

2024
국토교통
R & D
주요성과
사례집

2024
국토교통
R & D
주요성과
사례집

국토교통 R&D 사업 투자전략 및 투자현황

2024년 국가연구개발 투자방향

기술주권 확립과
미래성장 기반 강화

과학기술 기반의
산업대전환을 통한 경제도약

사회의 지속가능성 확충

2024년
국토교통과학기술
연구개발 중점
추진방향

국토교통
R&D 5대
추진전략
과정

- ① 초연결 국토도시 공간 혁신
- ② 미래형 모빌리티 체계 대전환
- ③ 지속가능 국토교통 기반시설 고도화
- ④ 국민 참여 창의적 생활공간 조성
- ⑤ R&D를 통한 산업혁신 기반 조성



2대
특별과제

- ① 국가전략기술
- ② 탄소중립 기술

국토교통 R&D 5대 추진전략 과제

국토도시 공간 혁신



- 디지털 국토공간
- 그린 스마트도시
- 재난·사회안전

(’24) 623억 원

미래형 모빌리티



- 지능형 모빌리티
- 탄소중립 모빌리티
- 안전한 모빌리티

(’24) 2,552억 원

기반시설 고도화



- 스마트 디지털 건설
- 플랜트·신공간
- SOC 안전·신속회복

(’24) 793억 원

창의적 생활환경



- 도심융합 커뮤니티
- Net Zero 건축
- 안전한 웰빙주거

(’24) 128억 원

산업혁신 기반 조성



- 기업성장 지원
- 균형발전·국제협력
- 첨단인프라·융합인재

(’24) 495억 원

2대 특별과제

국가전략기술 육성



- 첨단모빌리티
- 수소인프라
- 우주항공

(’24) 2,279억 원

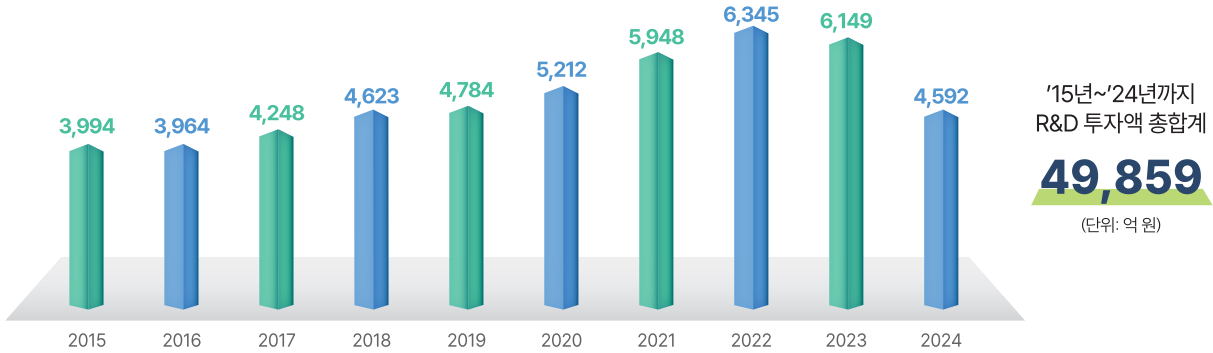
탄소중립 기술혁신



- 제로에너지 건물
- 수소공급
- CCUS

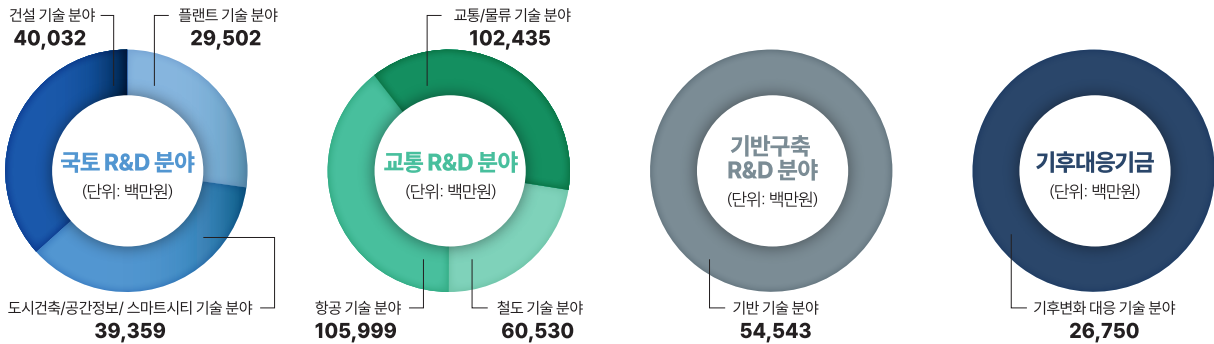
(’24) 571억 원

국토교통 R&D 투자현황

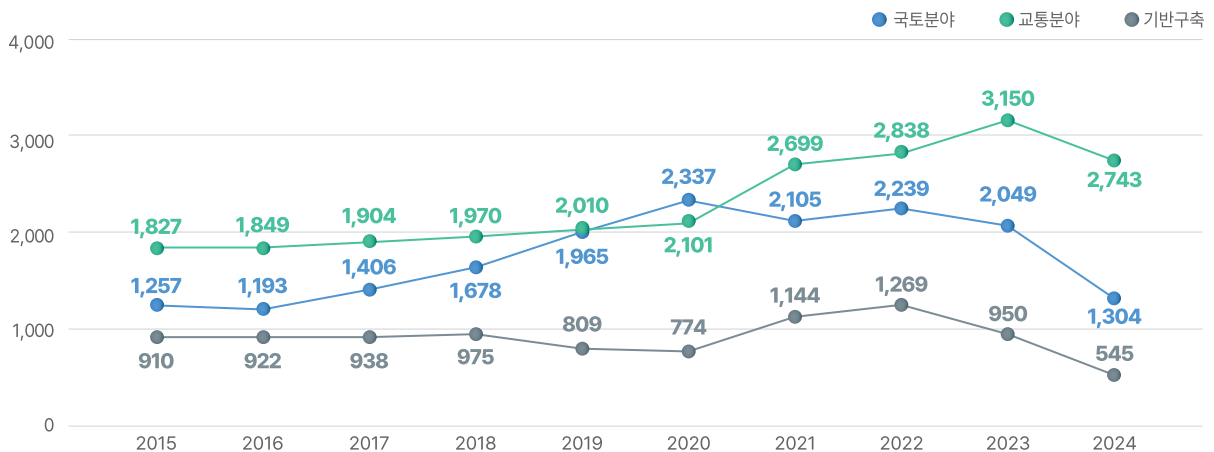


2024년 R&D 분야별 예산

분야별 투자비중



분야별 투자추이 (단위: 억 원)



II. 성과 정의 및 선정 절차

선정 배경

- ⊗ 국토교통 R&D 사업을 수행하는 연구자에게 성과 창출을 독려하고, 모든 국민이 국토교통 기술을 인식하고, 쉽게 이해할 수 있도록 홍보

선정 목적

- ⊗ 국토교통 R&D 주요성과의 대국민 홍보를 통해 연구성과 창출 동기를 부여하고, 국토교통 과학기술에 대한 대국민 인지도 제고

선정 대상

- ⊗ 과제의 진행 및 종료와 관계없이 국토교통 R&D를 통해 2023년에 창출된 주요성과

선정 제한

제외 기준

- ⊗ 아래 결격사유 중 한 개 이상 해당하는 자 또는 전년도('23년) 국토교통 R&D 주요성과로 선정된 성과는 선정 제외

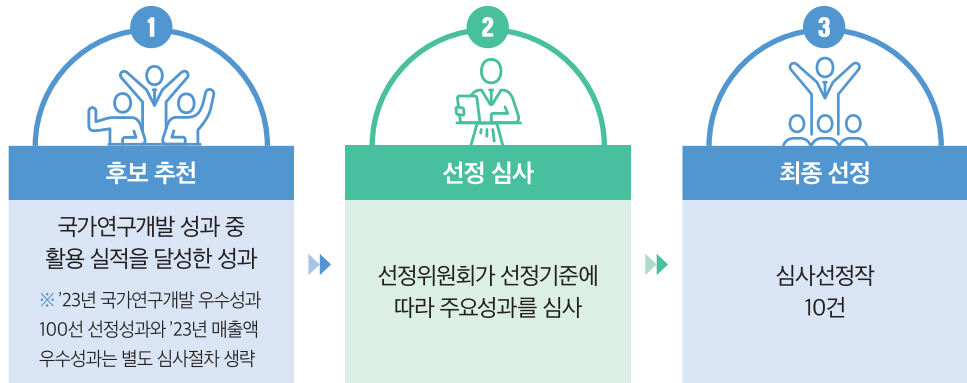
* 포상 추천 및 공개검증 기준 참여제한 등 제재조치 중인 자

* 형사사건으로 수사 또는 기소 중인 자

* 징계절차가 진행 중인 자 또는 징계처분 요구 중인 자

* 연구윤리 위반 등으로 수사 중이거나 각종 언론 보도 등으로 사회적 물의를 일으켜 후보 추천이 합당치 않다고 판단되는 자

선정 절차



선정 방법 및 기준

선정방법

- ⊗ 국토교통 기술전문가로 심사위원회를 구성하여 평가기준에 따라 정성평가를 통해 선정
 - 성과 유발과제의 연구개발계획서에 명시된 국가표준과학기술분류체계 및 성과 내용 등을 고려하여 각 분과별 심사위원회 구성

선정기준

- ⊗ '23년도 발생성과 중 연구개발효과와 경제사회적 파급효과에서 우수 실적을 창출한 성과
 - 국토교통 R&D의 경제적 실적 및 실용화 성과 견인을 유도하기 위하여 심사항목 중 경제사회적 파급효과에 배점 차등 부여
 - 60점 미만은 과락 처리하여 선정에서 제외하고, 동점 발생 시 경제사회적 파급효과 항목 내 세부항목의 점수 순으로 순위 결정

항목	세부항목	내용	배점
연구개발 효과	연구개발 완성도	· 연구개발 성과의 우수성	15
	기술수준 향상효과	· 관련분야 기술수준 향상 기여도	15
	기술개발 촉진효과	· 관련분야 기술개발 및 연구 활성화 기여도	15
경제사회적 파급효과	경제활성화 효과	· 혁신과 재능을 기반한경제발전 기여도 · 관련분야 산업 경쟁력 기여도	25
	산업간 융합효과	· 산업간 융합을 통한 신시장 창출 기여도	15
	사회적 파급효과	· 국민 복지 증진, 공공서비스 개선 기여도 등	15

* 과학기술정보통신부 우수성과 선정기준을 준용하여 국토교통 R&D 주요성과 부합여부 판단

III.

2024년 국토교통 R&D 주요성과

1



매출액
우수성과

1

수소차 시대를 위한 수소 연료전지
동적 성능 통합 평가 장비 국산화
성공



2

디지털 시설물 안전관리 시스템
국내외 실증 및 사업화 성공



2



2023년
국가연구개발
우수성과 100선
선정작

3

세계 최고 방향성 추진시스템과
이수 순환 통합 시스템 국내외
실증 및 사업화 성공



3



국토교통 R&D
주요성과 심사
선정작

4

국민의 건강을 지키는
'K-Solution 미세먼지 저감 시스템'



5

RSBS 복층 배수성 저소음
포장의 사업화



6

차별화된 디자인의 비정형 건축
외장 패널 설계·생산·시공
통합플랫폼 개발



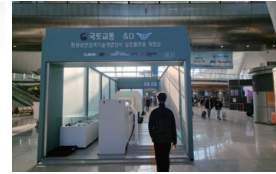
3

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작



7

차세대 휴대수하물 보안검색 기술
개발 및 유럽 ECAC 인증 획득 성공



8

스마트 소재를 활용한
발광형 차선 및 도로결빙 감지
안전시설 개발



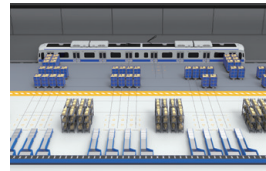
9

겨울철 노면 안전을 지키는
저전력 가로등 및 제설용액
자동 분사 시스템



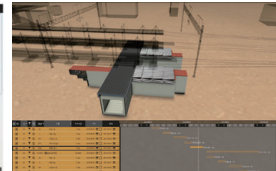
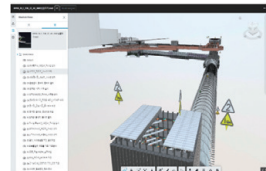
10

지하물류 운송 시스템 개발



11

철도 인프라의 구축과 관리 혁신을
위한 BIM 기반 통합플랫폼 개발



12

스마트 기술로 건설 현장의
안전성을 높이는 '임시구조물 스마트
안전 확보 기술'



13

수소도시 및 주거부문 확산에
필요한 기술개발



13대 성과별 상세내용

I 매출액 우수성과

- (1) 수소차 시대를 위한 수소 연료전지 동적 성능 통합 평가 장비 국산화 성공 10
- (2) 디지털 시설물 안전관리 시스템 국내외 실증 및 사업화 성공 16

II 2023년 국가연구개발 우수성과 100선 선정작

- (3) 세계 최고 방향성 추진시스템과 이수 순환 통합 시스템
국내·외 실증 및 사업화 성공 22



2024 국토교통 R&D 주요성과 사례집



국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작

(4) 국민의 건강을 지키는 'K-Solution 미세먼지 저감 시스템'	30
(5) RSBS 복층 배수성 저소음 포장의 사업화	38
(6) 차별화된 디자인의 비정형 건축 외장 패널 설계·생산·시공 통합플랫폼 개발	46
(7) 차세대 휴대수하물 보안검색 기술 개발 및 유럽 ECAC 인증 획득 성공	54
(8) 스마트 소재를 활용한 발광형 차선 및 도로결빙 감지 안전시설 개발	60
(9) 겨울철 노면 안전을 지키는 저전력 가로등 및 제설용액 자동 분사 시스템	66
(10) 지하물류 운송 시스템 개발	72
(11) 철도 인프라의 구축과 관리 혁신을 위한 BIM 기반 통합플랫폼 개발	78
(12) 스마트 기술로 건설 현장의 안전성을 높이는 '임시구조물 스마트 안전 확보 기술'	84
(13) 수소도시 및 주거부문 확산에 필요한 기술개발	90

01

매출액 우수성과 수소차 시대를 위한 수소 연료전지 동적 성능 통합 평가 장비 국산화 성공



사업명
국토교통기술사업화
지원사업



과제명
수소 연료전지 동적 성능
통합 평가 장비 국산화 개발



연구기간
2021.04. ~ 2023.12.
* 2년 9개월



연구비
총 2,116.85백만 원
* 정부출연금 1,300백만 원/민간부담금 816.85백만 원



연구자
황해중 | (주)에이앤지테크놀로지 실장

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

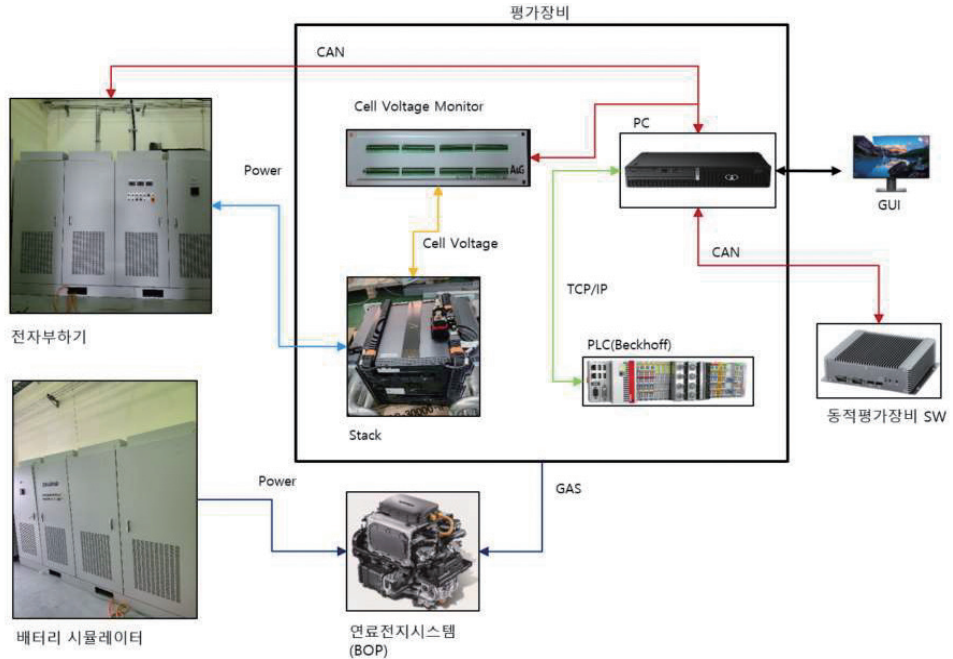
전 세계적으로 수소전기차에 대한 관심이 높아지면서 연료전지 시스템 모델 개발 경쟁이 치열해지고 있습니다. 그러나 실제 차량 시험을 통해 안전성과 성능을 검증한 모델은 아직 많지 않습니다. 그 이유 중 하나는 차량 및 연료전지 시스템에 대한 상세 데이터를 확보하기 어렵기 때문입니다. 대부분의 상세 데이터는 차량 제작사가 소유하고 있으며, 외부에 자료 공개를 꺼립니다. 또한 표준화된 데이터 포맷이 없어 데이터 비교와 분석에 어려움이 있습니다.

연료전지 시스템의 성능을 확인하고 최적화하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요됩니다. 다양한 환경 조건을 재현할 수 있는 테스트 베드 확보도 어렵습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 필요한 것이 차량 모델 기반 동적 성능 평가 장비인 ‘HILS(Hardware In the Loop System)’입니다. HILS는 차량 및 구성품에 대한 다양한 환경 조건을 모사해, 실제 차량 없이도 구성품의 변화를 확인할 수 있습니다. 자동차 부품 제작사들은 개발 마지막 단계에서 HILS를 많이 활용하고 있습니다.

제어기, 배터리, 조향 시스템 등 HILS를 활용한 부품 개발 및 연구는 다수 보고되고 있습니다. 그러나 수소전기차의 핵심 부품인 연료전지 시스템에 대한 HILS 개발 연구는 아직 부족합니다. 이는 연료전지 시스템의 복잡한 구조와 다양한 제어 인자에 따른 구동 특성 파악 등 HILS 개발의 난이도가 높기 때문이며, 각 기업이 핵심 기술 보호를 위해 정보 공개를 제한하고 있기 때문입니다.

우리 연구팀은 수소 연료전지 평가 장비를 개발하는 것뿐만 아니라, 수소 연료전지 평가 시스템과 자동차 모델을 기반으로 다양한 동적 시험을 융합하여 하나의 토탈 솔루션을 제공하고자 연구개발을 진행했습니다.

연료전지 동적 성능평가 장비 개념도



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

수소 연료전지 동적 성능 통합 평가장비를 구성하는 4가지 주요 구성(수소 연료전지 성능 평가장비, 전자부하기, 배터리 시뮬레이터, HILS 시스템)을 개발하고, 각 항목에 대한 성능 목표를 세분화하고자 했습니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

국내에는 수소차 연료전지 스택(STACK)을 평가할 수 있는 대용량 설비 공급처가 부족하며, 특히 법규 시험을 위한 연료전지 시스템 통합 평가 장비는 더욱 부족합니다. 기존 장비들은 주로 연료전지 스택 개발 단계의 부품 시험에 초점을 맞추고 있어, 연료전지 스택과 주변 장치를 통합적으로 시험하기 어려웠습니다. 따라서 자동차 제조사들은 임시로 장비를 구성해 운영해왔습니다. 본 연구진은 ‘수소 연료전지 동적 성능 통합 평가 장비 국산화 개발’ 과제를 통해 수소차 개발 및 성능 검증에 기여할 것입니다.

성과창출 과정

기존의 연료전지 시스템 시험은 연료전지 시험과 BOP를 포함한 시험 장비를 개별적으로 구성하는 방식이었습니다. 본 평가 시스템은 연료전지 단독 시험뿐만 아니라 BOP와 연동해 전체 시스템을 통합적으로 시험할 수 있도록 구성되었습니다. 또한, 수소 전기차 제어 로직 분석 데이터와 전통적인 차량 구조를 조합하여 수소 전기차 모델을 구축하고, 실제 차량 데이터와 비교해 정확성을 높였습니다. 이를 바탕으로 HILS 환경을 구축하여 실제 차량과 유사한 조건에서 시스템을 검증할 수 있는 기반을 마련했습니다.

수소 전기차는 일반 전기차보다 동력 전달 계통이 더 복잡합니다. 일반 전기차의 배터리는 에너지를 내부적으로 저장하며, 별도의 장치 없이 에너지를 사용할 수 있습니다. 반면, 수소 연료전지는 수소와 산소를 외부에서 공급받아 전류를 생산하므로 공기 압축기와 같은 부가적인 장치가 필요합니다. 또한, 수소 전기차는 반응성 문제를 보완하기 위해 배터리를 추가로 탑재하여 전력 분배 방법을 고려해야 합니다. 본 연구는 취득한 데이터를 통해 이러한 문제를 해결하고 수소 전기차의 구동 모델을 구축했습니다.

② 기술수준

본 연구는 세계적인 수준의 기술력을 갖추기 위해 캐나다, 미국 등에서 인정받은 해외 선도 제품의 사양을 기준으로 개발 목표를 설정했습니다. 이를 통해 해외 선도 제품의 사양을 충족하며, 개발된 제품의 신뢰성과 안정성은 세계 수준에 가까워졌다고 할 수 있습니다.

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요? 그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

수소 연료전지 동적 성능 통합 평가장비를 개발하기 위해 무수히 많은 사전 시험을 진행했습니다. 국내 수소차인 넥소를 활용해 실증 시험을 반복 수행하였고, 연구 과제를 4개의 세부 과제로 나누어 각 장비에 맞는 연구 성과를 도출했습니다. 세부 일정을 철저히 관리하며 성과 창출에 집중하였고, KOLAS(한국시험인증원) 시험에 통과할 수 있도록 기술 수준을 높였습니다.

② 장애요인

연구 과정에는 다양한 어려움이 있었지만, 신뢰성 확보를 위해 공인 기관인 KOLAS의 검증을 받는 데 어려움이 있었습니다. 특히 KOLAS 검증 시험에서는 수소 연료전지 관련 장비에 대한 기준이 마련되어 있지 않아, 각 기능별로 검증 방법론을 새로 정립해야 하는 난관이 있었습니다.

③ 극복방법

우리 연구진은 각 장비의 기능을 세분화하여 KOLAS 시험 적용 가능 여부를 분류했습니다. 가능한 기능에 대해서는 기존 기준에 따라 시험을 진행하고, 적용이 어려운 기능에 대해서는 수요처와 협의하여 대체 시험 방법을 마련했습니다. 이러한 과정을 통해 수요처와 국토교통과학기술진흥원(KAIA)과의 많은 논의 끝에 난관을 극복할 수 있었습니다.

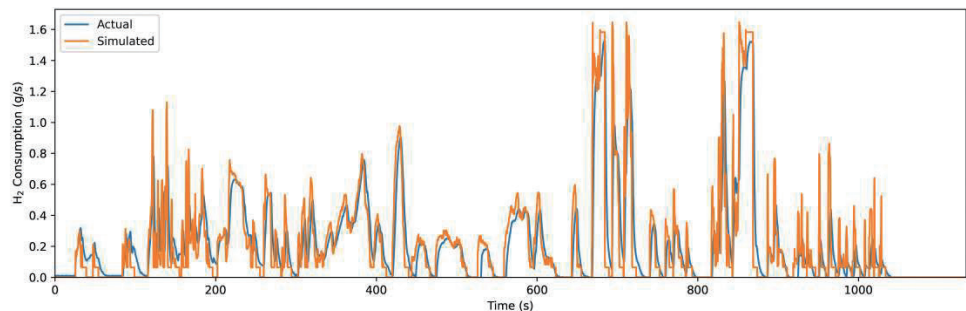
연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

국내에서 진행된 선행 과제들은 대부분 연료전지 부품이나 성능과 관련된 것들이었습니다. 본 과제는 연료전지 평가를 위한 메커니즘이 아니라 평가 장비 제작과 관련된 원천 기술을 확보하는 데 초점을 맞추었습니다. 이를 통해 연료전지 평가를 위한 단위 기술이 아닌 통합 기술을 확보하고, 수소 연료전지, 연료전지 모듈, 그리고 수소전기차의 주행 환경에 맞춘 법규 시험 기반을 마련할 수 있었습니다.

본 개발 설비는 단순히 수소 연료전지 시스템의 성능 평가를 넘어서, 수소차(FCEV)의 실제 주행 환경(도로 및 운전 조건)을 모사할 수 있는 시스템을 구성하여 수소 연료전지 자동차의 복합적인 성능 평가를 가능하게 합니다. 이 통합 평가 장비를 통해 수소 연료전지(STACK) 시험, 연료전지 시스템(연료전지 스택 + MBOP + EBOP) 평가, 수소차 운행 조건에 기반한 연료전지의 동적 성능 평가(시뮬레이션)를 수행할 수 있습니다.

시뮬레이션 수소 소모량 비교



연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

평가 시스템의 주요 장치인 가습기는 가스 가열 기능을 통합하여 장비를 간소화하고 유지보수를 편리하게 했습니다. 또한 가스 흐름에 미치는 영향을 최소화해 압력 손실을 줄이고 성능 저하를 방지했습니다.

수소 전기차 제어 로직 분석 데이터와 전통적인 차량 구조를 조합하여 수소 전기차 모델을 구축하고, 이를 실제 차량 데이터와 비교했습니다. 또한 차량 모델의 고유 특성을 더욱 정확히 반영하여 모델 오차를 줄이고 HILS를 완성했습니다.

2 경제/사회적 파급효과

본 연구개발 성과는 연료전지 시스템의 HILS를 구성하여 수소전기차의 차량 제어 데이터와 각종 센서를 통해 데이터를 취득할 수 있게 하였습니다. 이를 통해 차량 제작사가 아니더라도 데이터를 수집하고 검증된 수소전기차 모델을 구축할 수 있습니다. 또한, 연료전지 평가 시스템과 자동차 모델 기반의 다양한 동적 시험을 융합하여 하나의 통합 솔루션을 제공할 수 있습니다.

기존에는 200kW 연료전지 평가장비 개발 사례가 있었지만, 실제 상용화된 사례는 없었습니다. 본 개발 과제의 장비는 동적 성능 시뮬레이터, 연료전지 시스템, 스택을 동시에 적용해 시험할 수 있는 최초의 장비로, 당사의 매출에도 기여할 것입니다.

기존에는 수요기관/업체가 수소 연료전지 평가 장비와 통합 모듈 평가 장비를 각각 구비해야 했습니다. 본 과제로 개발한 시스템을 활용하면 적은 예산으로 통합 솔루션을 적용한 장비를 구축할 수 있으며, 동적 성능 평가 시뮬레이션을 통해 수소 연료전지 차량에 대한 방대한 데이터를 확보할 수 있습니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

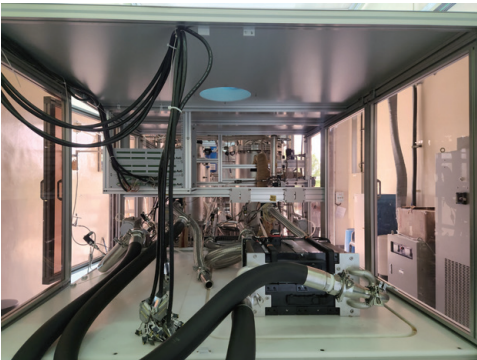
앞으로 본 연구과제의 성과물을 다양한 현장에 적용함으로써 보다 다양한 데이터를 취득하고, 정밀도와 안정성 향상을 높여나갈 것입니다. 그리고 장비 표준화를 통해 연료전지 산업 발전에 기여할 수 있도록 연구개발을 계속해 나갈 것입니다.

