

융합연구리뷰

Convergence Research Review

이재관 (한국자동차연구원 스마트카연구본부 본부장)
미래 모빌리티 사회를 견인할 “자율주행차”

이관섭 (한국철도기술연구원 신교통혁신연구소 소장)
시속 1,200km 미래교통 - 하이퍼튜브 HTX

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 미래 모빌리티 사회를 견인할 “자율주행차”
- 21 시속 1,200km 미래교통 - 하이퍼튜브 HTX



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2020 January vol.6 no.1

발행일 2019년 1월 6일

발행인 김주선

편집인 최수영·권영만

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4980 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4783



미래 모빌리티 사회를 견인할 “자율주행차”

모빌리티(mobility, 이동성)는 과거 사람과 화물의 장소 이동이 중시되었던 개념을 넘어 다양한 운송수단을 이용해 사람과 화물을 원하는 때에 원하는 곳으로 이동시키는 새로운 기술과 서비스의 집합체를 의미하는 통합적인 개념으로 확대되고 있다. 요즘의 모빌리티는 자율주행, 공유경제, 온디맨드(on-demand), 초연결과 같은 기술과 서비스 패러다임 변화로 인해 제조업에서 융합산업으로, 모빌리티 수단의 소유에서 공유중심으로 전환되고 있다.

이에, 본 호 1부에서는 우리나라 최대 일자리 산업이자 생산·수출 및 부가가치 창출을 주도하는 자동차산업의 새로운 돌파구이자, 인공지능, 커넥티비티(connectivity)와 같은 신기술의 집합체로 거듭나는 자율주행자동차의 산업 및 제도 현황에 대해 간략히 알아보았다. 자율주행차는 레벨0부터 레벨5까지 총 6단계로 구분하며, 현재 2개 이상의 자동화 시스템이 통합되어있는 레벨2 단계 수준의 자동차는 다수의 완성차 업체들이 양산·개발 중에 있다. 이처럼 단계별 자율주행차가 제품화·실용화 단계를 맞이하고 있으나, 완전자율주행차를 제품화·실용화하기 위해서는 다양한 법제도 상의 과제에 대응해야 할 것으로 예상된다.

본 호 1부를 통해 미래사회의 여러 이동과 관련된 문제 해결 및 자동차산업의 고도화에 대한 실마리를 제공해줄 것으로 기대되는 자율주행차에 대해 알아보았다. 자동차와 운전자/인프라/신규 서비스 간 연결을 통하여 자율주행차 관련 신산업의 세계 시장을 선도할 수 있는 유연한 산업생태계 조성이 중요할 것으로 생각되며, 관련된 법·제도의 정비도 동시에 이루어져 새로운 미래 모빌리티 사회가 안착할 수 있기를 기대해 본다.

시속 1,200km 미래교통 - 하이퍼튜브 HTX

현재까지 인류가 살아오면서 사용한 교통수단을 시간 경과에 따라 교통수단별 성장률로 분석하면 총 네 번의 사이클(cycle)이 존재하였다. ① 운하의 발달과 수상 경로를 통한 선박의 사용, ② 증기기관의 발명으로 철도를 통한 수송, ③ 전기산업과 대량생산 기술의 발달과 도시의 발전으로 인한 자동차 이용, ④ 세계화와 장거리 이동수요에 따른 비행 수요 증가 등 다양한 교통수단이 오랜 시간에 걸쳐 사용되었다. 네 번의 변화 뒤 이어질 차세대 교통수단은 어떠한 특성이 요구되고 사용자의 수요에 부합할 것인지가 교통학자들의 큰 관심사이다.

이에, 본 호 2부에서는 기존 교통수단의 한계부터 4차 산업혁명에 부합하는 미래교통의 조건에 대해 간략히 알아보고, 타 운송 수단과의 서비스 장단점 비교를 통해 하이퍼튜브의 장단점을 알아보았다. 추가로 미국, 캐나다, 유럽, 인도, UAE, 중국 등 해외 하이퍼튜브 동향과 함께, 한국철도기술연구원에서 2009년부터 독자 개발하고있는 한국형 하이퍼튜브 - 하이퍼튜브 HTX*에 대해 자세히 알아보았다.

* HTX는 아음속(음속에 가까운 최고 1,200km/h의 속도)으로 아진공(진공에 가까운 0.001기압 이하의 공기 상태) 튜브 내부에서 화물을 선적하거나 승객을 탑승시키는 수송체로 기존의 고속철도보다 최고 4배 이상 빠른 이동속도를 가진다.

또한, 철도기술을 기반으로 교통기술, 전기/통신기술, IoT기술 등 모든 첨단기술의 융합이 필요한 HTX의 기술개발 현황, 기대효과 등에 대해 알아보았다. 현재 하이퍼튜브 HTX를 세계 최초로 실용화 개발하여 미래 신 교통분야에서 대한민국이 선도자(First Mover)가 되도록 함으로써 세계 시장을 선점하여 신성장 산업 및 신고용을 창출하는 것을 목적으로 하며, 관련된 기술의 유기적인 발전이 실용화를 앞당길 수 있을 것으로 생각한다.



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 January vol.6 no.1



01

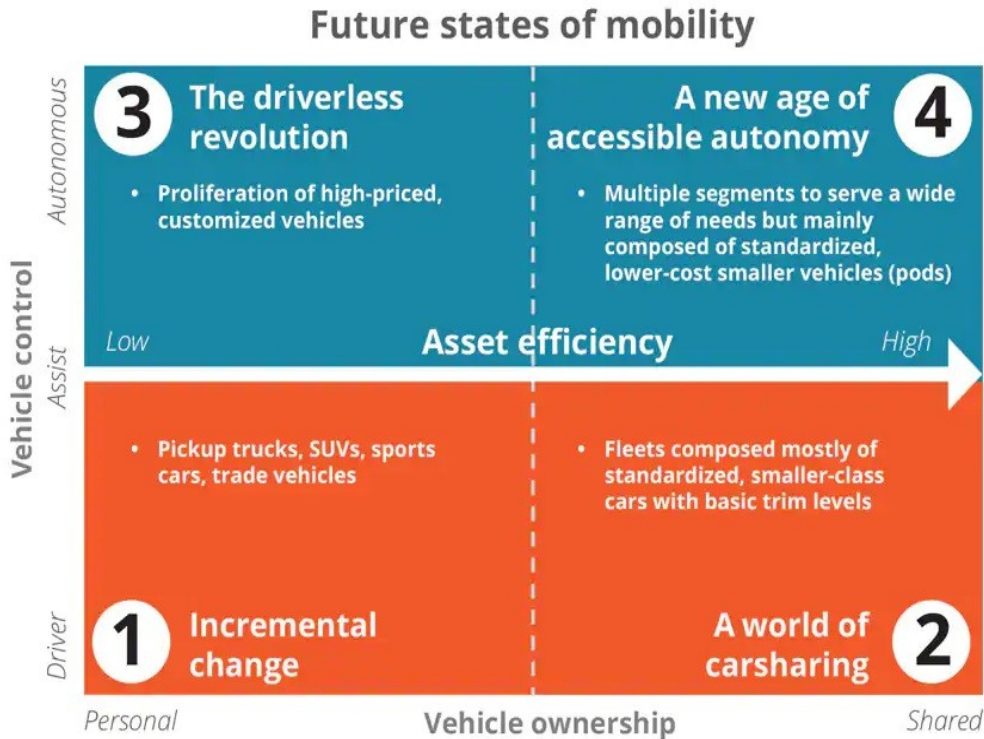
미래 모빌리티 사회를 견인할 “자율주행차”

이재관(한국자동차연구원 스마트카연구본부 본부장)

I 시작하면서

최근 보편화되고 있는 모빌리티(mobility)의 개념은 과거 사람과 화물의 장소 이동이 중시되었던 교통의 단순한 이동성의 개념을 넘어 다양한 운송수단을 이용해 사람과 화물을 원하는 때에 원하는 곳으로 이동시키는 새로운 기술과 서비스의 집합체를 의미하는 통합적인 개념으로 확대되고 있다. 즉, 모빌리티 패러다임 전환의 키워드는 자율주행, 공유경제, 온디맨드(on-demand), 초연결로 요약할 수 있으며 모빌리티 패러다임이 제조업에서 융합산업으로, 모빌리티 수단의 소유에서 이용 중심으로 전환하고 있다는 것을 의미한다.

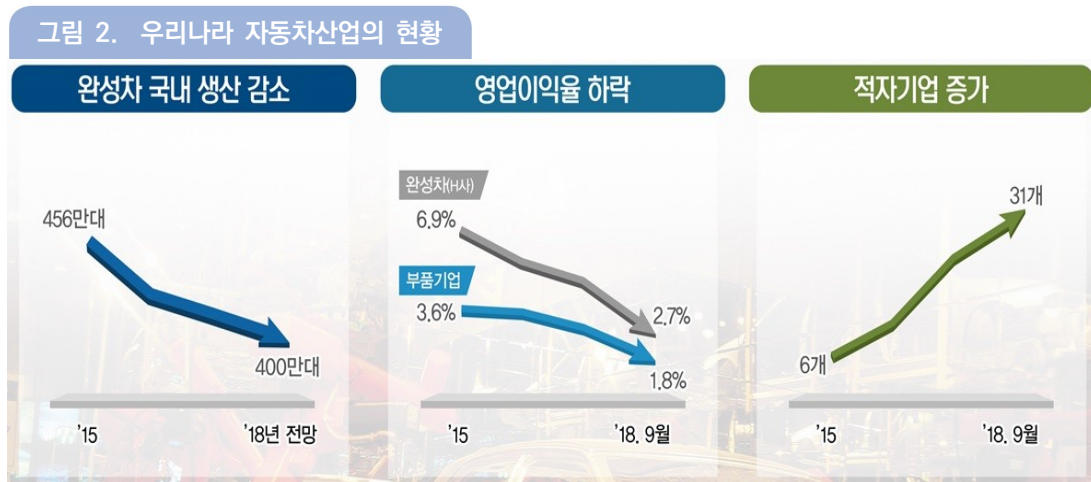
그림 1. 모빌리티 패러다임의 변화



자료: Deloitte Analysis, 2019

한편 미래 모빌리티는 단순한 이동수단을 넘어서 다양한 교통정보 데이터를 생성, 교환하면서 하나의 모빌리티 비즈니스로 통합하는 서비스 수단으로 자리매김할 것이며 이에 따라 미래 모빌리티의 산업생태계가 수직적 밸류체인에서 서비스라는 새로운 생태계 안에서 수평적 밸류체인의 하나로 바뀌어 나갈 것으로 전망된다. 현재 수준의 공유 모빌리티와 자율주행차 역량이 초연결을 매개로 점차 방향성을 가지고 발달하면서 빠르면 2030년쯤에 제한적 영역에서 완전 자율주행차도 만나볼 수 있을 것이다. 모빌리티의 혁신은 과거 경부고속도로나 KTX 고속철도의 개통처럼 시간과 공간의 효율적 활용을 가능하게 하며, 더 많은 경제활동의 기회를 제공하고 직간접적으로 사람들의 시간과 공간에 대한 개념을 변화시켜 사회경제 전반에 걸쳐 수많은 파급효과를 가져올 것이다. 또한, 모빌리티 혁신은 차량의 이동시간동안 생활·업무·학습·엔터테인먼트 공간으로 활용될 수 있어 차량공간의 개념과 가치가 바뀌면서 사람들의 라이프스타일에 변화가 생길 것으로 예상된다.

우리나라 자동차산업은 광범위한 전·후방 연관산업을 가진 최대 일자리 산업이자 생산·수출 및 부가가치 창출을 주도하는 산업으로 직접 고용 40만 명(제조업 전체의 11%), 생산액 197조 원(제조업 전체의 13%), 수출 640억 불(전체의 11%), 부가가치액 59조 원(제조업 전체의 12.0%)을 달성하고 있다. 최근 국내외 환경변화로 우리나라 자동차산업도 최근 성장한계에 직면하여 세계 7위로 추락하였고, 국내생산과 수출이 지속적으로 감소하고 있으며 저출산·고령화 등으로 내수 확대도 한계에 직면하고 있다. 이러한 상황은 중국 등 후발국의 급성장, 보호무역 등 통상환경 악화, 자체 혁신노력 및 기술역량 부족 등이 주요 요인으로 보여지고 있다.

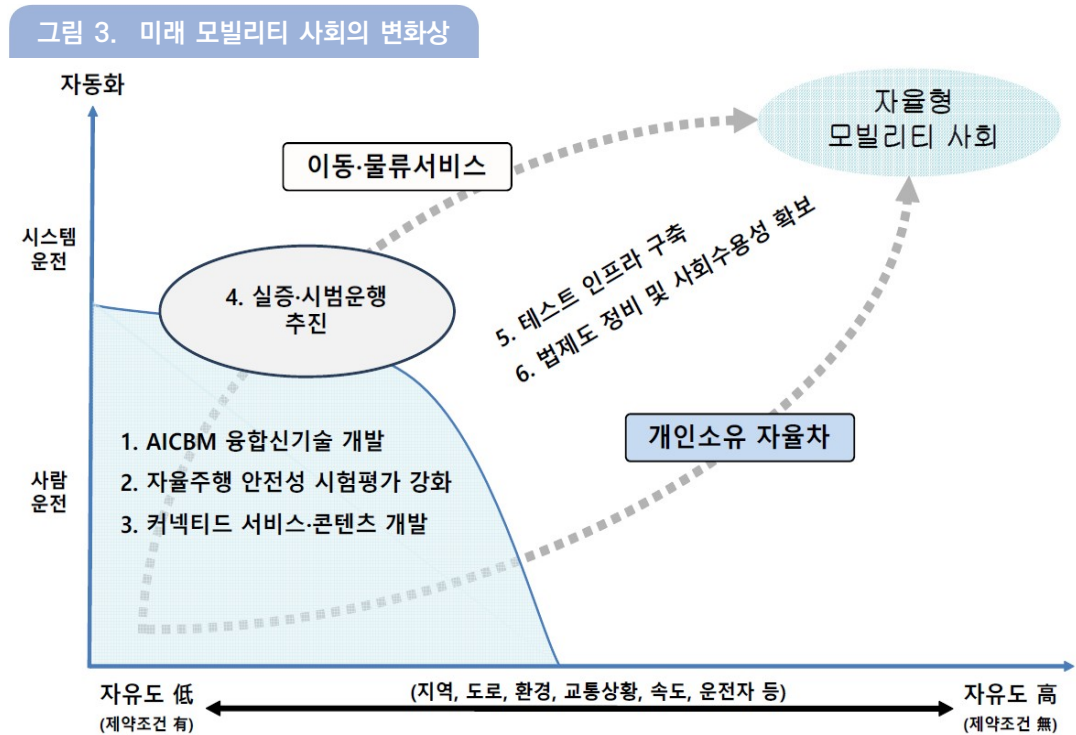


자료: 산업통상자원부, 2018

최근 자동차산업은 안전하고 편리한 이동수단을 제공하고 교통사고로 인한 인적·물적 손실을 최소화해야 하는 새로운 역할에 직면하고 있으며 사람, 사회, 산업 간의 활발한 교류와 공존모델을 지원할 수 있어야 한다. 또한, 자동차산업은 기술의 발전과 이용 형태의 변화, 그리고 이에 따른 서비스 영역의 급속한 확대와 연계하여 큰 변화를 맞이하고 있다. 즉 자율주행, 커넥티비티(connectivity), IoT(사물인터넷)/AI(인공지능)의 다각적 적용은 단순히 신기술의 적용에 그치지 않고 새로운 기회 영역을 만들어 냈고 동시에 기존 산업영역에 머무르며 변화하지 않는 플레이어들에게는 생존과 직결된 위험요인으로 전개될 가능성이 매우 크다. 이러한 차원에서 이미 글로벌 시장에서 다양하고 새로운 모빌리티 서비스가 시도되고 있고, 이들 중 일부는 시가총액이 기존 대기업들의 수배에 이를 정도로 급속한 성장을 이루어 내고 있다. 신규 형태의 모빌리티 서비스가 시장에 진출하는 정도를 뛰어넘어 이 기반 위에서 다양한 새로운 서비스가 없어지면서 자동차산업 자체가 거대한 플랫폼으로 진화해나가는 것이 뚜렷한 추세이다. 이는 현재의 제조 중심의 관점과 수직적 밸류체인 중심으로 형성된 구도를 크게 변화시켜 향후 완성차업체, 자동차부품업체 등 산업체계 근간을 새롭게 재편하는 방향으로 전개될 것이며, 이 과정에서 기존 패러다임은 수평적 밸류체인, 산업간 협업의 형태로 변화되어 끊임없이 소비자의 새로운 니즈와 새로운 비즈니스 영역 창출로 연계될 것으로 예상된다.

