 초고속 선형 추진 제어 기술

- 단위 지상전자레일에 전력공급을 제어하기 위한 급전구분개폐장치 기술 및 고정자 섹션전환시 섹션 전류 중첩에 의한 토크 변동을 완화시킬 수 있는 과도전류 억제 기술
- 위치검지시스템으로부터 전달된 낮은 품질의 위치정보를 기반으로 고정밀 위상각을 추정할 수 있는 시스템 상태 기반의 위상각 추정기술
- 하이퍼튜브 차량의 열악한 차량자속위치 검출 조건에서도 차량의 위치를 수 cm 이내로 검지할 수 있는 고정밀 센서 기술

□ (구성기술1-4). 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술

- 차량 진동을 최소화할 수 있는 유도반발 자기부상 전자기레일 및 추진 시스템 인터페이스 설계 기술
- 초전도 전자석을 탑재하여 추진/부상/안내력에 대한 강도 및 내구성을 가진 경량 구조체 기술
- 대차 내 각종 부품의 기능, 인터페이스 및 유지보수를 고려한 구조체 기술
- 차량의 주행 안정성을 확보할 수 있는 주행 안정성 해석 및 모니터링 기술

(3) 기술적 현황

□ (구성기술1-1). 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술

- 유도반발식 자기부상을 검증하기 위해서는 부상력이 발생하는 속도까지 차량 주행이 필요하며, 국내의 경우 유도반발식 자기부상을 검증할 수 있는 시험 선로가 없음
- 시험 선로는 차량의 주행저항을 최소화하여 가감속 성능을 높이고, 시험선로의 경제성을 확보하기 위하여 비유도성 가이드웨이 구축이 필요

- 기존의 추진용 전자레일은 전류밀도가 낮고 부상용 전자레일과 가이드웨이에 설치하기 위한 인터페이스 방안 미흡
- 아진공 상태 하에서의 추진 가이드웨이 기술을 구현하기 위해서는 추진/인프라 전자기 간섭 해결 및 기밀도 성능 확보 필요

□ (구성기술1-2). 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술

- 저온 초전도 전자석을 사용하는 기존의 초전도 자기부상 열차(일본)은 극저온 냉각시스템을 탑재해야 하므로 차량에 대용량 전력 공급이 필요하며 차량 중량도 증가
- 차량 경량화를 위해 냉동기를 사용하지 않는 고화질소 냉각 방식의 고온 초전도 전자석 기술이 개발 되었으나 축소모델 시작품 수준으로, 실모델 수준까지의 성능 확보 미흡
- 차량 탑재용 고온 초전도 전자석을 효과적으로 냉각하고, 추진 ·부상을 위해 운전할 수 있는 기술 개발 미흡

□ (구성기술1-3). 초고속 선형 추진 제어 기술

- 초고속 자기부상철도 기술 개발을 위한 연구 인프라로 1MVA급 전력 변환 설비 구축되어 있음
- 현재의 전력 설비는 전력용 반도체 소자 용량 제한으로 차량의 유도 반발식 자기부상을 위해 필요한 급가속 성능 제한됨
- 선형 모터의 지상전자레일 전체에 추진전력을 공급할 경우, 차량의 자속과 상호작용하지 않는 위치의 고정자 저항에 의한 전력손실 및 무효전력에 의해 인버터 용량이 급격히 증가 문제 발생
- 싸이리스터 밸브를 이용한 고정자 섹션 전환시, 소자 자체 고유의 전류 소호 특성으로 인한 전류 중첩에 의해 추진 전류 외란이 발생하여 추진력 변동 및 부상 시스템의 불안정을 초래함
- 차량 추진제어를 위해 측정된 차량의 위치(위상각)신호는 위치검지시스템에서 추진제어 시스템으로 전달시 전송속도 및 측정오차에 의해 추진제어시스템에서 요구하는 사양(전류제어주기마다 업데이트 되는 위치정보 및 정밀도) 만족시키지 못함
- 하이퍼 튜브와 같이 직선 선로 뿐만 아니라 곡선 선로를 100mm 이상 부상하여 피칭(pitching), 요잉(yawing) 및 롤링(rolling)을 동반하며 초고속으로 주행하는 차량에 대하여 비접촉 방식으로 고정밀 차량 위치를 검지할 수 있는 위치(위상각)시스템이 부재함

□ (구성기술1-4). 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술

- 기존 도시형 자기부상철도의 상전도 흡인제어식 자기부상의 경우, 10 mm 이내의 부상 공극 제어가 필요하며, 차량의 초고속 주행시 가이드웨이 정밀 시공에 따른 건설 비용 증가
- 영구자석을 활용한 유도반발식 자기부상 기술이 검토될 수 있으나, 10~20mm로 부상 공극이 작으며 초고속 주행시 큰 자기저항으로 인해 추진 효율 낮음

- 초전도 유도반발식 자기부상 기술에 대한 기초 연구가 진행되고 있으나, 실제 차량을 이용한 실험적 검증 사례 없음
- 초전도 유도반발식 추진/부상/안내 기능을 안정적으로 구현할 수 있는 경량 대차 구조체 설계 및 제작기술의 부재
- 초전도 유도반발식 자기부상 기술을 검증하기 위하여, 자기부상 차량의 진동 저감을 위한 주행 안정화 기술 개발을 위한 실증 데이터 부족

(4) 개선방안

□ (구성기술1-1). 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술

- 유도반발식 자기부상 성능을 검증할 수 있도록 시공이 용이한 단거리 테스트 베드 구축
- 비유도성 가이드웨이를 개발하여 차량 주행시 자기저항을 최소화하고 자기부상에 필요한 추진 에너지 최소화 달성
- 단거리 선로에서 급가속을 위한 고전류밀도의 추진전자레일 개발과 가이드웨이 시공을 위한 인터페이스 기술 확보
- 코일의 전류밀도를 높임으로서 추진용 전자레일의 소형·경량화 달성
- 추진/인프라 전자기 인터페이스 성능을 위해 추진/인프라 전자기 간섭 및 기밀도 유지 문제 해결이 가능한 라이나 구조 개발 및 검증

〈표〉 (구성기술1-1). 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술(As-is To-be)

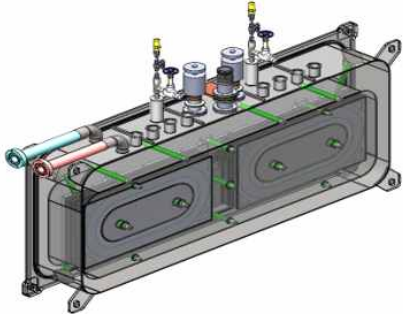
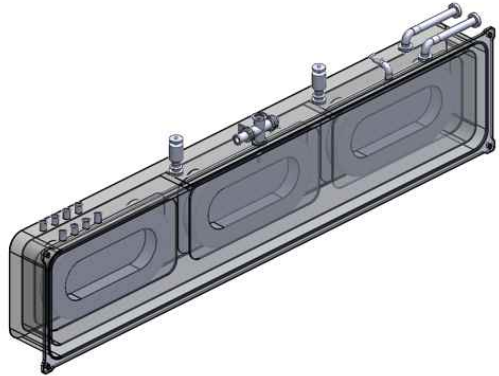
AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 비유도 가이드웨이용 소재 개발(비자성 고품간강) ▶ 단거리 가감속력을 위한 추진전자레일 성능 부족 ▶ 자기부상 검증을 위한 가이드웨이 인프라 미흡 ▶ 균열 등으로 인한 콘크리트 구조의 기밀도 한계 ▶ 스틸 소재의 전자기 간섭으로 단면 확대 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 비유도 전자기 가이드웨이 개발 및 시공 기술 확보 ▶ 급가속용 고밀도 추진전자레일 개발 ▶ 급가속용 단거리 주행시험 선로 구축(≥300 m) ▶ 전자기 간섭 및 기밀도 유지 문제가 해결된 최적 단면 가이드웨이-라이나 구조 개발



□ (구성기술1-2). 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술

- 초전도 전자석의 냉각 부하를 최소화하기 위하여 고온 초전도 기술 적용하고, 유도 반발식 자기부상을 검증하기 위해 실모델 시작품으로 개발하여 적용
- 초전도 전자석을 자기부상 주행체에 탑재하기 위해 냉동기 없는 고화 질소 냉각 방식 적용
- 초전도 전자석의 냉각을 위해 냉각시스템을 분리할 수 있는 착탈식 극저온 냉각시스템 기술 적용
- 초전도 전자석의 안정적 운전을 위해 충방전 제어 및 상태 모니터링 장치 개발

〈표〉 (구성기술1-2). 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 추진/부상용 고온 초전도 전자석 축소모델 개발 (1/2 scale, 2극) ▶ 자기부상에 필요한 초전도 전자석 자기장 성능 미흡 (기자력 : 150 kAt) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 추진/부상 검증용 실모델 고온 초전도 전자석 시작품 개발(3극) ▶ 초전도 전자석 기자력 성능(350kAt 이상)
⇒	⇒
	

□ (구성기술1-3). 초고속 선형 추진 제어 기술

- 추진 전자레일에 의한 전력 손실 저감과 무효전력에 의해 증가된 인버터 용량을 최적화하기 위해 차량이 점유하는 지상 전자레일에만 빠르게 전력을 공급할 수 있도록 전력 반도체 스위치(싸이리스터 밸브) 기반의 고정자 섹션전환방식 및 섹션 전환시 토크 리플 억제 기술 개발
- 차량 추진제어주기에 비하여 10배 이상 낮은 속도로 업데이트 되는 위치 정보, 전송 속도 지연(latency) 및 측정오차를 효과적으로 해소하기위해 시스템 모델기반의 고정밀 차량 위상각(위치) 추정기술 개발
- 아진공 튜브 내를 초고속으로 주행하는 하이퍼튜브 차량의 주행환경에서도 고정밀 위치 검지가 가능하도록 지상 유도루프를 기반으로 하는 전자기 유도 방식의 차량위상각(위치)검지 기술 개발

〈표〉 (구성기술1-3). 초고속 선형 추진 제어 기술 (As-is To-be)

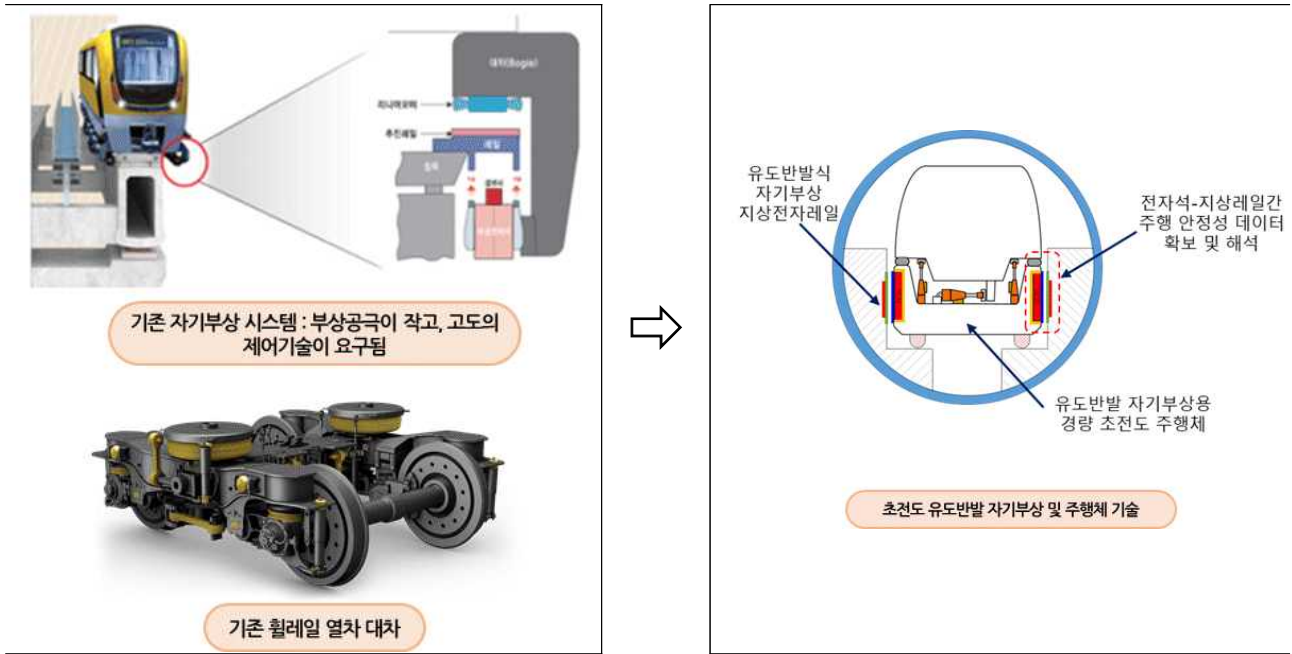
AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 시험용 선형추진전력시스템 구축 (1MVA급 추진 제어 시스템) ▶ 추진 제어 효율 및 용량 한계 (50km/h, 1.81m/s²) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 시험용 선형추진전력시스템 성능 향상 (급전개폐기술 적용 추진 제어 시스템) ▶ 추진 제어 효율 향상 (80km/h, 2.3m/s²)
⇒	

□ (구성기술 1-4). 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술

- 100mm 이상 자기부상이 가능한 유도반발식 자기부상 기술을 적용함으로써 가이드웨이 구축 비용 저감
- 주행저항이 낮은 초전도 유도반발식 자기부상 기술을 주행체에 적용하여 별도의 부상 제어 없이 부상/안내가 가능하도록 개발
- 주행시 발생하는 추진/부상/안내력을 대차 구조에 안정적으로 적절히 분배할 수 있으면서도 경량화가 가능하고, 대차 내 각종 부품의 최적 배치를 가능하게 하는 대차 구조체 기술 확보
- 초전도 주행체 주행 시험을 통한 주행 안정성 데이터 확보

〈표〉 (구성기술 1-4). 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술 (As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 유도반발 자기부상 설계 및 해석 기술 보유 ▶ 주행 테스트베드 미비로 기술 구현 못함 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 초경량 자기부상 주행체 개발 및 성능 검증 ▶ 유도반발식 자기부상 성능 검증 ▶ 탄소섬유 적용 초경량 주행체 프레임 설계 기술 확보 ▶ 주행체와 주변장치간 인터페이스 기술 확보
⇒	



[그림] (구성기술 1-4). 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술(As-is To-be)

(5) 기술개발 정의

□ (구성기술1-1). 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술

- 주행체의 자기저항을 최소화할 수 있는 비유도 가이드웨이 기술
 - 가이드웨이는 주행체의 하중을 지지하고 추진 및 자기부상, 안내력을 발생시키기 위한 전기 자 코일이 설치되는 지상 설비로, 주행체의 가감속 성능을 높이기 위한 자기저항을 최소화 하고 건설비를 저감할 수 있는 비유도 가이드웨이 설계 기술
- 고정밀 가이드웨이 시공 기술
 - 주행체의 주행안정성 및 안락한 승차감 확보를 위해 시공오차를 최소화할 수 있는 고정밀 가이드웨이 시공 기술
- 전류밀도가 높은 대용량의 추진용 전자레일(전기자 코일)설계 및 제작 기술
 - 주행체의 추진력을 발생시키기 위해 가이드웨이를 따라 설치되며, 추진제어로부터 공급되는 고전압·대전류에 견딜 수 있는 절연 및 도체 설계 기술
- 추진/인프라 전자기 인터페이스 성능 검증
 - 추진/인프라 전자기 간섭 및 기밀도 유지 문제 해결이 가능한 라이나 구조 개발 및 성능 검증

□ (구성기술1-2). 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술

- 차량 탑재를 위해 경량화가 가능한 고온 초전도 기반 초전도 전자석 기술
 - 추진·부상에 필요한 자기장을 발생시키면서 충분한 기계적 하중을 견딜 수 있는 초전도 코 일 설계 기술과 극저온의 온도를 유지할 수 있는 열 절연 설계 기술

- 초전도 전자석의 극저온 냉각에 필요한 차량 분리형 극저온 냉각시스템
 - 초전도 전자석의 냉각을 위한 충분한 냉각 용량을 가지며, 초전도 전자석과 분리 결합이 가능하면서도 열손실을 최소화 할 수 있는 기술
- 초전도 전자석의 전류 충방전 제어 시스템 및 상태(자기장, 온도) 모니터링 기술
 - 초전도 전자석의 운영 및 안전을 위한 감시 제어 기술

□ (구성기술1-3). 초고속 선형 추진 제어 기술

- 단위 지상전자레일에 전력공급을 제어하기 위한 급전구분개폐장치 기술
 - 장 고정자(Long-Stator)에 의해 발생하는 대용량 유·무효전력을 감축시키기 위한 반도체 소자 기반의 고정자 섹션전환 토폴로지 구성 및 섹션전환시 전류리플을 저감하는 기술 개발
- 정밀 위상각 제어에 의한 추력 향상 및 주행 품질 향상을 위한 고정밀 위상각 추정기술
 - 차량 추진제어주기에 비하여 상대적으로 늦은 속도로 업데이트 되는 위치 정보와 통신에 의한 전송 속도 지연(latency) 및 측정오차를 추진제어시스템 모델을 기반으로 보간(Interpolation) 및 측정오차를 보정 하는 고정밀 위치추정기술 개발
- 차량의 위치를 수 cm 이내로 검지할 수 있는 유도루프를 이용한 고정밀 센서 기술
 - 아진공 튜브 내를 주행 중인 차량의 피칭(pitching), 요잉(yawing) 및 롤링(rolling) 현상에도 차량의 자속위치(위상각)를 고정밀도로 측정할 수 있는 유도루프를 이용한 위치검지 송·수신안테나 설계 및 위상각 변환 신호처리 기술

□ (구성기술1-4). 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술

- 차량 진동을 최소화할 수 있는 유도반발 자기부상 전자레일 및 추진 시스템 인터페이스 설계
 - 초전도 유도 반발식 자기부상 시스템 해석 및 설계 기술
 - 초전도 유도 반발식 자기부상 지상전자레일 설계, 제작 및 설치 기술
 - 초전도 유도 반발식 자기부상 및 추진전자레일 인터페이스 해석 및 설계 기술
- 초전도 전자석을 탑재하여 추진/부상/안내력에 대한 강도 및 내구성을 가진 경량 구조체
 - 초전도 전자석 탑재가 가능하고, 유도 반발 자기부상 주행 시 발생하는 추진/부상/안내력 지지가 가능한 강도 및 내구성을 지니는 경량 구조체 기술
- 대차 내 각종 부품의 기능, 인터페이스 및 유지보수를 고려한 구조체
 - 초전도 유도반발 자기부상 주행에 필요한 각종 장치, 장치 간 인터페이스 및 유지보수를 고려한 구조체 설계 및 제작 기술
- 차량의 주행 안정성을 확보할 수 있는 주행 안정성 데이터 모니터링 및 해석 기술
 - 차량 주행 안정성 데이터 모니터링 및 이를 활용한 차량의 주행 안정성 해석 및 예측 기술

(6) 기술개발 목표

□ (구성기술1-1). 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술

- 프리캐스트 비유도 가이드웨이 및 전자레일 시작품 개발
- 자기부상 검증용 단거리 가이드웨이 구축 및 추진/인프라 인터페이스 성능 평가

□ (구성기술1-2). 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술

- 자기부상 검증용 고체질소 냉각 실모델 초전도 전자석 시작품 개발
- 초전도 전자석 충방전 제어 시스템 및 상태(자기장, 온도) 모니터링 기술 개발

□ (구성기술1-3). 초고속 선형 추진 제어 기술

- 단거리 급가속 추진용 급전구분개폐장치 및 섹션전환시 전류리플 억제 제어기술 개발
- 유도루프센서를 이용한 차량 정밀 위치 검지 시스템 기술 개발

□ (구성기술1-4). 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술

- 유도반발 자기부상 전자레일 및 단거리 추진 시스템 인터페이스 설계
- 단거리 유도반발 자기부상 검증용 경량 초전도 주행체 개발
- 차량의 주행 안정성을 확보할 수 있는 주행 안정성 해석 및 모니터링 기술 개발

(7) 세부개발 내용

(구성기술 1-1) 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술		
	한계점	기술개발 방향
연구방향	<ul style="list-style-type: none"> ■ 추진 부상 검증을 위한 단거리 주행 선로 부족 ■ 초전도 전자석에 의한 가이드웨이의 유도전류에 의한 자기저항 발생 ■ 튜브 소재의 전자기 간섭에 대한 영향 검증 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 급가속 추진을 위한 고전류밀도 전자레일 개발 ■ 현장 시공이 용이하도록 전자레일과 일체화되며 자기저항을 최소화한 비유도 프리캐스트 가이드웨이 개발 ■ 추진/인프라 전자기 간섭 및 기밀도 유지 문제 해결
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유도반발식 자기부상을 검증하기 위해서는 부상력이 발생하는 속도까지 차량 주행이 필요하며, 국내의 경우 유도반발식 자기부상을 검증할 수 있는 시험 선로 확보 ○ 시험 선로는 차량의 주행저항을 최소화하여 가감속 성능을 높이고, 시험선로의 경제성을 확보하기 위하여 비유도성 가이드웨이 개발 ○ 기존의 추진용 전자레일은 전류밀도가 낮고 부상전자레일과 가이드웨이에 설치하기 위한 인터페이스 및 튜브와의 인터페이스 기술 확보 	

(구성기술 1-1) 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술

연구내용	연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
	2025	(연구목표) ▪ 비유도 가이드웨이 설계 (연구내용) ▪ 시험차량과 가이드웨이 인터페이스 해석 및 설계 ▪ 비유도 가이드웨이 구조 보강근 및 대용량 추진 전자레일 시작품 설계 ▪ 추진-인프라 전자기 인터페이스용 라이나 설계	▪ 시험차량과 가이드웨이 인터페이스 해석 기술 및 설계 기준 ▪ 건설비 저감을 위한 비유도 가이드웨이/전자레일 설계도 ▪ 가이드웨이/라이나 소재별 인터페이스 기본설계도
	2026	(연구목표) ▪ 비유도 가이드웨이 단품 평가 (연구내용) ▪ 비유도 가이드웨이 및 대용량 전자레일 시작품 제작 및 단품 평가 ▪ 비유도 전자기 추진 가이드웨이 시작품 시공 기술 개발 ▪ 전자기 인터페이스 평가용 라이나 제작	▪ 비유도 가이드웨이 시작품 ▪ 비유도 가이드웨이/전자레일 단품 및 조립체 성능 검증 결과 ▪ 비유도 가이드웨이 고정밀 시공 기술 ▪ 가이드웨이/라이나 인터페이스 시작품
	2027	(연구목표) ▪ 비유도 가이드웨이 주행 성능 검증 (연구내용) ▪ 주행시험용 단거리 비유도 가이드웨이/전자레일 설치 및 성능 검증 ▪ 주행 시험용 라이나 설치 및 추진 성능 검증	▪ 비유도 가이드웨이/전자레일 성능 검증 결과 ▪ 추진 인프라 인터페이스 검증 결과
최종 성과물	▪ 비유도 가이드웨이 및 자기부상검증용 단거리 시험선		

연구목표	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
		국내	해외	
	가이드웨이 구축	120 m	-	≥ 300 m
	가이드웨이 구조 안전율			≥ 1
	전자레일 최소 기자력			≥ 4 kAt

1) 목표설정 근거
 가이드웨이 구조 안전성 확보를 위한 안전율 목표 설정
 가감속력 확보를 위한 최소 기자력 목표 설정

2) 측정방법 산식 및 시기
 - 측정방법 : 성능평가성적서(공인증인)
 - 측정산식 :
 · 안전율 = 설계강도(ϕR_n) / 소요강도($\sum \gamma_i L_i$)
 · 지지력 = 전자레일 권선수(N) X 운전전류(A)
 - 측정시기 : 2026년
 - 시기 : 2026

