

2022
국토교통
R&D 대표성공
사례집

세계를 선도하는 기술
안전이 보장되는 국토



국토교통부



국토교통
과학기술진흥원

CONTENTS

01 8

기존 콘크리트는 가라,
이제는 콘크리트도
경쟁력 있는 시대

세계 최고 수준의 '200년 가는
슈퍼콘크리트' 기술 및 상용화

02 13

주공간장 교량의 설계-
시공-관리를 아우르는
패키지 기술 개발

세계 최대 주공간장 교량기술
개발 및 해외사업 수주 성공

03 19

세계 최고 수준의 자율
주행차 안전성평가 및
기술지원 테스트베드

자율주행 실험도시 K-City

04 24

충전 걱정 없는 무선충전
전기자동차 상용화

충전플러그를 꽂지 않아도 안전
하고 편리하게 충전할 수 있는
무선충전 전기자동차 상용 기술

05 30

국내 화물운송 환경에
적합한 연비개선형 화물
운송장비 개발

도로화물 운송 효율화를 위한
트레일러 경량화, 공기저항 저감
및 운송용기 최적화 기술개발

06 35

세계 최고 수준의
대용량 2층 전기버스
국산화

한국형 대용량 2층
전기버스 선행차량 개발

07 40

장애인과 비장애인이
자연스럽게 더불어
여행하는 동행버스 개발

휠체어 사용자가 탑승가능한
고속시외버스 개조차량
표준모델 및 운영기술

08 45

경량 프리캐스트 패널을
이용한 원지반 부착방식의
절토부 옹벽 개발

원지반 부착방식의 패널
설치를 통한 공정개선 기술

09 50

장경간 철도교를
구축할 수 있는
강합성거더 개발

장경간 강합성거더
(SBarch 합성거더)의
철도교 실용화 기술개발

10 56

3차원 건물골조
상세설계 원천기술
개발로 시장 선점

골조 상세설계 및
시공관리를 위한 3차원 BIM
설계도구 빌더허브 개발

11 61

에너지제로와 이롭게
지속 가능한 노원
이지(EZ)하우스

국내최초 세계최고 수준
제로에너지 주택단지
(노원 EZ하우스) 구현

12 66

간단한 시공, 적시적소
배치, 주거취약계층을 위한
모듈러 공공임대 주택

저출산 고령화 대응
주거취약 계층을 위한 모듈러
공공임대주택 개발

13 71

LTE 기반 철도통합
무선통신시스템 상용화

LTE 기반 철도통합
무선통신시스템 상용화

14 76

더 빠르고 더 안전한
고속열차 실용화

동력분산형 차세대 고속열차
(HEMU-430X) 실용화 달성

15 81

차세대 항공교통수단,
소형항공기 시대 열린다

4인승 소형항공기급 인증기
(KC-100 나라온)

16 86

이제 국내에서도 가능하다!
항공기 제동장치
정밀시험장비 국산화

중대형 항공기 제동장치
정밀시험장비(Dynamometer)
국산화 개발

17 91

항공위성서비스(KASS)
하위시스템 구축 완료

초정밀 GPS 보정시스템
(SBAS), 韓-佛 국제공동개발

18 97

활주로 내 이물질 자동
탐지 시스템 구축

활주로 내에 발생하는
이물질을 자동으로 탐지확인 및
수거할 수 있는 시스템

19 102

'10분이면 OK', 스마트
시티 데이터허브 기반
코로나 19 시스템 구축

스마트시티 데이터 허브 활용
코로나 역학조사 지원시스템

20 107

도시 문제를 해결하고
지속 가능하게 만드는
'IoT 네트워크'

초대규모(Massive) IoT
네트워크 시스템 개발

2022년 국토교통
R&D 대표성공 사례집

세계를 선도하는 기술!
안전이 보장되는 국토!

국토교통 R&D 사업투자 현황

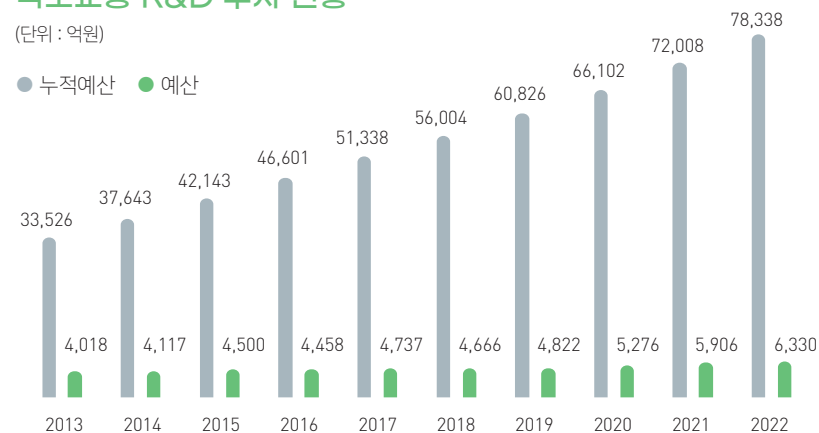
'22년 국토교통 R&D 중점 투자전략



국토교통 R&D 투자 현황

(단위 : 억원)

● 누적예산 ● 예산



'13~'22년까지 총 투자액

48,830

(단위 : 억원)

국토 R&D_ **178,968**백만원교통 R&D_ **266,301**백만원기반구축 R&D_ **127,034**백만원기후대응기금_ **60,757**백만원

'22년 R&D 분야별 예산

건설 기술 분야

57,214

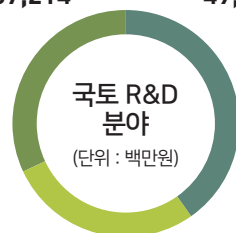
플랜트 기술 분야

49,774

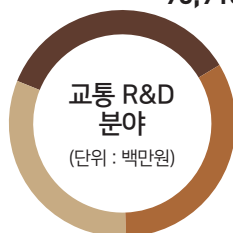
교통/물류 기술 분야

93,913

기반 기술 분야

127,034

도시건축/공간정보/
스마트시티 기술 분야
71,980



항공 기술 분야 **88,068**
철도 기술 분야 **84,320**



기후변화 대응 기술 분야
60,757

국토교통 R&D 사업별 투자 및 주요 성과 현황('18~'22)

건설기술연구사업



예산 **1,763**억 원
논문 **780**건
특허출원·등록 **637**건
기술실시계약 **105**건

주거환경연구사업



예산 **681**억 원
논문 **192**건
특허출원·등록 **196**건
기술실시계약 **2**건

항공안전기술개발사업



예산 **934**억 원
논문 **28**건
특허출원·등록 **69**건
기술실시계약 **10**건

도시건축연구사업



예산 **1,179**억 원
논문 **511**건
특허출원·등록 **490**건
기술실시계약 **37**건

철도기술연구사업



예산 **2,453**억 원
논문 **267**건
특허출원·등록 **648**건
기술실시계약 **100**건

플랜트연구사업



예산 **830**억 원
논문 **166**건
특허출원·등록 **166**건
기술실시계약 **12**건

교통물류연구사업



예산 **1,802**억 원
논문 **331**건
특허출원·등록 **621**건
기술실시계약 **52**건

국토교통기술사업화지원사업



예산 **1,609**억 원
논문 **119**건
특허출원·등록 **649**건
기술실시계약 **125**건

국토공간정보연구사업



예산 **1,032**억 원
논문 **105**건
특허출원·등록 **159**건
기술실시계약 **7**건

국토교통기술촉진연구사업



예산 **2,010**억 원
논문 **1,332**건
특허출원·등록 **1,326**건
기술실시계약 **67**건

20대 성과별 상세내용

2022년 국토교통
R&D 대표성공 사례집

- 01 세계 최고 수준의 '200년 가는 슈퍼콘크리트' 기술 및 상용화
- 02 세계 최대 주경간장 교량기술 개발 및 해외사업 수주 성공
- 03 자율주행 실험도시 K-City
- 04 충전플러그를 꽂지 않아도 안전하고 편리하게 충전할 수 있는 무선충전 전기자동차 상용 기술
- 05 도로화물 운송 효율화를 위한 트레일러 경량화, 공기저항 저감 및 운송용기 최적화 기술개발
- 06 한국형 대용량 2층 전기버스 선행차량 개발
- 07 휠체어 사용자가 탑승가능한 고속시외버스 개조차량 표준모델 및 운영기술
- 08 경량 프리캐스트 패널을 이용한 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 개발
- 09 장경간 강합성거더(SBarch 합성거더)의 철도교 실용화 기술개발
- 10 골조 상세설계 및 시공관리를 위한 3차원 BIM 설계도구 빌더허브 개발
- 11 국내최초 세계최고 수준 제로에너지 주택단지(노원 EZ하우스) 구현
- 12 저출산 고령화 대응 주거취약계층을 위한 모듈러 공공임대주택 개발
- 13 LTE 기반 철도 통합무선통신시스템 상용화
- 14 동력분산형 차세대고속열차(HEMU-430X) 실용화 달성
- 15 4인승 소형항공기급 인증기(KC-100 나라온)
- 16 중대형 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamometer)국산화 개발
- 17 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS),韓-佛 국제공동개발
- 18 활주로 내에 발생하는 이물질을 자동으로 탐지확인 및 수거할 수 있는 시스템
- 19 스마트시티 데이터허브 활용 코로나 역학조사 지원시스템
- 20 초대규모(Massive) IoT 네트워크 시스템 개발

01

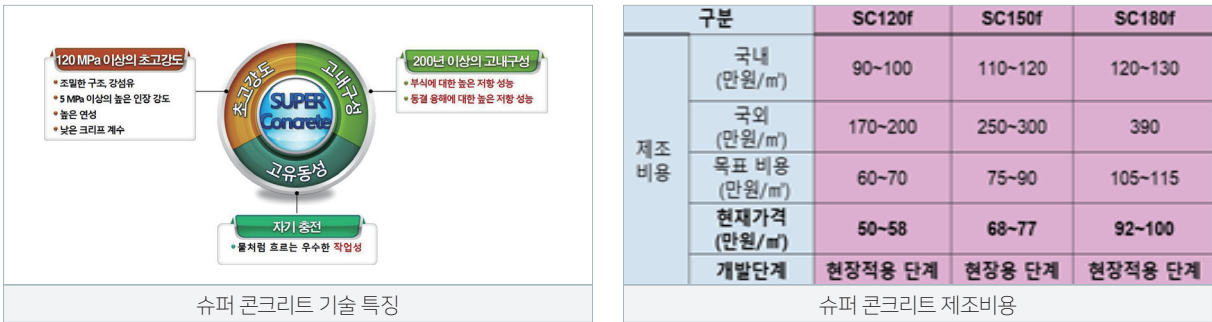
기존 콘크리트는 가라,
이제는 콘크리트도 경쟁력 있는 시대

세계 최고 수준의 ‘200년 가는 슈퍼콘크리트’ 기술 및 상용화

- 과제명
- | SUPER Concrete 활용 저비용, 장수명, 고품질 구조물 개발
- 연구기간/연구비
- | 2013.12. ~ 2019.12. / 313억원
- 연구책임자
- | 한국건설기술연구원 김병석

성과소개	• 보다 더 단단하고, 부식되지 않는 초고성능콘크리트로 철근과 유사한 강도와 지속력을 지닌 세계 최고 수준의 콘크리트
기술 수준	• 세계 최고 수준의 압축강도(80~180MPa) • 기존 콘크리트(강도 20~40MPa, 수명 50년) 대비 강도 5배, 수명 4배(약 200년) • 세계 최고수준의 인장강도인 19MPa(기존의 1.3~1.6배)
파급효과	• 압축강도 180MPa급 국외 비용 390만원/㎥ 대비 제조비용 83만원/㎥(약 20%) • 사장교 건설시 공사비 10% 절감 • 구조물 내구수명 4배(200년까지) 증진으로 국민 안전 보장 - 콘크리트 구조물 수명 50년에서 기대 수명은 200년까지 증가 • 탄소배출량 30% 절감을 통한 탄소중립 이바지 - 기존 콘크리트 건축물 대비 중량 30% 이상 저감, 철근량 대폭 절감 - 40MPa 콘크리트 1톤 생산시 0.965톤 발생하는 이산화탄소량을 최대 0.290톤(30%)까지 절감
성과 활용처	• 춘천대교(레고랜드 진입교량, 세계 최초 UHPC 도로 사장교) • 울릉도 코스모스 리조트(세계 최초 UHPC 건물, 철근 없는 건물) • 고덕대교(세계 최대 경간장 콘크리트 사장교, 2023년 완공) • 미국 Hawkeye UHPC Bridge(국내 기술로 시공한 미국 내 유일한 교량)
성공 요인	• 끝없는 실험을 통한 안정된 수축량 확보 • 강섬유, 생산장비 등의 국산화를 통한 생산단가 절감 • 실용화를 위한 설계·시공 지침 마련 및 해외 영문 지침 구축

장애 요인	• 계속되는 연구 실패 및 중복연구에 대한 기피 현상
극복 방안	• ‘세계 최고 기술 확보 및 신기록 달성’이라는 목표 설정 • 실패를 두려워하지 않는 도전 정신과 포기하지 않는 열정으로 무장
향후 발전 방향	• 콘크리트 기술력의 우위 유지를 위한 후속 연구 필요



성과 정의(What)

- 슈퍼콘크리트란 무엇인가요?
- 슈퍼콘크리트란 구성 재료를 미세화하고 시멘트를 포함한 결합재의 물리화화학적 수화반응¹⁾을 극대화해 시멘트 조직을 치밀하게 하고, 여기에 작은 직경의 고탄성 강섬유를 혼입해 강도를 높인 콘크리트입니다. 쉽게 설명하자면 기존 콘크리트보다 더 강하고 내구수명도 오래가는 콘크리트로 세라믹에 가까운 신개념 콘크리트입니다.

연구배경(Why)

- 슈퍼콘크리트를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?
- 국내 건설기술의 경쟁력 확보와 더욱 안전하고 강한 콘크리트를 만들기 위해 본 연구를 진행하였습니다.
- 가격 경쟁력과 기술성이 탁월한 혁신적인 콘크리트를 개발하여 실용화한다면 국내 건설사의 해외 건설시장 진출의 견인차가 될 수 있기 때문에 슈퍼콘크리트라는 신재료를 만들고, 구조물로 활용할 수 있는 기술개발을 추진했습니다.

1) 수화반응 : 시멘트가 물과 반응하여 시멘트가 단단하게 굳는 과정(양생 이라고도 함)

성과 창출 과정(When/How)

• 슈퍼콘크리트를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- 초기에 현장적용 실적을 내야 하는 압박 속에서, 재료개발과 구조물 설계, 기존 마련을 동시에 진행하며 활발한 피드백을 통해 과제를 진행하였습니다. 기존에 없던 새로운 프로세스를 적용하여 연구진들에게 어려움이 많았지만, 미국·유럽·일본 등 건축 강대국과 경쟁해야 하는 상황에 여유를 찾을 수는 없었습니다. 연구진들은 초기에 많은 어려움과 실패를 경험하였습니다. 하지만 적극적인 개발과 설계, 실험이 진행되어 단시간에 슈퍼콘크리트 기술 확보와 구조물 설계 더 나아가 새로운 기준을 정립하게 된 묘수가 되었습니다.

• 슈퍼콘크리트 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 현장에 적용하는 과정에서 실험실에서는 경험하지 못했던 수많은 어려움에 부딪히고 시행착오를 피할 수 없었으나, 그때마다 연구진 서로 간의 진솔한 토론과 격려, 포기하지 않는 불굴의 도전의식, 우리 기술에 대한 믿음을 통해 난관을 헤쳐 나갈 수 있었습니다. 연구진들의 간절한 마음과 팀워크, 실패를 두려워하지 않는 도전 정신과 포기하지 않는 열정으로 무장한 것이 가장 큰 성공의 요인이라고 생각합니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 고성능 콘크리트의 약점은 매우 큰 수축량입니다. 콘크리트는 물을 넣어서 만들기 때문에 굳어가는 과정에서 물이 증발하고 시멘트가 화학반응을 일으키며 수축하는데 고성능 콘크리트는 일반 콘크리트보다 수축량이 50% 이상 더 커 철근과 함께 사용하기 어려웠습니다. 하지만 우리 연구진은 수없이 많은 배합 시도와 7천 회가 넘는 재료시험을 통해서 결국 철근과 같이 사용할 수 있는 안정된 수축량을 확보할 수 있었습니다.

- 또한 고성능 콘크리트는 가격이 너무 비싸다는 단점이 있습니다. 일반 콘크리트 가격이 10만원/m³인데 비해 프랑스산 고성능 콘크리트는 40배가 넘는 400만원/m³ 상당이었습니다. 따라서 경제성 향상을 위해 가격의 50%를 차지하는 강섬유와 생산장비를 국산화하였으며, 기존의 강섬유 형상비를 조절하여 섬유 투입량을 25% 줄일 수 있었고, 궁극적으로 세계 최저 비용의 초고성능 콘크리트인 슈퍼콘크리트 생산이 가능하도록 만들었습니다.

- 슈퍼콘크리트의 실용화를 위해 필수적인 초고성능 콘크리트에 대한 구조설계·시공지침 국문 32종과 해외 진출을 위한 영문 지침 4종을 제시하였으며, 개발된 국문 및 영문판 슈퍼콘크리트 구조설계지침을 국내외 교량 및 건축물 건설에 활용하였습니다. 이같이, 첨단 재료기술과 핵심 설계 및 제작 기술의 체계적인 융복합을 통해 세계 최고 수준의 콘크리트 구조물 건설기술개발을 성공적으로 완수하였습니다.

성과 효과(Where)

• 슈퍼콘크리트가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 슈퍼콘크리트의 최대 장점은 세계 최고 수준이라는 것입니다. 세계 최고 수준의 압축강도(80MPa~180MPa)를 지니고 있고, 슈퍼콘크리트는 5배, 수명은 4배가 증가하였습니다. 특히 인장강도는 현재 외국에서 사용하는 콘크리트의 1.3~1.6배까지 증가했습니다.

- 재료의 국산화 · 최적화에도 성공했습니다. 고가의 강섬유와 고성능 나노물질을 국산화하여 가격을 내리고 최적의 배합비를 찾아 사용량을 줄였습니다. 이를 통해 사장교의 경우 구조물의 중량이 30% 감소하고 공사비 역시 10% 절감할 수 있었습니다.

- 슈퍼콘크리트는 환경보호에도 이바지하고 있습니다. 기존 일반 콘크리트 대비 슈퍼콘크리트 적용시 중량 30% 이상, 철근량을 크게 절감시켜 40MPa 콘크리트 1톤 생산시 0.965톤 발생하는 이산화탄소량을 최대 30%까지 절감시키는 효과가 있어 이를 통해 2050 탄소중립 실현에 기여하고 있습니다.

- 기존 강재와 콘크리트의 단점인 유지관리의 불편함, 미관 측면의 한계 등을 극복하여, 도시 인프라의 아름다움과 유지관리 최소화, 장수명화, 공간 확보를 향상시켜 새롭고 심미적인 스마트 도시 구현에도 기여할 수 있습니다. 춘천대교와 울릉도의 힐링스테이 코스모스 리조트가 대표적인 사례이며 두 사례 모두 미연방도로청 주관 국제 UHPC 혁신상 중 인프라부문과 빌딩부문 단독수상이라는 업적을 달성하여 세계시장을 선도하는 퍼스트 무버로서의 지위를 확보했습니다.

향후계획(Will)

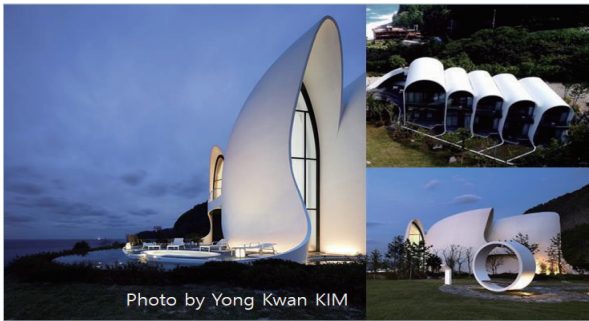
• 슈퍼콘크리트가 발전하기 위해 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 각국의 노력 끝에 이제 막 이 분야에서 세계 선두에 서기 시작했고 시장 수요도 충분히 있습니다. 그러나 R&D를 통해 지속적으로 추가 개발을 하지 않으면 비교 우위를 유지해 나가기가 거의 불가능합니다. 2019년에 종료된 'SUPER Structure 2020'의 2단계 후속연구 사업을 통해 진정한 세계선도 기술로 자리매김할 수 있도록 '80~180 MPa급 콘크리트의 범용 재료·구조기술 및 설계기준 개발'을 추진하고 신설 구조물뿐만 아니라 보수·보강·교체 등 타 영역에 대한 연구가 필요합니다.

성과 현장적용 사례



세계 최초의 초고성능 콘크리트 도로 사장교, 춘천대교 (2017)



세계 최초의 초고성능 콘크리트 셸 건축물, 울릉도 힐링스테이 리조트 (2017)

연구자 한마디



세계 최고가 되기 위해 수많은 고난과 역경을 헤쳐왔습니다. 다른 이들은 ‘세계최고 기술 확보 및 월드 트랙 레코드 달성’이 무모한 꿈이라고 했지만 우리 연구진은 실패를 두려워하지 않는 도전 정신과 포기하지 않는 열정으로 무장하여 열심히 달려왔습니다. 절대 포기하지 않는 집념으로 죽기살기로 매달린 결과, 결국 세계 최고의 자리에 올라 웃을 수 있게 되었습니다. 이를 이루기 위해 겪은 어려움과 시행착오는 모두 ‘축적의 시간’이 되어 우리를 강하게 하였습니다. 이 경험을 바탕으로 앞으로도 세계 최고를 유지하기 위해 힘쓸 것입니다.

R&D 주요 성과물

논문 • 총 145건 (SCI/SCI(E) 논문 37건, 비SCI 논문 108건)

현장적용 • 총 20건 (국외 4건, 국내 16건, 추진 및 예정 2건 포함)

수상실적 • 국가연구개발 우수성과 100선 선정(2020)
• 미국 UHPC Innovation Awards 인프라 및 빌딩부문 각각 단독 수상(2019)
• 국토교통부 해외건설 우수사례 경진대회 우수상(2018)
• 2020년 국토교통 R&D 우수성과

지식재산권 • 특허등록 33건, 신기술 지정 1건, S/W 21건

02 주경간장 교량의 설계-시공-관리를 아우르는 패키지 기술 개발

세계 최대 주경간장 교량기술 개발 및 해외사업 수주 성공

- 과제명** | 초장대교량 사업단
케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발
ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재활용 기술 개발
- 연구기간/연구비** | 2008-12-26 ~ 2015-12-25 / 413억 원
2016-09-26 ~ 2021-09-25 / 106억 원
2013-06-01 ~ 2019-01-31 / 133억 원
- 연구책임자** | 한국도로공사 송필용, 한국도로공사 노한성, 한국과학기술원 손훈

성과소개 • 세계 최대 주경간장 교량을 설계 시공 유지관리를 책임지는 패키지 기술 개발

기술 수준 • 세계 최고 수준 강도의 교량용 강선 강연선

<기존 기술과의 강도 비교>

기존기술	강선(MPa)	강연선(MPa)
국내	1,960	2,160
국외(일본/미국/유럽)	1,960	2,160
R&D성과	2,100	2,400

- 3차원 변위 측정 : 수직 ±20mm, 수평 ±10mm, 동특성 측정 가능한 GNSS기반 교량 계측시스템 설계
- 한계상태설계법 도입을 통한 공사비 10~15% 절감

- 파급효과**
- 본 사업을 통해 해외 초대형 프로젝트를 수주하여 국내 중소기업의 케이블교량 유지관리 기술이 해외진출 할 수 있는 발판을 마련
 - 교량용 케이블의 기존 최고 강도인 1,860MPa보다 강도를 15~30% 높인 국내 개발 교량용 케이블을 통한 기술 자립과 공사비 절감 효과가 클 것으로 기대
 - 고효율 케이블 가설공법을 통해 건설한 이순신대교의 경우 약 200억원의 공사비 절감을 실현하였고 이를 바탕으로 우리나라의 제2 남해대교, 터키의 보스포루스 3교 등의 교량 건설에 참여

성과 활용처 • 이순신대교, 울산대교, 미안마 우정의 다리, 터키 보스포루스 3교 등

- 마지막으로 GNSS를 기반으로한 교량 모니터링 시스템입니다. 이전까지는 설계와 시공에 관한 사업의 수주가 대부분이었지만 관리에 관한 사업은 거의 없는 상태였습니다. 하지만 GNSS기반의 수직 $\pm 20\text{mm}$ 에서 수평 $\pm 10\text{mm}$ 까지 세밀한 교량거동의 모니터링이 가능한 시스템을 설계하였습니다. 그 덕에 교량 계측을 통한 유지 관리가 가능해져 비로소 설계-시공-관리까지 가능한 패키지 기술이 완성될 수 있었습니다.

성과 효과(Where)

• 세계 최대 주경간장 교량 설계 시공 유지관리 패키지 기술의 우수성을 설명해주세요.

- 과거 장대교량사업단이 수주에 성공한 주경간장 교량 설계 시공 유지관리 패키지 기술이 담긴 '베트남 밤콩교 계측시스템 구축사업'은, 총 연장 870m 사장교인 밤콩교의 유지관리를 위한 정밀한 계측시스템을 구축하는 사업입니다. 본 교량에 적용되는 범지구 위성항법시스템(GNSS)³⁾ 기반 케이블 교량 모니터링 기술은 교량의 특성 개소에 GNSS 계측기를 설치하여 3차원 변위를 측정하는 기술로서, 교량의 실시간 거동을 $\pm 10\text{mm}$ 까지 매우 정밀하게 분석할 수 있다는 우수성을 띄고 있습니다. 또한, 사용자 중심 확장형 계측시스템은 프로그램 개발자의 도움 없이도 교량 관리자가 교량 계측시스템을 수정/관리 할 수 있는 시스템으로, 프로그램 수정에 따른 계측데이터의 손실 및 추가 개발비용을 최소화 할 수 있다는 장점이 있습니다.

• 세계 최대 주경간장 교량 설계 시공 유지관리 패키지 기술을 통한 파급효과를 말씀해주세요.

- 과거 초장대교량사업단에서 개발한 케이블교량 통합 유지관리시스템이 베트남 밤콩교, 말레이시아 페낭 2교 등에 적용되었습니다. 그간 토목분야 국내기업의 해외진출은 시공이나 일부 설계를 위주로 이루어져 왔으나, 이번 케이블 교량 유지관리 기술이 최초로 해외 수주에 성공하면서 설계부터 유지관리까지 건설의 전 과정이 패키지로 해외진출을 할 수 있는 교두보를 마련한거죠. 교량 설계-시공을 이어 유지관리 분야까지 섭렵하게 되면서 성공적으로 해외시장 안착하는 쾌거를 이루었고, 이를 통해 국내 건설기업의 글로벌 위상을 제고하며 해외수주 확대와 일자리 창출에 큰 영향을 미칠 것으로 기대합니다.

- 국내에서는 다수의 교량현장(이순신대교, 울산대교, 단등교 등)에 적용되었으며, 해외에서는 베트남 외에도 터키 제3 보스포루스교, 칠레 차카오교 및 브루나이 텀부룽교 등 다양한 곳에 진출하여 괄목할 만한 성과를 거두고 있습니다.

향후계획(Will)

• 세계 최대 주경간장 교량 설계 시공 유지관리 패키지 기술의 발전방향이 어떻게 될까요?

- 최근 장대교량사업은 교량설계기술의 발전, 고성능 재료와 첨단기공법의 개발로 강진과 태풍 등 극한환경으로 인해교량건설이 어려웠던 지역에서 케이블교량 건설 추진이 점차 활성화되고 있으며, 중국, 동남아, 중남미 등 신규 시장이 활발히 형성되고 있습니다. 따라서 적극적인 해외진출을 위해 기술과 가격 경쟁력 확보에 힘써 글로벌 경쟁력을 강화하도록 하겠습니다.

3) GNSS(Global Navigation Satellite System) : 인공위성을 이용해 지구 전역에서 움직이는 물체의 위치, 고도, 속도 등을 계산하는 위성항법시스템

성과 현장적용 사례



터키 보스포루스 제3대교 건설 모습(2015)



국내 이순신대교(2012)

연구자 한마디



세계 최대 주경간장 교량 설계 · 시공 · 유지관리 패키지 기술을 개발하여 국내 사업 뿐만 아니라 해외 초대형 프로젝트의 수주에도 상당수 성공하였습니다. 또한 본 성과를 통해 국내 중소기업의 케이블 교량 유지관리기술의 해외진출 기회를 얻게 되어 여러모로 의미가 깊은 사업이 되었습니다. 이는 모두 각자의 위치에서 남모르게 힘써주신 연구 참여자들의 땀과 노력으로 일군 성과입니다. 다시한번 이번 자리를 빌어 함께 힘써주신 연구원들에게 심심한 감사를 전해드립니다.