이를 위해 각국 정부들은 이러한 변화를 자국의 차세대 이동수단 발전에 적용시킴은 물론, 자국 내 신규 및 기존 플레이어들이 이를 효과적으로 활용할 수 있도록 하는 정책을 경쟁적으로 전개하고 있다. 사회적 공감대의 정도와 각국 도로교통시장의 특수성에 따라 새로운 형태의 자율형 모빌리티 사회가 기존 인프라에 다각적인 형태로 접목되고 있다. 미국과 같이 완전히 자유로운 시도 중심의 경우에서부터 중국과 같이 기존 택시 네트워크를 거대한 플랫폼으로 변화시킨 사례와 같이 여러 형태의 추진이 진행되고 있다. 이와 비교할 때 우리나라는 자율형 모빌리티 사회의 다양성 시도를 가능하게 하는 규제환경 및 제도의 개선, 사회적 합의 측면에서는 진전이 매우 더디게 이루어지고 있으며 이는 신영역에 대한 국내 저변을 취약하게 만들 수 있다. 이런 상황이 지속될 경우에 앞서 설명된 새로운 시장 및 기회요인이 펼쳐질 때 우리나라의 플레이어들이 경쟁력을 확보하기 어려움은 물론, 시장의 참여 자체가 어려워질 것으로 예상된다. 또한, 이는 국가적으로 모빌리티 자체의 효율성과 경쟁력을 저하시켜서 산업 전반에 걸친 장애요인으로 작동할 가능성도 있다. 이의 적극적인 개선을 위해 현재 우리나라의 도로교통체계 및 네트워크 인프라, 자동차산업 자체의 경쟁력, 국가적으로 추진 중인 이니셔티브들을 종합적으로 고려한 우리나라 상황에 최적화된 모델을 안착시킬 수 있는 정책의 설계 및 추진이 필요하다. 벤처·스타트업 등 여러 신규 플레이어들이 다양한 시도를 할 수 있는 지원정책 추진 및 사회적 합의가 필수적이며, 현재 모빌리티의 각종 신규 비즈니스를 추진하는 중견·대기업과 신규

플레이어들과의 협업 기반도 강화되어야 할 것이다. 또한, 세계 최초 5G 사업화, 세계 최고 수준의 도로교통정보 인프라를 적극적으로 활용하여, 이 기반 위에서 다양한 시도가 이루어지도록 하는 정책적 지원도 필요하다. 그 일환으로 기존 대중교통 관련한 정보 활용체계를 전면적으로 혁신하여 민간의 다양한 서비스가 시도될 수 있도록 하는 플랫폼화의 추진도 고려될 수 있다. 그리고 국가 차원에서 여러 형태로 추진하고 있는 자율형 모빌리티 사회를 전략적으로 활용하여, 혁신적이고 미래적인 시도를 할 수 있도록 하는 테스트베드는 물론 국민들의 실제 체험이 활성화되는 기회로 활용될 수 있는 방향이 필요하다. 이러한 추진의 기반이 되는 직접적인 법제도의 적극적인 개선은 필수적이다.

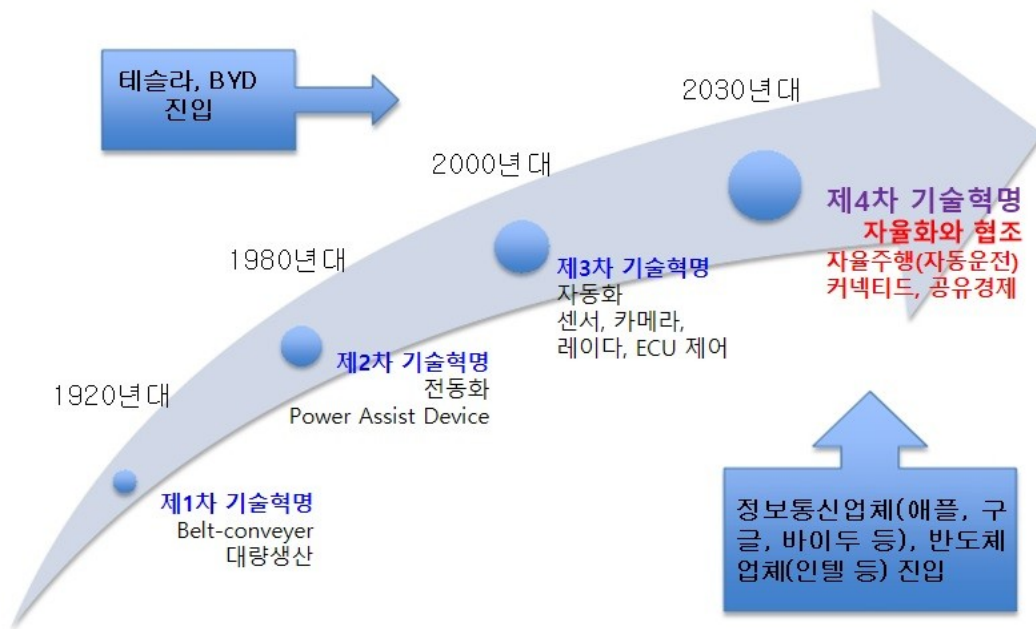


자료: 일본 SIP, 2019

II 산업현황

무한 경쟁시대에 직면한 글로벌시장 상황에서 생존하기 위해서는 우리나라 자동차산업을 앞으로 “자율화와 협조”라는 Automotive 4.0 시대로 변화시켜야 한다. 자율주행차는 궁극적으로 운전자의 조작 없이 자동차 스스로 주행환경을 파악하여 안전한 경로로 주행하는 이동수단을 의미한다. 자율주행차는 기존의 기계, 교통 중심의 기술에서 첨단센서, 정보통신, 지능제어 등의 신기술을 융합한 복지교통사회용 융합시스템으로 자동차가 스스로 주변 환경 인지, 위험 상황 판단, 운전자 안전주행 지원 등을 할 수 있어야 한다.

그림 4. Automotive 4.0 키워드는 “자율화와 협조”



자료: MRI, 2016

자율주행차는 운전자의 주행 조작 개입 정도에 따라서 자동화 레벨을 6단계로 구분한다. 현재 양산차에 이미 차간거리제어, 차선유지지원 등 특정한 자동화 시스템이 적용(레벨1)되어 있으며, 2개 이상의 자동화 시스템이 통합되는 자동차(레벨2)는 현재 많은 완성차 업체들이 양산개발 중에 있다. 제한된 조건에서 눈을 떼 수 있는 레벨3 자율주행차는 최근公道에서의 테스트를 수행하고 있다. 완전자율주행차는 장소를 한정하 레벨4와 장소를 한정하지 않은 레벨5로 분류되며 탑승자가 목적지를 입력만 하면 자동차가 스스로 주행을 하는 수준으로 자동차 및 주행환경에 대한 기술은 물론, 사고발생 시 법적 책임, 보험 등의 문제까지 완벽히 해결되어야 상용화가 가능할 것으로 예상된다. 최근 국내외 자율주행차의 개발특징은 1) 인공지능은 선택이 아닌 필수이고, 빅데이터 처리와 소프트웨어 개발은 자동차 내부에서 외부로 확대, 2) 차량제어에 머무르지 않고 커넥티드 디바이스·서비스와 융합된 미래형 이동체로 발전, 3) 자동차-인프라(도로교통 & 통신) 정보융합으로 자율주행차의 안전성능 향상 및 교통사고 책임소재 등의 사회적 합의를 추진하는 것이다. 본격적인 자율주행차의 상용화는 2020년부터 예상되고 있는데 2035년의 북미, 서유럽, 아시아태평양 등 글로벌 3대 시장에서의 판매량은 9,540만대로 2020년 이후 연평균 성장률 85%가 예상된다. 또한, 자율주행차의 비중이 2025년 4%에서 2035년 75%로 폭발적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 국내외 시장에서 주요 완성차업체들은 적시에 자율주행차 출시를 목표로 경쟁적으로 개발하고 있다. GM은 Cadillac(캐딜락) CTV를 대상으로 2017년 NHTSA 레벨2의 Super Cruise(슈퍼 크루즈)를 양산하였고, 벤츠는 2025년까지 driverless heavy truck 개발, 2030년까지 완전자율주행차 개발을 목표로 하고 있다. 미래 자율주행차의 경쟁력은 자동차를 만드는 기술력보다 사회와 공존하면서 다양한 서비스를 제공할 수 있는 신개념 이동체에 있다. 글로벌 시장의 변화에 적절하게 대응하지 못하는 경우에는 세계 7위 자동차산업의 위상마저 위협받을 가능성도 있으며, 이러한 중대한 변화의 기로에서 산업간, 민관협력을 통해 범국가적 역량을 결집하고 기업중간 협업, 안전성 & 신뢰성을 위한 장기간 실증, 인프라 및 법제도 연계를 위한 패키지형 정부지원이 시급한 상황이다. 미래시장을 선도하기 위해서는 자동차-인프라 융합을 통해 시장을 선도할 융합기술의 확보가 필수이다. 원천기술을 보유하고 있는 대학, 연구소 및 기업 간 공동으로 기술개발을 추진하고 자율주행차를 위한 데이터베이스, 개방형 플랫폼을 구축·제공하여 신규 참여자의 기술개발 지원 및 참여를 확대해야 한다. 아울러 자율주행차 관련 모빌리티 서비스(MaaS: Mobility as a Service) 신산업 창출을 위하여 자율주행차와 연계한 고부가가치 서비스모델(자율셔틀, 자율택시, 자율배송 등)을 발굴하고 실증환경에서 다양한 시나리오 검증을 통해 안전성을 확보하고 사업화를 추진하는 것이 바람직하다.

표 1. 자율주행차 자동차 레벨의 비교표

자동화 레벨	개요	안전운전 대응주체
운전자가 일부 또는 모든 동적운전테스크(DDT)를 실행		
레벨0 운전자동화 無	• 운전자가 모든 동적운전테스크를 실행	운전자
레벨1 운전자지원	• 시스템이 종방향 또는 횡방향의 하나에 대해서 차량운동제어의 서브테스크를 한정영역에서 실행	운전자
레벨2 부분운전자동화	• 시스템이 종방향 및 횡방향의 차량운동제어의 서브테스크를 한정영역에서 실행	운전자
자율주행시스템이 (작동 시) 모든 동적운전테스크(DDT)를 실행		
레벨3 조건부운전자동화	• 시스템이 모든 동적운전테스크를 한정영역에서 실행 • 작동연속이 곤란한 경우는 시스템의 개입요구 등에 적절히 응답	시스템 (작동이 곤란한 경우엔 운전자)
레벨4 고도운전자동화	• 시스템이 모든 동적운전테스크 및 작동연속이 곤란한 경우의 응답을 한정영역에서 실행	시스템
레벨5 완전운전자동화	• 시스템이 모든 동적운전테스크 및 작동연속이 곤란한 경우의 응답을 무제한 (즉, 한정영역내에서만이 아니라...)으로 실행	시스템
용어	정의	
동적운전테스크 (DDT: Dynamic Driving Task)	<ul style="list-style-type: none"> • 도로교통에서 여정계획, 경유지 선택 등의 기능은 제외하고 차량을 조작할 때 실시간으로 행할 필요가 있는 모든 조작상(操作上) 및 전술상(戰術上)의 기능 • 이하의 서브테스크(sub-task)를 포함하지만, 이것에 제한되지는 않음 <ol style="list-style-type: none"> 1) 조향에 의한 횡방향 차량운동제어 2) 가속 및 감속에 의한 종방향 차량운동제어 3) 물건·이벤트의 검지, 인식, 분류, 반응의 준비에 의한 운전환경 감시 4) 물건 및 이벤트에 대한 반응의 실행 5) 운전계획 6) 조명, 신호, 몸짓, 손짓 등에 의한 피시인성의 향상 	
대상물·사과의 검지 및 응답 (OEDR: Object and Event Detection and Response)	<ul style="list-style-type: none"> • 운전환경의 감시(대상물, 이벤트의 검지·인식·분류 및 필요에 맞추어 응답하는 준비) 및 이들 대상물·이벤트에 대한 적절한 응답(동적운전테스크 및/또는 동적운전테스크의 작동연속이 곤란한 경우에 응답을 완료하기 위하여 필요에 맞추어)을 실행하는 것을 포함한 동적운전테스크의 서브테스크를 말함 	
한정영역 (ODD: Operational Design Domain)	<ul style="list-style-type: none"> • 어떤 자동화시스템 또는 그 기능이 작동하기 위해 설계된 특정한 조건을 말하고 운전모드를 포함하지만 이것에 한정되지는 않음 ※1 : 한정영역은 지리적, 도로면의, 환경적, 교통의, 속도상의 및/또는 시간적 제약을 포함해도 좋음 ※2 : 한정영역은 하나 또는 복수의 운전모드를 포함할 수 있음 	

III 제도현황

최근 자율주행차가 제품화·실용화 단계를 맞이하고 있으나, 특히 완전자율주행차를 제품화·실용화하기 위해서는 다양한 법제도 상의 과제에 대응해야 하고 자율주행차 관련 기술은 사고를 줄일 것이지만 제로로 하는 것은 절대로 불가능하므로 사고 발생 시 법적 책임소재도 논의되어야 한다.

1949년 유엔은 제네바에서 국제도로교통의 발달 및 안전의 증진을 목적으로 「도로교통에 관한 협약」(제네바 교통협약)을 채택했고, 2014년 3월, 제네바교통협약은 자율주행차 운전자가 즉시 운전에 참여 또는 자율주행차를 정지할 수 있는 조건에 한해서 레벨2까지 자율주행차를 인정했다. 2014년에는 유엔유럽경제위원회 아래 “자율주행분과회(의장국: 일본 & 영국)”, 2015년 2월에는 “자동조향전문가회의(의장국: 일본 & 독일)”가 설립되었다. 향후 제네바교통협약 가맹국에서 레벨3 이상 자율주행차가 제품화·실용화되기 위해서는 제네바교통협약의 개정과 이와 관련한 국내법규의 개정이 필요(즉, 자국의 자동차산업에 유리한 조건으로 제네바교통조약을 개정하기 위한 경쟁이 이미 시작)하게 되었다. 자율주행차는 인간의 운전을 지원하는 수준에서 사람의 손을 전혀 필요로 하지 않는 완전자율주행차 수준까지 여러 단계가 있으며 자동화 레벨에 따라 기술적·법적 문제는 상이하므로 실용화를 위해서 어느 수준에서도 운전자는 언제든지 제어에 개입할 수 있어야 한다.

- **(행정법상의 문제)** 자율주행차의 실용화를 위해서 자율주행시스템의 신뢰성을 요구할 것이므로 그 성능과 안전성을 보장하는 제도가 필요하다. 따라서 자율주행차가 교통법규를 준수하고 안전운행 능력을 확보하기 위하여 국제법 및 국내법에 따라 일정한 기준이 결정될 것으로 전망되며, 자율주행시스템이 그 기준을 충족하지 않는 한 도로주행이 허용되지 않을 것으로 생각된다. 자율주행시스템이 법정 기준을 충족하는지에 대해서는 공공기관이 인증하는 시험이 실시되어야 한다. 예를 들면 앞으로의 운전면허시험은 실제 환경에서 자율주행하는 실기시험 이외에 자동차의 컴퓨터와 시험관의 역할을 수행하는 외부컴퓨터를 연결하고 가상공간에서 다양한 장면을 만들어 시뮬레이션으로 이루어지게 될 것이다. 또한, 조금 더 나아가서 자율주행시스템은 제1종 보통면허를 부여하는 인간의 평균적인 운전 수준을 최소로 해서 그 위에 몇 단계에 해당하는 클래스(최고는 F1 클래스)가 설정되게 될 것으로 예상된다.

- **(형법상의 문제)** 소위 불가항력에 의한 사고의 경우, 즉 우수한 운전자라고 해도 예견 또는 피할 수 없는 사고에 대해서는 제조사 및 개발자에게 형사책임을 물을 수는 없다. 특히 인간이 운전자이면 형사책임을 물을 수 있지만, 자율주행차가 사고를 일으킨 경우, 제조사는 형사책임을 면치 못할 것이라는 견해도 있을 수 있다. 그러나 형사책임을 추궁당할 환경은 자동차산업에 큰 마이너스 영향을 주기 때문에 자율주행차의 실용화를 어렵게 만들 것이고 자율주행차가 실용화되면 사고감소에도 불구하고 업체가 책임을 두려워한 나머지 실용화가 늦추어질 가능성도 높다. 따라서 제도적으로도 자율주행시스템이 상술한 법적 기준을 충족한 경우에는 제조사 및 연구개발자가 사고의 형사책임을 추궁당할 확률은 원칙적으로 없다고 생각되고 있으나 예외로 자율주행시스템에 결함이 발견되었음에도 제조사 및 연구개발자가 합리적인 기간 내에 적절한 조치를 취하지 않을 때에는 발생한 사고에 대해서는 형사책임을 져야 하는 경우가 늘 것으로 예상된다.

- **(민법상의 문제)** 자동차손해배상보장법(이하 자배법)은 자동차의 운행으로 사람의 생명 또는 신체를 침해한 경우에 손해배상을 보장하는 제도를 확립함으로써 피해자의 보호를 도모하고, 자동차운송의 건전한 발달에 이바지함을 목적으로 하고 있다. 자동차에 대한 보험가입을 의무화하여 인신사고가 발생한 경우에 운행공용자에게 엄격한 손해배상의무를 부과하고 배상금을 보험금으로 충당하도록 하고 있다. 따라서 자율주행차가 인신사고를 야기한 경우에도 피해자 또는 그 유족은 보험금을 받을 수 있어야 하나 보험금액에는 제한이 있기 때문에 피해자 구제에 불충분할 수 있다. 한편 현재 판매되고 있는 임의보험은 이른바 배상책임보험으로 피보험자에 민법상의 손해배상책임이 발생할 수 있고, 보험금 지급요건이 되기 때문에 보험금을 받기 위하여 피해자가 가해자의 과실을 증명할 필요가 있고 자율주행차가 일으킨 사고의 경우에 피해자가 제조사의 과실을 입증하는 것은 어려우므로 자율주행차의 보급을 위해서는 제조사 및 개발자는 그 한계성과 작동실패(Fail)모드에 대해서 명확히 할 필요가 있다.