(구성기술 1-2) 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술

연구방향	<table border="1"> <tr> <th>한계점</th> <th>기술개발 방향</th> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석 운전에 필요한 냉각시스템 및 차상 전력 제한 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 냉각 부하를 최소화하기 위하여 고온 초전도 기술 적용 냉동기를 사용하지 않는 고체질소 기반 냉각 기술 개발 초전도 전자석용 분리형 극저온 냉각 시스템 적용 </td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 차량용 고온초전도 전자석 운전 안정성 부족 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석의 효율적 운영 및 안전을 고려한 운전 제어시스템 개발 필요 </td> </tr> </table>	한계점	기술개발 방향	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석 운전에 필요한 냉각시스템 및 차상 전력 제한 	<ul style="list-style-type: none"> 냉각 부하를 최소화하기 위하여 고온 초전도 기술 적용 냉동기를 사용하지 않는 고체질소 기반 냉각 기술 개발 초전도 전자석용 분리형 극저온 냉각 시스템 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 차량용 고온초전도 전자석 운전 안정성 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석의 효율적 운영 및 안전을 고려한 운전 제어시스템 개발 필요 									
	한계점	기술개발 방향														
<ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석 운전에 필요한 냉각시스템 및 차상 전력 제한 	<ul style="list-style-type: none"> 냉각 부하를 최소화하기 위하여 고온 초전도 기술 적용 냉동기를 사용하지 않는 고체질소 기반 냉각 기술 개발 초전도 전자석용 분리형 극저온 냉각 시스템 적용 															
<ul style="list-style-type: none"> 차량용 고온초전도 전자석 운전 안정성 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석의 효율적 운영 및 안전을 고려한 운전 제어시스템 개발 필요 															
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단거리 시험선에서의 급가속을 위해 초전도 전자석이 충분한 자기장 성능을 확보하면서도 경량화가 필요 ○ 차량 경량화를 위해 냉동기를 사용하지 않는 고화질소 냉각 방식의 고온 초전도 전자석 기술이 개발되었으나 축소모델 시작품 수준으로, 실모델 수준까지의 성능 확보 필요 ○ 차량 탑재용 고온 초전도 전자석을 효과적으로 냉각하고, 추진·부상을 위해 초전도 전자석을 안정적으로 운전할 수 있는 기술 필요 															
연구내용	<table border="1"> <thead> <tr> <th>연도</th> <th>연구목표 및 연구내용</th> <th>주요 성과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2025</td> <td> (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석용 부품 개발 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 1차 시작품 설계 및 제작 평가 고온초전도 코일 제작 및 단품 평가 고화질소 냉각 극저온 냉각시스템 설계 및 주요 부품 제작 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 고온 초전도 전자석 시작품 1차 극저온 냉각시스템 사양서 </td> </tr> <tr> <td>2026</td> <td> (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 시작품 개발 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 2차 시작품 제작 및 단품 평가 고화질소 냉각용 극저온 냉각시스템 시작품 제작 및 평가 고온초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 설계 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 고온 초전도 전자석 시작품 2차 고온 초전도 전자석 운전 및 제어 시스템 제작 사양서 극저온 냉각 시스템 시작품 </td> </tr> <tr> <td>2027</td> <td> (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 시작품 성능 검증 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 기술 개발 고온초전도 전자석 주행 동적 성능 검증 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석 성능 평가 결과서 초전도 전자석 운전 시스템 시작품 </td> </tr> <tr> <td>최종 성과물</td> <td colspan="2">단거리 자기부상 검증용 고온초전도 전자석 시작품</td> </tr> </tbody> </table>	연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물	2025	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석용 부품 개발 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 1차 시작품 설계 및 제작 평가 고온초전도 코일 제작 및 단품 평가 고화질소 냉각 극저온 냉각시스템 설계 및 주요 부품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 고온 초전도 전자석 시작품 1차 극저온 냉각시스템 사양서 	2026	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 시작품 개발 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 2차 시작품 제작 및 단품 평가 고화질소 냉각용 극저온 냉각시스템 시작품 제작 및 평가 고온초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 고온 초전도 전자석 시작품 2차 고온 초전도 전자석 운전 및 제어 시스템 제작 사양서 극저온 냉각 시스템 시작품 	2027	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 시작품 성능 검증 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 기술 개발 고온초전도 전자석 주행 동적 성능 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석 성능 평가 결과서 초전도 전자석 운전 시스템 시작품 	최종 성과물	단거리 자기부상 검증용 고온초전도 전자석 시작품	
	연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물													
	2025	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석용 부품 개발 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 1차 시작품 설계 및 제작 평가 고온초전도 코일 제작 및 단품 평가 고화질소 냉각 극저온 냉각시스템 설계 및 주요 부품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 고온 초전도 전자석 시작품 1차 극저온 냉각시스템 사양서 													
	2026	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 시작품 개발 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 2차 시작품 제작 및 단품 평가 고화질소 냉각용 극저온 냉각시스템 시작품 제작 및 평가 고온초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 고온 초전도 전자석 시작품 2차 고온 초전도 전자석 운전 및 제어 시스템 제작 사양서 극저온 냉각 시스템 시작품 													
	2027	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 시작품 성능 검증 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 고온초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 기술 개발 고온초전도 전자석 주행 동적 성능 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석 성능 평가 결과서 초전도 전자석 운전 시스템 시작품 													
최종 성과물	단거리 자기부상 검증용 고온초전도 전자석 시작품															
연구목표	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">성능지표</th> <th colspan="2">현재 최고 기술수준</th> <th rowspan="2">개발 목표 스펙</th> </tr> <tr> <th>국내</th> <th>해외</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>초전도 전자석 기자력</td> <td>150 kAt</td> <td>600kAt</td> <td>350kAt 이상</td> </tr> </tbody> </table>	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	국내	해외	초전도 전자석 기자력	150 kAt	600kAt	350kAt 이상					
	성능지표		현재 최고 기술수준			개발 목표 스펙										
국내		해외														
초전도 전자석 기자력	150 kAt	600kAt	350kAt 이상													
<ol style="list-style-type: none"> 1) 목표설정 근거 <ul style="list-style-type: none"> - 부상성능 검증을 위한 축소형 시작품 고려 - 부상력 확보를 위한 최소 기자력 목표 설정 2) 측정방법 산식 시기 <ul style="list-style-type: none"> - 측정산식 : 초전도 전자석 코일 권선수(N) X 운전전류(A) - 방법 : 성능평가성적서(공인증인) 확인 - 시기 : 주행시 성능평가 (2027) 																

(구성기술 1-3) 초고속 선형 추진 제어 기술

연구방향	한계점		기술개발 방향		
	<ul style="list-style-type: none"> 추진제어시 요구되는 차량위치정보의 낮은 분해능, 위상지연 및 측정오차가 추진효율을 저하시킴 가이드웨이 지상전자레일 길이 증가로 전력손실 및 추진 인버터 용량 증가 통신환경 문제 및 신호 전송 지연 때문에 차상 신호 계측 방식의 차량 위치검지 기술 적용 불가 		<ul style="list-style-type: none"> 차량의 자속위치 측정값과 시스템 모델을 기반으로 하는 고정밀 위치추정기술 개발로 추진효율 향상 능동전력소자 기반 급전개폐스위치를 이용한 초고속 구분 급전 시스템 기술 개발 아진공 튜브 및 초고속 주행환경에서 자기장을 인식할 수 있는 자상 유도 루프 센서 기술 개발 		
	<ul style="list-style-type: none"> 초고속 자기부상철도 기술 개발용 연구 인프라를 현재 유도 반발식 자기부상 추진시스템에 적용하기 위한 효율 향상 및 최적화 기술 필요 인버터 제어를 위해 요구되는 차량의 자속 위상각 측정신호는 낮은 분해능의 위치정보, 레이턴시 및 측정 오차 등에 의한 추진 효율이 감소하기 때문에 고정밀 위상각 추정기 개발이 필요 아진공 튜브 환경 내에서 초고속 주행하는 하이퍼튜브 차량의 피칭, 요잉 및 롤링 등에 의한 열악한 위치 측정 조건에서도 정밀하게 검지할 수 있는 기술 개발 및 시험선 주행을 통한 검증 필요 				
연구내용	연도	연구목표 및 연구내용		주요 성과물	
	2025	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 추진제어시스템 설계 및 해석 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 섹션 추진 제어기 요구사항 도출 추진전자레일 섹션 스위치 설계 고정밀 차량 위치(위상각) 검지 시스템 설계 		<ul style="list-style-type: none"> 추진제어시스템 설계사양서 추진제어기 및 섹션제어기, 유도루프 안테나 설계도 추진제어시스템 시뮬레이션 모델 및 유도루프 안테나 해석결과 	
	2026	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 추진제어시스템 시작품 제작 및 단품평가 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 섹션 추진 제어 프로그램 개발 추진전자레일 섹션 스위치 제작 및 단품평가 차량 위치(위상각) 검지 센서 제작 및 단품 평가 		<ul style="list-style-type: none"> 인버터 제어기 시작품 반도체 기반 고정자 섹션제어기 시작품 유도루프 송·수신 안테나 및 신호 처리기 시작품 	
	2027	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 추진제어시스템 인터페이스 및 성능 검증 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 추진인버터 및 제어기 인터페이스 추진전자레일 섹션 스위치 설치 및 성능 검증 고정밀 차량 위치(위상각) 검지 센서 설치 및 성능 검증 		<ul style="list-style-type: none"> 추진제어시스템 시험 결과 보고서 위치검지시스템 시험결과 보고서 	
	최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 단거리 추진제어 검증용 추진제어장치 시작품 			
연구목표	성능지표		현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	최대 가감속력		국내	해외	
			1.8 m/s ²	2.0 m/s ²	2.3 m/s ² 이상
1) 목표설정 근거 - 단거리 시험선에서의 자기부상 속도 도달을 위한 가감속 목표 설정 2) 측정방법 산식 시기 - 측정산식 : 가속도계를 이용한 주행체 성능 확인 - 방법 : 성능평가성적서(공인증인) 확인 - 시기 : 2027					

(구성기술 1-4) 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술

		한계점	기술개발 방향
연구방향		<ul style="list-style-type: none"> 흡인제어식의 경우 자기부상/안내 공극이 작아서 인프라 건설 비용 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 부상 공극이 크고 부상 제어가 필요 없는 초전도 유도반발식 자기부상 기술 개발
		<ul style="list-style-type: none"> 고도의 부상/안내 공극 제어가 필요 	
		<ul style="list-style-type: none"> 유도반발식 자기부상과 추진 시스템의 인터페이스 성능 검증 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 주행시험을 통한 유도반발식 자기부상과 추진 시스템의 인터페이스 기술 확보
		<ul style="list-style-type: none"> 초전도 유도반발식 부상 방식의 주행안정성 검증 부재 	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 유도반발식 자기부상의 진동 발생 및 전달 메커니즘 규명
		<ul style="list-style-type: none"> 초전도 전자석을 탑재하고 주행체 내 각종 부품의 최적 배치가 가능한 경량 구조체 기술 부족 대차내 부품 기능 모니터링 및 이상 상황 발생시 대처가능한 안전 기술 부재 	<ul style="list-style-type: none"> 단거리 선로에서 유도반발식 자기부상 성능을 안정적으로 구현할 수 있는 경량 초전도 기술 개발
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 도시형 자기부상철도의 상전도 흡인제어식 자기부상의 경우 가이드웨이 정밀 시공에 따른 건설 비용 증가 ○ 초전도 유도반발식 자기부상 기술에 대한 기초 연구가 진행되고 있으나, 실제 차량을 이용한 실험적 검증 필요 ○ 초전도 유도반발식 추진/부상/안내 기능을 안정적으로 구현할 수 있는 경량 주행체 설계 및 제작기술 확보 ○ 초전도 유도반발식 자기부상 기술을 검증하기 위하여, 자기부상 차량의 진동 저감을 위한 주행 안정화 기술 개발을 위한 실증 데이터 확보 		
연구내용	연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
	2025	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 초전도 유도반발 자기부상 시스템 및 주행체 설계 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 추진·부상/안내 인터페이스 설계 부상/안내용 전자레일 설계 자기부상 경량화 주행체 상세 설계 주행체 주행안정화 인터페이스 부품(차륜/현가장치 등) 설계 주행체 전자기 차폐 구조 설계 및 해석 부상/안내력 측정용 지상 전자레일 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 자기부상레일 설계모델 자기부상용 경량화 주행체 상세 설계안

(구성기술 1-4) 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술

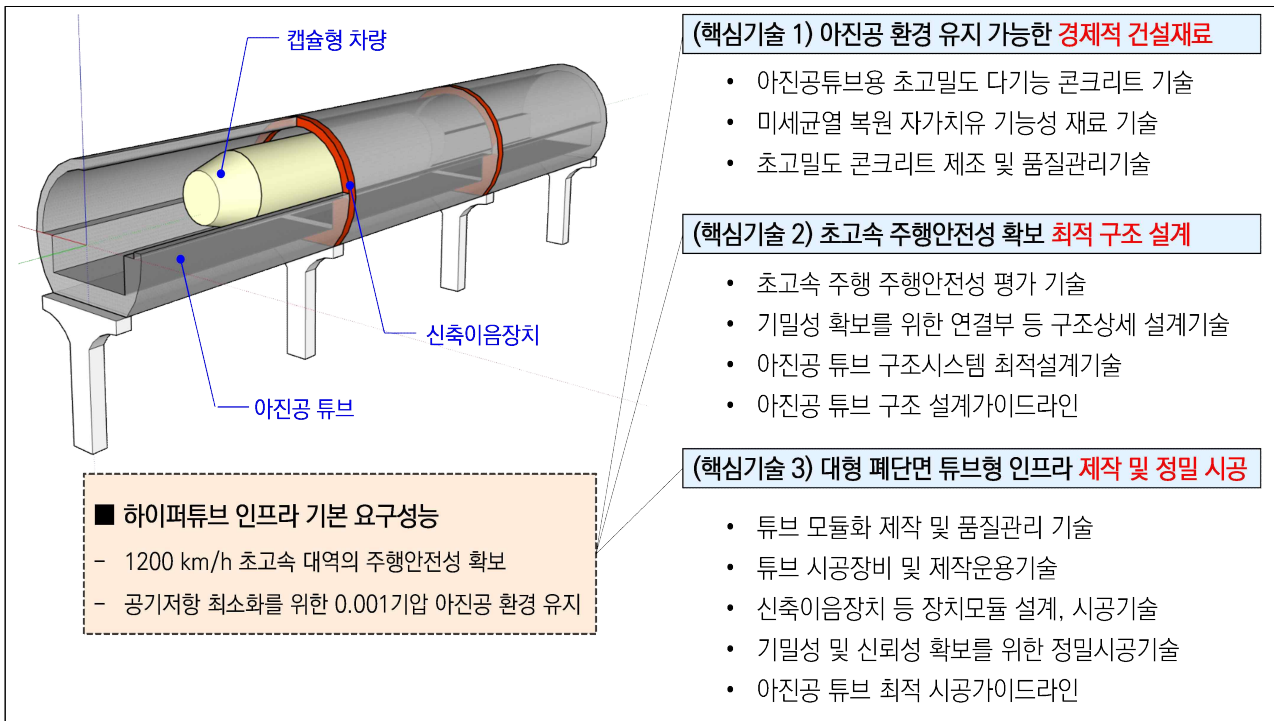
연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2026	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 초전도 유도반발 자기부상 전차레일 및 주행체 제작 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 부상/안내 전차레일 시제품 제작 및 단품 성능 평가 초경량 프레임 구조 강도 평가 자기부상용 경량화 주행체 제작 전자기 차폐 장치 개발 및 주행체 설치 시운전 부상/안내력 측정용 지상 전차레일 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 자기부상레일 시제품 자기부상용 경량화 주행체 시제품
2027	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 성능 평가 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 자기부상 검증용 단거리 시험선 구축 및 자기부상 성능 평가 추진/부상/안내 인터페이스 성능 평가 초전도 전자석 주행 성능 검증 주행안정성 관련 데이터 모니터링 및 주행안정성 해석/예측 	<ul style="list-style-type: none"> 추진부상레일 성능평가 결과서 자기부상용 경량화 주행체 성능평가 결과서
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 유도반발 자기부상 시스템 및 경량화 주행체 	

연구목표	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
		국내	해외	
	주행체 자기부상 간격	10 mm	100 mm	100mm 이상
	1) 목표설정 근거	일본 초고속 자기부상 철도 동등 수준 (100~120 mm@120 km/h)		
	2) 측정방법 산식 시기	<ul style="list-style-type: none"> - 측정산식 : 가이드웨이와 주행체 사이 거리 측정 - 방법 : 성능평가성적서(공인증인) - 시기 : 2027 		

2. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술

(1) 기본 개념

- 캡슐 차량이 초고속으로 안전하게 운행할 수 있도록 0.001~0.01 기압의 주행 환경을 유지하여 공기저항을 최소화할 수 있는 폐단면 형태의 아진공 튜브 건설을 위한 재료, 설계 및 시공기술
 - 내외부 압력 차이를 견디며 아진공 상태 유지가 요구되는 새로운 개념의 구조적 요구사항을 만족하는 기밀성 확보가 용이하고 경제적이며 시공성과 유지관리성이 높은 아진공 튜브용 최적 재료 기술
 - 초고속 주행 안전성과 아진공 환경 유지 요구성을 만족하는 아진공 튜브 인프라의 설계 기법, 시공성 및 기밀성 확보를 고려한 구조 최적화 등 구조시스템의 설계 기술
 - 아진공 튜브의 기밀성, 내구성 및 정밀 폐합성을 확보하는 부재 제작 기법과 공장제작된 아진공 튜브 모듈을 현장에서 효율적으로 조립·가설하기 위한 경제적이며 높은 정밀도의 시공 기술



[그림] 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공기술 개념도(핵심기술 2)

(2) 기술 범위

□ (구성기술 2-1). 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술

○ 아진공 튜브용 초고밀도 콘크리트 기술

- 경제성·기밀성·시공성을 고려한 하이퍼튜브용 초고밀도 콘크리트 재료 배합설계 기술 개발
- 초고밀도 콘크리트의 역학 및 기밀성능 평가
 - * 강도 및 강성 역학적 특성, 균열저항 성능, 0.001기압 아진공 환경 유지 기밀성능 등
- 하이퍼튜브 제작 및 시공을 고려한 초고밀도 콘크리트의 제조·시공·품질관리 기술 개발

- 아진공 튜브 기밀성 확보를 위한 자가치유 콘크리트 재료 기술
 - 하이퍼튜브 초고밀도 콘크리트의 기밀성능 고도화를 위한 자가치유 재료 기술 개발
 - 미세균열에 대한 자가치유 성능 평가
 - * 기밀성능 유지를 위한 0.2 mm 이하 미세균열에 대한 자가치유 성능 및 장기 내구성 등

□ (구성기술 2-2). 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술

- 아진공 튜브 인프라 설계 기술
 - 캡슐형 포트 차량의 하중 특성 및 초고속 주행 특성을 고려한 아진공 튜브 구조시스템 성능 요구사항 정립
 - 초고속 하이퍼튜브용 폐단면 구조시스템 안전성 평가 기법 및 구조 설계 가이드라인 개발
- 기밀성 확보 가능한 단면 상세 및 시공법에 따른 최적 단면 설계기술
 - 아진공 환경 제공유지를 위한 설계 측면의 기밀성 확보 방안 및 구조상세 도출
 - 고속주행 차량 특성 및 균열 최소화 요구성능을 고려한 최적화 단면설계 기술
 - 프리캐스트 제작 시공을 고려한 연결부 상세 설계 및 신축이음장치 설계·제작 기술
 - 아진공 튜브 표준 단면의 LCC 분석
- 아진공 튜브 성능평가를 위한 목업 시스템 설계
 - 실대형 아진공 튜브 목업 시스템 상세설계 도출
 - 목업시스템용 부속장치(신축이음장치, 단부 밀폐도어장치 등) 설계

□ (구성기술 2-3). 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

- 폐단면 튜브 시스템의 프리캐스트 제작을 위한 거푸집 시스템 개발
 - 폐단면 형상의 구조 시스템 공장제작을 위한 대형 거푸집 시스템 설계
 - 기밀성 확보 및 구조 손상 최소화를 위한 콘크리트 튜브 구조물 품질관리 기술 개발
- 기밀성능 확보를 위한 아진공 튜브 시스템 정밀 시공 프로세스 개발
 - 공장제작 프리캐스트 튜브 부재의 현장 일체화 시공법 개발
 - 기밀성 확보를 위한 이음부 밀폐 정밀시공법 및 품질관리 기술 개발
 - 아진공 튜브 시스템 시공 가이드라인 개발
- 아진공 튜브 목업 시공을 통한 시공기술 및 품질관리 기술 검증
 - 실대형 아진공 튜브 목업 시스템 시험 시공
 - 목업 시스템 활용 재료 성능 및 장기 기밀유지 성능 평가

(3) 기술적 현황

□ (구성기술 2-1). 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술

- 하이퍼튜브 시스템은 초고속 실현을 위해 공기저항을 없앨 수 있는 아진공 환경 제공이 필요하며, 지금까지는 폐단면 형상의 구조물 내부를 아진공 상태를 만들기 위해 기밀성 유지 성능이 요구되는 인프라의 개발 사례가 없음
- 하이퍼튜브 시스템의 기밀성능 요구사항을 만족시키는 새로운 개념의 인프라에 대한 재료·설계·시공·운영·유지관리까지의 전 생애주기에 필요한 기술의 개발과 검증이 이뤄져야 함
 - 아진공 기밀성을 유지할 수 있는 경제적인 건설 재료 기술 개발이 필요
 - 튜브 인프라 내·외부의 높은 압력 차이 조건에서 구조성능 구현이 가능한 안정성과 장기 내구성을 가진 효율적인 건설재료 기술 확보 필요
- 아진공 튜브의 기밀성능을 유지할 수 있는 경제적이면서 시공성 높은 재료 기술 필요
 - 주행 환경을 1/1,000 기압 수준으로 유지할 수 있는 아진공 튜브 인프라를 구현하기 위해 기밀성 확보가 무엇보다 중요하며, 이를 위해서는 아진공 튜브용 재료 기술 개발이 우선되어야 함
 - 지금까지 아진공 튜브 인프라의 테스트베드에서 기밀성 확보를 위해 강재를 주로 사용하여 튜브를 구축하였으나, 강재는 진동 등의 사용성과 경제적인 측면에서 불리하므로 하이퍼튜브의 실현을 위해서는 대체 가능한 콘크리트 재료에 대한 적용성 검토가 필요함
 - 일반 콘크리트는 재료 자체만으로 기밀성 확보가 어렵고, 아진공 튜브의 기밀성 확보를 위해서 단면 두께가 크게 증가하여 시공성·경제성 저하와 유지관리비 증가로 실제 적용이 어려울 수 있음
 - 최근 굵은 골재를 사용하지 않고 나노재료와 섬유 등을 사용한 초고성능 콘크리트는(Ultra High Performance Concrete : UHPC) 콘크리트 내부 조직을 치밀하게 함으로써 기밀성 확보와 내구성 향상에 유리하며, 일반 콘크리트에 비해 압축·인장 강도가 5배 이상으로 아진공 튜브의 단면 두께를 크게 줄일 수 있으므로 시공성·경제성·유지 관리 측면에서 유리함
 - UHPC를 아진공 튜브에 적용하기 위해서 보다 경제적이면서 기밀성을 확보할 수 있는 배합 기술, 아진공 튜브 부재 제작 시 경제적이면서 시공성이 높은 제조·품질관리 기술, 일정 크기 이하의 공극과 균열을 치유함으로써 유지관리를 최소화하는 기술, 그리고 아진공 튜브 재료로서 가져야 할 성능 즉, 시공성·강도·수축·크리프·내구성·기밀성 등에 대해 체계적으로 검토가 필요함

□ (구성기술 2-2). 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술

- 아진공 튜브 구조시스템의 설계를 위해서는 표준단면의 기밀성 확보뿐만 아니라 시공이음부의 기밀성을 확보하고 검증하기 위한 기술이 필요함
- 또한 일교차와 연교차에 의한 신축과 콘크리트의 장기거동을 고려하기 위한 설계기술이 필요하며, 전자기장을 활용하는 궤도를 위한 구조상세와 철근 및 강연선 등이 전자기장에 영향을 주지 않을 수 있는 상세가 필요함