현장
적용사례

수소 연료전지 성능 평가장비 외관



수소 연료전지 성능 평가장비 내부



배터리 시뮬레이터



전자부하기



현장 목소리

수소 연료전지 동적 성능 통합 평가장비 국산화 개발을 성공적으로 완료하고 KOLAS 시험을 통해 신뢰성을 확보하게 되어 기쁩니다. 해외 선두 기업과의 기술력 격차를 줄이고 동등한 수준의 장비를 개발한 데에도 큰 자부심을 느낍니다. 과제 수행 중 많은 어려움이 있었지만, 만족스러운 성과를 얻고 나니 그간의 고생이 좋은 추억으로 남게 되었습니다. 이러한 경험을 바탕으로 앞으로 국내 수소 연료전지 개발 분야의 발전에 기여할 수 있도록 꾸준히 노력하겠습니다.



주요 연구개발 성과물

사업화 실적

기상환경 재현 수소 연료전지 평가장비 납품(매출액 18.6억 원)

현장시험 및 검증

수소 연료전지 성능 평가장비 유량 공인인증 시험 외 4건

고용창출

2명

02

매출액 우수성과

디지털 시설물 안전관리 시스템 국내외 실증 및 사업화 성공



사업명

국토교통기술사업화지원사업



과제명

사물인터넷 기반 댐·저수지의 실시간
구조상태평가 및 재해 예측 시스템 개발



연구기간

2018.04. ~ 2020.12.

* 2년 9개월



연구비

총 1,764백만 원

* 정부출연금 800백만 원/민간부담금 964백만 원



연구자

유찬호 | 아신씨엔티㈜ 대표

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

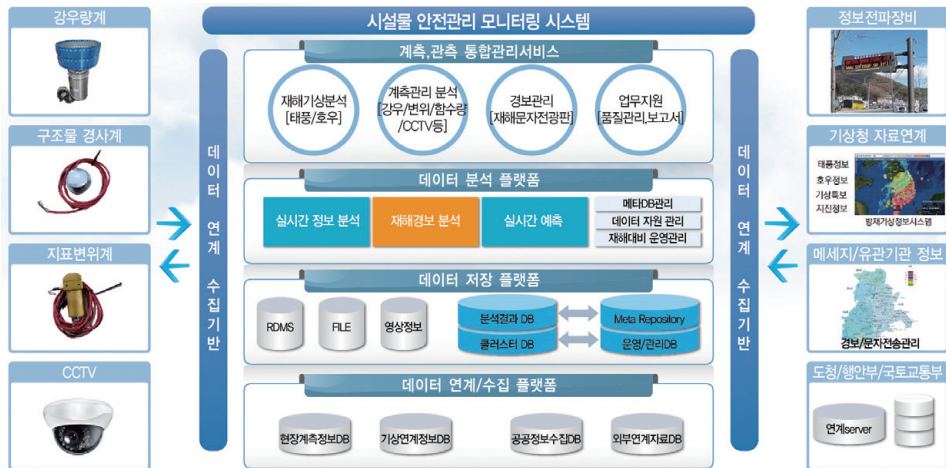
저수지와 댐 같은 사회기반시설은 재난이나 재해 발생 시 단순한 시설물 피해에 그치지 않고 인명 피해와 시설물 철거 및 복구에 따른 사회적 비용 손실을 초래합니다. 최근 기후변화로 인해 자연재해가 빈번해지고 있어 이 문제는 더욱 심각해지고 있습니다. 이러한 상황을 해결하기 위해 공사 중이나 운영 중에 재난·재해를 사전에 인지하고자 계측관리가 시행되고 있지만, 기존 계측기술은 측정된 결과만을 제공하기 때문에 전문지식이 부족한 시설관리자나 일반인은 이를 효과적으로 활용하기 어렵다는 한계가 있습니다. 이로 인해 위험에 대응할 골든타임을 놓쳐 대형 사고로 이어지는 경우가 발생하고 있습니다.

최근에는 이러한 한계를 극복하기 위해 사물인터넷(IoT) 기술을 활용한 안전 관리 기술 연구가 활발히 진행되고 있지만, 아직 많은 개선이 필요합니다. 대부분의 연구는 통신 방식에 집중되어 있으며, 시설물 전체가 아닌 특정 지점만 선택적으로 계측하는 경우가 많아 부분적인 피해 발생 시 이를 파악하기 어렵습니다. 게다가 관리 기준 초과 여부만 알려주는 방식이 대부분이라, 시설물의 안전을 효과적으로 관리하는 데 한계가 있습니다.

본 연구진은 국내외 기후변화를 고려한 재난·재해 예방 및 예측과 같은 안전기술에 큰 관심을 가지고 연구를 시작했습니다. 우리는 무선 센서 네트워크 통신 방법을 기반으로 시설물 전체를 모니터링하고, 각 센서에 고유한 ID와 기준값을 부여하여 계측과 동시에 시설물의 안전 상태를 평가할 수 있는 기술을

개발했습니다. 특히, 집중호우나 지진과 같은 위험 요인이 발생했을 때 기준값 도달 시간을 계산하여 재난·재해 발생 시간을 예측하는 기능을 구현했습니다. 이를 통해 사전에 위험을 예측하고 적절히 대응할 수 있는 기반을 마련했습니다.

자율작동 IoT 장치 기반 상시 계측 시스템을 통한 시설물 안전관리 모니터링 시스템 구축



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

본 연구는 IoT 기술을 활용하여 저수지나 댐과 같은 사회기반시설을 위한 실시간 안전관리 모니터링 기술을 개발하고, 기존 계측기술을 개선하여 데이터 측정과 동시에 시설물의 안전 상태를 평가할 수 있는 시스템을 구축하는 것을 목표로 진행되었습니다.

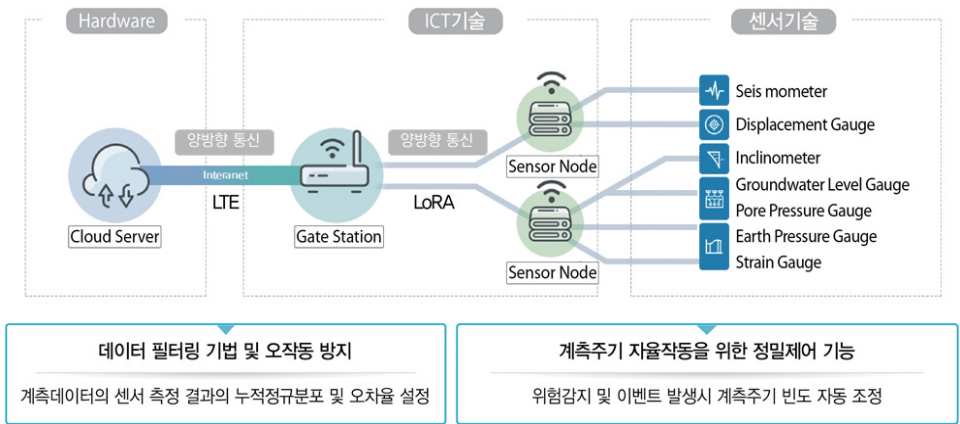
성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

1 성과소개

연구를 통해 개발한 '지능형 IoT 기반 모니터링 시스템'은 다양한 센서를 활용하여 시설물의 상태를 실시간으로 감지하고, 이 데이터를 분석하여 시설물의 안전을 확보합니다. 특히 'IoT 기반 현장 계측 시스템'은 저전력 무선 네트워크 기술을 활용하여 센서 필드를 형성하고, 센서 간 상호 무선 통신을 통해 데이터를 서버로 송신하는 상시 측정 시스템입니다. 각 센서에는 기준값이 설정되어 있어 측정과 동시에 실시간으로 시설물의 상태를 평가할 수 있습니다.

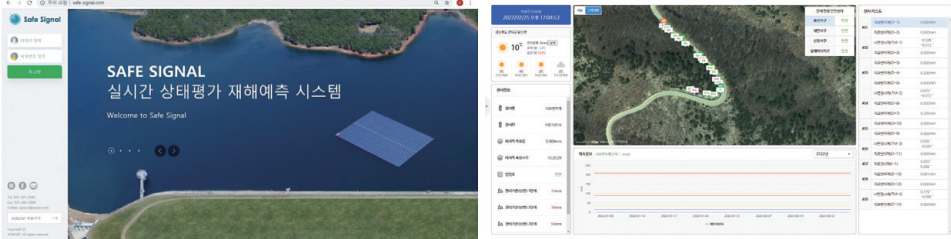
지능형 IoT 기반 모니터링 시스템(Hardware)



계측센서	센서노드	게이트 웨이	클라우드 시스템
진동현식, 진기식 등 국내 상용센서 호환 가능	계측센서와 연결 통신장치(LoRa)	센서노드 데이터 수집 통신장치(LTE 통신)	데이터 수집 및 구조물 상태 평가

‘시설물 모니터링 및 재해 예측 모니터링 S/W’는 계측 센서에서 수집된 실시간 데이터를 분석하여 현재 계측값과 일별, 시간별 기록 등 시설물의 안전 상태를 직관적인 그래프로 제공합니다. 또한, 시설물의 위험 한계치(시설물이 견딜 수 있는 최대 한계)를 수치 해석적 방법으로 분석하여 기준을 설정하고, 계측 데이터 분석을 통해 대상물의 현재 상태와 함께 위험 한계에 도달하는 시간까지 예측합니다. 이 정보는 PC 및 모바일 알림을 통해 사용자에게 전송되어 신속한 대응을 지원합니다.

시설물 모니터링 및 재해 예측 시스템(Software)



2 기술 수준

현재 개발된 IoT 장치의 성능을 점검한 결과, 통신거리(LoRa)는 도심지 기준으로 1.5km에 이르고, 통신속도(LoRa)는 5kbps 이상임을 확인했습니다. 이는 해외 선진 기술과 비교해 최상위 수준의 성능에 해당합니다. 또한, 시설물 안전상태 모니터링 S/W는 국내 최고 수준의 S/W 인증인 GS 1등급을 인증받아 독자적이고 안정적인 기술력을 입증했습니다.

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요? 그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

본 연구개발 성과물인 시설물 안전관리 모니터링 시스템은 토목 기술과 IT 기술의 융합을 통해 탄생했습니다. 한국건설기술연구원과 토목, 전자, IT 분야의 전문가들이 하나의 팀을 이루어 원팀 정신으로 연구 목표를 달성하기 위해 노력한 것이 성공의 주요 요인이라고 생각합니다.

② 장애요인

시설물 데이터 측정에 사용되는 상용 센서는 진동식, 전자식 등 여러 방식이 혼재되어 있습니다. 이로 인해 다양한 센서들을 범용적으로 사용할 수 있는 IoT 장치 개발이 가장 큰 어려움이었습니다. 현장 계측 시스템을 구축하고 운영하는 과정에서도 여러 문제들이 발견되었습니다. 기기 오작동뿐만 아니라, IoT 장치를 보호하는 함체의 구조적 결함으로 결로나 부식이 발생하기도 했습니다.

③ 극복방법

공동연구기관인 한국건설기술연구원의 역량과 연구개발진의 시간과 노력을 통해 수많은 상용 센서를 테스트했으며, 이를 바탕으로 현장 데이터 수집을 위한 IoT 장치를 성공적으로 개발할 수 있었습니다. 또한, 오작동 방지를 위한 필터링 기술 개발과 구조적 결함 개선 등 3년에 걸친 개발 과정에서 발견된 다양한 문제점을 차근차근 해결하며 최적화된 장치를 완성했습니다.

연구성과의 차별성

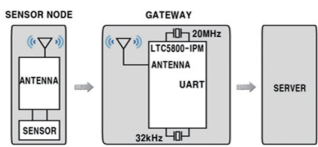
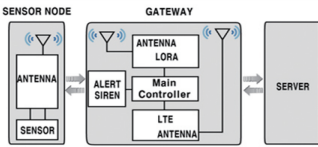
연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

우리 연구진은 자율작동 IoT 기술을 활용하여 관리 시설물의 안전 상태를 실시간으로 모니터링하고, 위험 발생을 사전에 감지하여 재난을 예방하는 혁신적인 방재 시스템을 개발했습니다. 이 시스템은 기존의 일반 IoT 기반 모니터링 기술과 차별화된 요소들을 적용하고 있습니다.

기존 방식은 고정된 설정값으로 운영되어 환경 변화에 유연하게 대응하기 어려웠습니다. 반면, 본 기술은 지진과 같은 위험 요인이 발생할 때 측정 주기를 자동으로 조절하여 집중적인 모니터링이 가능합니다. 또한, 네트워크 구성 시 LoRa 주파수를 자동으로 검색해 최적의 통신망을 구축합니다. LoRa 주파수는 공용 주파수 대역으로 다양한 무선 기기와의 간섭이 발생할 수 있습니다. 따라서, LoRa 주파수 자동 검색은 안정적인 통신망 구축에 필수적입니다. 이 기능은 통신 간섭이나 데이터 송·수신 오류를 사전에 방지하여 향상된 통신 성능을 확보할 수 있습니다. 일반 IoT 기반 모니터링 기술은 장치 오작동으로 인해 오경보를 발생시키거나 불필요한 현장 출동을 유발할 수 있습니다. 우리 연구진은 통계 기법을 활용한 데이터 필터링 기술을 탑재하여 IoT 장치의 오작동을 방지하고 기술적 신뢰성을 확보했습니다. 또한, 수집된 데이터를 송·수신할 때 CRC 체크를 통해 데이터의 정확성을 향상시키고, 데이터 암호화를 통해 보안성도 강화했습니다. 더 나아가, 머신러닝 기법을 적용하여 현재 수집된 데이터를 기반으로 미래의 안전 상태와

위험을 예측할 수 있는 소프트웨어도 탑재했습니다. 이러한 차별화된 기술은 관리 시설물의 위험 요인을 효과적으로 사전에 파악하고 안전사고를 예방하는 데 기여할 것입니다.

* CRC(Cyclic Redundancy Check) : 데이터 전송 과정에서 데이터의 오류를 검출하기 위해 사용하는 기술

일반 IoT 기반 모니터링 기술과 새로 개발한 AIoT 기반 모니터링 기술 비교		
구분	일반 IoT 기반 모니터링 기술	아산씨엔터㈜ AIoT 기반 모니터링 기술
개요도		
자율작동 (주기 및 제어)	확실적인 계측(측정주기 변경 불가)	자율작동 제어 계측(측정주기 자율 변경, 1회/시간↔1회/분)
통신성능향상	불가능 Zigbee, Wi-Fi 등 단방향 통신	Network 구축 시 LoRa 주파수 자동 감쇄(수신 감도 향상) LoRa, LTE 등 양방향 통신
Data 필터링	불가능	통계기법을 활용한 Data 필터링 기술로 오작동 방지
Data 품질	불가능	센서노드-게이트웨이 간 CRC 체크(Data 정확성 향상)
해킹방지(보안강화)	불가능	게이트웨이-서버 통신 시 패턴(Data 암호화) 적용
안전성 평가(예측)	불가능	머신러닝(예이저인기법)을 활용한 상태평가

연구성과의
파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

- 1 기술부문
- 본 연구를 통해 개발된 IoT 장치는 통신 성능과 저전력 운영에서 뛰어난 성능을 발휘하여 기존 시스템보다 더 효율적인 안전 관리 모니터링을 가능하게 합니다. 기존의 일반 IoT 기반 모니터링 기술의 단점을 개선하고, 효율적인 모니터링에 최적화된 기술을 강화함으로써 대한민국의 재난 및 안전 사고 예방에 크게 기여할 것입니다.
- 2 경제/사회적 파급효과
- 본 연구개발 성과인 시설물 안전관리 모니터링 시스템은 특정 관리시설물에 국한되지 않고, 댐이나 저수지, 급경사지, 도로 양커 하중, 지하철 레일, 노후 건축물, 공사현장 등 다양한 시설물에 폭넓게 적용될 수 있습니다. 이 기술은 무궁무진한 경제적 및 사회적 잠재력을 지니고 있습니다.
- 기존의 인력 중심 안전 관리 방식을 디지털 방식으로 혁신하여, 효율적이고 안전한 시설물 관리를 가능하게 할 것입니다. 특히, 재난으로 인한 인명 피해와 사회적 비용 손실을 최소화하는 데 큰 역할을 할 것으로 기대됩니다. 당사는 향후 이 기술을 다양한 분야로 확산시키고, 안전 플랫폼 사업이라는 새로운 사업 영역을 구축할 계획입니다. 이는 매출 증대는 물론, 고용 창출을 통해 지역 경제 활성화에도 기여할 것입니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

현재 본 시스템을 다양한 시설물에 적용하여 운영하고 있으며, 이와 관련된 데이터를 수집해 기술을 지속적으로 고도화하고 있습니다. 초음파 센서를 활용한 건축물 콘크리트 강도 측정 기술을 개발하고 있으며, 인공지능 및 열화상 카메라 등 다양한 측정 방법을 융합해 누수 및 화재 감지 기술을 개선하고 있습니다. 이러한 기술 발전을 통해 제조업, 건설, 인프라 등 다양한 산업 분야로의 확장을 추진하고 있으며, 안전 관리 분야의 시장 확대를 위해 지속적으로 노력하고 있습니다.

현장 적용사례



저수지·댐 안전관리
모니터링 시스템 구축



비탈면 앵커 자동측정
모니터링 시스템



지하철 레일 온도 변위
모니터링 및 자동 살수 시스템



베트남 Vân Truc Reservoir 안전
관리 모니터링 시스템 시범 구축

현장 목소리

본 연구개발을 통해 시설물 안전관리 시스템의 성공적인 개발과 활발한 사업화에 큰 기쁨을 느끼고 있습니다. 앞으로 자체 개발한 IoT 장치와 소프트웨어를 저수지, 급경사지, 지하철, 해안, 앵커, 건축물 등 다양한 시설물에 적용하여 안전관리 시스템을 구축하고, 이를 통해 재난 사고 예방에 기여할 수 있기를 바랍니다. 또한, 제도적인 개선이 이루어져 인력 중심의 정기안전점검 대신 실시간 모니터링 기반의 디지털 안전 점검 체계가 더욱 활발히 구축되기를 바라는 마음입니다.



주요 연구개발 성과물

논문

일반학술지 2건

지식재산권

- 특허등록 : 미세먼지 측정 및 저감을 위한 시스템(10-2068984) 외 5건
- 소프트웨어 : 세이프 시그널-기상정보수집기 (Safe-Signal-Weather Broker)(C-2019-027303) 외 2건

사업화 실적

- WSN 계측 시스템 구축(2018년 서수원~의왕 고속화도로 사면 보수 공사) 외 9건(총 매출액 8.8억 원)
- 그라운드 앵커 잔존긴장력 자동 측정 시스템 구축(매출액 0.8억 원)
- 급경사지 붕괴위험지역 조기경보시스템 구축(전북 구례) 외 8건(총 매출액 31.9억 원)
- 재해위험지역 조기경보시스템 구축(경북 청도) 외 2건(총 매출액 12억 원)

현장시험 및 검증

무선센서 네트워크(WSN)를 이용한 농업생산기반시설 계측시스템 설치 및 모니터링 외 2건

고용창출

6명

포상 및 수상실적

2022년 범부처 재난안전 연구개발 성과 대상 장려상(행정안전부)

03

2023년 국가연구개발 우수성과 100선 선정작 세계 최고 방향성 추진시스템과 이수 순환 통합 시스템 국내·외 실증 및 사업화 성공



사업명
플랜트연구사업



과제명
시추용 육상 드릴링 시스템의 방향제어
추진체 및 이수순환기술 개발



연구기간
2017.06. ~ 2023.09.
* 6년 3개월



연구비
총 6,435백만 원
* 정부출연금 6,435백만 원



연구자
김영주 | 한국지질자원연구원 자원개발플랜트연구실장

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

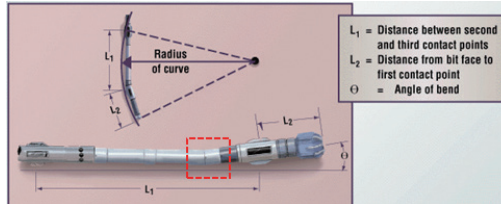
오일과 가스 같은 자원을 육상에서 시추할 때 중요한 두 가지 핵심 기술이 있습니다. 바로 "방향성 추진시스템"과 "이수 순환 시스템"입니다. 방향성 추진시스템은 지하의 목표 지점까지 드릴링 모터를 3차원적으로 조정하고 제어하는 기술입니다. 이를 통해 원하는 방향으로 드릴링을 진행할 수 있습니다. 이 시스템은 주로 '머드 모터(Mud Motor)'와 'MWD(시추 중 측정 장치)'로 구성됩니다. MWD는 시추하는 동안 위치를 실시간으로 파악해 드릴링이 올바르게 진행되도록 돕습니다.

한편, "이수(Mud)"는 시추 과정에서 발생하는 마찰을 줄이고, 암석 파편을 제거하며, 압력을 조절하고 구멍이 무너지지 않도록 유지하는 혼합된 유체 물질입니다. 이수 순환 시스템은 이러한 이수를 다시 재활용하는 기술로, 시추 과정에서 나온 암석 조각을 지상에서 분리하고 이수를 다시 주입해 순환시키는 역할을 합니다.

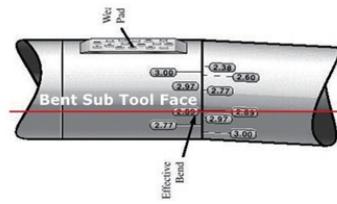
지금까지 오일과 가스 개발을 위한 중요한 기술과 시스템은 주로 엑손모빌(ExxonMobil), 토탈(Total), BP, 쉘브론(Chevron), 쉘(Shell)과 같은 해외의 소수 대기업들이 독점해왔습니다. 이로 인해 국내 오일·가스 회사들은 원천 기술이 없어 직접 자원 개발보다는 지분 확보나 처분을 통해 수익을 추구할 수밖에 없었습니다. 또한, 해외 자원 개발 사업이 중단되면서 국내 연구 기관들은 실제 현장에서 실험하지 못하고 시뮬레이션에만 의존해야 했습니다. 따라서 자원 개발을 위한 기자재 개발과 공정 설계, 실증 연구가 시급한 상황이었습니다.

이러한 배경 속에서 연구진은 해외에 의존하지 않고 국내에서 자원 개발에 필요한 기술과 장비를 확보하여 대규모 부가가치의 해외 유출을 막기 위해 이 연구를 시작하게 되었습니다.

방향성 추진체의 밴드 앵글(Bend Angle) 조정 방법



Mud Motor Bend Angle



Angle 조정 방법

* 수직에서 수평으로 시추 방향을 변경하기 위해서 추진체의 밴드앵글 조정 매커니즘을 통한 도그레그 확보 방법

연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

국내 방향성 추진 시스템 및 이수 순환 처리 기술을 확보함으로써, 유·가스 개발을 위한 자체 인프라를 구축하고 해외 시장 진출의 한계를 극복하는 것이 이번 기술 개발의 목표입니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

본 연구에서 개발한 하이브리드 방향성 추진 시스템과 이수 연속 순환 시스템의 핵심은, 추진체의 방향을 바꾸거나 이수의 순환을 멈추지 않고도 연속적으로 시추할 수 있는 기술이라는 점입니다.

시추 중단으로 인한 효율 저하 문제를 해결하기 위해, 수직 방향으로 드릴링하던 추진체를 시추공 밖으로 꺼내지 않고 지하에서 바로 방향을 바꿀 수 있는 기술을 개발하였습니다. 이 추진체는 드릴비트에서 밴드 앵글 조정부까지 최소한의 길이를 확보하여 추가적인 도그레그를 얻는 방식으로 신속하게 방향을 바꿀 수 있습니다. 밴드 앵글은 추진체의 굽힘각을, 도그레그는 땅속 경로의 구부러진 각도를 말합니다. 본 기술은 30m당 도그레그 15~20°를 구현하였습니다.

또한, 추진체의 위치를 실시간으로 파악할 수 있도록 최신 MWD 기술도 개발하였습니다. 새로 개발된 MWD는 어쿠스틱(진동파 활용) 방식을 사용하여 기존의 머드 펄스(이수 움직임 활용) 방식과 EM(전자기 활용) 방식의 단점을 보완하였고, 통신 속도는 기존 대비 5배 이상 향상되었습니다.

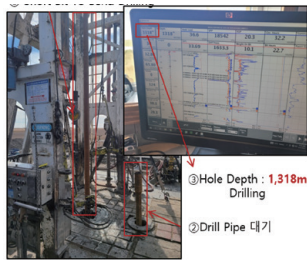
시추를 멈추지 않고 계속하기 위해서는 이수를 끊임없이 순환시켜야 합니다. 본 연구진이 개발한 이수 연속 순환 시스템은 이수의 혼합과 순환 후 배출된 혼합물의 분리 및 회수를 자동으로, 중단 없이 할 수 있는 기술입니다. 자동화율의 경우, 고형 입자 분리는 80%, 이수 처리 시스템은 66%를 달성하여, 이수의 순환을 멈추지 않고 시추 파이프를 연결할 수 있게 되었습니다. 더불어, 이수 순환 시스템의 통합 시뮬레이터를

개발하여 고위험·고비용이 소요되는 드릴링 작업에 대한 이해도를 높이고, 기존에 수작업으로 관리하던 이수 순환 시스템을 자동화하였습니다.

또한, 나노물질인 MoS2 또는 WS2를 이수에 첨가하여 열전도율과 점도 증가율을 20% 향상시킴으로써 시추 효율을 높였습니다. 이는 기존 이수 첨가제의 환경 오염 문제를 해결한 대체 기술입니다.

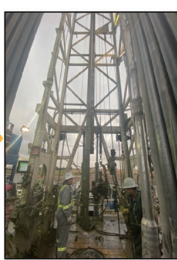
이 외에도, 최적의 이수 혼합 및 처리를 위해 각 장비의 효율성과 호환성을 극대화한 패키지 장비와, 육상 장비의 이동성 및 공간 사용의 효율성을 고려한 컴팩트 장비를 개발하였습니다. 먼지를 포집하는 환경 설비를 구축하고, 사용 완료된 이수는 pH 조정 등을 통해 완벽하게 처리하여 2차 환경 오염을 방지하였습니다..

방향성 추진체 현장실증 참여 현장

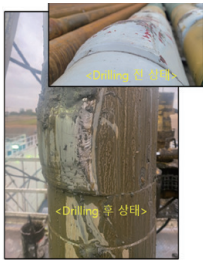


①Hole Depth : 1,318m Drilling
②Drill Pipe 대기

모니터에서 실제 시추거리 (1,318m)를 확인하는 모습



1,354m를 시추한 이후 밖으로 나온 추진체



<Drilling 후 상태>

시추 후에도 손상이 없는 추진체로 내구성이 확인되는 모습

사업목표 및 달성

구분	목표	달성
추진체 방향 전환율	15°/30m 이상	15.54°/30m
추진체 굴진율(ROP)	10m/h	14.6m/h
드릴링	1km	1,198km
타겟 정밀도	±3m	+2.66m
MWD 통신속도	10bps	32bps

Standard Survey Report Midale Petroleum Ltd. Report Midale Report No (2018-04) 101-18-04-0002 MR Survey: Build Section 21 September, 2022	Midale Petroleum Ltd. Report Midale Report No (2018-04) 101-18-04-0002 MR Anticollision Report 21 September, 2022	ADS Planning Report Midale Petroleum Ltd. Report Midale Report No (2018-04) 101-18-04-0002 MR Plan: Plan #2 19 September, 2022
---	--	--

시추보고서



한국지질자원연구원 포항센터에 건설된 이수순환통합플랫폼 내외부 사진

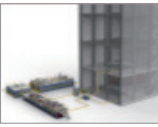
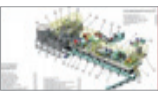
* HMI 모니터로 자동제어가 가능한 시스템으로 구현

2 기술수준

현재 방향성 추진체와 이수 순환 시스템의 세계 최고 수준 기술은 육상 기준으로 북미, 특히 미국과 캐나다가 보유하고 있습니다. 본 연구진이 개발한 기술은 방향성 추진체의 도그레고, MWD 통신 속도, 이수 순환 시스템의 자동화율, 순환 압력, 이수 첨가물 요율 향상 등 여러 면에서 세계 최고 수준을 달성하였습니다.