IV 연구결과

자율주행시스템에서 차량의 주변 정보와 관련한 데이터를 여러 가지 방법으로 수집하는 것으로 자율주행차의 조작성 가능하게 되며 주변 정보의 수집 방법으로는 차량에 설치한 레이더(radar), 영상 센서, 라이다(lidar) 등을 통해서 정보를 수집하는 방법(자율형), 이동통신망을 통해서 클라우드의 정보를 활용하는 방법(모바일형) 또한 도로 인프라에 설치한 기기나 다른 차량에 설치한 기기와의 커뮤니케이션을 통해서 정보를 수집하는 방법(협의협조형: 전자는 노차간 협조형이며 후자는 차량간 협조형)으로 크게 나눌 수 있다.

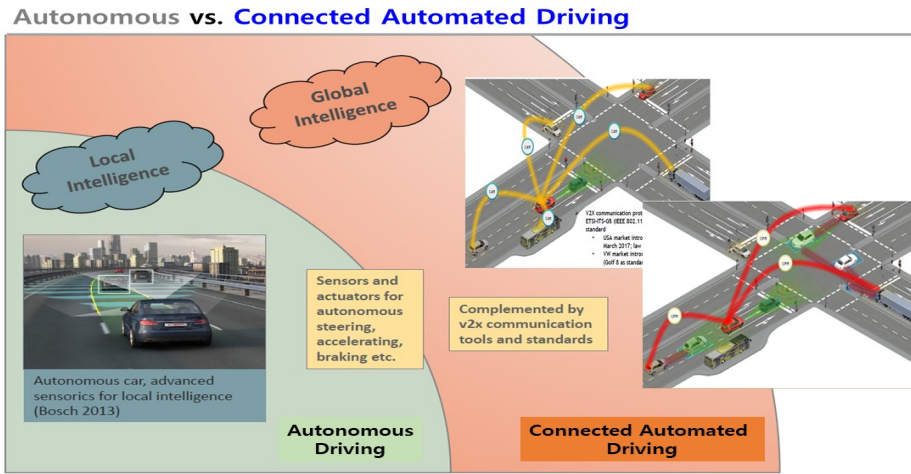
표 2. 자율주행차의 구현방법

정보수집 기술종류		기술내용 (정보수집방법)
자율형		차량에 탑재된 레이더(radar), 라이다(lidar), 영상 등으로 장애물 정보를 인식
협조형	모바일형	GPS를 통해서 위치정보의 수집, 이동통신망을 통해서 클라우드 상에 있는 각종 정보(지도정보를 포함)를 수집
	노차간 통신형	도로 인프라에 설치한 기기와의 통신에 의해 도로교통과 관련한 주변 정보 등을 수집
	차량간 통신형	타(他) 차량과 통신하여 해당 차량의 위치·속도정보 등을 수집

표 3. 단독형 지능 vs. 협조형 지능 비교표

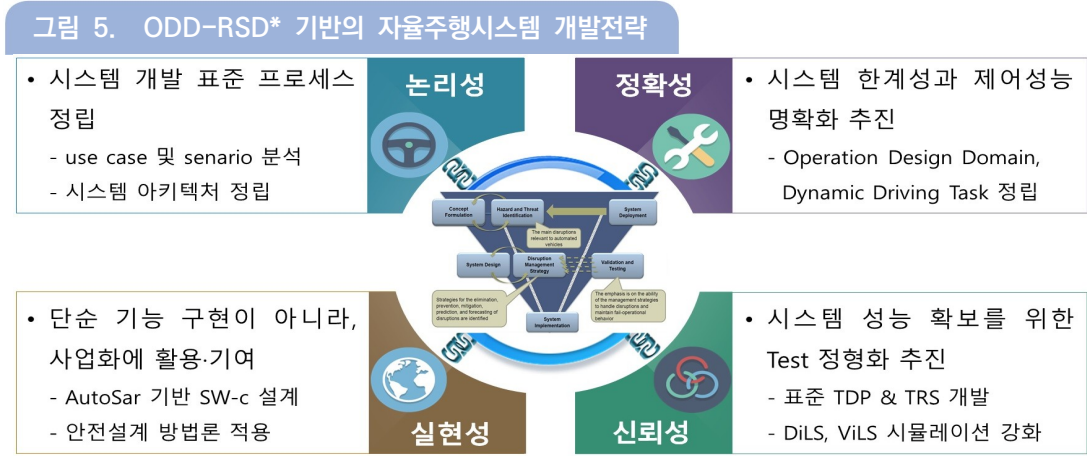
구분	단독형 지능(Local Intelligence)	협조형 지능(Global Intelligence)
인식범위	최대 250m(전방 레이더)	수km(V2X 기술)
특징	센서수 ↑, 가격↑, 인식범위↓	센서수 ↓, 가격↓, 인식범위↑

개념도



이러한 기술은 서로 상반되는 것이 아닌, 복수의 기술로 다양한 정보를 바탕으로 보다 고도의 자율주행을 가능하게 하는 것이며, 특히 「자율형」에 의한 센서정보에 가세하여 「모바일형」을 통한 클라우드의 다이나믹 맵(dynamic map) 등의 정보를 쌍방향으로 교환하여 차량제어를 수행하는 자율주행차가 개발되고 있다. 특히 앞으로 자율주행 지원에서 완전자율주행차로 발전하는 시장환경에서 자율형과 협조형의 통합을 위한 제어전략이 요구되고 있으며, 자율주행시스템을 포함한 자율제어 활용형에서 자율형의 정보를 바탕으로 한 시스템을 베이스로 하면서 정보제공형으로 이용되는 모듈을 더해 가는 것을 생각할 수 있다.

또한, 자율주행시스템의 데이터 의존성이 높아지면서 다수의 정보를 활용하여 자율주행시스템의 데이터·아키텍처와 관련된 설계를 수행하게 되지만 이와 동시에, 성능과 안전성 확보관점에서 redundancy, fail-safe (또는 fail-operation) 등의 안전설계와 보완 대책(필요한 디바이스나 운용관리시스템을 포함) 및 해당 대책을 평가하는 기술이나 평가환경(테스트베드)의 정비 등이 필요하다. 특히 자율형, 모바일형, 협의협조형에서 얻을 수 있는 다수의 정보에 대해서 오류, 차단 등의 위험성이 있을 가능성이 있으므로 해당 정보를 이용한 자율주행시스템 측의 책임에 대해서 명확화할 필요가 있다. 이와 같이 실용화를 염두에 두고 성능과 안전성 확보를 위한 자율주행시스템 개발을 “ODD-RSD* 기반 자율주행시스템 개발전략”이라고 한다.



*ODD-RSD : Operation Design Domain-Responsible System Design

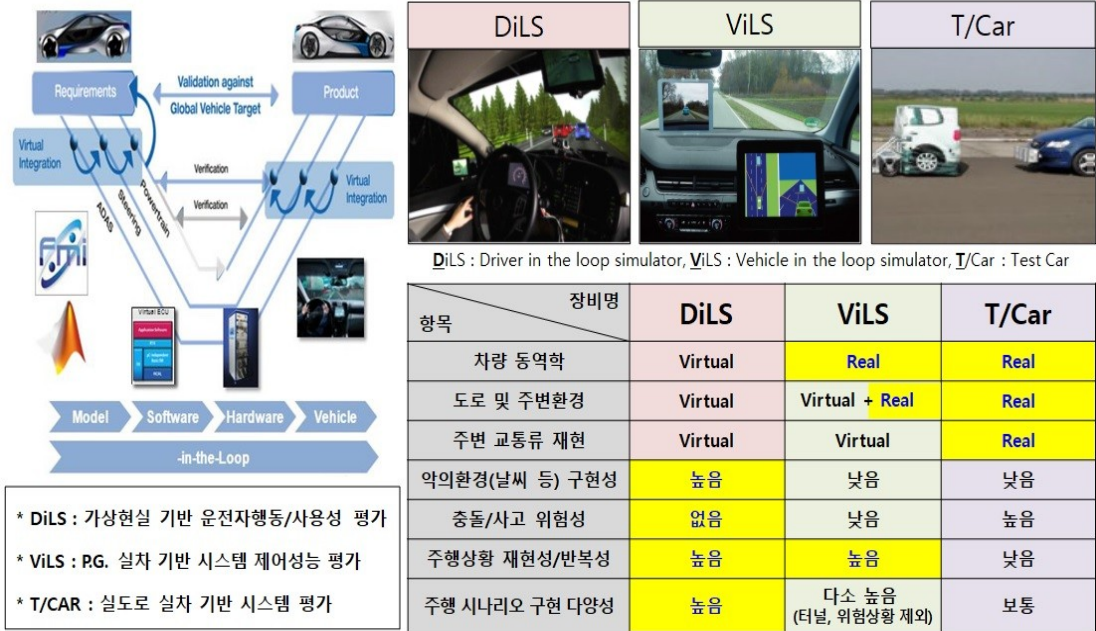
- **(논리성) 자율주행시스템의 개발 표준 프로세스 정립:** 컨셉 설계, 시스템 요구사항, 소프트웨어 요구사항, 소프트웨어 구현, 시뮬레이션평가, 실차 검증의 전 단계에 이르는 표준 프로세스(V-사이클)를 정립하고 일정별, 기관별 일정 관리 및 성과물 관리를 추진

- **(정확성) 자율주행시스템의 한계성과 제어성능 명확화 추진:** 자율주행시스템 필수 Parameter 인지범위 기반 시스템 동작 한정영역(ODD) 정의, 자율주행시스템별 요구기능 만족을 위한 Functional Architecture 개발, 기능적 구조도의 기능블록과 실제 개발을 위한 소프트웨어 모듈 단위별 역할 정의, DFMEA(Design Failure Modes and Effects Analysis)를 통한 시스템 및 소프트웨어 안전성을 분석

- **(실현성) 단순 기능 구현이 아니라 사업화에 활용·기여:** OEM 안전컨셉 및 SAE, NHTSA 가이드라인 분석 기반 자율주행시스템 기능 안전 확보, 3단계 안전설계(1단계: 핵심부품 고장 기반 Supervisor State 정의 및 Transition 조건 정의, 2단계: 주행 중 안전신호 관련 In Vehicle Network 신호 이상 시 자율주행 기능 정지 및 해당 Minimum Risk Manoeuvre 설계전략 수립, 3단계: 차량구동계 신호고장 시 대처방안 수립)로 자율주행시스템의 안전성을 확보

- **(신뢰성) 자율주행시스템 성능 확보를 위한 Test 정형화 추진:** 가상현실 Driver In Loop Simulation 기반 통합시험평가 기술개발(가상현실 기반 자율주행시스템 HILS 개발, 자동차전용도로 및 도심로 가상환경 시나리오 DB 구축, 운전자 사용성 평가 TDP/TRS 개발, 자율주행시스템 운전자 사용성 평가), 실차(T-Car) 기반 통합시험평가 기술개발(Vehicle in Loop Simulator 기반 실차평가환경 구축, 실차 기반 Target Vehicle 자동화시스템 개발, 실차 기반 자율주행시스템 성능평가 TDP/TRS 개발, 주행시험장 시험환경 개선(현실모사 및 악의조건), 실차 기반 자율주행시스템 및 운전자 사용성을 평가·검증

그림 6. 자율주행시스템의 성능 확보를 위한 Test 정형화 추진



V 기대효과

자율주행차의 실현은 도로교통문제 해결에 있어서 최적인 주행을 도모하는 것으로 정체의 해소·완화, 교통사고의 저감 등에 효과를 기대할 수 있다. 또한, 일부 운전을 자동차가 담당하는 것으로 운전자의 운전부하를 경감하고 고령자 및 이동제약자 등의 이동지원을 실현하는 것과 동시에 운전쾌적성의 향상도 기대할 수 있다. 이처럼 자율주행차의 실현으로 도로교통문제의 해결이나 도로 이용자의 편리성 향상, 새로운 요구의 창출 등 광범위한 효과가 기대된다.

① **정체의 해소·완화**: 도시 간 고속도로에서는 정체의 약 3할을 차지하고 있던 요금소 정체가 하이패스의 보급으로 대체로 해소되고 있으며 현재 내리막부, 오르막부 또는 인터체인지 합류부, 터널 입구부가 주요한 정체 발생 구간이 되고 있다. 자율주행차는 교통류의 원활화를 실현하기 위한 최적의 주행환경을 구축 가능케 함으로 주요 정체 발생 구간에 있어서 대폭적인 정체 완화 효과가 기대된다.

② **교통사고의 삭감**: 고속도로상의 인적 요인별 사고 건수에서는 발견의 지연, 판단의 잘못, 조작의 잘못 등이 90% 이상을 차지한다. 또한, 사고유형별 사고 건수를 살펴보면 자동차 상호 간의 사고가 약 90%, 자동차 단독이 약 10%로 나타난다. 자동차 상호는 다른 자동차와의 추돌, 자동차 단독으로는 공작물 충돌·노외 일탈 등이 주된 요인으로 되고 있다. 자율주행차는 안전성 향상을 향한 대책으로 사고요인 중에 가장 큰 비율을 차지하는 인적 잘못이나, 전방의 정보 부족 등에 기인하는 교통사고의 저감효과를 기대할 수 있다.

③ **환경부하의 경감**: 이산화탄소 배출량 가운데 운수부문으로부터의 배출량은 약 20%로 운수부문의 80% 이상이 자동차로부터의 배출이다. 자율주행차는 불필요한 가·감속 저감, 공기저항 저감, 정체 억제 등으로 연비 향상이나 이산화탄소 삭감의 효과를 기대할 수 있다.

④ **고령자 등의 이동지원**: 우리나라도 이미 2000년에 65세 이상 인구 비율이 7% 이상이 되는 고령화 사회에 접어들었고, 65세 이상 인구 비율이 20%를 넘는 초고령화 사회도 2026년쯤 접어들 것으로 예상된다. 또한, 운전 중 교통사고 사망자 수에 차지하는 고령자의 비율은 증가하는 경향으로 고령자 특유의 판단 오류도 표면화되고 있다. 자율주행차로 운전부하가 큰 폭으로 경감하기에 고령자 특유의 교통 문제를 해결하는 것이 가능함으로 고령자 등의 이동을 지원할 수 있다.

⑤ **운전의 쾌적성 향상** : 운전 시 스트레스를 심박 간격으로 보면 운전 시의 스트레스가 높다는 경향이 있고 자동차로의 이동 시 불만에서도 ‘운전 피로’라고 말하는 의견이 상위에 있다. 자율주행차의 실현으로 운전부하를 큰 폭으로 떨어 줌으로 장거리 이동 시에도 피로가 적은 상태로 이동하는 것이 기대된다.

⑥ **산업융합의 촉진**: 미래 네트워크 사회에서 자동차산업의 지속가능발전을 도모하면서 고객, 기업, 사회 등과 활발한 교류와 공존모델 창출이 가능할 것이다. 동시에, 시장과 소비자는 물론 사회구성원들의 다양한 욕구 충족과 개인 성향을 반영한 이동서비스 제공이 가능하며 산업의 패러다임 변화에 대응하기 위하여 신규 참여자의 참여를 유도하고 공존할 수 있는 개방형 산업문화의 구축에 기여할 수 있을 것이다.

행복한 삶의 질의 향상을 위하여 안전한 이동수단을 제공하는 동시에, 운전자와 탑승자에게 Quality-Car-Life 제공을 위해서는 3C(Collaboration, Connectivity, Creation) 혁신을 기반으로 운전자 - 자동차 - 주변 환경 그리고 일상생활의 모든 요소들을 유기적으로 연결해야한다. 이렇듯 자율주행차를 통하여 쾌적하고 안전하며, 환경적이고 편리한 자율주행차를 통한 복지교통사회의 실현이 가능할 것이다. 제한적인 국가자원을 집약하여 효율적으로 활용 하려면 포화상태인 국내시장에서 경쟁을 심화시키는 것보다 자율주행차 관련 신산업의 글로벌 시장을 선도할 수 있는 강소기업을 집중적으로 육성하는 것 또한 중요해보인다. 자동차-인프라 융합기술에 대한 다양한 아이디어를 가지고 있는 신규 참여자의 유입을 확대하고, 융합을 통한 혁신성장동력 창출 및 국가경쟁력 강화, 지금까지 대기업에 종속되었던 중소·중견기업의 사업구도를 다양한 수요처로 다각화하여, 중소·중견기업의 안정적인 매출·수익을 확보하여 미래 자율주행차 관련 신산업의 국가경쟁력을 강화할 수 있도록 대·중·소 상생모델 마련과 유연한 산업생태계 조성이 중요할 것으로 생각된다.