- 노반에 해당하는 구조물을 시공완료한 후에 궤도 및 전기, 통신 등의 공사를 하는 일반 철도와 달리 아진공 튜브는 폐단면 구조물 전체가 외부와 차단되기 때문에 전반적인 시공순서를 고려한 구조시스템 설계 기술이 필요함
- 시공이 완료된 후에는 아진공 상태를 만들고 유지하면서, 필요한 경우 일부구간을 대기압상태로 전환하여 유지관리 및 안전관리에 활용할 수 있도록 하는 설계기술이 필요함
- 초고속 차량의 아진공 튜브 운행이 가능하도록 구조시스템을 설계하기 위한 기술이 없음
 - 국내에서는 아진공 상태에서 차량이 초고속으로 운행되는 조건이 실현화되지 않았기 때문에 아진공 환경에서 초고속으로 주행 차량의 안전성 및 구조 성능에 대한 설계기준이 없을 뿐만 아니라 이와 같은 주행특성에 대한 고려사항이 정리된 바가 없음
 - 초고속차량이 인프라 시설을 운행하는 경우, 차량과 구조물의 상호작용을 고려하여 승객의 승차감을 위한 설계조건이 필요
- 대규모로 구축이 되는 인프라 시설로서 안전성과 효율성을 극대화할 수 있는 설계기술이 요구됨
 - 아진공 튜브는 짧은 구간에 적용되는 것이 아니라 전체 노선이 길수록 효과적이기 때문에 인프라 시설은 대규모 시설물이 될 뿐만 아니라 다양한 현장조건을 극복하면서 구축하여야 함
 - 최고의 안전성을 확보하면서도 경제적인 인프라 시설 구축을 위해서는 공용시의 요구조건뿐만 아니라 시공 단계에서의 요구조건도 고려하여 최적단면을 정리할 필요가 있음
 - 아진공 상태를 위해서는 구조시스템의 연결부 최소화가 필요하나 연결부를 최소화하는 경우 사용재료의 거동특성이나 외기환경 변화에 따라 큰 부정정력이 발생하게 되므로 이를 설계에 고려하여야 함
 - 장거리 하이퍼튜브를 시공하기 위해서 하부구조의 간격, 초고속 운행 중 발생하는 진동 및 튜브 자중에 의한 구조적 처짐 한계, 온도변화로 인한 튜브의 길이 변화를 흡수함과 동시에 기밀성을 유지할 수 있는 신축 및 연결부에 대한 성능기준 마련이 필요함

□ (구성기술 2-3). 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

- 하이퍼튜브 인프라는 기밀성 유지를 위해 폐단면 튜브 형태의 구조물을 일괄 제작하는 것이 유리 하며, 콘크리트 튜브 제작을 위해서는 대형 폐단면 구조를 위한 거푸집 시스템 제작·운용 기술 및 균열 제어를 위한 품질관리 기술이 요구됨
- 아진공 튜브 인프라는 시공성 및 품질관리를 위해 프리캐스트 부재로 제작할 필요가 있으며, 분할 제작 되는 튜브 모듈을 연결했을 때의 선형 확보 및 연결부 기밀성을 확보할 수 있는 정밀 시공기술이 요구됨
- 초고속으로 주행하는 차량의 안전성 확보를 위해 기존 고속철도 인프라 시공에서 요구되는 수준 이상의 수직·수평 허용오차 이내 정밀시공 필요
- 튜브간 연결부의 기밀성을 확보하기 위한 설계 및 시공사례가 없는 실정으로, 아진공 튜브의 성능을 충족시키는 높은 기밀도와 경제성을 만족시키는 시공 기술이 부재한 실정
- 기존의 철도인프라 시공기술로 구현이 어려운 아진공 튜브를 고도의 정밀도와 엄격한 품질관리를 거치면서도 경제적으로 구축하기 위해서는 독자적인 기술개발이 반드시 이루어져야 함


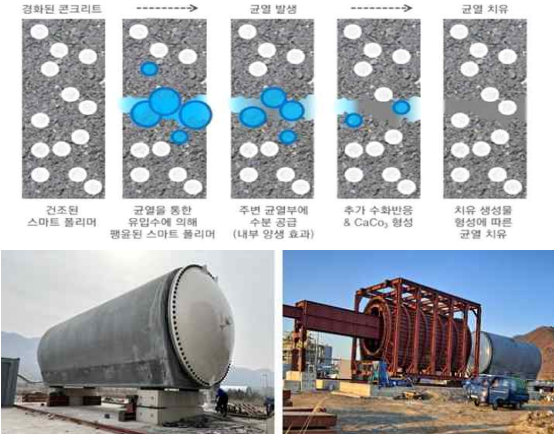
- 하이퍼튜브 기술 실용화를 위해서는 재료, 설계, 시공기술이 유기적으로 결합된 패키지 기술 개발과 이를 토대로 시험시공을 통한 기밀성 유지 성능 평가가 필요함

(4) 개선방안

□ (구성기술 2-1). 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술

- 하이퍼튜브용 아진공 인프라구조에 적합한 최적 건설재료 개발 및 아진공 환경 유지를 위한 기밀성능 확보 중심의 재료 성능 고도화
 - 아진공 기밀유지, 안정적 초고속 주행, 위험 상황에 대한 안전 대처 등의 필수 요구사항을 만족시킬 수 있도록 종합적이고 효과적인 하이퍼튜브용 재료 기술 개발
 - 강재, 콘크리트, 고분자복합재료 등 가용한 건설재료의 적용성 평가를 통해 재료별 성능을 극대화하고 경제성을 확보할 수 있는 최적 건설재료 선정
 - 강재 대비 경제적인 콘크리트 재료의 적용성을 높이기 위해 나노 재료 활용으로 재료 밀도를 향상시킴으로써 기밀성을 확보할 수 있는 초고밀도·초고성능 콘크리트 재료 기술 개발
 - 인프라 기밀성능 유지를 위해 공용중 균열 발생을 억제하고 미세 균열 발생시 균열진전을 회피할 수 있도록 자가치유 성능을 갖는 콘크리트 재료 고도화 기술 개발

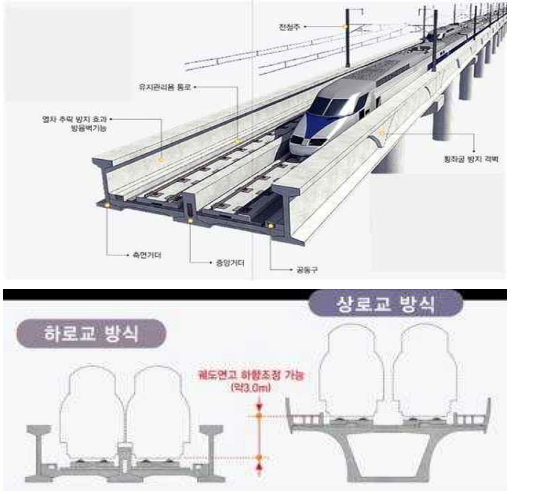
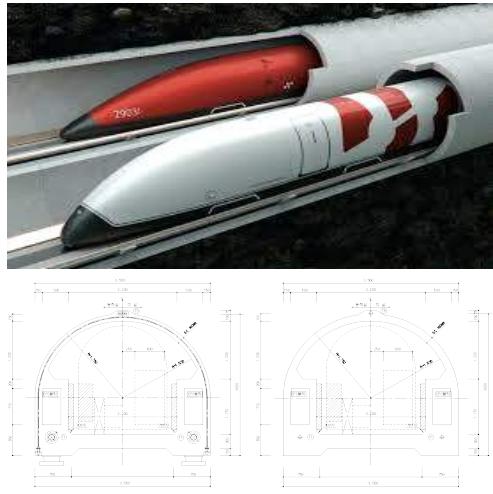
〈표〉 (구성기술 2-1). 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 초고밀도 콘크리트 기초 연구 및 기밀성능 평가 단계 - 초고밀도 콘크리트 기본 배합 도출 및 투기성 기초 평가 - 시편 및 소규모 시편실험을 통해 콘크리트 재료의 진공도 유지 시간 30분 내외 입증 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 하이퍼튜브 실용화를 위한 건설재료 기술 고도화 - 강재-콘크리트- 복합재료 등 인프라 건설 재료 다변화 - 초고밀도 콘크리트의 밀도 향상 및 자가치유 성능 부가 등 고도화로 진공도 유지 시간 1시간 이상, 최대 2시간 달성
 <p>초고밀도 콘크리트 기본배합 도출 및 기밀유지 기본 성능 확보</p>	 <p>재료 성능 고도화를 통한 아진공 튜브 인프라의 기밀성능 향상</p>

□ (구성기술 2-2). 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술

- 건설 재료의 물리적 특성, 차량의 주행 특성, 주행안전성 확보를 위한 구조적 요구성능 및 아진공 환경 유지를 위한 기밀성 확보 방안 등 기존과 다른 하이퍼튜브 인프라 시스템의 특이점을 종합적으로 고려한 체계적인 설계기법 정립
 - 아진공 상태를 만들고 유지하는 데에 필요한 기밀성 측면의 설계 요구조건과 초고속차량 주행안전성 확보 측면의 구조적 요구성능이 동시에 반영된 설계 프로세스 정립
 - 초고속 차량이 아진공 튜브를 통행하는 경우, 즉 고속주행 뿐만 아니라 시제동과 긴급시 발생할 수 있는 차륜통행에 대한 차량과 구조물의 상호작용을 평가하고 이를 고려하여 승차감을 확보하는 설계 기술을 정립
- 다양한 현장 여건에서도 구조안전성이 확보되면서 시공단계와 사용단계의 요구조건을 만족하는 최적단면의 설계기술을 정립
 - 아진공 튜브의 시공 절차 등을 고려하여 각 단계에 요구되는 설계 요구조건을 정립하고, 이에 따른 최적단면 설계방법을 작성
 - 아진공 상태가 원활히 구축, 유지되기 위한 기밀성 측면의 설계 요구조건을 정립하고, 연결부 등 기밀성에 취약한 부분의 구조상세를 제시

〈표〉 (구성기술 2-2). 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
<p>▶ 하이퍼튜브 인프라 특화된 설계 기술 부재</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초고속 주행, POD 차량 등 기존과 다른 차량 주행 조건에 대한 설계요구조건 및 안전성 평가 기준 부재 - 진공 밀폐를 위한 폐단면 형태의 특수 구조에 대한 설계 노하우 부재 	<p>▶ 하이퍼튜브 특화 설계기법 정착</p> <ul style="list-style-type: none"> - 차량 사양을 고려한 설계하중 설정 - 초고속대역 주행안전성 확보를 고려한 설계법 확보 - 기밀성 확보를 위한 균열제어 설계 방안, 연결부 등 기밀성 취약부 구조상세 제시
⇒	⇒
 <p>고속철도를 포함한 기존 교통 시스템을 통한 개방형 구조물 설계 노하우 축적</p>	 <p>기밀성 및 초고속 주행안전성을 고려한 폐단면 하이퍼튜브 인프라 설계기술 확보</p>

□ (구성기술 2-3). 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

- 아진공 튜브 제작 기술과 품질 관리 기준을 정립하여 제작 단계부터 구조적 성능과 기밀성을 확보할 수 있는 최적 시공법 및 부재 제작 품질관리 기술을 확보
 - 대구경 폐단면 아진공 튜브의 구조적 특징을 고려한 시공 절차 및 각 단계에 요구되는 설계상 요구 조건을 도출하고, 설계기술과의 피드백을 통한 최적 시공 프로세스를 도출
 - 기존 침매터널 제작 시공기술, 대구경 복층터널 제작기술 등의 노하우를 바탕으로 아진공튜브에 적합한 제작장비(거푸집 시스템 등) 및 시공법 등의 고도화 시공기술 개발
 - 폐단면 튜브 형태 구조의 일괄 타설·제작을 위한 거푸집 시스템 개발
 - 기밀성 확보를 최우선 목표로 하여 부재 연결부의 완전 밀폐, 부재와 부속 장치간의 폐합 체결 등 정밀 폐합 시공기술 확보
 - 종합적 기술 실증을 위한 실대형 목업 시스템 구축을 통한 재료·설계·시공의 종합적 기술 실증 필요
 - 재료, 설계, 시공분야의 소요별 분리 검증된 기술을 종합하여 실대형 목업 시스템을 구축함으로써 실 구조물로서의 종합적 거동과 성능을 확인하고, 기술간 피드백 평가를 통해 개선 사항 도출
 - 실물 목업 시스템을 활용하여 실용화 가능성을 평가하고, 기술 고도화 및 부가 연구개발 사항 도출
- 〈표〉 (구성기술 2-3). 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
<p>▶ 밀폐성을 고려한 폐단면 형태의 대형 구조물 시공 기술 미진</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개방된 단면의 교량 형태 구조가 주류를 이룸 - 교량, 침매터널 및 복층터널 시공 경험을 통한 시공노하우는 축적되어 있으나 진공환경 유지를 위한 폐단면 밀폐구조의 정밀시공 기술 부재 	<p>▶ 아진공튜브 실용화 정밀시공기술 정립</p> <ul style="list-style-type: none"> - 폐단면 튜브 구조 제작을 위한 거푸집시스템 개발 및 기밀성 확보를 위한 품질관리 프로세스 정립 - 실증용 목업시스템 구축을 통한 아진공 튜브 시공 노하우 축적 및 정밀시공기술 검증
⇒	⇒
 <p>고속철도 교량 및 침매터널, 대구경 복층터널 등 인프라시설물 시공, 품질관리 노하우 축적</p>	 <p>폐단면 튜브 제작·품질관리 기술 확보 및 목업 시험시공을 통한 기술 검증</p>

(5) 기술개발 정의

□ (구성기술 2-1). 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술

- 하이퍼튜브 인프라 건설의 경제성 확보 측면에서 콘크리트 재료 적용 방안을 마련하고, 0.001 기압 수준의 아진공 조건에 기밀성 요구성능을 만족하는 초고밀도 콘크리트 재료 기술 고도화
 - 아진공 튜브 건설을 위해 강제 대비 1/3 이하의 건설비로 경제적인 콘크리트 재료 적용 방안 마련
 - 일반 콘크리트 대비 1/10 이하 공극률로 치밀한 조직을 갖는 초고밀도 콘크리트 재료 기술 개발
 - 0.001 기압의 아진공 환경 유지 가능한 기밀성 및 내구성을 갖는 최적 건설재료 개발

□ (구성기술 2-2). 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술

- 아진공 튜브 구조시스템 설계를 위한 성능요구사항 정립 및 특화된 설계 가이드라인 기반의 최적 단면 상세설계 도출
 - 목표속도 1200 km/h의 초고속 대역의 주행안전성을 확보하기 위한 구조적 성능 요구사항 정립
 - 하이퍼튜브 인프라의 하중조건 및 사용성 요구조건이 반영된 설계 기법 및 설계 가이드라인 개발
 - 아진공 튜브 기밀성 확보 및 시공성을 고려한 최적화 설계 단면 상세 개발

□ (구성기술 2-3). 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

- 폐단면 형상의 아진공 튜브 제작을 위한 거푸집시스템 개발 및 기밀성 확보를 위한 정밀 시공 기술 개발
 - 제작 단계에서 완전 폐합된 형태의 튜브 구조물 제작을 위한 거푸집 시스템 및 운용 프로세스 개발
 - 아진공 튜브의 부재 단위 기밀성 확보를 위한 품질 및 생산관리 기술 개발
 - 프리캐스트 부재의 현장 조립시 부재 연결부 등의 밀폐 상태를 담보할 수 있는 정밀 시공법 개발
 - 목업 시스템 시험시공을 통한 제작, 운반, 양중, 구조부재 일체화, 안전관리 등 시공 전과정의 유효성 검증
 - 목업 시스템의 장기거동 평가를 통한 재료, 설계, 시공의 패키지 기술 검증

(6) 기술개발 목표

□ (구성기술 2-1). 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술

- 0.001 기압급의 아진공 환경을 1시간 이상 유지할 수 있는 초고밀도 콘크리트 재료 기술 개발
 - 일반 콘크리트 대비 미세 공극을 줄인 밀도가 높고, 강제 대비 경제적인 초고밀도 콘크리트 기술 개발
 - 초고밀도 콘크리트를 적용한 아진공 튜브의 0.001기압급 아진공 유지시간 1시간 이상 달성
 - 0.2mm 이하 미세균열 복원 가능한 자기치유 성능의 콘크리트 배합기술 개발

□ (구성기술 2-2). 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술

- 아진공 튜브 구조시스템을 설계하기 위한 설계기법 및 설계가이드라인 개발
 - 초고속대역 주행안전성 확보 및 사용성 요구성능을 확보하는 최적 설계법 및 설계 프로세스 개발
 - 아진공 튜브 단면 최적설계 및 목업시스템 시험시공을 위한 상세설계 도출
 - 튜브 세그먼트 연결부 상세설계 및 신축이음장치 등 부속장치 설계 도출

□ (구성기술 2-3). 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

- 아진공 튜브 제작 시공을 위한 장비 개발, 장비운용 시공기술 및 품질관리 기술 개발
 - 폐단면 아진공 튜브 구조 제작을 위한 특화 거푸집 시스템 장비 및 운용기술 개발
 - 아진공 튜브 손상 최소화 및 밀폐성능 극대화를 위한 최적 가설공법 개발
 - 아진공 튜브 간 연결부 및 부속장치와의 폐합을 고려한 정밀 시공 프로세스 개발
- 아진공 튜브 목업 시스템 시험시공을 통한 개발기술 검증
 - 실대형 아진공 튜브 목업 시스템 구축을 통한 재료-설계-시공의 전과정 기술 검증
 - 목업 시스템 장기거동 평가를 통한 시스템 안정성 및 실용화 가능성 평가

(7) 세부개발 내용

(구성기술 2-1) 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술		
	한계점	기술개발 방향
연구방향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다공성 특성을 갖는 콘크리트 재료는 재료 자체만으로 기밀성 확보에 어려움이 있으며 기밀성 확보를 위하여 폴리머 계열의 도막 도포 등의 부가적인 조치 또는 강재 합성 구조 등이 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 나노재료 배합으로 공극율을 낮춤으로써 치밀한 조직의 매트릭스 특성을 갖는 초고밀도 콘크리트 재료 개발 ▪ 실험실 수준과 테스트베드 단계에 따른 다양한 검증을 통한 아진공 튜브용 다기능 콘크리트의 배합설계와 품질관리 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인장강도가 낮은 콘크리트는 균열 발생 시 기밀성 확보가 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 아진공 튜브의 균열 및 공극이 발생하지 않도록 자기치유 초고밀도 콘크리트의 품질관리 기술 개발
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강재 대비 경제적인 콘크리트 재료 자체만으로도 아진공 환경의 기밀성을 확보할 수 있도록 공극을 최소화한 초고밀도 다기능 아진공 튜브용 콘크리트 개발이 필요함 - 아진공 튜브용 재료는 강재 사용이 일반적으로 인식되고 있으나, 강재 튜브는 제작 비용이 고가이고 부식 방지를 위한 유지관리비용이 크게 소요될 것으로 예상됨 	

(구성기술 2-1) 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술

- 일반 콘크리트는 강재에 비해 제작비는 저렴하지만 수밀성이 낮고 균열이 발생하기 쉬운 단점이 있으나, 최근 일반 콘크리트에 비해 수밀성이 10배 이상 향상된 초고성능 콘크리트가 개발되어 교량, 건축물 등 실제 구조물에 적용이 점차 증가하는 추세에 있어 이를 활용한 하이퍼튜브 인프라에 특화된 콘크리트 재료 기술 개발이 가능함
 - 초고밀도 콘크리트는 수밀성과 기밀성이 뛰어날 뿐만 아니라 고강도 특성으로 단면 두께를 크게 줄일 수 있어 가격 경쟁력을 갖고 있으므로 아진공 튜브용 재료로 적용 가능성이 충분함
 - 아진공 튜브에 초고밀도 콘크리트를 적용하기 위해서는 다양한 환경을 고려한 성능 검증, 기밀성과 경제성 향상 그리고 제작환경을 고려한 시공기술 개발이 필요함
- 콘크리트의 균열 취약성을 보완하기 위하여 미세균열에 대한 재료 측면에서의 보완 대책이 필요함
- 콘크리트는 균열이 발생하기 쉬우며 미세 균열이라도 운송관 기밀성을 저하시키는 요인이 됨
 - 균열 억제를 위한 적극적인 방법으로서 콘크리트에 강섬유 또는 유기섬유를 혼입하여 인장강도를 높인 초고성능 콘크리트는 섬유의 맞물림 효과로 미세 균열의 발생을 억제할 수 있음
 - 미세균열에 대해서 스스로 복원할 수 있는 자기치유 기능이 부가된 콘크리트 재료 개발을 통해 재료 단위에서 균열 억제 및 제어가 가능하도록 함으로써 기밀성능을 극대화할 수 있음

- 아진공 튜브용 다기능 콘크리트 기술
- 기밀성과 경제성을 고려한 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 구성 및 배합설계 개발
 - 제작·시공환경을 고려한 다기능 초고밀도 콘크리트의 제조 기술 개발
 - 아진공 튜브용 다기능 콘크리트의 성능 평가 : 시공성능, 역학 특성, 기밀성, 내구성능 등
 - 조인트·연결부의 밀폐용 재료 및 시공기술 개발
 - 아진공 튜브용 다기능 콘크리트의 제조·시공·품질관리 지침 개발

연구내용

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2025	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 및 구성재료 설계기술 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 기밀성·경제성을 고려한 다기능 초고밀도 콘크리트의 구성 재료 설계 ▪ 초고밀도 콘크리트용 보강 섬유 특성 분석 ▪ 자기치유 소재·재료 특성분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초고밀도 콘크리트의 구성 재료 기본 배합설계 ▪ 미세 균열 자기치유를 위한 기본 배합설계
2026	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 아진공 튜브용 재료 제조 및 성능 평가 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 기밀성·경제성·시공성을 고려한 다기능 초고밀도 콘크리트의 배합 설계 및 제조기술 (※ 믹서 운용, 양생 습도·온도·기간 등) ▪ 아진공 튜브 및 연결부 밀폐용 초고밀도 다기능 콘크리트의 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자기치유 성능의 초고밀도 콘크리트 제조 및 품질관리 기술 ▪ 시편 및 축소 부재 실험을 통한 초고밀도 콘크리트 아진공 유지 기밀성능 평가 성적서

(구성기술 2-1) 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물														
2027	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 Mock-up 구축을 통한 재료 성능 평가 및 검증 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 재료성능 평가 및 검증을 통한 아진공 튜브용 초고밀도 다기능 콘크리트의 성능 고도화 성능 검증 및 보완사항 도출 (※ 인장강도·기밀성·수축성능 등의 Mock-up 시험) 아진공 튜브 적용을 위한 다기능 콘크리트의 제조·품질관리지침 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 목업 시공을 위한 초고밀도 콘크리트 최적 배합설계 하이퍼튜브용 초고밀도 콘크리트 제조·품질관리지침 목업 시스템 활용 초고밀도 콘크리트 재료 장기성능 보고서 														
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 하이퍼튜브용 초고밀도 다기능 콘크리트 최적배합설계 초고밀도 다기능 콘크리트 제조 및 품질관리지침 															
연구목표	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">성능지표</th> <th colspan="2">현재 최고 기술수준</th> <th rowspan="2">개발 목표 스펙</th> </tr> <tr> <th>국내</th> <th>해외</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.001기압급 아진공 상태 유지 시간</td> <td>30분 내외</td> <td>-</td> <td>0.001→0.01 기압 도달까지의 아진공 유지시간 60분 이상 확보¹⁾</td> </tr> <tr> <td>자가치유 균열폭</td> <td>0.1 mm</td> <td>0.2 mm</td> <td>0.2 mm 미세균열 자가 복원 성능 확보²⁾</td> </tr> </tbody> </table>	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	국내	해외	0.001기압급 아진공 상태 유지 시간	30분 내외	-	0.001→0.01 기압 도달까지의 아진공 유지시간 60분 이상 확보 ¹⁾	자가치유 균열폭	0.1 mm	0.2 mm	0.2 mm 미세균열 자가 복원 성능 확보 ²⁾	
	성능지표		현재 최고 기술수준			개발 목표 스펙										
국내		해외														
0.001기압급 아진공 상태 유지 시간	30분 내외	-	0.001→0.01 기압 도달까지의 아진공 유지시간 60분 이상 확보 ¹⁾													
자가치유 균열폭	0.1 mm	0.2 mm	0.2 mm 미세균열 자가 복원 성능 확보 ²⁾													
<p>1) 내경 1 mm 내외의 축소형 부재 실험을 통해 기본성능을 검증하고, 내경 3.26mm의 실대형 목업 시스템 구축 후 실물 단위의 아진공 유지시간 측정으로 성과 검증</p> <p>2) 콘크리트구조 사용성 설계기준(KDS 14 20 30:2021)에서 수밀성 등 밀폐성이 요구되는 구조물의 허용 균열폭 0.2 mm에 대해서 자가치유 가능하도록 목표 설정</p>																
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 하이퍼튜브용 초고밀도 다기능 콘크리트 최적배합설계 초고밀도 다기능 콘크리트 제조 및 품질관리지침 															