방향제어 추진체 구성기술 수준					
구분	핵심 기술	담당 연구기관	목표	최종 산출물	비고
1	드릴링 시스템의 방향성 추진체	산동금속공업	Dogleg 15~20° /30m (국내 최초 및 세계 최고)	65inch Short Bit To Bend Mud Motor - Service Manual - 시추 Report	
		한양대학교	방향성 시추 설계 절차서 출판	- 방향성 시추 설계 및 안정화 기술개발절차서 - 실증시험을 위한 방향성 시추 프로그램	
		한국조선해양기자재연구원	모듈 설계지원 및 구조안정성 해석 보고서	머드모터 적용 하중에 따른 구조안정성 해석보고서	
		한국생산기술연구원	모듈 설계지원 및 구조안정성 해석 보고서	해외선진사 주요 부품 적용소재 분석 및 물성 DB 구축	
2	위치파악 및 통신기술	MKS Invertments	10 BPS, Survey 전달 정지시간 50초 이하 (국내 최초 및 세계 최고)	65inch Short Bit To Bend Mud Motor - Service Manual - 시추 Report	
		세종대학교	Acoustic Telemetry 시뮬레이션 최적 운전	65inch Short Bit To Bend Mud Motor - Service Manual - 시추 Report	

* 방향성제어 추진체의 구성기술인 드릴링 시스템의 방향성 추진체와 위치파악 통신기술의 기술 수준 설명

이수순환시스템 구성기술 수준					
구분	핵심 기술	담당 연구기관	목표	최종 산출물	비고
1	이수 순환 시스템 파일럿 플랜트	한국지질자원연구원	이수 순환 시스템 파일럿 통합 실증(국내 최초)	- 이수 순환 시스템 운영보고서 - 이수 순환 시뮬레이터 - 방향성 추진시스템/이수순환 시스템 RBI 보고서 - 방향성 추진시스템/이수 순환 시스템 PQ 보고서	
2	이수 순환 통합 운영 시스템	삼성중공업	Solid Control 75% 자동화, Mud Treatment 25% 자동화 (국내 최초 및 세계 최고)	- 이수 순환 및 재처리 시스템 운영 프로시저 - 공정 및 자산 관리 시스템 운영 프로시저	
		씨엔에스아이	H/W 제어 Cabinet 장치 2대, 모니터링 통합 운영 시스템 개발(국내 최초)	- H/W 제어 Cabinet - Operating Room - 이수 순환 시스템 통합 운영 프로그램 - 이수 순환 시스템 CCTV 관제 프로그램	
3	연속 이수 순환 시스템	이엠씨	순환 압력 35 MPa, Tubular size 5 7/8 (국내 최초 및 세계 최고)	- 연속 이수 순환 시스템(CCS) - 연속 이수 순환 제어 시스템	
4	이수 특성 측정 및 예측 기술	경상대학교	In-situ/On-side 이수물성 예측 및 시뮬레이션 예측 (세계 최고)	실시간 이수 정도 모니터링 기법	
5	나노기반 이수 물질	중앙대학교	이수 비중 20 기준 물질 열전도율, 점도증가율 20% 증가(국내 최초 및 세계 최고)	나노기반 전이금속황화물 (TMD) 이수 물질	
6	100m³/h 이수 혼합처리 장치 개발	한국마린텍	이수 혼합처리 장치 개발 및 제작(국내 최초)	- Mud Tank 1, 2, 3, 4 - Bentonite & Barite Mixer Module - Mud Treatment Module 1, 2	
* 이수순환시스템의 구성기술인 이수 순환 시스템 파일럿 플랜트 등 6가지 기술의 기술 수준 설명					

성과창출
과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요?
그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

1 성공요인

육상용 드릴링 시스템의 실증과 개발된 성과물의 검증 및 활용을 위해, 관련 선진 기술을 보유한 캐나다의 기관과 현장을 방문하여 시스템의 완성도를 높이기 위해 노력하였습니다. 또한, 주관연구기관과 공동연구기관 간의 긴밀한 협업이 필수적인 연구인 만큼, 수시로 진도 회의를 진행하였습니다. 각 세부 일정은 철저히 확인하여 성과관리 및 스케줄 상 착오가 없도록 했으며, 매달 월간 업무진도 보고서를 공유함으로써 연구 진행의 효율성을 극대화할 수 있었습니다.

② 장애평가

6년에 걸친 짧은 연구기간 동안 어려움도 많았습니다. 함께 참여하기로 한 기업의 사정으로 인해 공동연구기관을 두 번이나 변경해야 했습니다. 이로 인해 연구 수행에 차질이 생기지 않도록, 인력과 예산, 연구 목표, 성과 관리 등을 매번 재조정하는 것이 가장 큰 어려움이었습니다.

③ 극복방법

참여기업 변경이 불가피한 상황에서 신속하게 대체 기업을 섭외하기 위해 많은 노력을 기울였습니다. 일부 조정이 필요한 연구 내용은 자원플랜트 관련 기술과 실증 등 R&D 측면에서 우수한 역량을 가진 위탁연구기관을 공동연구기관으로 변경하여 해당 역할을 수행하도록 하였습니다. 이러한 행정적인 조치가 원활하게 진행될 수 있었던 것은 본 사업의 전담기관인 국토교통과학기술진흥원의 적극적인 협조 덕분이었습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

기존의 방향성 추진 시스템은 지하에서 시추 방향을 전환할 때, 추진체의 밴드 앵글을 조정하기 위해 시추공에서 시추 파이프를 빼야 했기 때문에 시추 작업이 중단되었습니다. 하지만 본 연구에서 개발한 시스템은 시추공에서 시추 파이프를 빼지 않고도 지속적인 작업이 가능하여 시추 효율을 크게 향상시킬 수 있습니다.

또한, 기존 MWD 기술 중 머드 펄스 방식은 이수 손실이나 장비 오작동으로 인해 정확한 데이터를 얻기 어려웠고, EM 방식은 저류층의 깊거나 높은 저항률로 인해 사용이 어려웠습니다. 머드 펄스 방식의 최대 통신 속도는 1~3 BPS, EM 방식의 최대 통신 속도는 2~6 BPS로 데이터 확보를 위한 시추 정지 시간이 긴 편이었습니다. 하지만 새로 개발한 어쿠스틱 방식은 통신 속도가 기존보다 5배 이상 향상되어, 시추 정지 없이 실시간으로 모터 위치를 파악할 수 있습니다.

본 연구진이 개발한 이수 연속 순환 시스템은 시추 작업과 동시에 시추 파이프를 연결할 수 있는 장치입니다. 이 시스템은 시추 작업이 중단된 후 재시추될 때까지 연결 시간이 길수록 성능이 우수합니다. 본 연구에서는 평균 32분 이상의 연결 시간을 목표로 하고 있으며, 실제 상용급 수준인 이수 순환 경로 4km, 공급 유량 100m³/h급으로 상용화 문턱에 다가섰습니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

세계 최고 수준의 하이브리드 방향성 추진 시스템을 실증 개발하여 독자 기술을 확보하였습니다. 이로 인해 글로벌 자원개발 기술에서 세계적인 경쟁력을 갖추게 되었습니다. 특히, 시스템과 서비스 분야의 전주기 토털 솔루션 역량을 확보하여, 향후 동토, 극지 등 미개척지 탐사 및 개발 프로젝트에 참여할 수 있는 국내 기술 기반과 실적을 확보하였습니다.

2 경제/사회적 파급효과

국내 선진사를 중심으로 시추 유정의 개발 일정과 비용을 최소화하고 생산 비용을 절감할 수 있는 시추 기법과 시스템 자동화 기술 개발이 계속해서 요구되고 있습니다. 본 연구를 통해 개발한 자동화 시스템은 시추 효율을 극대화하고 작업자의 실수를 사전에 방지하여 생산 비용을 절감할 것입니다.

또한, 본 연구는 관련 기자재 개발과 서비스 산업 진출 등 신산업 창출에 기여할 것입니다. 예상되는 신산업으로는 육상용 시추 시스템 기술 라이선스, 드릴링 분야의 기자재, 장비, 시공, 솔루션, 컨설팅, 지반탐사, 오일·가스전 탐사 및 개발 연관 서비스 등이 있습니다.

지반 탐사 및 개발, 방향성 시공 등에 사용되는 장비를 국산화함으로써, 국비 유출을 막을 수 있습니다. 해외에서 도입하는 육상 드릴링 장비는 한 기당 250억 원~400억 원, 관련 기자재 가격은 10억 원~30억 원에 달합니다. 또한, 대심도 지반 조건 탐사, 극한지 오일·가스 개발, 각종 파이프라인 시공 등 방향성 드릴링이 필요한 사업 모델을 창출하고 시장 수요에 적시 대응할 수 있게 되었습니다.

본 연구는 세계 최고 수준의 기술을 보유한 캐나다와 협업을 통해 기술을 개발하고 제품을 판매하였습니다. 캐나다에서 2차례 현장 실증을 통해 제품의 실적자료를 확보하였으며, 이를 바탕으로 자원 개발도상국에서 기술 적용과 사업화를 추진하고 있습니다.

2023년 국토기술대전 홍보부스 운영



2023년 스마트건설엑스포 홍보부스 운영



향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

한국지질자원연구원의 자원개발플랜트연구를 위해 에너지 자원 분야 신기술 개발 및 다양한 신산업 창출에 이바지할 수 있는 연구를 할 수 있도록 노력하겠습니다.

현장 적용사례



방향성 추진체(위)

추진체 이송

시추 준비 완료

설치된 추진체

* 캐나다 서스캐처원 벤슨에서 48시간 정도 연속 시추를 통해 연구 목표 달성(22년 9월 14~24일)

현장 목소리



육상 시추용 방향성 추진 시스템 개발을 성공적으로 수행하고, 해외 현장에서 개발 제품을 직접 적용하여 기술 검증을 받는 등 우수한 연구 성과를 달성하게 되어 매우 기쁩니다. 자원 개발 분야의 연구 및 기술 개발 환경이 열악한 상황에서도 자원 개발 장비 및 시스템 기술을 개발하고 관련 국내 기업 육성을 위해 노력한 결실을 맺게 되어 큰 보람을 느낍니다. 사업 진행 중 겪었던 외부 요인과 어려움들도 목표 달성을 위해 고생한 모든 일들이 좋은 추억으로 남아 있습니다. 앞으로도 자만하지 않고 국내 에너지 자원 개발 분야의 발전에 기여하기 위해 꾸준히 노력하겠습니다.



방향성 추진체(우)



추진체 이송



시추 준비 완료

주요 연구개발 성과물

논문

SCI(E) 12건

지식재산권

- **특허출원** : 석유 가스 시추 생산 설비의 운용 지원 장치 및 방법(10-2019-0126110) 1건
- **특허등록** : 초음파 감쇠 현상을 이용한 유동관 내 고형물 직접 모니터링 방법(10-2044834) 외 4건
- **소프트웨어** : Well 정보 기반의 사용자 환경 인터페이스 구성 프로그램(C-2019-042859) 외 6건

현장시험 및 검증

이수 순환 통합 플랜트 테스트베드 운영 및 시연회(경북 포함) 1건

포상 및 수상실적

- 2021년 우수연구자 국토교통부장관표창
- 2023년 국가연구개발우수 100선 선정
- 2024년 국가연구개발우수연구자 과학기술정보통신부장관표창

04

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작 국민의 건강을 지키는 ‘K-Solution 미세먼지 저감 시스템’



사업명
도로기술연구사업



과제명
도로 미세먼지
저감 기술 개발 및 실증연구



연구기간
2019.04. ~ 2023.12.
* 4년 8개월



연구비
총 5,617백만 원
* 정부출연금 5,270백만 원/민간부담금 347백만 원



연구자
김혁중 | 호서대학교 교수

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

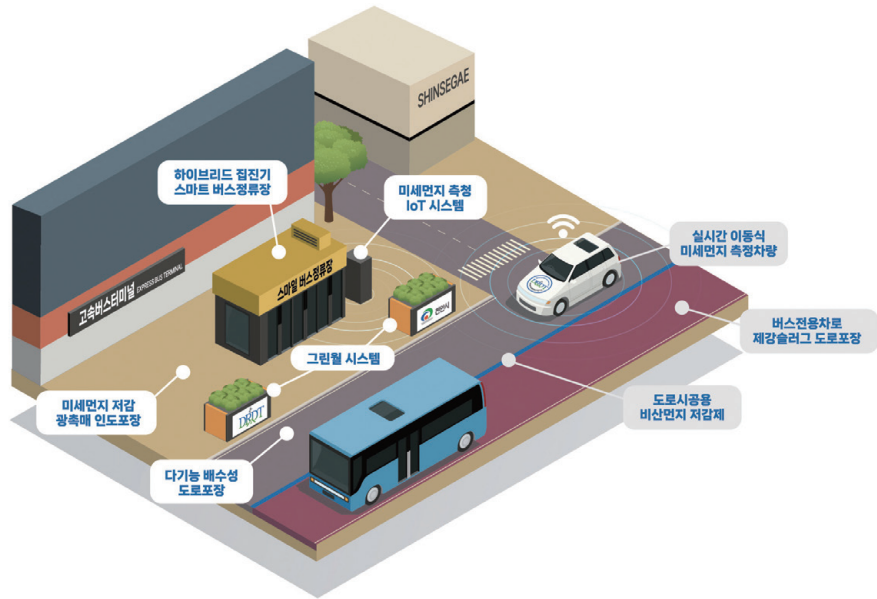
2013년, 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 미세먼지를 석면, 벤젠 등과 함께 1군 발암물질(Group1)로 지정하였습니다. 세계적인 추세에 따라, 우리 정부는 2019년 ‘재난 및 안전관리 기본법’을 개정해 미세먼지를 사회재난으로 규정하였고, 국무총리 소속 ‘미세먼지 특별대책위원회’를 통해 미세먼지 저감에 총력을 다하고 있습니다.

미세먼지는 해변의 고운 모래 입자(90 μ m)보다 작고, 초미세먼지(PM2.5)는 머리카락 두께(50~70 μ m)의 약 1/30 수준입니다. 미세먼지가 인체에 유입되면 폐질환, 혈관질환 등을 일으키는 직간접적 원인으로 작용할 수 있으며, 심한 경우 암을 유발하기도 합니다. 특히, 면역력이 약한 영유아, 청소년, 임산부, 고령자는 미세먼지에 더 취약합니다. 이처럼 미세먼지 문제가 갈수록 심각해짐에 따라, 미세먼지의 위험성에 대한 인식도 높아지고 있습니다.

미세먼지가 인체에 미치는 부작용이 밝혀지면서 대기 먼지 수치를 확인하는 사람들이 많아졌지만, 수많은 사람이 다니는 도로변의 미세먼지 수치는 확인하기 어려운 실정입니다. 도로변 미세먼지는 자동차가 내뿜는 배기가스뿐만 아니라 도로 위에 가라앉아 있다가 다시 떠오르는 재비산 먼지도 포함되어 있습니다. 재비산 먼지는 자동차 타이어가 마모되며 발생하는 미세 조각과 함께 인체에 유해한 물질이 포함되어 있습니다. 이러한 도로변의 미세먼지 농도는 대기보다 높아 시민들은 더 많은 미세먼지에 노출되어 있습니다.

이에, 국토교통부는 도심지 도로변의 미세먼지 저감을 위해 '도로미세먼지 저감 기술 및 실증연구단(이하 도로미세먼지연구단)'을 출범하였으며, 우리 연구단은 Air System 기술 및 공법 개발을 위해 R&D 사업을 추진하게 되었습니다.

천안시에 실증을 진행한 '미세먼지 저감' 리빙랩 조감도



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

도로미세먼지연구단은 건설 소재와 제품, 운영 시스템을 개발해 도로변과 건설공사에서 발생하는 비산먼지를 10~30%가량 감축할 수 있는 Total Solution을 도출하고자 하였습니다. 미세먼지로부터 안전하면서도 지속 가능한 '청정 도로 인프라 적용 기술' 개발을 최종 목표로 2019년부터 2023년까지 5년간 30개 기관 200여 전문가들과 연구를 수행하였습니다.

도로미세먼지연구단 비전 및 목표	
구분	내용
비전	마스크가 필요 없는 청정 도시를 위한 미래 도로 기술 개발
최종 목표	도로변 미세먼지 10~30% 이상 감축, 지속 가능한 청정 도로 인프라 적용 기술 개발
세부 목표	(미세먼지 파트) 기능성 건설자재를 활용한 취약 지점의 도로변 미세먼지 저감 기술 개발 (비산먼지 파트) 도로포장 전주기 비산먼지 저감 기술 개발

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

도로미세먼지연구단은 도로변 미세먼지 측정 및 저감 기술, 도로 공사 현장에서 발생하는 비산먼지 저감 소재를 개발하였습니다. 또한, 충남 천안시와 ‘미세먼지 저감 기술 시범단지 조성사업’ 업무협약을 맺고, 국내 최초, 국내 최대 규모의 리빙랩(Living Lab) 실증을 통해 미세먼지 저감 성과를 창출하였습니다.

도심지 미세먼지저감 리빙랩은 천안시에서 교통량이 가장 많은 천안버스터미널과 백화점 인근 차도에 구축되었습니다. 리빙랩에는 하이브리드 스마트 버스정류장, 친환경 미세먼지 저감 투수 콘크리트 포장, 그린월 시스템(Green wall), 미세먼지 측정 시스템(Shelter), 제강슬래그¹⁾ 골재 아스팔트 콘크리트, 열섬 저감형 배수성 아스팔트 콘크리트 등 미세먼지 저감을 위한 다양한 기술이 집약적으로 적용되었습니다.

‘하이브리드 스마트 버스정류장’에 미세먼지(PM10) 저감 및 차단형 소형화 집진 기술을 통해 버스를 기다리는 시민들이 미세먼지에 노출되는 것을 막아줍니다. 인도에 사용된 친환경 촉매 소재를 활용한 ‘미세먼지 저감 투수 콘크리트’ 포장재는 차량에서 배출되는 질소산화물(NOx)을 저감하는 기술로 보행 환경을 개선하는 효과가 있습니다. 또한, 인도 위에 설치된 ‘그린월 시스템’은 도로를 이탈한 차량으로부터 보행자의 안전을 지키는 방호울타리 기능을 하며, 질소산화물 제거 전용 필터 기술로 미세먼지를 제거합니다. IoT 데이터 통신망은 실시간 모니터링과 데이터 분석이 가능한 고성능 ‘미세먼지 측정 시스템’을 통해 도로 미세먼지 대책 마련을 위해 필요한 여러 데이터를 확보할 수 있습니다.

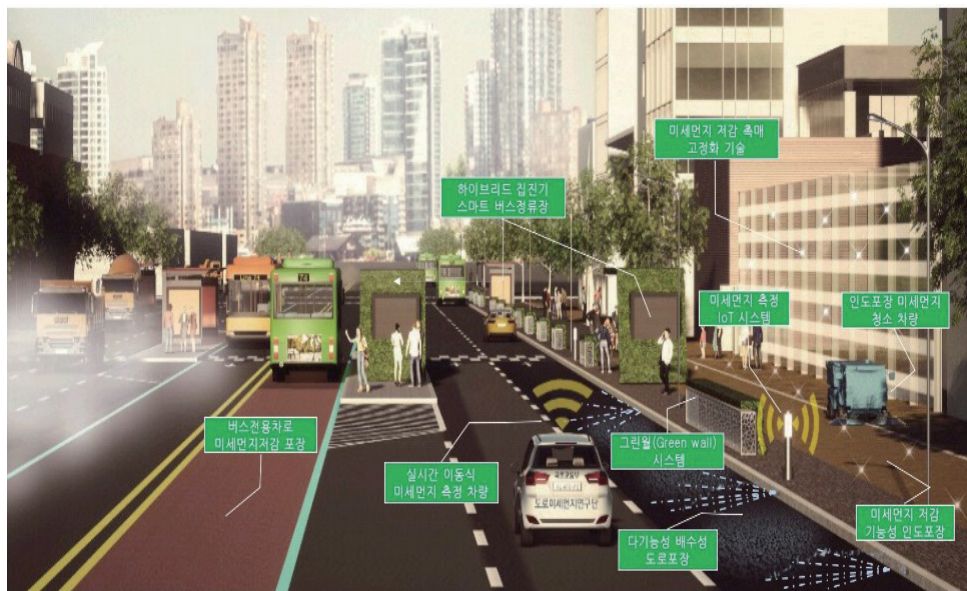
도로포장에는 두 가지 공법을 사용했습니다. 첫 번째로 550m, 8차선 넓이의 버스 전용 도로에는 순환자원 기술로 중차량 도로의 내구 공용성을 개선한 ‘제강슬래그 골재 아스팔트 콘크리트’를 사용했습니다. 두 번째로 120m, 4차선 넓이의 일부 구간에는 충청남도 최초로 배수성 도로포장을 시공했는데, 배수성 중간층에 열을 식혀주는 안개 형태의 수분인 ‘쿨링 포그’를 삽입하였습니다. 이는, 열섬 제어 기능을 갖춘 ‘열섬 저감 배수성 아스팔트 콘크리트’ 기술로, 도로의 열기로 늘어날 수 있는 재비산 먼지를 저감하는데 성공했습니다.

1) 제강슬래그 : 철을 만들 때 불순물을 제거하는 과정에서 생기는 부산물로, 다양한 산업에서 재활용된다.

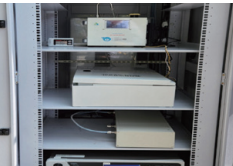
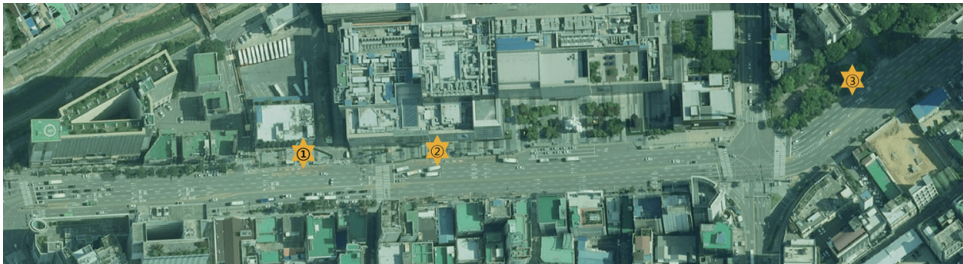
도로미세먼지연구단과 천안시의 MOU 협약식



도심지 도로변 미세먼지 저감 기술 Solution



실시간 모니터링 데이터를 분석하는 고성능 미세먼지 IoT 측정 시스템 개발



헬터 1) 터미널

헬터 2) 백화점

헬터 3) 교차로

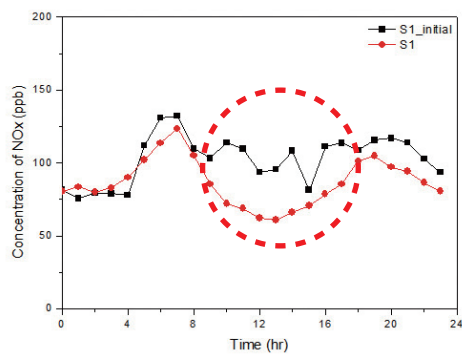
헬터 측정 장비 구성

* ①, ② : 시내버스 정차 및 유동인구 많음/③ : 고속/시외 버스 신호 대기 정차 구역

2 기술수준

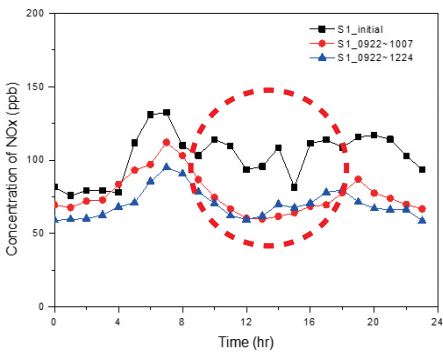
국내 기술을 기반으로 구축된 리빙랩을 통해 다양한 저감 성능을 검증할 수 있었습니다. ‘미세먼지 저감 투수 콘크리트’ 포장재를 통해 질소산화물이 최대 71% 저감되었으며, 질소산화물 저감 촉매 소재 시공 후 3개월 동안 검증한 결과, 지속적인 저감효과도 확인할 수 있었습니다. 공인시험기관의 검증에서도 평균 53%의 질소산화물 저감 결과도 확보하게 되었습니다.

3주간 평균 모니터링 그래프 → max. 64%



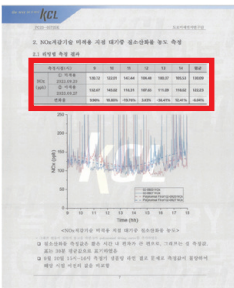
(현장 적용 : 2023.09.20 ~ 2023.10.14)

3개월간 평균 모니터링 그래프 → max. 71%



(현장 적용 : 2023.09.20 ~ 2023.12.24)

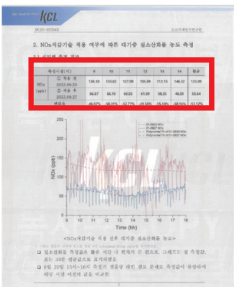
미세먼지(NOx) 저감 투수 콘크리트 포장 기술 적용 전·후의 성능을 검증받은 '공인시험성적서'



2. NOx저감기술 미적용 지점 대기중 질소산화물 농도 측정

2.1 리빙랩 측정 결과

측정시점(시)	9	10	11	12	13	14	평균
NOx (ppb)							
① 미적용 2023.09.20	120.72	122.01	147.44	104.48	180.37	105.53	130.09
② 미적용 2023.09.27	132.67	145.02	118.31	107.65	111.09	118.62	122.23
변화율	9.90%	18.86%	-19.76%	3.03%	-38.41%	12.41%	-6.04%



2.1 리빙랩 측정 결과

측정시점(시)	9	10	11	12	13	14	평균
NOx (ppb)							
① 적용 전 2023.09.20	126.10	133.02	127.09	105.89	112.13	146.32	125.09
② 적용 후 2023.09.27	66.87	66.10	60.03	61.89	50.35	46.59	58.64
변화율	-46.97%	-50.31%	-52.77%	-41.56%	-55.10%	-68.16%	-53.12%

성과창출
과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요?
그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

도로미세먼지연구단은 토목/건축의 설계와 시공, IT 시스템, 대기환경, 건설 소재, 법제도 등 다자간 융합 전문가로 구성된 연구팀입니다. 본 컨소시엄은 실제 현장에 적용했을 때 발생할 수 있는 병목 현상을 사전에 검토하고, 법 제도를 기반으로 기술공학적 개발을 추진하였습니다. 이를 통해 리빙랩 실증화 단계까지 도달할 수 있었습니다. 또한, 충청남도과 천안시 지자체 공무원분들의 적극적인 협력과 정책적 지원이 있었기에 좋은 성과를 거둘 수 있었습니다.