저자_ 이재관(Jae-Kwan Lee)

• 학력

도호쿠 대학교 전기통신공학 박사
경북대학교 전기공학과 석사
경북대학교 전기공학과 학사

• 경력

現) 한국자동차연구원 스마트카연구본부 본부장
前) 현대자동차 중앙연구소 지능형안전연구팀 팀장
前) 현대모비스 카트로닉스연구소 시험연구부 파트장
前) Mitsubishi Motor Corp. 연구원



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 January vol.6 no.1



02

시속 1,200km 미래교통 - 하이퍼튜브 HTX

이관섭(한국철도기술연구원 신교통혁신연구소 소장)

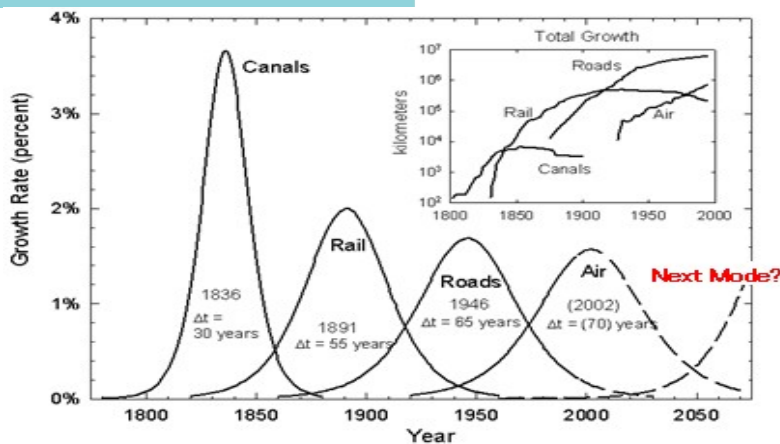
I 머리말

1. 산업발전과 교통수단의 발달

현재까지 인류가 살아오면서 사용한 교통수단을 시간 경과에 따라 교통수단별 성장률로 분석하면 <그림 1>과 같이 4개의 봉우리가 존재한다. 즉, 운하를 이용하는 선박, 철도를 이용하는 기차, 도로를 이용하는 자동차, 그리고 항공을 이용하는 비행기가 시간이 지남에 따라 뚜렷하게 네 가지 세대로 구별된다. 교통수단의 발달은 산업과 기술의 발전 단계와 상호 유기적으로 연관된다. 맨 처음 사용된 1세대 교통수단은 선박이며, 무역의 발달과 신대륙 개척과 같은 환경변화에 따라 발전하게 되었다. 2세대 교통은 철도로서 1차 산업혁명을 촉발시킨 역할을 했다. 3세대 교통은 자동차로, 전기산업과 대량생산 기술발전과 연관된다. 4세대 교통은 전자기술과 정보화 기술의 발전에 따라 발달한 비행기이다.

기존 교통수단의 단점을 보완하고 4차 산업혁명과 부합하는 차세대 교통수단은 어떠한 특성이 요구되고 어떤 것이 될 것인지가 교통학자들의 큰 관심사이다.

그림 1. 시간경과에 따른 교통수단별 성장률



(출처: J.H. Ausubel et al.)

2. 기존 교통수단의 한계

선박은 대량수송은 가능하나 속도가 매우 느린 단점을 가지고 있고 선박 사고에 따른 환경문제를 야기시킬 수 있다. 자동차는 door-to-door의 편리성이 있으나 기존 도로의 포화에 따른 다양한 문제를 야기시킨다. 항공기는 고속의 장점이 있지만, 공항에의 접근성이 상대적으로 취약하고 탑승수속 및 이착륙 시간의 과다 소요, 날씨에 따른 영향에 매우 민감하다는 단점을 가지고 있다.

철도는 육상 대량 운송 수단으로 현재까지 유용하게 사용되고 있고, 육상교통의 기술적 정점을 보여주는 수단이나 속도 면에서 기술개발의 한계점에 봉착하였다. 고속철도의 최고 속도는 프랑스, 독일, 일본, 중국, 한국 등이 경쟁을 벌이면서 발전하고 있으나 현재까지 차륜형은 최고 575km/h, 자기부상형은 603km/h의 속도 장벽을 넘지 못하고 있다. 이러한 속도의 한계를 가져오는 두 가지의 주요 주행저항 요인은 바퀴 차륜과 레일 간의 접촉에 의한 마찰력과 고속에서 급격하게 증가(속도의 제곱에 비례)하는 공기에 의한 저항력이다. 레일과 차륜 사이의 마찰력을 배제하기 위한 기술인 자기부상열차는 최대속도 603km/h에 도달했지만, 그 이상의 속도 한계를 극복하기 위해서는 공기에 의한 저항을 제거해야 한다. 지상에서 공기저항을 기술적으로 극복한다고 하더라도 이를 위해 소모되는 에너지는 속도의 3제곱에 비례하기 때문에 현실적으로 운영하기가 어렵다.

3. 4차 산업혁명에 부합하는 미래교통

UN은 세계 도시 인구가 2018년 42.2억 명에서 2030년 51.7억 명으로 증가하고, 비(非)도시권 인구의 유입에 따른 전체 거주지역 인구 대비 도시 인구의 비중은 5.1%(55.3%→60.4%) 상향될 것이며, 지속적인 도시 집중화로 인해 2050년에는 전 세계 인구의 70% 이상이 도시권에 살게 될 것으로 전망했다(UN DESA, 2018). 또한, 미래사회는 삶에 대한 가치관의 다양화, 삶의 질 향상 추구 등으로 인해 통행 시간의 가치가 증대할 것으로 예측된다.

4차 산업혁명으로 인해 야기되는 미래 초연결사회(Hyper Connected Society)는 대도시 인구집중으로 인한 메가시티(mega-city)화, 인구구조의 변화, 사회적 가치변화에 대응할 수 있도록 거점 간 초고속 이동에 대한 필요성이 급격히 증가하고 있다. 또한, 소형가구증가, 개인/가족 중심의 가치관으로 인해 기존 대용량 소빈도 교통수단에서 소용량 다빈도 초고속 대중교통수단의 수요가 증가하고, 통행 시간가치의 증대와 생산성·경쟁력 향상을 위해 일일생활권이 아닌 반일생활권이 가능한 광역 초고속 교통인프라의 필요성이 증가하고 있다.

미래 초연결사회에 적합한 차세대 신 교통수단이 갖추어야 요구 조건은 무엇인가? 교통 전문가들은 9가지 요구 조건을 제시한다. ① 더 안전하고, ② 더 빠르고, ③ 더 저렴하고, ④ 더 편리하고, ⑤ 날씨에 둔감하고, ⑥ 지속가능한 자체 동력을 생성하고, ⑦ 재난에 강인하고, ⑧ 이동경로 상에서 방해받지 않고, ⑨ 수요 응답형(on-demand) 교통수단이어야 한다. 자기부상열차, 스카이 카(sky car), 자율주행차, 하이퍼루프 등 현재까지 대두된 신 교통수단 중에서 9가지 요구조건을 만족시키면서 차세대 신 교통수단으로서 주도권을 행사할 것이 어떤 것일까?

미국 전기자동차 제작사 테슬라(Tesla)의 창업자인 일론 머스크(Elon Musk)는 2013년, 샌프란시스코와 로스엔젤레스 간 610Km 거리를 30분 이내에 도달할 수 있는 새로운 튜브 운송시스템인 하이퍼루프(Hyperloop)를 민간투자자로 건설하겠다고 캘리포니아 주 정부에 제안하였다. 그는 샌프란시스코와 로스엔젤레스 구간의 하이퍼루프 건설비를 고속철도의 1/10수준으로 하고 운영비는 튜브에 설치한 태양광 발전을 이용하여 대부분 충당될 수 있기 때문에 편도 운임은 20달러 수준으로 할 것을 제안하였다. 또한, 하이퍼루프에 대해 기술적으로 개념 설계한 하이퍼루프 알파 문서를 공개하고 오픈소스 형식의 기술개발을 제안하였다. 알파 문서에 따르면, 하이퍼루프는 0.001기압의 아진공 튜브 가이드웨이(guide way) 내부에서 캡슐차량(Pod)이 최고 1,220km/h로 주행하는 시스템이다. 캡슐차량은 공기부상 방식으로 튜브 내에서 부상하여 선형유도모터(LIM: Linear Induction Motor)방식으로 추진한다. 하이퍼루프는 캡슐차량을 부상시킨 상태로 주행시켜 차륜과 레일 간 마찰 저항을 제거하고, 밀폐된 튜브 공간을 진공에 가까운 상태로 유지시킨 상태에서 캡슐차량을 주행시킴으로써 공기에 의한 저항을 최소화하였다. 즉, 두 가지의 주요 주행저항 요인을 모두 배제하여 속도의 한계를 끌어 올리는 초고속 주행방식을 채택하였다. 하이퍼루프가 교통 전문가들이 제시한 차세대 교통수단의 9가지 요구 조건을 만족하는 미래 신 교통으로 인식되면서 범세계적으로 높은 관심을 받고 있다.

하이퍼루프와 유사한 개념의 튜브 운송시스템은 하이퍼루프 이전에도 존재해 왔다. 1987년부터 시작된 스위스 메트로(Swiss metro)의 프로젝트는 0.1기압의 저진공 튜브 내에서 자기부상열차가 최고 500km/h 이상으로 주행하는 시스템의 기초연구를 2000년대 초반에 완료했다. ET3(Elevated Tube Transportation Technology)는 진공 튜브 내에서 소형 캡슐이 최고 5,000km/h로 비행하는 개념이며, 이외에 화물수송용으로 TubExpress, CargoCap 등의 개념이 연구되었다. 이러한 유사 시스템 존재에도 불구하고 하이퍼루프가 차세대 교통수단으로 주목받는 가장 큰 이유는 시스템의 구조가 간단하다는 점과 생애주기비용(LCC: Life Cycle Cost)이 타 초고속 교통수단에 비해 저렴하다는 점이다.

하이퍼루프의 표정속도(Scheduled Speed)^{***}는 현재 가장 빠른 대중 교통수단인 항공기의 2배 이상으로 예상되며, 현존하는 고속 대중교통수단과 이동 시간을 비교·분석하면 아래 <표 1>과 같다.

표 1. 고속 대중 교통수단의 이동 시간

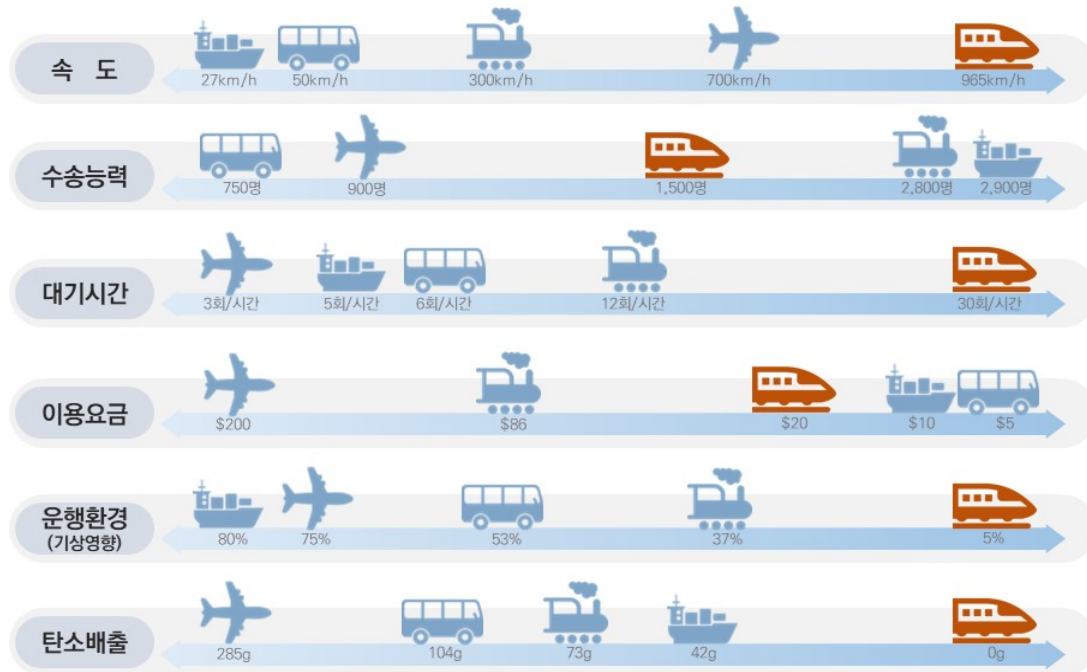
구분		하이퍼루프	항공기	자기부상열차	고속열차
최고 속도		1,158km/h (HTT)	828km/h (항공 기준 CRJ700의 운항 속도)	603km/h (일본 MLX)	575km/h (프랑스 TGV)
		1,207km/h (VHO)			443km/h (일본 신칸센)
		1,223km/h (Alpha 문서)			430km/h (미국 CAHSR: 예상)
표정 속도***		965km/h (Alpha 문서 기준, 샌프란시스코-LA 노선)	407km/h (샌프란시스코 - LA 항공 노선 기준)	229km/h (상하이 노선, 30km 기준)	208km/h (프랑스 TGV)
				424km/h (일본 도쿄-나고야 노선 기준)	262km/h (미국 CAHSR: 예상)
이동시간 (대표적 사례)	(LA-라스베가스, 434km)	26분 (HTT)	70분	61분	84분
	(샌프란시스코-LA, 614km)	35분 (HTT)	83분	86분	160분 (CAHSR: 예상)

출처: Travel Time Comparisons, 2016

*** 총 거리를 역에서 역 또는 공항에서 공항으로 이동하는데 걸리는 실제 소요시간(커브 및 역에서 서행 후 정지하게 되는 시간 포함)으로 나누어 준 값

하이퍼루프와 타 운송 수단과의 서비스 장단점을 비교하면 <그림 2>와 같으며, 여기서 숫자는 단순한 참고 수치이다. 하이퍼루프(붉은색으로 표시)가 선박, 대중교통 차량, 열차, 비행기 등에 비해 이동시간, 이용요금, 운행환경, 에너지 소모 및 탄소 배출 측면에서 월등한 장점이 있다. 충돌 방지를 위해 캡슐차량 운행 배차 간격이 유지되기 때문에 하이퍼루프가 고속철도에 비해 수송능력이 부족하지만, 현재 개발 중인 자율주행차의 군집주행기술이 실용화 단계에 도달하면, 2대 이상의 캡슐차량을 가상 연결하여 운행이 가능하므로 수송량의 획기적 증대가 가능할 것이다.

그림 2. 운송 수단별 서비스 장단점



출처: U.S. Department of Transportation, 2016

II 하이퍼루프의 해외 동향

하이퍼루프 기술 개발과 하이퍼루프의 신선 건설은 미국, 캐나다, 네덜란드, 중국, 아랍에미리트공화국(이하 UAE), 인도, 네덜란드, 프랑스, 스페인, 러시아, 동유럽, 사우디아라비아 등에서 활발히 추진되고 있다.

1. 미국

미국 연방정부는 2017년 8월 뉴욕-워싱턴DC 간 하이퍼루프 노선계획을 구두 승인하였으며, 이 노선은 뉴욕-필라델피아-볼티모어-워싱턴DC 간 연장 229마일(약 368.54km)을 하이퍼루프로 29분에 운행한다. 연방정부의 구두 승인 후 지방정부는 단계적으로 규제 허가를 추진하고 있다. 워싱턴DC 정부는 Boring Company에게 2018년 2월 초기 터널 탐사에 대한 착수 허가를 하였고, 메릴랜드 주 정부는 2017년 10월 뉴욕-워싱턴DC 노선 중 10마일 구간에 대한 굴착 허가를 발급하였다. 이것은 향후 건물, 인프라, 유틸리티, 도로 및 그 밖의 모든 것에 대해 터널공사가 필요할 때 시, 주, 연방정부로부터 개별 허가를 취득해 나가는 여러 규제 허가 과정 중의 일부이다(The Architect's Newspaper).

미국은 하이퍼루프와 같은 초고속 운송시스템을 포함하여 향후 도래 가능성이 있는 신 교통수단에 대한 논의를 하기 위한 협의회(The Non-Traditional and Emerging Transportation Technology Council)를 미국 운수부(U.S. DOT: Department of Transportation) 산하에 2019년 3월 12일에 구성하였다.

미국에서의 하이퍼루프 기술개발은 정부의 암묵적 정책지원하에 기보유하고 있는 항공우주기술을 바탕으로 Virgin Hyperloop One(VHO), Hyperloop Transportation Technologies(HTT), Boring Company, SpaceX 등 민간 기업 중심으로 직·간접적 방식으로 활발히 진행되고 있다.

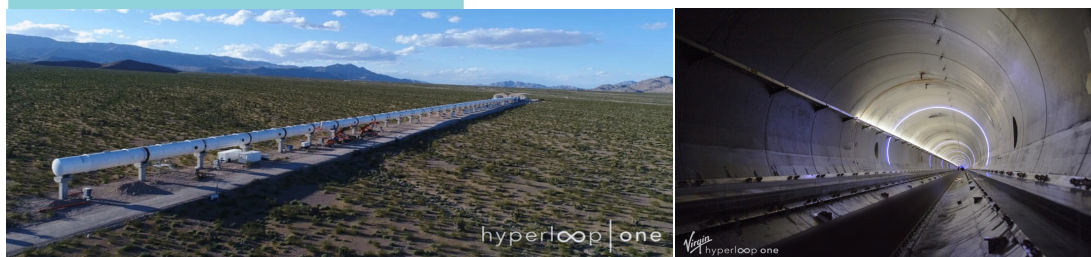
1.1 Virgin Hyperloop One(VHO)

Virgin Hyperloop One(이하 VHO)은 2014년 6월 하이퍼루프 개발을 위해 설립된 회사로서 300명 이상의 직원이 상근하고, 현재까지 총 34건의 기술특허를 미국에 출원하였으며, 이 중 29건은 국제특허(PCT) 심사 중이다. VHO는 2017년 12월 네바다 사막에 500m의 시험선을 <그림 3>과 같이 건설한 후 모형차 주행을

최고 387km/h로 구현하였다. 이 시험선은 선형유도모터(LIM: Linear Induction Motor)방식의 추진과 영구자석을 이용한 전자기유도반발식(EDS: Electro Dynamic Suspension) 부상을 채택하고 있다. VHO는 DP World, Sherpa Capital, Abu Dhabi Capital Group, GE Ventures, 영국철도 Virgin Group, 프랑스 국영철도 SNCF, 러시아 정부기관 Summa, UAE 정부투자기관, 일반 벤처 캐피탈 등으로부터 2019년까지 약 4억 불의 투자를 받아 하이퍼루프 기술개발을 추진하고 있다.