(구성기술 2-2) 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술

	한계점	기술개발 방향						
연구방향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 교통수단의 속도 대역을 넘어서는 초고속 대역의 주행 안전성 및 거동특성을 고려할 수 있는 구조물 설계기준 부재 ▪ 아진공 상태를 위한 구조물의 기밀성 확보 설계기술 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초고속대역 주행 특성 및 캡슐형 차량의 구조물과의 상호작용 등을 고려한 구조물 설계요구조건 분석 및 구조안전성, 시공성 등을 고려한 설계기준 정립 ▪ 튜브 세그먼트 폐합을 위한 시공법을 고려하여 구조 시스템의 기밀성을 확보 측면의 설계요구조건 분석 정립 ▪ 기밀성이 요구되는 아진공 튜브 인프라 시설 구축을 위한 재료기술, 시공기술, 유지관리 기술을 종합하여 설계에 반영하는 기술개발 						
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이퍼튜브 인프라 시설을 구축하기 위해서는 초고속 주행 특성 및 아진공 환경을 고려한 설계 기술 개발이 우선되어야 함 <ul style="list-style-type: none"> - 아진공 튜브를 위한 인프라 시설은 대규모로 건설된 사례가 없기 때문에 이를 국내에서 처음 실현하려면 완성도 높은 구조시스템의 설계 기술이 필요함 - 구조시스템은 크게 토공구간과 교량구간 및 터널구간으로 구별할 수 있으며, 경간장이나 심도 등의 현장여건에 따라 적합한 시공방법을 적용해야 하므로 설계기술의 개발 및 단면 최적화가 매우 중요함 - 초고속 차량이 통과하는 경우에는 구조물과의 동적 상호작용이 발생하게 되고, 이러한 동적응답은 설계에 있어서 핵심사항이므로 이를 합리적으로 평가하여 아진공 튜브 내에서 초고속으로 차량이 운행되는 경우의 차량과 구조물의 안전성을 확보할 뿐만 아니라 차량에 탑승하는 승객의 승차감을 위한 한계도 반드시 설정하여 지속가능한 구조시스템이 되도록 하여야 함 ○ 아진공 튜브 기술적용성을 평가하는 핵심지표 중의 하나는 투자대비 효율성에 있으며, 투자에 있어서는 인프라 시설의 초기구축비용과 유지관리 비용이 주요 인자임 <ul style="list-style-type: none"> - 인프라 시설의 초기구축비용을 최소화하기 위해서는 설계조건별로 단면을 최적화하여 표준화된 단면을 제시함으로써 생산효율성을 극대화하여야 함 - 최적단면에서는 구조안전성뿐만 아니라 공사비의 절감과 유지관리비용을 최소화를 반드시 고려하여야 하며, 이에 대한 완성도를 높이기 위해서는 구조시스템의 기밀성 확보와 무조인트화에 대한 기술을 개발하고 이를 평가하여야 함 							
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 아진공 환경과 초고속 주행이라는 새로운 설계조건에 부합하는 설계기준의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 아진공 환경의 구현 및 유지와 초고속 주행 안전성을 확보하기 위한 설계 요구조건을 분석하고 이를 반영하는 설계기준의 개발 - 캡슐형 차량의 초고속 주행 특성을 반영하여 차량-구조물 동적 상호작용 영향 평가를 통한 구조 최적화 수행 - 기밀성 확보 및 아진공 환경에 유리한 폐단면 튜브 구조물 및 연결부 상세를 도출하고 시공성을 고려한 최적 단면 도출 - 아진공 튜브 성능 실증을 위한 목업 시작품 상세설계를 도출하고 설계 및 시공 경험을 바탕으로 완성도 높은 아진공 튜브 구조인프라 시스템의 설계기준 개발 <table border="1" data-bbox="316 1865 1430 2110"> <thead> <tr> <th data-bbox="316 1865 443 1906">연도</th> <th data-bbox="443 1865 922 1906">연구목표 및 연구내용</th> <th data-bbox="922 1865 1430 1906">주요 성과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="316 1906 443 2110">2025</td> <td data-bbox="443 1906 922 2110"> (연구목표) ▪ 아진공 튜브 구조시스템의 설계기준 작성을 위한 제반 사항분석 (단면설계 기본요구사항 도출) </td> <td data-bbox="922 1906 1430 2110"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 아진공 튜브 구조시스템의 주행안전성 및 사용성 요구조건 정의서 ▪ 아진공 튜브 구조시스템 설계를 위한 기본 설계조건 분석서 </td> </tr> </tbody> </table>		연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물	2025	(연구목표) ▪ 아진공 튜브 구조시스템의 설계기준 작성을 위한 제반 사항분석 (단면설계 기본요구사항 도출)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 아진공 튜브 구조시스템의 주행안전성 및 사용성 요구조건 정의서 ▪ 아진공 튜브 구조시스템 설계를 위한 기본 설계조건 분석서
연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물						
2025	(연구목표) ▪ 아진공 튜브 구조시스템의 설계기준 작성을 위한 제반 사항분석 (단면설계 기본요구사항 도출)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 아진공 튜브 구조시스템의 주행안전성 및 사용성 요구조건 정의서 ▪ 아진공 튜브 구조시스템 설계를 위한 기본 설계조건 분석서 						

(구성기술 2-2) 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물																							
	(연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브의 설계기준 요구조건 분석 사용재료 및 거더 유무 등을 고려한 기본단면검토 아진공 튜브 구조시스템의 설계를 위한 기본 검토조건 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 사용재료 특성을 고려한 기본단면 설계서 																							
2026	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브의 설계가이드라인 기본안 작성을 위한 연구 (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브의 설계기준 기본안 작성을 위한 실험연구 구조의 기밀성 확보 및 타 분야 기본검토결과를 고려한 시작품용 기본구조 검토 기본단면에 대한 설계법 개발 시작품용 단경간 구조를 위한 실험검증(mock-up)계획수립 	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 구조시스템의 설계가이드라인 기본안 아진공 튜브 목업 시작품 제작을 위한 단면 상세설계 목업 시작품 구축 계획서 및 성능 평가 실험계획서 																							
2027	(연구목표) <ul style="list-style-type: none"> 구조시스템 설계기준 기본안 작성 (아진공 튜브 Mock-up 구축을 위한 설계상세 도출) (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 Mock-up을 위한 기본 단면 설계 및 설계기준 기본안 완성 Mock-up 구축을 통한 설계상세 정립 및 보완 사항도출 	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 구조시스템의 설계검토 예시 초고속 차량과 아진공 튜브 구조시스템의 상호작용 평가기법 구조성능실험 결과서 																							
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 구조시스템 설계가이드라인 아진공 튜브 구조시스템의 최적 단면 상세설계 도서 (구조계산서, 설계도면, 수량산출서 등) 아진공 튜브 목업 시작품 구축 계획서 (상세설계도서, 시스템구성도면, 시험평가 계획서 등) 																								
연구목표	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">성능지표</th> <th colspan="2">현재 최고 기술수준</th> <th rowspan="2">개발 목표 스펙</th> </tr> <tr> <th>국내</th> <th>해외</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>주행안전성 확보를 위한 처짐 제한</td> <td>처짐 L/2000 (KTX기준)</td> <td>처짐 L/3500 (일본 자기부상)</td> <td>처짐 < L/4000 진동가속도 < 0.35G</td> </tr> <tr> <td>하이퍼튜브용 아진공 튜브 단면 기본설계</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>건설재료 및 주행 조건 등을 고려한 단면 기본설계¹⁾</td> </tr> <tr> <td>하이퍼튜브 목업 시스템 상세설계</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>하이퍼튜브 목업(50m, 2경간) 구축을 위한 단면 상세설계 도출</td> </tr> <tr> <td>하이퍼튜브 설계가이드라인</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>하이퍼튜브 인프라에 특화된 설계기법 정립 및 문서화</td> </tr> </tbody> </table>	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	국내	해외	주행안전성 확보를 위한 처짐 제한	처짐 L/2000 (KTX기준)	처짐 L/3500 (일본 자기부상)	처짐 < L/4000 진동가속도 < 0.35G	하이퍼튜브용 아진공 튜브 단면 기본설계	-	-	건설재료 및 주행 조건 등을 고려한 단면 기본설계 ¹⁾	하이퍼튜브 목업 시스템 상세설계	-	-	하이퍼튜브 목업(50m, 2경간) 구축을 위한 단면 상세설계 도출	하이퍼튜브 설계가이드라인	-	-	하이퍼튜브 인프라에 특화된 설계기법 정립 및 문서화		
	성능지표		현재 최고 기술수준			개발 목표 스펙																			
		국내	해외																						
	주행안전성 확보를 위한 처짐 제한	처짐 L/2000 (KTX기준)	처짐 L/3500 (일본 자기부상)	처짐 < L/4000 진동가속도 < 0.35G																					
	하이퍼튜브용 아진공 튜브 단면 기본설계	-	-	건설재료 및 주행 조건 등을 고려한 단면 기본설계 ¹⁾																					
하이퍼튜브 목업 시스템 상세설계	-	-	하이퍼튜브 목업(50m, 2경간) 구축을 위한 단면 상세설계 도출																						
하이퍼튜브 설계가이드라인	-	-	하이퍼튜브 인프라에 특화된 설계기법 정립 및 문서화																						
1) 단면설계 성과물은 구조계산서, 도면, 수량산출서 등을 포함한 설계도서 일체를 의미함																									
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 구조시스템 설계가이드라인 아진공 튜브 구조시스템의 최적 단면 상세설계 도서 아진공 튜브 목업 시작품 구축 계획서 																								

(구성기술 2-3) 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

	한계점	기술개발 방향					
연구방향	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 상태 유지를 위한 대구경 폐합 단면 튜브 구조물 제작 노하우 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 침매터널 및 대구경 복층 터널 등 폐단면 형태 구조물 노하우를 기반으로 아진공 튜브 제작 기술 개발 아진공 튜브 제작 정밀도 및 품질관리 용이성을 고려한 전용 제작설비(거푸집 시스템 및 운용 장비) 개발 					
	<ul style="list-style-type: none"> 대구경 튜브 정밀 시공법의 부재와 공기·및 원가의 효율적인 관리가 요구됨 대구경 튜브 가설 장비 선정· 개발 및 운영기술 확보 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 공장제작 부재의 운반, 양중, 가설, 조립 등 시공 전단계의 효율성 및 안전성을 확보할 수 있는 시공 프로세스 정립 아진공 튜브 가설 공정 최적화를 위한 장비 운영 및 개발을 포함한 시공기술 개발 아진공 튜브 최적가설을 위한 BIM 기반의 공정관리 시스템 구축 					
	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 환경 기밀성 유지를 위한 정밀도 높은 시공법 부재 	<ul style="list-style-type: none"> 설계분야와 협업하여 연결부 기밀성 확보와 조립 시공이 용이한 설계상세 개발하고 현장조립 단계에서 완전 폐합을 확보하는 정밀 시공법 도출 					
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이퍼튜브는 초고속 운영을 위해 밀폐된 구조로 아진공 상태를 유지해야 하며, 아진공 환경을 지속적으로 유지할 수 있도록 시공오차를 최소화할 수 있는 정밀시공기술이 요구됨 <ul style="list-style-type: none"> - 하이퍼튜브 시스템은 공기저항을 최소화하기 위한 튜브 내의 진공 상태 확보가 가장 중요한 사항이며, 이를 위해서 정교한 부재 제작과 품질관리가 요구되며, 시공 과정에서 부재손상 및 균열 발생을 방지할 수 있는 엄격한 시공관리가 요구됨 - 시공 과정에서 예상하지 못한 구조물 균열과 공극 등의 발생과 신축이음 연결부위에서 기밀성을 확보하지 못할 가능성이 높기 때문에, 기밀유지 및 시공성 확보가 가능한 아진공 튜브 제작 및 시공 기술이 필요 						
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 폐단면 아진공 튜브 세그먼트 구조 제작 설비 및 시공 프로세스 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 폐단면 밀폐구조 구성 요소 기본요구성능 설정 및 제작방안 정립 - 아진공 튜브 제작 공정 및 품질기준 도출 - 아진공 튜브 기밀성 검증기법 및 시스템 구축 - 아진공 튜브 제작 공정 최적화를 위한 장비 운영 및 시공기술 개발 - 아진공 튜브 Mock-up 시스템 시험시공을 통한 기밀성 및 시공성 평가 - 아진공 튜브 시공절차서 및 품질관리지침서 도출 						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="300 1630 443 1671">연도</th> <th data-bbox="443 1630 919 1671">연구목표 및 연구내용</th> <th data-bbox="919 1630 1430 1671">주요 성과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="300 1671 443 2110">2025</td> <td data-bbox="443 1671 919 2110"> <p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 핵심 제작기술 개발 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 세그먼트 거푸집시스템 설계 시스템 구성 장치모듈(신축장치, 단부밀폐도어, 펌프모듈 등) 구조 검토 및 기본설계 아진공 튜브 제작공정 및 품질기준 도출 </td> <td data-bbox="919 1671 1430 2110"> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 제작 거푸집 시스템 설계 </td> </tr> </tbody> </table>	연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물	2025	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 핵심 제작기술 개발 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 세그먼트 거푸집시스템 설계 시스템 구성 장치모듈(신축장치, 단부밀폐도어, 펌프모듈 등) 구조 검토 및 기본설계 아진공 튜브 제작공정 및 품질기준 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 제작 거푸집 시스템 설계
연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물					
2025	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 핵심 제작기술 개발 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 세그먼트 거푸집시스템 설계 시스템 구성 장치모듈(신축장치, 단부밀폐도어, 펌프모듈 등) 구조 검토 및 기본설계 아진공 튜브 제작공정 및 품질기준 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 제작 거푸집 시스템 설계 					

(구성기술 2-3) 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물		
2026	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 시공기술 개발 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 기밀성 검증 시스템 구축 아진공 튜브 거푸집시스템 및 장치 모듈 제작 제작공정 최적화를 위한 장비 운영 및 개발을 포함한 시공기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 거푸집 시스템 및 운용절차서 연결부 신축이음장치 시작품 아진공 튜브 시공절차서(안) 		
2027	<p>(연구목표)</p> <ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 Mock-up 제작을 통한 기밀성 및 시공성 평가 <p>(연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> 연구성과 및 시공성 평가를 위한 아진공 튜브 Mock-up 시험시공 Mock-up 구축을 통한 시공법 정립 및 장치모듈 등 보완 사항 도출 시공상세 및 시공절차서 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 시공 가이드라인 실대형 아진공 튜브 목업 시작품 시험시공 (내경 3.26m, 2@25=50m의 실대형 목업) 		
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 콘크리트 거푸집 시스템 및 제작·운용절차서 아진공 튜브 제작·품질관리·시공 가이드라인 실대형 아진공 튜브 목업 시스템 (내경 3.26m, 길이 50m의 2경간 실대형 목업) 			
연구목표	성능지표	현재 최고 기술수준	개발 목표 스펙	
		국내	해외	
	아진공 튜브 거푸집 시스템	-	-	내경 3.26m의 콘크리트 튜브 세그먼트 부재 제작 거푸집 시스템
	신축이음장치 시작품	-	-	25m 경간 최대 온도신축량 11mm 변위에 대한 밀폐성능 유지
	하이퍼튜브 시공가이드라인	-	-	하이퍼튜브 인프라 정밀시공 기법 및 시공절차 문서화
실대형 목업 시스템 진공도 유지 시간	30분	-	0.001→0.01기압 아진공 상태 유지시간 60분 이상 ¹⁾	
1) 실대형 목업 시작품 구축 후 이를 활용한 현장 계측 결과로 아진공 환경 유지성능 평가				
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 콘크리트 거푸집 시스템 및 제작·운용절차서 아진공 튜브 제작·품질관리·시공 가이드라인 실대형 아진공 튜브 목업 시스템 			

4. 분야별·기술별 연계체계 및 로드맵

□ 핵심기술 1. 초고속 추진 및 부상 시스템 기술

핵심과제	구성기술	'25	'26	'27	연구 목표
선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	가이드웨이/전자레일 /라이나 설계	시작품 제작 및 단품 평가		<ul style="list-style-type: none"> 프리케스트 비유도 가이드웨이 및 전자레일 시작품 개발 자기부상 검증용 단거리 가이드웨이 구축 및 추진/인프라 인터페이스 성능 평가
			단거리 시험선 구축	추진/인프라 인터페이스 검증	
추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	초전도 전자석 시작품 제작 및 평가			<ul style="list-style-type: none"> 자기부상 검증용 고체절소 냉각 실험 모델 초전도 전자석 시작품 개발 초전도 전자석 총방전 제어 시스템 및 상태(자기장, 온도) 모니터링 기술 개발
		냉각시스템 설계	냉각시스템 제작 및 평가	운전 및 모니터링 시스템 개발	
초고속 선형 추진 제어 기술	초고속 선형 추진 제어 기술	급전계폐장치 설계	시작품 제작 및 단품 평가	추진부상 종합 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> 단거리 급가속 추진용 급전구분개폐장치 및 섹션전환시 전류리플 억제 제어기술 개발 유도루프센서를 이용한 차량 정밀 위치 감지 시스템 기술 개발
		위치검지센서 설계	시작품 제작 및 단품 평가		
초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술	초전도 유도반발 자기부상 및 주행체 기술	추진/부상 인터페이스 해석	부상전자레일 설치 및 평가		<ul style="list-style-type: none"> 유도반발 자기부상 전자레일 및 단거리 추진 시스템 인터페이스 설계 단거리 유도반발 자기부상 검증용 경량 초전도 주행체 개발 차량의 주행 안정성을 확보할 수 있는 주행 안정성 해석 및 모니터링 기술 개발
			부상전자레일 개발	초전도 주행체 설계	

□ 핵심기술 2. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술

핵심과제	구성기술	'25	'26	'27	연구 목표
아진공 튜브 재료·설계·시공 패키지 기술 개발	아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술	아진공 튜브용 초고밀도 콘크리트 재료 기술			<ul style="list-style-type: none"> 0.001기압의 아진공 환경을 1시간 이상 유지할 수 있는 초고밀도 콘크리트 재료 기술 개발
		아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술			<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 구조시스템의 초고속 주행안전성 및 기밀성 성능 확보 설계기법 및 설계가이드라인 개발
		아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술			<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브시공장비 및 품질관리 기술 개발 실험형 목업 구축 개발기술의 총합적 검증

제3절 소요예산 및 자원 투입계획

1. 소요예산

- 2개 핵심기술, 7개 구성기술을 개발하기 위하여 3년('25~'27년)간 256.7억 원(국고 : 256.7억 원, 민자 : 미정)의 예산을 투입

〈표〉 핵심기술별 사업 추진 규모

(단위: 천 원)

핵심기술	구성기술	총사업비	국고	민자
[핵심 1] 초고속 추진 및 부상 시스템 기술	1-1. 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	5,558,000	5,558,000	미정
	1-2. 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	4,767,000	4,767,000	미정
	1-3. 초고속 선형 추진 제어 기술 개발	4,046,000	4,046,000	미정
	1-4. 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	3,779,000	3,779,000	미정
	소 계	18,150,000	18,150,000	-
[핵심 2] 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술	2-1. 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술	700,000	700,000	미정
	2-2. 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술	1,000,000	1,000,000	미정
	2-3. 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술	5,825,000	5,825,000	미정
	소 계	7,525,000	7,525,000	-
합 계		25,675,000	25,675,000	-

□ 핵심기술별 상세 소요예산

〈표〉 핵심기술 1. 초고속 추진 및 부상시스템 기술 소요예산

(단위: 천원)

구성기술명	'25	'26	'27	계
1-1. 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술 개발	1,468,000	3,195,000	895,000	5,558,000
인건비	260,000	260,000	210,000	730,000
연구장비 재료비	898,000	2,585,000	475,000	3,958,000
기타경비 및 간접비	310,000	350,000	210,000	870,000
1-2. 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술 개발	2,000,000	2,501,000	266,000	4,767,000
인건비	140,000	160,000	100,000	400,000
연구장비 재료비	1,650,000	2,100,000	56,000	3,806,000
기타경비 및 간접비	210,000	241,000	110,000	561,000

(단위: 천원)

구성기술명	'25	'26	'27	계
1-3. 초고속 선형 추진제어 기술 개발	564,000	1,914,000	1,568,000	4,046,000
인건비	250,000	337,000	300,000	887,000
연구장비 재료비	220,000	1,350,000	1,057,000	2,627,000
기타경비 및 간접비	94,000	227,000	211,000	532,000
1-4. 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술 개발	1,224,000	1,327,000	1,228,000	3,779,000
인건비	298,500	399,400	339,700	1,037,600
연구장비 재료비	658,000	564,200	584,600	1,806,800
기타경비 및 간접비	267,500	363,400	303,700	934,600
합 계	5,256,000	8,937,000	3,957,000	18,150,000

〈표〉 핵심기술 2. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술 소요예산

(단위: 천원)

구성기술명	'25	'26	'27	계
2-1. 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술	300,000	200,000	200,000	700,000
인건비	129,000	90,000	80,000	299,000
연구장비 재료비	111,000	69,200	81,200	261,400
기타경비 및 간접비	60,000	40,800	38,800	139,600
2-2. 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술	400,000	400,000	200,000	1,000,000
인건비	172,000	172,000	96,000	440,000
연구장비 재료비	148,000	148,000	62,000	358,000
기타경비 및 간접비	80,000	80,000	42,000	202,000
2-3. 아진공 튜브 제작시공 및 품질관리 기술	700,000	1,853,000	3,272,000	5,825,000
인건비	280,000	440,000	480,000	1,200,000
연구장비 재료비	284,200	1,233,800	2,605,000	4,123,000
기타경비 및 간접비	135,800	179,200	187,000	502,000
합 계	1,400,000	2,453,000	3,672,000	7,525,000

2. 자원(인력, 장비 등) 투입계획

□ 핵심기술별 연구시설 및 장비, 시제품 제작비, 연구 재료비 내역

〈표〉 핵심기술 1. 초고속 추진 및 부상시스템 기술 연구장비 내역

구분	순번	장비	관련개발내용	수량(개)	금액(천원)
연구 시설 및 장비	1	추진전력설비 개량/보수 (Rectifier Tr. / Converter Stack 등)	초고속 선형 추진제어 기술	1식	550,000
	2	CCTV 등 안전 시설	초고속 선형 추진제어 기술	1식	200,000
	3	고화질소 극저온 냉각시스템 (27 K 급)	추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	1 set	400,000
	4	주행시험용 노반공사	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	300 m	300,000
시제품 제작비	1	주행시험용 가이드웨이 모듈 제작	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	300 m	600,000
	2	주행시험용 추진코일 제작	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	300 m	1,300,000
	3	성능평가용 가이드웨이 + 추진코일 샘플 제작	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	5 m	100,000
	4	라이너 시제품 제작	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	1 식	200,000
	5	라이너 설치 지그 제작	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	1 식	200,000
	6	주행시험용 비상제동레일 제작	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	50 m	100,000
	7	초전도 전자석 시제품 (350 kAt 이상)	추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	4 set	1,800,000
	8	초전도 전자석 총방전 제어 시스템 시제품	추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	1 식	200,000
	9	주행시험용 부상 전자레일 시제품 제작	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	50m	300,000
	10	성능평가용 부상 전자레일 샘플 제작	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	5m	20,000
	11	위치검지용 유도루프 송수신안테나	초고속 선형 추진제어 기술	300m	150,000
	12	위치검지용 통신 장치	초고속 선형 추진제어 기술	1 식	250,000
	13	사이리스터 밸브 제어용 추진 제어기	초고속 선형 추진제어 기술	1 식	200,000
	14	유도루프 수신안테나 신호처리기	초고속 선형 추진제어 기술	1 식	250,000
	15	성능 검증용 초경량 프레임 시제품	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	2	200,000
	16	주행시험용 초경량 프레임	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	1	100,000
	17	주행시험용 주행체 시제품	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	2	400,000
	18	추진 부상 성능 차상 계측 시스템	초고속 선형 추진제어 기술 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	1	300,000
	19	시험선용 부상 전자레일 시제품 제작	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	50m	300,000
	20	성능평가용 부상코일 제작	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	5m	50,000
	21	주행 시험용 궤도 설치 공사	선형 전자기 추진 가이드웨이 기술 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	350 m	550,000

구분	순번	장비	관련개발내용	수량(개)	금액(천원)
연구 재료비	1	전력변환기용 스위칭 소자	초고속 선형 추진제어 기술	10	60,000
	2	급전용 전력 케이블 (2 kV)	초고속 선형 추진제어 기술	120 m	220,000
	3	정적 부상 시험용 가이드웨이	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	1개	190,000
	4	고망간 철근재	추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	300 m	900,000
	5	전자기 차폐 소재	초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술	1 식	100,000
	6	고온초전도 선재(4 mm, 320A)	추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	37 km	1,600,000
	7	기타 소모성 자재류 및 공사	공통	10 식	100,000
합 계					12,190,000