② 장애요인 및 극복방법

우리 정부는 2018년 미세먼지특별법 제정, 2019년 미세먼지의 사회적 재난 규정 등 미세먼지 문제를 국가적으로 대응하기 위한 기반을 마련했습니다. 당시 미세먼지에 대한 사회적 관심이 고조된 상태였고, 시민들의 일상생활에 큰 영향을 끼치게 되었습니다. 이러한 문제를 해결하고자 출범한 연구단은 2년 만에 'COVID-19'와 직면해 공동연구와 각종 대면 미팅의 어려움을 겪기도 했습니다. 하지만 온라인 화상회의 같은 간접적인 커뮤니티 시스템을 적극 활용함으로써 단계적으로 성과를 이룰 수 있었습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

미세먼지 저감 실증연구는 ‘국내·외 미세먼지 저감 기술 및 측정 시스템’ 관련 실증성과 도출이 매우 어려운 분야입니다. 기존 기술은 실험실이나 목업 수준의 밀폐형 공간에서 미세먼지 저감 성능을 확인하고 기초 기술을 확보하고 있습니다. 하지만 본 기술은 대규모 현장 실증 평가를 통해 시공법을 검증하고, 모니터링 시스템과 실시간 미세먼지 저감 성능에 대한 성과를 확보했다는 점에서 기존 기술과 차별화된 장점을 자랑합니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

최근 이상기후로 인한 도로포장 파손과 포트홀이 증가하며 내구 공용성이 개선된 개질 아스팔트 공법 연구에 관심이 커지고 있습니다. 이번 연구를 통해 실증된 ‘배수성 및 제강슬래그 골재 아스콘’은 이러한 흐름에 부합되는 기술입니다. 이에 기술이전 기관과 함께 전국 지자체에 기술을 확대 적용하기 위한 설명회를 진행하고 있습니다.

② 경제/사회적 파급효과

미세먼지는 국외로부터 유입되는 미세먼지와 국내 화력발전소, 자동차 배기가스 등 다양한 발생 요인이 있습니다. 이러한 미세먼지는 어린이, 노약자, 임산부 등의 취약계층은 물론, 도로변을 걸어 다니는 시민들의 건강까지 위협할 수 있습니다. 본 연구에서 개발한 ‘스마트 버스정류장’을 전국으로 확대하고, 자전거도로와 산책로에 미세먼지 저감기술을 적용한다면, 국민이 건강한 일상을 누릴 수 있게 될 것입니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

국토교통부 도로미세먼지연구단의 실증적 성과 및 미세먼지 저감 기술과 공법을 계승하기 위해 설립된 ‘탄소중립도로건설기술연구원’에서 미세먼지 저감 기술 실증화 사업 확대에 노력할 계획입니다. 그리고 국토부와 함께 기후 위기에 대응하는 탄소중립 기술 촉진과 정책적 대응을 위한 친환경 건설 기술을 연구하고자 합니다. 전기차 시대의 미세먼지 대응 기술과 유럽의 배기가스 규제인 EURO 7에 부합하는 기술을 확보하기 위해 ‘AI 기반 도로 인프라’에 대한 연구를 기획하고 있습니다. 2024년 6월에 발족한 ‘미세먼지 및 탄소중립 융합연구센터’에서 지속 가능한 기술 연구와 정책 발굴에 힘쓰겠습니다.

현장 적용사례

도로변 미세먼지 저감 실증 현장



스마트 버스정류장, 그린월, 기능성 아스팔트 콘크리트 포장 등을 적용한 도로변 미세먼지 저감 실증 현장



친환경 광촉매 인도 포장 적용 전후 리빙랩 전경

현장 목소리

2019년 4월, 국토부 도로미세먼지연구단 착수보고회에서 시민들이 일상에서 미세먼지 저감효과를 체감할 수 있는 기술을 개발해 달라는 요청이 있었습니다. 우리 연구단은 과제의 목표 달성을 넘어 실생활에 적용 가능한 실용적인 기술을 개발해야겠다는 목표가 생겼습니다. 연구자들도 이에 동참하며 'One way, One team'으로 최선을 다해 주셨습니다. 그동안 목표로 향하는 길에 동행해 주신 연구자분들과 적극적인 지원과 협력으로 연구에 매진할 수 있게 도와주신 국토부, KAIA 관계자분들께도 감사의 마음 전합니다.



2023년에 진행한 도로미세먼지연구단 최종 성과 보고회 현장



2023 국토교통기술대전 국토부 도로미세먼지연구단 전시를 찾아주시는 많은 방문객

주요 연구개발 성과물

논문

SCI(E) 4건, 일반학술지 4건

지식재산권

특허등록 : 도로 설치용 그린월 미세먼지 저감시스템(10-2262433) 외 4건

사업화 실적

도로미세먼지 저감기술 시범단지 조성사업(매칭펀드 규모 8억 원)

현장시험 및 검증

광촉매 인도포장 Living-lab 현장평가(충남 천안) 1건

포상 및 수상실적

2022년 도로산업 발전 기여 국토교통부장관 표창

05

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작 RSBS 복층 배수성 저소음 포장의 사업화



사업명
국토교통기술사업화지원



과제명
RSBS 개질제를 이용한 복층 저소음 포장
공법의 상용화 기술 개발



연구기간
2017.04. ~ 2020.12.
* 3년 9개월



연구비
2,390백만 원
* 정부출연금 1,130백만 원/민간부담금 1,260백만 원



연구자
김병채 | (주)포이닉스 대표이사

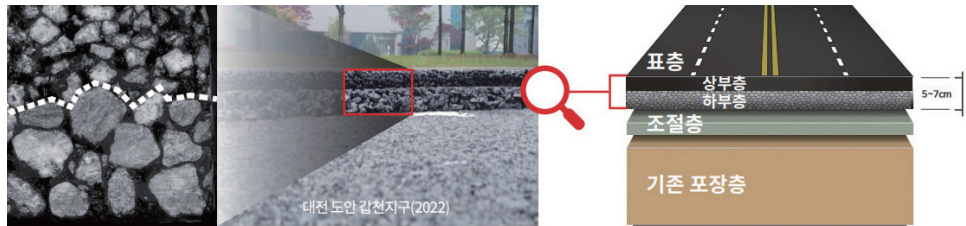
연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

국내 배수성 포장은 1990년대 중반에 도입되어 2000년 초반까지 보급이 확대되었습니다. 그러나 내구성 저하와 공극 막힘 문제로 인해 2009년 이후 사용이 감소했습니다. 공극이란 작은 구멍이나 빈틈을 의미하며, 배수성 포장에서 빗물은 공극으로 스며들어 표층 아래의 불투수면을 따라 측구로 흘러 배수됩니다.

하지만 기후변화로 인한 강우량 증가와 교통량 증가, 도로 소음 문제로 배수성 및 저소음 포장의 필요성이 커지고 있습니다. 이에 따라 기존 기술의 문제점을 해결하기 위해 연구를 시작했습니다. 특히 도로 표면의 공극 크기를 이물질보다 작게 만들어 공극 막힘 문제를 해결하고, 하층에는 굵은 골재를 사용하여 내구성을 확보하는 방법을 모색했습니다. 이 방법은 일본과 유럽에서 사용 중인 복층 포장에서 그 가능성을 확인할 수 있었습니다. 배수 성능 뿐 아니라 소음 저감 성능도 우수한 복층포장이 국내 도로의 공극 막힘과 도로 소음 문제를 동시에 해결할 수 있을 것으로 보입니다.

RSBS 복층 배수성 저소음 포장의 복층 단면



* 아스팔트콘크리트 포장은 도로의 표층 5~7cm에 적용하는데 연구진이 연구 개발한 복층 포장은 표층의 상부에는 작은 골재 혼합물, 하부에는 굵은 골재 혼합물을 동시에 포설, 다짐하여 시공

연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

RSBS 복층 배수성 저소음 포장의 바인더 등급을 향상시켜 내구성과 소음 저감 성능을 개선하고, 공극 막힘 없이 장기적으로 성능과 기능을 유지하여 안전하고 쾌적한 도로 환경 구현 및 배수성 포장 활성화에 기여하는 것입니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

RSBS 복층 배수성 저소음 포장은 아스팔트콘크리트 포장을 할 때 사용하는 공법입니다. 이 방법은 표면을 두 겹으로 만드는 것으로, 상부층은 8mm 크기의 골재 혼합물을, 하부층은 13mm 크기의 골재혼합물을 동시에 깔고 다져서 복층 구조를 형성합니다.

핵심 기술은 아스팔트의 성능을 향상시키기 위한 개질제¹⁾ 사용에 있습니다. 이번 기술에서는 기존 선형 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene)가 아닌 방사형 SBS를 국내 최초로 적용했습니다. SBS는 Styrene과 Butadiene으로 만들어진 열가소성 탄소체로, 플라스틱과 고무의 성질을 동시에 가집니다. 실험을 통해 방사형 SBS가 선형 SBS보다 더 적은 양으로도 아스팔트 바인더의 점도와 탄력성을 향상시키는 것을 확인했습니다. 이를 바탕으로 개발한 RSBS 개질제는 고온 특성과 탄성회복력은 물론 인장강도 등 기계적 물성과 결합력이 우수했습니다. 결과적으로 높은 공극률에서도 품질 기준을 만족하며 복층 구조를 실현한 'RSBS 복층 배수성 저소음 포장' 기술을 구현할 수 있었습니다. 이 기술은 공극률²⁾ 22%(간이법 측정 기준) 이상을 확보하여 배수는 잘 되고, 도로교통소음은 기존 포장에 비해 9dB 이상 낮춰 배수 성능과 소음 저감 효과를 동시에 향상시키는 방법이라고 할 수 있습니다.

1) 개질제: 혼합물의 주요 물성을 개선하기 위해 첨가하는 물질(SBS, LDPE, 고무 등)

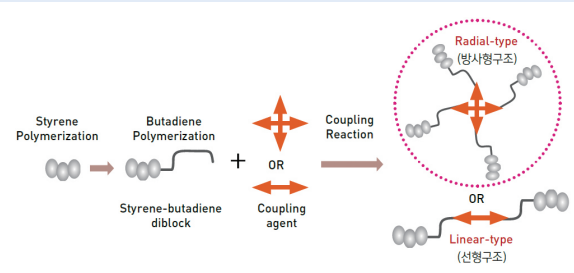
2) 공극률: 아스팔트콘크리트 포장 내부의 틈, 공극의 비율. 품질기준은 밀입도 아스팔트 포장의 경우 3~7%, 배수성포장의 경우에는 16%(진공법 측정시) 이상으로 규정한다.

개발한 기술은 기존 배수성 저소음 포장에 포장에 가진 문제들을 해결했습니다. 예를 들어, 개질제가 아스팔트에 고르게 녹지 않아 발생하는 낮은 용해성 문제와 공극이 막혀 기능을 잃는 문제를 해결했습니다. 또한, 내구성도 높였습니다. 이 기술은 배수 성능과 소음 저감 성능도 더 오래 유지되도록 향상되었습니다. 배수능력이 향상되어 빗길에서의 미끄러짐과 도로 결빙으로 인한 교통사고를 줄이며, 야간의 빗길 난반사를 억제해 운전자의 안전을 높일 수 있습니다. 또한, 저온 성능을 개선하여 도로 결빙 지역에서도 효과적으로 적용할 수 있습니다.

SBS개질제



SBS(Styrene-butadiene-Styrene)의 구조도



* 방사형 SBS는 분자량이 20만~35만으로 선형 SBS에 비해 높고 분자의 결합이 방사형으로 이루어져 더 적은 양으로 연속되는 중합체 네트워크를 형성하여 아스팔트 바인더의 점도와 탄성적 거동을 향상

2 기술수준

배수성 저소음 포장은 이미 여러 국내 업체에서 생산하고 있으며, PG82-34 이상의 고등급 바인더를 생산할 수 있는 업체들도 늘어나고 있습니다. 하지만 복층 포장 기술에 있어서는 우리 연구진이 선두입니다. 현재 우리 기술은 네덜란드나 일본 같은 세계 최상위 기술 수준과 비교해도 뒤처지지 않는다고 생각합니다. 우리 연구진은 복층 포장을 위해 해외에서 사용되는 골재 입도를 국내 상황에 맞게 개발했습니다. 골재 입도란 아스팔트와 골재를 섞어 도로를 만들 때, 골재 입자의 크기별 혼합 정도를 뜻합니다. 또한 RSBS 개질제를 개발하여 복층 구조를 실현시켰으며, 개질제와 바인더, 골재의 혼합 비율 등을 연구하여 'RSBS 복층 배수성 저소음 포장' 기술을 완성했습니다.

성과창출
과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요?
그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

1 성공요인

2000년대 들어 배수성 포장에 여러 가지 문제가 생기면서 배수성 포장에 시장에서의 점차 사라졌습니다. 하지만 우리 연구진은 배수성 포장과 저소음 포장의 필요성이 점차 커질 것이라고 예측하고 제품 개발을 진행했습니다. 실제로 교통량 증가, 주거지와 가까운 도로, 그리고 강우량 증가 등 여러 가지 요인으로 저소음 포장과 배수성 포장의 필요성이 높아졌습니다. 이에 따라 2020년에는 국토교통부에서 배수성 포장

활성화 방안을 발표했습니다. 기술 개발 당시에는 시장성이 불투명했지만, 당사의 미래 시장 예측과 연구 개발 기획이 잘 맞아떨어진 결과라고 생각합니다.

2 장애요인

현재는 아스팔트 포장에 5mm 크기의 골재도 사용하지만, 기술 개발 당시에는 주로 13mm와 20mm 크기의 골재가 사용되었습니다. 기술 개발에는 8mm 골재가 반드시 필요했지만, 이 크기의 골재는 주 생산품이 아니어서 공급이 어려웠습니다. 또한, 기존 배수성 포장의 공극막힘 문제로 인해 도로 포장 전문가들 사이에서는 부정적인 인식이 있었습니다. 이런 상황에서 국내 첫 도입되는 복층 포장이 공극막힘 없이 배수 성능이 우수하며 소음까지 획기적으로 줄일 수 있다는 점을 인정받기 어려웠습니다.

3 극복방법

8mm 크기의 골재를 확보하기 위해 별도 생산 요청을 통해 고정 수급처를 마련했습니다. 또한, 환경부 신기술 인증을 받기 위해 노력했습니다. 인증을 받은 후 3년 정도 지난 뒤에는 기 시공된 현장에 발주처와 도로 전문가들을 초청하여, 실제 사용 중인 도로의 품질을 육안으로 확인하고 소음 측정을 통해 소음 저감 성능을 확인할 수 있는 자리를 마련했습니다. 이러한 노력들을 통해 복층 포장에 대한 신뢰를 쌓아갈 수 있었습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

기존 배수성 저소음 포장은 사용 기간에 따라 공극이 막히면서 배수 기능과 소음 저감 기능이 상실됩니다. 반면, 본 연구진이 개발한 RSBS 복층 배수성 저소음 포장은 복층 구조로 설계되어 상부층의 작은 공극이 필터 역할을 하여 이물질로 인한 공극 막힘이 미미합니다. 또한, 공극에 이물질이 끼이더라도 차량 통행 시 타이어 접지 압력에 의해 이물질이 하부층으로 배출되며, 공극 막힘 없이 기능을 오랜 시간 유지할 수 있습니다.

PGB-22 바인더를 사용하여 플랜트믹스 타입(Plant-mix type)으로 생산하던 방식을 R&D를 통해 프리믹스 타입(Pre-mix type)으로 개선³⁾ 하였고, 이를 통해 PG82-34 바인더를 개발하여 아스팔트의 저온 성능을 향상시켰습니다. PG는 아스팔트의 성능을 구분하는 등급으로, 앞의 숫자는 고온 성능, 뒤의 숫자는 저온 성능을 의미하며 숫자가 높을수록 고등급 제품입니다.

본 포장은 140개소 이상의 현장에 적용되었으며, 시공 현장의 정기적인 노면 상태 및 소음 저감 성능을 검증한 결과, 포장 상태와 배수 성능, 소음 저감 성능이 장기적으로 지속됨을 확인하였습니다.

3) 아스팔트 콘크리트 혼합물의 생산은 플랜트믹스 타입(Plant-mix type, 건식)과 프리믹스 타입(Pre-mix type, 습식)으로 구분된다. 건식생산은 아스팔트 플랜트(아스팔트콘크리트혼합물 생산공장)에서 골재, 개질제 등 첨가제, 아스팔트를 혼합하여 아스팔트콘크리트혼합물을 생산하는 방식이고 습식생산은 아스팔트와 개질제 등을 사전에 혼합하여 바인더의 성능을 향상한 뒤 아스팔트플랜트에서는 골재와 사전에 성능 향상한 바인더를 혼합하여 아스팔트콘크리트혼합물을 생산하는 방식이다. 건식의 경우 개질제가 아스팔트에 녹는 것에 대한 평가인 용해성이 바인더의 등급이 높을수록 문제가 되는 경향이 있다.

기존의 아스팔트 콘크리트 포장은 현장과 인접한 플랜트에서 혼합물을 생산하고 외부 시공업체에서 외주 장비를 사용하여 시공하는 방식이었습니다. 반면, 본 연구의 성과는 원천 기술을 보유하고 개질제와 개질 아스팔트 바인더 등을 직접 생산하여 품질을 관리합니다. 혼합물 생산 시에도 플랜트에 전문 인력을 상주시켜 품질을 관리하고, 복층 포설 전용 장비를 사용하여 숙련된 직원이 직접 시공하여 제품의 품질 및 성능을 보증합니다.

배수성 포장의 노면상태



이물질로 인해 배수성 포장의 공극이 막힌 기존 상태

RSBS 복층 배수성 저소음 포장 기술로 시공되어 공극 막힘 없이 노면상태가 잘 유지되는 상태 (남해고속도로 현장)

연구성과의
파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문 파급효과

연구과제의 최종 성과물인 'RSBS 복층 배수성 저소음 포장'은 혁신제품 제 2021-464호 및 건설신기술 제947호로 지정받아 사업 활성화를 위한 기반을 마련했습니다. 또한, 복층 포장의 개발 및 사업화를 통해 작은 크기의 골재를 아스팔트 포장에 사용할 수 있는 기반을 마련했습니다. (8mm 골재에 대한 품질 기준 정립) 결과적으로 복층 포장 기술의 발전으로 도로의 표층을 복층으로 시공하는 것뿐만 아니라, 표층 아래의 층과 표층을 복층으로 한 번에 시공하여 공사 기간을 단축할 수 있게 되었습니다.

② 경제/사회적 파급효과

RSBS 복층 배수성 저소음 포장은 뛰어난 배수 성능으로 자동차 주행 시 물보라가 생기지 않고, 타이어와 노면 사이의 수막 현상이 방지되며, 야간 우천 시 난반사를 억제합니다. 동절기에는 블랙아이스 발생도 줄여줍니다. 이로 인해 빗길 교통사고가 80% 이상 감소할 것으로 보이며, 일본 논문에서는 85% 이상 감소한다고 명시되어 있습니다. 결국 매년 300명 이상 발생하는 빗길 교통사고로 인한 인명 피해와 관련 비용이 줄어든 것입니다.

또한, 개발한 성과는 일반 도로 포장 대비 9dB 이상의 소음을 낮출 수 있는 기술입니다. 타이어와 노면 사이의 마찰음이 줄어 운전자의 피로를 덜어줄 뿐 아니라, 도로변 주민의 소음 피해를 감소시켜 국민 삶의 질을 향상시킬 것입니다. 현재 도로 교통 소음 저감을 위해 일률적으로 시공되고 있는 방음벽과 방음 터널을 대체하거나 그 높이를 낮출 수 있어 도시 미관을 개선하고, 방음벽 대비 단가가 낮아 경제적 효과도 큼니다. 특히 방음벽의 소음 방지 효과를 볼 수 없는 고층부 주민에게도 소음 저감 혜택이 돌아갈 것입니다. 이 기술은 기존 도로 포장보다 내구성이 향상되어 도로 유지 관리 비용을 절감할 수 있습니다. 2014년~2017년에 시공된 10개 현장에서의 노면 상태 조사(SPI, HPCI) 및 소음 측정 결과, 배수 기능, 소음 저감 기능, 내구성 등이 잘 유지되고 있음을 확인했습니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

골재에 대한 보다 깊이 있는 연구가 필요합니다. 골재의 크기별, 입형별, 입도별로 세밀한 연구가 진행되고, 포장별 또는 현장별로 적용해야 하는 골재 특성에 대한 분류가 이루어진다면 포장의 품질과 도로의 안전성이 더욱 향상될 것으로 기대됩니다.

현장 적용사례

RSBS 복층 배수성 저소음 포장 설치 현장



방음벽 높이 14m 설치 계획(가상)



신기술 적용(방음벽 미설치)

- * (좌) 복층포장과 동일한 소음 저감효과를 얻기 위해 필요한 14m 방음벽 설치 시뮬레이션
(우) 복층포장을 적용하여 도시미관을 해치지 않으면서 소음 저감 효과를 누리고 있는 현장 모습

RSBS 복층 배수성 저소음 포장¹⁾이 설치된 다양한 현장(현장 전경)

남해고속도로



공용기간 1개월 이내



공용기간 7년 2개월

남양주 별내지구



공용기간 1개월 이내



공용기간 5년 8개월

부산 좌동 지하차도



공용기간 1개월 이내



공용기간 7년 1개월

* 현재 RSBS 복층 배수성 저소음 포장¹⁾은 7년째 공용 중인 남해고속도로, 부산좌동 지하차도 등을 포함해 140개소 이상 현장 적용. 최근에는 성수동트리마제, 불암산 인근 도로 등에서 주민 요구에 따라 풍광을 해치는 방음벽 대신 복층포장이 적용

현장 목소리

아직까지 복층 배수성 저소음 포장의 수요와 공급은 일반적인 배수성 저소음 포장에 비해 확대되지 않아 단가가 높을 수밖에 없습니다. 앞으로 복층 배수성 저소음 포장이 더 활성화되어 도로 소음으로 고통받는 분들에게 도움이 되기를 바랍니다. 또한 빗길 미끄러짐 사고와 겨울철 블랙아이스 미끄러짐 사고를 예방하여 국민의 생명을 지키는 기술의 보급에 앞장서겠습니다.



연구책임자 포이닉스 김병채 대표이사과 시공책임자 현규환 전무



* RSBS 복층저소음 포장 시공 현장인 남양주 별내지구에서 포이닉스 김병채 대표이사(좌)와 시공책임자 현규환 전무(우)가 발주처 담당자들에게 복층포설전용장비를 소개하는 모습

주요 연구개발 성과물

지식재산권

- 특허등록 : 재생 개질 첨가제 및 이를 포함하는 재생 개질아스팔트 조성물(10-2000645) 외 3건
- 소프트웨어 : 혼합물 배합설계 v1.1(C-2019-032728) 외 1건

사업화 실적

RSBS 복층 배수성저소음 포장 혼합물 판매(부천옥길 공공주택지구 관리 공사) 외 13건(총 매출액 84.3억 원)

신기술지정

건설신기술 제947호(아스팔트콘크리트 포장의 표층을 복층구조로 시공하는 저소음 포장 공법) 지정(22)

06

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작 차별화된 디자인의 비정형 건축 외장 패널 설계·생산·시공 통합플랫폼 개발



사업명

국토교통기술사업화
지원사업



과제명

형태의 한계를 극복한 3D 프린팅 몰드와 두께
10mm 혁신적 UHPC를 이용한 비정형 프리폼
건축물 외장패널 설계·생산·시공 통합플랫폼 개발



연구기간

2021.04. ~ 2023.12.

* 2년 9개월



연구비

총 273백만 원

* 정부출연금 273백만 원



연구자

이기학 | 세종대학교 건축공학과 교수

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

비정형 건축은 기존의 직선 위주 건물 디자인에서 벗어나, 보다 자유로운 형태와 디자인을 적용하는 건축 양식입니다. 전 세계 건축 시장에서 비정형 건축은 단순한 건축물을 넘어서, 기술과 예술을 결합한 새로운 표현 방식으로 자리잡으며 주목받고 있습니다. 독특한 디자인을 통해 건물의 가치를 높이고 임대 수익을 증대시킬 수 있어, 국내에서도 이러한 건축 양식을 도입하는 사례가 점점 늘고 있습니다.

비정형 건축은 기존 건축보다 훨씬 정교하고 복잡한 설계 및 시공 기술을 요구합니다. 설계 기술의 경우, 자유로운 형태를 정확하게 모델링하고 구조를 해석할 수 있는 첨단 소프트웨어 덕분에 빠르게 발전하고 있습니다. 하지만 비정형 건축을 실제로 구현하기 위해서는 건물의 외피를 구성하는 외장 패널을 제작하고 시공하는 부재 생산 기술이 필수적인데, 이 부분에서는 아직 기술적 한계가 존재합니다. 이 때문에 전 세계 건축 기업들은 막대한 자본을 투자해 기술 개발에 매진하고 있습니다.

비정형 건축에서 외장 패널은 건물의 디자인, 기능, 안전성, 유지관리에 매우 중요한 요소입니다. 패널은 곡면은 물론 비대칭적이고 불규칙한 형태를 구현해야 하며, 동시에 단열, 방수, 내구성 등 건축물의 기본적인 기능도 충족해야 합니다. 따라서 유리, 금속, 콘크리트 등 다양한 소재를 활용한 패널 기술이 연구되고 있지만, 높은 비용과 시공의 어려움 등으로 인해 상용화에 어려움을 겪고 있습니다.

본 연구진은 이러한 문제를 해결하기 위해 비정형 건축에서 중요한 외장 패널 기술을 혁신하고자 연구개발을 시작했습니다. 몰드 제작에 3D 프린팅 기술을 도입하고, 초고성능 콘크리트(UHPC)를 소재로 한 패널 기술을 개발함으로써 이 문제를 해결하려 하고 있습니다.

* UHPC : Ultra High Performance Concrete, 일반 콘크리트보다 훨씬 뛰어난 성능을 가진 특수 콘크리트

비정형 프리폼 건축물 외장패널 설계·생산·시공 통합플랫폼



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

형태의 한계를 극복하기 위해 3D 프린팅 몰드와 UHPC를 이용한 비정형 프리폼 건축물 외장 패널의 설계, 생산, 시공을 통합적으로 지원하는 플랫폼 개발을 연구 개발 목표로 설정했습니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

본 연구팀은 2년 9개월 동안 3D 프린팅 몰드와 UHPC(Ultra High Performance Concrete, 초고성능 콘크리트) 외장 패널 기술에 대해 연구를 진행했고, 다음과 같은 성과를 얻었습니다. 1차년도에는 UHPC 패널 제작과 3D 프린팅 사례를 통해 국내 기술 수준을 파악하고, 3D 프린팅 몰드의 종류에 따라 UHPC의 기본 배합과 최적 섬유를 선정했습니다. 또한, 유한요소 해석을 통해 3D 프린팅 샌드 몰드의 최적 두께와 형상비에 대한 데이터베이스(DB)를 구축했으며, 샌드 몰드의 압축, 인장, 휨 실험을 통해 시험 성적서를 확보했습니다. 이를 통해 몰드 제조 공정을 단순화하여 공사비를 획기적으로 저감할 수 있는 기술과 DB를 개발했습니다.

2차년도에는 비정형 UHPC 패널의 하지 시스템 간 연결을 위한 접합부 상세와 앵커 개발 연구를 수행했습니다. 유한요소 해석을 통해 인양과 설치를 고려한 3차원 UHPC 외장 패널의 최적 모듈 모델을 개발했으며, UHPC 외장 패널의 일체화를 위한 접합부 유한요소 해석 모델도 개발했습니다. 해석 모델 변수에 따른 UHPC 외장 패널의 구조 안정성을 검토하여, UHPC 패널의 접합부 상세와 앵커 개발에 대한 유한요소 해석 모델 및 DB를 구축했습니다. 이로 인해 UHPC 외장 패널을 보다 안전하고 효율적으로 설계할 수 있는 기반을 마련했습니다.

3차년도에는 개발된 접합부 상세의 성능을 검토하기 위해 풍하중과 지진하중 실험을 진행했습니다. UHPC 외장 패널의 거동을 예측할 수 있는 해석 모델을 개발하였고, 탄성 설계를 통해 풍하중에 대한 변위 및 변위 요구량을 예측했습니다. 지진하중 발생에 따른 접합부 손상 및 최대 변위를 확인하였으며, 이를 통해 UHPC 외장 패널과 개발된 접합부 상세의 일체성을 검증했습니다. 유한요소 해석 모델 개발 및 구조 실험을 통한 성능 입증 보고서를 작성하여 건축 구조 기준 적합성 인증을 확보했습니다.