궁극적으로 상용 시속 1,000km/h를 달성하기 위한 점진적 고속화 기술개발 및 테스트베드 구축을 추진하고 있다. 스페인의 일부 지원 하에 2020년을 목표로 스페인 말라가 Bobadilla 연구센터에 탄소섬유 캡슐차량 구성품 개발, 테스트, 검증 등 유럽 인증을 목적으로 건설하고 있다. 2019년 10월에는 Saudi Arabia Economic City Authority(ECA)와 35km 시험 및 인증용 하이퍼루프 트랙 및 연구개발 센터를 인도 Jeddah에 건립하기로 개발 동반자 협정을 체결하였다.

그림 3. VHO의 하이퍼루프 시험선



VHO는 기술개발과 병행하여 세계 각국과 하이퍼루프 노선 건설에 대한 협정을 추진하고 있다. 2019년 하반기에는 미래 대량수송에 대한 홍보를 위해 하이퍼루프 승객용 차량(hyperloop passenger pod: XP-1) 로드쇼를 미국 주요 지역에서 하였으며, 미국의 모든 주에 하이퍼루프 인증센터에 대한 RFP를 제출할 것을 요청하여 17개 주로부터 공식적으로 접수하였다. 현재까지 VHO가 협약 또는 협약 진행 중인 노선 건설 계획은 아래와 같다.

인도 Mumbai - Pune: 160km, 25분(기존 자동차로 3.5시간), 건설에 5~7년 소요, 마하라슈트라 주 정부가 건설을 승인, MOU 체결, 세계 최초 영업노선이 될 것으로 예상

인도 Amritsar - Chandigarh: 233km, 35~40분, 펀자브 주 정부가 비용을 투입, 건설 계획

사우디아라비아 Riyadh - Jeddah: 현재 10시간을 50분으로 감소, 요금은 버스 수준, 2030년까지 12만 4천 개의 하이텍(high-tech) 일자리 창출, 건설비 km 당 \$15m~20m 예상, GDP 40억 불 증가 예상

유럽: 9개의 노선 예상, 7,500만 명, 44개 시, 5,000km, Corsica-Sardinia, 에스토니아-핀란드, 독일, 폴란드, 스페인-모로코, 네덜란드, UK North-south Connector, UK Northern Arc, UK Scotland-Whales 등
 미국: 11개의 노선 예상, 보스턴-소머셋(Somerset), Cheyenne-Houston(기존 17시간을 1시간 45분으로), Kansas City-Columbia-St Louis, Chicago, Columbus, Pittsburgh, Missouri, Texas, Colorado, North Carolina, The Midwest 등

1.2 Hyperloop Transportation Technology(HTT)

Hyperloop Transportation Technology(이하 HTT)는 하이퍼루프 개발을 위해 2013년 11월에 설립된 회사(CEO: Dirk Ahlborn)로, LA에 본사를 두고 약 20~30명 직원을 가지고 공동기금/공동연구방식으로 운영한다. 전 세계 하이퍼루프 관련 기술을 보유한 기관(10여 개국, 800여 명)을 모집, 공동연구를 진행하고 있으며, 현재까지 약 1억 불의 민간펀드를 유치한 것으로 알려졌다. HTT는 에어버스(Airbus) 본사와 프랑스 국립 우주연구소(CNES)가 소재한 유럽의 항공우주 단지인 툴루즈에 3km의 시험선을 건설할 계획을 가지고 있으며, 2018년 4월 13일 툴루즈에서 실물 크기의 하이퍼루프 열차캡슐이 주행할 수 있는 320m 테스트베드 건설을 위한 직경 4m의 아진공 튜브 구조물을 제작해 공개하였다. 2018년 10월 2일에는 길이 32m, 5톤, 28~40인승, 2층 구조를 가진 실물크기의 승객용 캡슐차량 ‘퀸테로 원(Quintero One)’을 공개하였다.

그림 4. HTT의 아진공 튜브 및 캡슐차량 모형



HTT는 세계 각국과 하이퍼루프 노선건설에 대한 협정을 추진하고 있으며, 현재까지 HTT가 협약 또는 협약 진행 중인 노선건설 계획은 아래와 같다.

슬로바키아: Bratislava-Slovakia-Brno-Prague, Vijaywada-Amaravati, Andhra Pradesh Economic Development Board와 하이퍼루프 건설 MOU 체결

인도: Chennai~Bengaluru 간 345km 건설 계획

중국: Tongren(통런) 시와 10km 건설 협정. 통런 교통관광투자공사와 MOU 체결(2018.7), 50-50 합작회사 설립

미국 : Chicago-Cleveland를 28분에 주파하는 노선에 대한 \$0.6mil 타당성 연구 완료

호주 : Sydney-Canberra 건설 계획

UAE : 2018년 4월, UAE 건설 공기업(Aldar Properties)과 하이퍼루프 R&D센터 및 시범노선 건설을 위한 MOU 체결, 시범노선은 아부다비-두바이 간 노선 중 1단계 5km, 통신, 에너지, 진공, 비상안전을 시험하기 위한 노선

1.3. Boring Company

Boring Company는 일론 머스크가 TBM 터널굴착기를 제작하고 터널 건설비용을 최소화하기 위해 설립한 회사이다. 2019년까지 2,330억 불의 투자를 유치하여 LA Hawthorne에 SpaceX 본사와 Boring Company 본사 인근을 연결하는 터널을 건설하고 있다. 이 터널은 2.7마일(약 4.34km) 길이로, 지하 30피트(약 9.14m)에서 16인승 이송차가 270km/h로 주행하도록 설계되었다. 라스베가스 시 정부와는 자율 전기차량용 지하터널 건설을 위한 계약을 체결하여 최고 240km/h, 8~16인승 스케이트 또는 승용 자동차 수송용으로 건설하고 있다. 2021년 CES에서 트랙(1마일 이하 길이)과 이송차(Pod: Tesla sedan 변형, 16인승)를 전시할 계획이다.

이 회사가 미국 내에서 건설을 계획하고 있는 노선은 아래와 같다.

- LA-샌프란시스코 노선 : 400마일(약 643.74km), 35분(기존 자동차로 6시간)
- 워싱턴DC - 볼티모어 : 35마일(약 56.33km), 고속 지하 노선, 뉴욕까지 확장
- 시카고 공항 - 시내 : 16마일(약 25.75km), 지하 노선

1.4. SpaceX

일론 머스크가 2002년 5월, LA에 설립한 항공우주 제조 및 수송회사로서 하이퍼루프 개발에는 직접 관여하지 않고 1마일 길이, 6피트 직경의 아진공 시험 튜브를 건설하여 하이퍼루프 차량 경진대회(Hyperloop Pod Competition)를 2회 주최하였다. 2017년 1월, 제1회 하이퍼루프 차량 경진대회(Hyperloop Pod Competition I)에는 전 세계에서 지원한 총 120개 팀 중 27개의 연구팀을 선발하여 대회를 진행하였으며 경진대회 성능목표는 튜브 내에서 주행하는 차량의 주행거리, 저항력, 가속도 등이고 네덜란드 DELFT팀이 우승하였다. 2019년에는 2회 경진대회를 개최하여 제1회 대회 참가자 및 새로운 참가자 23개의 연구팀을

선발하여 대회를 진행하였다. 이 대회의 주요 성능목표는 주행 차량의 최대속도이며 독일 뮌헨공대 WARR 팀이 최대가속도 1g 및 최대 324km/h로 우승하였다. 이 캡슐차량은 부상하지 않고 차륜 또는 선형모터로 추진되는 것으로 실제 하이퍼루프에는 일부만 적용될 수 있는 기술이다. SpaceX는 앞으로도 하이퍼루프 기술개발에 직·간접적으로 투자할 것으로 예상된다.

2. 캐나다

캐나다 연방정부는 2019년 3월 토론토-몬트리올을 45분에 주파하는 하이퍼루프 노선에 대한 연구 자금지원과 하이퍼루프 기술의 안전 및 고속철도 대비 비용효과를 측정하는 사전 기술타당성 실시계획을 공고하였다. 사전 기술타당성 조사 기간은 낙찰자 선정일로부터 2020년 1월 31일까지이며(BlogTO), 캐나다의 하이퍼루프 벤처기업인 TransPod가 주도적으로 참여하고 있다.

TransPod는 2015년 캐나다 토론토에 설립된 회사로 30여 명의 직원을 보유하고, 2019년까지 북미지역에서 5,800만 불의 투자를 유치한 것으로 알려졌다. 프랑스 생테티엔 국립광업학교와 협력하여 프랑스 Limoges, Draux(드록스)에 3km, 1/2 축소 시험선을 구축하고 있으며, 파리-베르사유 노선을 1시간 이내에 주파하는 신선을 2030년 완성 목표로 추진하고 있다. 유럽의 고속철도보다 30% 저렴한 하이퍼루프 건설이 가능할 것으로 전망하고 있으며, Toronto-Winsor 구간을 고속철도 대비 50% 수준으로 건설할 계획을 가지고 있다.

3. 유럽

EU 집행위원회는 유럽투자프로젝트포털(European Investment Project Portal, EIIPP)에 유럽형 하이퍼루프 프로그램(European Hyperloop Program)을 등재하였다. EIIPP는 투자자 모집을 위해 EU 내에서 진행되고 있는 주요 투자 프로젝트에 대한 정보를 제공하는 웹 기반 정보 플랫폼으로, EU 집행위원회가 유럽 경제성장 및 일자리 창출을 목표로 하는 유럽투자계획(Investment Plan for Europe)의 일환으로 운영하고 있다 (Investment Project).

유럽형 하이퍼루프 프로그램은 R&D 프로그램으로 공공 및 민간의 광범위한 지원을 받아 하이퍼루프 및 관련 구성요소를 개발하고 상용화를 위한 데모 및 인증 테스트 트랙을 완성하는 것이다. 이 프로그램의 목표는 공동 표준화 로드맵 안에서 하이퍼루프 회사 및 공동 개발 파트너와 R&D 협력을 통해 하이퍼루프 비용을 낮추고, 상용화를 위해 개발된 기술을 테스트하고 전시하는 것이다.

이 프로그램의 경제적 근거는 아래와 같이 유럽 하이퍼루프 산업을 육성하고, 규제 범주에 적합한 인증 솔루션을 개발하여 하이퍼루프를 지속가능하도록 하는 것이다.

- 도시를 포용적이고 안전하며 복원력이 있고 지속할 수 있도록 할 것
- 기후 변화와 그 영향에 맞서기 위한 긴급 조치가 용이할 것
- 탄력적인 인프라 구축, 지속적인 산업화 및 혁신 촉진
- 고속도로 및 철도와 같은 기존 교통 인프라와 통합 가능
- 2050년까지 계획된 TEN-T의 50,000키로 핵심 철도(core railway)를 보완

EIPP는 유럽지역의 하이퍼루프 총 시장규모가 약 1조 유로에 이를 것이고, 사회·경제적 편익은 1조 유로 이상으로 예상하고 있다. 프로그램 재원조달의 원천은 PPP(public-private-partnership)이며, 공공 부문과 민간 부문에서 폭넓게 지원받고, 기술 제공자 및 운송 서비스 공급자 등을 포함하는 다양한 자금원이 혼합되도록 하는 것이다.

이 프로젝트를 실현하기 위해서는 다음과 같은 기존 및 잠재적 위험요소를 극복해야 할 것으로 EIPP는 전망한다.

- 하이퍼루프 기초 기술의 대부분이 철도(자기부상) 또는 항공 부문과 유사
- 기술 간 융합, 초고속 무인 제어 시스템에서의 여러 신기술, 새로운 선로 전환 분기기, 타 교통수단과 전혀 다른 탑승 프로세스 등 기술적 도전성
- 하이퍼루프가 정책적 측면에서 길을 찾지 못하여 실현되지 못할 위험성
- 비유럽 솔루션이 시장에 먼저 출시되어 유럽 프로그램의 효과가 떨어질 수 있는 위험성

이 프로젝트의 발기인은 네덜란드 Hardt Hyperloop이며, Hardt는 사업추진을 위해 EU/EIB (European Investment Bank) 자금지원을 일부 받고, 나머지는 외부 투자를 유치하고 있다.

네덜란드 Hardt는 미국의 SpaceX에서 주관한 하이퍼루프 차량 경진대회에서 우승한 DELFT 팀원 일부가 2016년 1월 창업한 벤처기업이며, 2018년 6월 하이퍼루프의 국제기준 및 규제안 설립 파트너십에 참여하고 European Hyperloop Center를 2022년 건설 목표로 추진하고 있다. 네덜란드 스키폴 그룹은 독일 프랑크푸르트-암스테르담 간 450km 노선을 기존 4시간에서 45분으로 단축하기 위해 하이퍼루프로 건설할 계획을 가지고 있다.

프랑스는 독자적인 하이퍼루프 연구개발은 추진하고 있지 않으나, HTT 및 TransPod와 테스트베드 구축 사업에 파트너십으로 참여하여 자국 내에 건설을 진행 중이며, 프랑스 국영철도 SNCF는 VHO에 약 800억 원을 투자하여 미래 철도로서 하이퍼루프 운영을 계획하고 있다.

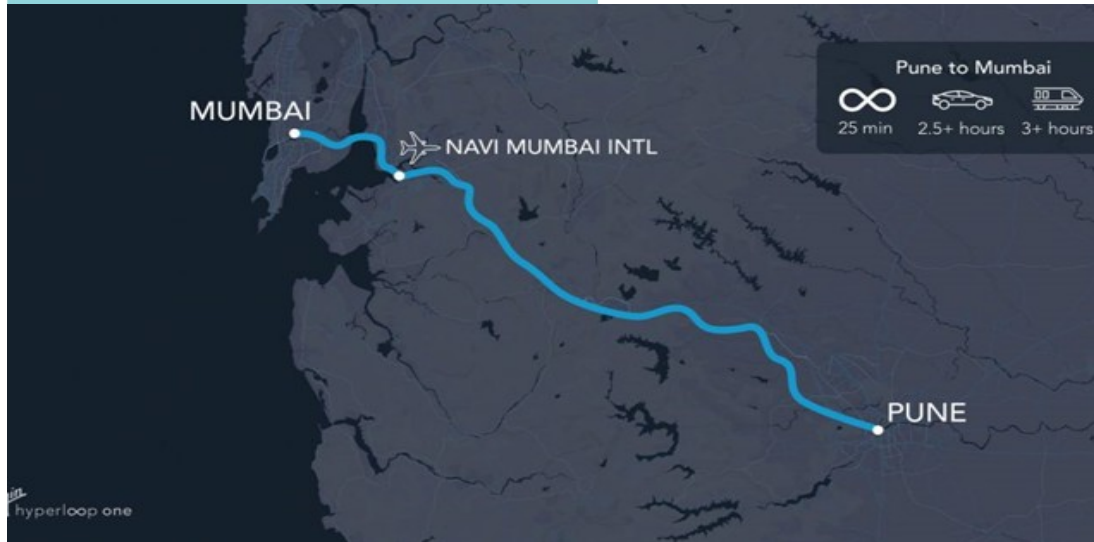
스페인 Zeleros Hyperloop는 2017년도 하이퍼루프 차량 경진대회에 참여한 발렌시아 폴리텍 팀이 만든 벤처기업으로 2018년 6월 하이퍼루프의 국제기준 및 규제안 설립 파트너십에 TransPod, Hardt, Hyper Poland 등과 참여하고, 2019년에 1/4 규모 시제 차량과 테스트 트랙을 계획하는 등 기술개발을 적극 추진하고 있다.

러시아 교통부는 러시아 극동 도시 자루비노(중국 국경에서 18km)에 위치한 숨마(Summa) 항구와 중국 북쪽을 연결하는 화물 노선을 하이퍼루프로 추진할 계획을 가지고 있으며, 300~400억 루블(4.75~6.34억 불)의 건설 비용을 예상하고 있다. 러시아 정부기관인 숨마 그룹은 대형 투자 건설 업체로 러시아 최대의 항구와 건설 업체 및 물류 업체를 소유하고 있으며, VHO와 노선건설에 대한 MOU를 체결하고 VHO에 자본투자를 하였다. 현재까지 러시아의 하이퍼루프 기술개발은 학계를 중심으로 아산공 공력특성에 대한 기초연구가 심도 있게 꾸준히 추진되고 있다.

4. 인도

인도 마하라시트라 주 정부는 자동차로 3.5시간 걸리는 Mumbai-Pune 160km 구간을 25분에 주파할 수 있는 하이퍼루프 건설을 승인하였다. 현재 Mumbai-Pune 구간은 연간 승객수요가 7,500만 명에 달하며, 2026년도에는 1억 3,000만 명으로 증가할 것으로 예상된다. UAE의 DP World(DPW)는 이 프로젝트의 1단계에 5억 달러를 투자하고 VHO, 주정부, 다른 투자자 등과 컨소시엄을 구성하여 추진하고 있다. 주 정부는 하이퍼루프 노선건설을 통해 수십만 명의 고용효과와 360억 달러의 사회-경제적 이익, 새로운 부품 제조의 기회가 제공될 것으로 전망한다. Pune 광역개발청(PMRDA)은 Mumbai-Pune 구간 건설 우선협상자로 VHO를 선정하여 입찰 및 착공을 계획하고 있으며, 건설에 5~7년이 소요될 것으로 예상하고 있다.

그림 5. 인도 Mumbai - Pune 하이퍼루프 노선



5. UAE

UAE 연방정부는 “Energy Strategy 2050”을 통해 총 에너지에서 청정에너지 비율을 25%에서 50%로 향상하고, 발전 탄소 발자국을 70% 감축하며, 2050년까지 1,910억 달러를 절감하는 계획을 수립하였다. 이 계획을 시행하는 수단으로서 하이퍼루프 건설을 적극 추진하고 있다. 2019년 4월에는 UAE의 세계 4대 항만 운영사인 DP World와 고속화물시스템을 건설할 글로벌 기관인 DP World Cargospeed를 창립하기로 계약하였다. 이 회사는 하이퍼루프 튜브 기반 기술을 이용한 상품 운송과 기존 도로, 철도, 항공 수송 인프라를 연결하는 역할을 한다.