〈표〉 핵심기술 2. 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술 연구장비 내역

구분	순번	장비	관련개발내용	수량(개)	금액(천원)
연구 시설 및 장비	1	튜브 거동 계측 시스템 (응력, 변위, 압력 등 계측 센서망)	(2-3 아진공 튜브 제작시공 품질관리 기술) 목업시스템 계측 및 구조 설계인자 분석	1	120,000
시작품 제작비	2	콘크리트 튜브 세그먼트 프리캐스트 몰드(거푸집)	(2-3 아진공 튜브 제작시공 품질관리 기술) 튜브 인프라 목업 시스템 구축	1	800,000
	3	아진공 튜브 신축이음장치	(2-3 아진공 튜브 제작시공 품질관리 기술) 튜브 인프라 목업 시스템 구축	1	80,000
	4	아진공 튜브 펌핑 시스템 모듈	(2-3 아진공 튜브 제작시공 품질관리 기술) 튜브 인프라 목업 시스템 구축	1	400,000
	5	아진공 튜브 단부 밀폐도어 모듈	(2-3 아진공 튜브 제작시공 품질관리 기술) 튜브 인프라 목업 시스템 구축	2	1,300,000
	6	목업 튜브 콘크리트 타설 재료비 및 제작시공경비	(2-3 아진공 튜브 제작시공 품질관리 기술) 튜브 인프라 목업 시스템 구축	1	772,000
	7	목업 부지 콘크리트 베드 기초 공사 재료비 및 시공경비	(2-3 아진공 튜브 제작시공 품질관리 기술) 튜브 인프라 목업 시스템 구축	1	173,000
합 계					3,645,000

□ 핵심기술별 소요인력

- 본 사업의 총 소요인력은 85명이며, 연평균 28명이 소요될 것으로 예상
 - 본 사업의 투입되는 인력은 연구활동별/연차별 투입 인원수를 산정하되, 책임연구원급(교수급) 투입 인원수를 기준으로 산정하여 도출

〈표〉 연도별 소요인력

핵심기술		'25	'26	'27	소계(평균)
[핵심기술 1] 초고속 추진 및 부상 시스템 기술	책임	6	7	6	19
	선임	5	6	5	16
	연구원	3	4	4	11
[핵심기술 2] 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술	책임	6	6	6	18
	선임	3	3	3	9
	연구원	4	4	4	12
합 계		27	30	28	85

□ 핵심기술별 소요 예산

- (핵심기술1) 초고속 추진 및 부상 시스템 기술 개발에 총 181.5억원 규모 소요
- (핵심기술2) 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술 개발에 총 85.5억원 규모 소요

〈표〉 본 사업의 핵심기술별, 연도별 총사업비

(단위: 천 원)

핵심기술	구분	'25	'26	'27	합계
[핵심기술 1] 초고속 추진 및 부상 시스템 기술	국고	5,256,000	8,937,000	3,957,000	18,150,000
	민자	-	-	-	-
	소계	5,256,000	8,937,000	3,957,000	18,150,000
[핵심기술 2] 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술	국고	1,400,000	2,453,000	3,672,000	7,525,000
	민자	-	-	-	-
	소계	1,400,000	2,453,000	3,672,000	7,525,000

□ 구성기술별 예산

〈표〉 본 사업의 구성기술별, 연도별 총사업비

(단위: 천 원)

구성 기술	구분	'25	'26	'27	합계
1-1. 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술	국고	1,468,000	3,195,000	895,000	5,558,000
	민자	-	-	-	-
	소계	1,468,000	3,195,000	895,000	5,558,000
1-2. 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술	국고	2,000,000	2,501,000	266,000	4,767,000
	민자	-	-	-	-
	소계	2,000,000	2,501,000	266,000	4,767,000
1-3. 초고속 선형 추진 제어 기술	국고	564,000	1,914,000	1,568,000	4,046,000
	민자	-	-	-	-
	소계	564,000	1,914,000	1,568,000	4,046,000
1-4. 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술 개발	국고	1,224,000	1,327,000	1,228,000	3,350,000
	민자	-	-	-	-
	소계	1,224,000	1,327,000	1,228,000	3,779,000
2-1. 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술	국고	300,000	200,000	200,000	700,000
	민자	-	-	-	-
	소계	300,000	200,000	200,000	700,000
2-2. 아진공 튜브 구조시스템 설계기준 및 최적설계 기술	국고	400,000	400,000	200,000	1,000,000
	민자	-	-	-	-
	소계	400,000	400,000	200,000	1,000,000
2-3. 아진공 튜브 제작시공 및 품질관리 기술	국고	700,000	1,853,000	3,272,000	5,825,000
	민자	-	-	-	-
	소계	700,000	1,853,000	3,272,000	5,825,000
합계	국고	6,656,000	11,390,000	7,629,000	25,675,000
	민자	-	-	-	-
	소계	6,656,000	11,390,000	7,629,000	25,675,000

제4절 사전타당성 분석

1. 정책적 타당성 분석

- ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2019)’에 따라 과학기술기본계획을 필수계획으로, 그 외 계획을 선택군 계획으로 선정하여 부합성을 검토

구분	계획명	부합성		
		낮음	보통	높음
필수계획	제4차 과학기술기본계획('18~'22) 제5차 과학기술기본계획('23~'27)			○
	윤석열 정부 120대 국정과제			○
선택군 계획	제1차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획('18~'27) 제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획('23~'32, 예정)			○
	제5차 국토종합계획('20~'40)			○
	제4차 철도산업발전 기본계획('21~'25)			○
	제4차 국가철도망 구축 계획('21~'30)			○
	국토교통 2050 미래기술(20-Wonder 프로젝트)			○
	2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략('21)			○
	「2050 탄소중립」 추진전략 ('20)			○
	모빌리티 혁신 로드맵('22)			○
	광역교통비전 2030			○

- ‘윤석열 정부 120대 국정과제’와 ‘제4차 과학기술기본계획’에 동 사업 관련 기술을 명시하고 있어 부합성이 높으며, 그 외 선택군 계획에서도 동 사업 관련 내용을 명시하고 있어 상위계획과의 부합성은 적절함

필수계획 선택군 계획	부합도 낮음	부합도 보통	부합도 높음
부합도 높음	보통	대체로 적절	적절
부합도 보통	대체로 부적절	보통	대체로 적절
부합도 낮음	부적절	대체로 부적절	보통

2. 기술적 타당성 분석

□ 필요성 및 시급성과 핵심기술의 부합성

필요성/시급성	본 사업 중점 분야별 부합성 (◎ 부합성 높음; ○ 부합성 보통; △ 부합성 낮음)			
	① 초고속 추진 및 부상시스템 기술	② 아진공 차량 및 무선시스템 기술	③ 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전 기술	④ 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술
(필요성) 전 세계적으로 메가시티화가 진행되고 있는 가운데, 국내 또한 광역시를 중심으로 집중화되고 있어 거점 간 이동 수요가 증가	○	○	○	○
(필요성) 수도권 집중을 분산시키고, 비수도권 과의 국토균형 발전을 위해서는 거점 간 초고속으로 이동할 수 있는 교통수단 개발이 필요	○	○	○	○
(필요성) 대도시를 중심으로 광역화가 진행되는 미래 국토공간 구조 변화에 대응하기 위해 초광역 교통수단 도입이 필요	○	○	○	○
(필요성) 중·장거리 이동수단의 고속화는 국민의 이동시간 절감에 많은 기여를 한 것으로 조사	◎	◎	◎	◎
(필요성) 중·장거리 이동수단 선택 시 편리성(대기시간 절감, 정시성, 접근성 등)을 중요시 하고 있는 추세	◎	◎	◎	◎
(필요성) 기후 문제 심각성이 부각 되면서 탄소 배출량이 많은 중·장거리 교통수단이 문제로 대두	◎	◎	◎	◎
(필요성) 탄소중립을 위해서는 중·장거리 이동수단 중 탄소배출량이 가장 많은 항공기의 수요를 대체할 수 있는 새로운 초고속·친환경 교통수단 개발이 시급	◎	◎	◎	◎
(필요성) 미래 환경변화에 따라 3대 교통 특성 변화에 부합할 수 있는 新교통수단 개발이 요구되고 있는 상황	◎	◎	◎	◎
(시급성) 2050년 탄소중립 목표에 따라 미래 모빌리티로 전환을 위한 초고속 철도망 확충이 시급한 시점	◎	◎	◎	◎
(시급성) 하이퍼튜브 시장을 선점하기 위해서는 First Mover형 R&D 추진이 시급	◎	◎	◎	◎
(시급성) 중·장거리형 초고속 신 교통수단의 선점을 위한 주요국의 노력이 가속화되는 상황에서 국가 차원의 적극적인 사업추진을 통한 기술개발이 시급	◎	◎	◎	◎

3. 경제적 타당성 분석

□ 동 사업을 통해 고부가가치와 신규 일자리 창출 효과가 높을 것으로 기대

- 산업연관표에서 제공하는 생산유발계수, 부가가치유발계수, 고용유발계수 등을 바탕으로 동 사업에서 기대되는 부가가치 및 일자리 효과를 산출

〈표 6-155〉 동사업에서 기대되는 부가가치 및 일자리 효과 산출

구 분	산업분류	생산유발계수	부가가치 유발계수	고용유발계수 (명/10억원)	취업유발계수 (명/10억원)
초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발 사업	전기변환/ 공급제어장치	1.086	0.391	5.5	6.8
	교통시설 건설	1.000	0.402	8.3	10.7
	연구개발	1.007	0.623	9.1	10.1
	평 균				

출처 : 한국은행 경제통계시스템(ecos.bok.or.kr), 산업연관표(2019)

- (생산유발액) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간 동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 3,512억 원의 생산을 창출할 것으로 추정됨

* 3,512억 원(생산유발액) : 3,377억 원(총예산) × 1.04(생산유발계수)

- (부가가치유발액) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 1,553억 원의 부가가치를 창출할 것으로 추정됨

* 1,553억 원(부가가치유발액) : 3,377억 원(총예산) × 0.46(부가가치유발계수)

- (고용유발효과) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간 동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 2,488명의 일자리를 창출할 것으로 추정됨

* 2,488명(고용유발효과) : 3,377억 원(총예산) × 7.37(고용유발계수)/10

- (취업유발효과) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간 동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 2,954명의 취업자를 창출할 것으로 추정됨

* 2,954명(취업유발효과) : 3,377억 원(총예산) × 8.75(취업유발계수)/10

□ 하이퍼튜브는 기존 고속철도 대비 통행시간이 80% 이상 절감될 것으로 기대

- 하이퍼튜브를 이용할 경우에 대한 평균 통행시간 절감 정도를 추정하기 위하여 기존 고속철도 통행시간과 하이퍼튜브 통행시간의 비교 분석을 통한 통행시간 절감효과를 추정

- '20년 서울역-부산역 구간 거리 417.4km 대비 고속철도의 통행시간 2시간 20분 기준 1km당 통행시간은 평균 0.34분

- '04년 KTX 개통 후, 10년간('04~'13) 총 이용객은 3억 9,505만 명, 총 수송 인·거리는 10,616억km로 1인당 평균 수송거리는 268.7km

〈표 6-156〉 KTX 여객 수송거리 및 인당 평균 수송거리

연도	여객수송 인원(명)	여객수송 인·거리(인·km)	인당 평균 수송거리(km/인)
2004	19,791,607	5,551,264,035	280.5
2005	32,103,698	8,862,141,427	276.0
2006	36,016,990	9,781,906,827	271.6
2007	36,709,393	9,854,372,695	268.4
2008	37,416,634	9,994,093,381	267.1
2009	36,822,668	9,759,284,552	265.0
2010	40,765,582	10,822,565,197	265.5
2011	49,646,269	13,374,958,301	269.4
2012	51,681,691	13,891,338,256	268.8
2013	54,099,719	14,271,948,782	263.8
합계	395,054,251	106,163,873,453	268.7

- '04년~'13년 국내 고속철도 이용객 1인당 평균 수송거리는 268.7km로 총 통행시간은 평균 91.4분으로 추정
- 하이퍼튜브 이용 시 서울역-부산역 구간의 통행시간이 25분으로 단축된다고 가정할 경우, 1인당 평균 수송거리인 268.7km에 대한 총 통행시간은 평균 16.1분으로 추정
- 268.7km에 대한 KTX와 하이퍼튜브의 통행시간 격차를 비교한 결과 하이퍼튜브 이용객 1인당 평균 75.3분의 통행시간 절감효과가 발생할 것으로 기대

제4장 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

제1절 기술별 최종 연구개발성과물

□ 동 사업의 목표 달성하기 위하여 2개의 전략목표 및 6개의 성과목표를 설정

사업 목표	신속성, 편리성, 친환경성을 가지는 하이퍼튜브 핵심기술 확보
----------	-----------------------------------

전략 목표	하이퍼튜브 기술의 타당성 입증 및 실용화 모델 설계를 위한 단거리 추진·자기부상 성능 검증	하이퍼튜브 시스템 튜브 인프라의 1/1,000기압급 아진공 환경 1시간 이상 유지 가능한 재료, 설계, 시공 패키지 기술 확보
성과 목표	① 시험용 단거리 비유도 전자기 가이드웨이 구축 ② 급가감속 추진시스템 및 핵심 부품 개발 ③ 유도반발 자기부상 주행체 개발	④ 콘크리트 재료 기밀성능 확보 ⑤ 아진공 튜브 최적설계기술 확보 ⑥ 폐단면 튜브 정밀시공기술 확보

산출물	2025	2026	2027	2025	2026	2027
	시험차량과 가이드웨이 인터페이스 해석 및 설계 기준	비유도 가이드웨이 시작품	비유도 가이드웨이/전자레일 단품 및 조립체 성능 검증 결과	비유도 가이드웨이/전자레일 성능 검증 결과	초고밀도 콘크리트 구성 재료 기본 배합 설계	자가치유 성능의 초고밀도 콘크리트 제조
비유도 가이드웨이/전자레일 설계도	비유도 가이드웨이/전자레일 설계도	비유도 가이드웨이/전자레일 단품 및 조립체 성능 검증 결과	추진 인프라 인터페이스 검증 결과	미세 균열 자가치유를 위한 기본 배합 설계	초고밀도 콘크리트 아진공 유지 기밀성능 평가 성적서	목업 시스템 활용 초고밀도 콘크리트 재료 장기성능 보고서
가이드웨이/라이나 소재별 인터페이스 기본 설계도	가이드웨이/라이나 인터페이스 시작품	가이드웨이/라이나 인터페이스 시작품	추진 인프라 인터페이스 검증 결과	아진공 튜브 구조시스템 주행 안전성 및 사용성 요구조건 정의서	아진공 튜브 구조시스템 설계 가이드라인 기본안	아진공 튜브 구조시스템 설계 검토 예시
고온 초전도 전자석 시작품 1차	고온 초전도 전자석 시작품 2차	초전도 전자석 성능평가 결과서	초전도 전자석 성능평가 결과서	아진공 튜브 구조 시스템 설계 기본 설계조건 분석서	아진공 튜브 목업 시작품 제작을 위한 단면 상세설계	초고속 차량과 아진공 튜브 구조 시스템 상호작용 평가법
극저온 냉각시스템 사양서	고온 초전도 전자석 운전 및 제어 시스템 제작 사양서 극저온 냉각 시스템 시작품	초전도 전자석 운전 시스템 시작품	초전도 전자석 운전 시스템 시작품	사용재료 특성을 고려한 기본단면 설계서	목업 시작품 구축 계획서 및 성능평가 실험계획서	구조성능실험 결과서
추진제어시스템 설계 사양서	인버터 제어기 및 섹션제어기 시작품	추진제어시스템 시험결과 보고서	추진제어시스템 시험결과 보고서	아진공 튜브 제작 거꾸집 시스템 설계	아진공 튜브 거꾸집 시스템 및 운용 절차서	아진공 튜브 시공 가이드라인
추진 및 섹션 제어기, 유도루프 안테나 설계도	유도루프 송수신 안테나 및 신호처리기 시작품	위치검지시스템 시험결과 보고서	위치검지시스템 시험결과 보고서		연결부 신축이음장치 시작품	실대형 아진공 튜브 목업 시작품 시험 시공
초전도 자기부상 설계모델	초전도 자기부상 레일 시작품	추진부상레일 성능평가 결과서	추진부상레일 성능평가 결과서		아진공 튜브 시공 절차서(안)	
자기부상용 경량화 주행체 상세 설계(안)	자기부상용 경량화 주행체 시작품	자기부상용 경량화 주행체 성능평가 결과서	자기부상용 경량화 주행체 성능평가 결과서			
핵심 기술	초고속 추진 및 부상 시스템 기술			아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술		

[그림] 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업 성과지표 체계도

제2절 단계별·연차별 성과목표 및 지표

□ 동 사업의 성공적인 추진을 위해 각 핵심기술별 성과 목표 및 지표를 설정

- (핵심기술1) 초고속 추진 및 부상 시스템 기술
 - (성과목표①) 모듈형 비유도 전자기 가이드웨이 구축 (300~350m)
 - (성과목표②) 추진·부상 검증용 초전도 주행체 및 추진 장치 개발
 - (성과목표③) 실주행 조건 에서 유도 반발식 자기 부상 구현
- (핵심기술2) 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술
 - (성과목표④) 콘크리트 재료 기밀성능 확보
 - (성과목표⑤) 아진공 튜브 최적설계기술 확보
 - (성과목표⑥) 폐단면 튜브 정밀시공기술 확보

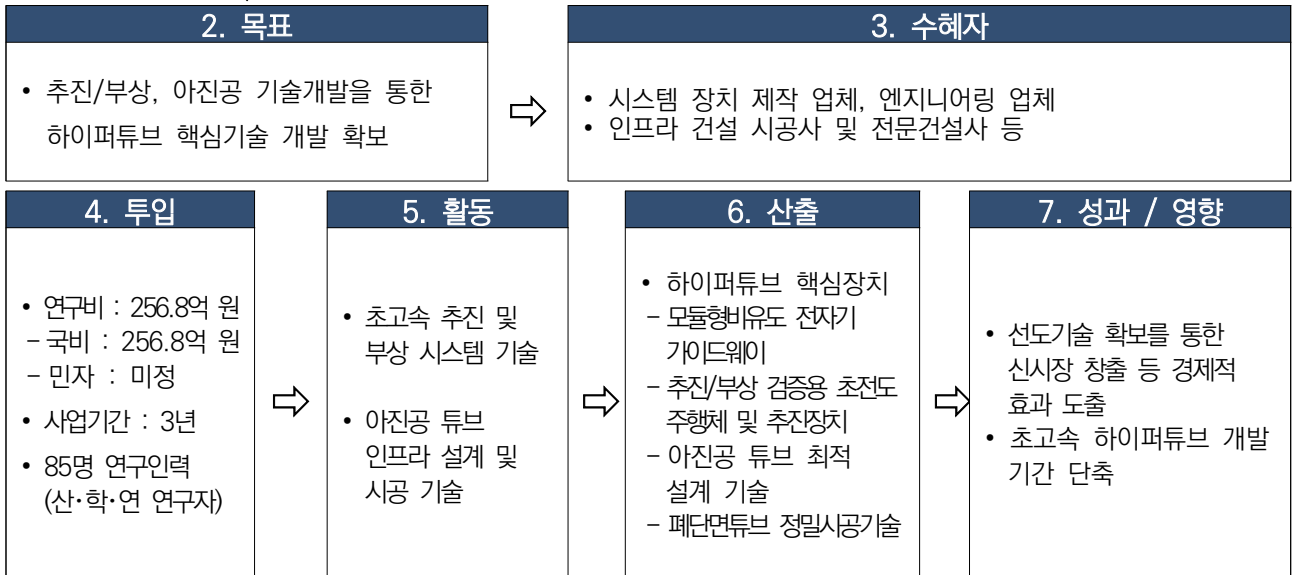
〈 성과목표 및 성과지표 〉

성과목표	가중치	성과지표명	목표치			측정방법/측정산식
			'25	'26	'27	
성과목표 ① 모듈형 비유도 전자기 가이드 웨이 구축 (300~350m)	0.15	가이드웨이 구축 공정율	0	20	100	(측정방법) 목표 대비 가이드웨이 구축 길이 측정 / 연차별 확인 (측정산식) =
		전자레일 최소 기자력	-	4 kAt 이상	-	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) (측정산식) = 전자레일 권선수(N) X 운전전류(A)
성과목표 ② 추진·부상 검증용 초전도 주행체 및 추진 장치 개발	0.20	초전도 전자석 최소 기자력	-	350k At 이상 (정적)	350k At 이상 (동적)	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) 확인 / 연차별 확인 (측정산식) = 초전도 전자석 코일 권선수(N) X 운전 전류(A)
		최대 가감속력	-	-	2.3 m/s ² 이상	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) 확인 / 연차별 확인 (측정산식) = 가속도계를 이용한 주행체 성능 확인
성과목표 ③ 실주행 조건 에서 유도 반발식 자기 부상 구현	0.15	주행체 자기부상공극	-	-	100 mm 이상	(측정방법) 성능평가성적서(공인증인) (측정산식) = 가이드웨이와 주행체 사이 거리 측정

성과목표	가중치	성과지표명	목표치			측정방법/측정산식
			'25	'26	'27	
성과목표 ④ 콘크리트 재료 기밀성능 확보	0.15	0.001→0.01 기압 유지 성능	-	유지 시간 60분 이상	-	(측정방법) 내경 1m 내외 축소형 시편 단위의 진공압 변화 측정 (측정산식) = 밀폐 시험체 내부의 0.001 → 0.01 기압 범위 유지시간 측정
		자가치유 가능 균열폭	-	0.2m m 균열 치유	-	(측정방법) 재료 시편 단위의 균열폭 대비 기밀유지 성능 측정 (측정산식) = 0.2 mm 이하 균열폭을 인위적으로 가한 시편 활용, 자가치유 발현 후 진 공압 투기시험에서 아진공 상태 유지시 간 측정
성과목표 ⑤ 아진공 튜브 최적설계기술 확보	0.15	하이퍼튜브 단면 기본설계	1	-	-	(측정방법) 전문설계사 및 외부전문가 검 토를 통한 적정성 평가 (측정산식) =
		하이퍼튜브 목업 상세설계	-	1	-	(측정방법) 전문설계사 및 외부전문가 검 토를 통한 적정성 평가 (측정산식) =
		하이퍼튜브 설계가이드라인	-	-	1	(측정방법) 외부전문가 평가를 통한 지침 의 구체성 및 충실도 평가 (측정산식) =
성과목표 ⑥ 폐단면 튜브 정밀시공기술 확보	0.20	신축이음장치 설계 및 제작	-	1	-	(측정방법) 전문설계사 및 외부전문가 검 토를 통한 적정성 평가 (측정산식) =
		하이퍼튜브 시공가이드라인	-	-	1	(측정방법) 외부전문가 평가를 통한 지침 의 구체성 및 충실도 평가 (측정산식) =
		실대형 목업 시스템 진공도 유지성능	-	-	유지 시간 60분 이상	(측정방법) 실대형 목업 현장계측 실험을 통한 시스템 성능 평가 (측정산식) = 실대형 목업의 0.001 → 0.01 기압 범위 유지시간 측정

이슈 / 문제

- **수도권 집중을 분산시키고, 비수도권과의 국토 균형 발전을 위해서는 거점 간 초고속으로 이동할 수 있는 교통수단 개발이 필요**
 - 전 세계적으로 메가시티화가 진행되고 있으며, 국내 또한 광역시를 중심으로 집중화되고 있는 추세
 - 대도시를 중심으로 광역화가 진행되는 미래 국토공간 구조 변화에 대응하기 위해 초광역 교통수단 도입 필요
 - 또한, 수도권 집중을 분산시키고, 비수도권과의 균형 발전을 위해서는 거점 간 초고속으로 이동할 수 있는 새로운 교통 수단 도입이 필요
 - **기존 중·장거리 교통수단의 한계를 극복하고, 거점 간 초고속 이동이 가능한 하이퍼튜브로의 전환 필요**
 - 기존 중·장거리 이동수단 중 철도의 경우 마찰력에 의한 최고속도 제한 및 속도에 비례한 공기저항 증가로 초고속 이동에 제한이 있음
 - 항공기의 경우 높은 탄소배출 및 빈번한 결항 등의 문제가 존재
 - 따라서, 기존 중·장거리 교통수단의 한계를 극복하고, 거점 간 초고속 이동이 가능한 초고속 하이퍼튜브로의 전환이 필요
 - **하이퍼튜브 도입의 불확실성을 해소하고, 향후 중합검증 및 실증을 위한 핵심기술 개발 추진 필요**
 - 새로운 교통수단 도입을 위해서는 핵심기술의 확보 및 실증이 필요하나, 현재로서는 하이퍼튜브 관련 핵심기술 부재
 - 따라서, 하이퍼튜브 구현을 위해 핵심적인 추진/부상, 아진공 기술개발 선행을 통해 기술개발의 불확실성을 해소하고, 향후 중합검증 및 실증을 위한 기반 확보 필요
 - **기존 바퀴식의 고속철도 시스템으로는 초고속화에 기술적인 한계 존재**
 - 바퀴식 고속철도의 경우, 활·레일 마모, 전차선 이선 문제, 기술적 제한이 있어 초고속 구현을 위해서는 바퀴식이 아닌 추진·부상 방식의 기술 적용 필요
 - 바퀴식이 아닌 이동수단인, 하이퍼루프를 데모한 '하이퍼루프원(미국)'의 선형유도모터 (LIM: Linear Induction Motor) 방식은 속도가 증가할수록 모터 효율이 저하되는 문제가 있어 고속에서도 효율이 저하되지 않는 기술적 해결 방안 마련 필요
 - **고속철도 등 기존 교통수단은 속도에 비례하여 공기 저항이 증가함에 따라 운영 가능한 한계 속도가 있으며, 공기저항 장애 요인을 해소하는 것이 고속화의 관건**
 - 차량 외형을 유선형 설계로 하더라도 개방형 트랙에서는 공기저항과 난류 발생을 감소시키는 데에 한계가 있음
 - 차량 하부의 복잡한 설비 구조는 항상 설계로는 공기저항 해소가 어려운 부분
- * 공기저항은 속도의 제곱(V²)에 비례하여 기하급수적으로 증가