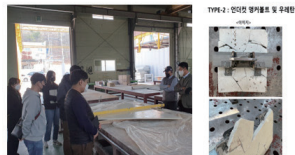
이 연구를 통해 3차원 UHPC 외장 패널의 자동화 알고리즘 개발 및 설계 표준화를 구축했으며, 최근 2년간 2개의 비정형 건축물 현장에 적용하여 상용화에 성공했습니다.

- * 3D 프린팅 : 3차원 모델 데이터를 기반으로 재료를 층층이 쌓아 올려 원하는 형태의 물체를 만드는 기술
- * 몰드 : 제조 또는 생산 공정을 위한 맞춤형 틀, 제품의 형태를 만들기 위한 틀

성과 관련 연구 도출 과정

몰드 종류별 제작 방법 연구 및 개발 - 패널 형상 특성별 모드 제작 기술연구 - UHPC 패널 텍스처 표현을 위한 몰드 표면처리 연구	UHPC 외장 패널시스템 시제품 제작 - 사입화를 위한 비정형 UHPC패널의 접합부를 포함한 몰드 제조기술 개발 - UHPC 패널의 내진성능 확보를 위한 접합부 상세 연구	UHPC 패널 비정형 파사드 현장 실증 - 사업화: 부산오페라하우스 현장 실증 - 사업화: 성수동 아이아이컴바인드 신사옥 현장 실증
UHPC 몰드 제작에 대한 최적 성능설계 3D 프린팅 몰드 제작에 대한 FEM해석 모델 개발 - 설계 및 시공과정을 고려한 외장 패널의 최적 모듈에 대한 FEM해석 모델 개발	UHPC 외장 패널시스템 시제품 제작 - 앵커 보강 접합방식에 대한 구조 성능 검토 - 개발한 설계 바탕의 시제품 등롱	실험 실험 및 해석을 통한 설계 매뉴얼 작성 - 최적의 형상비 설계를 통한 구조적 성능 검토 및 매뉴얼 작성 - 수평하중에 대한 형상비, 변형률수 능력에 따른 모듈 개발 및 성능 검증
비정형 파사드 UHPC패널 시스템 개발 - 유형별 UHPC패널의 지점 상세 개발 - 비정형 파사드 유형별 UHPC패널의 브라켓 상세 개발	UHPC패널 시스템 구조 안전성 검토 - UHPC패널 시스템 구조 안전성 검토 - UHPC패널 자동화 설계 알고리즘 개발	비정형 파사드 패널 설계 자동화 - 비정형 파사드 패널의 자동화 설계 자동화 알고리즘 개발 - 사업화를 위한 비정형 파사드 패널의 설계 표준화

STEP 1 : 기반 기술

STEP 2 : 사업화 초기

STEP 3 : 사업화 실증

48

② 기술수준

비정형 프리폼 건축물의 공공 및 민간 기관 발주가 크게 증가함에 따라 외국 설계 업체들과의 경쟁에서 우위를 점하고 외장 패널 설계 및 시공 기술의 자립화를 확보할 수 있습니다. 바인더 젯 3D 프린팅 기술을 통해 고강도와 고효율의 UHPC 마감재를 상용화하면 기존 콘크리트를 대체할 수 있으며, 이로 인해 온실가스 배출량도 감소시킬 수 있습니다.

관련 프로젝트 현장 실증



성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요?

그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

본 연구진은 선진 기술을 보유한 기관과 현장을 방문하여 기술적 완성도를 높였으며, 분기별 워크숍과 수시 진도 회의를 주최하며 주관연구기관과 공동연구기관 간의 긴밀한 협업 환경을 조성했습니다. 또한, 세밀하게 성과를 관리하고 일정을 꼼꼼히 확인하여 스케줄에 착오가 생기지 않도록 했으며, 매달 월간 회의록을 공유하여 연구 진행의 효율성을 높이기 위해 노력했습니다.

② 장애요인과 극복방법

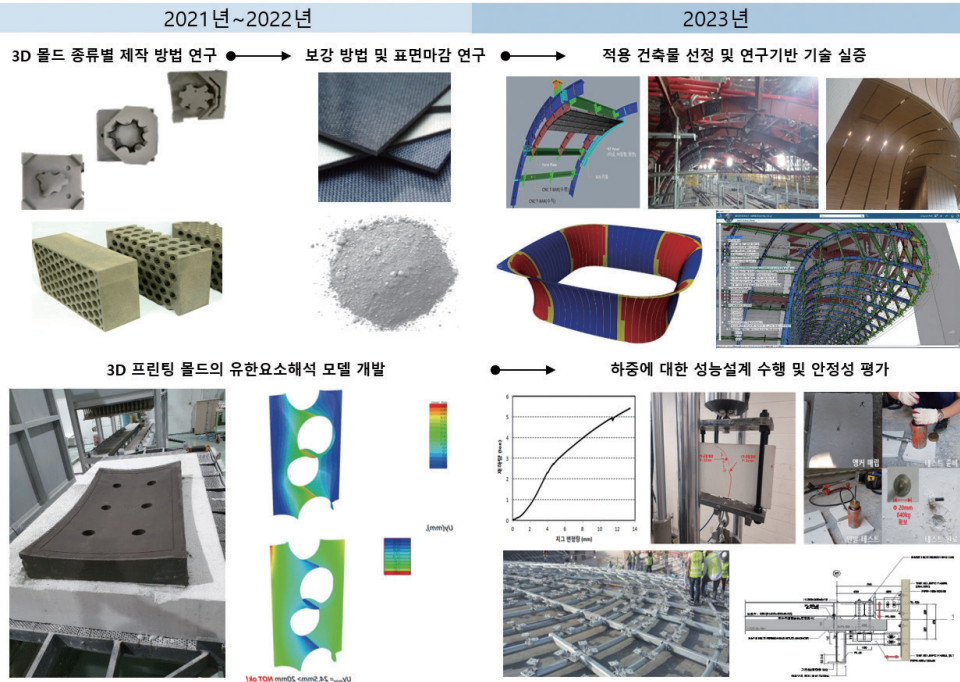
연구진은 2년 9개월이라는 짧은 기간 동안 목표한 성과를 달성하기 위해 숨 가쁘게 달려왔습니다. 연구개발뿐만 아니라 다양한 현장 요건을 반영하기 위해 수차례 회의와 현장 점검을 병행했기에 그 시간은 더욱 짧게 느껴졌습니다. 특히 목업 제작과 실증프로젝트 적용 과정에서 공사비 증가와 공기 지연이라는 예상치 못한 난관에 직면했습니다. 연구진은 주관연구기관 및 공동연구기관과의 긴밀한 협력을 통해 신속하게 의사 결정을 하고, 연구 일정을 조정하며 어려움을 극복해 나갔습니다.

연구성과의
차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

본 연구를 통해 개발한 비정형 UHPC 패널 기술은 기존 기술과 차별화된 장점을 자랑합니다. 3D 프린팅 기술을 활용하여 복잡한 형상의 몰드를 제작할 수 있으며, 다양한 비정형 패널을 정밀하게 생산할 수 있습니다. 부재들이 만나는 연결 부위를 스마트 노드 설계를 통해 정교하고 복잡한 형태로 구현함으로써 보다 자유로운 디자인을 구현할 수 있습니다. 몰드 제작과 패널 생산에 드는 비용 측면에서도 경제성이 뛰어나며, 현장에서 조립을 간소화하여 시공 기간을 단축하고 공사비를 절감할 수 있습니다. 고강도, 고인성의 UHPC를 사용해 패널을 얇고 가볍게 만들면서도 강도가 높으며, 다양한 비정형 디자인을 구현할 수 있습니다. 이와 함께 건축물의 내구성과 품질이 향상되며, 기존 유리 커튼월에 비해 단열 성능이 뛰어나 에너지 손실을 줄여줍니다.

비정형 UHPC 패널 기술 개발 및 실증 과정



연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

3D 프린팅 몰드를 활용한 UHPC 내·외장재 기술은 비정형 건축물과 모듈러 건축물의 설계 자유도를 크게 높여 설계자의 의도를 정확하게 구현할 수 있게 합니다. 또한 이 기술은 기존 방식에 비해 우수한 마감 품질과 시공성, 경제성을 제공하므로 시장의 활성화를 주도할 것입니다. 또한, 본 기술을 응용 및 발전시켜 새로운 신기술을 개발한다면 미래 건축 시장에서 기술적 우위를 확보할 수 있을 것입니다.

② 경제/사회적 파급효과

본 기술은 단순히 건축물의 외형을 변화시키는 것을 넘어 경제, 문화, 환경 등 다양한 측면에서 큰 영향을 미칠 수 있습니다.

우선, 몰드 제조 공정을 단순화하고 스마트화함으로써 기존 사업과의 협업을 용이하게 하고, 대량 생산을 통해 비용을 절감하여 공사비를 획기적으로 낮출 수 있습니다. 이는 새로운 시장 창출로 이어지며, 3D 프린팅 및 스마트 건축 기술 등 관련 산업을 포함한 고부가가치 산업의 발전을 촉진할 것입니다.

새로운 건축 디자인은 도시의 랜드마크로 자리잡아 건축 문화의 수준을 업그레이드하고, 도시의 가치를 높이며 미래를 밝히는 역할을 할 것입니다. 또한, 콘크리트 제조 시 발생하는 CO₂ 배출을 저감하고 산업 폐기물을 최소화함으로써 환경에 긍정적인 기여를 할 수 있습니다.

전 세계적으로 비정형 건축 시장이 급성장하고 있으며, 국내에서도 대규모 건축 사업에 도입되는 사례가 증가하고 있습니다. 본 기술은 이러한 흐름에 적합한 솔루션으로, 국내 건설 기업의 시장 경쟁력을 높이는 데도 긍정적인 영향을 미칠 것입니다.

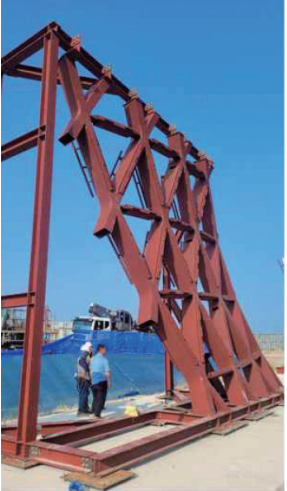
향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

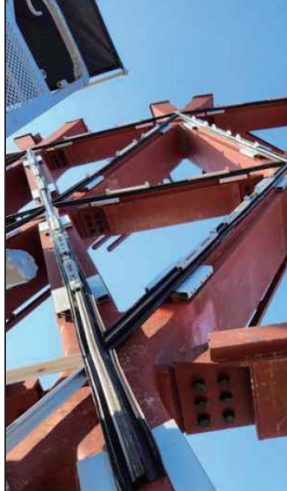
과거에는 비정형 건축이 해외 설계사의 전유물로 여겨졌으나, 최근 국내 건축 시장의 성장이 가속화되면서 설계 기술과 설계사들의 역량이 눈에 띄게 향상되었습니다. 우리 기술은 이러한 성장세를 더욱 강화시켜 국내는 물론 해외 시장에서도 경쟁력을 높이는 데 큰 도움이 될 것입니다. 우리 연구진은 앞으로 확보한 설계 표준화 자료를 바탕으로 UHPC 패널을 활용한 비정형 파사드 설계 기술의 실용화를 적극 추진할 계획입니다. 또한, 불연속 다면체로 구성된 파사드 외에도 곡면형과 대형 패널을 활용한 비정형 외장 패널 설계 기술을 고도화하는 연구를 지속적으로 진행할 것입니다.

현장 적용사례

목업 시스템에 대한 비정형 파사드 공사 과정



스마트노드 대형유닛 설치



EPDM 가스켓 설치



유리&고강도콘크리트 패널 설치

현장 목소리

본 연구로 완성한 비정형 건축 설계, 생산, 시공 기술을 적용한 목업 프로젝트를 통해 건축 기준 적합성 인증을 받았을 때, 연구 성과의 우수성을 확인하며 큰 기쁨을 느꼈습니다. 목표를 달성하기 위해 땀 흘리며 고생했던 시간과 예상치 못한 문제들을 해결하느라 동분서주했던 기억들이 좋은 추억으로 남을 것입니다. 우리가 가야 할 길은 아직 많이 남아 있지만, 앞으로도 지속적인 연구 개발을 통해 국내 제조업과 건설 시장의 경쟁력을 강화하고, 안전하고 지속 가능한 건축 환경을 조성하는 데 기여하고자 합니다.



주요 연구개발 성과물

논문

SCI(E) 2건, 일반학술지 2건

지식재산권

- 특허출원 : 켜기형 회전접합부 및 이를 이용한 PC벽체와 PC벽체 시공방법(10-2021-1056894) 외 1건
- 특허등록 : 기존 설치된 외장 패널의 앵커 인발강도 보강 방법(10-2654277) 1건

현장시험 및 검증

3D프린팅을 활용한 Sand 출력물의 역학적 성능 시험 1건

07

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작 차세대 휴대수하물 보안검색 기술 개발 및 유럽 ECAC 인증 획득 성공



사업명
항공안전기술개발사업



과제명
차세대 여객 휴대수하물 보안검색 기술개발



연구기간
2018.12. ~ 2024.02.
* 5년 2개월



연구비
총 780백만 원
* 정부출연금 560백만 원/민간부담금 220백만 원



연구자
최광윤 | ㈜에스에스티랩 대표이사

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

COVID-19 팬데믹 이후 전 세계 항공 수요가 급증하면서 공항은 승객과 화물을 효율적으로 처리하는 과제에 직면했습니다. 이에 따라 많은 공항이 IT 기술, 인공지능(AI), 생체인식 기술을 도입하여 공항 운영의 효율성을 극대화하고 승객 편의를 높이기 위해 스마트 공항으로 전환하고 있습니다. 보안 분야에서는 보안 검색에 대한 거부감을 줄이면서 수하물 검색 속도와 처리 효율성을 높이기 위해 CT급 보안검색장비를 도입하고 있습니다.

CT급 보안검색장비는 폭발물, 위해 물품, 불법 밀수품을 정밀하게 탐지할 수 있습니다. 이 장비는 승객이 보안검색대를 통과할 때 액체류나 전자제품을 수하물에서 꺼내지 않고도 검사가 가능하게 하여 대기 시간과 트레이 사용량을 줄여줍니다. 또한, 빠른 이송 벨트와 고품질 3D 이미지 처리 기술을 통해 신속하고 정확한 검사를 수행하며, 오경보율을 크게 낮춰 승객의 불편을 최소화합니다. 이 기술은 COVID-19 팬데믹 이후 미국, 네덜란드, 영국 등 선진 공항에서 운영되어 성능이 검증되었으며, 유럽 13개국에서도 시범 운영되고 있을 정도로 전 세계적으로 확산되고 있습니다.

국토교통부는 외산 보안 장비의 폐쇄성과 과도한 비용 부담 문제를 해결하기 위해 국가적 로드맵을 수립하고 기술 국산화를 추진해 왔습니다. 특히 도심 항공 모빌리티(UAM) 시장에서 핵심 기술을 선점하고 기술 격차를 해소하기 위해 중장기 연구 개발 계획을 수립하고 적극적인 투자를 진행하고 있습니다. 정부는 단계적으로 고부가 핵심 기술 개발을 추진해 왔으며, 그 결과 최고 수준의 검색 성능을 요구하는

휴대 수하물 보안 검색 기술을 국내에서 개발하고 국제 인증(EU/ECAC EDSCB C3 인증)을 획득하여 상용화 가능성을 입증하였습니다.

과제 연구를 통해 개발한 Stationary CT 휴대수하물 보안검색장비



E3S 690
EXPLOSIVE DETECTION SYSTEM 3D

Stationary Sparse 9-View 3D X-ray Scanning System

E3S is an 3D x-ray security screening equipment with 'stationary sparse 9-view' application. By placing stationary nine x-rays in a circle, E3S is possible to scan faster than rotational CT. User can view 2D images and 3D reconstructed images simultaneously. The 3D image reconstruction method using multi-scale neural network is introduced and almost same image quality as the rotating CT. Dual energy is used to detect explosives and liquid explosives. E3S has a broad tunnel size for mail and airport cabin baggage inspection with border security such as train station and ports.

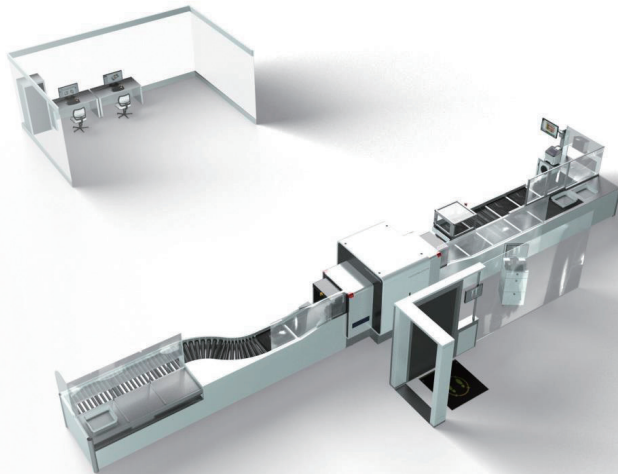
- High-end 3D Explosive Detection System
- 2D view & 3D image reconstruction
- ECAS (Enhanced Computed Aided Scanning)
- TIP (Threat Image Projection)
- Supports various interaction modules
- Tray Auto Feeder / Barcodes Reader Interoperate
- Using AI with improve image quality and automatically track dangerous things.
- The AI recognizes the learned dangerous goods and alerts the user to the danger.
- Anticipate what is recognized and show it to the user with an appropriate image filter.

연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

항공 보안 장비는 ECAC나 TSA와 같은 해외 공인 인증을 반드시 획득해야만 사용할 수 있습니다. 이에 따라, 우리 연구 개발의 주요 목표는 이러한 국제 인증을 확보하여 항공 보안 장비의 국산화를 추진하는 것입니다.

차세대 휴대수하물 보안검색대 적용 레이아웃



성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

전 세계 공항에서는 항공 수요 급증에 따라 더 빠르고 정확한 보안 검색 시스템이 요구되고 있습니다. 항공 보안 검색 장비는 법제상 8가지 주요 제품군으로 나뉘며, 그중 X-선을 이용한 보안 검색 장비가 가장 큰 비중을 차지합니다. 기존의 2D 기반 X-선 보안 검색 장비는 의료용 CT 기술에 의존해왔으나, 내구성 문제와 높은 유지보수 비용 등으로 인해 항공 보안 분야에는 한계가 있었습니다.

이에 연구진은 3D 기반 혁신적인 보안 검색 기술을 개발하였습니다. 특히, 고정식 CT 기술을 도입하여 기존 회전식 CT 기술의 문제를 해결했습니다. 세계 최초로 휴대 수하물 보안 검색용 고정식 CT를 개발하여 시장을 선도할 기반을 마련했습니다. CT 기반 보안 검색 장비는 높은 기술적 난이도와 2017년부터 시행된 까다로운 ECAC/TSA 인증 제도로 인해 진입 장벽이 더욱 높아졌습니다. 현재 미국, 영국, 중국, 한국 등 4개국의 7개 기업만이 인증을 획득하여 시장을 독점하고 있는 상황입니다. 연구진은 기술 국산화에 성공하고 EU/ECAC EDSCB C3 인증을 획득함으로써, 전 세계 공항의 독점적 기술 보유 7대 기업 대열에 합류할 기반을 확보했습니다. 이를 통해 한국을 세계 4대 보안 장비 기술 강국으로 자리매김하게 되었습니다.

② 기술수준

기존 항공 보안 장비는 주로 액체나 고체 폭발물 탐지에 집중해왔지만, 현재는 총기, 칼, 발화 가능성이 있는 리튬이온 배터리 등 다양한 위험 물질까지 탐지할 수 있는 능력이 요구되고 있습니다. 또한, 승객이 의도적으로 부품을 분리하거나 변형해 보안 검색을 회피하려는 시도가 증가함에 따라, 부품 레벨의 위험 물질 탐지가 가능한 고도화된 기술이 필요합니다. EU/ECAC EDSCB C3 인증은 수하물을 열어보지 않고도 다양한 위험 요소를 정확히 탐지할 수 있는 능력을 평가하여 인증을 부여합니다.

우리 연구진의 개발품은 이러한 인증 기준을 충족하며, 경제적인 생산과 유지보수 비용을 자랑합니다. 또한, 고속 자동화 처리와 AI 기반 멀티뷰 기술을 통해 차별화된 경쟁력을 확보했습니다.

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요?

그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

세계 최초로 시도된 휴대수하물 보안검색용 고정식 CT(Stationary CT) 개발은 수많은 기술적 난관을 극복하는 여정이었습니다. 특히, 회소뷰 방식의 CT는 영상 화질 개선을 위한 혁신적인 처리 기술이 필요해 세계적으로도 큰 도전 과제가 되었습니다. 탐지 성능 면에서도 보안상 비공개된 탐지 대상과 성능 기준을 반복적인 재시험을 통해 조금씩 개선해 나가야 했습니다. 당사는 이러한 문제를 해결하기 위해 머신러닝(machine learning) 기법을 적극 활용했고, 이를 통해 세계적으로 인정받을 만한 성과를 이뤄냈습니다. 이 과정이 성공으로 가는 지름길이었다 것 같습니다.

2 장애요인

ECAC 인증은 폐쇄적인 운영 방식으로 인해 인증 절차와 기준, 진행 과정에 대한 정보조차 얻기 어려운 상황입니다. 개발 초기에는 유럽 인증 제도에 대한 이해가 필요했으나, 보안상의 이유로 ECAC 사무국과의 접촉이 거절되기도 했습니다. 이로 인해 ECAC 인증 시험은 끝없는 싸움처럼 느껴졌습니다.

또한 당사가 계획한 고정식 CT는 기구적 정밀도, 품질 보장 기술, 이미지 복구 등 새로운 원천 기술 개발을 요구하는 도전적인 과제였으며, 기술적인 측면에서도 높은 장벽에 직면해야 했습니다.

3 극복방안

시험을 접수하기 위해서는 먼저 제조업체로 등록되어야 했습니다. 이를 위해 국토교통부의 지원을 받아 국가가 보증하는 기업임을 증명한 후, 어렵게 제조업체 등록과 시험 접수를 마칠 수 있었습니다. 이후 인증시험을 진행하는 과정에서 연구진은 COVID-19가 한창이던 2021년, 유럽 시험소 근처의 호텔에 장기 체류하며 현지 시험소 연구진들과 적극적으로 교류했습니다. 이와 함께 ECAC 사무국 및 유럽 인증시험소 연구원들과 신뢰를 쌓는 데 주력했습니다. 이러한 노력을 통해 인증 획득에 필요한 정보를 어렵게나마 간접적으로 확보할 수 있었고, 이를 바탕으로 해외 선진 지식을 보완하여 기존에 해결하지 못했던 인증 절차에 맞는 기술 개발을 이뤄낼 수 있었습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

기존 보안검색 CT는 회전형 메디컬 CT 장비 기술을 그대로 적용하여, 24시간 연속 사용해야 하는 항공 보안 장비에 적합하지 않았습니다. 이러한 구조는 높은 에너지를 사용해 인체보다 높은 투과 성능을 발휘하지만, 피로도가 높다는 단점이 있습니다.

반면, 우리 연구진의 기술은 고속 촬영이 가능한 물리적 구조를 갖추고 있어 저속 휴대 수하물 검색뿐만 아니라 물류 등 고속 검색이 필요한 시장에도 적합합니다. 특히, 다중 시점(Multi View) 구조를 통해 고해상도의 2D 이미지를 활용해 물성 정보를 계산할 수 있어 ECAC의 폭발물 탐지 성능 기준을 통과하는 데 유리합니다. 또한, AI 기반 자동 탐지 기능으로 실시간 전수 검사가 가능하며, 탁월한 안정성과 낮은 제조 원가, 유지보수 비용 덕분에 운영비를 획기적으로 절감할 수 있습니다.

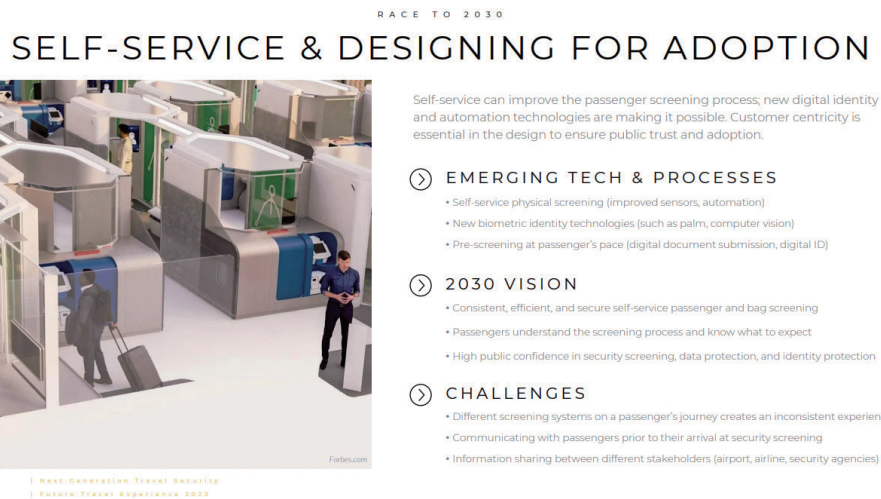
연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

1 기술적 파급효과

최근 항공 수요가 급증하면서 3D CT 보안검색장비로의 전환이 활발해지고 있습니다. 이에 따라 초기 선도업체들은 산업용에 최적화된 고정형 Multi View CT로의 확장 개발에 나서고 있습니다. 세계 최초로 상용화에 성공한 당사의 고정형 CT 기술은 위탁 수하물 및 물류 보안검색을 넘어 산업용 비파괴 검사 분야로도 확장될 것입니다. 또한, 미래 지향적인 보안 시스템 구축에 최적화되어 있어, 급부상하는 도심항공모빌리티(UAM) 시장과 스마트시티 구축 등 무인 자동화 보안 기술이 필요한 분야에서도 큰 파급효과를 발휘할 것입니다.

차세대 보안장비 개념도 - Self service (TSA)



(출처) Next Generation Security (Future travel experience, 2023.9.20)

2 경제/사회적 파급효과

현재 국내 공항에 설치된 엑스레이 검색장비, BLS(액체 위험물 검사 시스템), ETD(폭발물 흔적 탐지 시스템)는 모두 해외 기업에 의존하고 있으며, 이로 인해 과도한 외화 유출 문제가 발생하고 있습니다. 당사는 신기술을 적용한 국산 장비를 개발하고 ECAC 인증을 획득함으로써 이러한 문제를 해결하고자 합니다. 이를 통해 독과점적 선도업체 대열에 합류하고 글로벌 시장에도 진출할 수 있을 것으로 기대합니다.

또한, 시장 경쟁을 통해 항공 보안 검색장비를 보다 합리적인 가격으로 구매할 수 있는 환경이 조성될 것입니다. 국내에서 생산 및 판매가 이루어지면, 해외 장비를 사용할 때보다 빠른 유지보수 대응이 가능하고, 이로 인해 유지보수 비용도 크게 절감할 수 있습니다. 절감된 예산은 다른 설비나 시설에 재투자되어 긍정적인 순환 구조가 형성될 것으로 보입니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

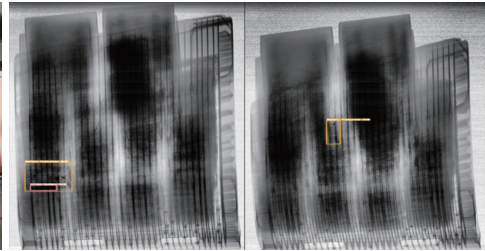
고정형 CT 보안 검색 기술은 일반 수하물 분야를 넘어서, 위탁 화물, 물류 보안 검색, 그리고 산업용 비파괴 검사 등 다양한 분야로 활용 범위를 확장할 수 있는 차세대 보안 솔루션입니다. 특히, AI 기반 이미지 품질 개선 기술은 고정형 CT의 핵심 경쟁력으로 자리잡고 있으며, 이를 통해 자동화된 전수 검사형 3D CT 장비 시장에서 선도적인 역할을 할 수 있도록 지속적으로 연구 개발에 매진할 것입니다.