R&D 주요 성과물

논문

- 초장대교량 사업단
 - SCI 논문 33건 일반학술지 43건
- 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발
 - SCI 논문 54건 일반학술지 46건
- ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재활용 기술 개발
 - SCI 논문 56건 일반학술지 42건

현장적용

- 초장대교량 사업단 - 2건
- 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발 - 2건

수상실적

- 초장대교량 사업단
 - 2014년도 국가연구개발 우수성과 100선 선정
 - (사)대한토목학회 기술상
 - 2014 국토교통기술대전 장관표창
 - 초장대교량사업 유공 한국도로공사 사장표창
- 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발
 - 콘크리트학회 기술상
 - 강구조학회 공로상
 - 한국구조물진단유지관리공학회 기술상
 - 국토교통부장관 기관표창
 - 국토교통부 스마트건설 챌린지 2020 2등
 - 서울대학교 공과대학 우수논문상
 - (사)한국콘크리트학회 우수논문 발표상
- ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재활용 기술 개발
 - 한국 BIM학회 논문상

지식재산권

- 초장대교량 사업단
 - 등록논문 66건, S/W 41건
- 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발
 - 등록논문 31건, S/W 66건
- ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재활용 기술 개발
 - 등록논문 52건, S/W 10건

03

세계 최고 수준의 자율주행차 안전성평가 및 기술지원 테스트베드

자율주행 실험도시 K-City

-  **과제명** | 자율주행자동차 안전성 평가기술 및 테스트베드 개발
-  **연구기간/연구비** | 2016년 6월 ~ 2019년 6월 / 103억원
-  **연구책임자** | 한국교통안전공단 자동차안전연구원 홍윤석

성과소개	• 다양한 형태의 도로 환경을 조성하고 실제와 유사한 교통환경을 시뮬레이션하여 자율주행차의 기술과 안전성을 평가하는 테스트베드
기술 수준	• 세계 최초로 5G 통신망과 함께, LTE, WAVE 환경 구축으로 초고속·대용량 통신을 활용한 자율협력주행, 인포테인먼트 기술개발 가능 • 다양한 도로환경(5종)에서 발생 가능한 36가지 시나리오 재현((美) M-City(23가지 평가), (日) J-town, (中) Nice City(17가지 평가)) • 세계 최초 자율차 실험도시 미국 M-City(3.8만평) 대비 2.7배 규모(11만평)
파급효과	• 국내 자율주행 연구기관에 시설을 무상 제공함으로써 민간의 기술개발을 지원하여 개발 비용 절감 및 기술경쟁력 강화를 지원 • K-City를 중심으로 자율주행차 관련 산업간의 상호 협력이 용이 - K-City 내 ‘자율주행차 데이터 공유센터’를 운영하여 연구개발 주체 간 네트워크 및 기술력 강화를 유도
성과 활용처	• 자율주행차 R&D의 안전성평가 테스트베드
성공 요인	• 국내 자율주행 법·제도 및 안전성 평가 기술개발을 선도 • 평가기준 국제화 선도(NCAP, WP29 국제기구 기준안 협의)
장애 요인	• 자율주행 테스트베드 구축은 전문적인 시설 및 노하우와 막대한 예산이 요구되기 때문에 민간에서 구축하기 어려움
극복 방안	• 정부(국토부) 및 전문기관(자동차안전연구원) 주도로 기 보유시설(ITS시험로)을 활용하여 구축한 후 민간에게 개방
향후 발전 방향	• 고도화된 평가지원시스템 구축 및 무상대여 서비스, 대외 홍보 등으로 자율주행 사업들의 테스트베드 활용 촉진



구분	M-City(미국)	MIRA City(영국)	J-Town(일본)	Nice City(중국)	K-CITY
구축 시기	'15년 7월	'09년	'17년 4월	'16년 6월	'18년 12월
운영 기관	미시간 대학교	HORIBA MIRA	일본자동차 연구소(JARI)	상해국제 자동차연구원	한국교통안전공단
구축 비용	약 135억원	-	약 372억원	-	약 187억원
면적	13만㎡ (약 3.9만평)	24만㎡ (약 7만평)	15만㎡ (약 4.5만평)	500만㎡ (약 151만평)	36만㎡ (약 11만평)
특징	세계 최초의 테스트베드 학교 부지 내 구축(규모 협소) 도시부, 교외부 구성 멤버십 방식 비공개 운영	기존 주행시험장에 일부 시설을 보완 구조물 미설치 디지털 고속주행 구간 300m	악천후, 저조도 환경 실험 가능 빌딩 등 도심 환경 구축 고속주행로 없음	세계 최대 규모 통지대 자딩 캠퍼스 일대에 시험도로 19m 조성 시설은 다소 미비	다양한 무선통신(MMSE, LTE, 5G) 실제 도심 교통 환경*을 반영 *5대 도로 환경(차량사건, 도로공사, 커뮤니티, 교차도로, 자율주행차)
평가 항목	평가항목 23종 고속주행 2종 도심주행 10종 장애물극복 7종 V2X 통신 4종	평가항목 23종 고속주행 3종 도심주행 9종 장애물극복 7종 V2X 통신 4종	평가항목 22종 고속주행 4종 도심주행 9종 장애물극복 6종 V2X 통신 3종	평가항목 17종 고속주행 1종 도심주행 8종 장애물극복 6종 V2X 통신 2종	평가항목 다양(총 36종) 고속주행 6종 도심주행 16종 장애물극복 9종 V2X 통신 5종
전경					

주요 국가별 자율주행 테스트베드 환경 비교

성과 정의(What)

• K-City란 무엇인가요?

- 자율주행차는 사람이 없거나, 개입이 최소화된 상황에서 스스로 주행하는 차량으로 사고의 위험성을 최소화하기 위하여 안전한 환경에서 다양한 실험이 필요합니다. K-City는 국내의 실도로와 고속/도심 주행, 장애물 극복, 인프라 간 통신 등 유사한 평가환경을 조성하여 주행 성능 및 안전성을 확인하고, 스타트업 및 중소기업과 대학 등 민간의 기술지원을 위한 장소입니다.

연구배경(Why)

• K-City를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 세계 주요 각국에서 자율주행 자동차 및 관련 기술개발을 위해 민간기술 개발지원 및 관련 정책을 수립하는 등의 노력을 기울이고 있습니다. 우리나라 역시 '27년 완전 자율주행차의 상용화를 목표로 자율주행 기술개발을 적극적으로 추진하고 있는데, 자율주행차의 상용화를 위해서는 기술개발 이후에도 수많은 실차 안전성 평가가 요구됩니다. 따라서 자율주행 기술을 평가할 수 있는 테스트베드가 필요하여 국내 자동차 안전기준 연구를 선도하는 자동차안전연구원에서 시설 구축에 착수하게 되었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• K-City를 구축하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- K-City와 같은 자율주행 테스트베드를 구축하기 위해서는 방대한 부지확보와 토건 공사, 인프라 구축 등 막대한 예산이 소요 되어 민간에서 구축하기가 사실상 어려웠습니다. 그렇기에 정부 및 유관 전문기관이 주도하여 구축하고 이를 민간에 개방하여 지원하는 방향을 수립하였고, 자동차 안전 연구원에서 보유한 주행시험장 내의 ITS시험로를 활용하여 구축함으로써 예산을 절감할 수 있었습니다.

• K-City 구축 성공 요인은 무엇인가요?

- 정부 R&D 과제 예산의 안정적인 지원으로 착수하였고 수행을 통해 실제 도로 상황과 가장 유사한 실험환경을 조성하여 다양한 반복·재현 실험과 자율주행 실증 연구의 본격 착수로 전국민적 공감대를 형성한 체계적 설계가 가능하였습니다. 또한 세계 최고 수준으로 평가받는 국내 IT기술을 접목하면서 동시에 미국의 M-City 및 스웨덴의 Asta-Zero 등 세계적인 테스트베드들과의 글로벌 협력을 통해 국내·외적으로 인정받는 최고 수준의 자율주행 테스트베드 구축이 가능해질 수 있게 되었습니다.

• 인프라 활용 확산 성공 요인은 무엇인가요?

- K-City는 '19년말 1차 구축을 완료하고 본격적으로 운영되고 있으며, 현재는 자율주행 기술 개발 및 안전성 평가를 위한 기상재현 및 통신 음영 등의 가혹 환경시설을 추가로 구축하는 2단계 고도화 사업을 완료하였습니다.

- 또한 향후 주행로 확장, 도로 시설 및 시험 장비 등 완전자율주행을 대비한 평가환경 3단계 고도화 사업 추진 중입니다.

- K-City 내에서 기업들이 중·장기 연구 및 개발을 수행하고 창업 공간으로 활용할 수 있도록 혁신성장지원센터를 구축하고, 기업간담회 및 국민체감형 프로그램 개발 등 지속적으로 자율주행에 대한 국민 수용성 제고에 노력하고 있습니다.

성과 효과(Where)

• K-City가 국내 자율주행 기술개발에 얼마나 기여하고, 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- K-City는 5대 도로환경(자동차전용도로, 도심부, 커뮤니티부, 교외도로, 자율주차시설 등)에서 36가지의 평가환경 실험 시나리오를 구성하여 미국의 M-City(23가지 평가), 일본의 J-town(23가지 평가), 중국의 Nice City(17가지 평가) 등 타 국가 대비 다각화된 환경에서 자율주행 성능을 평가할 수 있습니다.

- K-City는 국내 자율주행 연구기관에 시설을 무상 제공함으로써 민간의 기술 개발을 지원하고 있으며, 자동차 제조사를 비롯한 통신, 전자, IT기업 등 이 주변에 함께 위치하고 있어 자율주행차와 관련된 산업 연구기관 간의 상호 협력도 지원하고 있습니다.

- 이외에도 구축된 K-City를 이용한 활성화 지원정책을 추진하여 중·소·스타트업 및 대학들을 대상으로 K-City의 무상개방 확대를 통해 자율주행 기술 개발 및 활용을 도모하였습니다. 그 결과 '22년 5월 기준으로 총 118개 기관에서 총 2,860회 및 총 14,831시간을 사용 성과를 도출하였으며 기업들은 이를 기반으로 자율주행 임시 운행허가 취득, 투자유치, 정부과제 참여, 서비스 런칭 및 특허 등의 추가 파급효과를 도출하였습니다.

■ 향후계획(Will)

• K-City가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 자율주행차의 안전성 확인을 위한 제작사 기술개발 지원과 평가 기준 법제화가 지속적으로 요구됩니다. Level 4⁴⁾ 이상의 완전 자율주행 기술개발을 위하여 안전성을 확보하는 것이 가장 중요하며 고장이 날 경우, 사이버 공격 대비 보안, 제어권 전환 등을 고려한 안전기준 마련과 기술, 사회적 수용 분위기가 뒷받침돼야 자율주행 자동차 시대가 열릴 것입니다.

- 약조건의 기상환경(강우, 안개 등)에서 자율주행차의 안전 주행 확보를 위한 기술개발이 가능하도록 추가시설을 구축하는 2단계 고도화사업을 완료하였습니다.('22.6) 향후 주행시험장 전체를 K-City화 하기위해 연계·확장 환경개선과 정밀주행환경 구축, 커넥티드환경 확대, 군집 주행 교통상황 재현 및 시뮬레이션 시나리오 구축 등 3단계 고도화 사업도 추진할 계획입니다.

■ 성과 현장적용 사례



4) Level 4는 고등 자율주행 레벨을 뜻하며 운전자 개입이 불필요한 기술 수준

■ 연구자 한마디



K-City는 다양한 시험환경과 최첨단 평가시설이 집약된 명실공히 세계 최고 수준의 자율주행 전용 테스트베드입니다. 자율주행 기술 개발은 매우 급격하게 발전하고 있기 때문에 현재의 고도화 사업 이외에도 추가적으로 실시간 니즈들을 파악하고 수렴하여 안정적인 운영 및 지속적인 업그레이드를 실시할 예정입니다. 곧 다가올 자율주행 시대를 맞이하기 위해서 K-City는 자율주행차의 안전성을 확인하여 국민의 재산과 생명을 지키고, 자율주행업계의 기술개발을 적극 지원하여 자율주행 상용화를 촉진시키는 투트랙 전략을 통해서 K-City가 대한민국의 자량인 K시리즈의 또 다른 대표 브랜드로 성장하리라 믿어 의심치 않습니다.

■ R&D 주요 성과물

논문	• 44건
현장적용	• 국내 13건(기술이전 2회)
수상실적	• 2020년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허등록 4건, S/W 15건

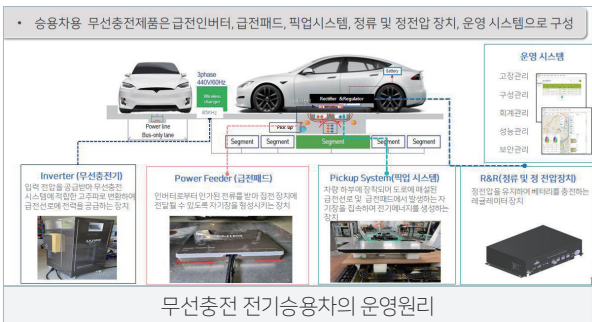
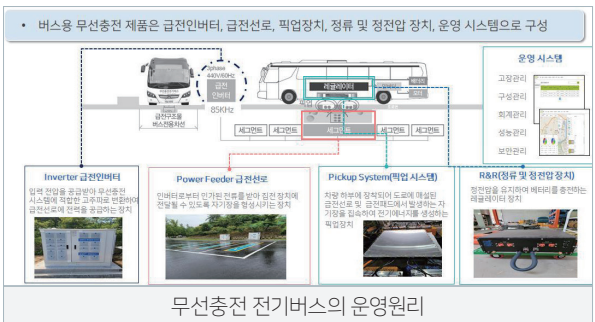
04 충전 걱정 없는 무선충전 전기자동차 상용화

충전 플러그를 꽂지 않아도 안전하고 편리하게 충전할 수 있는 무선충전 전기자동차 상용 기술

- 과제명** | 저비용 무선충전 전기버스 시스템 상용화 기술개발
- 연구기간/연구비** | 2014년 12월 ~ 2016년 6월 / 24억원
- 연구책임자** | 한국과학기술원 조동호

성과소개	충전소 없이 노면으로부터 실시간으로 전력을 공급받아 운행할 수 있는 100kW급 대용량 무선충전 전기버스 상용기술
기술 수준	- 버스에 적용 가능한 100kW급 대용량 인증기술 개발 및 구현(기존 무선충전 기술은 2~10 kW 수준의 소용량) 20cm 이상의 공극 간격을 확보하고(기존 대비 300% 증대), 정차뿐만 아니라 운행 중에도 급전선로를 통하여 충전이 가능
파급효과	- 무선충전 전기버스 적용에 따른 연료비 절감과 온실가스 배출 저감 - 디젤버스 대비 2,400만원 절감, CNG버스 대비 2,000만원 비용 절감 - 무선충전 전기버스 2대 운행 시 온실가스 배출이 없고, 30년생 소나무 40,693 그루 이상 심는 효과 확보 - 차량운행 조건에 상관없이 상시 평균 효율 80% 이상 확보로, 지자체 버스운영비 절감 - 가공 선로 및 부속 구조물로 인한 도시 미관 훼손이 감소하고, 상부 가설 및 터널 구축 등의 건설비용 약 20% 절감
성과 활용처	- KAIST, 서울대공원, 국립백두대간수목원 등 공공시설 셔틀버스(2012~) 2012 여수엑스포 OLEV 시범인프라(2012) - 구미시, 세종시 시내버스 등 지자체 대중교통수단(2013~) - 두바이 DSO 지역 정차중 및 주행중 전기버스와 승용차의 동시 무선충전 시범사업(2019~) - 대전시 대덕특구 순환노선버스 상용화 운행(2021~) - 수도권 쿠팡 물류창고 상용화 운행(2022~)

성공 요인	- 무선충전 전기버스 관련 주파수, 도로구조, 전기안전, 차량안전 인증을 확보 - 규제샌드박스 제도와 정부차원의 무선충전 시범사업 지원(대전시 대덕특구 무선충전전기버스, 환경부 쿠팡 무선충전 물류트럭 등)
장애 요인	- 무선충전 관련 인증규격 기준이 부재하여 상용제품 판매의 한계 - 무선충전 집전시스템 부착에 대한 사용자의 비용 부담 - 무선충전 급전 인프라가 부족하여 전기차 집전장치 보급 지연
극복 방안	기술경쟁력을 바탕으로 국내외 다양한 현장에 기술적용 실시
향후 발전 방향	버스 외의 다른 도로 교통수단(트럭, 승용차, 철도, 트램, 드론택시, 공항 및 항만물류 차량 등)이나 전기 사용 가전 및 로봇 전 분야에 적용



성과 정의(What)

개발하신 무선충전 전기버스의 작동원리는 어떻게 되나요?

- 도로 밑에 매설된 전선에서 발생하는 ‘자기장’을 차량 하부에 장착된 집전장치를 통해 ‘전기에너지’로 변환하여 차량을 운행하는 친환경 전기자동차입니다.

- 해당 기술은 정차뿐만 아니라 운행 중에도 급전선로를 통하여 실시간으로 충전이 가능하며, 좌우편차도 ±20cm까지 확보하여 급전선로를 인식하지 않고 차선 운행만 하여도 충전이 가능하여 기존기술과 큰 차별성을 지닙니다.

연구배경(Why)

• 무선충전 전기버스를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 오늘날 무선전화가 대중화되었듯이 전기버스 충전 방식도 결국 무선충전 방식으로 바뀔 것으로 예측하여 전기자동차가 운행하는 구간에서 충전이 가능한 급전인프라 개발 연구를 시작하였습니다.
- 또한 해당 기술은 내연기관 차량을 대신하여 교통부문에서 온실가스를 감축할 수 있는 핵심기술로, 친환경 교통수단으로서 비약적인 발전을 이룰 수 있습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 무선충전 전기버스를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- 무선충전 부문에서는 공인인증과 같은 국내 기준이 없어 기술을 상용화하는데 한계가 있었습니다. 따라서 관련된 국제기준을 따라 주파수, 도로구조, 전기안전, 차량안전 부문의 인증을 받아 충전인프라의 안전성을 확보하였습니다.
- 급전선로 설치나 배터리 원자재 부문의 높은 비용과 낮은 수요로 인한 보급 지연 또한 곤란한 부분이었습니다. 개발 초기단계이기도 하고, 기술 구현을 위해서는 차량과 도로에 인프라를 설치해야 하므로 현장적용까지 가는데도 쉽지 않았죠. 하지만 앞으로는 전기차와 전기도로 시대가 막을 연다는 확신이 들었기에 KAIST 교내에 시범설치하고, 동 사례를 바탕으로 여러 지자체와도 협의를 추진하였습니다. 그 결과 국내 다양한 지자체와 해외에도 시범운행에 성공하여 상용화에 가까워졌습니다.

• 무선충전 전기버스개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 기술경쟁력을 바탕으로 확보한 국외 안전인증과 시범사업 덕분이라고 생각합니다. 무선충전 전기차량은 새로운 방식의 전기차 기술이기에 산업계 및 국민 대상의 기술수용성 확보가 필요합니다. 주파수, 도로구조, 전기안전, 인체안전, 전자기기 안전, 차량안전 등 상용화를 위하여 다양한 분야의 기술인증 확보와 함께 국내외 기술표준화를 주도하고, 현장운행을 통한 기술의 효과성을 확산하며 성공기반을 조성하였다고 생각합니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- '20년 대한상공회의소를 통해 무선충전에 대한 규제샌드박스가 지정되어 상용화가 용이하게 되었으며, 이를 통해 '21년 대전시 대덕특구 순환 노선버스에 무선충전을 적용하여 국내에 무선충전의 가능성을 보여주었습니다. '22년부터는 환경부 전기트럭 무선충전 도입을 위한 시범사업을 진행하고 있습니다.
- 또한 '19년 두바이 DSO 지역에서 정차 중 및 주행 중 전기승용차, 전기버스의 동시 무선충전 시범사업을 통해 해외에도 국내 무선충전 기술을 소개하였으며, 해외시장 진출도 준비 중입니다.

성과 효과(Where)

• 무선충전 전기버스가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 무선충전 전기버스는 버스에 적용 가능한 100kW급 대용량 인증기술을 바탕으로 실제 노선버스에 구현되었습니다. 이는 기존 2~10kW 수준의 소용량 시제품 대비 10배 이상 높아 차량운행 조건에 상관없이 상시 평균 90% 정도의 효율성을 자랑합니다. 그 덕에 디젤 대비 38%를 절감하여 1년에 2,400만원, CNG버스 대비 33%를 절감하여 2,000만원 수준의 연료비가 줄어들어 지자체 버스운영비가 절감되는 효과를 기록하였습니다.
- 구미시, 세종시 등에서 2013년부터 시내운행에 100kW급 무선충전 전기버스를 도입하여 그 효과를 누렸으며, 국립백두대간수목원 등 관광지에서도 셔틀버스 운행조건에 맞춰 15kW급 ~ 25kW급의 무선충전 셔틀을 도입하였습니다.
- 또한 무선전력 전송기술을 적용하게 되면 유선충전용 인프라(가공 선로 및 부속 구조물)로 인한 도시 미관 훼손이 감소하고, 설치 공간이 1/2이하로 줄어들며 상부 가설 및 터널 구축 등의 건설비용을 20% 가량 절감 가능합니다.
- 무선충전 전기버스는 친환경 대중교통 조성에도 앞장서고 있습니다. 전기에너지를 활용하여 CO2 저감 및 내연기관 자동차를 대체하고, 무선충전 전기버스 2대를 운행할 경우에 온실가스 배출 없이 30년생 소나무 40,693그루를 심는 환경개선 효과가 있습니다.
- 이외에도 세계 최초, 최고의 원천기술을 선점하여 국가 경쟁력을 확보하고 수출에도 기여할 것이며, 무선충전 관련 신산업 활성화로 인해 신규 고용창출 효과가 있습니다.

향후계획(Will)

• 무선충전 전기버스가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 무선충전 기술은 전기가 사용되는 전 분야에 모두 적용할 수 있습니다. 시내버스를 넘어 트럭, 승용차, 철도, 트램, 드론택시, 선박, 항만 및 공항물류 트럭 등 다양한 교통수단에도 이 기술을 적용하여 친환경 대중교통의 적용범위를 넓힐 수 있도록 지속적인 후속연구를 수행할 계획입니다.
- 또한 정부 및 지자체와 협의하여 무선충전 전기차와 충전인프라를 현장에 적용하는 기회를 확대할 계획입니다. 이를 위해 정부에서 신기술 신산업에 대한 규제를 완화하고, 미래 교통수단에 대한 관심과 지원이 필요합니다.

성과 현장적용 사례



서울대공원



여수엑스포



KAIST 셔틀버스



백두대간 수목원



구미시 증차 운행 개통식 및 신규 도입 무선충전 전기버스



두바이 시범사업



대전시 사업

연구자 한마디



2009년부터 KAIST에서 개발한 무선충전기술을 이전받아 교원창업기업 주식회사 와이파워원을 설립하고 상용화에 박차를 가하고 있습니다. 무선충전 전기버스, 전기트럭, 전기승용차를 시작으로 철도, 트램, 드론택시, 공항 물류, 항만 물류 트럭 등 부가가치가 높은 사업 영역에 무선충전 신기술을 적용하여 한국이 세계적 교통 스마트도시로 거듭나도록 최선을 다하겠습니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 10건
현장적용	• 서울대공원 무선충전 코끼리 열차 상용운행 • 2012 여수엑스포 OLEV 시범인프라 구축 및 운행 • KAIST 교내순환 셔틀 무선충전 전기버스 운행 • 두바이 DSO 지역 정차중 및 주행중 무선충전 시범사업 등 3건
수상실적	• 2017년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 국내특허 등록 4건, 국외특허 5건, 국외 PCT 7건

05

국내 화물운송 환경에 적합한 연비개선형 화물운송장비 개발

트레일러 경량화 설계, 공기저항저감 장치 및 운송용기 최적화로 도로화물 운송 시 연료사용량 절감을 가능하게 하는 기술

-  과제명

| 인도로화물 운송 효율화를 위한 트레일러 경량화, 공기저항 저감 및 운송용기 최적화 기술개발
-  연구기간/연구비

| 2013년 5월 ~ 2016년 11월 / 20억
-  연구책임자

| 한국교통연구원 노홍승

성과소개	• 도로화물 운송 효율성에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인(연비개선, 차주수입 증대, 환경부하 경감)을 개선하는 국산 화물 운송장비(트레일러, 공기저항저감 키트, 운송용기) 개발
기술 수준	• 고강도 강판 적용 및 구조개선으로 10% 경량화 및 적재 용량 향상((평판트레일러) 차중 6.5톤→5.2톤, (카고트레일러) 적재량 72.9㎡→85.8㎡) • 공기저항 및 공기와류 저감기술로 평균 운행연비 5% 절감 • 최대 8시간 대상화물의 목적온도 유지컨테이너 개발(최초 개발)
파급효과	• 화물차 경량화와 공기와류 저감장치 적용으로 운행연비를 약 10% 저감하고, 연료 저감을 지원 - 경량소재 및 경량화 차량설계는 평균 운행연비를 2.9% 저감하고, 공기와류 저감장치로 평균 운행연비를 5% 추가 개선 - 경량화로 인한 화물의 추가적재가 가능하며, 운전자 수입증대(연간 대당 290~560만원) 기대 • 화물차 연비개선을 통한 온실가스 배출 3% 감축 - 영업용 화물차량 연비개선 3% 효과 시 온실가스 비용 134백만원(시장점유 10% 가정 시), 670백만원(시장 점유 50% 가정 시) 절감 • 적재량 증대를 위한 불법구조 변경, 과적으로 인한 도로파손 등을 감소시켜 도로 유지비용을 저감하고 물류 안전도를 증대
성과 활용처	• 운송업체(경량평판트레일러, 경량벌크트레일러, 사이드스커트 등 국내외 사업화 성공)

성공 요인	• 핵심 개발 기술에 대한 방향성 정립과 단계별 목표 수립으로 정확하고 효과적인 성과물 도출
장애 요인	• 해외 실험이 필요하였으나, 예산 부족으로 인해 어려움 발생
극복 방안	• 국내 풍동실험장 규모에 맞추어 3D 프린터로 축소 제작한 화물차 모형으로 실험 수행
향후 발전 방향	• 화물 형태별 에너지 특성을 고려한 연구 필요 • 상품화를 위한 디자인 부문의 지원 필요



성과 정의(What)

- 에너지 절감형 화물운송장비란 무엇인가요?
- 총 3가지 종류의 기술개발을 실시하였는데, 첫 번째로 경량 소재를 적용하거나 경량화 설계를 통하여 트레일러의 중량을 낮췄습니다. 두 번째로 차체간의 빈틈이나 공기저항을 완화하여 운행 안정성을 향상시키는 장치*를 개발했습니다. 세 번째로 접이식 컨테이너와 모듈형 냉장/온장 겸용 용기를 개발하여 적재 용량을 키우고 운송방안을 최적화하였습니다.
- * (Side skirt) 차량 하부의 공기저항 손실을 줄이기 위하여 차체와 지면 사이 빈틈을 줄이는 장치
(Boat tail) 적재 공간인 컨테이너 후단부에 부착하여 차량 후미 와류현상과 공기저항을 감속하는 장치
(Gap fairing) 차체와 컨테이너 사이 빈 공간에서 발생하는 와류현상을 감소하기 위하여 공간을 메우는 장치

연구배경(Why)

에너지 절감형 화물운송장비를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 한국교통연구원은 매년 산정하는 국가물류비 중 수송비가 70%에 달합니다. 수송활동의 대부분은 도로를 통해 이루어지고, 수송비용의 절반은 유류비가 차지하고 있지요. 따라서 도로운송에 소요되는 유류비를 줄이는 것이 국가 물류비를 줄이는 핵심 요인으로 생각하였습니다. 그러나 과거에는 국내 화물차에 대한 연비를 고민하는 연구가 미미하였고, 대기업 화물차 제조사들도 적재함 부분에 대해서는 신경을 쓰지 않아 중소기업들에 의해 단순한 튜닝과 조립수준의 업무만 계속되어 왔습니다. 따라서 지금까지 한 번도 이루어지지 못했던 적재함 부분에 해당하는 피견인차량, 화물차 공기저감장치, 운송용기 등을 중심으로 국토부 R&D를 시작하였습니다.