두바이 정부는 아부다비-두바이 노선을 하이퍼루프로 건설하기 위한 타당성 조사를 VHO의 지분 일부를 보유한 DP World와 추진하고 있다.

6. 중국

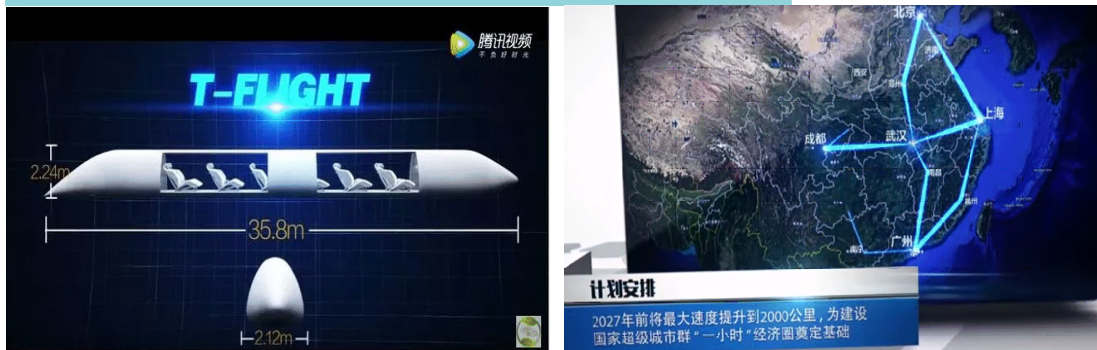
중국 국영 기관인 중국 우주과학공업그룹(China Aerospace Science and Industry Corp, CASIC)은 진공튜브 철도 개발에 대한 중장기 계획을 발표하였다(China Daily). CASIC는 1999년에 설립된 위성, 미사일, 레이더 등의 군수품을 생산하는 공기업으로서 중국형 하이퍼루프인 T-Flight 개발에 대한 3단계 사업 추진계획을 제시하였다.

- 1단계(2020년~2026년): 후베이성 우한 지역 (최고 1,000km/h)
- 2단계(2027년~): 상하이-청두-베이징 구간 (최고 1,235km/h)
- 3단계(시기 미발표): 전 세계 주요 도시 간 (최고 4,000km/h)

※ T-Flight 차량 제원

- 최대 3,680km/h(=마하 3.0)
- 크기(가로×세로×길이): 2.12m× 2.24m × 35.8m
- 무게: 20톤
- 수송인원: 16명(2열 8칸)

그림 6. 중국 우주과학공업그룹의 T-Flight 개념 및 중국내 노선도



중국의 서남교통대(Southwest Jiaotong University)는 중국 정부의 전폭적인 지원하에 1인승 고온 초전도 자기부상 튜브 트레인을 저압에서 50km/h로 주행하는 시험트랙을 수년 전에 구축하였고, 직경 4.5m, 길이 140m, 최고 400km/h의 하이퍼루프 진공튜브 테스트베드를 2018년 말에 구축하였다. 서남교통대는 중국 내 초고속 추진시스템 연구를 위한 국가지정연구실(State Key Lab of Traction Power)을 보유하고 있고,

고속철도의 추진제어장치 연구개발, 자기부상기술을 활용한 차세대 자기부상열차 및 진공튜브열차에 대한 다양한 기술을 연구개발하고 있다. 중국 정부에 최고 1,000km/h로 주행이 가능한 진공튜브열차 시험노선 건설을 2018년에 요청하였고, 중국 정부가 승인하면 3년 내에 건설이 가능하다고 전망한다.

그림 7. 중국 서남교통대의 원형 및 직선형 진공튜브철도 실험장치



III 한국형 하이퍼루프 - 하이퍼튜브 HTX

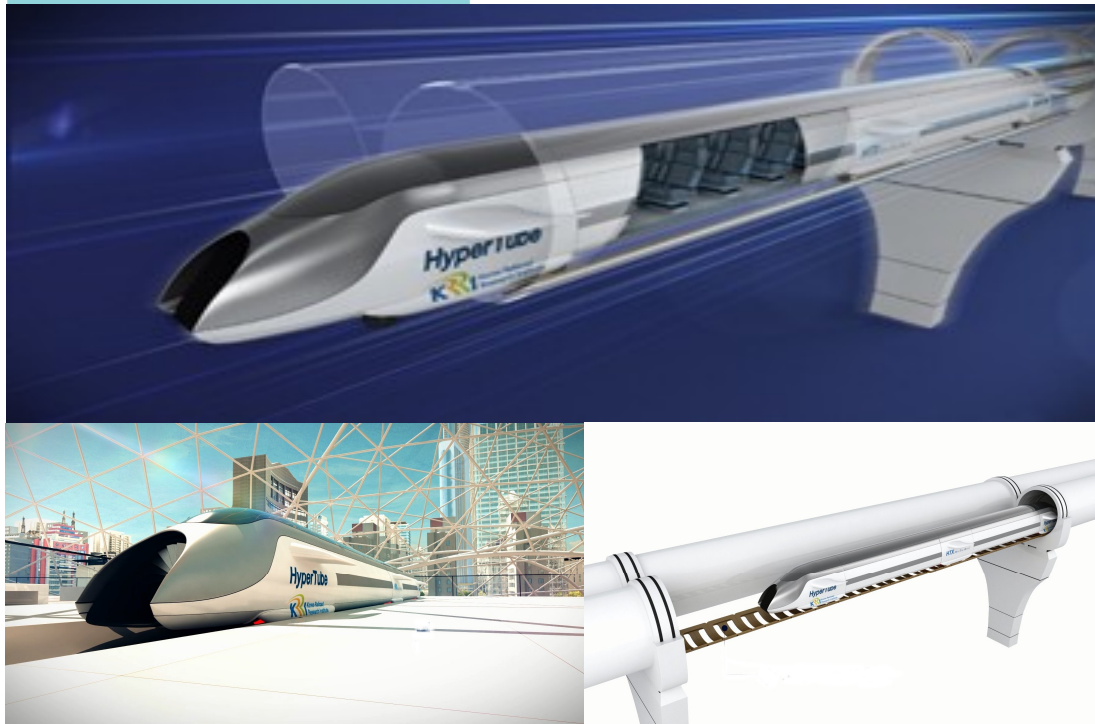
하이퍼튜브 HTX는 Hyper Tube eXpress(HTX)의 단축어로서 과기부 산하 정부출연연구원인 한국철도기술연구원(이하 철도연)이 2009년부터 독자 개발하고 있는 한국형 하이퍼루프 모델명이다. 철도연은 기관 고유사업으로 “초고속 튜브철도 핵심요소기술 기초연구”라는 명칭으로 진공튜브열차에 대한 연구를 시작하였다. 이는, 일론 머스크가 하이퍼루프를 제안한 2013년보다 4년 앞선다.

하이퍼튜브 HTX의 운영개념은 일론 머스크의 하이퍼루프와 유사하지만, 추진 장치와 부상 장치를 포함한 주요 장치가 하이퍼루프와 큰 차이점을 가지고 있다.

1. 하이퍼튜브 HTX의 기술적 특성

하이퍼튜브(HTX: Hyper Tube eXpress)는 0.001기압 이하의 튜브 안에서 캡슐차량(Pod)이 튜브 바닥에서 부상하여 최고 1,200km/h 이상으로 주행하는 시스템이다. <그림 8>은 하이퍼튜브의 기본설계도로서 크게 캡슐차량, 아진공 튜브 인프라, 아음속 부상/추진 운행제어 시스템으로 구성된다.

그림 8. 하이퍼튜브 HTX 기본설계도



HTX 캡슐차량은 아음속(음속에 가까운 최고 1,200km/h의 속도)으로 아진공(진공에 가까운 0.001기압 이하의 공기 상태) 튜브 내부에서 화물을 선적하거나 승객을 탑승시키는 수송체로써 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- 아진공 튜브 내에서 차량이 부상한 상태에서 내·외부의 외란에 대해 정지부터 최대 시속까지 안정적으로 주행하는 기능
- 차량 내부의 기압을 대기압으로 유지하는 경량 고강도 기밀 차체 및 주행저항 최소화 기능
- 승객에게 신선한 공기와 냉·난방을 공급하고, 비상시 산소마스크가 하강하는 등 승객의 안전 체류를 보장하는 기능

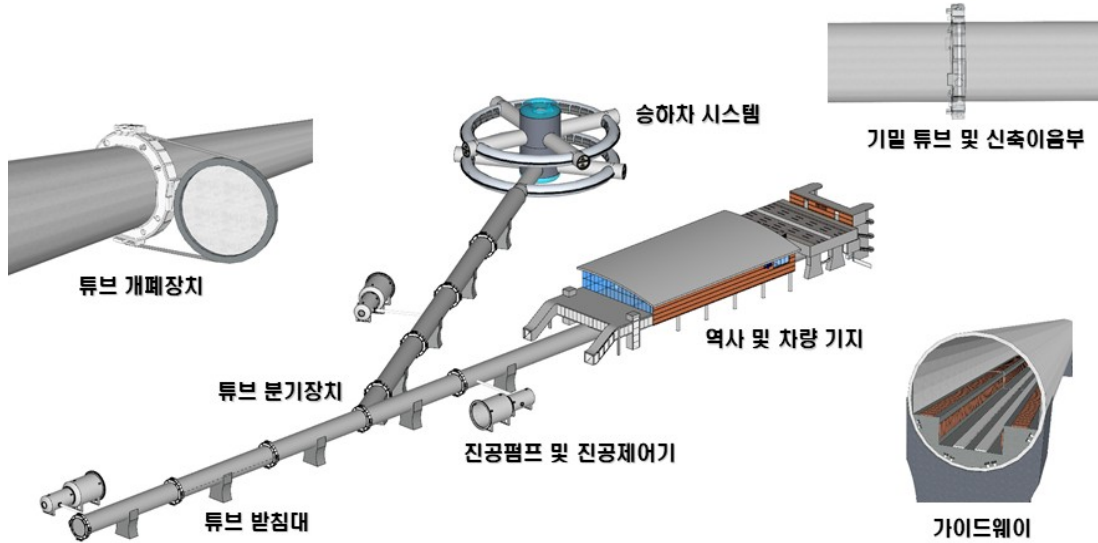
그림 9. 하이퍼튜브 HTX의 캡슐차량



HTX 아진공 튜브 인프라는 0.001기압 이하로 유지하는 기밀튜브, 튜브 내에서 캡슐차량의 주행을 안내하는 가이드웨이, 캡슐차량과 튜브를 지지하는 튜브 받침대, 교량, 터널, 역사, 검수고 등의 선로구축물이며 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- 고강도 경량 기밀 재질 튜브와 기밀 연결부, 열팽창 및 수축에 대비한 신축이음부, 튜브 관로를 차단하고 개방하는 대형 기밀 개폐부 등 기밀을 유지하는 기능
- 캡슐차량이 부상하여 아음속으로 주행하도록 안내하는 가이드웨이 기능
- 캡슐차량의 진로를 변경하거나 본선 합류, 본선 분기를 위한 튜브용 초고속 분기 기능
- 아진공 튜브와 캡슐차량을 지지하고, 캡슐차량 정차 및 정비, 승객의 승하차 기능

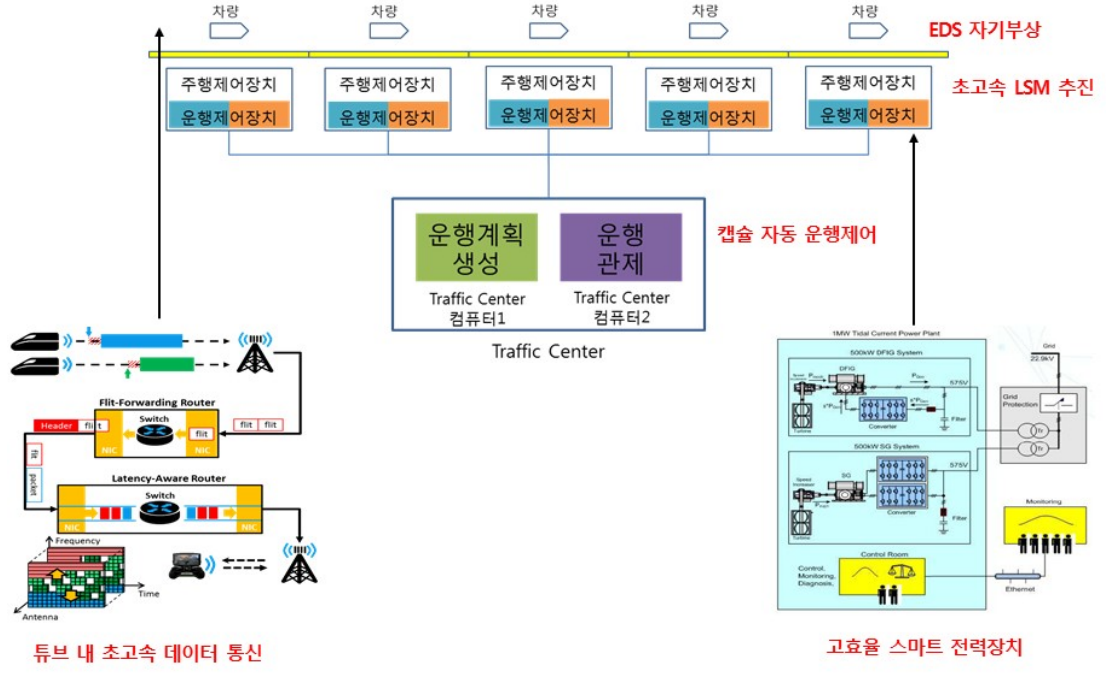
그림 10. 하이퍼튜브 HTX의 아진공 튜브 인프라



HTX 아음속 부상/추진 운행제어 시스템은 튜브 가이드웨이에 설치된 부상 및 추진용 지상 전자코일을 이용하여 캡슐차량을 부상시키고 아음속으로 추진시키며, 다수의 캡슐차량을 정해진 시격(headway)으로 출발시키고 자동으로 운행시키는 제어시스템으로서 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- 캡슐차량에 설치된 초전도전자석과 가이드웨이에 설치된 부상용 전자코일을 이용하여 100km/h 이상에서 캡슐차량을 튜브 표면으로부터 일정 높이만큼 부상시키는 초전도 유도반발식(EDS) 자기부상 기능
- 캡슐차량에 설치된 초전도전자석과 가이드웨이에 설치된 추진용 전자코일을 이용하여 최고 1,200km/h 이상으로 캡슐차량을 추진제어하는 선형동기모터(LSM: Linear Synchronous Motor) 기능
- 튜브 내부에서 주행하는 모든 캡슐차량을 완전 무인자동으로 속도, 위치를 제어하는 기능
- 최고 1,200km/h 이상으로 튜브 내부에서 주행하는 캡슐차량의 운행제어 정보 통신 및 승객의 초고속 이동통신 기능
- 캡슐차량 운행에 필요한 전력을 공급하고 신재생 에너지를 활용하는 기능

그림 11. 하이퍼튜브 HTX의 아음속 부상/추진 운행제어 시스템



HTX는 <그림 12>과 같이 철도기술을 기반으로 교통기술, 전기/통신기술, IoT기술 등 모든 첨단기술의 융합이 필요한 복합 시스템이다.

그림 12. 하이퍼튜브 HTX의 융합기술 분야



HTX의 소요 핵심기술을 6개 기술 분야별로 분류하면 <표 2>와 같다. 도출된 24개의 소요 핵심기술에 대해 국내 기술보유 여부를 분석하면, 아진공 통합설계 기술 등 6개 기술은 국내 미보유한 것으로 파악되고 나머지 18개 기술은 국내 기업 또는 출연연 등이 유사한 연구개발 경험이나 제작 기술을 일부 보유하고 있는 것으로 파악된다.

표 2. 하이퍼튜브 HTX의 소요핵심기술 현황

분야	소요 핵심기술	국내 기술 보유 현황
시스템 엔지니어링 (SE)	국도 /교통 효율화 연계기술	일부 보유
	신교통 운영체계 분석	일부 보유
	아진공 통합설계 기술 및 안전·운영 기술	미보유
	실시간 위험검지 및 자율진단 기술	일부 보유
	시스템 RAMS 및 시험평가 기술	일부 보유
추진 및 부상	초전도전자석 기반 EDS 부상 기술	미보유
	대용량 고온 초전도 전자석 기술	일부 보유
	모듈러 기반 아음속 LSM 추진기술	미보유
캡슐 차량	튜브내 캡슐 차량 주행안정화 기술	미보유
	승객안전장치 설계 기술	일부 보유
	주행저항 최소화 형상 설계 기술	일부 보유
	고강도 경량 기밀 차체 설계 기술	일부 보유
튜브 인프라	아진공 튜브 및 기밀유지 기술	미보유
	경량 고강도 신소재 기술	일부 보유
	대용량 고효율 진공펌프 시스템 설계 기술	일부 보유
	Pedestal 및 교량 설계 기술	일부 보유
	튜브 터널 설계 기술	일부 보유
	튜브 분기기 설계 기술	미보유
	튜브용 역사 /기지 설계 기술	일부 보유
전력시스템	대용량 스마트 급전 및 smart 저장 기술	일부 보유
	무선급전 기술	일부 보유
신호통신시스템	튜브 내 초고속 데이터통신 기술	일부 보유
	자율주행(군집주행) 기술	일부 보유
	아음속 캡슐 운행제어 기술	일부 보유

2. 하이퍼튜브 HTX의 안전성

HTX는 원천적으로 항공기, 자동차, 기차, 선박보다 더 안전한 몇 가지 요소를 가지고 있다. 즉, HTX는 지상에서 튜브 내에서 주행하기 때문에 바람, 눈, 안개, 비 등과 같은 기후환경 요소에 큰 영향을 받지 않는다. 또한, HTX는 일정한 선로에서 완전 무인자율운행을 하므로 안전사고의 가장 큰 요인 중 하나인 인간실수(human error)에 의한 영향이 최소화된 시스템이다.