현장 적용사례

항공보안분야 인천공항 실증운영 사례



물류분야 기존 판독불가 품목에 대한 확대적용 후 보안검색 성공사례



현장 목소리

국내 최초의 차세대 항공 보안 검색 장비를 개발하고 국제 인증을 획득하겠다는 미션을 받았을 때, 많은 어려움이 예상되었습니다. 국내에서는 관련 자료나 선행 연구를 찾기 어려웠고, 유럽 인증을 위한 정보 확보도 쉽지 않았습니다. 또한 유럽, 미국, 중국이 독점하고 있는 보안 검색 장비 시장에 진입하는 것도 큰 도전이었습니다. 그러나 국가의 핵심 분야에 참여한다는 책임감을 가지고 끊임없이 노력한 결과, 세계적 수준의 기술력을 확보하고 국제 인증을 성공적으로 획득할 수 있었습니다. 앞으로도 지속적인 연구 개발을 통해 세계 최고 수준의 보안 기술을 선도하며, 글로벌 시장에서 대한민국의 위상을 높이는 데 기여하고자 합니다.



자체 내구성 시험실(실증동) 구축 운영



개발한 기술을 선보이는 시연회 현장



개발 기술을 홍보하기 위한 박람회 참여



주요 연구개발 성과물

지식재산권

- 특허출원 : 전산단층 촬영장치, 이의 제소 방법 및 구동 방법(PCT/KR2021/013980)(PCT 국제출원)

사업화 실적

- 특송창고 자동분류 시스템 납품(총 매출액 0.65억 원)
- E3S 690(보안검색시스템) 납품(총 계약액 17.5억 원)

현장시험 및 검증

- 유럽 폭발물 탐지성능(ECAC EDSCB C3) 인증 획득 외 3건

08

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작

스마트 소재를 활용한 발광형 차선 및 도로결빙 감지 안전시설 개발



사업명
교통물류연구사업



과제명
외부자극 및 통행차량의 특성을 고려한 도로교통 안전 향상 기술 개발



연구기간
2019.04. ~ 2022.12
* 3년 8개월



연구비
총 2,770백만 원
* 정부출연금 2,770백만 원



연구자
박동협 | 한국건설생활환경시험연구원 센터장

연구배경

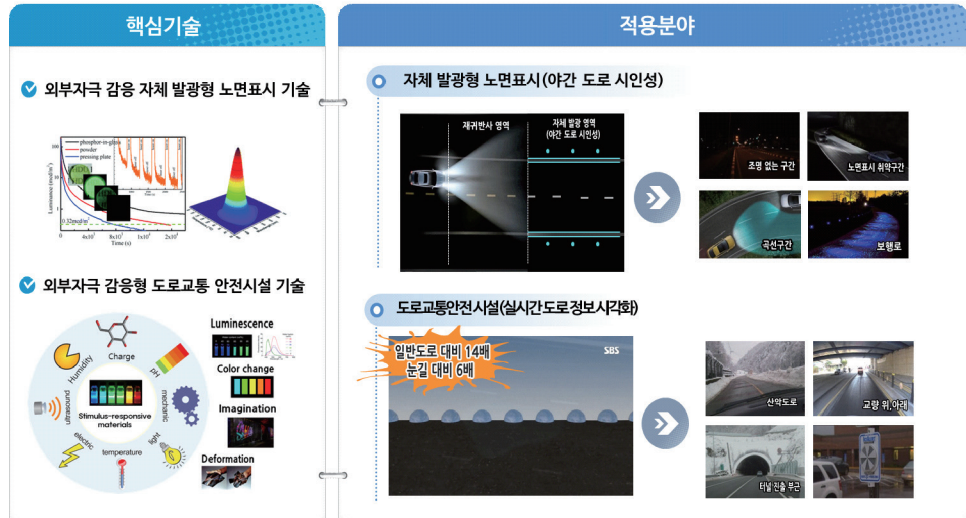
연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

노면 표시는 횡단보도, 차선, 정지선 등 다양한 형태의 선, 문자, 기호로 구성되어 운전자가 필요한 정보를 제공합니다. 이는 안전한 운전을 돕고 원활한 교통 환경을 만드는 데 중요한 역할을 합니다. 일반적으로 아스팔트 위에 도료를 칠하여 만들어지는 노면 표시는 낮에는 효과적이지만, 야간이나 비, 눈, 안개, 강풍 같은 악천후에서는 시인성이 떨어져 제 기능을 제대로 발휘하지 못하는 경우가 많습니다.

야간에는 주변이 어두워 시야 확보가 어려워지고, 운전자의 반응 속도가 느려져 교통사고 발생 위험이 크게 증가합니다. 특히, 빗길이나 눈길과 같이 악천후 상황에서는 노면 표시가 희미하게 보여 운전자의 불안감을 더욱 증폭시키고, 교통사고 발생 위험성도 높아집니다. 실제로 도로교통공단의 통계에 따르면 야간 교통사고 사망자 수가 주간보다 많은 것으로 나타났습니다. 따라서 기존 노면 표시보다 높은 시인성을 제공하여 안전성을 높일 수 있는 기술 개발은 매우 중요한 일입니다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구팀은 스마트 소재와 교통안전시설을 융합하여 기존 노면 표시의 한계를 극복한 혁신적인 기술을 개발하고자 연구를 시작했습니다. 외부 광원 없이 스스로 빛을 내 자체 발광형 소재와 온도 변화에 따라 색이 변하는 저온 변색 소재 등 새로운 스마트 소재를 활용하여 야간이나 악천후 시에도 높은 시인성을 확보하고, 교통 취약 구간에서 운전자에게 다양한 정보를 제공함으로써 더 안전한 교통환경을 조성하려고 합니다.

외부 자극 및 통행 차량의 특성을 고려한 도로교통 안전 향상 기술



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

조명이 없는 구간이나 도로 취약 구간에 적용할 수 있는 세계 최고 수준의 자체 발광형 도로 노면 표시 기술과 발광도로 전용 시공 장비를 개발하고, 실도로 테스트를 거쳐 실용화함으로써 도로의 안전성을 향상시키는 것을 연구 개발 목표로 설정했습니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

1 성과소개

본 연구를 통해 개발한 '외부 자극 감응형 자체 발광형 도로 노면 표시 기술'은 차선 식별이 어려워 발생하는 교통사고를 줄이기 위해 설계되었습니다. 연구팀은 고성능 노면 표시 소재와 시공법을 개발하였으며, 발광형 도로의 주원료(SrCO_3 , Al_2O_3), 공부활제(Dy_2O_3), 용제(B_2O_3)의 최적 비율과 공정 조건을 확립하여 고휘도와 장잔광 특성을 구현했습니다. 성능 테스트 결과, 잔광 시간은 20시간 이상, 1시간 후 발광 휘도는 200 mcd/m^2 , 주간 휘도는 $130 \text{ mcd/m}^2 \text{ lx}$ 이상을 기록해 세계 최고 수준의 성능을 확인했습니다. 또한, 차량 바퀴의 윤하중 시험(400만 회), 침수 및 열 사이클 등 극한 환경에 노출시키는 시험에서도 초기 발광 휘도의 90% 이상을 유지해 뛰어난 내구성을 입증했습니다.

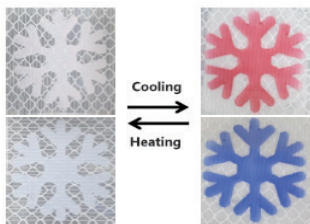
연구팀은 시뮬레이션을 통해 운전자의 인지 반응 성능을 평가하고, 발광 도로 전용 시공 장비를 개발했습니다. 이를 통해 10km에 이르는 실제 도로에 연속 시공을 진행하고, 장기적인 성능 모니터링을 실시하여 기술적 신뢰도를 확인했습니다.

실도로에 외부 자극 감응형 자체 발광형 도료를 적용한 시험

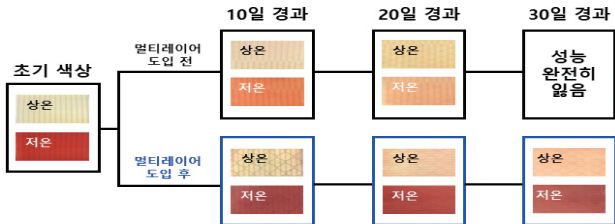


기존 표지판은 실시간으로 도로의 노면 상황을 반영하지 않아 운전자가 결빙 구간을 미리 인지하고 대비할 수 없었습니다. LED 전광판을 이용한 방법도 개발되었지만, 지속적인 동력원 공급이 필요하다는 단점이 있었습니다. 이에 대해 연구팀은 노면 상황에 따라 실시간으로 색상이 변하는 표지판과 노면 표시 제품을 개발했습니다. 이 기술은 사전에 결빙 구간을 알려주어 운전자가 안전하게 대응할 수 있도록 돕습니다. 온도에 민감하게 감응하여 가역적으로 색상이 나타나므로 별도의 동력원도 필요하지 않습니다. 본 기술의 핵심 중 하나는 저온에서의 성능 발휘입니다. 저온 감응형 변색 재료는 감응 온도 4℃ 이하에서, 감온 속도 5분 이내로 빠르게 반응합니다. 또한, 1,000회의 반복 시험 후에도 성능 변화가 없고, 재귀반사 성능과 휘도율도 일정하게 유지되는 것을 확인했습니다.

저온 감응형 색 변화 도료



저온 감응형 색 변화 도료 장기안정성 확보



저온 감응형 색 변화 표지판



온도에 따른 실시간 색 변화 평가



저온 감응형 표지판 시제품 실도로 평가



2 기술수준

자체 발광형 노면 표시용 도료는 오스트리아의 SWARCO社에서도 개발한 바 있습니다. 그러나 이 도료는 광학 특성(발광, 휘도, 장잔광)이 아쉬운 점이 있으며, UV 경화 타입으로 인해 시공이 어려워 경제성이 낮고, 화학물질 등록 및 평가에 관한 법률(화평법) 시행으로 보급에 한계가 있습니다. 반면, 본 연구에서 개발한 도료는 세계 최고 수준의 발광 성능을 자랑하며, 검증된 내마모성과 내구성으로 해외 제품을 초월하는 성능을 보입니다.

개발품과 해외 제품의 성능 비교

제품	발광 휘도(mcd/m ²)			특징
	10분	30분	60분	
노면 표시용 도료 (개발품)	1,219	351	153	- 고휘도·장잔광 - 국내 도로 적용 가능 - 기존 2액형 장비 통한 시공 가능
제품 1	312	90	39	- 축광 피난 유도시설용 - 내구성 한계로 도로 적용 불가
해외 제품 2	232	67	29	- 도로 적용 가능 - UV 경화형, 국내 도로 적용 불가 (시공 단계, 시공 장비 부적합)

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요? 그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

다양한 환경 조건에서 저온 감응형 재료와 자체 발광형 도로의 성능 및 내구성을 동시에 만족시키는 것은 쉽지 않은 도전이었습니다. 하지만 참여 기업과 국토부의 첨단도로 시설 개발에 대한 열의가 큰 도움이 되었고, 각 요소 기술별로 명확한 목표를 수립함으로써 기술 완성에 이를 수 있었습니다. 또한, 시험 도로와 실제 도로 시공을 통해 단계적으로 성능을 검증했으며, 경찰청과의 긴밀한 협조를 통해 실제 법령에 기술을 반영하여 제도적 기반도 마련할 수 있었습니다.

② 장애요인과 해결과정

기술 개발 과정에서 우리는 두 가지 주요 장애요인과 마주했습니다. 첫 번째는 새로운 교통안전 시설을 실제 도로에 적용하기 위한 법적 제한이었습니다. 이를 해결하기 위해 경찰청과 긴밀히 협조하며 도로교통법 시행규칙과 교통노면 표시 설치·관리 업무편람 등을 개정함으로써 법적인 근거를 마련해 실도로에 적용할 수 있는 길을 열었습니다.

두 번째는 무조명 실도로 시험에 적합한 10km 이상의 도로를 찾는 일이었습니다. 이 과정에는 여러 이해관계자의 협력이 필요했습니다. 인제군청과의 지속적인 협의를 통해 강원도 인제군의 한석산로 구간을 시험도로로 확보했습니다. 이를 통해 기술의 장기 내구성과 실용성을 성공적으로 검증할 수 있었습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

본 연구에서 개발된 자체 발광형 노면 표시 기술은 세계 최고 수준의 발광 성능을 자랑하며, 물리적 환경에서의 내구성을 개선해 기존 차선의 내구 성능을 초월하는 안정성을 확보했습니다. 또한, 장거리 시공에 최적화된 전용 시공 장비를 개발해 효율적인 설치 방안을 마련했습니다. 도로 노면 환경에 따라 실시간으로 색상이 변하는 표지판과 노면 표시 제품은 LED 표시등처럼 별도의 전력 공급 없이도 운영할 수 있어 기술적 차별화를 이루었습니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부분

본 연구를 통해 다양한 기술적 성과를 달성했습니다. 자체 발광 노면 표시의 핵심 요소 기술인 발광체, 바인더, 도료는 세계 최고 수준으로 평가받을 수 있습니다. 이러한 원천기술은 지능형 도로의 발전과 안전한 주행 환경 조성에 기여할 것입니다. 특히, 지능형 교통안전 기술에 대한 수요가 급증하는 상황에서 기술의 해외 의존도를 낮추고, 글로벌 기술 경쟁에서 우위를 확보하는 데 도움이 될 것입니다. 또한, 실시간으로 블랙아이스 구역을 인지할 수 있는 새로운 도로 결빙 위험 시각화 기술도 도로 안전을 크게 향상시킬 것입니다.

② 경제/사회적 파급효과

우리 기술을 교통안전 인프라가 부족한 지역에 적용하면 교통사고 발생률을 크게 줄이고, 도로교통사고로 발생하던 각종 사회적 비용도 절감할 수 있을 것입니다. 또한, 수요자 맞춤형 도로 정보 제공, 효율적인 교통안전 시설물의 유지보수, 그리고 위험 구간에 맞춘 시설 개선 등을 통해 경제적 파급효과를 창출하며, 도로교통 산업의 성장을 견인할 것입니다. 외부 자금 감응 재료 활용 기술은 효율적이고 경제적인 교통안전 시스템을 구축하고, 이를 통해 도로 안전과 관련된 시장을 선도할 것으로 기대합니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

자율주행 시대의 도래로 교통 인프라의 중요성이 한층 더 부각되고 있습니다. 도로는 단순히 자동차가 다니는 길을 넘어, 자율주행 모빌리티에 다양하고 정확한 정보를 실시간으로 제공하고, 오류를 최소화하는 역할을 해야 합니다. 이에 우리 연구진은 자율주행 기술과 신소재를 융합하여 보다 안전한 교통환경을 구축하는 데 기여하고자 노력하겠습니다.

발광형 도로 및 발광형 델리네이터를 적용한 실도로의 모습

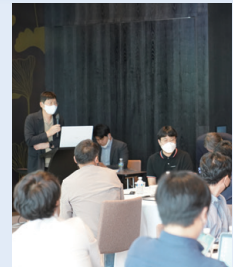


현장 적용사례

현장 목소리



도로의 안전성을 혁신적으로 개선하는 과정은 결코 쉬운 일이 아니었습니다. 다양한 법적 규제와 시험 구간 확보와 같은 도전 과제들이 끊임없이 우리를 시험했습니다. 그러나 연구진들은 여러 관계자들과의 지속적인 협업을 통해 기술을 혁신했고, 그 결과로 우수한 성과를 달성할 수 있었습니다. 앞으로도 기술을 지속적으로 업그레이드하여 다양한 도로 안전 문제를 해결하는 데 기여하고자 합니다. 또한, 미래 도로 안전 기술을 선도하는 연구자가 되어 자율주행 시대에 맞는 안전하고 효율적인 교통환경 기술을 개발하는 연구도 추진할 계획입니다.



주요 연구개발 성과물

논문

SCI(E) 4건('20), 1건('22)

지식재산권

- 특허등록: 플라스틱 사출용 조성물, 상기 조성물로부터 플라스틱 사출물을 제조하는 방법 및 상기 플라스틱 사출물을 포함하는 델리네이터(10-2650271) 1건
- 소프트웨어: 장잔광 시뮬레이션(C-2020-034940) 1건

현장시험 및 검증

발광형 차선 시험시공 및 내구성 평가 시험 1건

09

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작 겨울철 노면 안전을 지키는 저전력 가로등 및 제설용액 자동 분사 시스템



사업명
국토교통기술사업화지원사업



과제명
비동기 무선네트워크 기반 낮은 가로등
및 노면 살얼음 대응 제설용액 자동분사
통합 모니터링 및 제어 시스템



연구기간
2021.04. ~ 2023.12.
* 2년 9개월



연구비
총 1,745백만 원
* 정부출연금 1,080백만 원/민간부담금 665백만 원



연구자
황청호 | 블랙스톤㈜ 대표

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

겨울철 도로에서는 주행안전을 위협하는 요소가 많아집니다. 특히 낮 동안 내린 비나 녹은 눈이 기온이 떨어지는 밤사이 노면에 얇게 얼어붙어 형성된 블랙아이스는 겨울철 교통사고의 주요 원인으로 꼽힙니다. 블랙아이스는 노면의 마찰계수를 크게 낮추어 일반 도로보다 14배, 눈이 쌓인 도로보다 6배 더 미끄러워지며, 얇고 투명한 살얼음 형태라 운전 중 인식하기 어렵습니다. 이로 인해 운전자는 갑자기 미끄러지면서 차량을 제어하기 힘들어지며, 뒤따르는 차량과의 연쇄 추돌 사고가 발생할 수 있습니다. 그래서 블랙아이스는 ‘도로 위의 시한폭탄’ 또는 ‘도로 위의 암살자’라고 불립니다.

블랙아이스 문제를 해결하기 위해, 도로변에 제설용액을 저장하고 필요할 때 자동으로 분사하여 블랙아이스를 제거하는 ‘자동 염수분사장치가 개발되기도 했습니다. 그러나 이 장치는 땅을 파내어 설비를 매립해야 하기 때문에 공사 시간이 길고 비용이 많이 드는 단점이 있습니다. 이로 인해 보급이 더디게 이루어지고 있습니다.

이에 본 연구진은 이러한 단점을 해결하기 위해 당사가 개발하고 상용화한 ‘클린로드 시스템(Clean Road System)’을 활용하기로 했습니다. ‘클린로드 시스템’은 여름철 도로 표면에 물을 분사해 온도를 낮추고, 도로에서 발생하는 미세먼지까지 개선하는 기술입니다. 이 시스템은 굴착 작업이 필요 없으므로 공사 시간을 단축하고 비용을 낮출 수 있으며, 태양광으로 센서와 제어 보드에 필요한 전기를 공급하여

친환경적입니다. 또한, 실시간으로 도로 상황을 파악해 자동으로 작동하기 때문에 효율적이고 편리합니다. 이러한 장점을 바탕으로 ‘클린로드 시스템’을 응용하여 블랙아이스 제거에 최적화된 시스템 만들고자 연구개발을 시작했습니다.

블랙아이스로 인해 발생하는 사고를 줄이고 도로의 안전도를 높이는 통합 시스템



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

본 연구 개발의 목표는 센서를 활용하여 안개, 우천 등 기후변화에 따른 도로 상태를 파악하고, 이 데이터를 기반으로 낮은 가로등과 도로 살얼음 감지 제설용액 자동 분사 장치를 통합 운영하는 시스템을 구축하여 지방도로의 안전을 확보하는 것입니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

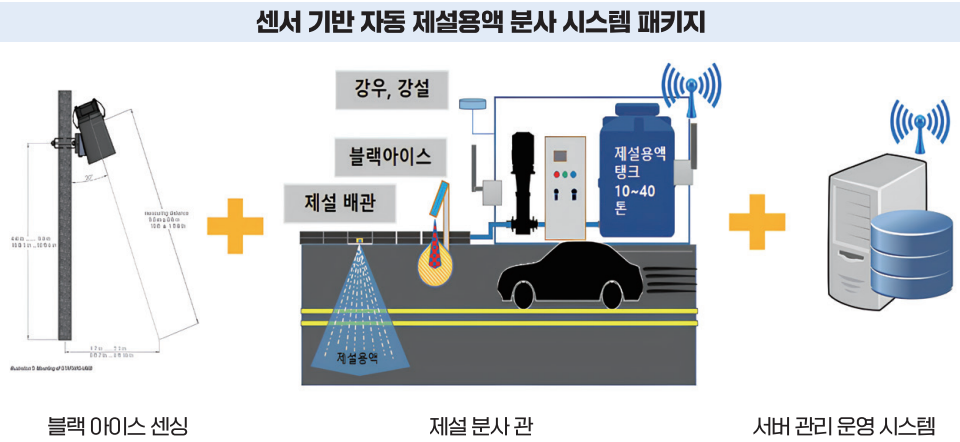
① 성과소개

우리 연구진은 ‘실시간 모니터링 및 제어 염수 분사 시스템’과 ‘저전력으로 운영할 수 있는 가로등 기술’을 개발했습니다.

‘실시간 모니터링 및 제어 염수 분사 시스템’은 ‘클린로드 시스템’을 변형하여 겨울철 도로 상황에 최적화된 기술입니다. 도로환경 측정 기술과 노면 감지 센서를 이용해 블랙아이스를 실시간으로 감지하고, 제설용액을 자동으로 분사합니다. 이 시스템은 센서와 데이터를 기반으로 작동하므로, 타이머 방식으로 작동하던 기존 클린로드 시스템보다 빠르고 효율적입니다. IoT 기술을 연동하여 도로 환경을 실시간으로 모니터링할 수 있습니다. 이 시스템은 레고 블록처럼 조립 가능한 살수 설비와 배관을 도로 중앙선 바닥 위에 설치하는 방식으로, 굴착 공사가 필요 없어 공사 기간을 대폭 단축할 수 있으며, 비용적인 부담도 줄일

수 있습니다. 또한, 폭이 넓은 도로에도 설치할 수 있어 터널 입출구나 교량 등 다양한 구간에 적용할 수 있습니다.

‘저전력으로 운영할 수 있는 가로등 기술’은 열악한 환경 조건에서도 안전 운행을 돕기 위해 개발되었습니다. 도로 위 가로등은 상용 전기를 이용하는 경우가 대부분인데, 터널 진출입로, 비탈면 등 블랙아이스 발생 위험이 높은 구간에서는 상용 전기 공급이 어려워 가로등 설치가 어려운 경우가 많습니다. 이를 해결하기 위해, 태양광으로 배터리를 충전하고 저전력 RF 무선통신장치를 결합한 시스템을 개발했습니다. 이 시스템은 저전력으로도 효율적으로 운영할 수 있으며, 저전력 RF 무선통신장치를 통해 가로등의 모니터링, 제어, 배터리 충전 상태 등을 통합 관리할 수 있습니다. 이 첨단 가로등 시스템은 상용 전기 공급이 어려운 지역에도 안정적으로 LED 가로등을 설치하고 운영할 수 있는 환경을 제공합니다.



2 기술수준

KOTRA와 각국 무역관을 통한 시장 조사 결과, ‘실시간 모니터링 및 제어 염수 분사 시스템’과 유사한 해외 기술 사례는 확인되지 않았습니다. 이는 이 기술이 매우 독창적임을 의미하며, 국내는 물론 해외에서도 노면 환경으로 인한 사고율을 낮추는 데 큰 도움이 될 것입니다. 또한, 친환경 및 저전력 데이터 기반 시스템을 IoT 기술과 접목하여 도로 환경 빅데이터를 구축하고, 이를 도로 통합 관제 시스템으로 활용할 수 있는 점에서 미래 지향적인 기술이라 할 수 있습니다.

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요? 그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

해마다 비, 눈, 안개 등으로 인해 발생하는 교통사고는 국민의 안전을 위협합니다. 특히, 지방도로는 안전사고 취약 지점이 많아 문제가 더욱 심각합니다. 우리 기술은 센서와 데이터 기반 시스템을 통해 도로 환경을 신속하게 관리하고, 보다 편리하고 효율적으로 운영 및 관리할 수 있도록 지원합니다. 이 기술이 전국적으로 확대 적용된다면, 교통안전 사각지대를 개선하고 스마트 도로 안전 시스템을 구축하는 데 큰 도움이 될 것입니다.

② 장애요인과 극복방법

개발한 기술의 효과를 검증하려면 실제 도로 환경과 유사한 조건에서 실증 실험을 진행해야 합니다. 그러나 블랙아이스가 잘 생성되는 새벽 시간대의 온도와 환경을 구현하는 데에는 어려움이 있었습니다. 연구진은 반복 실험과 시행착오를 통해 이러한 조건을 구현하는 데 성공했으며, 이를 통해 실증 실험을 무사히 완료할 수 있었습니다.

실증 실험에서의 어려움은 이것만이 아니었습니다. 실험은 남원시에서 진행되었으며, 연구팀은 인천과 남원 간의 장거리 이동으로 인해 어려움을 겪었습니다. 특히 반복적인 실험과 설치 작업이 필요했기 때문에 이동 시간 때문에 연구 시간이 부족해지는 문제가 발생했습니다. 이를 해결하기 위해 연구진은 남원에 상주하면서 연구를 진행하기도 했습니다.

연구 진행 중에는 다양한 변수로 인해 예산 초과가 발생하기도 합니다. 본 연구 과정에서도 불가피하게 연구비 증액이 필요한 상황이 있었습니다. 다행히 KAIA 담당 연구원들이 적극적으로 지원해 주셔서 행정 절차를 원활하게 진행하고 연구를 성공적으로 마무리할 수 있었습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

앞서 언급했듯이 기존 ‘자동 염수 분사 장치’는 굴착 작업이 필수적이어서 공사 기간이 길고 비용이 많이 들며, 설치 공간에 제약이 많고 제어실에서 수동으로 작동해야 하는 불편이 있었습니다. 반면, 우리가 개발한 ‘실시간 모니터링 및 제어 염수 분사 시스템’은 비굴착 방식으로 배관과 노즐을 설치하기 때문에 시공이 간편하고 유지 관리도 용이합니다. 시공 과정에서 발생하는 건설 폐기물의 양도 적어 처리 비용을 절감할 수 있으며, 환경적으로도 긍정적인 효과를 기대할 수 있습니다.

‘저전력으로 운영할 수 있는 가로등 기술’의 가장 큰 차별점은 상용 전력을 사용할 수 없는 곳에서도 가로등을 설치하고 운영할 수 있다는 점입니다. 저전력 운영 알고리즘과 원격 배터리 충전량 모니터링 시스템을 적용하여 유지 관리가 용이하므로, 전력 공급이 어려운 취약 지구에 적합한 솔루션입니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

본 연구는 국내 무선통신 프로토콜의 상용화 버전을 개발함으로써 해외 무선통신 모듈을 대체할 수 있는 기술적 우위를 확보했다는 점에서 큰 의미를 갖습니다. 저주파 무선통신 기술을 다양한 도로 관련 제품과 융합해 효과적으로 활용할 수 있다는 가능성을 보여주며, IoT를 통한 시설 통합 관리 기술이나 제품 개발의 증가를 촉진할 것입니다. 또한, 배터리 충전량 실시간 모니터링 기술은 다양한 분야에 활용될 수 있어 국민의 안전과 삶의 질 향상에 기여할 것입니다.

② 경제/사회적 파급효과

본 연구 개발 성과는 한국판 뉴딜의 디지털 뉴딜 및 그린 뉴딜의 SOC 사업과 잘 부합합니다. 통합 관리 시스템을 기존 조명 및 배터리 사업과 연계하면 다양한 경제적 성과와 사회적 파급 효과를 기대할 수 있습니다. 또한, 기존 조명 사업 업체와 제휴하여 가로등 등 시설물의 개별 및 통합 제어 시스템을 개발하고 상용화할 수 있을 것입니다.