성과 창출 과정(When/How)

에너지 절감형 화물운송장비를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- 화물차의 공기역학 실험(풍동실험)을 할 수 있는 실험장이 국내엔 부재하였습니다. 화물차에 맞는 실험을 진행하려면 미국이나 스페인 등 해외에서 진행할 수밖에 없던 상황이었습니다. 하지만 부족한 예산 탓에 진행이 불가하였고, 결국 국내 포스텍에 있는 실험장 규격에 맞게 3D 프린터로 화물차 모형을 축소 제작하고 실험을 진행했습니다. 최종적으로 해외 제품 대비 성능이 우수성을 인정받아 세계 최대규모의 해외장비 제조사에 기술 역수출까지 하였습니다.

에너지 절감형 화물운송장비 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 물론 개발 성공에는 각 참여기관들의 노력이 가장 컸으며, 보다 정확한 성과물 도출을 위하여 연구단 총괄로서는 단계별 목표를 세우고 이를 실현하기 위하여 노력했습니다. 현황 분석 결과를 바탕으로 사업 초기부터 핵심 개발 기술에 대한 방향성 수립과 성과 목표 설정, 기술별 상세설계를 수행했습니다. 또한, 핵심 개발 기술별 모듈을 개발·제작하고, 실내 시험을 통해 성능을 검증한 후 핵심 요소 기술들의 통합·연계를 통한 시제품과 관련 메뉴얼 등을 개발했습니다.

사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 화물차 트레일러의 경우, 과거에는 건설용 자재로 제작되는 경우마저 있었습니다. 해당 소재는 무겁고 규격이 맞지 않은 경우가 많았습니다. 당시 초장대교량 해외건설사업을 위해 개발된 신소재를 평판 트레일러에 적용해보자는 아이디어를 도출하였고, 무모해 보였던 시도 끝에 적용하여, 경량화에 성공할 수 있게 되었습니다. 또한 신차의 판매비용은 기존 수준으로 동결하는 조건의 정책기술로만 받고 제조사에 기술 이전함으로써 참여기업들의 동기부여를 이루었고, 활발한 사업화가 가능했던 것 같습니다. 당시 21.2억의 매출액을 보이며 성공적으로 이뤄질 수 있었다고 생각합니다.

성과 효과(Where)

에너지 절감형 화물운송장비가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 연비를 절감하여 도로운송 수송비의 절반에 달하는 유류비를 기존 대비 최대 10% 줄일 수 있습니다. 기존 6.5톤의 3축 평판 트레일러 차중을 5.2톤으로 경량화하고, 4.82톤의 벌크트레일러 차중을 4.45톤으로 경량화하여 각각 2.7%, 2.9%씩 연비를 절감하였습니다. 또 공기 와류 저감장치를 부착하여 운행연비를 평균 5%가량 추가 절감하였습니다.

- 차체를 경량화하는 만큼 화물의 추가적재가 가능합니다. 전국적으로 1만대에 달하는 컨테이너의 트레일러 무게를 10%씩만 절감해도, 연 300일 운행 시 300만톤에 달하는 화물을 현행과 동일한 유류비로 더 운송할 수 있습니다. 가벼운 화물 운송 시에는 적재용량 확장 다용도 트레일러를 이용하면 축 아래까지 활용하여 70cm의 공간을 확장하고 공간 분할도 가능해집니다. 추가적재를 통하여 연간 화물차 한 대당 290~560만원의 수입이 증가하여 화물차주 근로 여건을 개선할 수 있습니다. 또한 추가적재로 인한 차량 불법 개조, 도로파손, 대형 사고도 줄일 것으로 기대됩니다.

- 화물차의 연비개선은 온실가스 저감에도 기여합니다. 영업용 화물차량의 연비개선 3% 효과 시, 온실가스 비용 134백만원(시장점유 10% 가정), 670백만원(시장점유 50% 가정) 절감할 수 있습니다.

향후계획(Will)

에너지 절감형 화물운송장비는 앞으로 어떻게 발전할 것으로 기대하시나요?

- 앞으로 전기차나 친환경에너지 차량, 자율주행차량이 늘어날 것입니다. 하지만 교통수단이 변화하여도 공기역학을 고려하거나 소재를 고려하거나 화물차의 적재에 대한 고민은 계속 존재할 것입니다. 앞으로는 에너지 절감형과 더불어 무인화 물류 시장에 도래할 것이기에 이와 관련된 발전이 이뤄질 것으로 예상됩니다.

에너지 절감형 화물운송장비가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 후속 연구는 계속 필요하다고 봅니다. 화물 형태별 에너지 특성을 고려한 장비 개발과 특수화물용 장비 연구 및 상용화 연구가 필요한 시점입니다.

- 상품화를 위한 디자인 부문의 지원도 필요합니다. 국내 물류 시장은 성능 위주의 연구에 치우쳐있는데, 상용화가 되려면 상품화와 더불어 구매하고 싶은 디자인이 필요합니다. 정부 차원에서 상용화 제품의 디자인을 지원하는 제도가 있으면 도움이 될 것이라 생각합니다.

성과 현장적용 사례



경량 평판트레일러



경량 벌크트레일러



적재용량 확장 다용도 카고트레일러



접이식 롤 컨테이너

연구자 한마디



과제를 발굴하고, 수행하고, 상용화하는 과정에서도 항상 애정을 가져야 한다고 생각합니다. 기업들은 제작 시 손해를 보려 하지 않습니다. 하지만 연구자로서 연구 목표를 달성하고 우리의 생각을 관철하기 위해서는 어느 정도 대립이 생길 수밖에 없습니다. 즉 이익을 추구하는 업체와 연구를 추진하는 연구단의 방향이 다를 수 있다는 것입니다. 이를 합치기 위하여 연구단에서 노력이 필요하며 역경도 많을 것입니다. 해당 과정에서 매년 예산이 삭감될 지도 모른다는 긴장하에서 보여주گی식 성과에만 치중할 것이 아니라, 일단 선정된 과제는 R&D 기간 내에서는 안정적인 예산 지원과 관리를 제도적으로 보장함으로써 예측가능한 연구환경을 조성해주시면 좋을 것 같습니다. 또한 최근 들어 연구를 진행과정에 투명한 업무와 예산관리를 위한 정보화시스템이 정교화되면서 행정 업무량은 역설적으로 무척 늘어났습니다. 연구진이 업무보고, 진도관리, 실적입력, 진도보고, 평가 등 행정 처리를 대응하다 보니 정작 실질적인 연구를 위한 시간 투자비중은 자꾸 줄어드는 것 같아 아쉬운 점도 많습니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 15건
현장적용	• 국내 5건 / 기술이전 3건, 기술사업화 39건
수상실적	• 2019년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허등록 7건

06 세계 최고 수준의 대용량 2층 전기버스 국산화

한국형 대용량 2층 전기버스 선행차량 개발

- 과제명** | 한국형 대용량 2층 전기버스 선행차량 개발
- 연구기간/연구비** | 2017년 12월 ~ 2019년 6월 / 60억원
- 연구책임자** | 현대자동차 김형진

성과소개	• 국내 운영환경에 적합한 한국형 대용량 친환경 전기버스
기술 수준	• 전장 13m, 전고 4m, 좌석수 71석(전세계 상용화 사례 중 최고 수준) • 국내 최대 용량인 384kWh급 고전압배터리와 240kW급 휠모터를 적용하여 최고속도 92.4km/h, 1회 충전 주행 가능 거리 약 417km
파급효과	• 해외 2층 버스 수입 대체로 국내 부품/완성차 업체 매출 증대 및 기술 주도권 확보로 해외시장을 선점 가능 - '21년 기준 약 280억원 매출액 기록 • 2층 디젤버스 대비 약 60% 이상의 연료비를 절감 • 수송량 확대로 버스운영업체 수익성 개선과 출/퇴근 시간대 혼잡한 교통 인프라 상황 개선 - 기존 광역버스(44석) 대비 좌석 수가 약 60% 증가(71석)하여 차내 혼잡 저감과 수송량 증대에 기여 • 일산화탄소 등 유해물질 배출이 전혀 없어 대기환경 개선
성과 활용처	• 인천, 포천, 김포, 화성, 용인 등 수도권 광역버스 노선에 40대 보급('21년 기준)
성공 요인	• 국내 도입된 디젤 2층버스 및 국내 운행 환경에 대한 철저한 사전 조사를 바탕으로 한국형 대용량 2층 전기버스 개발
장애 요인	• 국내 2층 전기버스의 연간 수요 부족 • 해외에서 도입되는 디젤 2층버스를 대체하기 위한 시장 진입장벽
극복 방안	• 친환경 2층 전기버스에 대한 안정적이고 지속적인 공급 정책 • 도심 대기환경을 저해하는 디젤 2층버스에 공급 억제 정책
향후 발전 방향	• 국내 상용 전기버스 시장 점유율 제고 및 전기버스에 대한 인식 개선, 해외 시장 진출 잠재력 확보



2층 전기버스 외관

항목	2층 전기버스	VOLVO 2층버스	MAN 2층버스	※BYD 2층버스
구동방식	6×2	6×2	6×2	4×2
전장(mm)	12,990	12,990	12,990	10,350
전폭(mm)	2,490	2,490	2,490	2,500
전고(mm)	3,995	4,000	3,995	4,200
오버hang (mm)	FR	2,750	2,940	2,590
	RR	3,040	3,500	3,150
WB (mm)	1st	5,750	5,150	5,750
	2nd	1,450	1,400	1,500
상면고(mm)	363	370	-	-
담단고(mm)	335	340	340	370(천문)/360(종문)
실내고 (mm)	1층	1,830	1,820	1,840
	2층	1,700	1,700	1,680
인승(승객+운전자)	70(좌석)+1 ※ 환경여석 : 2EA	72(좌석)+1 ※ 환경여석 : 1EA	71(좌석)+1 ※ 환경여석 : 1EA	50(좌석)+1 ※ 환경여석 : 1EA
시트피치(mm)	710	705	710	-

기존 2층 버스와의 제원 비교

성과 정의(What)

- 한국형 대용량 2층 전기버스란 무엇인가요?
 - 도시 간의(ex. 경기도 <-> 서울) 수송능력 향상과 대중교통의 고효율 친환경을 달성하기 위하여 만들어진 버스입니다.
 - 전장 13m, 전고 4m로 71명이 승차 가능한 대용량 수송능력과, 1회 충전 시 약 417km를 주행과 92.4km/h의 최고속도를 구현할 수 있도록 384kWh의 고전압 배터리 및 240kW의 구동모터를 적용한 대용량의 2층 버스를 제작하였습니다.

연구배경(Why)

- 한국형 대용량 2층 전기버스를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?
 - 국내 광역버스의 출퇴근 시간대 정원 초과, 불법 입석 운행 등 교통안전성에 대한 사회적 문제 해결을 위해 대용량 운송수단이 요구되고, 전 세계적으로 탄소중립을 위하여 내연기관에서 친환경 차량으로 자동차 산업의 패러다임이 변화하는 추세입니다.
 - 위 두 가지 요구사항을 동시에 해결할 수 있는 2층 전기버스를 개발하여 국내에 도입하고자 연구를 시작하였습니다.

성과 창출 과정(When/How)

- 한국형 대용량 2층 전기버스를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?
 - 해외의 디젤 2층버스가 국내에 도입되어 시장을 형성하고 있는 과정에서 18개월이라는 짧은 시간 내에 전기로 구동되는 경쟁력 있는 친환경 2층버스를 개발해야 한다는 어려움이 있었습니다. 따라서 기존에 신뢰성을 확보한 국내의 전기동력계 차량 부품을 활용하여 개발기간을 절감하였고, 개발 초기에 컨셉 수립부터 완료까지 세밀한 계획을 수립하고 진행하여 극복할 수 있었습니다.
- 한국형 대용량 2층 전기버스의 개발 성공 요인은 무엇인가요?
 - 국내에 도입된 디젤 2층버스에 대한 사전 조사와 국내 운행노선에 대한 조사를 병행하여 한국형 대용량 2층 전기버스의 컨셉을 설정하였고, 이미 국내에서 상용화된 전기버스의 신뢰성 있는 전기동력계 부품을 적용하여 빠르게 안전성을 확보하였으며, 무엇보다도 개발에 참여한 모든 인원이 집중력 있게 연구에 참여하여 짧은 시간 동안 세계 최고 수준의 대용량 2층 전기버스를 개발할 수 있었습니다.

사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 국내에 2층 광역버스에 대한 필요성이 대두되었고, 해외에서 도입하는 디젤 2층버스와는 차별화한 친환경 2층 전기버스를 개발하여 도심 대기환경 개선과 함께 연료비 절감을 달성하였습니다.
- 또한 친환경 정책기조에 발맞춰 2층 전기버스 보급을 위한 국가 지원도 안정적으로 이루어져 상용화에 성공할 수 있었습니다.

성과 효과(Where)

- 한국형 대용량 2층 전기버스가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.
 - 2층 전기버스의 최대 장점은 71석의 좌석으로 기존보다 60% 가량 증가한 대용량 수송능력이죠. 국내 법규를 고려하여 전장 13m, 전고 4m, 전폭 2.5m로 제작되었으며, 6×2 구동 시스템을 신규 개발·적용하여 1회 충전 주행거리 최대 417km, 최고 속도 92.4km/h의 차량 성능을 확보하였습니다. 전 세계적으로 이와 같은 수준의 대용량 2층 전기버스 양산화 사례는 저희가 최초입니다. 대용량 버스의 도입으로 대도시권 광역교통체계 효율화와 승객 편의, 교통정체 저감에 기여할 것으로 기대됩니다.
 - 차선 이탈 경고, 차체자세제어장치, 전방 충돌방지 보조, 화재경보 및 자동소화시스템, 전방 통과높이 장애물 경고시스템, 실내/외 모니터링 시스템, 루프해치 등을 적용하여 승객의 편의성과 안전성도 향상하였습니다.
 - 대용량 2층 전기버스는 기존 2층 디젤버스 대비 약 60% 이상 연료비를 절감하여 버스 운영업체의 수익성 개선 또한 기대됩니다.

- 중국 등 해외 기술에 의존하던 친환경 대중교통을 우리나라 실정에 맞도록 국산화하여 '19년에 최초로 한국형 대용량 2층 전기버스 상용화 모델을 공개하였으며, '21년 4월 인천(M6450번, 송도<->삼성역)을 시작으로 현재 김포, 화성, 남양주, 용인 등 수도권 광역버스 노선에 40대 가량 운행 중입니다. 또한 상용화를 통하여 약 280억 가량의 매출액도 발생하였습니다.

향후계획(Will)

- 한국형 대용량 2층 전기버스가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?
- 정부 지자체의 적극적인 협조로 국내 광역버스 라인에 연구성과물의 추가보급이 필요합니다. 국내 대중교통에서 대용량 2층 전기버스 보급이 이뤄진다면, 저희 기술에 대한 국민들의 신뢰와 함께 해외 전기차 시장에서도 비교우위를 가져갈 수 있다고 생각합니다.

성과 현장적용 사례



최초로 공개된 대용량 2층 전기버스 상용화 모델 (2019)



인천 송도<->서울 삼성역을 주행하는 한국형 대용량 2층 전기버스 (2021)

연구자 한마디



국내 중소 바디빌더 업체와 연계성을 강화하여 국내 생산 사례가 없는 2층 구조의 버스 차체 설계 및 제작 기술을 확보하였고, 자사가 개발한 대용량 차량의 전기 구동 시스템 기술을 결합하여, 세계적으로 양산 사례가 없는 전장 13m급의 친환경 대용량 2층 전기버스 국산화 개발 기술력을 확보하였습니다. 연구진 간의 협력으로 동반 발전의 기회가 창출됨으로써 중소 바디빌더 업체의 기술력을 향상시키고, 새로운 수익 창출 동력이 생성되는 등 국내 친환경차량의 성장에 기여하게되어 뿌듯하게 생각합니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 1건
현장적용	• 국내 3건
수상실적	• 2021년 국토교통연구개발 우수성과
지식재산권	• 특허등록 3건

07

장애인·비장애인이 자연스럽게
더불어 여행하는 동행버스 개발

휠체어 사용자가 탑승가능한 고속/시외버스 표준모델 및 운영기술 개발

-  과제명
- | 휠체어 사용자가 탑승가능한 고속/시외버스 개조차량 표준모델 및 운영기술 개발
-  연구기간/연구비
- | 2017년 4월 ~ 2019년 9월 / 76.8억원
-  연구책임자
- | 한국교통안전공단 강병도

성과소개

기술 수준

성과활용처

파급효과

구분	기존 장치	혁신성
승강구	수동 여닫이식 승강구	자동 슬라이딩 승강구 / 국산화
승강장치	수입품 장착 (리프트 중량 약 300kg, 허용하중 300kg, 유선리모콘)	국산화 개발 (리프트 중량 약 250kg, 허용하중 300kg, 무선/유선리모콘 확보)
슬라이딩 좌석	휠체어 공간을 위한 좌석 탈거	좌석 폴딩 및 슬라이딩
안전성 검증	안전성 검증 없이 장착 및 개조	안전성이 확보된 표준화 설계

• 교통약자의 이동 편의를 지원하는 휠체어 탑승 가능한 고속버스 개발

• 국내에 없거나 수입에 의존하던 승강구(자동) 및 승강장치 관련 기술을 확보한 휠체어 탑승 고속/시외버스 개조 차량 개발

• 휠체어 승강장치 안전기준 검사기준 관리지침 개발, 휠체어 탑승 버스 승강장 한국형 설계기준 확보 등으로 실용화 기반 구축

• 휠체어 승강장치, 가변식 승객좌석의 국산화 및 안전성 검증 체계 구현으로 장애인 등 교통안전 확보 및 개조 국내 기술기반 확보

• 휠체어 사용 장애인 등의 고속/시외버스 탑승여건 개선을 통한 지역간 이동권 보장

• 휠체어 탑승버스 개조를 통한 신규시장 형성 및 수입대체효과 발생

- 전국 고속/시외버스 87개사 9,608대 기준 10% 개조 시, 약 200억 규모의 신규시장 형성

• 휠체어 탑승가능 고속/시외버스 시범사업 추진('19년 10대, '20년 약 20대, 서울 ↔ 부산, 서울 ↔ 강릉, 서울 ↔ 전주, 서울 ↔ 당진)

성공 요인

장애 요인

극복 방안

향후 발전 방향

- 세계 최고기술을 벤치마킹하여 더 우수한 성능의 승강장치 국산화
- 휠체어 이용고객 탑승 시 공간확보가 가능한 가변형 좌석을 개발
- 수요자와 버스 운영업체 간의 다른 요구사항
- 지속적인 간담회를 통한 이해관계자 간의 조율
- 기존 버스를 개조하는 휠체어 탑승 기술, 가변형 좌석, 버스 예약및 배차 시스템 등 개발로 편의성 제고와 함께 경제적 우려를 해소
- 사업의 정착 및 안정적인 운영기반을 마련하여 휠체어 탑승가능 고속/시외버스 보급을 확대
- 친환경자동차 기반의 광역버스에 휠체어 탑승 기술을 적용



성과 정의(What)

연구배경(Why)

• 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스란 무엇인가요?

- 휠체어 탑승 승강장치, 가변식 승객좌석 등을 장착하여 휠체어 사용 장애인의 고속/시외버스 탑승 여건을 개선한 버스입니다. 기존의 고속/시외버스를 개량하여 손쉽게 탑승 및 이동이 가능하며, 차량 내 휠체어 공간확보 및 고정으로 교통약자의 지역간 이동권 보장과 교통안전이 확보된 이동수단입니다.

• 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 오래전부터 휠체어를 이용하시는 장애인분들도 고속버스를 타고 장거리를 이동하고 싶는데, 해당 버스가 하나도 없어 교통 약자들의 이동권이 제약된다는 사회적 이슈가 존재하였습니다.

- 또한 현재 휠체어 사용이 가능한 저상버스의 도입률은 매우 낮으며, 실제로 운영 중인 저상버스 역시 휠체어 장애인이 효과적으로 이용하기 어려운 실정입니다. 이에 휠체어 이용자가 안전하고 편리하게 이동할 수 있는 교통수단을 확충하여 복지 증진에 이바지하기 위하여 개발하게 되었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- 휠체어 이용자와 버스 운영업체 간의 요구조건이 달라 이를 조율하는 것이 어려웠습니다. 고속/시외버스 운영업체 측은 휠체어 탑승객 수가 적고, 운영 시 버스 기사 업무범위가 넓어져 해당 차량을 구매·운영하는데 부담을 느꼈습니다. 이에 대해 휠체어 이용자들은 교통수단 선택의 자유를 주장하며 휠체어 탑승 가능한 버스의 확대를 요구하였습니다.
- 의견을 조율하기 위하여 8차에 걸쳐 간담회를 진행하고 연구진과 이해관계자 간의 의견을 공유하였습니다. 또한 차량 도입 비용을 줄이고자 기존 버스를 개조하며, 휠체어 이용자 탑승 시 공간을 확보하고 휠체어 이용자가 없는 경우 일반좌석으로 활용 가능한 가변형 좌석을 개발하였습니다. 뿐만 아니라 휠체어 이용자들이 원할 때 버스에 탑승할 수 있도록 버스 예약 및 배차 시스템 등을 개발하는 등 이용자들의 편의성과 이동권을 확보하면서도 버스 운영업체의 경제적 부담을 덜 수 있는 기술을 개발하였습니다.

• 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 국내에는 휠체어 이용자의 버스 탑승을 위한 기술이 부재하여 승강장치 관련 제품을 수입에 의존하고 있었습니다. 이를 극복하고자 연구단에서 세계 최고 수준의 승강장치를 수입해서 분석하고, 가장 우수한 성능을 낼 수 있도록 벤치마킹하여 국산화에 성공하였습니다.
- 가변형 좌석을 제작한 것도 큰 도움이 되었습니다. 휠체어가 버스에 탑승하게 되면 공간이 더 넓게 소요되어 버스 내 좌석 수가 45인승 버스는 12석, 28인승 우등버스는 9석 줄어듭니다. 버스 내 좌석 수가 감소하게 되면 휠체어 이용자가 없을 시 운수회사 측에서는 경제적으로 손실이 발생합니다. 하지만 가변형 좌석은 휠체어 고객이 있을 때 시트를 접어서 공간을 확보하고, 없을 때는 시트를 펴서 일반좌석으로 활용할 수 있어 위와 같은 우려를 해소할 수 있습니다. 또한 연구단에서 개발한 성과물들은 모두 안전성 평가를 통과하여 차량 표준모델에 적용되었습니다.

• 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스의 상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 관련 법령(교통약자의 이동편의증진법)을 개정하여 저상버스 및 휠체어 탑승설비를 장착한 버스를 운수사가 도입하고 운영할 수 있도록 지원하는 근거를 마련하였습니다.

- 또한 휠체어 승강장치 안전기준 검사기준 관리지침 개발, 휠체어 탑승 버스 승강장 설계기준 확보 등으로 실용화 기반을 구축하였습니다.

- '18년도부터는 한국장애인단체총연맹회와 함께 시승회 및 시범운영을 실시하며 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스의 필요성을 대외적으로 확산하고, 관련 인프라(버스정류장, 터미널, 고속도로휴게소)의 구조적 개선방안을 발굴하여 버스 도입과 관련 인프라 마련을 위한 노력을 펼쳤습니다.

성과 효과(Where)

• 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 국내에 없거나 수입에 의존하던 승강장치 기술을 확보함과 동시에 안전성을 확보함으로써 수입을 대체할 수 있게 되었습니다. 해외 제품의 경우 리프트 중량이 약 300kg이지만 국내 개발품 같은 경우 50kg 감량된 250kg이며, 허용하중은 300kg으로 해외제품과 동급입니다. 무선리모컨과 유선리모컨 모두 지원하여 조작성도 대폭 향상시켜 해외 제품 못지않은 기술력을 갖추게 되었습니다.
- 또한 휠체어 승강장치와 가변식 승객좌석의 안전성 평가를 모두 통과하여 안전성이 검증된 차량 개조 기술 개발로 원가절감을 통한 휠체어 탑승버스 개조비용 인하 및 관리비용을 절감할 수 있게 되었습니다.
- '20년 기준, 전국 시외버스 운수사업자는 87개사 9,608대의 버스가 있으며 휠체어 탑승버스 개조비용을 10%로 산정하면 약 960대의 개조수요가 발생하게됩니다. 대당 개조비용이 2,000만원으로 산정 시 약 200억 원 규모의 신시장이 형성되며 이에 따른 휠체어 승강장치 개조 관련 매출 증대 및 고용이 활성화될 것으로 전망합니다.

향후계획(Will)

• 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 본 사업에서 인프라와 정책 부문의 개선점과 해결방안을 고안하였기에 이를 고려하여 정부 측에서 휠체어 탑승 가능한 고속/시외버스의 확산을 위한 예산을 확보하고, 운수사 측의 손실보상 및 차량구입을 위한 지원방안을 제도적으로 수립하여 기술의 현장적용을 추진하면 좋을 것 같습니다.
- 또한 앞으로는 내연차가 아닌 친환경자동차의 수요가 늘어날 것입니다. 친환경자동차를 기반으로 광역버스에 휠체어 탑승 기술을 적용하는 연구가 추가로 필요할 것으로 예상됩니다.

성과 현장적용 사례



휠체어 고속버스 승강장 하차 모습



휠체어 고속버스 탑승 모습

연구자 한마디

연구자는 마음이 따뜻해야 합니다. 이동권의 제한을 받는 약자들을 위하여 이들의 이야기를 귀 기울여 듣고, 애로사항을 해소시켜주기 위한 마음가짐을 가지고 연구하는 것이 중요합니다. 저희 연구진은 현장에서 실질적으로 활용할 수 있고, 안전한 장치를 개발하여 약자들에게 도움을 주고자 연구에 참여한 것이 좋은 결과물로 다가온 것 같습니다.

휠체어 탑승 고속·시외버스 개발 시 이 차에 대한 이름을 뭘로 하면 좋을지 연구진측에서 네이밍 공모를 했습니다. 누리버스, 모두버스, 동행버스, 유니버스, 가치버스, 함께버스, 위드버스 등 18개의 이름이 후보로 올라왔었고, 외부전문가(시민교통안전협회, 전국장애인단체총연합회, 한국지체장애인협회, 전국버스운송사업조합, 전국고속버스운송사업조합)의 심사를 거쳐 1위 동행버스, 2위 누리버스, 3위 위드버스가 선정되었습니다. "함께가요! 행복여행"이라는 슬로건으로 장애인과 비장애인이 자연스럽게 더불어 여행하며 생활하는 사회를 만들고자 노력하였는데, 동행버스를 개발하여 현장에 보급한 연구책임자로서 자랑스럽다고 생각합니다.