대중 교통수단 중에서 가장 안전한 시스템인 항공기와 비교하면, HTX는 항공기와 유사한 아진공이라는 대기 환경에서 날개 없는 비행기가 날아가는 것이므로 HTX 캡슐차량이 항공기와 동일한 승객안전장치를 보유하게 되면 기본적으로 안전수준이 항공기와 동일하다고 간주될 수 있다. 그런데, 항공기의 안전사고는 주로 이·착륙, 기후 악화, 인간실수 등에 의해 발생하는 반면, HTX는 이러한 위험원에 대해 거의 영향을 받지 않는다. 따라서, HTX는 항공기보다 안전한 시스템이라고 할 수 있다.

HTX의 안전을 위협하는 주요 위험원(Hazard)과 이에 대한 대책을 분석하면 <표 3>과 같다.

표 3. 하이퍼튜브 HTX의 위험원 분석

위험원(Hazard)	대 책
탑승 승객 위급 상황	관제실과 직접통신 장치 설치, 응급조치키트 설치, 비상요원 대기
동력 공급 중단	목적지 주행에 충분한 리튬이온 배터리 팩 이중화, 안전한 정지를 위한 기계브레이크 시스템 설치
캡슐차량 내 압력저하	작은 경우 목적지 도착까지 충분한 공기통 설치, 중간 경우 산소마스크, 큰 경우 다른 캡슐 비상정지 및 튜브 가압
튜브 내 캡슐차량 정지	앞선 캡슐은 목적지 주행, 뒤편 캡슐은 기계 정지시스템 자동 작동 정지, 차상 전기모터로 자체 구동
튜브 파손	튜브 장착 압력센서가 모든 캡슐의 기계식 비상정지시스템을 작동
지진	방진 설계, 강진시 원격 캡슐 정지
테러 등 인간 관련 사고	항공기 수준의 보안, 고가 튜브 접근성 방지, 이중화 전원 및 진공 펌프
신뢰성	100년 서비스 주기에 대해 상용 항공기 안전기준 이상

3. 하이퍼튜브 HTX에 대한 한국의 기술개발 현황

철도연은 2009년부터 2012년까지 “초고속 튜브철도 핵심요소기술 기초연구”를 통해 수행하여 아진공 튜브 내부의 공력특성을 연구하였고, 2013년부터 2015년까지 “초고속 자기부상철도 핵심기술개발”을 국토부 국가 R&D 과제로 수행하여 550km/h급 초고속 LSM 추진기술과 30톤급 차량의 EMS 부상기술을 연구하였다. 2016년부터는 “아음속 캡슐트레인(하이퍼튜브 HTX) 핵심기술개발” 과제를 과기부 BIG(Big Issue Group) 사업으로 착수하여 아진공 공력설계, 주행 안정성, 기밀 튜브, 아음속 LSM 추진, EDS 부상 등 <표 2>의 국내 미보유 핵심기술을 중심으로 연구하고 있다.

철도연은 그동안 10년 이상의 연구를 통해 아래와 같은 하이퍼튜브 HTX의 소요 핵심기술의 일부를 확보하였고, 향후 지속적인 연구를 통해 세계 최고 수준의 하이퍼튜브 핵심기술을 확보할 예정이다.

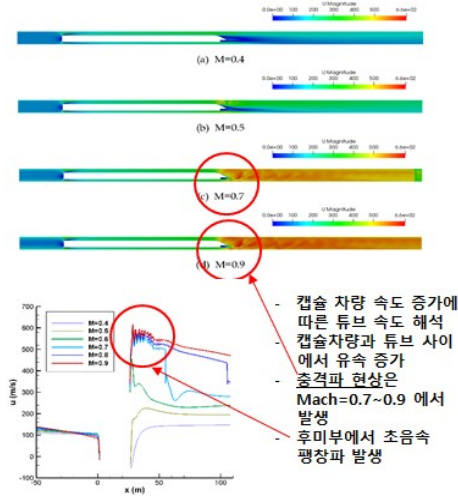
3.1. 아진공 공력통합설계 및 기밀 튜브 기술

아진공 튜브 내부에는 희박하지만 공기가 여전히 존재하므로 캡슐차량이 주행할 때 공기유동의 영향으로 특정 속도에 도달할 때 초킹(choking)현상이 발생하여 급격한 공기저항 상승현상이 존재한다. 이 공기저항은 튜브 내 압력의 크기, 캡슐차량의 속도, 캡슐차량 단면적의 튜브 단면적에 대한 비율(BR: Blockage Ratio)에 따라 영향을 받는다. 이 세 개의 파라미터 상관관계를 해석하여 최적 파라미터를 도출하는 것은 HTX를 기본설계할 때 필수 과정이다.

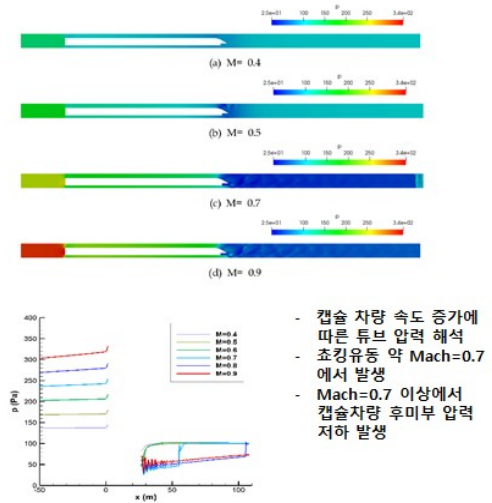
<그림 13>은 단면적비(BR)가 0.36인 캡슐차량이 0.001기압의 아진공 튜브 내부를 주행할 때 튜브 내의 유체 속도와 압력분포를 해석한 것이다. 캡슐차량 속도 증가에 따른 튜브 내의 유체 속도 분포를 보면, 마하 0.7 이상에서 차량 후미부에서 초음속 팽창파가 발생하는 것을 알 수 있다. 차량 속도 증가에 따른 튜브 내의 유체 압력 분포를 보면, 동일하게 마하 0.7 이상에서 초킹유동이 발생하고 차량 후미부의 압력이 저하되는 것을 알 수 있다.

그림 13. 하이퍼튜브 HTX의 아진공 공력해석

- 캡슐차량 튜브 내 주행시 유체 속도 분포
 - Mach 수 = 0.4 ~ 0.95 (490 ~ 1,150km/h)



- 캡슐차량 튜브 내 주행시 유체 압력 분포
 - 튜브 압력 : 0.001atm, 단면적비=0.36



2010년에는 1/52로 축소된 차량모형으로 0.2기압의 저진공 튜브 내에서 700km/h의 주행 시험을 세계 최초로 수행하여 튜브 내 캡슐차량의 공력특성 파라미터를 규명하였다. <그림 14>는 튜브 내 공력특성 시험장치를 나타낸다. 2020년에는 최고 1,000km/h 이상, 튜브 내 압력 0.001기압 이하까지 가변 제어되는 시험장치를 새로 제작하여 캡슐차량 형상 최적화와 파라미터 변화에 따른 각종 공력특성을 시험할 예정이다.

그림 14. 하이퍼튜브 HTX의 공력시험장치



2018년에는 철재를 이용한 아진공 튜브의 실대형 시제품을 개발하여 튜브의 진공도, 연결부의 기밀유지, 진공펌프 및 진동제어 특성 등을 연구하였으며, 0.001기압에서 10시간 이상의 기밀유지 성능을 확인하였다. <그림 15>은 직경 2.6m, 총길이 10m (4m 튜브와 6m 튜브 연결)의 아진공 기밀튜브와 진공 펌프시스템 시제품을 나타낸다.

그림 15. 하이퍼튜브 HTX의 아진공 기밀튜브 시제품



3.2. 초전도 전자석 기반 자기부상 및 아음속 추진기술

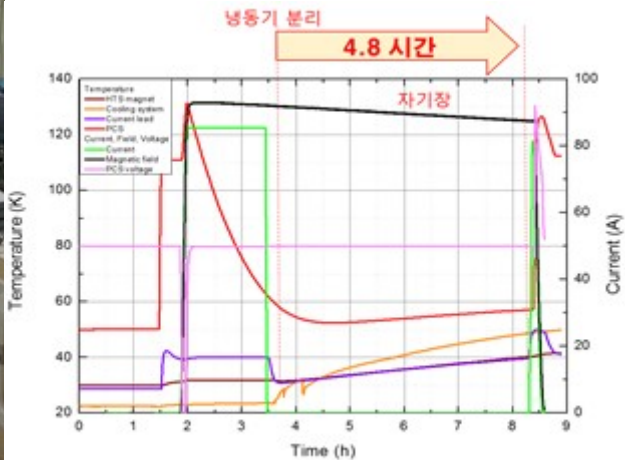
철도연은 550km/h급 LSM 추진기술과 EMS 부상기술을 한국기계연구원과 공동으로 연구하여 <그림 16>과 같이 28톤의 자기부상차량과 150m 단거리 LSM 시험선을 2015년에 구축하였다. 이를 통해 하이퍼튜브 HTX에 필요한 대용량 LSM 추진제어 기반기술과 상전도 전자석을 이용한 30톤급 자기부상 기반기술을 확보하였다.

그림 16. 550km/h급 LSM 자기부상차량 및 단거리 시험선로



초전도전자석은 상전도 전자석에 비해 단위 질량 당 자기력이 매우 크고 전력소모가 매우 작기 때문에 초전도전자석을 이용한 대용량 추진장치 및 부상장치에 대한 연구가 시작되었다. 초전도전자석이 단점은 절대온도 35 Kelvin 이하의 극저온을 만들기 위한 냉동기가 필수이므로 냉동기 중량이 차량의 중량 증가를 야기시킨다는 점이다. 만일 냉동기가 없어도 몇 시간 동안 초전도 현상을 유지하는 초전도전자석이 개발된다면 HTX와 같이 몇 시간 이내에 운행을 마치는 캡슐차량용에 충분히 활용할 수 있다. 이에 따라 차량에 냉동기를 탑재하지 않고 차량 운영시간 동안 초전도 기능을 발휘하는 냉동기 분리형 초전도전자석에 대한 연구가 2016년부터 착수되었다. 2019년에 냉동기 분리형 고온 초전도전자석 시제품을 개발하였고, 냉동기 분리 운전시간 4.8시간을 달성하였다. 4.8시간은 서울-부산 HTX 노선일 경우 4회 이상 왕복 운행이 가능한 시간이며, 운행시간이 끝난 초전도전자석은 기지에서 배터리 교체와 유사한 방법으로 교체된다. 냉동기 분리형 초전도전자석이 캡슐차량에 적용될 경우 차량 추진장치 중량이 60% 이상 감소된다. <그림 17>은 냉동기 분리형 초전도전자석의 시제품과 냉동기 분리 운전 성능시험 결과를 나타낸다.

그림 17. HTX용 냉동기 분리형 고온 초전도전자석 시제품 및 성능시험



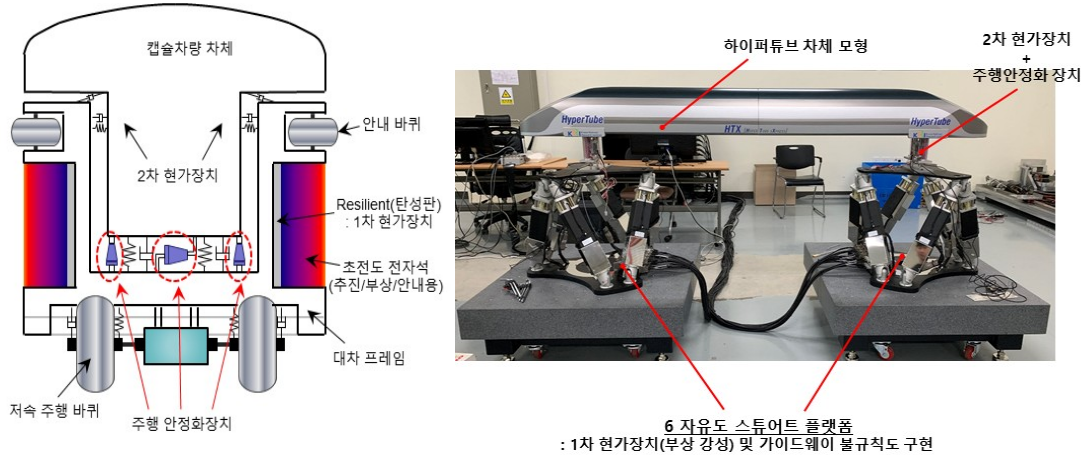
캡슐차량을 최고 1,200km/h 이상의 아음속까지 선형동기모터(LSM)로 속도제어하기 위해서는 고전압과 대용량의 전력이 필요하므로 한 대의 인버터로는 제어가 불가능하고 여러 개의 모듈을 연결해서 사용해야 한다. 이에 따라 2016년에 모듈러 기반 아음속 인버터 제어 연구를 착수하여 2019년에 모듈러 인버터 시제품을 개발하였다. 모듈러 인버터와 전차레일의 조합시험을 실시하여 5레벨 모듈러 인버터 효율 96%를 달성하였다. <그림 18>은 LSM 추진제어장치 시제품 및 제어특성 시험결과를 나타낸다.



3.3. 튜브 내 아음속 캡슐차량 주행안정화 기술

캡슐차량이 튜브 내에서 주행할 때 LSM에 의한 추진력, EDS에 의한 부상력, 튜브 내에 잔류하고 있는 소량의 공기에 의한 공기 저항력, 각종 장치의 불규칙도에 따른 외란, 승객의 이동에 의한 외란 등 수많은 작용력을 받게 된다. 이러한 모든 작용력에 대해 캡슐차량은 규정된 주행 안정성과 승객의 승차감을 유지해야 하므로 캡슐차량 차체 하부에는 <그림 19(좌)>와 같이 능동형 주행 안정화 장치와 현가장치가 필수적으로 장착되어야 한다. 이에 따라 2016년부터 캡슐차량에 대한 동역학적 모델링과 동특성 해석을 수행하여 주행 안정화 장치의 실험모델을 개발하였다. 2019년에는 1/10 축소 주행 안정화 장치와 하이퍼튜브 차체 모형을 제작하고, 6자유도로 가진할 수 있는 스튜어트 플랫폼을 제작하여 <그림 19(우)>와 같이 주행안정화 장치에 대한 동특성 상사시험을 수행하였다. 시험결과 완전 능동형 주행안정화 장치를 적용할 경우 차체의 진동 저감량이 4dB로 나타났다.

그림 19. 캡슐차량 주행안정화 장치(좌), 1/10 축소형 동특성 상사 시험장치(우)



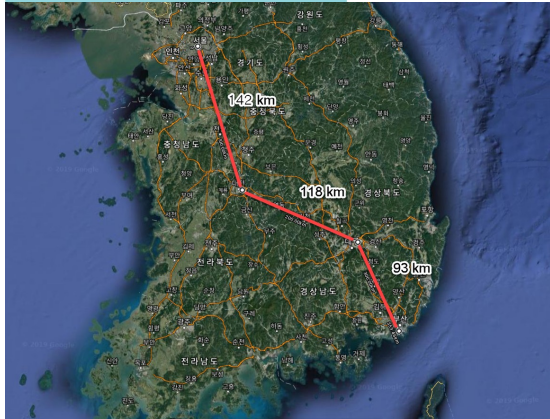
2020년도 이후에는 EDS 부상장치, LSM 추진장치, 캡슐차량 주행 안정화장치 등 장치별 핵심기술을 조합하여 시험하는 단거리 테스트베드를 구축하여 조합시험을 실시할 예정이다.

4. 하이퍼튜브 HTX의 건설 및 운영비용 분석

하이퍼튜브 HTX의 건설비와 운영비를 산정하기 위해 <그림 20>과 같이 가상노선을 설정하였다.

- 구간: 경부선(서울~부산)
- 정차역(4곳): 서울 ~ 대전 ~ 대구 ~ 부산
- 설계최고시속: 1,220km/h
- 가속: 0.5 g 이하
- 최소 곡선반경: 정거장 간 23.5km 이상

그림 20. HTX 가상노선



구 간	거 리 (km)
서울 - 대전	142
대전 - 대구	118
대구 - 부산	93
총 연장	353

HTX의 건설비 산정은 한국개발연구원 KDI의 ‘도로 및 철도부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정보완 연구(제5판)’에서 제시한 고속철도 건설단가(2009년 호남고속철도 실시설계 자료 분석 추정자료)를 기준으로 하였다. 고속철도 건설단가를 기준으로 HTX의 특징(시공 기면 폭 감소, 차량 하중 감소, 터널 내공 단면 감소 등)을 반영하여 노반에 대한 공사비를 추정하였고, E&M 시스템 및 정거장은 하이퍼튜브와 기존 철도 대비 구성요소, 규모, 용량 등과 비교하여 추정하였다.