- ## 8. 가정
- 중장거리 이동수요는 지속적으로 증가될 전망이며, 초고속 이동수단을 선호할 것임
 - * 기존 비행기 속도 대비 빠른 경우 운행정시성 및 안전성 때문에 비행기 수요도 대체할 것임
 - 최고속도 달성, 승객 안전성 확보, 인프라 경제성 등 기술 성능이 확보될 경우 실제 상용화 개발은 용이할 것임
 - 세계 최고/최초의 핵심기술 개발로 산출된 요소제품(부분제품)은 타 분야에서도 활용도와 파급효과가 클 것임
 - 기존 철도보다 시속이 크게 향상되고, 안전성과 합리적 요금만 설정된다면 전 세계적으로 기존 철도 및 항공이 새로운 시스템으로 점진적으로 교체될 것임

※ 참조 : 국가연구개발사업의 기획 및 사전평가에 유용한 논리모형, KISTEP, 2016

제3절 기대(파급)효과

1. 과학기술적 파급효과

□ 동 사업으로 인하여 하이퍼튜브 관련 기술의 기술수준이 선진국 수준에 도달할 것으로 기대

- 현재 우리나라 하이퍼튜브 기술 수준은 기술선도국 대비 평균 74.4% 수준이나, 동 사업의 추진을 통해 기술수준을 최고기술보유국의 85.0% 수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대
 - 초고속 추진 및 부상 시스템 기술의 경우 기술수준은 85.0%로 향상, 기술격차는 2.5년으로 축소
 - 아진공 차량 및 무선시스템 기술의 경우 기술수준은 85.5%로 향상, 기술격차는 1.9년으로 축소
 - 아진공 튜브 인프라 건설 및 안전기술의 경우 기술수준은 86.5%로 향상, 기술격차는 2.3년으로 축소
 - 하이퍼튜브 시스템 통합·운영 기술의 경우 기술수준은 81.6%로 향상, 기술격차는 2.4년으로 축소

□ 세계 최고의 하이퍼튜브 기술개발로 세계적 국가경쟁력 확보와 독자적인 기술적 동력 마련

- 세계 철도 관련산업에서 기술을 선도할 수 있는 하이퍼튜브 시스템의 전력설비 기술과 시스템 엔지니어링 기술을 독자적으로 확보하고 관련 산업에서 기술 경쟁력을 확보 가능
- 하이퍼튜브의 캡슐차량 개발에 필요한 기술체계 확보를 통해, 산·학·연 공동기술개발을 위한 유기적인 협동 연구체계를 구축하여 운행속도 1,200km급의 캡슐차량분야 핵심기술을 독자적으로 확보
- 국내 초고성능 콘크리트(UHPC) 기술을 기반으로 하이퍼튜브 인프라 구축을 위한 콘크리트 아진공 운송관 기술 확보함으로써 세계적인 기술 선도
- 대형 복합시스템의 엔지니어링 프로세스에 따른 요구사항 관리기술과 경험 확보로 신사업 창출과 관련된 엔지니어링 산업의 독자적인 기술개발 기반 구축 가능
- 독자적인 시스템 엔지니어링 관리 기법 적용으로 대외비 성격의 개념설계·기본설계 데이터 보호와 'First Mover'로서의 세계시장 진출 기반 확보
- 세계 최초 하이퍼튜브와 접근교통수단 간 연계교통 운영기술 실용화와 관련된 핵심 기술 확보

□ 항공, 통신, 전력 및 철도분야 기술의 융합으로 향후 새로운 융합시스템 개발에 필요한 기술적 자산 확보 기대

- **(교통분야)** 1200km/h급 초고속 캡슐 트레인이 개발될 경우, Door-to-Door 방식의 신개념 초고속 육상교통 시스템 관련 기술 발전 기대할 수 있으며, 중저속 자기부상열차의 추진장치로 멀티레벨 인버터 기반의 추진제어장치를 적용하는 경우 차량시스템 경량화 및 자기부상열차의 주행효율 향상 가능

- **(국방 및 항공 우주 분야)** 현재의 고체연료 분사 방식의 위성 발사체 기술을 초전도 자기부상에 의한 전자장 추진 방식으로 대체할 경우 위성체를 궤도로 보내기 위한 비용을 획기적으로 줄일 수 있으므로 항공우주 분야에 기술 파급 적용 가능
- **(산업 분야)** 고층건물에 자기부상 기술을 적용할 경우 소음 및 진동을 획기적으로 줄일 수 있는 3층 Multi-deck 엘리베이터 기술 개발에 적용 가능하며, 현재의 3D 프린터에 자기부상 기술을 적용할 경우 복잡한 3차원 형상물의 제작 가능하며 차세대 3D 프린터 기술 발전 기여
- **(기타 분야)** 하이퍼튜브 인프라 구축기술은 수중 터널, 장대교량, 장대터널, 초고층빌딩을 비롯한 방사광 가속기 인프라, 핵 저장 시설 등에 활용 가능
- 각 연구소의 최근 성공사례를 파악하여 본 사업 기술진의 역량으로 기술개발이 가능함을 제시

2. 경제사회적 파급효과

□ 초고속 중장거리 이동수단의 도입으로 인한 상당한 경제적 파급효과 기대

- 전 세계 100여 개국의 약 2,600개 후보 노선 고려 시 약 5경 90조 원의 잠재시장으로 10%의 사업수주를 가정했을 때 5,009조원의 경제적 가치* 창출가능
 - * 평균 노선길이 727km (HOGC semifinal list 37개 노선 평균), 사업비 265억/km 기준¹²⁴⁾
 - 스웨덴 스톡홀름과 핀란드 헬싱키 사이는 약 482km로 항공편 이용시 비행시간은 약 1시간이 소요되나, 초고속철도가 연결되면 약 28분만 소요
 - 절약된 통행시간은 연간 321백만 유로(약 4,136억 원)로, 1년에 4,300만 명의 승객을 수송해 10억 유로(약 1조 2,887억 원)의 수익 발생¹²⁵⁾
- 국내 과거 고속철도 개통 사례를 통해 국민경제에 미치는 철도의 영향이 매우 큰 것으로 확인
 - 호남 KTX 개통 후 광주송정역 주변(반경 500m 이내)에서 소비한 서울 거주자들의 카드 지출액은 71.7% 증가했으며, 서울 용산역 주변에서 소비한 광주 거주자들의 카드 지출액 43.2% 증가
 - 광주 거주자의 용산역 요식업 카드 지출 20.7% 증가, 숙박업 30.2% 감소
 - 서울 거주자의 송정역 요식업 카드 지출 16.0% 증가, 숙박업 8.7% 및 쇼핑 6.9% 증가¹²⁶⁾
- 기존 철도시스템과는 달리 초고속 운송시스템 핵심기술은 자동차, 항공 등 타 산업기술 파급효과가 상당히 클 것으로 예상
 - 하이퍼튜브 국내 도입에 따른 국가경제적 파급효과*로 생산유발효과 15조 7,226억 원, 부가가치 유발효과 11조 7,409억 원, 고용유발효과 157,167명으로 전망

124) 초고속미래교통시스템 연구개발, 한국철도기술연구원, 2018

125) 포스코 경영연구원(2016)

126) 호남KTX개통에 따른 국토공간 이용변화 연구, 국토연구원(2016)

- * 한국은행 산업연관표를 활용한 산업연관분석 기준으로 분석¹²⁷⁾
- * 서울~부산 간 하이퍼튜브 여객·화물 겸용 사업비 8조 5,595억 원 기준¹²⁸⁾
- 하이퍼튜브 국내 도입에 따른 화물수송업, 수송기계업 등 관련 산업에의 파급효과* 규모는 약 9조 8,444억 원으로 추정
- * 건설 10년 및 운영 10년 기준으로 분석

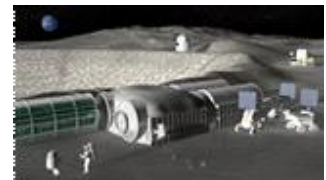
〈표 6-153〉 산업분야별 파급효과 규모

내용	규모	내용	규모
건설업 매출액 증가 효과	6조 8,041억 원	관광업 매출액 증가 효과	1조 7,404억 원
기후 변화로 인한 교통 피해액* 감소 효과 * 도로 및 철도 피해액, 항공기 이착륙 지연			446억 원

○ 하이퍼튜브의 관련 산업 비즈니스 모델은 다음과 같음


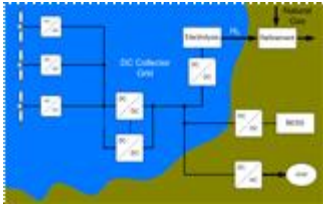

〈표 6-154〉 요소기술별 파급 가능한 비즈니스 모델

활용 분야	세부 서비스	주요서비스	내용
아음속 모바일 라우팅	아음속 이동체 환경극복형 모바일 라우팅 서비스	하이퍼튜브 탑승객의 스마트폰 서비스	하이퍼튜브 승객에 아음속 이동성에 강인한 Wi-Fi 서비스 제공
		하이퍼튜브 탑승객의 건강상태 실시간 모니터링 서비스	하이퍼튜브에 탑승하는 승객의 생체신호변화 실시간 모니터링 및 대응서비스
우주 건축물	우주 건축물 건설 재료 솔루션	기밀성 재료	진공으로부터 단절이 요구되는 외부 환경 조건을 개척하기 위한 새로운 건축 재료의 부재 문제 해소



127) KRRl(2018)

128) 유신(2016)

활용 분야	세부 서비스	주요서비스	내용	
지하 공간 활용	지하공간 효율적 활용 위한 미래형 고강도 밀폐 구조물 건설 기술	도시 혐오시설 지하화를 위한 밀폐 구조물 건설 기술로 활용	환경시설은 구조물의 기밀성이 중요하므로 하이퍼튜브용 고강도 기밀 구조물 건설 기술을 활용	
		도시 지하 교통 네트워크 건설 기술로 활용	도시 교통정체 문제 해결을 위해 지하공간을 활용한 교통 네트워크 구축 필요성 증대	
신재생 연계	대규모 신재생 연계 MV 배전망	수십 MW 이상의 신재생 에너지의 수송 및 전력망 연계 기술로 활용	MV-LV 전력변환시스템 기술, 대용량 ESS 설계 및 운영 기술, 시스템 EMS 기술을 활용	
	전력시스템 엔지니어링	MV 그리드 구성 및 보호 기술 엔지니어링에 활용	직류 보호 및 협조 운전시스템 기술, 계통 연계 운전 및 설비 구축기술 등에 활용	
실내 공기질	쾌적하고 건강한 생활을 위한 실내 공기질 관리 서비스	산소공급	실내 산소농도를 감지하여 실내에 산소가 부족하지 않도록 산소발생기에서 산소를 발생시켜 적정치 수준(18~23.5%)으로 실내에 산소를 공급	
		이산화탄소 저감	건강에 유해한 실내 이산화탄소 농도를 감지하여 이산화탄소 농도가 적정치 (1.5%) 이하로 유지되도록 동작	
		미세먼지 제거	최근 대두된 미세먼지를 적절한 필터와 공조설비를 이용하여 실내 공기 순환시 미세먼지 등 불순물 제거	
		최적 냉난방 공기순환	실내 전체를 대상으로 최적의 냉난방이 유지되도록 공조시설을 이용하여 지속적으로 공기순환	

○ 고속철도 개통 이후 지속적으로 증가하는 고속서비스 수혜지역의 요구해결을 위해 선로 추가 건설 외 초고속 철도시스템 건설 시 경제적 효율이 높은 것으로 분석

- 고속철도 개통 이후 지역 간 고속철도 서비스 수혜지역 확대 요구가 증대

· (선로용량 확충) 증가하는 고속철도 이용수요에도 불구하고, 평택~오송구간에 열차를 더 투입할 수 있는 용량이 부족에 대응하여 평택~오송 복선화 건설 추진

- (고속철도 수혜지역 확대) 인천, 수원, 경남지역(거제 등) 고속철도 수혜지역 확대 요구에 따라 호남고속선 2단계(광주송정~목포), 인천발·수원발 직결사업, 남부내륙 철도 건설사업 추진¹²⁹⁾
- 초고속 철도의 사업비는 기존 KTX보다 저렴한 것으로 여러 보고서에서 추정
 - 국내 서울~부산 직결노선(340km) 초고속 철도 사업비*는 KTX 사업비의 약 54% 수준¹³⁰⁾
 - * 사업비는 건설비, 시스템비 및 차량구입비 포함, 차량의 크기 및 중량이 비슷한 경전철 단위공사비 기준으로 검토, 서울과 부산 정차역 가정
 - 국내 서울~부산 경부선 구간(355.7km) 하이퍼루프 사업비는 KTX 사업비의 약 34% 수준¹³¹⁾
 - * 사업비는 건설비, 시스템비 및 차량구입비 포함, 엘런 머스크 하이퍼루프(여객 전용) 단가 적용, KTX와 동일한 정차역 가정

□ 동 사업을 통해 고부가가치와 신규 일자리 창출 효과가 높을 것으로 기대

- 산업연관표에서 제공하는 생산유발계수, 부가가치유발계수, 고용유발계수 등을 바탕으로 동 사업에서 기대되는 부가가치 및 일자리 효과를 산출

〈표 6-155〉 동사업에서 기대되는 부가가치 및 일자리 효과 산출

구 분	산업분류	생산유발계수	부가가치 유발계수	고용유발계수 (명/10억원)	취업유발계수 (명/10억원)
초고속 이동수단 하이퍼튜브 기술개발 사업	전기변환/ 공급제어장치	1.086	0.391	5.5	6.8
	철도차량	1.075	0.272	6.9	8.2
	교통시설 건설	1.000	0.402	8.3	10.7
	철도운송서비스	1.001	0.581	8.8	9.4
	유·무선 및 위성 통신서비스	1.048	0.484	5.6	7.3
	연구개발	1.007	0.623	9.1	10.1
	평균	1.04	0.46	7.37	8.75

출처 : 한국은행 경제통계시스템(ecos.bok.or.kr), 산업연관표(2019)

- (생산유발액) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간 동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 3,512억 원의 생산을 창출할 것으로 추정됨
 - * 3,512억 원(생산유발액) : 3,377억 원(총예산) × 1.04(생산유발계수)
- (부가가치유발액) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 1,553억 원의 부가가치를 창출할 것으로 추정됨
 - * 1,553억 원(부가가치유발액) : 3,377억 원(총예산) × 0.46(부가가치유발계수)

129) 국토교통부 정책마당, 정책리뷰, 철도정책, 고속철도 수혜지역 확대 (2019.8.25. 검색)

(http://molit.go.kr/USR/WPGE0201/m_36872/DTL.jsp)

130) 초고속미래교통시스템 연구개발, 한국철도기술연구원, 2018

131) 하이퍼루프의 가치공학적 이해, 유신기술회보, 2016

- (고용유발효과) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간 동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 2,488명의 일자리를 창출할 것으로 추정됨

* 2,488명(고용유발효과) : 3,377억 원(총예산) × 7.37(고용유발계수)/10

- (취업유발효과) 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업은 2025~2030년의 기간 동안 3,377억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 2,954명의 취업자를 창출할 것으로 추정됨

* 2,954명(취업유발효과) : 3,377억 원(총예산) × 8.75(취업유발계수)/10

□ 하이퍼튜브는 기존 고속철도 대비 통행시간이 80% 이상 절감될 것으로 기대

- 하이퍼튜브를 이용할 경우에 대한 평균 통행시간 절감 정도를 추정하기 위하여 기존 고속철도 통행시간과 하이퍼튜브 통행시간의 비교 분석을 통한 통행시간 절감효과를 추정
 - '20년 서울역-부산역 구간 거리 417.4km 대비 고속철도의 통행시간 2시간 20분 기준 1km당 통행시간은 평균 0.34분
 - '04년 KTX 개통 후, 10년간('04~'13) 총 이용객은 3억 9,505만 명, 총 수송 인·거리는 10,616억km로 1인당 평균 수송거리는 268.7km

〈표 6-156〉 KTX 여객 수송거리 및 인당 평균 수송거리

연도	여객수송 인원(명)	여객수송 인·거리(인·km)	인당 평균 수송거리(km/인)
2004	19,791,607	5,551,264,035	280.5
2005	32,103,698	8,862,141,427	276.0
2006	36,016,990	9,781,906,827	271.6
2007	36,709,393	9,854,372,695	268.4
2008	37,416,634	9,994,093,381	267.1
2009	36,822,668	9,759,284,552	265.0
2010	40,765,582	10,822,565,197	265.5
2011	49,646,269	13,374,958,301	269.4
2012	51,681,691	13,891,338,256	268.8
2013	54,099,719	14,271,948,782	263.8
합계	395,054,251	106,163,873,453	268.7

- '04년~'13년 국내 고속철도 이용객 1인당 평균 수송거리는 268.7km로 총 통행시간은 평균 91.4분으로 추정
- 하이퍼튜브 이용 시 서울역-부산역 구간의 통행시간이 25분으로 단축된다고 가정할 경우, 1인당 평균 수송거리인 268.7km에 대한 총 통행시간은 평균 16.1분으로 추정
- 268.7km에 대한 KTX와 하이퍼튜브의 통행시간 격차를 비교한 결과 하이퍼튜브 이용객 1인당 평균 75.3분의 통행시간 절감효과가 발생할 것으로 기대

제5장 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

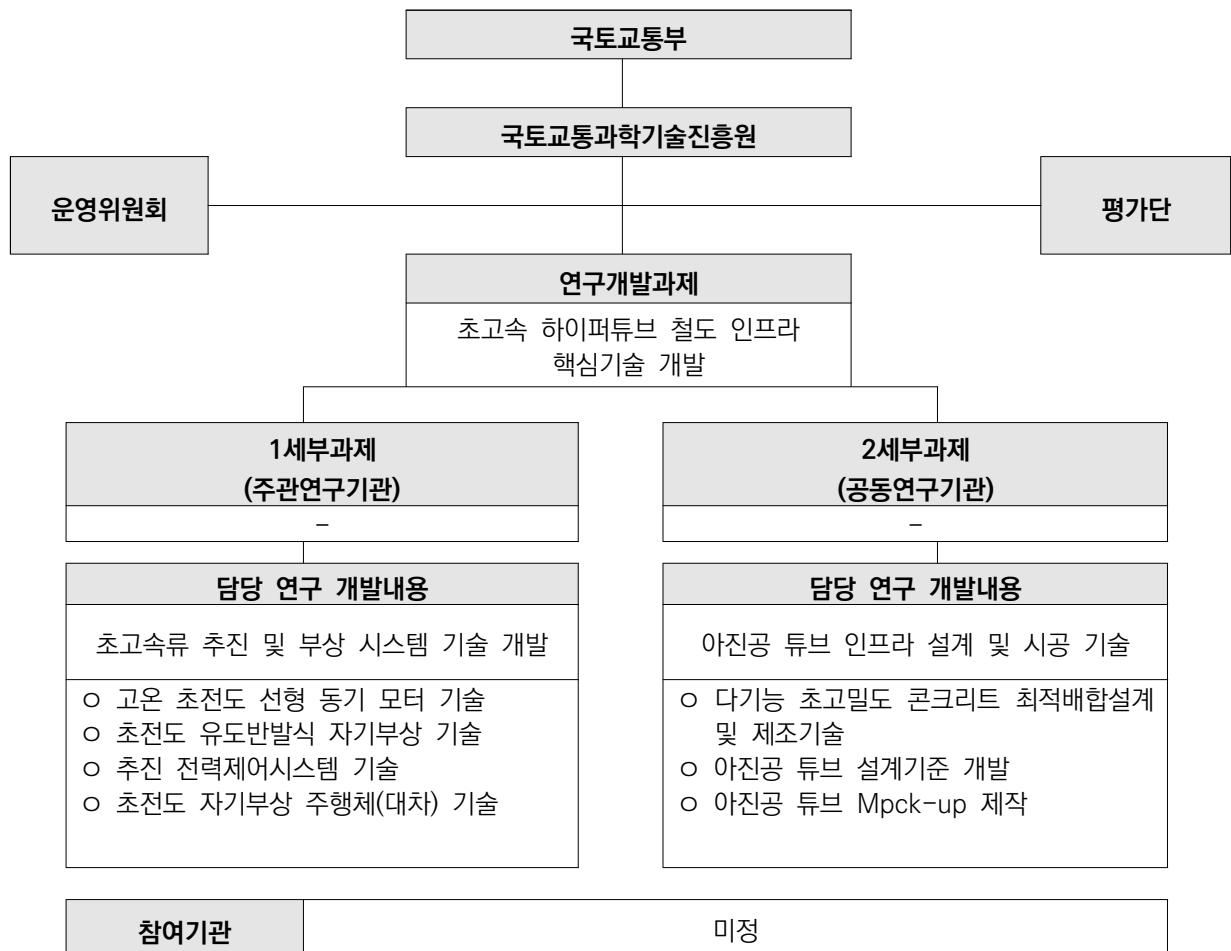
제1절 연구개발성과물 검증 및 관리 방안

1. 사업 추진체계 및 역할

□ 본 사업은 국토교통부 주관, 국토교통과학기술진흥원을 전담기관으로 사업의 효율적인 운영·관리와 성과 실용화 제고를 마련

○ 본 사업을 수행하는 주관연구기관 및 공동연구기관으로 구성된 과제로 추진

○ 예산은 총 257.7억 원(국고 257.7억 원, 민자 : 미정, 민자 비율은 25%)