R&D 주요 성과물

논문	• 20건	수상실적	• 2019년 국토교통연구개발 우수성과
현장적용	• 서울에서 부산, 강릉, 전주, 당진 등 4개 구간, 10대 운행('19년)	지식재산권	• 특허등록 3건, S/W 10건

08 경량 프리캐스트 패널을 이용한 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 개발

원지반 부착방식의 패널 설치를 통한 공정개선 기술

- 과제명** | 자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽 개발
- 연구기간/연구비** | 2014년 6월 ~ 2016년 6월 / 9.5억 원
- 연구책임자** | (주)세종이엔씨 민경남

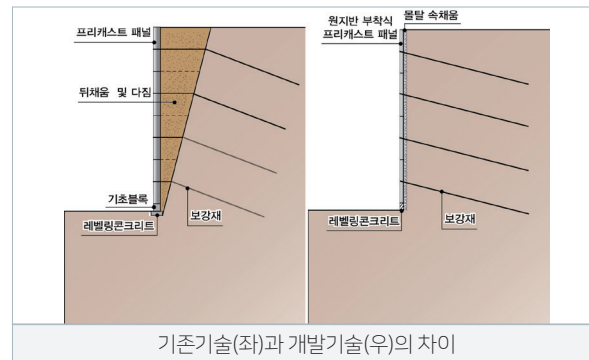
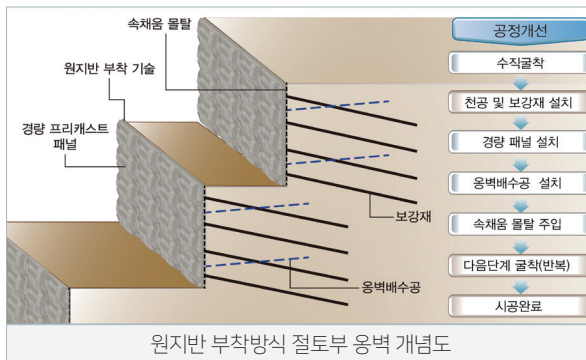
성과소개	• 경량화된 프리캐스트 패널을 개발하고 패널의 설치방법을 개선하여 시공성과 안정성이 향상된 절토부 옹벽 개발
기술 수준	• 기존 패널보다 40% 정도 가벼운 패널 개발 • Top-Down 및 부착형태의 시공방식을 통한 원지반과 패널 일체형 옹벽으로 내구성 강화 • 패널 배면 도메움과 다짐 공정이 불필요한 옹벽 공정 개발
파급효과	• 원지반 부착방식의 패널설치에 의한 공정 간소화로 공사기간 단축 및 공사비 절감 - 기존기술 대비 패널설치 공사비 14% 절감 • 수직굴착 및 패널 부착으로 토공량 감소 및 추가부지 확보 - 기존 공법 대비 토공량 6m3/m 감소 - 추가부지 2.3m2/m 확보 • 기능과 성능을 고려한 경량 패널 사용으로 적용성 향상 - 기존 패널(800kg) 대비 무게가 300kg 감소한 경량 패널(500kg) 개발 - 패널 측면이 둥근 요철형으로 설계되어 전면 30°, 후면 41°의 회전이 가능하여 곡면부에서도 연속 시공이 가능
성과 활용처	• 고속국도 제29호선 세종~포천(안성~용인)간 건설공사(제3공구) 등 13개 현장 • 도로, 철도, 단지 등 절토부 옹벽 분야
성공 요인	• 설계와 시공을 직접 수행함으로써 지속적인 기술 개발 • 고객의 요구 충족과 기술인증을 통한 신뢰감 확보
장애 요인	• 자연암반 질감의 문양 표현과 패널의 무게 감소

극복 방안

- 수치해석, 실내시험, 현장시험시공을 통한 최적설계

향후 발전 방향

- 유지관리점검을 고려한 실시간 모니터링이 가능한 공법 개발



성과 정의(What)

• 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 기술이란 무엇인가요?

- 기존 패널 대비 무게가 대폭 감소한 경량 패널을 이용하여 옹벽 구축 시 아래에서 쌓아 올리는 기존공법과 달리 위에서부터 패널을 부착하면서 아래로 내려가는 시공방식의 절토부 옹벽 기술입니다. 원지반에 패널을 부착하는 방식으로 기존공법보다 지형 훼손 최소화, 시공 중 안전성 향상, 유지관리가 간편합니다.

연구배경(Why)

• 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 기술을 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 산지가 70% 이상인 국내 지형조건상 자연지반을 깎아서 부지를 조성하는 것이 필수적입니다. 이에 따라 효율적인 국토이용을 위하여 최근 패널식 절토부 옹벽이 확대 적용되고 있습니다. 기존의 적층식 시공방법은 공법적 특성으로 인해 패널 배면 뒤채움이 필요하여 일정부분 토공량이 발생하게 되고 뒤채움에 의한 시공간섭, 유지관리에 대한 문제점이 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존의 적층식 옹벽 대비 토공량이 감소되고 공정개선을 통해 시공성이 향상된 원지반 부착방식의 절토부 옹벽을 연구하게 되었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 기술을 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- Top-Down 공법을 하면서 프리캐스트 패널을 원지반에 바로 부착하기 위해서는 패널의 경량화가 반드시 필요했습니다. 하지만 단순히 무게만 줄이면 패널의 구조적 안정성을 확보하기 곤란하기 때문에 많은 어려움을 느꼈습니다. 특히 자연암반 질감의 전면문양을 표현하면서 패널의 두께를 최적화해야 했기 때문에 경량화 과정이 쉽지 않았습니다. 연구원들은 전산프로그램을 이용한 수치해석과 실내시험 및 현장시험을 수차례 반복하면서 구조적인 안정성을 확보하면서 감량화를 진행하였습니다. 그 결과 기존 패널(800kg) 대비 무게가 약 40% 감소한 460kg의 경량 패널을 개발하였습니다.

• 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 기술 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 기존 공법보다 더 안전하고 효과적인 기술을 개발하기 위한 집념과 신기술 개발을 위한 시공현장과의 끈임없는 피드백이 가장 큰 성공요인이라고 생각합니다. 우리가 개발한 Top-Dwon 시공방법은 프리캐스트 패널을 직접 원지반에 부착해야 하기 때문에 패널의 경량화가 필수적이었습니다. 수치해석을 통한 구조해석, 실내 편침시험을 통한 패널강도 확인, 현장시험을 통한 검증 등을 통해 결국 460kg의 경량 프리캐스트 패널을 개발하였고 현장 작업자들이 간편하고 안전하게 설치할 수 있는 원지반 부착방식의 기술을 개발하였습니다. 개발기술은 그 우수성을 인정받아 절토부 옹벽 부문에서 최초로 신기술지정을 받게 되었습니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 가장 큰 이유는 간편한 시공에 있다고 생각합니다. 기존의 패널 무게는 800kg~1,000kg 내외의 고중량 제품으로 운반 및 취급이 어렵고 패널 설치가 더딥니다. 하지만 경량 패널은 취급이 용이하고 신속하게 설치할 수 있어 패널 설치 시간을 약 27% 단축할 수 있습니다. 또한 기존 공법과 달리 패널을 원지반에 부착하여 뒷채움과 다짐 공정이 생략되어 공사기간이 단축되고, 공사비도 절감되는 장점이 있습니다.

- 다른 이유는 시공자가 안전하게 작업할 수 있다는 점입니다. 기존의 공법은 높게는 5m 이상의 높이와 협소한 공간에서 작업자가 패널을 설치하기 때문에 낙하 같은 안전사고에 취약합니다. 하지만 Top-Down 시공방법을 적용하면 패널 높이인 1.2m에서 작업이 이루어져 고소작업 없이 시공자가 안전하게 작업을 할 수 있습니다.

성과 효과(Where)

• 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 기술에서 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 프리캐스트 패널을 경량화하고 심미성을 높였습니다. 기존 프리캐스트의 무게는 800kg이지만 개량을 통하여 300kg 감소한 460kg의 경량 패널을 개발하였습니다. 디자인 또한 자연암반 질감을 표현함으로써 기존의 단순 문양의 패널에서 탈피하여 경관성 저하 문제를 해결하였습니다.

- 패널 설치 시 Top-Down 시공방법을 적용하면 기존의 적층식 패널 공법에 필요한 패널 배면 굴착 및 되메우기, 다짐 공정이 사라지게 되어 공사비 절감 효과가 크게 나타납니다. 경제성 분석 결과 기존방식의 설치 공정 대비 패널 설치비용이 2.34억 원에서 14% 감소한 2억 원으로 나타났으며, 공사시간 역시 14.59시간에서 27% 감소한 10.76시간으로 대폭 감소하였습니다.
- Top-Down 시공을 통해 비탈면 굴착 시 기존의 깎기비탈면이 아닌 수직굴착을 하기 때문에 부지활용이 늘어나고 토공량은 감소하는 효과가 나타납니다. 미터당 토공량은 6m³/m가 감소하였고 추가부지는 2.1m³/m를 확보하여 시공 시 필요 이상의 원지반 훼손과 자연파괴, 경관성 저하의 문제점을 해결할 수 있습니다.
- 시공자의 안전성 또한 확보하였습니다. 기존 옹벽 공사처럼 옹벽의 높이만큼 절삭한 비탈면에서 공사를 진행(5m 내외)하는 것이 아닌 패널 높이(1.2m)만큼 위에서 아래로 한 단계씩 내려가면서 시공이 진행됩니다. 이를 통해 지반 붕괴를 최대한 억제함으로써 시공 중 비탈면 안전성이 향상되며, 보강재 및 패널 설치작업 높이가 1.2m로 고소작업이 없어 낙하사고나 안전사고를 방지할 수 있습니다.

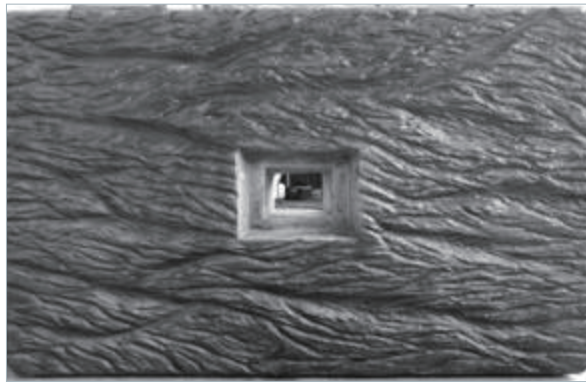
■ 향후계획(Will)

- 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 기술이 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?
- 타 기술 개발 진행으로 인해 '21년까지 연구하다 보류한 모니터링 계측 센서 개발을 다시 진행할 예정입니다. 저희가 개발한 원지반 부착방식의 절토부 옹벽의 변형이나 안전 점검을 위한 모니터링 체계를 구축하여 더욱 효율적인 옹벽의 유지보수와 점검을 통해 시공부터 유지관리까지 전 주기를 책임지는 기술을 개발하기 위해 노력하겠습니다.

■ 성과 현장적용 사례



원지반 부착방식의 절토부 옹벽 시공전경



경량 프리캐스트 패널

■ 연구자 한마디



일개의 중소기업이 독자적으로 기술개발을 한다는 것은 쉬운 일이 아닙니다. 많은 시간과 돈 그리고 인력이 투입되는 것은 아무래도 부담스럽기 때문입니다. 하지만 국토교통 R&D사업을 통해 지속적인 투자와 관심을 받아 '경량 프리캐스트 패널을 이용한 원지반 부착방식의 절토부 옹벽 개발'을 성공적으로 마칠 수 있었습니다. 특히 경량 프리캐스트 패널의 개발은 옹벽 부문에서 처음으로 신기술지정을 받게 되었으며 그 우수성을 인정받아 우리 제품과 공법을 찾는 곳이 많아졌습니다. 이처럼 다른 중소기업들도 국토교통 R&D 사업을 통해 새로운 기회를 잘 활용할 수 있기를 바랍니다.

■ R&D 주요 성과물

논문

- 8건

현장적용

- 고속국도 제29호선 세종~포천(안성~용인)간 건설공사(제3공구)
- 광주용산지구 도시개발사업 지구외도로(중1-217호선) 개설공사
- 국도5호선 신림~판부2 도로건설공사
- 평촌지구 도시개발사업 단지조성공사 외 15건(매출액 110억원)

수상실적

- 중소벤처기업부 성능인증서(제27-430호)
- 한국발명진흥회 우수발명품 우선구매선정 확인서(제2018-0761호)
- 조달청 해외조달시장 진출 유망제품(제2018-045호)
- 조달청 벤처나라 지정증서(제2018-09-0175호)
- 2018년 특허기술상 지식영상 수상
- 2020년 국가연구개발 우수성과 100선 선정
- 건설신기술 제922호
- 2020년 국토교통 R&D 우수성과

지식재산권

- 특허 3건

09 장경간 철도교를 구축할 수 있는 강합성거더 개발

장경간 강합성거더(SBarch 합성거더)의 철도교 실용화 기술개발

- 과제명** | 장경간 강합성 거더(SBarch 합성거더)의 철도교 실용화 기술개발
- 연구기간/연구비** | 2010년 12월 ~ 2012년 1월 / 3.1억원
- 연구책임자** | SB엔지니어링(前 해동브릿지(주)) 원용석

성과소개	강재와 콘크리트를 효율적으로 결합하여 압축강도, 진동 등 구조적 성능을 개선하고 안전성과 경제성을 확보한 교량 제작기술 개발
기술 수준	- 장경간(60~70m) 교량에 적용 가능(기존엔 중량문제로 적용 불가) - 세계 최초 105m급 도로교 상부거치시연회 실시 - 기존 강박스교 대비 가설중량 30% 감소 및 30% 이상 자재절감
파급효과	- 기존 기술 대비 공사비 15.8% 절감 및 공기단축 가능 385m 교량 제작 시뮬레이션 결과, SBarch 합성거더 적용 시 강재량을 32% 절감(기존기술 3,092.8 ton → 개발기술 2,098.2 ton)하여 공사비를 15.8%(기존기술 189.8만원/㎡ → 개발기술 159.8만원/㎡) 절감 및 공기 단축 120m 강박스교를 SBarch 합성거더로 변경하여 적용한 결과, 강재량을 31% 절감(기존기술 972.6ton → 개발기술 669.8ton)하여 공사비를 15.3%(기존기술 192.5만원/㎡ → 개발기술 163.4만원/㎡) 절감 및 공기 단축 - 노후화 철도교를 대체하여 지속적인 국내외 수요가 예측 - 향후 10년간 212km의 철도교량 건설 수요가 발생할 것으로 예측 - 공장제작이 전체 공정의 90%를 차지하여 품질이 우수 - 콘크리트교 대비 약 25%의 이산화탄소 배출 절감효과 존재
성과 활용처	고속국도 제600호선 부산외곽순환고속도로 건설공사, 고속국도 제 30호선 상주-영덕간 건설공사 제10공구 등 국내 100개 및 인도네시아 수모교(Sumo Bridge), 야니교 등 6건의 해외교량 사업

성공 요인	- 다수의 현장 성능시험으로 안정성에 대한 객관적 근거 확보 - 설계자동화 프로그램을 개발하여 공사 단계별 지속적인 성능검토와 정확한 설계체계 확보
장애 요인	최근 강재 자재가격의 상승으로 인하여 강합성 거더교 보다는 상대적으로 가격이 저렴한 콘크리트 거더교를 선호 하는 경향이 있어, 우수한 장경간 거더를 개발하였음에도 불구하고 실제적용에 어려움이 있음
극복 방안	- 최근 국제적인 이슈인 기후위기 극복을 위한 탄소중립 녹색성장 정책에 부합(약 25% CO2 절감)되는 SBarch 합성거더 적용의 당위성을 발주청에 지속적으로 홍보 - 콘크리트교는 미래 세대에게 산업폐기물을 물려주는 것으로 최대한 사용을 자제해야 하는 공법
향후 발전방향	해외시장 진출 성공사례를 바탕으로 기술수출 확대



SBarch 합성거더 60m 철도교 실물실험



성과 정의(What)

SBarch 합성거더란 무엇인가요?

- SBarch 합성거더란 마치 형태의 콘크리트 합성단면 구조로 거더의 압축강도를 향상하여 강중을 저감하고, 거더의 처짐과 진동을 줄여 장경간화 작업이 가능한 교량구조입니다. 또한 교량의 하단 지지부분은 박스거더와 I거더의 형태를 융합하여 직접 교량 폭원을 조절할 수 있는 구조를 취해 안정성을 높였습니다.

- 다시 설명하자면 콘크리트와 강거더를 합성하여 개발한 신기술로, 강도, 중량, 진동 측면에서 하중전달 매커니즘을 개선하여 안정성을 높이고 100m 이상의 장경간 교량을 구축할 수 있는 기술입니다.

연구배경(Why)

• SBarch 합성거더를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 교량은 도로 및 철도의 연속성을 위하여 강, 계곡 등과 같은 교량하부의 장애요소를 넘어 횡단하기 위해 설치되는 필수적이고 중요한 구조물입니다. 연구개발을 착수한 10년 전에는 현장에서 PSC빔교와 Precom과 같은 합성형 교량이 주로 사용되었으나, 거더 종량, 철도 운행 시 진동과 충격 등으로 인해 60m 이상의 장경간 구현이 불가능하여 강박스교로 대체되고 있었고, 고가의 공사비 소요가 큰 단점이었습니다. 따라서 장경간 구현이 가능하고 기능성과 경제성을 겸비한 혁신적인 철도교를 구축하고자 새로운 교량 형식 개발에 착수하였습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• SBarch 합성거더를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- SBarch 합성거더 개발 직후에는 장경간 교량에 적용할 수 있는 경제적이면서 안전한 교량형식이라고 확신하였으나, 시장에서는 새로운 기술이고 검증되지 않은 공법이라면서 적용하기를 꺼려하였습니다. 그리하여 여러 차례에 걸쳐 검증실험을 시행하였고 그 결과를 바탕으로 현장에 적용되기 시작하였습니다. 이러한 면에서 국토교통부의 사업화지원사업은 SBarch 합성거더가 적용되는데 많은 도움이 되었습니다.

• SBarch 합성거더 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 철도교 설계자동화 프로그램을 개발하여 다양한 조건의 실험을 간편하게 실시하고, 합리적으로 최적조건을 찾을 수 있었습니다. 저희가 기존에 보유하던 도로교 자동화 프로그램을 철도교까지 확장하여 설계된 교량을 3차원 모델링하고, 교량의 종류와 형식, 교량, 열차의 동적특성, 궤도의 상태, 열차의 주행 속도 등 여러 요인을 고려한 상세해석을 통한 철도 열차하중거동을 분석하여, 최적의 하중조건을 만족하는 도면과 설계기준을 빠르게 도출할 수 있습니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 연구개발 시 실시했던 20m 실물파괴실험, 69m 현장재하실험, 국내 최초 60m 장경간 철도교 정·동적 재하실험실험, 세계 최초 105m 도로교 상부거치 시연회와 차량하중 재하시험 등 다수의 실물실험 기반 성능검증 결과가 강거더 공법을 곧바로 시장에 적용할 수 있는 근거로 적용되었지요. SBarch 합성거더는 현재 국내뿐만 아니라 전 세계적으로도 개발된 바가 없는 최초 기술이었기에 안정성이 확보되자마자 빠른 상용화로 이어졌습니다.

- 국내외 전시회나 신기술 경진대회 등을 통해서 성과를 홍보하고, 건설 및 철도신기술을 확보하게 되면서 시장에 신뢰성을 입증한 것도 큰 도움이 되었습니다.

성과 효과(Where)

• SBarch 합성거더가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 기존의 교량들은 주행 시 흔들림이 느껴지는데 이는 교량의 강성과 연결되는 문제입니다. 거더 강성을 강화시켜 튼튼하고 안전하여 지면 처짐과 흔들림을 줄일 수 있습니다. SBarch 합성거더는 U형 단면과 I형 단면이 효율적으로 결합된 강재거더에 아치 형태의 콘크리트를 타설하여 이종재료의 상호보완효과를 극대화하였습니다. 그 덕에 처짐과 비틀림을 줄이고, 구조적인 안정성을 더해 강재의 사용량과 중량을 줄였으며, 불가능하던 강거더 기반의 100m 이상 장경간교 설계를 가능하게 만들었습니다. 현장가설이 아닌 공장제작이 전체 공정의 90%를 차지하여 품질 또한 우수합니다.

- 이 기술은 다수의 실물실험과 철도신기술(2011-0028호), 건설신기술(제646호), 한국수자원공사 신기술(제13차), SH공사 신기술(제 69-5), SOC기술마켓 인증기술 등 공인기관의 검증 및 신기술 등록을 통해 신뢰성을 확보하였고 국내외로 상용화되었습니다.

- 대표적인 사례로는 고속국도 제600호선 부산외곽순환고속도로 건설공사, 고속국도 제 30호선 상주-영덕간 건설공사 제10공구, 성남-여주 복선전철 제5공구 건설공사, 원주-강릉 고속철도 제11공구 건설공사가 있습니다. SBarch 합성거더 기술을 도입하여 385m 교량 제작 시뮬레이션 결과, 기존기술로는 3,092.8톤이 사용되던 강재량이 2,098.2톤으로 32% 절감되었고, 공사비가 189.8만원/㎡에서 159.8만원/㎡으로 15.8% 절감되었습니다. 또한 강재거더가 더 가벼워 가설시간이 감소되므로 공사기간도 단축시킬 수 있었습니다.

- SBarch 합성거더는 국내를 넘어 해외로도 진출하였습니다. 2017년 인도네시아 수라바야(Surabaya) 지역 수모교(Sumo Bridge) 건설을 시작으로 2021년에는 인도네시아 자카르타 중심을 가로지르는 총 길이 215m의 교량 에이 야니교(A. Yani Bridge) 계약을 따내 준공에 성공하였습니다. 설계로는 최대 120m까지 장경간을 구현할 수 있으나, 실제 시공에서 100m를 준공한 것은 이번 에이 야니교가 처음이었기에 저희도 보고도 믿기지 않는 결과였습니다.

- 또한 SBarch 합성거더는 재활용이 가능한 친환경성 재료인 강재를 사용하면서 강재량을 절감하고 있기때문에 콘크리트를 원재료로 사용하는 교량 대비 CO2 발생량도 약 25% 절감하고, 저탄소 녹색성장 정책에 부합합니다.

향후계획(Will)

• SBarch 합성거더는 앞으로 어떻게 발전할 것으로 예상하시나요?

- SBarch 합성거더는 장경간 교량에 특화된 기술집약적 공법으로, 많은 섬으로 이뤄진 지역 특성에 적합합니다. 현재 인도네시아에 진출하고 있지만 앞으로 다른 동남아시아권 국가에도 저희 기술을 전파하여 대한민국 교량기술의 위상을 높이고 싶습니다.

- 토목기술자로서 자연환경을 최대한 보존하면서 사회에 꼭 필요한 국가 기간시설물인 교량을 건설해야 하기 때문에 하천이나 계곡부에 교각을 최소화하는 것이 필수라고 생각합니다. 그렇기에 장경간 교량에 특화된 SBarch 합성거더는 반드시 필요한 공법이고, 국가 최대과제 중인 하나인 탄소중립을 이루기 위한 혁신형 신기술 공법으로 앞으로도 계속해서 적용될 것이라 생각하고 있습니다.

• SBarch 합성거더의 상용화를 위하여 어떤 제도가 추가적으로 필요하다고 생각하시나요?

- 토목 분야의 경우 연구성과물에 대해 단기간에 효과를 보기 어렵습니다. 기술개발에도 3~4년이 소요되지만, 건설시장에 진출하는데도 5~6년가량이 소요되기 때문입니다. 이에 비해 신기술 보호기간은 7년에서 최장 15년으로 시장진출기간에 비교하면 짧게 느껴집니다. 저희가 개발한 SBarch 합성거더는 개발이 완료된지 10년이 넘었는데도 아직도 시장에서 기술 경쟁력이 높습니다. 이러한 토목분야의 기술개발 및 시장현황을 고려하여 신기술 보호기간의 연장 및 재인증 등의 건설신기술 제도개선이 이뤄지면 좋을 것 같습니다.

성과 현장적용 사례



부산외곽순환고속도로건설공사 대감분기점교(2017)



인도네시아 에이 야니교(2021)

연구자 한마디



연구자들이라면 연구주제를 선정하는데 많은 어려움을 겪습니다. 하지만 머릿속의 상상을 활용하면 연구주제가 보다 쉽게 도출될 것입니다.흔히 기억의 반댓말은 망각이라고 합니다. 이는 기억을 내가 살아온 삶을 영상화하여 축적하는 개념으로 과거 지향적인 관념입니다. 하지만 미래지향적으로 생각해보자면 기억의 반댓말은 상상입니다.‘이것이 연구 주제가 될 수 있을까?’라고 떠오르는 아이디어를 소소하게 넘기지말고, 현실 속에서 어려웠던 점이나 애로사항을 느낀 부분들을 상상을 통해 다양한 연구주제로 발굴하여 구현하시길 바랍니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 10건
현장적용	• 국내 100건 / 국외 6건
수상실적	• 건설신기술 경진대회 우수상 (경기도지사, 2018) • 연구개발공로 장관 표창 (정보통신부장관, 2018) • 건설신기술 활용실적 대상 (한국건설교통신기술협회, 2019) • 건설기술향상 대통령표창 (대통령, 2019) 등 총 9건 • 2017년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허등록 9건(국내5건, 해외4건) , S/W 2건

10 3차원 건물골조 상세설계 원천기술 개발로 시장 선점

골조 상세설계 및 시공관리를 위한 3차원 BIM 설계도구 빌더허브 개발

 **과제명** | 초고층빌딩 글로벌 지원인프라 구축모델 개발

 **연구기간/연구비** | 2015년 12월 ~ 2020년 12월 / 26.9억원

 **연구책임자** | 단국대학교 김치경

성과소개 • 빌더허브는 자체 개발을 통해 현장 적용 및 상용화에 성공한 국내 최초 BIM 설계도구

기술 수준 • 3D 변환 골조 BIM 모델 실시간 상세설계 및 시공관리가 가능한 소프트웨어 개발
• 1%대의 철근, 콘크리트, 거푸집 물량 산출 오차율
- 골조물량 자동 계산을 통해 경쟁제품 10% 대비 최고의 정확성 확보

파급효과 • 골조상세 BIM 모델에 기반한 정밀물량산출, 공정 시뮬레이션, 골조공사 관리 등 다양한 후속 기능을 제공
- 국내 건설사 기술검증 결과 골조공사비 2%절감, 1%대의 오차율을 기반으로 건설현장의 생산성, 경제성 향상 기대
- 해외 경쟁제품 대비 골조건적 생산성이 300% 이상 향상되어 국내외 건설현장에 빠르게 확산 및 적용

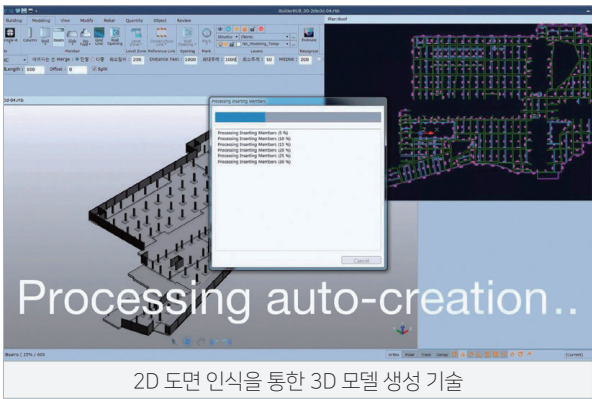
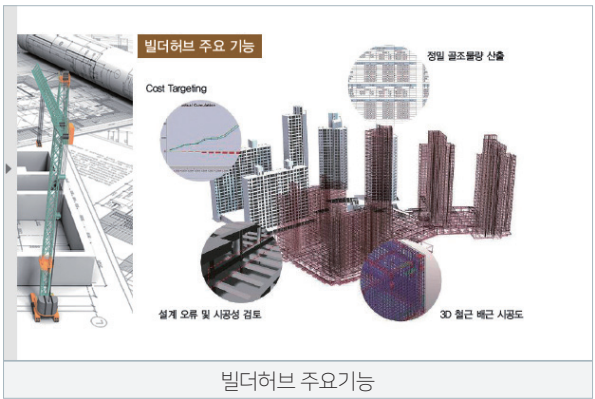
성과 활용처 • 대림산업, GS건설, 대우건설 등 국내 30~40여개 대형건설사

성공 요인 • 미래를 위한 과제 발굴과 국가 R&D를 통한 정부의 지원
• 현업 전문가 초빙하여 현장의 인사이트 수렴 및 협업을 통해 현장 적용성을 높임

장애 요인 • 세계 최고기술 개발을 위한 차별성 확보 노력
• 현장의 실용성을 높이기 위한 표준 기술제작 과정

극복 방안 • 세계최초로 시공업무를 전산화·자동화하여 디지털화 성공
• 대체 및 경쟁 기술이 없기에 표준기술화 가능성 상승

향후 발전방향 • ‘22년 베트남 현지사무소 개설하여 해외시장 진출 예정
• 국내 1~200위권 건설사에 기술 확산 준비(표준기술화)
• 디지털 모델 생성 기술 플랫폼화 목표



성과 정의(What)

- 빌더허브란 무엇인가요?
 - 빌더허브는 단 한 번의 클릭으로 2D 도면 데이터를 3D 골조 BIM 모델로 자동설계를 해주는 프로그램입니다. 설계도서 검토와 견적물량 산출, 공정 연결, 시뮬레이션 등을 제공하여 수만 가닥의 철근을 실시간으로 상세 모델링을 해주기 때문에 사람의 실수를 최소화하고 철근의 설치 정보의 정확성을 극대화할 수 있습니다.
 - 기존 건축산업은 2D 종이 기반으로 사람이 읽고 공사계획을 세우는 형식이었으나, 우리가 제작한 빌더허브는 2D 도면 기반을 3D 디지털 모델 기반을 전환하여 디지털화하는 세계선도 기술입니다.