친환경 및 저전력으로 운용되는 데이터 기반 시스템은 스마트시티 구축의 핵심 솔루션으로 활용될 수 있으며, 지자체가 도로 환경 빅데이터를 구축하는 데 긍정적인 영향을 미칠 것입니다. 배터리 충전량 실시간 모니터링 기술은 예비 전원 관제 시스템뿐만 아니라, 건물이나 도시의 안전을 위한 재난 안전 플랫폼으로도 활용할 수 있습니다. 특히, 야간 및 강설에 취약한 지방도의 안전성을 높여 교통사고 발생률을 줄이는 데 기여할 것입니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

지구온난화의 영향으로 지구는 갈수록 뜨거워지고, 겨울철에는 더 많은 블랙아이스가 생성될 것으로 보입니다. 이러한 전망 속에서 기존 SoC 산업 분야에 IoT 기술을 접목한 우리 기술과 제품을 찾는 곳은 계속 늘어날 것이며, 매출도 지속적으로 늘어날 것입니다. 앞으로 집중할 부분의 하나는 연구개발 성과를 상용화하는 것입니다. 기존 상용 제품인 클린로드 시스템과 블랙아이스 감지 시스템, 낮은 가로등 시스템을 개별·통합 패키지로 구성해 사업 영역을 넓혀가고, 관련 연구도 계속해 나갈 계획입니다.

현장 적용사례



태양광 배터리를 이용한
낮은 가로등 테스트 설치



낮은 가로등을 응용한
태양광 가로등 설치(안성시)



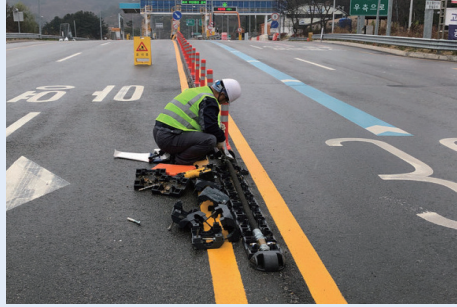
시공 편의성을 높인 염수
분사 블록 및 노즐



염수 관제 랙크실

현장 목소리

겨울철 도로 안전을 지키기 위해 개발한 저전력 가로등과 제설용액 자동 분사 시스템은 연구원들의 피땀 어린 노력의 결과입니다. 혹한의 추위 속에서도 겨울철 도로의 특성에 맞춰 각종 테스트와 실증을 반복하며 2년 9개월 동안 최선을 다해 주셨습니다. 이러한 노력의 결실을 맺어 매우 기쁘며, 여기서 멈추지 않고 더 많은 분야의 연구를 진행하여 안전한 도로를 위한 기술을 계속해서 개발해 나가겠습니다.



주요 연구개발 성과물

지식재산권

- 특허등록 : 가로등을 포함하는 염수분사 시스템(10-2587869) 1건

사업화 실적

- 쿨링로드 물품 제조 및 설치(중화역 외 3건)(총 매출액 12.3억 원)
- 태양광충전 배터리와 저전력RF무선통신장치를 활용하여 가로등
(개별/통합)의 관리·모니터링·제어가 가능한 상용화 제품 개발
(안성시 외 1건)(총 매출액 15억 원)

현장시험 및 검증

센서통합 IO컨트롤러, 관제컨트롤러(BLPSLC36W-AW01외 1건) 공인시험 1건

고용창출

3명

10

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작 지하물류 운송 시스템 개발



사업명

고부가가치 융복합 물류
배송·인프라 혁신기술개발 사업



과제명

지하공간을 활용한
도시물류 기술 개발



연구기간

2021.04. ~ 2025.12.

* 4년 9개월



연구비

총 8,591백만 원

* 정부출연금 8,591백만 원



연구자

김주욱 | 한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 책임연구원

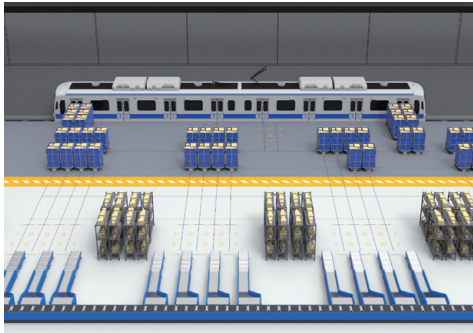
연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

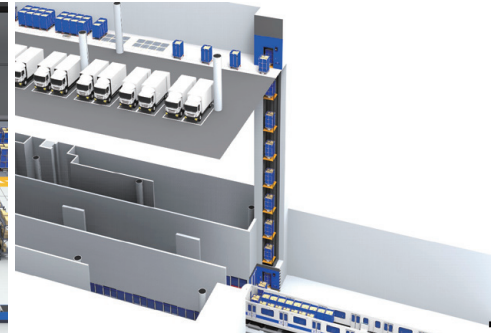
코로나19 팬데믹 이후 전 세계적으로 물류량이 급증하면서 물류 밀집도가 높은 대도시, 특히 서울에서는 화물차량의 진입으로 교통체증, 환경오염, 안전 문제가 크게 증가했습니다. 이를 해결하기 위해 본 연구진은 지상 운송수단 대신 도심 내 구축된 지하 도시철도 인프라를 활용한 새로운 도시 물류 시스템을 연구개발하게 되었습니다.

전 세계적으로 탄소 중립을 위한 대도시 내 화물트럭 진입 제한이 늘어나고 있습니다. 이에 따라 기존 지하철 인프라를 활용해 생활 물류를 운송하고 시민들에게 쾌적한 지상 공간을 제공할 수 있는 기반 기술을 개발하는 것이 매우 중요하다고 판단하였습니다.

지하 도시물류 개념도



서울 외곽 철도차량 기지의 물류터미널에서, 표준운송 용기에 탑재된 택배화물이 화물전용 도시철도를 통해 운송되는 모습



배송역사에 도착한 화물이 수직이송장치를 통해 역사 내 화물공간 또는 지상부로 이동하는 모습

* 서울 외곽의 철도차량기지에서 택배화물이 화물전용 도시철도차량을 통해 도심의 역사에서 말단 배송차량에 인계되는 방식

연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

차량기지의 물류센터에서 도심 역사까지 택배 화물을 운송하는 핵심 기술을 개발하고, 이를 테스트베드에 구현하여 실증, 검증하는 것이 최종 목표입니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

기존 도시의 지하 수송 인프라와 도시철도 시설을 활용하여 화물을 운송하기 위한 도시 물류 기술을 개발하였습니다. 본 연구진은 기존 여객열차 1량을 화물 전용 차량으로 개조하여 각 시스템 간 인터페이스 실증을 완료했습니다. 화물 운송을 위한 수평 이송 장치와 화물 운송 표준 용기, 화물 전용 도시철도 차량의 전장품(건넌판, 결박 장치)을 개발하고 통합 시험하여 상호 인터페이스 문제 없이 작동하는 것을 확인했습니다.

특히, 화물 운송 표준 용기는 접이면적을 최소화한 가변형 제품으로, 운송 후 용기를 회수할 때 수평 이송 장치 1대에 용기 3대씩 접철할 수 있도록 설계되었습니다. 이 용기는 기존 제품보다 80% 더 가벼우면서도 동일한 강도를 유지합니다.

또한, 도시철도 기반 공동 물류 플랫폼도 개발했습니다. 이 플랫폼은 택배 화물이 도시철도 차량 기지에 들어온 후, 화물 전용 도시철도 차량을 거쳐 도심 역사에서 말단 배송차량에 탑재될 때까지 화물 정보를 통합 관리하는 시스템입니다. 본 과제에서는 도시철도 차량 기지 내 택배 분류 작업과 말단 배송차량에서 목적지까지의 운송을 포함한 확장 가능성도 고려하였습니다.

수평이송장치 시작품



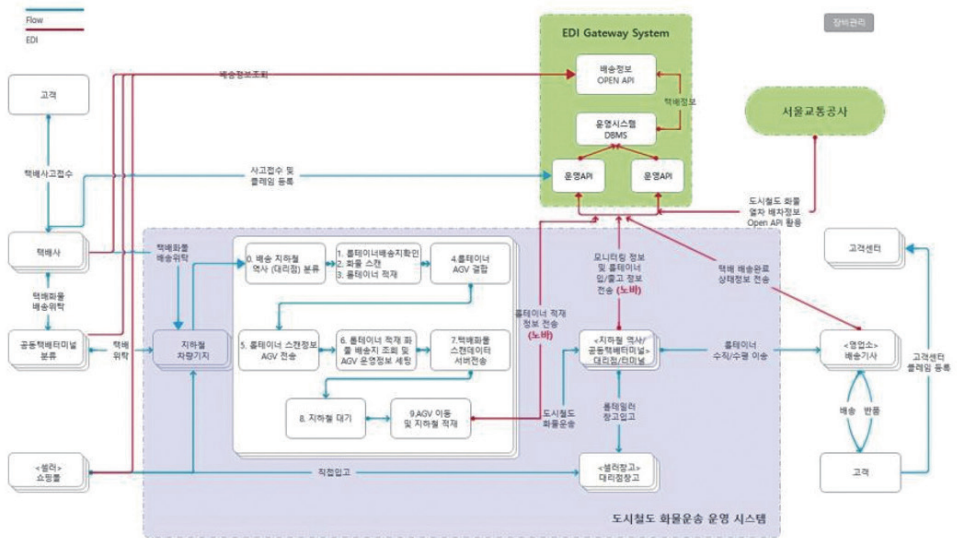
수직이송장치 시작품



화물운송표준용기 시작품



공동운영 플랫폼 시스템 구성도



* 지하물류 시스템을 통해 운송되는 화물 정보를 통합 관리하는 공동운영 플랫폼 시스템 구성도. 지하물류 이전과 이후의 프로세스까지 확장 가능하도록 개발 완료

2 기술수준

현재 국내외에서 기존 트럭 대신 친환경 대체 수단으로 화물을 운송하려는 연구가 진행되고 있습니다. 예를 들어, 스위스는 330억 스위스 프랑(약 45조 원)을 투자하여 2045년까지 500km 연장의 지하 물류 시스템인 CST(Cargo Sous Terrain)를 완공할 계획을 세웠습니다. 중국은 숭안신구에 지하 물류 기지 설계를 진행 중이며, 도시 발전을 위해 지방 도시까지 지하철을 활용한 새로운 물류 시스템 연구도 활발히 이루어지고 있습니다. 사우디아라비아는 네움시티 더 라인 프로젝트에 지하철도 물류 시스템을 계획하고 있습니다.

그러나 이러한 기술이 실제로 적용되어 운영된 사례는 없습니다. 본 연구진이 개발한 성과는 세계 최초로 도시철도를 활용하여 도심 외곽에서 도심까지 화물을 운송하는 시스템 기술입니다.

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요? 그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

연구에 참여한 각 컨소시엄이 맡은 역할을 훌륭히 수행한 덕분에 성공적인 결과를 얻을 수 있었습니다. 본 연구는 한국철도기술연구원이 주관하였으며, 서울교통공사, (주)노바, 한국파렛트풀(주), (주)써머스플랫폼 등 각 분야의 전문 기업과 최고의 연구원들이 참여하였습니다. 또한, 서울시 물류정책과, 국토교통부 첨단물류과, 국토교통과학기술진흥원의 적극적인 지원이 큰 도움이 되었습니다.

② 장애요인

세계적으로 유례가 없는 시도를 했기 때문에 연구 초기에는 많은 편견에 부딪혀야 했습니다. “도시철도로 화물을 배송한다니 말이 되냐?”는 회의적인 시선을 견디는 것이 쉽지 않았습니다.

③ 극복방법

연구와 함께 대중의 인식을 개선하기 위한 캠페인을 진행한 것이 효과적이었습니다. ‘대도시의 지상 공간을 시민에게 돌려줘야 한다’, ‘지상의 대형 화물트럭 진입을 최소화하여 쾌적한 지상공간을 만들어야 한다’는 공감대를 형성하기 위한 강연, 세미나, 인터뷰 등을 통해 홍보를 강화했습니다. 그 결과 이제는 많은 사람들이 “그래, 가능하겠네!”라고 동의해 주고 있습니다. 특히, 서울시의 지상공간을 쾌적하게 만들 수 있다는 점에서 많은 시민들이 큰 공감을 보였습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

이 연구과제와 관련된 기술개발은 국내에서 아직 전례가 없고, 해외에서도 개발 초기 단계에 머물러 있습니다. 따라서 본 연구진이 개발한 기존 인프라를 활용한 도심 철도운송 기술은 글로벌 경쟁력을 선점할 수 있는 중요한 성과로 기대됩니다.

특히, 기존 도시철도를 활용한 수직/수평 이송기술의 상업화는 국내외에서 본 성과가 유일하며 매우 혁신적입니다. 이 시스템에서는 화물이 운송용기에 실린 후, 수평이송장치와 체결되어 목적지에 따라 자동으로 최적의 경로로 라우팅된 순서대로 열차에 탑승합니다. 이후, 화물역 간 이동과 역사 승강장에서의 하차, 수직이송장치를 통해 상위층 물류공간으로의 이동까지 모든 절차가 자동으로 진행됩니다. 또한, 화물의 이력은 운영 플랫폼을 통해 관리되며, 이는 본 기술의 큰 차별점 중 하나입니다.

이러한 기술은 전 세계적으로 메가시티화가 진행 중인 도심 인프라 사업에 큰 기여를 할 것으로 기대됩니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

기존 도심 철도시설을 이용한 물류 서비스를 제공함으로써, 본 연구진은 도심 철도 화물운송 기술 분야에서 선도적인 지위를 확보했습니다. 이를 통해 전 세계 주요 대도시의 도심 공동물류 시스템 시장에 진출할 가능성이 크게 열렸습니다.

앞으로는 단순히 도시철도 배송 시스템 구축에 그치지 않고, 다양한 기업이 함께 이용할 수 있는 공동물류 인프라 및 플랫폼 체계를 구축하여, 도시철도 공동물류 운송시스템으로 발전시킬 수 있을 것입니다. 이 과정에서 차량기지를 물류센터로 활용한다면, 교통시설의 용도가 개선될 뿐만 아니라 도심 내 토지 활용도도 크게 높아질 것입니다. 차량기지는 단순 여객전용 공간에서 화물처리 겸용 공간으로 변화하여 기존보다 더욱 효율적인 활용이 가능해질 것입니다. 이와 함께 지하공간을 활용한 철도 물류시스템 구축은 새로운 일자리 창출과 기존에 없던 형태의 서비스 및 비즈니스 모델을 개발할 기회를 제공합니다. 예를 들어, 역사 내에 기존 서비스나 편의시설을 접목한 새로운 사업 아이디어도 생겨날 것입니다. 이러한 발전은 도심 물류의 혁신뿐만 아니라, 도시 생활의 질을 향상시키는 데에도 크게 기여할 것입니다.

② 경제/사회적 파급효과

이번 연구 성과는 물류 환경을 획기적으로 개선할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, 교통혼잡과 배송 지연으로 인한 경제적 비용을 절감할 수 있을 것입니다. 특히, 공공 인프라 공간에 특성별 터미널을 설계·구축·운영할 수 있는 기술을 개발함으로써 유휴 부지를 포함한 국토 활용의 효율성을 크게 높일 수 있습니다. 또한, 고부가가치 상품과 생활물류를 포함한 다양한 물류 서비스를 제공하여 철도화물 시장의 활성화에 기여할 수 있습니다. 철도의 정시성, 신속성, 안전성을 바탕으로 한 물류 인프라 및 수송서비스는 앞으로 시장 점유율을 빠르게 확대할 잠재력을 가지고 있으며, 경제적 측면에서 큰 영향을 미칠 수 있습니다. 또한, 이번 연구 성과는 대도시의 지상공간을 물류용도로 활용하는 것을 줄여, 시민들에게 더 쾌적한 환경을 제공할 수 있다는 점에서 큰 사회적 파급효과를 기대할 수 있습니다. 이를 통해 교통혼잡, 대기오염, 교통사고 등으로 인한 사회적 비용을 절감할 수 있으며, 도심 내 차량 통행을 줄임으로써 교통사고의 발생 빈도도 낮아질 것입니다. 또한, 저탄소 고효율 화물수송 체계를 구축하여 '녹색물류'를 구현할 수 있게 되어, 지속 가능한 도시 환경을 조성하는 데 기여할 수 있을 것으로 보입니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

연구진은 현재 본 성과를 서울시 물류정책과의 물류 마스터플랜 수립 사업과 연계하여 테스트베드 실증을 추진하고 있습니다. 이 연구는 도시철도 차량기지과 도심역사 등의 인프라와 함께 개발되어 현장에 적용될 때 비로소 효과를 발휘하는 시스템 기술입니다. 이러한 기술을 실제 현장에 접목하기 위해서는 수백억에서 수천억 원에 이르는 막대한 예산이 필요하며, 무엇보다도 지자체의 정책적 결정과 인허가가 필수적입니다. 따라서, 지자체와 물류 관련 기업들의 적극적인 협조와 투자가 이루어지기를 바랍니다.

현장 적용사례

화물전용 도시철도 차량을 1단계 개조 개발 모습. '23.11월 천안에 위치한 설화엔지니어링 공장에서 화물전용 차량 수평 이송장치 표준용기 인터페이스 실증 완료.



방향성 추진체(우)



추진체 이송



시추 준비 완료

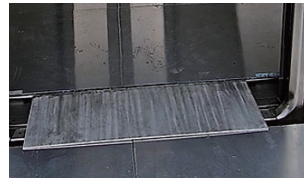


설치된 추진체

실증 현장에 설치된 화물전용 도시 철도차량 전장품 시제품의 모습.



용기 결박장치



건넌판



현장 목소리

현재 물류시장은 단일 국가를 넘어 전 세계적으로 빠르게 확장되고 있으며, 지속가능한 사회와 경제를 위해 탄소중립을 향한 움직임도 꾸준히 이어지고 있습니다. 이러한 흐름 속에서 지하물류 시스템은 필수적인 요소로 자리잡을 것이며, 그 구축은 결국 시간문제가 될 것입니다. 초기 연구개발 단계에서는 비현실적이라는 반대 의견도 많았지만, 이제는 저희 연구진과 같은 비전을 공유하는 사람들이 점차 늘어나고 있음을 확인할 수 있습니다. 이는 지하물류 시스템이 가까운 미래에 현실화될 가능성을 시사하며, 우리의 노력이 결실을 맺을 날이 머지않았음을 보여준다고 생각합니다. 도시의 지상공간을 시민에게 돌려주고, 더 쾌적한 도시를 만들기 위한 기반기술로서 이 연구에 많은 지원을 부탁드립니다.



'24.3월 양평에서 열린 '2024년 지하공간을 활용한 도시물류 기술 개발 워크숍'에 참석한 공동연구진과 실무진의 모습



주요 연구개발 성과물

논문

SCI(E) 2건, 일반학술지 8건

지식재산권

특허출원 : 화물전용 도시철도 차량을 이용한 도심 물류 시스템 (10-2021-0175196) 외 2건

포상 및 수상실적

제5회 한국시스템엔지니어링 대상 GRAND PRIX(2023)

11

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작

철도 인프라의 구축과 관리 혁신을 위한 BIM 기반 통합플랫폼 개발



사업명

철도 인프라 생애주기 관리를 위한 BIM 기반 통합플랫폼 개발



과제명

철도 인프라 생애주기 관리를 위한 BIM 기반 통합 운영 시스템 개발 및 구축



연구기간

2020.04. ~ 2024.12.

* 4년 8개월



연구비

총 3,966백만 원

* 정부출연금 3,966백만 원



연구자

박영곤 | 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부장, 수석연구원

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

철도는 단순한 교통수단을 넘어 산업혁명을 촉진하고 도시 간 연결을 강화해 인류 문명의 발전에 큰 역할을 해왔습니다. 국가의 중요한 시설물인 철도 인프라는 이용자의 안전과 편의를 보장하기 위해 설계, 시공, 유지관리 단계에서 일관된 객체 정보를 수집하고 관리해야 합니다. 철도 건설 및 운영은 국가 경제 성장과 도시 발전, 그리고 국민의 삶의 질 향상에 매우 중요한 영향을 미칩니다. 이 과정에는 토목, 궤도, 기계, 전기, 통신 등 다양한 분야의 전문가들이 참여합니다. 이러한 이유로 최근 '철도 BIM 2030 로드맵(2018)', '스마트건설 활성화 방안(2022)' 등 철도사업에 BIM(Building Information Modeling)을 도입하는 정책이 활발히 추진되고 있습니다. BIM은 디지털 기술을 활용해 건축물이나 시설물의 3차원 모델을 기반으로 설계, 건설, 유지보수에 필요한 모든 정보를 통합 관리하는 시스템입니다. 이 기술은 건설 프로젝트 전 단계에서 효율성을 높이고, 품질 향상과 비용 절감에 기여하는 중요한 기술로, 건설 산업의 패러다임을 바꾸고 있습니다.

2023년 7월, 국토교통부는 「대형공사 등의 입찰방법 심의기준」을 개정해 1천억 원 이상 대형 공사의 발주 단계에서 BIM을 활용하도록 했습니다. 국가철도공단은 그동안 노반 및 건축 분야에 부분적으로 적용하던 BIM을 철도사업 전 분야에 전면 도입하기로 결정했습니다.본 연구진은 이러한 정책 변화에 발맞춰 철도 인프라의 특성을 반영한 'BIM 기반 통합 운영 플랫폼'을 개발했습니다. 이 플랫폼은 철도 시설의 전 생애주기에 걸쳐 운영 관리 방식을 혁신하고, 더 효율적인 철도 시스템 구축에 기여할 것으로 기대됩니다.

철도사업에 BIM 도입을 위한 연구 배경과 필요성



연구목표

연구 개발의 목표는 무엇인가요?

본 연구 개발의 목표는 철도의 궤도, 토목, 전철 전력, 신호통신 등 주요 인프라에 대해, 발주(계획)부터 설계, 시공, 운영, 유지관리까지 전 생애주기 동안 BIM을 기반으로 한 통합 운영 플랫폼을 개발하고 이를 실증하는 것입니다.

성과개요

연구 성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

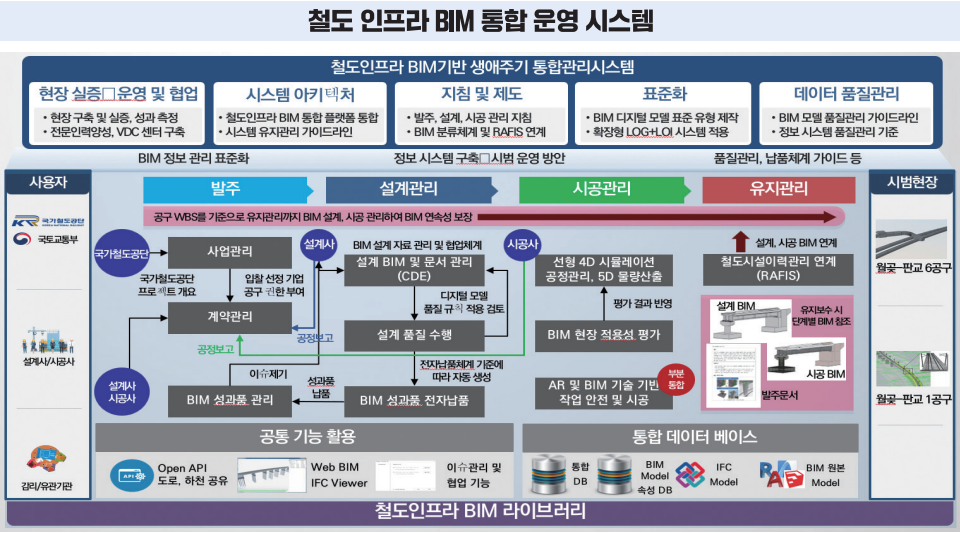
1 성과소개

철도사업은 계획, 설계, 시공, 유지관리의 전 과정에서 궤도, 토목, 전철전력, 신호통신 등 다양한 분야의 전문가들이 참여합니다. 이러한 철도사업의 특성을 반영하기 위해, 한국철도기술연구원을 중심으로 국가철도공단, 설계사, 시공사, 그리고 BIM 전문회사 등 다양한 전문가들이 참여하는 컨소시엄을 구성하여 기술 개발을 추진했습니다. 이를 통해 여러 가지 연구 성과를 창출했습니다.

대표적인 성과로는 ‘철도 인프라 BIM 통합 운영 시스템’이 있습니다. 이 시스템은 발주처, 설계사, 시공사 간의 원활한 협업을 지원하는 공통 데이터 환경(CDE)을 구축하고, 철도 인프라의 디지털 객체 정보를 생성·관리할 수 있는 통합 플랫폼입니다. 주요 기능으로는 5D 물량·공사비 산출 모듈, BIM 디지털 모델 생성 자동화 모듈(BIM Modeler), BIM 성과품 납품 및 품질 검토 모듈(CBC), 선형 4D 공정관리 모듈, 그리고 작업자 안전을 위한 BIM 기반 AR 통합현장관리 모듈(AROS) 등이 포함됩니다.

또 다른 성과로는 ‘개방형 철도 인프라 BIM 라이브러리 데이터센터 시스템’을 개발하여 BIM 라이브러리의 공유와 활용을 활성화하고, 사용자 중심의 다양한 기능을 구현했습니다.

이와 더불어, 국가철도공단의 업무 프로세스를 반영한 ‘철도 인프라 BIM 적용지침(2023)’을 개발하여 현장에 적용 중이며, 전문가 자문과 설계업체, 발주처 등의 의견을 바탕으로 ‘철도 BIM 설계대가 기준(2023. 9. 4, 국토부 행정 예고)’을 마련해 BIM 기술의 확산을 위한 기반을 다졌습니다.



2 기술 수준

본 연구를 통해 철도 인프라 BIM 통합 운영을 위한 주요 기술 수준을 선진국 수준으로 끌어올리는 것을 목표로 하고 있습니다. 연구 초기인 2020년에는 이 분야의 기술 수준이 선진국 대비 30~50%에 불과했지만, 연구개발이 종료되는 2024년에는 미국, 영국, 싱가포르 등 기술 선진국들과 견줄 수 있는 수준의 기술을 확보할 수 있을 것입니다.

주요 분야 기술 수준 목표		
분야	연구초기(2020)	2023~2024
BIM 통합 운영 시스템	국내사례 없음	100(영국 NBS)
철도 인프라 BIM 디지털모델 표준유형	30(미국/BIM FORUM)	75(미국/BIM FORUM)
선형 4D 공정관리 기술	50 (미국/Autodesk)	70 (미국/Autodesk)
시공단계 BIM 기술	30 (싱가포르)	85 (싱가포르)
BIM 디지털 모델 생성 자동화 기술	국내 사례 없음	설계단계 활용
5D 물량/공사비 산출 기술	국내 사례 없음	시공현장에서 활용
BIM 품질 검토 기술	국내 사례 없음	설계단계 활용

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요?
그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

1 성공요인

대형 국가 R&D 과제의 성공은 우수한 연구진을 구성하는 것에서 시작됩니다. 본 연구과제는 발주처인

국가철도공단을 비롯해 국내 최고 수준의 시공사, 설계사, 그리고 BIM 전문회사 등으로 구성된 연구진이 컨소시엄을 이루어 수행했습니다. 연구진은 연 1회의 워크숍과 성과 및 진도 관리를 위한 월 1회의 공정회의를 통해 프로젝트를 체계적으로 관리했습니다. 또한, 현안과 인터페이스 문제를 해결하기 위해 수시로 만나 협의를 진행했으며, 이러한 과정에서 여러 문제를 사전에 해결할 수 있었습니다. 이러한 체계적인 접근이 본 과제 성공 요인이라고 생각합니다.

2 장애요인

연구 초기에는 철도 분야에서 BIM에 대한 경험이 부족하고 인식도 낮아 여러 어려움이 있었습니다. 또한, 원래 시범사업 대상지였던 '대전북연결선 제2공구 사업'의 실시계획 승인이 지연되면서, 시범사업 대상을 '월곶-판교 복선전철 건설사업 6공구'로 변경해야 하는 시행착오도 겪었습니다.