동일한 HTX 가상 노선에 기존 KTX 산천을 건설할 경우의 건설비는 “유신기술회보 VOL.23” 자료를 인용하여 산정하였다. 그 결과 동일한 노선 및 수송량에 대해 HTX의 킬로당 건설비는 265억원, KTX산천의 킬로당 건설비는 492억원으로 산정되었다.

HTX의 운영비 산정은 아래와 같은 가상 운영 시나리오에 대해 KDI의 예비타당성 조사 표준지침에 따라 운영 인력비, 동력비, 유지관리비, 일반관리비, 감가상각비 등을 산정하였다.

- 수송 수요: 2030년 경부선 승객 예측 수요
- 운전 시격: 집중시간대 30초, 비집중 시간대 1분 30초
- 왕복 운전 시간: 단방향 19.72분(서울-부산)
- 총운행 횟수: 집중 시간대 2 × 단방향 120회/1시간, 하루 2시간
비집중 시간대 2 × 단방향 40회/1시간, 하루 20-2시간
- 하루운행거리: 681,600km (1,920 × 355)

동일한 노선 및 수송력에 대해 KTX-산천의 운영비는 철도공사의 2018년도 운영자료를 이용하여 산정하였다. 그 결과 연간 HTX의 운영비는 1,289억 원, KTX-산천의 운영비는 연간 2,736억 원으로 산정되었다. HTX의 건설비는 KTX-산천의 54%, 연간 운영비는 KTX-산천의 47% 수준에서 가능할 것으로 분석되었다.

표 4. HTX와 KTX의 건설비 및 운영비 비교

항목	하이퍼튜브 HTX	고속철도(KTX-산천)	HTX/KTX-산천
건설비(억 원/km)	265	492	54%
운영비(억 원/년)	1,289	2,736	47%

5. 하이퍼튜브 HTX의 기대효과

5.1. 경제적 기대효과

미국의 VHO는 2016년에 전 세계를 대상으로 하이퍼루프의 수요자를 파악하기 위해 하이퍼루프 원 글로벌 대회(Hyperloop One Global Challenge)를 개최하여 사업제안 공모를 시행하였다. 그 결과 <그림 21>과 같이 100여 개 국가 2,600여 개 노선이 사업을 제안하였다(Virgin Hyperloop One).

제안된 노선은 하이퍼루프의 잠정 수요로 파악되므로 미래 시장규모로 간주할 수 있다. 이들 노선의 평균 길이를 하이퍼루프 원 글로벌 대회의 준결승에 오른 35개 노선의 평균 길이로 산정하고, 앞 절에서 분석한 HTX의 건설비를 적용하면 전 세계 시장규모는 5경 90조 원이 된다. 이들 노선이 향후 50년간 건설된다고 가정하면 연간 세계 시장규모는 약 1,000조 원이 된다. 우리나라가 4대 기술개발 선도자가 되어 25%의 시장점유율을 가진다면 약 250조 원의 시장 창출 및 수출 효과가 기대된다. HTX 경부선 1개 노선을 건설했을 때 국내 수입대체효과는 6조 원, 생산유발효과는 15.7조 원, 부가가치 유발효과는 11.7조 원, 고용유발효과는 157,167명으로 추산된다(하이퍼루프의 가치공학적 이해).

그림 21. 하이퍼루프 건설 노선 제안 지역



The Virgin Hyperloop One Global Challenge kicked off in May 2016 with a call for comprehensive proposals to build hyperloop networks connecting cities and regions around the world. More than 2600 teams registered, and we narrowed the field down to the 35 strongest proposals. The Challenge drew broad support from government leaders, and unleashed bold ideas from some of the world's most creative companies, engineers, and urban planners. The final assessment was difficult but, along with our team of expert judges, we selected the ten routes below as winners of the Global Challenge.

(하이퍼루프 글로벌 대회 참가 규모)



국토연구원은 아래와 같은 국내 KTX 고속철도 개통의 사례에서 보듯이 HTX가 개통되면 국민경제에 미치는 영향이 더욱 클 것으로 전망한다.

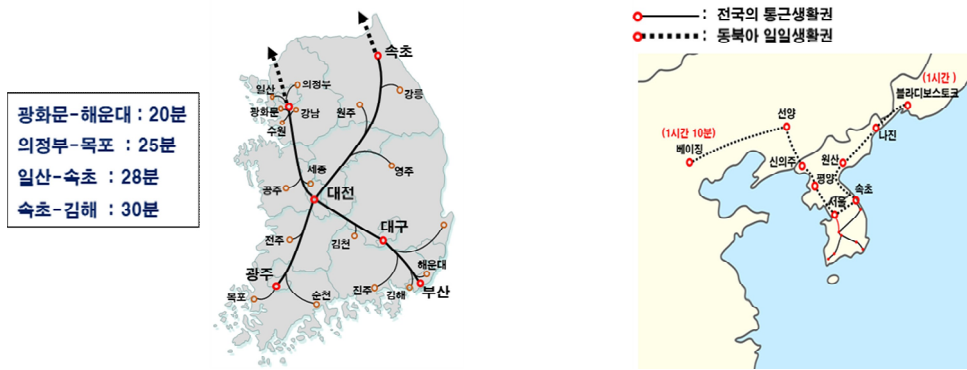
- 호남 KTX 개통 후 광주송정역 주변(반경 500m 이내)에서 소비한 서울 거주자들의 카드 지출액은 71.7% 증가했으며, 서울 용산역 주변에서 소비한 광주 거주자들의 카드 지출액 43.2% 증가
- 광주 거주자의 용산역 요식업 카드 지출 20.7% 증가
- 서울 거주자의 송정역 요식업 카드 지출 16.0% 증가, 숙박업 8.7% 및 쇼핑 6.9% 증가

5.2. 사회적, 기술적 기대효과

〈그림 22(좌)〉와 같이 한국을 HTX로 X자 네트워크로 구축하면 전국의 주요 도시 간을 30분 이내로 이동할 수 있게 되므로 전국의 통근생활권이 가능하다. 이것은 국민의 생활 패러다임을 바꾸게 하여 수도권 집중 및 지역 불균형으로 인한 경제적, 사회적 문제 해소와 국토의 균형발전을 가능하게 할 것으로 기대된다.

또한, 블라디보스토크까지 1시간, 베이징까지 1시간 10분 만에 갈 수 있어, 동북아 일일생활권 구축도 가능할 것으로 기대된다. 동북아(한국, 일본, 중국, 러시아) 지역은 인구 7억 5천만 명, GDP 약 8조 7천억 달러의 거대경제권이며, HTX 네트워크 구축을 우리가 주도하게 되면 우리의 동북아 영향력이 대폭 증가할 것으로 기대된다.

그림 22. HTX 국내 네트워크 예시(좌), HTX 동북아 네트워크 예시(우)



출처: 헤럴드 경제, 2019

하이퍼튜브 HTX의 핵심기술은 자동차, 항공 등 타 산업기술 파급효과가 상당히 클 것으로 예상되며, 첨단융합기술은 아래와 같은 다양한 제품과 서비스산업 비즈니스 모델로 스피노프가 가능하다.

- 아음속 이동체 환경극복형 모바일 라우팅 서비스
- 우주 건축물 건설 재료 솔루션
- 지하공간 효율적 활용을 위한 미래형 고강도 밀폐 구조물 건설 기술
- 전기선박 직류배전/추진 시스템
- 대규모 신재생 연계 MV 배전망
- 쾌적하고 건강한 생활을 위한 실내 공기질 관리 서비스

환경측면에서 보면, HTX는 고속철도와 항공기와 비교해 온실가스 배출, 에너지 효율, 소음 측면에서 가장 우수한 수송시스템이므로 수송 분담율 개선을 만큼의 에너지소비 및 온실가스 감축이 가능하고 미세먼지 방출도 최소화된다.

6. 하이퍼튜브 HTX의 국가연구개발 방향

한국은 세계 4번째로 고속철도차량 HEMU(해무)를 독자 개발함으로써 빠른 추종자로서 세계 최고 기술 수준에 도달하였으나, 4차 산업혁명 시기에는 선진국과 차별화되고 세계를 선도하는 교통 신기술의 선도자(First Mover)가 되어야 한다.

하이퍼튜브 HTX는 아래와 같이 기술·시장의 불확실성이 높고, 민간의 연구개발 및 시장 창출역량이 부족하여 정부 주도의 기술공급과 시장 창출의 역할이 필요하다.

- 아직 전 세계적으로 실용화 개발사례가 없는 First Mover 기술로 위험도가 매우 높아 민간 기업이 투자하기에는 어려운 상황
- 기존 해외장비의 국산화가 아닌, 세계 최초 상용화를 목표로 개발하는 First Mover 기술로 Only One, Number One 기술
- 기존의 철도시스템의 문제점을 보완하고 개선하는 수준이 아닌, 수송시스템의 새로운 영역을 개발하는 기술
 - 기술개발을 위해 초전도 기술(부품), 초고속 자기부상철도 기술(교통), 첨단 건설 및 진공 시스템 기술(건설), 나노 소재 기술(소재), 대용량 전력시스템 기술(전력 인프라), 초고속 이동통신 및 제어기술(정보통신) 등 정부 출연연이 보유한 다양한 기술 분야의 융복합 필요
- 미래 신교통 수단으로 국내기술의 자주성을 확보하고 향후 글로벌 기술 선점의 기회로 활용할 필요

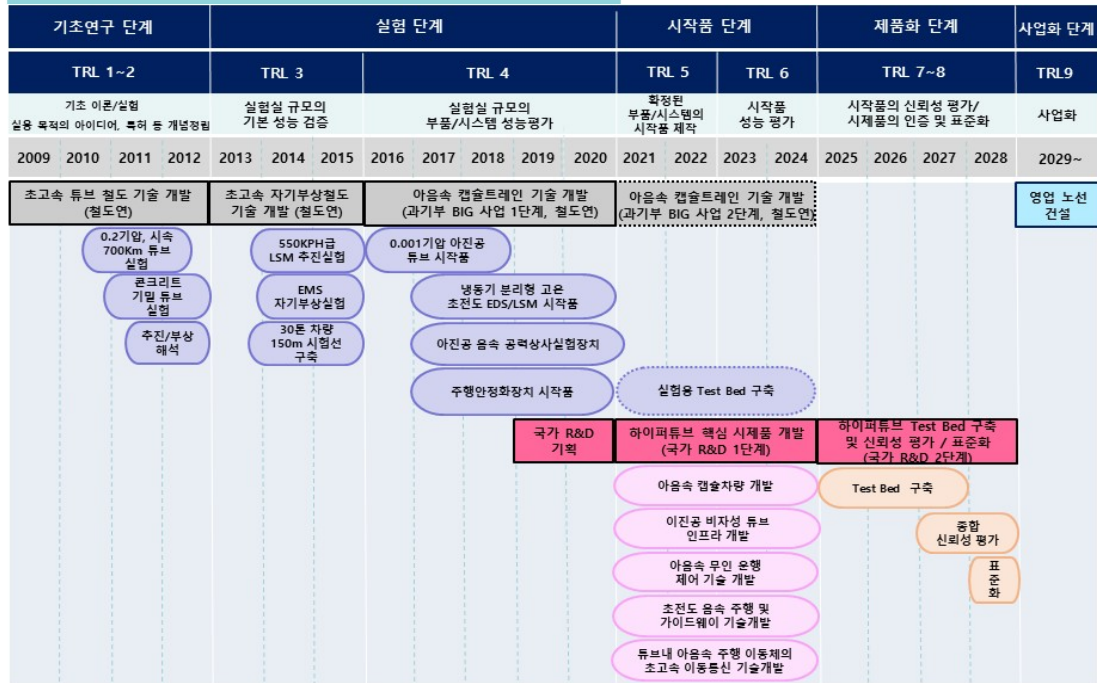
HTX는 직경 1,500km의 교통권역에서 거점 간 수송수단으로 활용되는 것이 최적이므로 1단계로 세계의 주요 도시(검정색 점)를 직경 1,500km의 교통권역(붉은색 원)으로 묶은 광역교통 네트워크를 구축하는데 활용하고, 2단계로 주요 거점을 연결(파란색 선)하는 대륙 간 수송수단으로 활용하는 등 <그림 23>과 같은 글로벌 네트워크 시장을 주도하는 전략이 필요하다.

그림 23. 하이퍼튜브 HTX의 글로벌 네트워크 시장 예상도



한국은 지난 10년 동안 하이퍼튜브 HTX에 대한 연구개발이 이루어져 일부 분야에서 세계 최고수준에 도달하였으므로 이러한 세계 우위 기술을 최대한 살리는 방향으로 국가 연구개발 로드맵을 수립하고 시기적절한 투자를 하는 전략이 필요하다. <그림 24>는 현재까지 한국에서 개발된 기술의 연구개발 단계와 향후 가야 할 국가 R&D의 연구개발 단계를 연계한 하이퍼튜브 연구개발 로드맵(안)을 제시한 것이다. 국내에서 2020년에 TRL 4단계의 기술이 확보될 것으로 예상되므로 국가 R&D는 TRL 5~8단계를 개발하는 것이 필요하다. 국가 R&D 1단계는 세계 우위를 가지는 핵심장치를 개발하여 국제협력을 통해 글로벌 시장에서 활용되도록 하고, 국가 R&D 2단계는 국제협력이 어렵거나 실용화를 위한 테스트베드 구축이 불가피할 때 추진되도록 하는 리스크 최소화 단계별 추진전략이 필요하다.

그림 24. 하이퍼튜브 HTX의 연구개발 로드맵(안)



IV 맺음말

하이퍼튜브 HTX는 철도기술, 자율주행기술, 전기/통신기술, IoT기술 등 모든 첨단기술의 융합이 필요한 복합 시스템이므로 다양한 전문분야 연구진이 필수적이다. 이러한 융합기술을 공동연구하기 위해 2017년 1월에 한국철도기술연구원, 한국기계연구원, 한국전기연구원, 한국전자통신연구원, 한국건설연구원, 한국교통연구원 등 6개의 정부출연연구소와 UNIST, 한양대 등 2개 학계가 “하이퍼튜브 공동 융합연구를 위한 업무협약”을 체결하였으며, 2018년 9월부터 예비타당성 급 대형 국가 R&D사업을 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)로부터 위탁받아 공동으로 기획하고 있다. 이 기획은 하이퍼튜브 HTX를 세계 최초로 실용화 개발하여 미래 신 교통분야에서 대한민국이 선도자(First Mover)가 되도록 함으로써 세계 시장을 선점하여 신성장 산업 및 신고용을 창출하는 것을 목적으로 하고 있다.

기획을 통해 제시될 연구개발 로드맵에 따라 하이퍼튜브가 실용화되어 전국 주요 도시가 네트워크로 연결 되면 전국이 30분대 통근생활권으로 묶이게 되어 지역 간 교육과 문화 격차 문제가 해소될 수 있고 국토의 효율적 이용이 가능하다. 예를 들면, 해운대에 집을 가지고 서울로 출퇴근이 가능하게 되는 등 생활의 패러다임이 바뀌게 될 것이다. 하이퍼튜브는 목포-제주, 한-중, 한-일 해저터널 노선에 활용할 수 있고, 동북아 네트워크 구축 및 유라시아 대륙 연결 노선 등에도 활용이 가능하다. 개발된 핵심요소기술은 초고속 엘리베이터, 고정밀 부품 이송, 컨테이너 및 소화물 자동 수송시스템 등 다양한 산업분야에도 활용이 기대된다.

현재 한국은 0.001기압의 아진공 튜브 기술, 아음속 LSM 추진기술, 고온 초전도 전자석 기반 EDS 부상기술, 아음속 주행 안정화 기술 등에서 선진국과 동일한 수준 또는 일부 앞서가는 기술을 보유하고 있다고 판단된다. 우리의 보유역량을 극대화하여 미래 초고속 신 교통분야에서 세계 기술을 선도하고 세계 시장을 선점하여 신산업 및 신고용 창출을 위해서는 정부주도의 과감한 연구개발 투자가 시기적절하게 이루어져야 할 것으로 사료된다.

저자_ 이관섭(Kwan Sup Lee)

• 학력

바우만 공과대학교 제어계측 박사
한국과학기술원 기계공학 석사
한양대학교 기계공학 학사

• 경력

現) 한국철도기술연구원 신교통혁신연구소 소장
前) 국방과학연구소 선임연구원

참고문헌

1. J.H. Ausubel, C. Marchetti, P. Meyer, "Toward green mobility: the evolution of transport", European Review, Vol.6, No.2, 137-156
2. UN DESA(2018), "The World's Cities in 2018"
3. Hyperloop commercial feasibility analysis, U.S. Department of Transportation, 2016
4. The Architect's Newspaper, 『Elon Musk receives exploratory permit for D.C. to NYC Hyperloop』 by Jonathan Hilburg, 2018.2.21.
5. BlogTO, 『A hyperloop between Toronto and Montreal is moving closer to reality』 by Tanya Mok, posted 2019.3.
6. Investment Project EIPP-20180473, European Hyperloop Program, 2019.9.2.
7. China Daily, 『Chinese company fixes design of hyperloop traveling at 1,000 km/h』, Updated 2018.10.12.
8. Travel Time Comparisons, "Hyperloop Commercial Feasibility Report", 2016
9. 하이퍼루프의 가치공학적 이해(2017)
10. Virgin Hyperloop One 홈페이지, <https://hyperloop-one.com/global-challenge>
11. 헤럴드 경제 (2019. 6. 27. "서울~부산 20분...10년 내 KTX 반값으로 가는 시대 열린다")
12. 미래창조과학부, "기술이 세상을 바꾸는 순간 - 미래세상을 만들어가는 혁신적 기술의 확산", 225-231, 2017.4



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 January vol.6 no.1