연구배경(Why)

- 빌더허브를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?
 - 디지털 BIM기반 건설에서 가장 중요한 원천기술은 건축물 디지털 모델을 생성하는 BIM 설계도구입니다. 그러나 우리나라는 실용화된 기술이 전무하여 100% 해외기술에 의존하고 있었습니다. 저희는 BIM 핵심기술을 개발하여 해외의존도를 줄이기 위해 골조 상세설계 및 시공관리가 가능한 소프트웨어 개발에 착수하였습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 빌더허브를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- 장애 요인은 크게 2가지가 존재하는데 첫 번째, 건축 시장에서는 세계 최고기술만 생존이 가능했다는 점입니다. 기술의 우수성과 차별성을 확보하기 위한 노력과 투자가 필요했던 것이지요. 두 번째는 표준 기술을 제작해야 했습니다. 현장의 실용성이 높은 기술이 아니라면 아무도 활용하지 않았기 때문입니다. 이에 대한 방안으로 세계 최초로 시공 업무를 전산화·자동화하여 적은 노력으로 방대한 정보를 디지털화하는데 성공하여 차별성을 확보하였고, 해당 기술은 현재 대체 및 경쟁기술이 없기에 국내 30~40개 메이저 건축기업들이 활용 중입니다.

• 빌더허브 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 미래에 꼭 필요한 디지털화 기술을 연구주체로 잡고, 개발팀이 꾸준히 발전시켜나가면서 정부 차원에서 국가 R&D라는 과제로 지원해주신 것이 큰 도움이 되었습니다. 또한 현업 전문가들을 초빙하여 현장의 니즈와 인사이트를 받아들이고, 여러 회사들과 협업하여 의견을 공유함으로써 개발 기술의 현장 적용성을 높였다는 점이 큰 성공 요인으로 보여집니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 현업 내 실제 프로젝트에 빌더허브를 적용하여 기술을 검증하고 현장의 피드백을 바탕으로 생산성, 기술의 완성도, 현장 실용성을 제고하였습니다. '17년도에 빌더허브 개발을 완료하고, 현장 전문가와 소통하며 프로그램 내 니즈를 반영시키고 고도화하였습니다. 그 결과 '20년 하반기부터 현장에 투입할 수 있는 수준으로 정확성과 활용성을 확보하였고 상용화에 성공하였습니다.

성과 효과(Where)

• 빌더허브가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 현재 빌더허브가 가장 많이 쓰이는 프로세스는 건축 시작 시 공사비를 산출하는 견적업무로, 기존에는 견적 산출 시 7~10% 정도의 오차가 있었으나, 빌더허브를 활용함으로써 1% 이하로 오차를 줄여 줄어든 오차만큼 공사비 절감이 가능해졌습니다. 현재 국내 3~40개의 건설사가 이를 활용한 횟수는 수백 건에 달하며, 투자 유치도 50억 이상이 되는 등 긍정적인 효과를 보이고 있습니다.

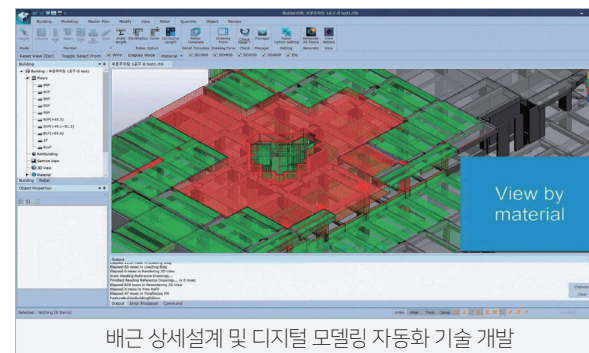
향후계획(Will)

• 빌더허브가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

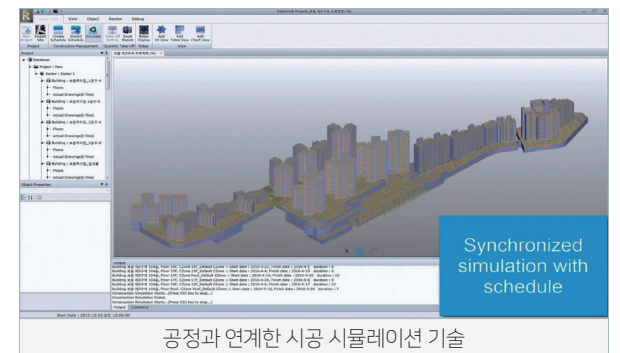
- '22년에 베트남 현지사무소를 개설하여 해외시장 진출 준비중에 있으며, 국내에서는 1~200위권 건설사까지 기술 확산을 통해 진행하고 있습니다. 대규모 프로젝트뿐만이 아닌 중소건설사까지도 표준기술화를 자발적인 디지털 전환을 이끌어가고, 글로벌 진출에 발판을 마련할 것입니다.

- 기술적인 측면에서는 디지털 모델 생성 기술을 다양화하고 현장관리, 협력업체 관리, 공사비 관리, 품질관리 등 후속적으로 활용하는 프로세스까지 이어지도록 플랫폼화하는 것이 목표입니다.

성과 현장적용 사례



배근 상세설계 및 디지털 모델링 자동화 기술 개발



공정과 연계한 시공 시뮬레이션 기술

연구자 한마디



디지털융합 전문기술 강의를 하면서 수업 시작 시 학생들에게 하는 이야기가 있습니다. 디지털 건설시장이란 무궁무진한 규모의 우주공산이 눈앞에 있는데, 이 시장에 단위 요소기술 또는 큰 프로세스 등 세계 최고기술을 개발한다면 큰 기회가 될 것 입니다. 지금도 건설 현장에서는 2D 종이 기술을 활용하여 업무를 추진하고 있는데, 우리나라가 세계 디지털융합 건축 기술의 선두주자가 되어 어마어마한 건설시장에 진출하고, 여기에 공급하는 디지털 솔루션을 장악하는 계기가 되었으면 하는 바람이 있습니다. 또한 민간이나 연구진의 노력으로는 현장에 보급되는 실용성 높은 기술을 개발하는데 한계가 존재하고 꽤 오랜 시간이 소요됩니다. 건설 현장이나 각 건축 기술 분야별 전문가와 기술진이 함께 협업하여 일을 추진할 수 있는 환경을 조성해주셨으면 하는 바람입니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 2건
현장적용	• 대림산업, GS건설, 대우건설 등 국내 30~40여개 대형건설사의 수백건에 건축물 건설 시 적용
수상실적	• 2017년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허등록 3건, SW 2건

11

에너지제로(Energy Zero)와 이롭게
지속 가능한 노원 이지(EZ)하우스

국내최초 세계최고 수준 제로에너지 주택단지 (노원 EZ하우스) 구현

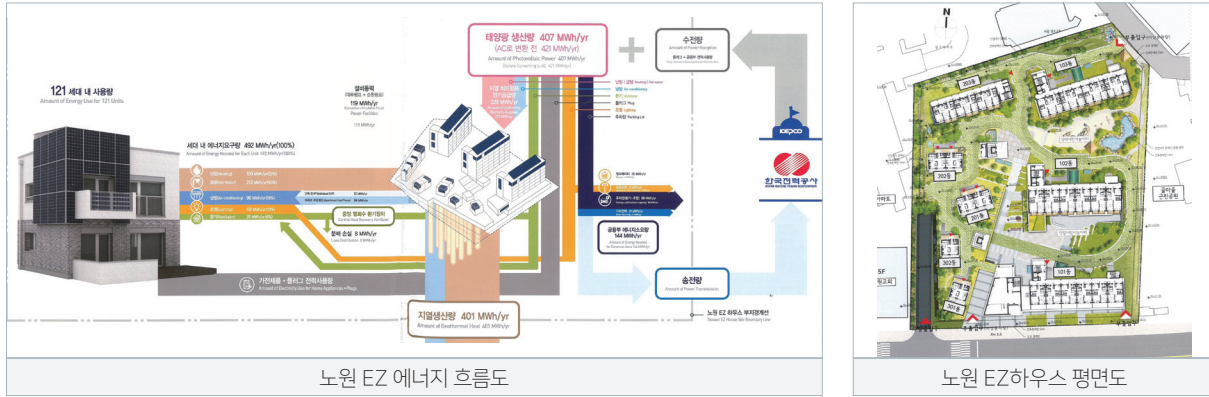
- 

과제명 | 제로에너지 주택 및 단지 최적화모델 개발
- 

연구기간/연구비 | 2013년 10월 ~ 2018년 4월 / 240억 원
- 

연구책임자 | 명지대학교 산학협력단 이명주

성과소개	• 국내 기술을 이용한 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명, 설비 동력 등 주거 활동에 필요한 일차에너지 소요량의 제로 에너지 주택단지 실현
기술 수준	• 100% 국내 설계 및 시공기술과 97.3% 이상의 국내 자재를 이용하여 글로벌 수준의 넷 제로에너지 주택단지 구축 • 국제 패시브하우스 인증 Classic 등급을 취득하고, 국내에서는 효율등급 1+++와 녹색건축인증 최우수 등급 달성
파급효과	• 제로에너지 공동주택의 효과를 입증함으로써 탄소중립 건축 기술 경쟁력 선점 - 패시브설계 요소기술을 적용하여 에너지요구량을 1,249,453kWh에서 492,285 kWh로 약 61% 절감 - 고효율 설비를 적용하여 에너지요구량을 169,907kWh, 약 13% 절감 - 태양광전지판을 이용하여 소비에너지의 약 50%, 407,503kWh의 전력 생산 • 국민 인식 긍정적 전환 및 제로에너지 건축 시장 활성화 촉진 • 제로에너지 공동주택의 환경적·경제적 효과 입증을 통해 기술 확산 및 보급 확대 촉진 가능
성과 활용처	• 23년 공공분양임대 공동주택 24년 민간 공동주택 제로에너지 인증취득 의무화에 주택단지 롤모델로서 활용
성공 요인	• 실물크기 목업주택을 기반으로한 끝없는 실험을 통한 자료의 축적 • 다양한 분야의 행정·연구·설계·시공·기업 간의 소통과 실험과 환류성 개선방안 적용
장애 요인	• 기존에 없던 미지의 길을 개척한다는 두려움과 불확실성 • 제로에너지 주택 관련 유리창, 단열문, 단열제, 열환기장치 등 기자재 확보
극복 방안	• 국내 제로에너지 주택 자체의 발굴 및 제품개발 독려
향후 발전방향	• 제로에너지 주택단지를 넘어 플러스에너지, 탄소중립 주택단지 연구개발을 위해 노력



성과 정의(What)

• 제로에너지 주택이란 무엇인가요?

- 패시브 공법을 통해 단열성능을 극대화하여 건물 외피를 통해 외부로 유출되는 에너지량을 최소화하고 액티브 공법을 통해 신재생에너지를 활용하여 건물기능에 필요한 에너지를 자체적으로 공급하는 '에너지 자립 건축물'입니다.
- 패시브 공법은 일반건축물에 비해 고성능 단열재를 사용하여 열이 빠져나가는 것을 막아 난방에너지를 절감하는 공법이며, 액티브 공법은 태양광, 태양열, 지열 등을 이용하여 신재생에너지를 자체 생산하여 공급하는 공법으로 이를 통하여 종합적으로 생산하고 사용하는 에너지의 합계가 0이 되는 것이 넷 제로에너지(Net-Zero Energy) 기술(이하 '제로에너지')입니다.

연구배경(Why)

• 제로에너지 주택단지를 설계하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- '인간·사회·에너지 환경복지의 꿈을 실현하다'라는 설계철학을 바탕으로 지역주민들의 커뮤니티 활성화를 위한 '함께하는 마을', 에너지 비용을 최소화하고 쾌적한 실내환경을 확보한 '따뜻한 건물'과 '쾌적한 환경' 마지막으로 기존에 없던 공동주택의 보급과 무장애 공간을 통한 불평등 없는 삶이 있는 '행복한 국민'을 목표로 연구를 추진하였습니다.
- 우리 연구진은 위와 같은 설계철학을 바탕으로 효율적인 에너지 사용이 가능한 에너지절약형 주택을 보급하고 안정적인 주거 환경 조성을 통해 삶의 질 향상을 도모할 수 있는 제로에너지 주택 실증단지를 설계하게 되었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 제로에너지 주택단지를 설계·실증하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- 성과명에서도 알 수 있듯이 국내 최초라는 타이틀이 가장 큰 어려움이었습니다. 사업에 참여한 연구자, 설계사, 기업 등 모두 도전과 열정을 가지고 건축 및 기계설계, 고효율 설비와 기계설비의 제작 등 다방면으로 노력하여 미지의 길을 개척하였습니다.
- 제로에너지 주택에 필요한 자재의 확보 또한 어려웠습니다. 건축 자재의 대부분이 수입이기에 국내의 유사한 자재를 발굴하는 것이 쉽지 않았습니다. 그래서 국내업체에 개발을 장려하거나 장치 설계와 제작에도 적극적으로 참여하여 열원설비, 환기설비 등의 고효율 설비를 국산화하였습니다. 이 같은 노력으로 EZ하우스는 97.3% 이상의 국산 자재와 기술력을 이용하여 설계할 수 있었습니다.

• 제로에너지 주택단지 설계의 성공 요인은 무엇인가요?

- 끝없는 실험을 통한 자료의 축적이 EZ하우스의 성공의 밑거름이 되었다고 생각합니다. 사업이 시작된 직후 가장 먼저 실제 크기의 목업주택을 건설하여 갖가지 실험을 진행하여 효율적인 설계를 위한 실험 데이터를 축적하여 EZ하우스 설계의 주춧돌을 마련하였습니다.
- 노원 EZ하우스의 꾸준한 모니터링을 통해 지속적으로 제로에너지 주택의 정보를 취합하고 분석하여 실거주민의 불편사항을 개선하였습니다. 또한 실거주민의 의견을 적극적으로 수용하고 소통하며 문제해결을 위해 지금도 노력하고 있습니다.

• 사업화·상용화를 위하여 어떤 노력을 수행하였나요?

- 노원 EZ하우스가 국내 최초의 제로에너지 주택단지이기 때문에 이와 관련된 제도가 정립되어있지 않았습니다. 그래서 정책 제안 국가위원회 활동을 하며 신문 기고, 특강 등을 통해 제로에너지 주택단지의 성과를 알리고 가능성과 당위성을 확산하여 인식개선에 많은 노력을 하였습니다. 다방면의 활동을 통해 더 많은 제로에너지 건물들이 지어질 수 있도록 인식개선과 관련 기반 조성 등을 위해 노력하였습니다.

성과 효과(Where)

• 제로에너지 주택단지가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 제로에너지 주택단지를 설계할 때 건축물 외피에 외단열, 고기밀, 3중 로이유리 시스템창호, 단열문, 열교차단, 외부 블라인드등 패시브설계 요소기술을 적용하여 일반 주택 대비 에너지 요구량을 약 61% 절감할 수 있었습니다. 또한 열 회수형 환기장치, 지열히트펌프, LED등과 같은 고효율 설비를 적용하여 13%의 에너지 요구량을 추가로 절감하도록 계획하였습니다.
- 패시브 설계만이 아니라 액티브 설계도 도입하였습니다. 121세대가 1년 동안 사용할 건축물 5대 에너지(난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명)를 공급할 수 있게 하였습니다. 재생가능에너지인 태양광 전지판을 설치하여 '전체 5대 에너지소비량'의 33~40%의 전력을 생산할 수 있도록 하였습니다.
- 제로에너지 주택단지는 100% 국내 설계기술과 97.3% 이상의 국내 자재 및 장비를 이용하여 세계 수준에 준하는 제로에너지 단지를 구현하였습니다. 특히 102동의 경우 국제 패시브하우스 인증 중 Classic 등급을 받았으며 국내에서는 건축물에너지 효율등급 1+++를 녹색건축인증 최우수등급을 획득함으로써 국내외로 그 성능을 인증받을 수 있었습니다.

향후계획(Will)

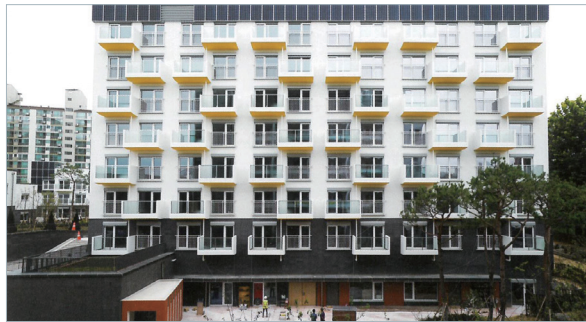
• 제로에너지 주택이 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇 인가요?

- 제로에너지 주택단지를 벗어나 플러스에너지 주택단지 더 나아가 제로에너지 도시, 탄소중립 도시, 제로에너지 커뮤니티 실현을 위한 통찰력 있는 사업이 필요합니다. 그러기 위해선 지역 특성에 맞는 건축물 중심의 온실가스 감축을 목표로 한 제로에너지 도시의 설계가 필요하며 2030년까지 탄소중립 미래도시 200개 모델을 구축하는 것을 목표로 노력하겠습니다.

성과 현장적용 사례



노원 EZ하우스 전경



노원 EZ하우스 단지 내 공동주택

연구자 한마디



제로에너지 주택이 단지 수준에 머물지 말고, 이 노원EZ하우스를 중심으로 제로에너지 스마트커뮤니티, 더 나아가 제로에너지 스마트도시로 확장될 수 있도록 지속적인 국토교통 R&D사업의 지원이 필요합니다. 앞으로 '23년에 공공분양임대 공동주택이, '24년에는 민간 공동주택이 제로에너지 인증취득 의무화가 시행됩니다. 이에 발맞추어 제로에너지 주택의 꾸준한 개발과 개량을 통해 지역 특성에 맞는 제로에너지 도시 모델을 성공적으로 설계하기 위해 앞으로도 꾸준한 관심과 지원을 부탁드립니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 12건
현장적용	• 노원 EZ하우스
수상실적	• 대통령 표창 1건 • 국무총리 표창 2건 • 미래창조과학부 장관 표창 1건 • 국토교통부 장관 표창 2건 • 2018년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허 12건

12

간단한 시공, 적시적소 배치, 주거취약계층을 위한 모듈러 공공임대 주택

저출산 고령화 대응 주거취약계층을 위한 모듈러 공공임대주택 개발

 **과제명** | 수요자 맞춤형 조립식 주택 기술개발 및 실증단지 구축

 **연구기간/연구비** | 2013년 12월 ~ 2019년 4월 / 99억원

 **연구책임자** | 한국건설기술연구원 임석호

성과소개 | • 시의적절하고 신속하게 공급할 수 있는 저렴한 조립식 주택 모델 개발

기술 수준 | • 신속 공급의 특성을 활용하여 적시·적소에 공급 가능
• 국내 최초 모듈러 건축 기술 3대 난제(차음성능, 내화성능, 구조안정성능) 해결
• 인필식 공법을 통한 구조안전성 확보로 5층 이상 적층 가능

파급효과 | • 모듈의 공장제작물의 향상으로 인한 현장 공사기간 단축
- 기존 공장제작물 52%에서 92%까지 향상하여 30호 건물의 현장 공사기간이 기존공법 대비 3일 소요되어 공사기간 50% 이상 단축
• 모듈러 자재 개발을 통한 가격경쟁력 확보
- 콘크리트와 목재 등 융복합 자재를 통해 단가 저감
• 인필식 공법을 통한 구조안전성능 확보와 창의적 디자인 적용을 통해 안전성 확보 및 심미적 요소 가미
- 조립식 컨테이너박스 주택이라는 부정적인 이미지 인식 탈피

성과 활용처 | • 서울 강서구 가양동 모듈러 행복주택
• 천안 두정 모듈러 주택단지

성공 요인 | • 기술성, 시공성, 경제성을 모두 충족할 수 있는 모듈러 공공임대주택 설계

장애 요인 | • 철강재로 만들어지는 모듈러의 불규칙적인 공급과 높은 단가
• 현장 공사시 발생하는 소음 분진 등으로 인한 민원 제기

극복 방안 | • 콘크리트와 목재 등 자재변경을 통한 가격 경쟁력 있는 모듈러 생산
• 모듈러의 빠른 조립으로 공사시간을 줄여 민원 발생 최소화

향후 발전방향 | • 엘리베이터와 계단 등의 현장 타설 요소의 모듈화



서울 강서구 가양동 모듈러 행복주택 조립 현장



서울 강서구 가양동 모듈러 행복주택 전경

성과 정의(What)

• 모듈러 주택이란 무엇인가요?

- 모듈러 주택이라 함은 기본 골조와 현관문, 욕실, 전기 배선 등 집의 기본적인 형태의 70% 이상을 미리 공장에서 만들고 이용자 수요에 따라 주택부지에서 조립만 하면 되는 형태의 주택입니다. 제작부터 준공까지 빠르게 마무리할 수 있고 공사 시 적은 노동력이 소요되며 소음·분진 발생이 감소하는 장점이 있습니다.

연구배경(Why)

• 모듈러 공공임대주택을 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 최근 몇 년간 사회 초년생, 대학생, 신혼부부, 고령자 등으로 구성된 1~2인 가구의 비중이 빠르게 늘어나면서 중소형 임대주택의 수요가 증가하고 있습니다. 그러나 높은 전세가와 임대료 등 주거환경은 갈수록 열악해지고 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 비교적 가격이 저렴한 모듈러 주택을 개발하여 보급한다면 효과적인 주택문제 해결 방안이 될 것입니다. 그래서 우리 연구진은 실증단지를 구축하여 기술적 성능과 거주성을 실증함으로써 소비자의 인식 제고와 함께 임대주택의 새로운 건축 모델을 개발하기 위해 연구를 시작하였습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 모듈러 공공임대주택을 연구하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- 과거의 모듈러 주택은 철강재로 제작되어 가격이 비싸며 재료의 가격변동도 큰 편이라 안정적으로 공급받기 어려웠습니다. 하지만 이러한 문제를 해결하기 위해 철강재 중심이 아닌 콘크리트와 목재로 재료를 변경하여 재료의 단가를 낮춰 가격경쟁력이 뛰어난 모듈러 주택을 만들 수 있었습니다. 뿐만아니라 콘크리트, 목재 등 재료의 융복합을 통해 모듈러의 내구성, 안전성을 확보하였습니다.
- 우리나라는 택지가 부족하여 기존의 주거지에 건축을 하는 경우가 대부분입니다. 이 때문에 소음 분진이 발생하고 민원문제가 빈번히 발생합니다. 하지만 모듈러 주택은 현장에서 최소한의 작업만 진행하기 때문에 민원이 접수되기 전에 공사를 끝낼 수 있었습니다. 일례로 가양동 모듈러 행복주택은 단 3일 만에 모듈 조립을 완료하였습니다.

• 모듈러 공공임대주택의 연구 성공 요인은 무엇인가요?

- 우리 연구진은 연구 초기단계부터 기술성, 시공성, 경제성을 모두 충족할 수 있는 모듈러 주택 개발을 위한 융복합 재료 개발과 설계전략을 수립하였습니다. 기존의 철강재 중심을 벗어나 콘크리트와 목재 등의 재료를 융복합화한 모듈러의 설계와 이를 통한 공사기간 단축과 시공단가의 절감을 실현하였습니다. 그리고 주택법과 주택건설기준의 규정에 부합하는 공공임대 주택 모델을 개발하여 기술성, 시공성, 경제성을 모두 아우르는 성과를 달성할 수 있었습니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 저렴한 비용으로 빠르게 주택을 공급할 수 있는 것이 성공의 요인이라고 생각합니다. 모듈러의 특성상 공장에서 대부분을 완성한 상태로 제작하여 현장에서 조립만 하면 되기 때문에 공사로 인해 지역주민들과 마찰이 최소화할 수 있습니다. 실제로 30세대 기준의 모듈러 주택 같은 경우 하루에도 조립이 가능할 정도로 시공이 빠르고 신속합니다. 또한 철강재 대신 콘크리트, 목재 등의 자재를 사용하여 저렴하면서도 튼튼한 모듈을 생산하여 단가와 안전성을 모두 갖추게 되었습니다.

성과 효과(Where)

• 모듈러 공공임대주택이 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 신속 공급 및 해체가 쉬운 모듈러 공법의 특성을 활용하여 인구구조 및 사회 환경변화에 빠르게 대응할 수 있습니다. 모듈러 주택의 유연한 설계와 경제적·효율적 설치를 바탕으로 소비자의 다양한 요구에 따른 공급 및 운영관리 방안을 모색하여 적시·적소에 공급이 가능합니다.

- 모듈러 건축 기술 3대 난제인 층간소음, 내화성능, 구조 안전성능을 해결하여 국내 최초로 주택법과 주택건설기준 등에 관한 규정을 만족하는 모듈러 주택을 개발하는데 성공했습니다. 완충재를 이용해 충격을 줄이는 공법으로 기존의 모듈러 주택의 60dB에서 50dB으로 차음 성능을 확보하였고 기존 1시간의 내화성능을 2시간 이상으로 확보하였습니다.
- 뼈대가 있는 구조체에 박스형 태의 모듈을 서랍처럼 끼워 넣는 인필식(InFill식) 공법을 통해 구조안전성이 확보되어 고층의 모듈러 주택을 건설할 수 있게 되었습니다. 특히 천안 두정 모듈러 공동주택은 기존 적층식 공법보다 구조안전성이 강화되어 지상 6층 규모로 설계되었습니다. 또한 창의적 디자인을 적용하여 단순 컨테이너박스라는 모듈러 주택의 부정적 이미지를 해소할 수 있었으며 모듈러 건축의 성능 검증을 통해 품질에 대한 인식 제고에도 성공하였습니다.
- 인필식 공법을 적용한 천안 두정 실증단지를 설계할 때 모듈의 공장제작율을 52%에서 92%로 높여 현장 시공 부분을 획기적으로 축소할 수 있었으며 기존 공법 대비 공사 시간을 50% 이상 단축시켰습니다. 이렇게 완성된 실증단지는 사회초년생, 고령자, 주거약자 등 40세대에 저렴한 가격의 임대주택으로 공급되었습니다.

향후계획(Will)

• 주거취약계층을 위한 모듈러 공공임대주택이 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 모듈러 주택은 모듈만 쌓아서 만드는 것이 아닌 '코어'라고 하는 건물의 중심이 되는 엘리베이터나 계단 등의 요소들도 포함됩니다. 하지만 코어는 현재까지 모듈화되지 않아 현장에서 직접 시멘트를 타설하고 코어를 시공해야 하는 현장중심 건설의 요소가 남아있습니다. 앞으로는 '코어' 역시 모듈화하여 더욱 효율적이고 저렴한, 말 그대로 모든 것을 모듈화하여 '조립'할 수 있게끔 기술개발에 힘쓰겠습니다.

성과 현장적용 사례



가양단지 현장사진



천안두정 단지 현장사진

연구자 한마디



현장인력의 부족으로 자동화, 기계화 등 4차 산업혁명이 가속화되어 건설산업이 더 이상 현장산업으로 머물지 않고 탈현장(Off-Site)을 추구해 갈 것입니다. 앞으로 이러한 모듈러 주택은 건설산업의 트렌드가 될 것입니다. 이미 해외 선진국은 활발하게 공공주택이나 민간주택에도 모듈러 건축이 활용되고 있습니다. 우리도 이처럼 트렌드에 발맞추어 나아갈 수 있게 과감한 정부·민간 투자가 필요하고, 다양한 기업이 참여할 수 있는 제도적 기반이 마련되었으면 좋겠습니다.