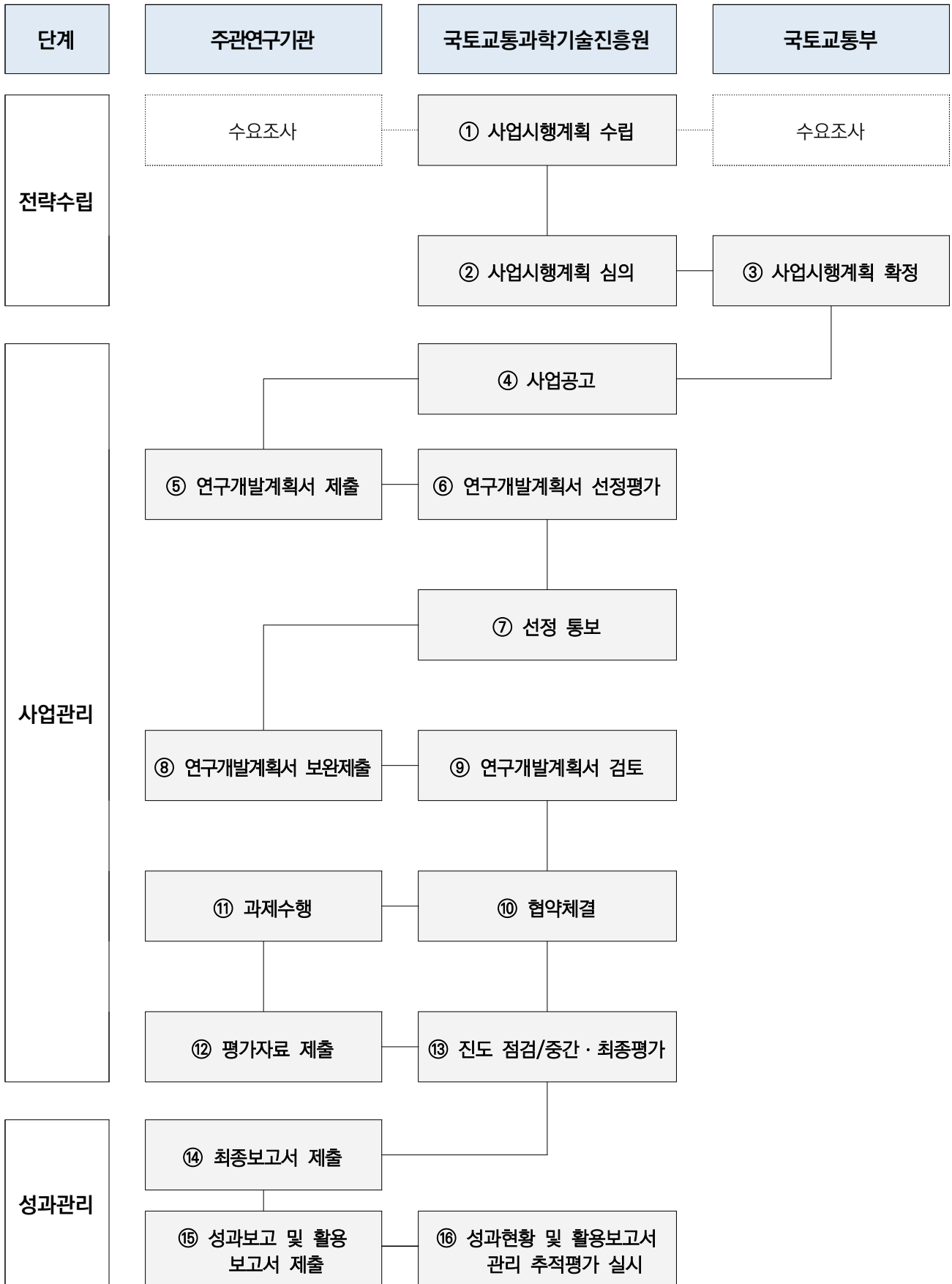


[그림] 사업 추진 체계도

- (국토교통부) 사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업 기본 시행계획 수립, 개발기술의 현장도입·적용을 위한 제도 개선 등 부처간 협의 수행
- (국토교통과학기술진흥원) 사업추진 전담 관리기관으로 사업기획·평가·운영위원회를 구성·운영하고, 주관연구기관/세부과제 선정·평가(단계), 진도 점검 및 성과확산 지원 등을 수행
- (운영위원회) 사업 세부 시행계획, 주요 변경 내용, 지원 우선순위 등 국토교통부 및 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정 수행
- (평가단) 이해관계인을 제외한 전문가 중심으로 구성하여 해당 연구개발과제에 대한 객관적 평가를 수행
- (주관연구기관) 사업수행을 총괄하는 주체로서 세부 과제 기획·연차평가, 진도관리 및 과제 간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행
- (공동연구기관) 연구개발과제 내에서 주관연구기관 외 세부 과제를 담당하는 기관으로 연구개발과제 목표 달성을 위한 기술개발을 함께 수행

3. 사업관리 체계 및 프로세스

- **본 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 주관연구기관을 중심으로 ‘전략수립→사업관리→성과관리’ 3단계의 사업관리 체계를 구축하여 운영**
- (전략수립) 선행과제와의 중복성 및 차별성 검토를 강화하고 유사 과제와의 구체적인 연계·활용방안을 계획함으로써 과제 추진의 목적 지향성을 확보
- (사업관리) 성과창출 및 활용을 장려하기 위해 주기적인 성과 조사·관리 및 평가와 연동한 과제 진도수행 점검으로 연구성과의 효과성을 강화
- (성과관리) 연구수행 과정을 평가 결과에 반영하고, 단계(연차) 및 최종평가위원회를 구성·운영하여 평가의 내실화와 평가 결과 환류체계 등 평가의 실효성 강화



□ 사업기획부터 공고선정 및 연구수행, 사후관리까지 세부 프로세스 및 수행 주체별 명확한 역할 분담을 통한 R&D 전 주기적 관리 프로세스 확립



4. 단계별 평가·관리 절차 및 기준

□ 선정평가

- 전문기관인 국토교통과학기술진흥원이 과제 공고에서 최종선정 및 협약까지 전반적인 주관연구기관 선정 업무를 수행
 - 세부 과제 선정 시에는 주관연구기관 연구책임자와 협의하여 공모하고, 세부 과제 공모 내용 중에는 과제 운영에 필요한 사항이 포함되도록 공고

주요 절차	내 용
신청서류 접수 (전문기관) ↓	⇒ 연구개발계획서 등 신청서류 접수
선정평가 계획수립 (전문기관) ↓	⇒ 선정평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
사전검토 (전문기관) ↓	⇒ 과제담당자 사전검토 - 신청서류 적합성, RFP 부합 여부, 중복성 조사내용 등
연구과제 평가단 구성 (전문기관) ↓	⇒ 전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
선정평가 실시 (연구과제 평가단) ↓	⇒ 서면평가, 온라인평가, 발표평가, 현장평가 중 하나 이상의 방법 고가(3천만원 이상) 연구장비 심의
평가결과 보고 및 통보 (전문기관) ↓	⇒ 선정평가 결과 국토부 보고 평가결과 신청기관 통보 및 협약체결 안내
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	⇒ 선정기관은 평가위원 의견을 반영 조치 협약체결

- (사전검토) 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
- (평가방법) 서면평가, 온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
- (평가항목 및 배점) 개별 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음
- (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라, 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정
- (평가결과의 조치) 선정평가 결과를 국토교통부 장관에게 보고하고, 평가위원의 명단 및 종합 의견 등 평가결과를 신청기관에 통보 후 연구과제 평가단 의견 등을 반영 및 보완하여 협약 추진

□ 상시 모니터링 및 마일스톤 점검

- 본 사업은 국토교통과학기술진흥원의 사업실, 주관연구기관 등을 통해 사업수행과정을 정기적으로 모니터링함으로써 사업 실패 확률을 최소화하여 운영
- 세부 과제별 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 연구 진척도 및 목표달성도에 대한 진도관리와 연구성과를 모니터링하고 이를 평가와 연계
 - 과제 진척도와 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템(R&D 사업관리시스템, <https://rnd.kaia.re.kr>)을 운영

□ 중간평가

- 중간(연차, 단계)평가는 연구목표 달성도와 차년도(다음단계) 연구계획 적절성을 중심으로 평가
 - 주관연구기관 및 세부 과제 수행기관은 연차실적·계획서를 해당연도 연구개발 종료 1개월 전까지 전문기관에 제출토록 하고, 전문기관은 이를 평가하여 차년도 연구지원 여부 및 지원연구비를 확정
 - 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고, 과제 진척도 및 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템 구축, 운영

주요 절차	내 용
연차(단계)평가 계획수립 (전문기관)	연차(단계)평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
↓	
연차(단계)평가 자료 제출	연차(단계)실적계획서, 성과점검기준표 증빙서류 등 평가자료 제출
↓	
사전검토	과제담당자 사전검토 <ul style="list-style-type: none"> - 연구성과 질적·양적 달성도 - 연구계획 변경 내용 - 실용화 점검 결과 반영 내용 - 연구비 집행실적 및 이월신청 등
↓	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 <ul style="list-style-type: none"> - 이해관계인 제척
↓	
연차(단계)평가 실시 (전문기관)	해당 연도(단계) 실적평가 및 다음 연차(단계) 계획 검토 <ul style="list-style-type: none"> * 대면(발표)평가, 현장평가 등 적합한 평가방법 선택
↓	
연차(단계)평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	연차(단계)평가결과 국토부 보고 연차(단계)평가결과 주관기관 통보 및 협약체결 안내
↓	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	연차(단계)평가결과를 반영하여 차년도 협약체결

- (사전검토) 주관연구기관이 제출한 연차실적·계획서, 성과점검 기준표 등을 전담기관 담당자가 사전검토하고, 검토 내역을 평가단에 제공 가능
- (평가방법) 세부과제 단위로 평가하고 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
- (평가항목 및 배점) 연차(단계) 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음
 - (기본방향) 원칙적으로 정성평가를 실시하되 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량 평가 실시 가능
 - (실적) 당해연차(단계)의 핵심성과 중심의 질적 달성 수준을 중심으로 점수 평가 실시
 - (계획) 최종목표 달성을 위해 수립된 다음 연차(단계) 연구계획의 적정성에 대한 연구과제 평가단의 검토를 통해 “일부보완” 또는 “전면수정” 판정
- (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 연구과제 평가단 평가점수(90%) 및 진도관리 평가결과(10%)를 기준으로 종합평가점수를 정하되, 진도관리평가 생략시 평가단 결과만으로 종합평가점수를 정함
- (평가결과의 조치) 실적 종합평가점수에 따라 과제의 ‘계속지원’(60점 이상) 또는 ‘지원중단’(60점 미만)으로 판정하고, 실적 종합평가점수에 따라 평가단위 과제의 연구수당 지급기준을 차등 적용
 - ‘계속지원’ 대상과제는 평가결과 및 종합의견을 통보하고, 보완대비표 및 연차(단계) 실적·계획서 등을 수정·보완 요청

□ 최종평가

- 최종평가는 연구목표 달성도와 연구결과의 우수성을 중심으로 평가하며, 평가지표를 산출/결과지표 위주로 설계하여 평가를 진행
 - (연구목표 달성도) 사업 특성을 평가하는 지표와 각 세부과제별 연구목표 달성도를 평가하는 지표를 설계
 - (연구결과 우수성) 과학적 성과와 사회경제적 성과를 중심으로 파악하여, 초고속 하이퍼 튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업의 목적 달성을 통한 사회경제적 기여도를 평가

〈표〉 최종평가 중점항목 및 평가지표(예시)

평가항목	세부평가항목		가중치
연구목표 달성도	공통	연구목표 달성도	40
		국가 건설기준 반영	
		기술별 가이드라인	
		신기술 인증	
		건설정보 표준	
	개별지표	개별지표 1	10
개별지표 2			
개별지표 3			
연구결과의 우수성	과학적 성과	논문	25
		특허	
		기술수준	
		기술 파급효과	
	사회경제적 성과	건설 비용절감 효과	25
		기술이전	
		매출액 유발효과	

주요 절차	내 용
최종평가 자료 제출 (주관연구기관) ↓	최종보고서, 성과점검기준표, 자체평가보고서, 연구개발 결과 활용계획서(SMK 포함) 등 평가자료 제출
최종평가 계획수립 (전문기관) ↓	최종평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
사전검토 (전문기관) ↓	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 당초 연구개발계획 대비 수행 여부 - 연구성과 활용계획의 적정성 등
연구과제 평가단 구성 (전문기관) ↓	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
최종평가 실시 (연구과제 평가단) ↓	연구개발 목표 달성 여부, 연구성과 우수성 등에 대한 평가
최종평가 결과 보고 및 통보 (전문기관) ↓	최종평가 결과 국토부 보고 최종평가 결과 주관기관 통보 및 보완 요청
최종보고서 발간·배포 (주관연구기관)	최종보고서 보완본 필수 배포처 배포

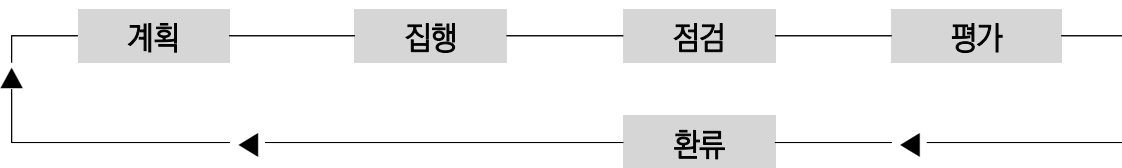
- 최종평가결과 종합평가점수에 따라 과제의 ‘성공’(60점 이상) 또는 ‘실패’(60점 미만) 판정
 - ‘실패’로 판정받은 과제는 연구개발과제 수행실태 등 점검을 통해 성실수행 여부를 확인하고, 그 결과에 따라 참여제한 등 조치
- 최종평가 후 연구개발결과의 활용 촉진을 위해 연구종료 3년 이내에 연구개발결과의 활용을 위한 추적평가를 실시 가능

5. 성과관리계획

□ 사업 성과관리 기본구조

- 정부업무평가 기본법은 성과관리를 “정부업무를 추진함에 있어 기관의 임무, 중장기 목표, 연도별 목표 및 성과지표를 수립하고 그 집행과정 및 결과를 경제성, 능률성, 효과성의 관점에서 관리하는 일련의 활동을 의미한다”고 정의
 - 정부사업의 성과관리 기본구조에 따라 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업의 성과관리도 계획 → 집행 → 점검 → 평가 → 환류의 기본구조로 이루어짐

[그림] 성과관리의 기본구조



□ 성과관리 계획 수립 및 연구성과 활용 보고

- 본 사업은 개발된 기술의 테스트베드 적용단계에서 성과가 도출되기 때문에 ‘정부업무평가 기본법’의 기본 철학에 기반하여 성과관리 계획을 도출
 - 국토교통부는 매년 자체적으로 성과계획을 수립하고, 매년 당해 연도 협약종료 1개월 전에 중간(연차) 보고서, 주관기관 자체평가 의견서, 세부과제별 연구개발 결과 활용계획서(최종연차시)를 제출받음
 - 세부 과제별로 연구성과 활용유형 및 성과지표를 설정하여 체계적으로 관리
- 세부과제 수행기관은 연구개발성과 활용보고서를 연구종료 후 다음 연도부터 최장 5년간 매년 전문기관에 제출

□ 성과분석

- 성과관리의 주체는 전문기관인 국토교통과학기술진흥원으로 하되, 성과분석기관은 별도로 선정하여 운영
 - 성과분석기관은 주관연구기관 및 세부과제 수행기관으로부터 성과자료를 제출받아 확인, 취합하여 성과자료 D/B를 구축하고, 이를 활용하여 성과검증 및 분석 수행
 - 국토교통과학기술진흥원은 성과분석 결과를 확정하고, 중간 및 최종평가에 이를 활용함으로써 지원유지 여부 결정이나 예산조정 반영 등 사업운영에 피드백

□ 추적평가

- 성과의 활용 및 확산을 위하여 과제 종료 후 5년간 발생 성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행
 - (체계 및 담당기관) R&D 전문기관의 성과활용조사·평가 전문가가 추적(성과)평가 실무를 담당하고, 주관연구기관 및 세부과제 수행기관과 유기적으로 협력하여 평가 시행

6. 성과 활용·확산 방안

□ 연구성과 활용체계

- 동 사업의 연구성과 활용은 정부의 「연구성과 관리·활용 기본계획」의 정책기조에 부합토록 활용체계를 운영
 - 연구성과의 기술성과 시장성·사업성 간의 간극을 간소화하고, 성과활용 중심의 연구개발 혁신과 유기적 협력체제 구축을 통해 일자리 창출 및 경제 활성화 견인
- 성과계획-성과관리-성과평가-활용지원-성과활용 등 기획부터 연구성과 활용까지 연구 전주기적으로 연구성과 활용체계를 구축·운영
 - (성과계획) 사업기획 시 부터 기술개발과제의 최종성과물을 제시하고 연구책임자는 구체적인 성과 지표·목표, 성과도출 마일스톤, 성과활용방안 등을 연구개발계획에 제시하여 연구수행 및 성과를 도출하며, 중간(단계)평가 결과를 반영하여 필요한 경우 성과계획을 수정 보완 실시
 - (성과관리) 사업단은 사업기획 시 제시한 사업관리방안에 따라 세부과제별 연구성과 도출 및 진척도 등을 모니터링하고, 진도점검을 실시
 - (성과평가) 부처별 전문기관은 사업단과 협의하여 단계 평가를 통해 성과목표 달성 등 연구목표 달성도와 연구계획을 평가하고, 연구종료 시에는 최종 성과목표 달성 여부를 평가
 - (성과활용 지원) 부처별 전문기관은 연구성과의 활용촉진 및 확산을 위해 인프라 지원(기술가치 평가, 금융연계 지원), 기술사업화 및 기술이전 컨설팅, 시장지출 지원(기술설명회, 공공구매협의체 등) 등 성과활용 지원체계를 운영
 - (성과활용) 대학, 연구소, 기업 등 연구에 참여한 기관들은 연구성과를 활용하여 현장적용, 기술사업화 달성, 정책·제도 반영, 지식재산권 확보 등 실시
- 과기부/국토부와 사업단은 매년 연구성과 조사분석·평가를 통해 연구성과 활용체계 운영을 점검하고, 부처별 전문기관은 성과관리 및 평가 개선, 활용지원 체계 확대 등 연구성과 활용체계를 개선하여 성과활용을 촉진

제2절 연구개발성과물 활용 방안

□ 성과활용 계획

- 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업의 수혜자에 따른 성과활용 계획 수립
 - 인프라 건설 시공사 및 전문건설사 등이 직접적인 1차 수혜자에 해당

〈표 7-7〉 성과 활용계획

수혜자	활용분야	세부 활용계획
인프라 건설 시공사 및 전문건설사 기업	하이퍼튜브 인프라 건설 시장	<ul style="list-style-type: none"> • 고가의 강재 튜브를 대체하여 콘크리트 튜브에 적용 • 튜브 인프라의 재료·설계·시공·장비·유지관리 분야의 민간기업 기술이전을 통한 상용화 및 글로벌 시장 동반 진출 • 국제적인 하이퍼튜브 표준화 및 가이드라인 작성 주도로 글로벌 리더 지위 확보

- 국토교통부는 ‘국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구’와 ‘20대 유망기술(20-Wonder 프로젝트)’를 통해 하이퍼튜브 관련 기술확보를 위한 중장기 정책 방향을 제시하였으며, 본 사업을 통한 핵심기술이 가시화될 경우 운영로드맵과 시나리오에 따라 단계적인 시범노선 구축을 정책에 반영하면서 추진할 예정
 - ※ 국토교통부의 경우 성과 활용에 대한 계획을 마련하면 반드시 실증을 수행해야 하기 때문에 하이퍼튜브 관련 기술이 어느정도 확립되기 전까지는 구체적인 성과 활용계획을 마련할 수 없다는 한계가 존재
- (국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구) 국토교통의 2050 미래모습과 이에 대응하기 위한 미래기술로 ‘초연결 초고속 철도시스템(하이퍼튜브)’를 제시
- (20대 유망기술(20-Wonder 프로젝트)) 국토교통 기술의 미래 지향점 도출을 위해 선정한 20대 유망 기술 중 교통분야에 ‘초연결 초고속 철도시스템(하이퍼튜브)’가 포함

전략프로젝트		프로젝트 정의
1	완전 자율협력주행	■ 레벨 5단계의 자율주행차 사용화 및 관련 인프라 구축
2	도로인프라 스마트유지관리	■ ICT 기술과 융합한 선제적 유지관리체계 구축을 통한 국민안전 확보 및 도로인프라 장수 명화
3	미래형 교통관리 시스템(FTMS)	■ 디지털트윈, AI 등에 기반하여 모든 이동체에 대한 완전한 재현·관제를 통한 교통관리
4	스마트 Mobility 서비스(MaaS*)	■ 다양한 모빌리티 서비스의 효율적 운영·제공을 위한 플랫폼, 환승인프라 기술개발
5	고부가가치 융복합 생활물류 혁신기술	■ 빅데이터 등 기술을 현장 (배송/인프라 등)에 융복합하여 자동화, 안전성 강화 등 고부가가치 창출
6	초연결 초고속 철도시스템	■ 최고 시속 1,200km로 아진공 튜브를 주행하는 철도시스템 개발
7	데이터기반 철도안전관리	■ 인력 및 경험 위주의 현행 철도안전관리를 대상으로 스마트기술을 활용한 철도안전관리 기술
8	PAV Flying Car Air Taxi	■ 도심 공중교통수단 활성화를 위해 기체·운항·정비등 관련 인증제도 고도화를 통한 운용 기반 구축 및 단계적 확장
9	스마트공항 4.0	■ ICT 기술을 통해 보다 편리하고 안전하고 효율적인 스마트공항 체계 구축
10	미래비행체(PAV) 부품개발 및 인증	■ 미래비행체 소재·부품·장비 및 후속 정비산업 연계 육성을 위한 기술개발

□ 연구성과 확산 방안

○ (확산체계) '제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획'에 따라 연구개발사업과 철도산업의 실용화 및 연결고리가 강화될 수 있도록 **사업화-후속지원-연계홍보**의 연구성과 확산체계를 구축하여 운영

사업화	후속지원	연계·홍보
<ul style="list-style-type: none"> 연구성과가 시장에 진입하여 새로운 산업으로 연결될 수 있도록 사업화 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 신기술 인증을 위한 개발 기술의 검증을 지원하고, 금융 등 후속 지원 프로그램과 연계 	<ul style="list-style-type: none"> 기술이전, 홍보기회 제공 등 기술 보유자와 수요처와의 미스매칭 해소를 지원

○ (사업화·후속지원 사업 연계) 기존의 기술사업화지원사업 및 연구성과활용지원사업과의 연계 등을 통해 연구성과 확산을 극대화

국토교통 기술사업화 지원사업	국토교통 연구성과활용 지원사업
<ul style="list-style-type: none"> 공공기관 보유기술의 중소기업 이전 및 기술사업화 촉진 중소기업 철도기술의 사업화를 위해 필요한 추가기술 개발 교통시설물 등 국토교통 안전분야 요소기술에 대한 사업화를 위한 후속연구 지원 ICT 기술 접목 등 기술융합을 통한 사업화 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 국토교통 분야 기술 신뢰성 검증을 위한 기술시험 및 기술가치평가 지원 국토교통 연구성과의 시장진출을 위한 홍보 마케팅, 공공기술 이전, 중소기업 투자유치 지원 등

하이퍼튜브 기술 연계활용	<ul style="list-style-type: none"> 단위(요소)기술, 통합 실용화기술 등에 대한 사업화 지원 확산 연계 하이퍼튜브 추진 기술, 아진공 무선 통신기술 등에 대한 신기술 인증 및 기술가치평가 지원 연계 기존 교통시스템 개선 및 신규 교통시스템 구축 등의 인프라 사업과 연계
------------------------------	--

○ 동 사업 통해 목표 수준을 달성한 하이퍼튜브 주요 핵심기술(제품)을 타 산업 분야에 연계·활용하여 관련 시장의 기술선도 및 제품의 성능개선에 기여

제품명 (부분품) / 기술명	설명	현재 최고수준		목표 수준	동 사업 분야 관련 파급효과		타 산업 분야 관련 파급효과	
		보유국/ 기업명	수준		대상시장	효과 내용	대상시장	효과 내용
콘크리트 아진공 튜브 기술	- 진공 기밀성능 및 초고속(1,200km/h) 대역의 주행 안전성을 확보하는 콘크리트 튜브 재료·설계·제작 기술	미국/ Virgin Hyperloop 대한민국/ 건설연	- 내경 3.3m 강재튜브 설계 - 1/1,000 기압급 30분 이상 유지 가능한 콘크리트 재료 기술 - 내경 4.0m 콘크리트 아진공 튜브 기본설계	- 차량 하중, 주행 충격 하중에 대한 주행안전성 확보 - 1/1,000기압 수준 아진공 주행환경 2시간 이상 유지 가능한 튜브 인프라 구현	- 하이퍼루프 튜브 인프라 건설 시장	- 고가의 강재 튜브를 대체하여 콘크리트 튜브 적용으로 40% 이상 경제성 확보 - 하이퍼루프 튜브 인프라 기술 분야의 글로벌 선도 - 튜브 인프라의 재료 ·설계·시공·장비·유지 관리 분야의 민간기업 기술이전을 통한 상용화 및 글로벌 시장 동반 진출 - 국제적인 하이퍼루프 표준화 및 가이드라인 작성 주도로 글로벌 리더 지위 확보	- 수밀 및 밀폐 구조물 시장 (침매 터널, 대형 관로 구조물, 도시 협오시설 지하화 밀폐 구조물, 원전 차폐 구조물 등)	- 고강도·고내구성 재료와 품질 관리 고도화로 건설 유지 관리 비용 20% 절감 예상 - 도시 협오시설(환경시설 등) 지하화, 도시 지하·해저 교통 네트워크 건설 완전 체제 구축을 위한 신 건설재료 및 시공 솔루션 제공 가능
선형모터용 초전도 전자석	- 차량의 추진· 부상력을 만들기 위해 초전도체로 만든 전자석	일본/ 미쓰비시	- 기자력 : 750kAt - 운전온도 : 4 K 이하	- 기자력 : 600kAt - 운전온도 : 40 K 이하				- 초전도 자기부상을 이용한 추진 방식으로 위성체를 궤도로 보내기 위한 비용을 획기적으로 절감 가능
선형 전자기 추진기술	- 전자기장을 이용하여 직선방향의 추진력을 만드는 기술	일본/ JR-Central	- 인버터 출력성능 : 20kV, 1200A - 급전구분 개폐 전환 주기 : 10s이하 - 위치검지 시스템 정밀도 : ±4% 이하 x 극피치 @ 600km/h	- 인버터 출력성능 : 20kV, 1500A - 급전구분 개폐 전환 주기 : 2s이하 - 위치검지 시스템 정밀도 : ±4% 이하 x 극피치 @ 600km/h	- 하이퍼루프 튜브 추진 시스템 시장	- 궤도와 차량 사이 공극을 50m 이상 확보할 수 있기 때문에 궤도 시공 정밀도 완화에 따른 궤도 건설비 저감효과 기대	- 국방 및 항공 우주분야 관련 시장 - 전자기 방식의 항공기 이륙 보조 장치 시장	- 항공기 이륙 시 필요한 연료 소모 5% 이상 저감 - 항공모함의 전자기식 캐터펄트(현재기 이륙 보조 사출 장치), 전자기 추진 방식의 차세대 위성 발사체 전기 항공기용 초전도 추진시스템, 선박용 초전도 전기추진 시스템 등에 활용 가능