R&D 주요 성과물

논문

- 4건

현장적용

- 강서구 가양 모듈러 행복주택
- 천안 두정 모듈러 행복주택

수상실적

- 대한건축학회 국가건축정책위원회위원장상 1건
- 2018년 국토교통 R&D 우수성과

지식재산권

- 특허 9건

13 LTE 기반 철도통합 무선통신시스템 상용화

LTE 기반 철도통합 무선통신시스템 상용화

- 과제명 | 일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화
- 연구기간/연구비 | 2014-12-23 ~ 2018-06-22 / 76.4억원
- 연구책임자 | 한국철도시설공단 윤학선

성과소개

- 350Km/h 속도로 달리는 기차에서도 열차 간 데이터통신이 가능한 LTE 기반 철도통합 무선통신시스템

기술 수준

- 세계적 수준, 열차제어시스템 국산화
- 열차제어시스템 안정성 확보 국제인증 등급 SIL 4 획득

등급	안전성 확보수준	실패확률	예상치 못한 장애발생 가능성
SIL 4	99.99% 이상	0.01% 이하	10,000년~100,000년 사이
SIL 3	99.9%~99.99%	0.01%~0.1%	1000년~10,000년 사이
SIL 2	99%~99.9%	0.1%~1%	100년~1,000년 사이
SIL 1	90%~99%	1%~10%	1년~100년 사이

파급효과

- 세계 최초 철도분야에 4세대 LTE 무선통신 사용하는 국가가 되어 선진화에 기여
- 전라선, 중앙선, 원광선에 총 670km의 무선통신시스템 설치

성과 활용처

- 전라선, 중앙선, 원광선

성공 요인

- 국내 업체들의 강한 투자지와 정부정책 방향과의 부합성
- 수요자가 직접 실증연구에 참여하여 에로사항과 의견을 즉시 즉각적으로 반영

장애 요인

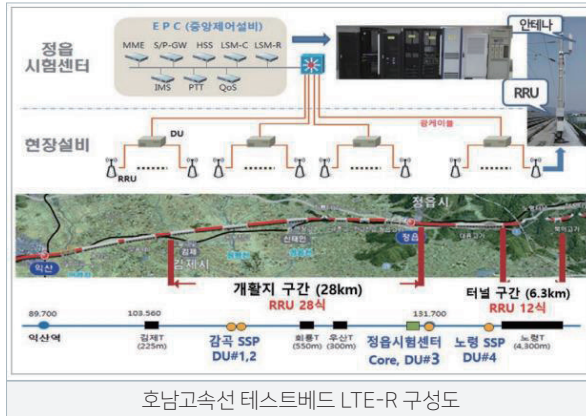
- 고속철도에 대한 시스템을 안정적이고, 효율적으로 시험할 수 있는 테스트베드 부재

극복 방안

- 다양한 변수를 둔 준비 및 시간과 자원을 효율적으로 활용

향후 발전 방향

- 무선통신시스템을 철도와 관제실 뿐 아니라 해양경찰과 소방서와 연계하여 사고에 대한 즉각적인 대응
- 열차의 자율 운행과 철도의 유지 보수 자동화 확산



성과 정의(What)

• LTE 기반 철도통합 무선통신시스템은 무엇인가요?

- LTE 기반 철도통합 무선통신시스템은 4세대 무선통신 기술(LTE)을 철도환경에 최적화시켜 350Km/h 이상의 속도로 달리는 열차, 선로와 열차의 정보를 받는 컨트롤 타워, 보수 작업이 진행 중인 작업 현장 등 다양한 환경에서 열차승무원, 관리자, 작업자 사이의 영상통화, 철도안전 모니터링을 비롯한 LTE 기반의 데이터 통신을 가능하게 하는 기술입니다.
- LTE 기반 철도통합 무선시스템을 열차에 적용하여 철도의 교통상황, 재난상황, 응급상황 등의 정보를 실시간 대내외로 제공할 수 있습니다. 이를 통해 긴급상황 발생 시 신속한 대응이 가능하여 안전성을 향상시킬 수 있습니다.

연구배경(Why)

• LTE 기반 철도통합 무선시스템을 개발하게 된 배경이 무엇인가요?

- 기존 2세대의 철도통신 시스템은 미국이 독점하고 있는 상황에서 유럽은 2010년에 4세대 LTE 기술을 자체적으로 개발하였습니다. 외국의 철도 서비스 산업의 발달에 발맞춰 국내에서도 2세대 철도통신 시스템이 아닌 4세대 철도통신 시스템으로 전환이 절실한 실정이었습니다. 이에 따라 유럽 북미로 양분되어 있던 철도통신 시스템을 우리나라의 LTE 기술을 바탕으로 국산화하고, 세계 철도통신 시스템 기술을 선점하기 위한 기술개발이 필요하다고 생각했습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• LTE 기반 철도통합 무선통신시스템을 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- LTE 기반 철도통합 무선통신시스템을 시험할 수 있는 별도의 시험장이나 시험 선로가 구축되지 않았습니다. 그래서 영업선로에서 시험 평가를 진행하게 되었습니다. 영업시간에는 시험을 진행할 수 없기에 낮에는 시험 준비를 하고, 영업시간이 끝나는 밤에 시험 평가를 진행하는 등 제한된 요건 속에서 연구를 하였습니다.
- 부족한 환경 속에서도 성공적인 연구를 위해 밤낮없이 노력하였습니다. 시험을 할 수 없는 낮에는 충분한 정비 시간을 확보하여 장비 고장, 시스템 오류 등의 변수를 제거하고 대비하였습니다. 이 덕분에 밤에는 최적의 시험이 진행될 수 있었습니다. 이렇듯 시간과 자원을 효율적으로 활용하여 성공적인 개발을 마쳤고 전라선, 중앙선, 원강선에 상용화까지 이룰 수 있었습니다.

• LTE 기반 철도통합 무선통신시스템 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 국내 철도업체들의 투자여지가 강했고, 정부의 정책방향과의 부합성이 높아 실증을 위한 투자가 원활히 이뤄졌습니다. 또한 철도운영 관리기관, 철도차량 제작기관 등 해당 수요자들이 직접 사업에 참여하여 학문적인 연구가 아닌 실용화를 위한 연구를 수행할 수 있었습니다. 연구자가 수요자와 일치하여 현장의 애로사항 및 의견을 원활히 반영하였고, 적극적인 협력이 시너지 효과로 작용하여 개발을 성공적으로 마칠 수 있었습니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 기존에 사용하던 2세대 철도통신 시스템의 기술적·수명적 한계로 인해 차세대 철도통신 시스템으로 교체가 필요하였고, 때마침 국제적으로 화제가 된 평창올림픽이 개최를 앞두고 있었습니다. 그래서 우리 연구진은 원강선(원주~강릉) 구간에 LTE 기반 무선통신시스템을 우선 개통하였고, 평창올림픽 기간에 운영하면서 성공적인 실증과 국가적 우수성을 동시에 입증할 수 있었습니다.

성과 효과(Where)

• LTE 기반 철도통합 무선통신시스템의 우수성을 설명해주세요.

- LTE 기반 철도통합 무선통신시스템의 국산화에 성공하였으며, 독립 안전성 평가기관인 ISA, 철도기술연구원으로부터 안전성과 신뢰성 부분의 가장 높은 등급인 SIL 등급 4단계를 받았습니다. 이는 10,000~100,000년 사이에 고장이 1번 발생할 수 있는 매우 안정적인 수준입니다.
- 철도 인프라 내 LTE 구축을 통하여 철도운영 및 관리능력의 개선으로 이동성 및 효율성을 높일 수 있으며, 사고로 인한 인명피해와 경제적 손실 감소로 철도안전을 획기적으로 개선할 수 있는 기반을 마련하였습니다.

- 기존에 사용하던 1·2세대 철도통신 시스템에서 무선설비를 바탕으로 한 4세대 철도통신 시스템으로 통일하여 운용 효율성을 향상시켰습니다. 열차운행 및 인프라설비에 대한 운영정보를 실시간으로 확인하고, 선로용량 증대 및 열차 지연을 최소화할 수 있습니다.

- 또한 기존철도에서 사용하는 철도통신망과의 연동이 가능하여 LTE 기반 철도통신시스템으로 대체하고, 통신 호환문제를 해결하였습니다. 기존의 철도통신 시스템으로도 열차와 철도시설물 간의 LTE 기반 유기적인 통신환경이 갖춰져 실시간 검사, 진단 및 모니터링 능력을 향상시킬 수 있습니다.

• LTE 기반 철도통합 무선통신시스템을 통한 파급효과를 말씀해주세요.

- 세계 최초로 4세대 LTE 기반 철도통합 무선통신시스템을 상용화하여 우리나라 철도통신시스템 선진화에 기여하였습니다. 현재까지 전라선, 중앙선, 원강선에 총 670km가 설치되었으며, 2022년까지 4,000km로 실증지역을 확대하고자 합니다. 이후 지속적인 상용화를 통해 2028년에 대한민국 전 지역에 4세대 철도통합 무선통신시스템이 상용화될 예정입니다.

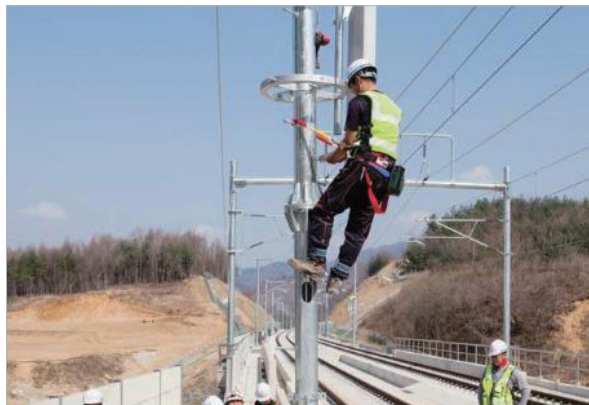
향후계획(Will)

• LTE 기반 철도통합 무선통신시스템의 발전방향이 어떻게 될까요?

- 본 사업의 목적은 안전한 철도 운행환경 조성입니다. 따라서 향후에는 LTE 기반 철도통합 무선통신시스템을 열차와 관제실 뿐 아니라 소방과 해양경찰과의 연계를 통하여 예상치 못한 사고 발생 시 즉각적인 대응체계를 구축하고, 국민의 안전에 기여하고자 합니다.

- 또한 1, 2세대 통신기술로는 실을 수 없던 IoT망을 4세대 무선통신시스템을 통해 실현함으로써 사고위험을 줄이고, 철도의 효율적인 유지 보수로 열차 이용객의 서비스 만족도 상승을 위해 노력하겠습니다. 더 나아가 열차의 자율 운행과 철도 유지·보수 자동화 시스템을 구축하여 4차산업 선도에 이바지하고자 합니다.

성과 현장적용 사례



행신-동대구 등 17개 노선에 대한 LTE-R 설치(2020)



LTE-R 세계최초 경강선 고속철도 적용 (2017)

연구자 한마디



현재 대한민국의 R&D 상용화율은 1~2%로 선진국(4~5%) 대비 상용화율이 현저하게 저조합니다. 기술 상용화를 위한 연구비의 정책적인 지원과, 원활한 실증을 위한 테스트베드 구축으로 연구기반을 조성하여 기술이 현장에 적용될 수 있도록 환경을 만들어준다면 좋을 것 같습니다. 또한 학문적인 연구에 그치지 않고 실질적으로 활용될 수 있는 연구가 많아지면 좋겠습니다. 연구기관-수요기관-산업체가 함께 컨소시엄을 구성하여 연구를 진행한다면, 연구성과물의 즉각적인 현장적용을 통해 국가 R&D의 실용화율이 증가하고, 경제·사회적으로 더욱 파급력 높은 성과들이 창출될 것으로 전망됩니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 1건
현장적용	• 전라선, 중앙선, 원강선에 총 670km 설치
수상실적	• 2018년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허 11건, S/W 3건

14 더 빠르고 더 안전한 고속열차 실용화

동력분산형 차세대고속열차(HEMU-430X) 실용화 달성

-  **과제명** | 430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발
-  **연구기간/연구비** | 2007년 7월 ~ 2015년 12월 / 110.9억 원
-  **연구책임자** | 한국철도기술연구원 김석원

성과소개 | 운영효율과 수송능력이 향상된 430km/h급 동력분산형 고속열차시스템 실용화

- 기술 수준**
- 최고 시험속도 421.4km/h로 세계 4위 시험속도 달성
 - 동력분산형 고속열차 기술 확보
 - 알루미늄 압출재 최적설계로 차체중량 5% 저감 및 차음성능 5dB 향상

- 파급효과**
- 430km/h급 고속열차 기술 개발의 성공으로 세계 4번째 고속철도 기술 보유국으로 도약
 - 연간 250조원에 달하는 세계시장 선점의 토대 마련
 - 동력집중형 및 동력분산형 고속열차 기술을 모두 확보함에 따라 세계시장 수요에 적극 대응 가능
 - 분산형 고속열차 실용화로 경제적 부가가치 창출
 - 국내 수요 1,586량으로 한량 당 40억 원으로 계산 시 63,440억 원
 - * 국내 준고속철도 노선 신규 수요 : 282량
 - * 국내 운영 중 및 예정인 동력집중식 고속열차 대체 수요 : 1,304량

성과 활용처 | 앞으로 동력집중식 열차를 대체할 차세대 동력분산식 열차 전반

- 성공 요인**
- 동력분산형 동력시스템을 통한 신속한 가감속 기술 개발
 - 경량화와 공기저항 최소화를 통한 430km/h급 고속열차 설계

- 장애 요인**
- 시험선이 없어 영업선을 이용하여 성능시험을 진행
 - 잦은 터널과 고저 차 등 국토의 영향으로 인한 증속시험의 한계

- 극복 방안**
- 야간을 활용한 고속열차 시운전시험 실시
 - 성능시험결과와 시뮬레이션 분석을 통한 고속열차 기술 확보

- 향후 발전 방향**
- 350km/h~400km/h 고속철도차량 기술기준을 개발하고 '34년까지 KTX를 대체할 370km/h급 HEMU의 개발과 보급



동력분산형 차세대고속열차(HEMU-430X) 운영



동력분산형 차세대고속열차(HEMU-430X) 개발

성과 정의(What)

- 동력분산형 차세대고속열차(HEMU, High-speed Electric Multiple Unit)는 무엇인가요?**

- 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)는 시속 400km/h급 고속열차로 일본, 프랑스, 중국 다음으로 세계에서 4번째로 빠른 고속열차로서 최대시속 421.4km/h까지 달릴 수 있습니다. 또한 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)는 모든 차량에서 동력을 공급하는 동력분산식 기술을 적용하여 기존의 동력집중식 열차와 비교하여 가감속 성능이 우수하고, 더 많은 승객을 태울 수 있어 운영효율과 수송능력이 뛰어납니다.

연구배경(Why)

- 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)를 개발하게 된 배경이 무엇인가요?**

- 기술적으로 발전하는 세계 고속철도 산업에 적극적으로 대응하기 위해 최고속도 430km/h급 동력분산형 고속열차 시스템 및 핵심기술 개발이 필요했습니다. 이를 통해 국내 철도분야 자체 기술력을 향상시켜 국내 실정에 맞는 독자적인 고속철도 기술과 시스템 확보가 가능합니다. 또한 가감속이 유리하며 수송용량이 큰 고속열차를 개발해 프랑스, 일본 등 철도선진국과의 기술경쟁에서 뒤지지 않을 기술력으로 세계시장에 진출하기 위하여 개발을 시작하였습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- 우리나라는 프랑스나 일본, 독일과 같은 철도선진국과는 달리 장거리 시험선로가 부재합니다. 따라서 운영 중인 영업선로에서 영업열차 운행이 종료된 자정 이후 새벽까지 시운전시험을 수행할 수 밖에 없었습니다. 하지만 한국철도공사와 국가철도공단의 적극적인 지원을 통해 비록 야간이지만 원활한 시험이 될 수 있도록 환경을 마련해 주어 시험을 진행할 수 있었습니다.
- 증속시험 과정에서 산지가 많은 우리나라 국토의 특성으로 인해 터널이나 고저가 많아 최고시험속도는 421.4km/h로 목표했던 430km/h에 도달하지 못하였습니다. 하지만 가속시험 결과와 시뮬레이션 등을 통해 분석한 결과 터널이 없는 개활지로 가정하면 440km/h 이상의 속도를 낼 수 있는 결과값을 얻음으로써 430km/h급 고속열차 개발이라는 목표를 달성할 수 있었습니다.

• 동력분산형 차세대고속열차(HEMU) 개발의 성공 요인은 무엇인가요?

- 430km/h급 고속열차를 설계하기 위해서는 차체의 경량화와 공기저항을 최소화하는 기술이 필수적입니다. 차체의 무게를 줄이기 위해 알루미늄 압출재를 이용하여 차체를 설계하여 KTX-산천 대비 5.4% 경량화하였습니다. 또한 공기역학적 해석을 통한 유선형 전두부를 설계하여 300km/h주행 시 KTX-산천 대비 주행저항을 10% 저감하였습니다.

• 사업화·상용화를 위하여 어떤 노력을 수행하였나요?

- 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)는 430km/h급 열차뿐만 아니라 250, 300, 350, 370km/h같이 운영속도 별 모델 포트폴리오를 구축하여 다양한 사용처에 대응할 수 있도록 수요 맞춤형 모델을 함께 개발하였습니다. 덕분에 수요가 필요한 곳에 적절한 모델을 유연하게 보급할 수 있게 되었습니다. 이런 이점을 앞세워 해외 시장 진출을 모색하였고 터키, 말레이시아, 싱가포르 등 해외의 주요 고속철도 프로젝트 수주를 위해 힘쓰고 있습니다.

성과 효과(Where)

• 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 동력분산형 동력시스템 적용을 통해 우수한 가 감속 성능확보와 수송용량을 증가시켰습니다. 기차의 앞뒤 차량에서 동력을 제공하는 것이 아닌 모든 차량에서 동력을 제공하기 때문에 300km/h 도달시간이 214초로 KTX-산천(316초) 대비 30% 감소하였고 300km/h 주행 시 비상제동거리는 2,871m로 KTX-산천(3,158m)보다 더 빠르게 멈출 수 있습니다. 또한 소형/경량화 된 동력추진시스템을 차량 하부에 분산 배치하여 더 많은 실내공간을 확보할 수 있어 8량 1편성 시 최대 535석으로 KTX-산천 동일 편성(410석) 대비 30% 향상된 수송용량을 확보하였습니다.

- 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)는 현재 운영중인 KTX-산천과 비교하여 속도와 승객이용 편의성 방면에서 모두 뛰어납니다. 동 열차는 운영속도가 300km/h인 KTX-산천보다 빠른 370km/h를 가지며 기존 차폭 2,970mm에서 4.3% 늘어난 3,100mm로 내부공간을 확장하였습니다. 내부 좌석 역시 간격을 늘려 KTX(930mm), KTX-산천(980mm)보다 넓은 1,000mm의 간격을 두어 이용객의 편의성과 쾌적성을 향상하였습니다.

- 핵심장치의 경량화/소형화, 추진시스템 분산배치 그리고 알루미늄 압출재 최적설계를 통해 차체 경량화를 이루었습니다. 이를 통해 축중량을 KTX-산천(17ton) 보다 가벼운 14ton으로 감량하였습니다. 또한 공기역학적 해석을 통한 유선형 전두부를 설계하여 공기저항 감소를 통해 300km/h에서 KTX-산천 대비 주행저항이 10% 감소하였습니다. 이렇게 경량화와 유선형 전두부 설계를 통해 소비에너지를 절감할 수 있습니다.

향후계획(Will)

• 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 현재 중국은 350km/h, 유럽은 320km/h의 고속열차가 영업운행되고 있습니다. 하지만 우리나라의 최고 영업운행속도는 300km/h로 철도선진국에 비해 뒤져 있습니다. 이에 우리는 동력분산형 차세대고속열차(HEMU)의 측정데이터를 기반으로 350km/h 이상의 최고 운행속도에 대한 차량기술기준을 개발하고, 2034년까지 KTX를 대체할 370km/h급 열차의 개발과 보급을 통해 철도선진국과 같이 빠르고 안전한 열차 서비스를 제공할 수 있도록 노력하겠습니다.

성과 현장적용 사례



HEMU-430X로 개발된 KTX-이음 안동역 정차(2021)



HEMU-430X로 개발된 KTX-이음 덕소역 정차(2022)

연구자 한마디



우리나라도 철도선진국이 되기 위해선 활발한 열차 개발과 실험이 진행되어야 합니다. 그러기 위해선 시험선로의 구축이 필수입니다. 비록 우리 연구진은 시험선로가 부재하여 영업선로에서 시험을 진행하였습시다만 앞으로의 열차기술 개발을 위한 데이터 수집과 기술력을 축적할 수 있었다는 점에서 큰 보람을 느끼고 있으며, 우리나라가 철도선진국의 정점에 설 수 있도록 힘쓰겠습니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 국내학술지 118건 • SCI학술지 29건
현장적용	• 강릉선, 중앙선, 중부내륙선 KTX-이음 운행
수상실적	• 국토교통R&D우수성과 (교통과학기술진흥원, 2015) • 건설신기술 경진대회 우수상 (경기도지사, 2018) • 연구개발공로 장관 표창 (정보통신부장관, 2018) • 건설신기술 활용실적 대상 (한국건설교통신기술협회, 2019) • 건설기술향상 대통령표창 (대통령, 2019) 등 총 9건 • 2017년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허등록 9건(국내5건, 해외4건), S/W 2건

15 차세대 항공교통수단, 소형항공기 시대 열린다

4인승 소형항공기급 인증기(KC-100, 나라온)

 과제명	소형항공기급 인증기 개발
 연구기간/연구비	2008년 6월 ~ 2013년 12월 / 972억원
 연구책임자	한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단장 이장연

성과소개	• 국내 최초로 단발 피스톤 엔진을 장착한 국제 인증 4인승 민간항공기(KC-100)
기술 수준	• 315마력 피스톤 엔진을 탑재하여 최대고도 7,620m, 운항속도363km/h, 항속거리 2,020km 운항 가능 • 경쟁 소형항공기(SR-22)보다 2배 높은 내구성을 보유하고 전자식 엔진제어장치(FADEC)적용으로 연비 효율성 우수
파급효과	• 본 사업으로 한-미 항공안전협정(BASA)을 확대 체결하여 수출 가능 제품을 기존 항공기 부품급(TSO)에서 소형 항공기급(Part.23)로의 확대 • 소형항공기 설계/제작/시험평가/인증체계 구축과 국내 인증 및 FAA TC 획득으로, 향후 소형항공기 개발시 해외 선진국과 동등한 기술수준의 인증 획득 및 해외 수출 가능
성과 활용처	• 방위사업청과의 협력을 통해 KC-100 23대 공군사관학교에 납품
성공 요인	• 연구진들의 포기하지 않는 정신과 지속적인 정부 지원
장애 요인	• 첫 인증 프로젝트임에도 시험 평가의 부족한 일정 • 시험 검증 과정의 안전성에 대한 지적으로 인증 일정 지연
극복 방안	• 2교대(주간/야간)로 운영하여 연구시간 확보로 일정문제 해결 • 사내 절차와 일부 설계변경을 통해 위기를 극복하고 국내 최초로 형식증명 제작증명 감항증명 취득
향후 발전 방향	• 본 사업의 성과인 BASA 소형항공기급(Part23) 체결을 토대로 향후 중대형항공기급(Part25)까지 확대체결하여 항공산업을 국가전략산업으로 육성



성과 정의(What)

• KC-100은 무엇인가요?

- KC-100 나라는 국내 최초로 국제적 인증을 획득한 4인승 민간항공기입니다. 미국 연방항공청(FAA)와 한국 국토교통부의 인증과정을 거쳐 개발되었습니다. 엔진 출력 조절장치에 최첨단 전자식 엔진제어장치(FADEC)를 적용하였으며 기존 아날로그 계기방식을 대체하여 최신 전자식항전장비와 단일레버 출력조절 및 Side Stick⁵⁾ 조종방식으로 제작된 동급 최고 성능의 항공기입니다.

연구배경(Why)

• KC-100을 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 우리나라는 2001년 미국 연방항공청(FAA)로부터 항공안전 2등급 판정을 받은 후 국내 항공산업에 큰 타격을 입었고 1등급으로 회복하는 데 많은 사회·경제적 비용을 부담하였습니다. 이에 항공안전 분야에 대한 지속적인 투자가 요구되는 상황 속에서 국토교통부는 국가경쟁력 제고 및 국민의 삶의 질 향상을 목표로 항공선진화사업을 시작하게 되었습니다.

- 한-미 항공안전협정(BASA) 체결을 위해 항공안전기술개발사업을 진행하였습니다. 고정익 항공기 인증 단계는 주로 소형항공기(part23), 중대형항공기(part25)로 이뤄져 있으며, 한-미 항공안전협정(BASA) 체결을 위한 시범인증(Shadow Project) 사업으로 part23급인 4인승 소형항공기 KC-100 개발을 시작하게 되었습니다.

5) 항공기에서 주로 사용하는 조이스틱형 핸들

성과 창출 과정(When/How)

• KC-100을 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- 연구를 수행하면서 힘들었던 점은 시험평가 일정상의 어려움이 있었습니다. 첫 인증 프로젝트임에 불구하고 짧은 기간동안 국제적 인증수준에 적합한 민간항공기를 개발해야 했으며 스피너시험, 고강도전자기장(HIRF) 시험 등 많은 시험조건을 통과해야 인증받을 수 있었습니다. 일정에 맞춰 프로젝트를 완성하기 위해 연구진들이 하나되어 협력하고 2교대로 연구를 수행하는 등 노력을 통해 연구를 성공적으로 마쳤습니다.

- 그런데 연구수행 및 검증하는 과정에서 예상치 못한 문제점이 발생하였습니다. 시험 검증 과정에서 안전성에 대한 지적이 발생하여 미국 연방항공청 형식증명을 획득하는 데 장애가 생겼습니다. 사내 절차와 일부 설계변경을 하여 위기를 극복했고 국내 최초로 형식증명 제작증명 감항증명을 취득하였고, FAA기술평가팀에게 깊은 인상을 심겨주는 등 매우 우수한 결과물을 만들어냈습니다.

• KC-100 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 연구진들의 포기하지 않는 정신과 끈끈함이라고 생각합니다. 한정된 연구기간 동안 연구진들과 함께 밤낮없이 연구를 하였으며, 그 가운데 검증하는 과정에서 예상치 못한 문제도 발생하였습니다. 그러나 포기하지 않고 좋은 결과를 만들기 위해 서로를 다독여주며 힘낼 수 있도록 노력하였습니다. 시행착오가 있었으나 포기하지 않고 연구를 수행하여 국내 최초로 국제적으로 인증된 KC-100 개발에 성공하였고 항공인증 분야에 대한 대한민국의 위상을 높였습니다.

성과 효과(Where)

• KC-100의 우수성을 설명해주세요.

- KC-100은 315마력의 피스톤 엔진을 탑재하여 최대 고도 7,620m(25,000ft), 최대순항속도 363km/h(196kts), 최대항속 거리 2,020km(1,090nm)까지 운항 가능하며 내부고정식 산소 공급장치와 제빙시스템을 갖추고 있어 주간 및 야간에 시계 비행과 계기 비행이 모두 가능합니다. 또한 최첨단 전자식 엔진제어장치를 탑재하여 CO2의 배출량을 감소시켰습니다.

- KC-100은 세계적 수준의 성능과 안전성을 보유한 소형항공기입니다. 항공기 기술기준에 부합되는 스피너 회복능력 시험을 모두 통과하였고, 소형항공기 중 세계 최초로 고강도전자기장(HIRF)⁶⁾ 시험을 통과하였습니다. 경쟁 기종들보다 내구성이 약 2배 높으며 연비 또한 전자식 엔진제어장치(FADEC)를 적용하여 10% 이상을 절약하였습니다. 해당 기술력을 미국에 인정받아 2014년도에 한-미 항공안전협정(BASA)에서 수출 가능 제품을 항공기 부품에서 소형항공기로 상승시켰습니다.

6) HIRF 시험: 무선송신탑, 공항 레이더 등 고농도주파수 지역에서도 항공기 전자기기가 정지 또는 오작동 없이 안전하게 작동하는지 평가하는 시험

• KC-100 창출을 통한 파급효과를 말씀해주세요.

- KC-100의 우수성을 인정받아 한-미 BASA에서 판매할 수 있는 제품을 항공기 부품에서 소형항공기로 확대 체결하였고, 이는 항공기 설계 제작국가로 항공분야의 국가적 위상이 격상되었습니다. 2015년 실용화를 추진하여 방위사업청과의 협력을 통해 소형항공기 23대를 공군사관학교에 납품하였습니다.
- KC-100을 개발과정에서 항공기 설계/제작/시험평가/인증체계 구축 및 인프라를 갖추어 후속 연구에 대한 기반을 마련하였습니다. 이전에는 민간항공기 개발시 인증 인프라가 없어 시행착오를 거쳐야 했으나, 이제는 국가 항공기 인증체계가 구축되어 국내에서 시험평가할 수 있는 환경이 구축되었습니다.

■ 향후계획(Will)

• 본 성과를 통한 발전방향이 어떻게 될까요?

- 현재 한-미 항공안전협정(BASA) 협정 범위가 소형항공기급까지 발전하였습니다. BASA 인증 범위를 Part23(소형항공기)에서 Part25(중대형항공기)까지 확대하여 항공안전 선진화 및 항공기 해외수출에 기여하고자 합니다. KC-100 개발 시 제작되었던 시험평가시설과 훈련 메뉴얼, 시뮬레이터, 정비 메뉴얼 등 인프라를 갖춰놓았기 때문에 중대형항공기를 개발함에 있어 수월하게 진행될 것으로 생각합니다.
- 항공 연구개발 확산을 위해 부처간과 민-군이 적극 협력하여 국가미래성장 동력을 확보하고자 합니다. 후속연구를 진행하여 한-미 항공안전협정(BASA) 인증범위를 확대하고 항공전자, 엔진 등 항공기 부품의 전면 국산화를 통해 항공산업을 미래 국가전략산업으로 육성하고자 합니다.

■ 성과 현장적용 사례



KC-100 나라온 활용을 위한 국방부와 MOU 체결(2014)



공군 훈련을 위한 비행입문과정훈련기 KT-100 개발에 적용 (2016)

■ 연구자 한마디



KC-100 개발사업은 2013년 국내 인증 획득에 이어 2014년 한-미간 BASA 체결, 실용화 사업을 추진하여 공군사관학교 비행훈련실습기로 23대 납품, 2021년 미국연방항공청 형식인증 획득으로 계획했던 모든 목표를 이뤄내며 세계시장 문앞까지 도달하였습니다. 저희의 노력과 결과는 향후 진행되는 연구개발사업의 발판이 되어 항공산업 발전에 크게 이바지할 것입니다. 사업 수행하는 긴 시간 동안 함께 동고동락하며 KC-100 개발 인증 실용화를 위해 힘써주신 우리 연구진분들께 진심으로 감사드립니다.

■ R&D 주요 성과물

논문	• 1건
현장적용	• KC-100 23기 공군사관학교에 납품
수상실적	• 2017년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허 23건

16

이제 국내에서도 가능하다!
항공기 제동장치 정밀시험장비 국산화

중대형 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomoter) 국산화 개발

- 

과제명

|

항공기 제동장치 정비, 시험 인프라 기술개발
- 

연구기간/연구비

|

2011년 12월 ~ 2015년 10월 / 142억원
- 

연구책임자

|

(주)테크카본 김정일

성과소개	• 중대형 항공기까지 시험 가능한 제동장치 시험장비 국산화
기술 수준	• 기존 전세계에서 5개국만 가능한 기술이었으나 국산화 성공 • T-50 훈련기부터 B-747급 중대형 항공기 브레이크 디스크 시험평가 가능
파급효과	• 국내 제작을 통한 수입대체로 매년 약 500억원의 비용절감 효과 발생 • 교통 시험장비 분야의 새로운 생태계 조성 • 항공기 분야를 넘어 자동차, 고속철도 등 수송교통 분야로의 확산기반 마련
성과 활용처	• 군용항공기, 민간항공기
성공 요인	• 대내 외적인 수요와 정부의 적극적인 지원
장애 요인	• 설계의 기반이 되는 데이터의 부족 • 개발기간이 4년에서 3년으로 단축되어 일정상 어려움 • 국내 항공기 제동장치 관련 시험 인증기관의 부재
극복 방안	• 정부의 적극적인 지원과 협력 기관과의 활발한 소통
향후 발전 방향	• 항공기를 넘어 자동차, 철도 등의 제동장치 시험장비로 기술 분야 확대



항공기 착륙시 중량 제동시험



ITEM	단위	규격
Max. Velocity	mph	300
Sum of Inertia (max.)	Lb IE	51,379
Main drum Dia.	in	120
Landing load (max.)	Lbs	88,100
Brake pressure	psi	3,300
Kinetic Energy	Million ft-lbs	154.6

항공기 제동장치 정밀시험장비 성능

성과 정의(What)

- **항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)란 무엇인가요?**
 - 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)는 항공기의 이착륙 시 제동상황과 비상상황에 제동을 재현하여 항공기 브레이크 제동성능의 안전성을 평가하는 장비입니다. 이 착륙 시 항공기의 기종별로 다양한 제동에너지와 조건을 시험에 적용할 수 있어, 실제 항공기 브레이크와 타이어를 결합하여 제동한 것과 동일한 환경을 구현할 수 있는 장비입니다.

연구배경(Why)

- **항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?**
 - 항공기 브레이크 디스크는 일반적으로 약 1년을 사용하면 마모되어 교체 또는 수리가 필요한데 이때 정밀시험장비를 사용하여 안전성을 인정받아야 합니다. 항공기 제동장치 정밀시험장비는 전세계 5개국의 메이저 항공 업체만이 보유하고 있었으며, 미국 연방항공청 인증 적용대상이 아닌 관계로 공인인증기관이 없어 상시 활용이 어려운 장비입니다.
 - 과거 우리나라는 항공기 브레이크 평가 시 미국 등 해외 선진국에 의뢰하곤 했는데, 한정적인 일정 조율, 높은 비용 등 많은 문제점으로 골머리를 앓았습니다. 항공기 시장이 성장하며 항공기의 수요가 증가하는 상황에서 항공기 제작 및 항공기 시험 평가 비용을 줄이고 국내 항공산업 시장경쟁력 확보를 위해 개발을 진행하게 되었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)를 연구하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- 시험장비 설계 시 참고하거나 기반이 되는 자료가 부재하여 하나부터 일일이 쌓아가며 연구를 진행하였습니다. 이를 극복하기 위해 해외 선진국의 시험장비를 수입하여 벤치마킹을 해보기도 하고 국외 전문가의 조언을 받아 설계하였습니다. 해외 전문가를 초청하여 장비의 시험평가 및 인증을 받기 위해 중형항공기와 소형항공기의 시험장비를 2 in 1로 제작하여 기능적으로 효율성을 제고하였습니다.
- 일정상의 어려움도 있었습니다. 국방부의 납품일자 변경 요청에 따라 장비 개발기간이 4년에서 3년으로 단축되었는데 그럼에도 극복할 수 있었던 요인은 외부의 시급성이 높았고 내부에서도 항공기 브레이크 디스크를 제작하고 판매하는 데 있어 필요성을 인지하였습니다. 활용하겠다는 일념으로 연구를 진행하면서 연구진들간 소통을 활발히 추진하였고 국토부 측에서도 과제를 원활히 진행될 수 있도록 지원하여 우리의 역량을 최대한 발휘하여 성공적인 연구를 마칠 수 있었습니다.

• 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)의 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 대내·외적 수요와 정부의 지원이 있었기에 제동장치 정밀시험장비를 성공적으로 개발하였습니다. 항공기 부품을 제작하는 입장에서 신뢰성을 입증하고 정부 측에서는 해당 장비의 국산화를 위해 반드시 성공하겠다는 마음가짐으로 연구에 임하여 연구개발을 성공적으로 이끌 수 있었습니다. 또한 정부 차원에서도 예산, 일정 조절, 사업 관리 등 지원을 아끼지 않았습니다. 개발을 위한 내·외부적 요건 측면에서 모두 조성되었기에 오늘날 국산화된 항공기 제동장치 정밀시험장비가 개발될 수 있었습니다.

성과 효과(Where)

• 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)의 활용현황은 어떻게 될까요?

- 현재 민수 항공기 및 군수 항공기에 납품되는 브레이크 디스크를 대상으로 시험평가를 수행하여 우리 기술의 우수성과 신뢰성을 입증하고 있습니다. KF-16, T-50, TFA-50 등 5종류의 전투기 실험을 연 3~5회 지원하고 있으며 국내·외 기업과 협력하여 항공기 브레이크 디스크 시험을 위해 저희의 기술을 활용하고 있습니다.

• 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해주세요.

- 그동안 미국, 러시아, 프랑스 등 우주항공산업 강대국들만이 보유한 기술인 항공기 제동장치 정밀시험장비를 국산 자립화에 성공하였습니다. 최대 285,000마력을 낼 수 있어 최대속도 300mph의 속도까지 재현할 수 있습니다. 또한 메인드럼 직경은 120인치까지 증가시켰으며 착륙부하의 최대 하중을 약 40t까지 시험할 수 있는 기반을 갖춰 T-50 훈련기부터 B747급 중대형 항공기까지 시험이 가능합니다.

- 항공기 제동장치 정밀시험장비가 개발됨에 따라 장기간에 걸쳐 외국에서 받던 검사 일체를 국내에서 실시할 수 있게되어 항공기 제동장치의 신속 교체와 수리가 가능해 졌을 뿐만 아니라 글로벌 시장에서의 입지도 갖출 수 있게 되었습니다.

• 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor) 창출을 통한 파급효과를 말씀해주세요.

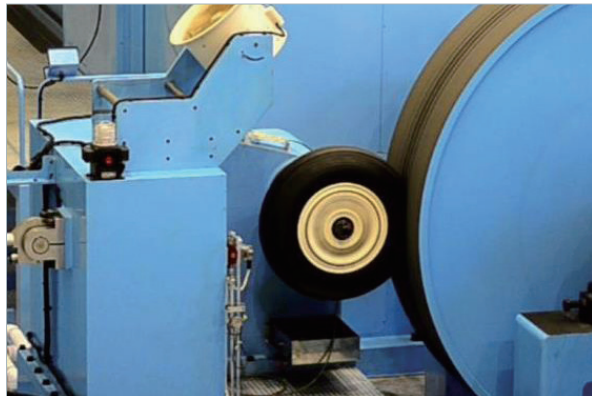
- 항공기 브레이크 디스크 시험평가장비 국산화로 해외 장비 수입 및 시험평가 실시비용 등 매년 약 500억 원의 수입대체 및 비용절감 효과를 발생시켰습니다. 또한 항공기 브레이크 디스크 시험평가기반을 마련하여 기존에 성장하지 못하였던 신형 항공기 제작, 항공 부품 등 국내 항공장비 시장을 조성하는데 기여하였습니다.
- 개발된 기술은 향후 항공기를 넘어 자동차, 고속철도 등 수송교통 및 유압압축 분야로도 확장이 가능하여 사회·경제적 파급 효과는 더욱 커질 것으로 기대됩니다. 교통시험장비 분야의 새로운 생태계가 조성되고, 중형항공기 분야 미국 연방항공청 인증이 취득된다면 해외 시장 진입 시 진입장벽 해소에 도움이 될 것입니다. 항공기 제동장치 정밀시험장비를 활용하여 신형 항공기 모듈화에 초석이 될 것입니다.

향후계획(Will)

• 항공기 제동장치 정밀시험장비(Dynamomotor)가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 항공분야는 다른 교통수단에 비해 안전사고 발생 시 위험이 높아 전 세계적으로 시장 진입장벽이 높는데 이는 제품의 기술력이나 항공안전협정 등의 인증으로 해결할 수 있는 문제가 아닙니다. 항공 정부 차원에서 다이내모를 통해 인증받은 항공기 부품을 기체에 적용 시 보험을 적용할 수 있는 방안을 제시한다면 상용화에 큰 도움이 되며, 해당 사례를 바탕으로 해외 시장에서도 진출할 수 있습니다.
- 또한 시험평가를 진행할 경우 다수의 전기를 사용하다보니 급전 전기료가 많이 나오게 됩니다. 한국전력 등 기관에서 시험 평가 시 수전용량이 크더라도 시험평가를 진행하지 않을 때처럼 수전용량을 설정하여 전기료를 납부할 수 있도록 지원하는 제도가 있다면 시험비용 절감에 큰 도움이 될 것입니다.

성과 현장적용 사례



군용항공기 RTO 시험전경



제동장치 정밀시험장비

연구자 한마디



연구를 수행할 때 깜깜하고 안보일 것 같지만 절실하고 뭔가 간절히 필요하다고 느끼게 되면 길은 열리게 됩니다. 특히 보안성이 높은 항공 분야를 연구하며 외부에 많은 요청을 했음에도 도움을 받기가 쉽지 않았습니다. F-16 브레이크 디스크를 개발할 때 많은 어려사항이 있었으나 군에서 끝까지 믿고 끌어주었기 때문에 성공할 수 있었습니다. 찾고자 하면, 절실하게 진행하다 보면 불가능도 가능케 됩니다. 가능한 길을 쉽게 찾을 수 있도록 정부에서 앞서 많은 도움을 주시면 좋겠습니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 10건
기술이전	• 1건
수상실적	• 대한건축학회 국가건축정책위원회위원장상 1건 • 2015년 국토교통 R&D 우수성과
인력양성	• 석사 인력양성 2건

17 항공위성서비스(KASS) 하위시스템 구축 완료

초정밀 GPS 보정시스템(SBAS), 韓-佛 국제공동개발

- 과제명 | 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS) 개발 구축
- 연구기간/연구비 | 2014-10-30~2023-12-31/ 1,280억원(68억원 : 해수부 지원 포함)
- 연구책임자 | (재)한국항공우주연구원 이병석

성과소개	- GPS 오차범위(단독측위)를 15m ~ 33m를 1m ~ 1.6m 이내로 단축시킬 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS)* 개발 및 구축 * 한국형 SBAS(Korean SBAS)로써 항공위성서비스(KASS : Korea Augmentation Satellite System)로 불림
기술 수준	- APV-I급 SoL 서비스를 위한 SBAS시스템 개발 및 구축 <시스템의 요구 성능> - 정확도 : 수평(16m), 수직(20m) (실제 예측 정확도 1m ~ 1.6m) - 무결성 : 2 X 10⁻⁷ / approach / 연속성 : 1-8X10⁻⁶ / 15초 - 가용성 : 99.0% 이상 / 경보시간 : 10초 이내 • ICAO(국제민간항공기구)로부터 세계에서 7번째로 SBAS 서비스 제공자 식별번호 부여 받음 (ID : 6) • 위성보정시스템에 사용될 정지궤도위성의 항법탑재체의 PRN 번호 할당 (PRN number : 134)
파급효과	• 미래항공교통 수요 대비 및 항공안전 강화 • 공역 혼잡도 해소 및 공역주권 확보 • 항공분야는 물론이거니와 농업, 측지/측량, 교통, 해양, 철도, LBS 등 위치정확도가 요구되는 모든 산업분야에 활용도가 높음 • 2023년 말부터 인증을 획득하여 APV-I급 항공용 서비스(SoL service) 제공을 통해 항공기의 접근절차에 이용될 전망
성과 활용처	• PNT (Positioning, Navigation and Timing) 관련 국가인프라로서의 역할과 기대가 크며 국내 관련 산업에서 활용도가 클 것으로 기대함. 특히 도심항공교통(UAM)에 적합한 GNSS 신호로 전망이 밝음

성공 요인	• 정부 부처(국토부 항행시설과)와 전문기관(국토교통과학기술진흥원)의 사업에 대한 지속적인 지원과 관심 • 주관 및 협동기관과 관련 국내개발업체 참여 연구진들의 노고
장애 요인	• 국내에서 처음 추진하는 사업이기에 겪을 수밖에 없는 시행 착오와 팬데믹(COVID-19) 및 러-우 전쟁으로 개발 일정에 영향
극복 방안	• 국내 연구진들의 밤낮 없는 노력과 개발일정 영향을 최소화 하기 위한 사업 및 위험관리 그리고 정부, 전문기관 및 주관기관(항우연)의 물심양면 지원
향후 발전 방향	• 위치 정확도를 필요로 하는 산업 전반에 대해 시너지 발휘 및 홍보 확산을 통한 시장 확대 • KASS 서비스 지역 확대로 국가간 MOU체결을 통한 국가의 위상 확대 및 필요 시 기술협력사업 추진 가능



성과 정의(What)

• 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS)은 무엇인가요?

- 기존 GPS를 이용한 위치정보 오차(약 15~33m)를 크게 줄이고 신뢰성을 높여, 항공기의 안전한 운항을 도와주는 서비스입니다.

- KASS (항공위성서비스, 한국형 SBAS) 시스템은 GPS 위치정보의 전리층 오차, 위성 위치 오차, 위성 시계오차를 계산하여 정지궤도위성을 통해 사용자에게 전달하며, 사용자는 오차 정보를 수신하여 자신의 정확한 위치를 알 수 있습니다. 따라서, KASS 시스템은 위치오차가 큰 GPS 신호를 지상시스템을 통해 정확성과 신뢰성이 향상된 정보를 포함한 메시지를 KASS 항공위성으로 보내고 KASS 항공위성에서는 GPS와 동일한 L 대역으로 서비스 영역(우리나라의 경우, 인천 비행정보구역)에 방송하는 GPS위치보정시스템입니다.

연구배경(Why)

• 개발하게 된 배경이 무엇인가요?

- 현대는 항공기에 장착된 전자장비가 항공기 운항의 주요 역할을 하고 있습니다. 항공기의 성능기반항법은 VOR, ILS 등 지상 장비보다 GPS나 INS 등 항공기에 장착된 전자장비를 주로 이용하여 운항하고 있습니다. ICAO(국제민간항공기구)는 2010년 성능기반항법을 적극 이용하기로 결의하였으며, 2020년 ADS-B(Automatic Dependence Surveillance-Broadcast, 자동종속감시시설-방송) 장비 의무화에 대한 준비를 확보하려 하고 있습니다.

- 또한, 미연방항공청의 '운영자를 위한 정보'를 통해 '20년 1월 1일부터 '24년 12월 31일까지 ADS-B 출력 장비에 제공되는 GPS 위치의 정확성과 무결성의 요구성을 만족하지 못하는 기간 동안 운용을 허용하는 면제 조항에서 WAAS(미국의 SBAS 시스템)의 경우 면제 대상이 아니었습니다. 이를 통하여, ICAO 총회에서 의결하거나 미 연방항공청의 연방법규 조항에서 규제하는 내용이나 운영자를 위한 정보 등을 토대로 보강된 GNSS (SBAS 시스템) 사용을 권장하거나 유도하는 국제적인 분위기를 파악할 수 있었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS)을 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- KASS (항공위성서비스, 한국형 SBAS)는 system of systems입니다. KASS 시스템이 구성 및 동작원리에서 확인할 수 있듯이, 기준국, 중앙처리국, 위성통신국, 통합운영국, 통신네트워크 그리고 정지궤도위성까지 이 하위시스템들이 원활히 연동되어야만 GPS 신호의 오차를 개선할 수 있는 보정정보 및 신뢰성을 향상시킬 수 있는 무결성 정보가 계산되어 집니다. 또한, 항공기 운항 및 접근절차에 사용되는 시스템이기 때문에 사고 시 상당한 인명피해를 가져오기 때문에 ICAO(국제민간항공기구)에서 제시하는 KASS 신호에 대한 요구 성능은 매우 높습니다.

- 높은 요구성능들을 만족하기 위해 KASS 시스템의 하위시스템 개발 및 구축 시 많은 난관이 있었습니다. GPS 신호를 수신하는 기준국의 경우 전파환경이 양호한 사이트를 찾기 위한 우리나라 전역을 대상으로 현장 조사 및 실험을 실시하였고, 모든 하위시스템들을 감시 및 제어하는 통합운영국을 국내기술로 개발하기 위한 많은 시행착오와 노력들이 있었습니다. 또한 COVID-19같은 팬데믹 상황에서 개발에 제한이 많았음에도 참여 연구진들의 연구개발에 대한 열정과 국내외 잦은 출장에도 어려움을 극복하였고, 마침내 하위시스템 관련 부대시설을 국내에 모두 구축하고, 지난 2022년 6월 23일 KASS 서비스를 방송한 KASS 1호 항공위성이 프랑스로부터 우주센터 쿠루 발사장에서 무사히 발사되고 현재 정지궤도상에서 안착하여 여러 시험들을 하고 있습니다.

연구자 한마디



항공위성서비스(KASS) 개발구축을 위하여 약 9년의 시간이 흘러 이제 사업 개발 기간인 2023년 12월 말까지 얼마 남지 않았습니다. R&D 과제로써는 짧지 않은 기간 동안 많은 연구진들과 여러 어려움들을 하나씩 풀어가며 개발 성공을 향해 정진하고 있습니다. 이 기간 동안 정부부처, 전문기관, 연구기관, 관련 학회 등 수많은 분들의 KASS 성공을 위해 많은 격려를 아끼지 않으셨지만, 이미 SBAS 시스템을 개발구축하여 운영을 하고 있는 국가들도 시스템 운영 및 유지관리를 위해 많은 지원을 아끼지 않고 있습니다. KASS는 R&D로 끝나쳐지는 여타 과제들과는 달리 개발구축 후 실질적으로 항공기 운항 및 접근절차를 위해 운영되어지고, 대국민 서비스가 진행됩니다. 항행안전시설로써 매우 중요한 시설이고, 국민의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 국가인프라로서 중요한 자산입니다. 정부와 관계기관의 지속적인 지원과 관심이 필요합니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 국내학술지 게재 및 발표 : 11건 • 국내학술지 게재 및 발표 : 5건
지식재산권	• 국내 출원 및 등록 : 1건
경제적 성과	• 기술이전 : 4건

18 활주로 내 이물질 자동 탐지 시스템 구축

활주로 내에 발생하는 이물질을 자동으로 탐지/확인 및 수거할 수 있는 시스템

 과제명	공항 항공기 이동지역 이물질(FOD) 자동탐지 시스템 개발
 연구기간/연구비	2015-12-29 ~ 2021-12-28 / 185억원(ntis에 나온 연구비)
 연구책임자	(주)웨이브텍 박명규

성과소개	• 활주로에 있는 이물질을 자동으로 탐지 및 제거하는 이물질 자동탐지 시스템
기술 수준	• 복합센서 기반 시스템 탑재로 이물질 탐지율이 해외 선도국 대비 5% 높으며 2cm x 2cm 크기의 미세한 이물질도 탐지 가능 • 위치보정시스템 탑재하여 1m 안에 있는 이물질 탐지 • 해외 선도국 대비 80% 저렴하여 가격경쟁력 확보
파급효과	• 인천공항과 업무협약을 체결하여 공항 내 8군데 시범적용 • 인도네시아, 베트남, 대만 등 해외기관과 파트너십 전략 수립
성과 활용처	• 인천국제공항을 포함한 국내 외 민간 군 공항
성공 요인	• 과제를 수행하는 기간 동안의 연구진들의 포기하지 않는 끈기와 노력 • 공항공사, 국토교통과학기술진흥원 등 민과 관의 협력 및 상생
장애 요인	• 최초로 시행하는 연구개발로 프로세스 및 조건의 부재 • 공인인증 획득, 시뮬레이션 구축에서 발생하는 예상치 못한 비용 발생
극복 방안	• 33건의 공인인증 획득을 통한 기술의 신뢰성 확보 • 서울지방항공청, 인천국제공항 등 유관기관간 협력체계 구축
향후 발전 방향	• 김포공항, 제주공항, 김해공항에 이물질 탐지시스템 구축 확대 • 동남아시아로 시작하여 미국, 유럽 등 해외로의 수출 확대



구분	개발기술	해외 선도 기술		
		Tosstar L3000-Enduro	Trex Enterprises (미국) 이동형	Strattech (싱가포르) 고정형
제조사 (국가)	(영)웨이브텍 (대한민국)	QinetiQ Ltd. (영국)	Trex Enterprises (미국)	Strattech (싱가포르)
운용방식	고정형/이동형	고정형	이동형	고정형
운용센서	레이다+광학카메라	레이다+광학카메라	레이다+광학카메라	광학카메라
최대탐지거리	고정형 : 400m 이상 이동형 : 100m 이상	1.5km	180m	400m 이상
탐지확률	95%	90%	90%	90%
레이다 최소탐지 크기	~30dbsm	~20dbsm	~20dbsm	-
카메라 최소탐지 크기	2cm x 2cm	이물질 식별율	이물질 식별율	-
위치정확도	1m 이내	5m 이내	5m 이내	5m 이내
차량이동 속도	60km/h	-	48km/h	-
탐지시간	고정형 : 1분 이동형 : 2초(실시간)	3분	2분	1분

해외 선도국과의 성능비교



고정형 이물질 자동탐지 시스템(오), 이동형 이물질 자동탐지 시스템(왼)

성과 정의(What)

- **항공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템은 무엇인가요?**
 - 항공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템은 활주로 내 발생하는 이물질을 자동으로 탐지하는 시스템입니다. 활주로에 일정 간격으로 플랫폼을 설치하고 플랫폼 상단에 탐지 센서를 이용하여 이물질을 탐지하는 고정시스템과 차량에 탐지 센서를 장착하여 활주로를 이용하여 이물질을 탐지하고 제거하는 이동형 시스템으로 구분됩니다.
 - 고정형 이물질 자동탐지 시스템은 24시간 365일 실시간 탐지가 가능하며 이동형 이물질 자동탐지 시스템은 실시간 탐지 및 즉시 수거가 가능하다는 장점이 있습니다.

연구배경(Why)

- **개발하게 된 배경이 무엇인가요?**
 - 공항 항공기 이동지역에서 발생하는 이물질의 종류는 항공기 부품, 파편, 조류 사체 등 매우 다양하며, 이러한 이물질로 인하여 이착륙하는 항공기 자체에 피해를 발생시키거나 주변 시설 또는 작업자에게 날아가 피해를 주는 등 항공시설에 발생하는 사고로 인해 직간접적으로 연간 약 2억 불 수준의 손실이 발생하고 있습니다. 현재 공항에서 이루어지는 이물질 제거 활동은 사람의 육안에만 의존하기 때문에 많은 시간이 소요되며 매우 작은 이물질(금속 부품 등)에 대해서는 완벽한 제거가 힘든 상황입니다.
 - 이와 관련하여 미국 연방공청(FAA)은 2009년에 이물질 자동탐지 장비에 대한 성능 기준을 제시하였으며 유럽 민간항공설비기구(EUROCAE)는 관련된 지침을 제정하였습니다. 이러한 국제적 흐름에 따라 자동으로 이물질을 탐지하고 제거할 수 있는 시스템을 구축하고자 연구에 참여하게 되었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

- **항공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템을 개발 및 운영하며 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?**
 - 항공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템을 개발 및 설치에 있어 최초로 진행하는 것이다 보니 관련된 프로세스가 없었고 조언을 받을 수 있는 기관이 없어 정부기관과 유관기관간 협력이 필요한 상황이었습니다. 또한 기술의 공인인증 획득 및 신뢰성 확보를 위해 연구개발 과정에서 시뮬레이션 구축과 공인인증 확보 등 당초에 예상치 못한 추가 비용과 긴 시간이 요구 되었습니다.
 - 이러한 장애 요인이 있을 때 서울지방항공청, 인천국제공항, 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 등 여러 기관간 협의가 원활히 이뤄졌으며 서로간 협력체계를 잘 구축하여 직면한 문제를 해결하며 시범사업을 진행하고 실증을 진행하였습니다. 또한 이동형 카메라 함체, 시스템 성능시험 등 33건의 시험에 대해 공식적으로 인정되어 기술에 대한 신뢰성을 입증시켰습니다.

- **항공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템 개발 성공 요인은 무엇인가요?**
 - 6년이라는 긴 개발 및 설치기간 동안 믿고 함께 진행해준 웨이브텍의 임직원들과 협력 기관의 기술진들의 땀과 노력이 있었기에 성공적으로 개발을 이룰 수 있었던 것 같습니다. 공항공사, 국토교통과학기술진흥원, 서울지방항공청 등 민과 관의 서로 협력하여 상생을 이룰 수 있었습니다. 인천공항 설치, 시험평가 일정 등 여러 가지 연구를 진행하며 많은 애로사항이 있었으나 연구진들의 포기하지 않는 끈기와 기관들간 협력을 통해 성공적인 연구를 마칠 수 있었습니다.

- **상용화 성공 요인은 무엇인가요?**
 - 일단 저희 제품에 대한 신뢰성을 확보하였기에 상용화가 가능했습니다. 2020년부터 1년 이상의 기간동안 수차례 시험을 진행하였고 약 33건의 시험인증을 획득하여 저희 제품의 우수성을 객관적으로 입증하였습니다. 현재 공항개발사업으로 진행하여 준공확인시험을 진행하고 있고 매뉴얼과 규격의 제작이 완료되어 추후 인천국제공항에 이관될 예정에 있습니다.

- 현재 사업화를 위해 우수연구개발 혁신품 선정, 언론홍보, 전시회 등 홍보 확산을 통해 저희의 기술을 알리고 있으며 국내에 상용화가 완전히 적용될 경우 해외 수출 확산에도 이어질 수 있을 것으로 기대됩니다.

성과 효과(Where)

- **공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템의 우수성을 설명해주세요.**
 - 연구를 통해 개발한 이물질 자동탐지 시스템은 복합센서 기반 시스템이 탑재되어 해외 선도국 대비 5% 높으며 탐지시 이물질을 2cm x 2cm크기로 탐지할 수 있습니다. 탐지장치 내에 위치보정시스템을 탑재하여 1m 안에 있는 이물질을 탐지할 수 있어 위치정확도도 매우 우수합니다. 또한 이동식 시스템의 경우에는 내부에 수거장치가 있어 이물질을 탐지함과 즉시 신속하게 제거할 수 있습니다.