- 성과 확산을 위해 기술 수요처를 대상으로 기술 마케팅을 적극 실시하고, 다양한 홍보채널을 통해 대국민 R&D 홍보를 강화


구분		내용
기술 마케팅	사업화 연계실적 조사·검증	<ul style="list-style-type: none"> • 성과 집중조사기간 운영, 연구자 대상 성과관리 교육 • NTIS 연계한 성과검증 및 사업평가 연계 등 추진
	연구기관 컨설팅 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 기술료 설명회, 중소기업 기술료 상담 등 실시 • 실시계약 미체결 기업 집중 조사 및 실시계약 컨설팅 지원 • 기술료 확대를 위한 부처 훈련 및 매뉴얼 운영
	국내외 시장진출 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 기술소개자료 제작·발주처 배포, 공공구매협의회 기술설명회 개최 • 발주기관 대상 기술설명회 개최 • 해외 기업 대상 연구성과·신기술 홍보활동 추진(해외기술로드쇼 등)
홍보	기사·언론 홍보	<ul style="list-style-type: none"> • 기관장 활동, 기획기사 등 전략적 기획보도 추진(연중) • 기자간담회·TV방송 등 언론사 홍보

- (연구성과 공유) 사업성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영
 - (성과사업화 정보시스템 운영) 과제별 연구성과, 기술소개 홍보자료(SMK) 등 사업화 정보 및 성과정보 등을 총체적으로 수집하여 제시
 - 초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술 개발사업을 위한 별도의 홈페이지 구축

제3절 과제제안요구서(RFP)

연구개발과제명	초고속 하이퍼튜브 철도 인프라 핵심기술개발							
1. 연구개발목표								
<ul style="list-style-type: none"> ○ 추진/부상, 아진공 기술개발을 통한 하이퍼튜브 핵심기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 하이퍼튜브 기술의 타당성 입증 및 실용화 모델 설계를 위한 단거리 추진·자기부상 성능검증 - 하이퍼튜브 시스템 튜브 인프라의 1/1,000 기입급 아진공 환경 1시간 이상 유지가능한 재료, 설계, 시공 패키지 기술 확보 								
2. 연구개발 필요성 및 기술동향								
□ 연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 바퀴식의 고속철도 시스템으로는 초고속화에 기술적인 한계 존재 <ul style="list-style-type: none"> - 바퀴식 고속철도의 경우, 휠-레일 마모, 전차선 이선 문제, 기술적 제한이 있어 초고속 구현을 위해서는 바퀴식이 아닌 추진·부상 방식의 기술 적용 필요 - 바퀴식이 아닌 이동수단인, 하이퍼루프를 데모한 ‘하이퍼루프원(미국)’의 선형유도모터 (LIM: Linear Induction Motor) 방식은 속도가 증가할수록 모터 효율이 저하되는 문제가 있어 고속에서도 효율이 저하되지 않는 기술적 해결 방안 마련 필요 ○ 고속철도 등 기존 교통수단은 속도에 비례하여 공기 저항이 증가*함에 따라 운영가능한 한계 속도가 있으며, 공기저항 장애 요인을 해소하는 것이 고속화의 관건 <ul style="list-style-type: none"> - 차량 외형을 유선형 설계로 하더라도 개방형 트랙에서는 공기저항과 난류 발생을 감소시키는 데에 한계가 있음 - 차량 하부의 복잡한 설비 구조는 형상 설계로는 공기저항 해소가 어려운 부분 <ul style="list-style-type: none"> * 공기저항은 속도의 제곱(V²)에 비례하여 기하급수적으로 증가 							
□ 기술동향	<p><국내기술동향></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 다양한 과제를 통해 하이퍼튜브 관련 추진·부상·제어, 인프라 등 관련 요소기술 개발에 성공 <p style="text-align: center;">(표) 기술성공 사례를 통한 하이퍼튜브 기반 기술</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">구분</th> <th style="width: 40%;">기술성공 사례</th> <th style="width: 45%;">내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">추진/부상/제어</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 냉동기 분리 방식의 고온 초전도 전자석 기술 구현 (과제명 : 축소형 초전도 선형 추진 시스템 기술 개발) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> - 추진 제어 및 단거리 시험선에서 주행 시험 성공(0.2G, 50 km/h) - 2021년 과기부 우수성과 100선 선정 </td> </tr> </tbody> </table>		구분	기술성공 사례	내용	추진/부상/제어	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 냉동기 분리 방식의 고온 초전도 전자석 기술 구현 (과제명 : 축소형 초전도 선형 추진 시스템 기술 개발) 	<ul style="list-style-type: none"> - 추진 제어 및 단거리 시험선에서 주행 시험 성공(0.2G, 50 km/h) - 2021년 과기부 우수성과 100선 선정
구분	기술성공 사례	내용						
추진/부상/제어	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 냉동기 분리 방식의 고온 초전도 전자석 기술 구현 (과제명 : 축소형 초전도 선형 추진 시스템 기술 개발) 	<ul style="list-style-type: none"> - 추진 제어 및 단거리 시험선에서 주행 시험 성공(0.2G, 50 km/h) - 2021년 과기부 우수성과 100선 선정 						

구분	기술성공 사례	내용						
		 <p><초전도 전자석 시작 풀> <초전도 선형 추진 시험></p>						
	<ul style="list-style-type: none"> • 선형 동기모터(LSM) 추진 방식의 차부상 실험 차량 개발 (과제명 : 550 km/h급 초고속자기부상철도 선형 추진 기술 개발) 	<p>- 추진전력 제어 시스템(3MVA) 및 단거리 시험선 구축</p>  <p><LSM 추진 차량 사진> <추진전력제어시스템></p>						
	<ul style="list-style-type: none"> • 능동 및 반능동 현가장치 개발 (과제명 : 철도차량용 능동 현가장치 기술 개발) 	<p>- 중고속(150 km/h) 차량에 적용하여 성능 검증 - 2015년 10대 기계기술 선정</p>  <p><철도차량용 능동현가장치 개발 및 성능 검증></p>						
인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 슈퍼 콘크리트 개발 (과제명 : 압축강도 80~180 MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 재료 및 구조물 기술 개발) 	<p>- 세계적 수준의 압축강도 80~180 MPa 슈퍼 콘크리트를 국내 최초로 개발. 일반 콘크리트에 비해 강도 3-5배 이상, 공극률 1/10의 고성능 고내구성 재료로서, 이를 활용한 구조물 응용 기술 확보.</p>  <table border="1" data-bbox="949 1160 1377 1391"> <thead> <tr> <th>일반 콘크리트</th> <th>고강도 콘크리트</th> <th>슈퍼 콘크리트</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Strength 20~40MPa Porosity 10~20%</td> <td>Strength 50~100MPa Porosity 5~8%</td> <td>Strength 150~300MPa Porosity 2% below</td> </tr> </tbody> </table>	일반 콘크리트	고강도 콘크리트	슈퍼 콘크리트	Strength 20~40MPa Porosity 10~20%	Strength 50~100MPa Porosity 5~8%	Strength 150~300MPa Porosity 2% below
일반 콘크리트	고강도 콘크리트	슈퍼 콘크리트						
Strength 20~40MPa Porosity 10~20%	Strength 50~100MPa Porosity 5~8%	Strength 150~300MPa Porosity 2% below						
인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 아진공 콘크리트 튜브 설계 및 시공 기반기술 개발 (과제명: 차세대 초고속 이동체계 Hyperloop 기반기술개발) 	<p>- 압축강도 120 MPa의 초고밀도 콘크리트를 이용하여 길이 10m, 내경 4m의 원형 운송관 프로토타입 시험 시공 완료. 1/1000 기압 아진공 상태 약 45분 유지 성능 확보.</p> 						
인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 대형 챔버의 대기압과 진공압의 압력차를 버티며 진공 상태를 유지하는 기술 (과제명 : 대형 진공 챔버의 밀폐도어 제작 기술개발) 	<p>- 국내기술로 5m3급의 D형상의 대형 진공챔버를 제작하여 우주환경 분야에서 활용. 실험체의 인입을 위한 대형 도어가 적용되었으며, 대형 챔버의 대기압과 진공압의 압력차를 버티며 진공상태를 유지하는 기술 확보</p>						

구분	기술성공 사례	내용
		 <ul style="list-style-type: none"> • 대형 진공 챔버(도어) 제작 (과제명 : 우주환경모사를 위한 대형열진공챔버 국산화 구축)
		<ul style="list-style-type: none"> - 국내 기술로 직경 8m x 길이 10m급의 대형 진공챔버를 제작하여 항공우주 분야에서 활용 실험체의 인입을 위한 대형 도어 적용으로 대기업과 진공압의 입목차에 저항하는 밀폐도어 제작, 설치기술 확보

<국외기술동향>

○ 미국의 버진 하이퍼루프

구분		버진 하이퍼루프 (VIRGIN HYPERLOOP)	하이퍼튜브(HTX)
추진 /부상 /제어	방식	<ul style="list-style-type: none"> • 선형유도모터(LIM) 및 영구자석 반발식 • 최고 387 km/h 주행 시험 달성 	<ul style="list-style-type: none"> • 선형동기모터(LSM) 및 초전도 자석 반발식
	경제성	<ul style="list-style-type: none"> • 차량 부상 간격 20 mm 내외 	<ul style="list-style-type: none"> • 차량 부상 간격 50~100 mm
인프라	튜브 재료	<ul style="list-style-type: none"> • 강재 튜브 	<ul style="list-style-type: none"> • 초고밀도 콘크리트 튜브와 강재튜브 병용

○ 일본의 추오신칸센

구분		추오 신칸센	하이퍼튜브(HTX)
추진	초전도 전자석	<ul style="list-style-type: none"> • 저온초전도 방식 • 냉동기 + 액체헬륨 • 운전온도 4 K 이상 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온초전도 방식 • 고체질소 또는 액체수소 • 운전온도 20 K 이상
	부상/안내	<ul style="list-style-type: none"> • 유도반발식 자기부상 • 8자코일을 이용한 Null-flux 부상/안내 	
제어	Section 급전 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 기계식 Section 스위치 • Section : 800~1000 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 전력반도체 Section 스위치 • Section : 300~500 m

3. 연구개발내용

(핵심기술 1) 초고속 추진 및 부상 시스템 기술개발

구성기술	주요 연구내용
1-1. 선형 전자기 추진 가이드웨이 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 자기저항 최소화 비유도 가이드웨이 개발 및 검증 ■ 대용량 추진 전자기 개발 및 검증 ■ 추진/인프라 전자기 인터페이스 성능 검증
1-2. 추진/부상용 고온초전도 전자석 시스템 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고화질소 냉각 고온초전도 전자석 설계 및 제작 ■ 고화질소 냉각 분리형 극저온 냉각 시스템 설계 및 제작 ■ 초전도 전자석 총방전 운전 제어 시스템 기술 개발 ■ 고온초전도 전자석 주행 동적 성능 검증
1-3. 초고속 선형 추진 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 섹션 추진 제어기 개발 및 검증 ■ 추진전자레일 섹션 스위치 설계 및 제작 ■ 고정밀 차량 위치(위상각) 검지 시스템 설계 및 제작

구성기술	주요 연구내용
1-4. 초전도 유도반발 자기부상 주행체 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 추진/자기부상/안내 인터페이스 설계 및 성능 검증 자기부상/안내용 전자레일 개발 및 검증 주행체용 초경량 프레임 구조 설계 및 제작 주행체용 주행안정화(부상/안내차륜, 현기장치 등) 기술 개발 및 검증 초전도 전자석 자기장 차폐 기술 개발 및 검증

(핵심기술 2) 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술개발

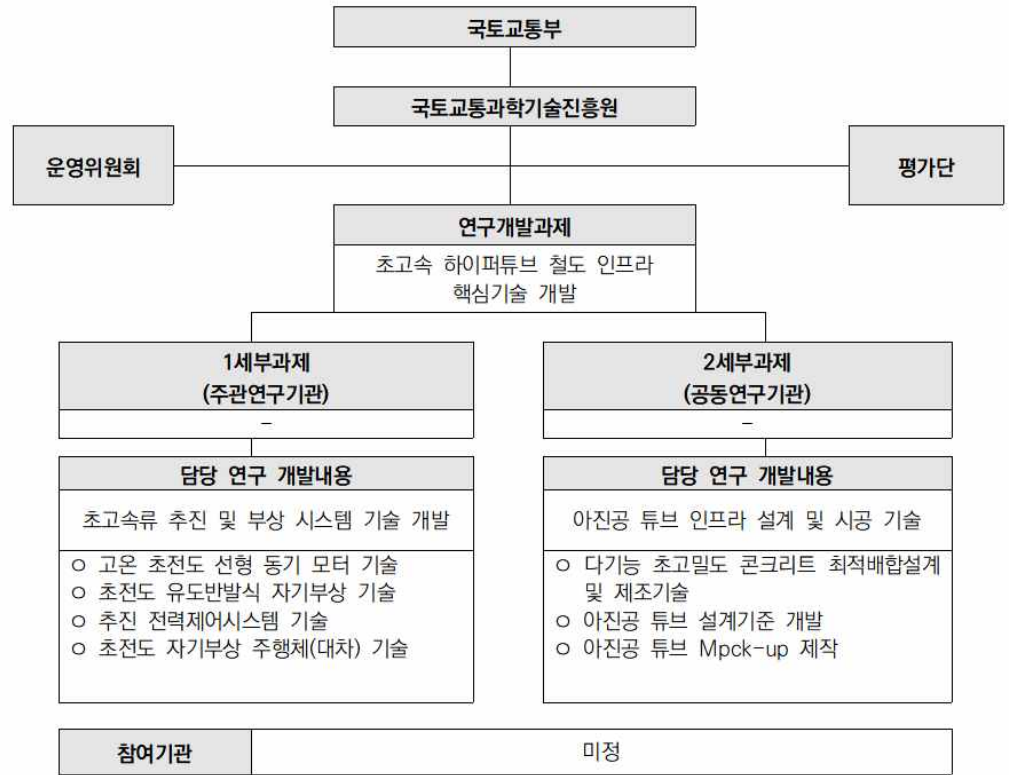
구성기술	주요 연구내용
2-1. 아진공 튜브용 다기능 초고밀도 콘크리트 재료 기술	<ul style="list-style-type: none"> 다기능 초고밀도 콘크리트의 구성 재료 특성 분석 (보강섬유 및 혼화제 등의 밀도, 자기치유 영향 등 특성 분석) 기밀성·경제성·시공성을 고려한 다기능 초고밀도 콘크리트의 배합설계 및 제조기술 개발 (※ 믹서 운용, 양생 습도·온도·기간 등) 재료성능 평가 및 검증을 통한 아진공 튜브용 초고밀도 다기능 콘크리트의 성능 고도화 아진공 튜브 적용을 위한 다기능 콘크리트의 제조·품질관리지침 작성
2-2. 아진공 튜브 구조 시스템 설계기준 및 최적설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 구조시스템 요구성능 및 설계조건 분석 사용재료 특성 및 단면구성 등을 고려한 기본단면 분석 아진공 튜브 기밀성 및 안전성 확보를 고려한 설계지침(안) 도출 및 단면최적화 연구 아진공 튜브 Mock-up 시스템 구축계획 수립 및 기본단면 설계 Mock-up 구축을 통한 설계상세 정립 및 보완 사항도출
2-3. 아진공 튜브 제작·시공 및 품질관리 기술	<ul style="list-style-type: none"> 아진공 튜브 제작 공정 및 품질기준 도출 아진공 튜브 기밀성 검증기법 및 시스템 구축 아진공 튜브 제작 공정 최적화를 위한 장비 운영 및 시공기술 개발 아진공 튜브 Mock-up 시스템 시험시공을 통한 기밀성 및 시공성 평가 아진공튜브 시공절차서 및 품질관리지침서 도출

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

<p>유관기관과 긴밀한 상호 협력 Reciprocal Cooperation</p>	<p>하이퍼튜브 관련 인프라 및 네트워크를 보유한 국내·외 유관기관과의 긴밀한 협력네트워크 구축을 통한 사업목표 달성을 극대화</p>
<p>중·장거리 이동수단에 대한 승객 중심의 기술개발 Achieving customer needs</p>	<p>국내 우수한 R&D 인프라 역량을 기반으로 새로운 중·장거리 이동수단에 대한 안전성, 편의성, 친환경성 등 탑승객의 요구에 만족하도록 승객 중심의 하이퍼튜브 기술개발을 추진</p>
<p>정부주도의 R&D 투자를 통한 기업의 참여 유도 Inducing participation</p>	<p>정부 주도의 R&D 사업 추진을 통한 국내 민간기업의 참여 유도 및 기술이전을 통한 철도 개발 산업의 생태계 조성</p>
<p>하이퍼튜브 핵심기술 개발을 통한 기술시장 선도 Leading the market</p>	<p>하이퍼튜브 구현을 위한 핵심기술 개발로 세계 선도그룹 수준의 기술경쟁력 확보 및 다양한 분야의 국내 우수 기술력을 하이퍼튜브에 적용하여 새로운 비즈니스 모델 창출</p>

- 추진체계 ○ 본 사업은 국토교통부 주관, 국토교통과학기술진흥원을 전담기관으로 사업의 효율적인 운영·관리와 성과 실용화 제고를 마련



5. 최종 연구개발성과물

(핵심기술 1) 초고속 추진 및 부상 시스템 기술개발

- 비유도 가이드웨이 및 자기부상 검증용 단거리 시험
- 단거리 자기부상 검증용 고온초전도 전자석 시작품
- 단거리 추진제어 검증용 추진제어장치 시작품
- 초전도 유도반발 자기부상 시스템 및 경량화 주행체

(핵심기술 2) 아진공 튜브 인프라 설계 및 시공 기술개발

- 하이퍼튜브용 초고밀도 다기능 콘크리트 최적배합 설계
- 초고밀도 다기능 콘크리트 제조 및 품질관리지침
- 아진공 튜브 구조시스템 설계 가이드라인
- 아진공 튜브 구조시스템의 최적 단면 상세설계 도서(구조계산서, 설계도면, 수량산출서 등)
- 아진공 튜브 목업 시작품 구축 계획서(상세설계도서, 시스템구성도면, 시험평가 계획서 등)

6. 활용방안 및 기대효과

- **활용방안**
- 국토교통부는 ‘국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구’와 ‘20대 유망기술(20-Wonder 프로젝트)’를 통해 하이퍼튜브 관련 기술 확보를 위한 중장기 정책 방향을 제시
 - 본 사업을 통한 핵심기술이 가시화될 경우 운영로드맵과 시나리오에 따라 단계적인 시범노선 구축을 정책에 반영하면서 추진할 예정
 - (국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구) 국토교통의 2050 미래모습과 이에 대응하기 위한 미래기술로 ‘초연결 초고속 철도시스템(하이퍼튜브)’를 제시
 - (20대 유망기술(20-Wonder 프로젝트)) 국토교통 기술의 미래 지향점 도출을 위해 선정한 20대 유망기술 중 교통분야에 ‘초연결 초고속 철도시스템(하이퍼튜브)’가 포함
- **기대효과** **과학기술적 기대효과**
- 동 사업으로 인하여 하이퍼튜브 관련 기술의 기술수준이 선진국 수준에 도달할 것으로 기대
 - 현재 우리나라 하이퍼튜브 기술 수준은 기술선도국 대비 평균 74.4% 수준이나, 동 사업의 추진을 통해 기술수준을 최고기술보유국의 85.0% 수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대
 - 세계 최고의 하이퍼튜브 기술개발로 세계적 국가경쟁력 확보와 독자적인 기술적 동력 마련
 - 국내 초고성능 콘크리트(UHPC) 기술을 기반으로 하이퍼튜브 인프라 구축을 위한 콘크리트 아진공 운송관 기술 확보함으로써 세계적인 기술 선도
 - 대형 복합시스템의 엔지니어링 프로세스에 따른 요구사항 관리기술과 경험 확보로 신사업 창출과 관련된 엔지니어링 산업의 독자적인 기술 개발 기반 구축 가능
 - 독자적인 시스템 엔지니어링 관리 기법 적용으로 대외비 성격의 개념설계·기본설계 데이터 보호와 ‘First Mover’로서의 세계시장 진출 기반 확보
 - 철도분야 기술의 융합으로 향후 새로운 융합시스템 개발에 필요한 기술적 자산 확보 기대
 - 중저속 자기부상열차의 추진장치로 멀티레벨 인버터 기반의 추진제어 장치를 적용하는 경우 차량시스템 경량화 및 자기부상열차의 주행효율 향상 가능
 - 하이퍼튜브 인프라 구축기술은 수중 터널, 장대교량, 장대터널, 초고층 빌딩을 비롯한 방사광 가속기 인프라, 핵 저장 시설 등에 활용 가능

경제사회적 기대효과

- 기존 철도시스템과는 달리 초고속 운송시스템 핵심기술은 자동차, 항공 등 타 산업기술 파급효과가 상당히 클 것으로 예상
 - 하이퍼튜브 국내 도입에 따른 국가경제적 파급효과*로 생산유발효과 15조 7,226억 원, 부가가치 유발효과 11조 7,409억 원, 고용유발효과 157,167명으로 전망
 - * 한국은행 산업연관표를 활용한 산업연관분석 기준으로 분석
 - * 서울~부산 간 하이퍼튜브 여객·화물 경용 사업비 8조 5,595억 원 기준
 - 하이퍼튜브 국내 도입에 따른 화물수송업, 수송기계업 등 관련 산업에의 파급효과* 규모는 약 9조 8,444억 원으로 추정
 - * 건설 10년 및 운영 10년 기준으로 분석

〈표〉 산업분야별 파급효과 규모

내용	규모	내용	규모
건설업 매출액 증가 효과	6조 8,041억 원	관광업 매출액 증가 효과	1조 7,404억 원
기후 변화로 인한 교통 피해액* 감소 효과 * 도로 및 철도 피해액, 항공기 이착륙 지연			446억 원

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : 2025.03~2027.12(2년 9개월)
[1단계]
 - 1차년도 연구개발기간 : 2025.03~2025.12(9개월)
 - 2차년도 연구개발기간 : 2026.01~2026.12(12개월)
 - 3차년도 연구개발기간 : 2027.01~2027.12(12개월)
- 총 정부지원연구개발비 : 25,675백만원 이내
 - 1차년도 정부지원연구개발비 : 5,256백만원 이내
 - * 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
 - * 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능
 - * 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 연구개발과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP) 및 기획보고서에 제시된 연구개발내용을 참고하여 작성하되, 연구개발목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 연구개발내용을 가감할 수 있으며, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

- 필요시 공모된 연구개발과제명 외에 연구개발목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구개발과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구개발과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사 연구개발과제와 연구개발내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ 홈페이지(www.kaia.re.kr)의 지식-성과도서관-과제·보고서 및 www.ntis.go.kr 참고
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 연구개발과제의 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구개발계획에 포함
 - 제안된 연구개발내용이 타 유사 연구개발과제와 연구개발방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구개발 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 연구개발성과별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술 간 연구개발내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 연구개발성과물 상호간, 개발기술-연구개발성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종 연구개발성과물을 구체화하여 제시
- 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 연구개발일정 계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - ※ 연구개발과제 선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구개발 추진과정에서 관련기술 환경변화 등에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음