- 시스템의 신뢰성 확보를 위해 수차례 인증을 진행하였고, 염수부분, 방진/방수, 온/습도, 전자파적합성, 진동 등의 부분에서 한국인정기구(KOLAS) 인증 및 유럽연합 통합규격인증(CE)을 완료하며 신뢰성을 입증하였습니다. 외산 대비 가격경쟁력 또한 80% 우수하여 국내 상용화가 완전히 이뤄진다면 항공 이물질 탐지 시스템 시장을 선점할 수 있을 것으로 판단됩니다.

• 공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템 창출을 통한 파급효과를 말씀해주세요.

- 기술개발을 완료한 후 인천국제공항과 업무협약을 체결하여 저희의 개발 제품들을 시범 적용하고 있습니다. 현재 공항 내 8군데 설치되어 시범운영 중에 있으며 추후 김포, 제주 김해공항에 설치할 목표를 가지고 있어 사업확대를 위한 노력을 지속 수행하고 있습니다.

- 또한 해외에 저희 기술을 적용하고자 공급처 및 납품 실적을 확보하고 해외 영업활동을 통해 해외 마케팅 파트너십 전략을 수립하였습니다. 그 결과 인도네시아, 베트남, 대만 등 해외기관에도 거래처를 확보하였습니다. 인도네시아와 HLP 프로젝트를 진행하여 Plextek사와 마케팅 협력관계를 구축하고, 베트남 국가관리 공항에 대한 자동탐지시스템과 장비 구매 프로젝트를 진행하였으며 대만 Taoyuan 공항에 FOD 자동탐지시스템 구축 프로젝트를 진행하였습니다.

향후계획(Will)

• 본 성과를 통한 발전방향이 어떻게 될까요?

- 2022년 말까지 시제품 개발을 완료하고 보완 및 성능시험과 시범사업을 거쳐 경험을 축적하고 2025년까지 국내 외 마케팅을 통한 매출 발생을 통해 경제적 성과를 창출하고자 합니다. 국내에는 김포공항, 제주공항, 김해공항에 저희 이물질 탐지 시스템을 구축하고자 하며 해외로는 동남아시아로 시작하여 미국, 유럽 등 세계시장으로의 진출을 확대해나가고자 합니다.

성과 현장적용 사례



이동지역안전관리소에 설치되어 운영중인 이물질 자동 탐지 시스템의 통합운영콘솔



인천국제공항에 설치된 고정형 이물질 자동탐지 시스템

연구자 한마디



이물질 자동탐지 시스템이 성공적으로 개발이 완료되어 인천국제공항에 설치되기까지 함께 협력하고 도움을 주신 연구진과 관계자 분들께 감사드립니다. 개발 성공에 만족하지 않고 완전한 상용화와 해외 사업화까지 이룰 수 있도록 더 앞으로 나아갈 수 있도록 하겠습니다. 또한 훗날 국가 연구개발 과제들이 사업화에 이를 수 있도록 제도적인 부분, 시험시스템 확보 등 기반이 구축될 수 있도록 지원해준다면 국토교통 R&D 사업은 더 발전할 수 있을 것으로 확신합니다.

R&D 주요 성과물

논문

- 국내학술지 3건
- SCI학술지 5건

지식재산권

- 국내 등록특허 10건
- 소프트웨어 11건
- 2019년 국토교통연구개발 우수성과

19

‘10분이면 OK’, 스마트시티 데이터허브 기반 코로나 19 시스템 구축

스마트시티 데이터허브 활용 코로나 역학조사 지원시스템

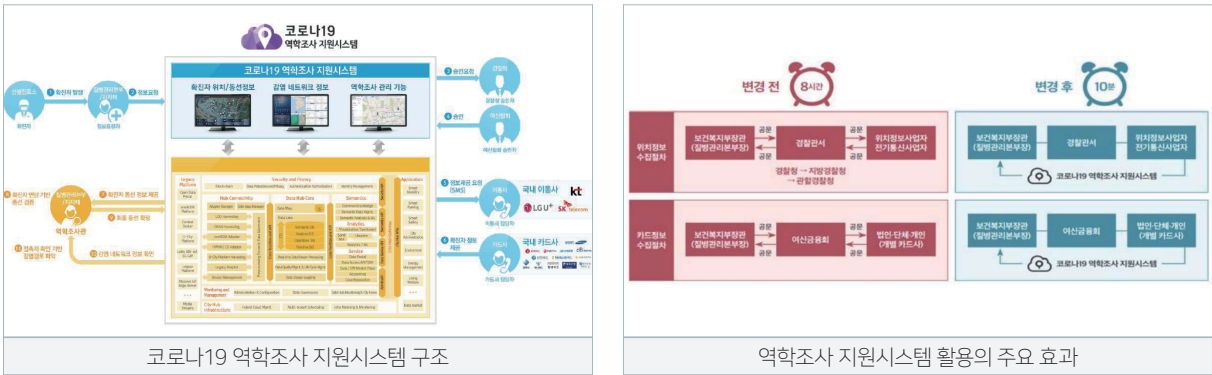
- 과제명
- | 스마트시티 개방형 데이트 허브 아키텍처 및 핵심 기술 개발
- 연구기간/연구비
- | 2018년 8월 ~ 2022년 12월 / 109억원
- 연구책임자
- | 한국전자기술연구원 김재호

성과소개	역학조사에 필요한 기초 데이터를 외부 시스템으로부터 수집하고, 데이터 허브를 활용하여 역학조사관에게 필요한 정보를 신속·정확하게 제공
기술 수준	카드사 및 이동통신사의 데이터를 연계(수집) 가공 분석하여 빠르고 자동화된 역학조사 가능
파급효과	- 역학조사 소요시간을 기존 24시간 이상에서 10분 이내로 단축 - 데이터 수집원마다 공문 메일로 경유되던 승인과정을 생략하고, 클라우드 컴퓨팅 인프라 기반의 데이터 연계 실현 - 데이터 분석을 통해 자동화된 역학조사 실시 - 확진자 면접조사로 이뤄지던 경로분석을 빅데이터로 실시간 분석하여 확진자 이동 동선과 시간대별 체류 지점을 자동으로 파악 - 감염병 신속대응을 위한 관리체계 수립으로 경제적 손실 완화
성과 활용처	질병관리청의 코로나 19 역학조사 지원시스템* * 지능형 역학조사 및 관련 서비스 통합 패키지
성공 요인	- 선 구축된 데이터허브 플랫폼과 기술표준을 활용하여 외부데이터를 빠르게 연동 - 감염병 조기차단과 효율적인 방역을 위한 연구진의 사명감
장애 요인	10여개의 데이터 보유기관과의 정보 연계를 위한 협의 - 역학조사 맞춤형 서비스(UI, 확진자 알림, 원격 승인 등) 개발 소요시간 - 개인정보 보안을 위한 시스템 보안성 검토

- 극복 방안

- 관련 법령에 기반하여 유관기관(정부, 데이터 보유기관)의 협조
 - 정부 및 지자체의 적극행정과 매뉴얼 제작 및 교육, 실시간 문의 대응으로 현장의 애로사항 해소
- 향후 발전 방향

- 도시의 디지털화를 통해 도시문제를 해결하고 시민의 삶의 질 향상



※ 이미지 출처 : 김수정 외(2020), 정부 부처간 협업을 통한 온라인 역학조사 지원시스템 개발사례 연구

성과 정의(What)

- 코로나 역학조사 지원시스템이란 무엇인가요?

- 코로나 19 감염자들이 방문했던 경로를 데이터 허브에 수집된 빅데이터를 활용하여 빠르게 분석하고 역추적을 통해 질병 확산을 막을 수 있도록 도움을 주는 시스템입니다.

- 역학조사 지원시스템으로 감염병 역학조사에 필요한 다양한 기초 데이터(카드 사용내역, 출입국 정보, 국민건강보험 이용 정보 등)를 외부 시스템으로부터 수집하고, 데이터 허브를 통해 역학조사관에게 필요한 정보를 신속·정확하게 제공하여 확진자들의 이동 동선을 빠르게 파악할 수 있게 되었습니다.

연구배경(Why)

- 코로나 역학조사 지원시스템을 개발하게 된 계기가 무엇인가요?

- 코로나 19 상황 초기에는 일일이 확진자들의 동선정보를 수작업으로 수집 관리하여 역학조사 분석 시간이 평균 하루 이상 소요 되었습니다. 그러나 일일 감염자 수가 증가하고 피해가 크게 확산되면서, 분석시간을 줄이기 위해 스마트시티 데이터 허브 기술을 활용한 시스템 개발이 추진되었습니다. 즉 확진자의 이동 동선을 빠르게 파악하려는 목적으로 개발되었습니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 코로나 역학조사 지원시스템을 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복하셨나요?

- 첫 번째로, 10개에 달하는 데이터 보유기관(통신사, 카드사)과의 데이터 연계를 위한 협의가 필요하였습니다. 또한 기관마다 다루는 데이터의 형태와 절차가 달라 이를 통일하는 것도 쉽지 않았습니다. 그러나 ‘감염병 예방법’에 근거하여 방역당국의 요구에 따른 역학조사에 필요한 정보 제공이 법적으로 가능하였고, 데이터 보유기관 측에서도 국내 상황을 고려하여 적극적으로 협력해주었습니다.

- 두 번째로, 서비스 개발시간이 짧았습니다. 서비스 기획부터 질병청 시범활용까지 1~2개월 동안 시스템 개발이 완료되어야 하는데, 시스템 UI 개발, 확진자 알람서비스, 데이터 원격 승인 서비스 등 활용을 위한 다양한 서비스를 개발하는데 촉박한 일정이었습니다. 이를 위하여 30명에 달하는 연구진들이 주말도 반납하고 대내외적으로 개발과 지원일정을 조정하고 소통하며 추진하였습니다.

- 세 번째로, 방역당국에서 일일이 공문을 통해 요청하는 방식에서 대규모 데이터 센터와 네트워크를 통해 데이터를 수집하는 방식으로 바꾸기 위해서는 데이터허브에 대한 보안성 검토가 요구됩니다. 수많은 개인정보를 다루다보니 민감하고 고려사항이 많았으나 보안인증을 받은 클라우드에 데이터 허브를 구축하고, VPN(가상 전용망)을 활용하여 접속자를 제한하고, 암호화와 주기적 점검을 통해 무단 침입을 철저히 차단할 수 있도록 조치하여 보안에 각별한 주의를 기울였습니다.

• 코로나 역학조사 지원시스템의 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 역학조사 지원시스템 개발 전 동 과제를 통하여 데이터 허브 플랫폼과 표준을 개발하였습니다. 시스템의 기반이 이미 존재하였기에 그 위에 데이터를 바로 적용할 수 있었습니다.

- 또한 과거 메르스로 인하여 감염병 시기에 개인정보를 활용할 수 있도록 만들어진 법제도와, 적극행정을 실시한 정부부처 및 지자체, 데이터 연계를 위하여 네트워크 망을 연동하고 활용을 지원해준 통신사와 카드사들의 협조도 큰 도움이 되었습니다.

• 코로나 역학조사 지원시스템이 정부와 전 지자체에 상용화된 성공 요인은 무엇인가요?

- 역학조사관들의 활용 촉진을 위한 이용자매뉴얼 제작, 교육 실시, 유선 문의 대응 등으로 현장과의 소통을 높이고, 문제점은 즉시 시스템에 반영하여 개선하였습니다.

- 또한 ‘20년 5월부터 고도화 사업을 실시하여 대규모 감염병 확산에도 더욱 신속한 역학조사를 지원하기 위해 통신 데이터 제공체계를 자동화하고, 감염 경로와 감염병 네트워크를 인공지능 기술을 접목하여 신속하고 정확하게 분석하고, 전자출입 명부 기반 시설물방문 데이터 등을 추가하여 확진자뿐만 아니라 접촉자까지 파악할 수 있는 더욱 정밀한 시스템으로 완성 하였습니다.

성과 효과(Where)

• 코로나 역학조사 지원시스템이 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 스마트시티 데이터 허브를 활용한 코로나 역학조사 지원시스템은 확진자 정보를 수집·분석하는 과정이 전산화·자동화가 되어 10분 이내로 확진자의 이동 동선을 파악할 수 있습니다. 그리고 알고리즘을 통해 분석 결과의 품질을 높이고 디지털화된 프로세스로 데이터 유출가능성도 줄였습니다. 90% 이상의 추적률로 방역당국의 신속한 대응을 지원하여 감염병의 최악의 확산을 막는 성공적인 시스템이라고 말할 수 있습니다.

- 또한 스마트시티 데이터 허브 기획 당시부터 클라우드에도 업로드 가능하여 데이터 용량에 대한 문제점을 해소하고, 어떤 형태의 데이터든 수용 가능하도록 확장성을 높게 개발하였습니다. 그 결과 최근에 이슈가 된 원숭이두창 감염병에도 서비스를 확대하는 등 감염병을 선택하여 추적이 가능합니다.

- 동 사례는 해외 언론에도 많이 소개가 되어 한국의 ICT 기술력과 신속한 대응체계를 확산하는데도 기여하였습니다.

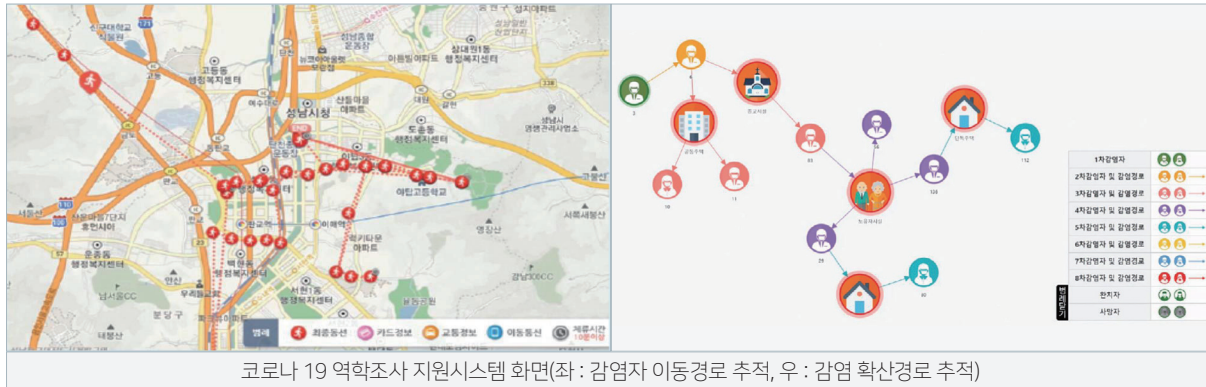
향후계획(Will)

• 스마트시티 데이터허브 기술이 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?

- 디지털전환 시대에서 AI, 디지털트윈 등 최신킨술을 탑재하여 개발 및 활용될 수 있도록 지속적인 정부차원의 추가연구가 필요합니다. 민간에서 개발을 주도한다면 기업들의 솔루션 위주로 발전되어 시스템 간의 호환이 불가능한 상황이 발생할 수 있으므로, 정부에서 최소한의 규격(기반)은 조성해야 합니다. 이를 위하여 올해 스마트시티 데이터 허브의 오픈소스가 공개 되었으며, 앞으로는 기업들이 데이터 허브에 다양한 기술을 접목하여 스마트시티로의 전환을 이끌 것으로 기대됩니다.

- 앞으로는 모든 분야가 SW 중심으로 바뀌어가므로 정부차원에서 SW 등 무형적인 기술개발 측면에도 지원을 늘린다면 국가 도시경쟁력 향상에도 큰 도움이 될 것으로 예상됩니다.

성과 현장적용 사례



※ 이미지 출처 : Young Joon Park etc(2020), Development and Utilization of a Rapid and Accurate Epidemic Investigation Support System for COVID-19

연구자 한마디



역학조사 지원시스템은 정부 부처, 공공연구소, 민간 개발자가 협력하여 긴급히 문제를 진단, 현황 분석을 통해 함께 해결하는 과정을 거치고, 문제점과 현실이 충돌되는 상황에서도 해법을 찾아가고자 하였다는 점과, 빠른 시범서비스 개발과 테스트, 고도화 등이 원활히 추진되었던 점에서 국가 R&D를 통한 사회문제 해결의 모범사례라고 볼 수 있습니다. 이를 통하여 한국의 우수한 ICT 인프라를 바탕으로 문제의 본질을 중심으로 한 긴밀한 민관협력이 문제해결의 핵심요소임을 확인할 수 있었습니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 4건
표준채택	• 5건
수상실적	• 2020년 행정안전부 장관상 수상(정부혁신 우수사례) • 2020년 국토교통 R&D 대표 성과 선정
지식재산권	• 특허출원 8건, S/W 5건

20 도시 문제를 해결하고 지속 가능하게 만드는 'IoT 네트워크'

초대규모(Massive) IoT 네트워크 시스템 개발

과제명	초대규모(Massive) 실시간 IoT 인프라 및 네트워크 기술 개발
연구기간/연구비	2018년 8월 ~ 2022년 12월 / 87억
연구책임자	한국전자통신연구원 박태준

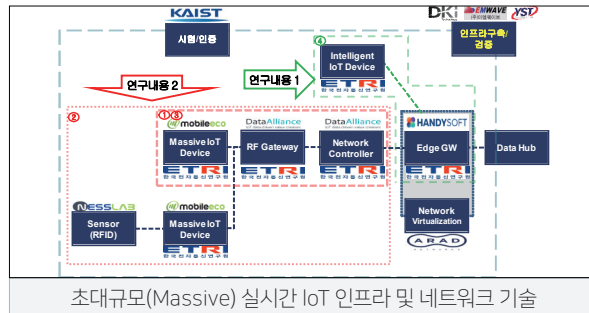
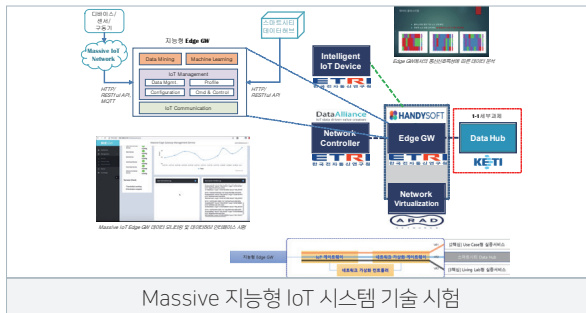
성과소개	• 데이터 기반의 스마트시티 구축을 위한 다양한 조건의 데이터를 특성에 맞게 제어하고 안정적으로 수집할 수 있는 네트워크 기술
기술 수준	• 규칙기반 추론처리 속도 20ms 이내 • 연결제어를 통해 전송성공률(50%대 -> 100%대) 및 예측 가능한 용량(전송성공률에 따라 수배 이상) 개선
파급효과	• 세계 최초로 디바이스 우선순위 관리 및 자원할당 기술을 개발함으로써 비면허대역 기반의 스마트시티의 초대규모 네트워크 기술 분야에서 유리한 고지 선점 • 지능형 IoT 기술을 적극 활용함으로써 차세대 IoT 기술인 지능형 IoT 기술을 스마트시티 서비스 지능화의 기반을 구축, 향후 지능형 IoT 기술과 연계된 고도로 지능화된 자율형 스마트시티 서비스 솔루션 창출
성과 활용처	• 초대규모 IoT 네트워크 기술 규격을 준용하는 단말, RF 게이트웨이, 제어기 제품 개발 및 상용화 • 시흥시 실증지 3개 천변(목구천, 군자천, 정왕천) 지역 네트워크 인프라 구축 및 2종 서비스 연계를 통한 시스템 검증 • 인지 제어 기반의 자율형 공기 순환 서비스 개발 및 어린이집 실증 적용
성공 요인	• 연구자와 전담 기관이 함께 과제를 수행한다는 관점으로 실효적인 과제 목표 설정과 연구 진행 전략 수립 • 지역과 시점의 구분 없는 상호운용성을 제공하여 지속성이 확보
장애 요인	• 한국전자통신연구원(ETRI) 기술 규격은 접근이 어려울 것이라는 신뢰성의 문제 • 각자가 보유한 독자 기술을 활용하고자 함

극복 방안

- 지속 가능한 생태계를 조성할 수 있는 실효적 기술을 개발
- 기술 규격 무료로 접근할 수 있도록 소프트웨어 시험인증(TTA) 규격으로 공개
- 지식재산권에 대한 제한 미설정

향후 발전 방향

- 데이터 기반의 스마트시티 구축을 위해 다양한 통신환경에서 초대규모 IoT 데이터(교통, 환경, 에너지, 안전 등)의 처리를 위한 지능형 디바이스 개발, 인프라 고도화, 네트워크 구축 및 제어 기술 개발



성과 정의(What)

• 초대규모 IoT 네트워크란 무엇인가요?

- 스마트시티에서 요구되는 다양한 도메인(교통, 환경, 에너지, 안전 등)의 이질적인 데이터를 차별적으로 제어하여 안정적으로 수집할 수 있도록 네트워크를 유지할 수 있는 기술입니다. 한마디로, 스마트시티에 거주하는 사람들에게 안정적인 서비스를 제공하기 위해 다양한 조건의 데이터를 특성에 맞게 제어하고 안정적으로 수집할 수 있는 네트워크 기술이라고 할 수 있습니다.

연구배경(Why)

• 초대규모 IoT 네트워크를 연구하게 된 배경이 어떻게 되나요?

- 과거 공통규격의 부재로 인해 동일한 지역에 기구축된 IoT 자가망이 존재하더라도 다른 서비스에서 활용할 수 없었기에 생태계 발전이 굉장히 저조한 상황이었습니다. 지자체의 네트워크 비용 증가와 망설비 중복투자 문제 등의 경제적 부담이 존재하였기에 어떻게 하면 효율적인 서비스 제공이 이뤄질 수 있을까 하는 마음으로 연구를 시작하게 되었습니다.
- 이 문제점들을 해결하기 위해 스마트시티 환경에 부합하는 초대규모 IoT 네트워크를 기반으로 하는 지자체 자가망을 통해 상호운용성을 확보하면서 서비스 생태계를 조성한다면 효율적으로 활용할 수 있을 것입니다.

성과 창출 과정(When/How)

• 초대규모 IoT 네트워크를 개발하면서 어떠한 장애 요인이 있었으며, 어떻게 극복 하셨나요?

- 신뢰의 문제가 가장 큰 장애 요인이었습니다. 한국전자통신연구원(ETRI)는 연구 중심 기관이라는 인식이 있어 연구소만의 신기술을 개발할 것이라는 편견과, 새롭게 제시하는 기술 규격은 난이도가 높을 것이라고 판단한 기존 기관들의 선입견으로 거부감을 갖기도 하였습니다. 하지만 연구단에서는 독자적 연구가 아닌 지속 가능한 생태계를 조성하기 위해 기술 규격을 무료로 접근할 수 있도록 소프트웨어 시험인증(TTA) 규격으로 공개하였고, 기술 지원 또는 기술이전을 통해 대외 활동을 지원함으로써 이러한 점들을 극복해나가는 중입니다.

• 초대규모 IoT 네트워크 개발 성공 요인은 무엇인가요?

- 연구자는 수요자 관점에서 문제를 정의하고 연구 목표와 최종성과물을 설정하는 새로운 관리기법을 과감히 도입하여 연구 지원 중심의 과제 관리 개념을 도입하였고 연구자와 전담 기관이 함께 과제를 수행한다는 관점으로 실효적인 과제 목표 설정과 연구를 진행 시킨 전략이 개발 성공 요인이 되었다고 생각합니다.

• 사업화·상용화 성공 요인은 무엇인가요?

- 스마트시티 데이터를 실시간으로 처리해 사고 및 재해 등 즉각적인 대처가 필요한 상황이 발생했을 때 지능형 IoT 기술을 활용하여 피해를 최소화할 수 있습니다. 또한, 이러한 데이터를 모아 분석하면 사고나 재해를 예방할 수도 있게 됩니다.
- 경제적인 측면에서도 스마트시티 데이터 처리에 최적화된 인프라 및 네트워크 기술 개발을 통해 기술적인 자립성을 확보할 수 있었고 기존의 기반 기술과 민간 개발 기술을 적극적으로 융합해 기술 경쟁력을 높인 점들이 성공 요인이라고 생각합니다.

성과 효과(Where)

• 초대규모 IoT 네트워크가 우리 사회를 어떻게 변화시켰고 어떠한 점이 우수한지 자랑해 주세요.

- 기존에는 지자체에서 새로운 IoT 서비스 수요가 있어도 통신사의 서비스가 해당 IoT망에 호환되지 않는다면 이용할 수 없었습니다. 하지만 이제는 지자체가 초대규모 IoT 네트워크를 통해 도입할 수 있기에 모든 경우마다 신규 인프라를 구축할 필요가 없이 기존 인프라에 서비스만 추가하여 이용이 가능합니다. 또한 네트워크 추가 확대의 경우에도 기존 사업자로 제한되지 않고 누구나 확대 참여가 가능합니다.
- 이를 통해 초대규모 IoT 네트워크 기술 규격을 준용하는 단말, RF 게이트웨이, 제어기 제품 개발 및 상용화하여 시흥시의 옥구천, 군자천, 정왕천의 천변에 지역 네트워크 인프라 구축 및 서비스 연계를 하였으며, 인지 제어 기반의 자율형 공기 순환 서비스를 개발하여 어린이집에 적용하는 등 실증에 노력을 아끼지 않고 있습니다.

향후계획(Will)

- 초대규모 IoT 네트워크가 발전하기 위해서 추가로 필요한 지원사항은 무엇인가요?
 - 현재 연구한 기술은 대규모 네트워크를 통하여 다양한 데이터 방면에서의 처리 속도가 매우 빠르기때 편리성이라는 강점이 있으나, 기존 통신망과의 문제들로 인하여 보급화되기엔 큰 어려움이 존재했습니다. 이번 연구는 일반인들에게 사용되기까지의 과정이 순탄치 않았지만, 초대규모 IoT를 활용한 네트워크 방식은 굉장히 유용함과 편리성을 가져다줄 것입니다. 그렇기에 이에서 파생된 후속 연구로 국토교통부(전담기관-국토교통과학기술진흥원)의 지원이 이뤄지는 '스마트시티 인프라 AIoT 핵심 기술개발'과제를 2022년부터 4년간 수행할 예정입니다.

성과 현장적용 사례



연구자 한마디



최근 스마트시티에 대한 관심이 급속히 높아지면서 스마트시티에 존재하는 다양한 특성의 IoT 데이터를 안정적으로 수집할 수 있는 초대규모 스마트시티 네트워크 기술에 대한 관심도 높아지고 있습니다. 지금까지의 도시 네트워크는 서비스별로 분리된 사일로(Silo) 형태로 운영되고 있었으나, 최근의 스마트시티는 데이터 융합을 통한 신규 서비스 개발 및 부가가치 창출이 용이한 통합 네트워크를 추구합니다.

스마트시티 통합 네트워크는 초대규모의 데이터 전달뿐만 아니라 다양한 서비스의 특성에 적합하게 데이터를 안정적으로 제어할 수 있는 관리가 필요합니다. 향후 지속가능한 스마트시티의 초대규모 IoT 네트워크 운영을 위해서는 상호운용성의 확보가 중요합니다. 이를 위해서는 국가전략 프로젝트를 통해 개발하는 표준의 보급 및 확산을 위한 적극적인 노력이 필요합니다.

R&D 주요 성과물

논문	• 2건
현장적용	• Massive IoT 기반 미세먼지 측정기 • 미세먼지 감시 및 통합 운영 관제시스템 소프트웨어 • Massive IoT 네트워크 디바이스 및 RF 게이트웨이 외 7건
수상실적	• 국토교통부 국토교통부장관상 표창 1건 • 2015년 국토교통 R&D 우수성과
지식재산권	• 특허 5건, S/W 28건



2022년 국토교통 R&D 대표성공 사례집

발행인 박승기
발행처 국토교통과학기술진흥원
발행일 2022년 11월
펴낸곳 과학기술전략연구소
디자인 디자인리퍼블릭

이 책에 수록된 내용 중 문의사항이 있으시면 아래로 연락주시기 바랍니다.
경기도 안양시 동안구 시민대로 286 (관양) 송백빌딩 2-7, 9F
Tel. 031-389-6313 Fax. 031-382-6463

* 이 책의 저작권은 국토교통과학기술진흥원에 있습니다.

* 이 곳에 담긴 모든 내용 및 자료는 허가 없이 어떠한 형태로든 무단으로 복사, 전재하거나 변형하여 사용할 수 없습니다.

발 간 등 록 번 호

11-B552989-000457-01

2022년 국토교통 R&D 대표성공 사례집



국토교통부



국토교통
과학기술진흥원

국토교통과학기술진흥원

14066 경기도 안양시 동안구 시민대로 286(관양동 1600) 송백빌딩 2-7,9F

TEL 031.389.6313 FAX 031.382.6463

비매품/무료



ISBN 979-11-92708-01-0