3 극복방법

국가철도공단은 국토교통부와 함께 시범사업 대상지 선정부터 연구 성과의 성능 검증까지 여러 방면에서 적극적으로 협조해 주었습니다. 또한, 국내 최고 수준의 설계 및 시공사들이 참여하면서 철도사업 전반에 걸친 개선사항을 도출할 수 있었고, 이를 BIM으로 전환하는 다양한 연구 아이টে를 발굴할 수 있었습니다.



월곶-판교 1공구 리스크 관리 모델

월곶-판교 6공구 리스크 관리 모델

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

'철도 인프라 BIM 통합 운영 시스템'은 국가철도공단의 기존 사업관리 시스템과의 호환성을 확보하여, 향후 단계적으로 전환할 수 있도록 개발되었습니다. 이 시스템은 보안 등 공공 인프라의 특성을 반영했으며, 철도 인프라의 선형적 특성을 고려해 BIM 디지털 모델 생성 자동화 기술과 4D 기반 공정관리 기술을 개발해 도로 등 다른 분야와 차별화를 꾀했습니다. 또한, '철도 BIM 적용지침'은 BIM 기반 철도사업이 빠르게 정착할 수 있도록 효율적인 방법을 제공할 것입니다. 철도 인프라 BIM 디지털 모델의 일관성을 확보하고, 이를 통해 사업관리의 효율성을 높이기 위한 'LOD 표준(안)'은 국내외에서 유례가 없는 독창적인 기술입니다. 시공 단계에서 기성관리의 효율성과 객관성을 확보하기 위한 'BIM 기반 5D 물량/공사비 산출 모듈' 역시 국내외에서 실용화된 사례가 없는 기술 분야입니다. 이 외에도, IFC 표준을 기반으로 한 기술 개발을 통해 다양한 상업용 도구의 결과물을 수용할 수 있게 하여, 기술 활용성을 극대화했습니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

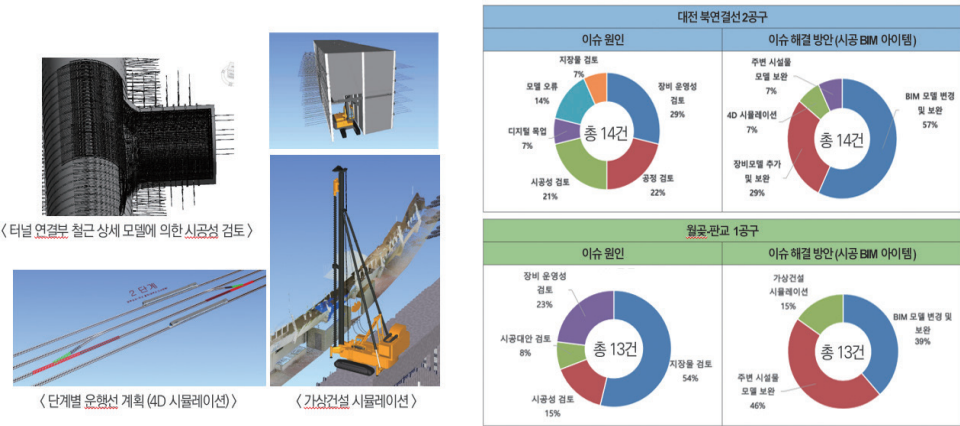
본 연구를 통해 개발된 '철도 BIM 통합 운영 시스템'은 2023년 월곶-판교 철도건설사업 1, 6공구에 성공적으로 시범 적용되었으며, 향후 이 시스템의 적용 범위는 단계적으로 확대될 예정입니다. 또한, '철도 BIM 적용지침'과 '철도설계 BIM 내역기준'이 고시되어, 철도 사업 전반에 BIM 기술이 도입될 것입니다. 국내 최초로 개발된 이 시스템은 기술 선진국 수준의 기술력 확보를 목표로 하며, 이는 정부가 선정한 12대 국가전략기술 중 인공지능 분야, 특히 효율적인 학습과 AI 인프라 고도화 분야에 해당해 관련 기술 발전에 크게 기여할 것입니다.

② 경제/사회적 파급효과

먼저, 본 연구를 통해 철도 인프라 관리의 패러다임을 혁신함으로써 막대한 사회적 비용 절감 효과가 기대됩니다. 미국에서는 1억 달러 규모의 공사에서 설계비 요율이 7~8%인 경우, 설계 단계에서 40%, 시공 단계에서 15%, 총 16.8%의 원가 절감 효과가 발생한 사례가 보고된 바 있습니다. 국가철도공단이 2012년에 투자 집행한 내역과 미국 오웬스브라더스의 콘크리트 패널 경사 디자인에 BIM을 도입한 사례를 바탕으로, 철도 인프라의 설계, 시공, 준공 등 프로세스 간 정보 공유 및 재활용을 통해 절감할 수 있는 예산을 산정한 결과, 연간 3,000억 원에 달할 것으로 예상됩니다.

시범사업 결과를 분석한 결과, 시공 단계에서 BIM 기반 사전 시뮬레이션을 통해 비용 절감, 리스크 감소, 대안 마련, 작업자 안전 확보 등에서 탁월한 효과를 얻을 수 있을 것으로 나타났습니다. 특히, BIM을 적용한 시공 단계에서는 시공성 검토 및 대안 마련, 장비 운용성 검토 및 보완, 지장물 검토 및 대안 마련 등에서 효과를 확인했습니다. 또한, 시공 중 사전 BIM 시뮬레이션을 통해 굴착 작업이나 가설 작업 같은 위험 리스크에 대비할 수 있어, 안전사고 예방과 건설비 절감 효과를 기대할 수 있습니다.

시공 리스크 감소 및 대안 마련



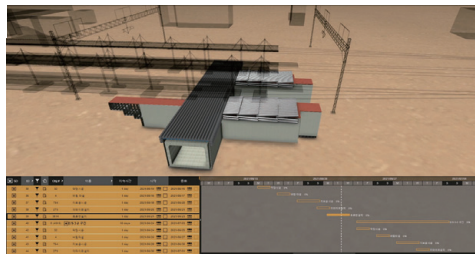
향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

현재 월곶-판교 복선전철사업 제1, 6공구를 대상으로 연구 성과 검증을 진행하고 있습니다. 발주처, 시공사, 설계사 간 협업을 위한 통합 운영 시스템을 구축하고, 실증을 위한 BIM ROOM도 운영하고 있습니다. 이를 통해 연구 성과의 완성도를 높이고, 철도사업 유지관리 분야의 디지털 전환을 위한 기반을 마련하고자 합니다. BIM 기반 통합 운영 시스템은 향후 철도 유지관리 분야의 디지털 전환에 핵심적인 역할을 할 것입니다. 이에 따라, 지속적인 연구 개발을 위한 예산 확보와 연구진 보강이 절실히 필요합니다. 앞으로 이를 위해 여러 연구진과 함께 협력하여 노력할 계획입니다.

현장 적용사례

RSBS 복층 배수성 저소음 포장 설치 현장



BIM 시뮬레이션 기반 비개착공법의 최적화



시범사업 운영 및 연구성과 검증을 실무진 협의

현장 목소리



어느새 4년 8개월의 연구 기간이 끝을 맞이하고 있습니다. 제한된 연구비와 시간 속에서 시공 및 유지관리 단계에 대한 연구를 충분히 진행하지 못한 점은 아쉬움으로 남습니다. 그럼에도 불구하고 훌륭한 연구진과 함께 최선을 다해 나름의 성과를 거둘 수 있었던 것에 자부심과 보람을 느낍니다. 본 과제에 참여해 훌륭한 성과를 이루어낸 모든 참여기관 연구진 분들께 진심으로 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

주요 연구개발 성과물

논문

SCI(E) 3건, 일반학술지 2건

지식재산권

- 특허등록 : 음성유도기 제어방법 및 시스템(10-2206129) 외 3건
- 소프트웨어 : 일위대가 DB 자동호출 모듈(C-2022-053413) 외 3건

12

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작

스마트 기술로 건설 현장의 안전성을 높이는 '임시구조물 스마트 안전 확보 기술'



사업명
스마트건설기술개발사업



과제명
임시구조물 스마트 안전 확보 기술 개발



연구기간
2020.04. ~ 2025.12.
* 5년 8개월



연구비
총 3,390백만 원
* 정부출연금 3,287백만 원/민간부담금 103백만 원



연구자
김형관 | 연세대학교 산학협력단 교수

연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

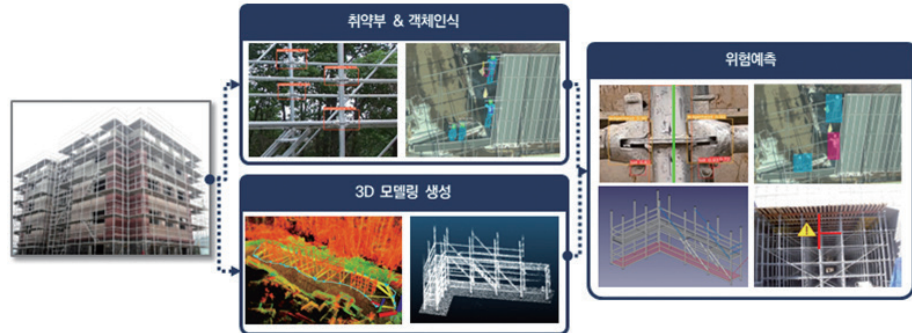
우리나라는 다양한 산업 분야에서 세계적인 경쟁력을 확보하며 선진국 대열에 진입했습니다. 그러나 산업현장의 안전 문제는 여전히 열악한 수준에 머물러 있는 상황입니다. 특히 건설 현장은 각종 장비와 기계가 많아 안전사고를 유발하는 위험 요소가 상당히 많아, 가장 많은 사망 사고가 발생하는 분야로 꼽히고 있습니다.

임시구조물은 건설 현장에서 특정 작업을 수행하거나 작업자의 안전을 확보하기 위해 일시적으로 설치하는 구조물입니다. 대표적인 예로는 작업자가 높은 곳에서 작업할 수 있도록 설치하는 비계, 콘크리트를 원하는 형태로 굳히기 위해 사용하는 거푸집 등이 있습니다. 이러한 임시구조물은 건설 현장에 필수적이지만, 동시에 인명 사고를 초래할 수 있는 위험 요소이기도 합니다. 따라서 임시구조물의 상태와 안전성을 점검하는 모니터링은 매우 중요합니다. 하지만 기존의 노동집약적인 점검 방식은 시간과 비용이 많이 소요된다는 단점이 있습니다.

국토교통부는 2020년부터 건설 산업에 첨단 기술을 도입하여 생산성과 안전성, 품질을 향상시키기 위한 '스마트 건설사업'을 추진하고 있으며, 임시구조물로 인한 재해를 25% 이상 줄이는 목표를 설정했습니다. 이에 우리 연구진은 다양한 로봇과 센서, 딥러닝 기반 기술을 활용한 임시구조물 안전 모니터링 기술을 개발하여 건설 산업의 안전을 높이기 위해 연구개발을 시작했습니다.

임시구조물의 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

- 임시구조물의 설치/해체/운영시의 안전성 검토 및 기술 관리는 영구시설물에 비해 상대적으로 소홀하게 수행되고 있음
- 임시구조물의 설치 해체 과정에서 작업 순서미준수, 오시공 등의 문제로 인해 건설 안전사고 발생하는 경우가 빈번함



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

건설 현장에서의 인명 사고 발생률을 낮추고 작업 효율성을 향상시키기 위해 임시구조물 모니터링을 자동화하는 기술을 개발하고, 이를 통해 글로벌 건설시장에서 선도적인 기술력을 확보하는 것도 목표로 하고 있습니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

본 연구진은 기존 임시구조물 모니터링 방식의 문제를 해결하기 위해 여러 혁신적인 기술을 개발했습니다. 첫째, 점군 데이터 기반 임시구조물 3차원 모델링 생성 기술을 개발했습니다. 이 기술은 사족보행 로봇과 LiDAR 센서를 사용하여 3차원 점군 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 임시 구조물(비계, 동바리 등)의 3차원 모델링을 자동으로 재구성합니다. 이 과정에서 작업자의 동선과 안전거리를 시뮬레이션하고, 균열, 변형, 부식 등의 안전 위험 요소를 정확하게 파악할 수 있어, 임시구조물의 상태를 보다 정확하게 관리하고 사고를 예방하는 데 큰 도움이 됩니다. 이러한 3차원 모델링 기술은 임시구조물의 안전 관리를 철저하게 수행할 수 있는 기반을 제공하며, 건설 현장에서의 실질적인 안전성을 높이는 데 기여합니다.

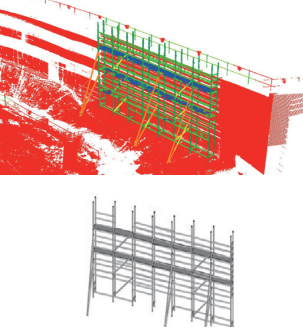
둘째, 드론 영상 기반 임시구조물 취약부 분석 및 위치 추정 기술을 개발했습니다. 이 기술은 드론을 이용하여 촬영한 영상 데이터를 분석하고, 임시구조물의 상태를 정밀하게 파악합니다. 드론 영상 데이터를 활용하면 눈으로는 쉽게 발견하기 어려운 작은 취약부를 신속하고 정확하게 분석할 수 있으며, 이로 인해 취약 부분의 위치를 정확하게 추정할 수 있습니다. 기존의 접촉 센서 기반 기술이나 육안 검사 방식에 비해

효율성이 높고, 문제를 신속히 해결할 수 있는 이점이 있습니다. 이를 통해 안전 관리자가 임시구조물의 상태를 보다 효과적으로 모니터링하고, 필요한 조치를 빠르게 취할 수 있습니다.

셋째, CCTV 영상 기반 실시간 작업자 안전 상태 분석 기술을 개발했습니다. 이 기술은 CCTV로 촬영된 영상을 분석하여 작업자의 안전 장구 착용 여부를 실시간으로 모니터링합니다. 작업자가 안전 장구를 제대로 착용하지 않을 경우, 시스템은 즉시 알람을 보내어 관리자가 신속하게 대응할 수 있도록 합니다. 이 기술은 인명사고를 예방하고 작업자의 안전을 확보하는 데 중요한 역할을 하며, 건설 현장에서 발생할 수 있는 위험 상황에 대해 즉각적으로 대응할 수 있는 시스템을 제공합니다.

이 기술들은 이미 국내 건설 현장에서 실증 실험을 통해 그 성능이 검증되었으며, 연구 결과는 건설 분야의 권위 있는 저널인 Automation in Construction에 게재되어 학문적으로도 인정받았습니다. 이러한 성과는 건설 산업의 안전성을 크게 향상시킬 수 있는 혁신적인 기술적 진전을 의미하며, 건설 현장에서의 작업 환경을 보다 안전하고 효율적으로 개선하는 데 기여할 것입니다.

- * **점군 데이터** : 3차원 공간에 위치한 특정 점들의 집합으로 3차원 공간 정보를 정밀하게 표현하는 데 유용
- * **LiDAR 센서** : 레이저를 목표물에 비춰 사물과의 거리나 지형지물 등을 감지하는 기술
- * **3차원 스캐너** : 높이, 깊이, 너비 등 물체의 표면 정보를 측정해 3차원 디지털 모델을 생성하는 장치

점군 데이터 기반 임시구조물 3차원 모델링 생성 기술	드론 영상 기반 임시구조물 취약부 분석 및 위치추정 기술	CCTV 영상 기반 실시간 작업자 안전 상태 분석 기술
		

2 기술 수준

본 연구에서 개발한 LiDAR를 이용한 3차원 모델링, 드론 영상 기반 취약부 분석, CCTV를 통한 작업자 안전 모니터링 기술은 연구 목표를 100% 달성하며 높은 기술 수준을 확보했습니다. 이 기술들은 국내뿐만 아니라 해외에서도 유사한 연구를 찾아보기 어려울 정도로 독보적이며, 앞으로 전 세계 스마트 건설 기술 분야를 선도할 것입니다.

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요?

그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

기술 개발의 성공은 총괄 주관기관의 적극적인 지원, 타 세부 연구기관 간의 긴밀한 협력, 그리고 연구단 내부의 철저한 회의와 토론 덕분이었습니다. 이러한 지원과 협력 덕분에 연구의 방향성을 명확히 할 수 있었고, 다양한 관점에서 문제를 해결하는 데 큰 도움이 되었습니다.

② 장애요인

현장 실증은 연구 개발 과정에서 필수적이지만, 적절한 테스트베드가 부족한 상황이었습니다. 이번 연구 개발 과정에서 가장 큰 난관은 실증을 위한 실제 건설 현장을 확보하는 일이었습니다. 이를 해결하기 위해 연구진은 건설사와 건설 현장의 연락처를 찾아 직접 연락을 취하는 등 실증 현장을 확보하기 위해 다방면으로 노력했습니다.

③ 극복방법

다행히 스마트건설사업단의 도움으로 이 문제를 해결할 수 있었습니다. 스마트건설사업단이 테스트베드 현장을 마련해주어 기술 검증 및 실증을 문제없이 진행할 수 있었으며, 그 결과를 다양한 현장에 적용하면서 기술을 계속 보완하고 개선해 나갔습니다. 이러한 과정을 통해 기술적 완성도를 높일 수 있었습니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

본 성과는 기존 육안 기반 모니터링의 한계를 보완하면서 더욱 향상된 성능을 자랑합니다. LiDAR 센서, 드론 영상, 그리고 CCTV를 활용하여 기존 방법에 비해 정확도와 효율성을 크게 높였으며, 3차원 모델링, 취약부 분석, 작업자 안전 모니터링의 자동화를 통해 인력 의존도를 줄였습니다. 이 기술을 다양한 건설 현장과 고위험 작업 현장에 적용한다면, 현장의 안전도를 한층 더 강화할 수 있을 것입니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

LiDAR 센서, 드론 영상, CCTV 등 첨단 기술을 활용한 임시구조물 모니터링은 건설 현장의 효율성을 크게 높일 것으로 기대됩니다. 이 기술은 데이터 처리 및 분석 능력을 강화하여 작업의 정밀도를 높이고, 위험 요소를 줄이는 데 중요한 역할을 할 것입니다. 이는 또한 관련 산업의 기술 기준을 한층 높이며, 시장의 요구에 부응하는 방향으로 기술 발전을 촉진할 것입니다.

2 경제/사회적 파급효과

이 기술은 건설 현장의 안전성을 높여 인명 사고를 비롯한 각종 사고의 발생 가능성을 줄이는 데 기여할 것입니다. 이는 건설 산업에 대한 사회적 신뢰를 높이고, 산업의 이미지를 개선하는 데 도움이 됩니다. 작업 환경의 안전성이 향상되면 노동자들의 만족도가 높아지며, 이는 심각한 노동력 부족 문제를 완화하는 효과로 이어질 것입니다.

장기적으로는 이 기술이 건설 프로젝트의 경제적 효율성을 높이는 데 기여할 것입니다. 자동화된 모니터링 시스템을 통해 사고로 인한 직·간접 비용을 줄이고, 현장의 다양한 문제 해결 및 유지 보수에 필요한 비용을 절감할 수 있습니다. 또한, 건설 현장의 규제 준수를 간소화하고, 법적 요건을 충족하기 위한 관리 부담을 줄이며, 감독 기관과의 관계를 강화하는 데도 도움이 될 것입니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

앞으로 여러 현장에서 기술 실증을 계속 진행하며, 지속적인 현장 적용과 테스트를 통해 기술의 실용성과 효과를 입증할 것입니다. 이를 통해 다양한 현장에서 안정적인 성능을 발휘할 수 있는 기반을 마련할 계획입니다. 또한, 기술 고도화와 추가 연구를 통해 기술의 범용성과 활용성을 확대해 나갈 것입니다.

K-테스트베드 현장 실증



사족보행 로봇을 이용한
임시구조물 데이터 수집



드론을 이용한
임시구조물 데이터 수집



CCTV를 이용한
임시구조물 데이터 수집

현장 목소리



실제 현장에서 기술을 실증하다 보면 연구와 시뮬레이션에서 예상했던 결과와는 다른 결과가 나올 때가 많습니다. 따라서 실제 현장을 경험하고 기술을 점검하는 과정은 매우 중요합니다. 우리 연구진은 다양한 건설 현장을 방문하여 직접 문제를 발견하고 해결하는 데 집중했습니다. 이 과정을 통해 본 기술의 필요성을 다시 한번 느꼈습니다.

안전 기술을 개발하는 일은 그 어느 때보다 신중하고 치밀해야 합니다. 우리 연구팀은 앞으로도 다양한 현장에서 경험을 쌓고, 이를 통해 기술의 완성도를 높이며 실용화를 목표로 하겠습니다. 이를 통해 안전한 건설 현장을 만드는 데 실질적으로 기여할 수 있도록 계속 노력하겠습니다.



실제 건설 현장을 찾아 개발한 안전 기술을 실증하는 연구진들

주요 연구개발 성과물

논문

SCI(E) 13건, 일반학술지 5건

지식재산권

- **특허출원** : 재난인프라 가중치를 이용하여 재난보고서로부터 인프라 피해 정보를 추출하는 재난정보 질의응답시스템 및 질의응답방법(10-2021-0127900) 외 6건
- **특허등록** : 이동체를 이용한 점군 데이터 수집 및 딥러닝 3차원 모델링 형성 시스템 및 모델링 형성 방법(10-2654087) 외 2건
- **소프트웨어** : 임시구조물 모델링 생성 모듈(C-2020-042227) 외 16건

13

국토교통 R&D 주요성과 심사 선정작 수소도시 및 주거부문 확산에 필요한 기술개발



사업명

수소 시범도시 인프라 기술개발



과제명

수소 시범도시 인프라 기술개발



연구기간

2020.04. ~ 2025.02.

* 4년 10개월



연구비

총 4,626백만 원

* 정부출연금 4,220백만 원/민간부담금 56백만 원,
수요처부담금 350백만 원



연구자

강경수 | 한국에너지기술연구원 수소연구단 책임연구원

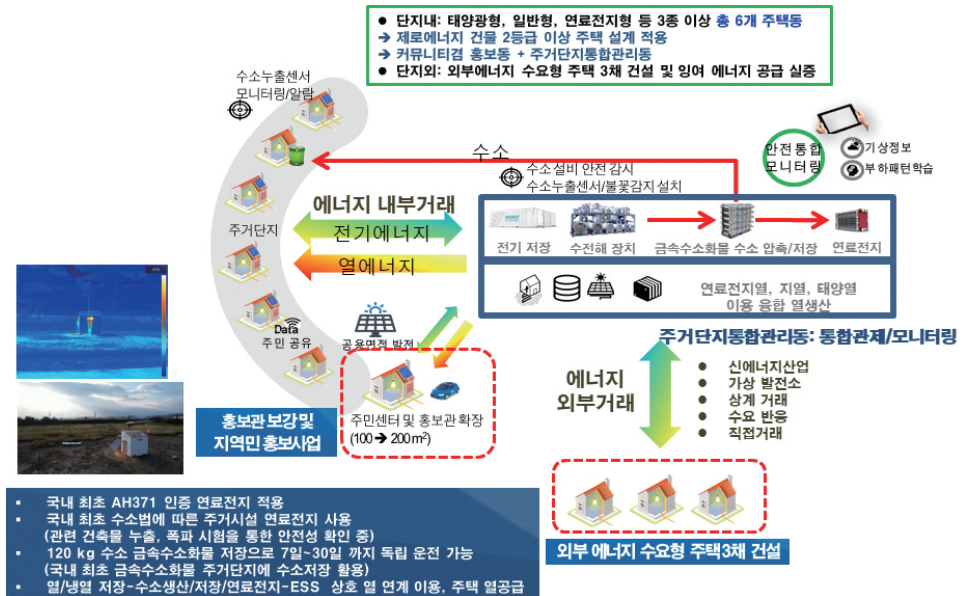
연구배경

연구개발을 시작한 배경을 말씀해주세요.

수소는 에너지 생성 과정에서 물만 발생하는 완벽하게 친환경적인 에너지원으로, 인류가 직면한 에너지 및 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 미래 청정에너지원으로 주목받고 있습니다. '2018년 혁신성장 전략투자 방향'에서 수소경제는 3대 전략투자 분야로 선정된 바 있습니다.

우리나라는 수소자동차 분야에서 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있지만, 수소 생산, 이동, 저장 등의 인프라는 아직 부족한 상황입니다. 현재 정부는 산업현장뿐만 아니라 주거 환경에서도 수소 기반 생활을 구현하기 위해 수소 시범 도시 사업을 추진 중입니다. 이에 본 연구진은 건축 및 주거 부문에 수소 에너지와 제로 에너지 건물을 통한 고부가가치화 및 미래 에너지 환경에 대응하기 위한 기술 개발에 착수하였습니다.

수소시범도시 인프라 기술 개발의 에너지 생산, 저장, 분배 개념도



연구목표

연구개발의 목표는 무엇인가요?

주거 부문의 에너지 프로슈머로 변화를 촉진하고, 주거 부문에서 수소에너지를 확산시키기 위한 기술 개발, 제도적 보완 검토, 비즈니스 모델 개발을 목표로 하고 있습니다. '프로슈머'란 생산자(producer)와 소비자(consumer)의 합성어로, 수소 에너지 프로슈머 주택은 에너지를 소비하면서 동시에 생산하는 시스템을 의미합니다.

성과개요

연구성과는 무엇이고 기술 수준은 어느 정도인가요?

① 성과소개

수소 에너지를 주거 단지에서 활용하기 위해서는 효율성, 안전성, 그리고 수용성을 확보해야 합니다. 본 연구진은 이러한 요구를 충족하기 위해 수소를 안전하게 저장하고 활용할 수 있는 고체 수소 저장 기술과 압축 기술 그리고 고효율의 수소 전용 연료전지 기술을 개발했습니다.

고체 수소 저장 기술은 수소를 고체 형태의 수소저장합금에 저장하거나, 수소저장합금의 특성을 활용하여 수소를 압축하는 방법을 사용합니다. 이 기술은 낮은 압력에서 수소를 저장하고, 수소 방출 시 열을 흡수하는 특성 덕분에 더욱 안전하며, 수소 누출 속도가 고압 탱크에 비해 느려서 주거 지역에 적합합니다.

연구를 통해 수소 전용 연료전지뿐만 아니라 도시가스와 수소를 혼합하여 사용할 수 있는 연료전지 시스템도 개발했습니다. 이 혼합 연료전지 시스템은 도시가스 연료전지에 수소를 혼합해 사용하는

방식으로, 세계 최초로 개발된 기술입니다. 이를 통해 기존 연료전지의 활용도를 높이고, 기존 설비를 계속 사용할 수 있게 되었습니다.

또한, 연구진은 친환경 건축물과 신재생 에너지, 수소 에너지를 통합하여 운영할 수 있는 시스템을 개발했습니다. 이 시스템은 태양열, 지열 히트펌프, 연료전지 폐열을 활용하여 생산한 온수를 잘 단열된 주택에 공급하여 비교적 낮은 온도로 난방과 급탕을 가능하게 합니다. 주택에서 생산된 잉여 에너지는 지열 히트펌프를 이용해 열에너지로 저장하거나, 배터리에 전기에너지로 저장할 수 있으며, 장기적으로는 수소로 변환해 저장할 수 있습니다. 전기에너지로 변환된 잉여 에너지를 외부로 송전함으로써 주거 단지가 단순히 에너지를 소비할 뿐만 아니라 에너지를 생산하고 판매하는 프로슈머로 기능하게 합니다.

연구진은 건물 유형이나 소비 패턴에 따라 수소 에너지 공급 시스템을 모델링하고 설계하는 기술도 확보했습니다. 이 기술은 장기적으로 지구 단위 적용에 활용될 수 있습니다.

또한, 연구진은 수소 연료전지실에서 수소 누출 사고가 발생했을 때, 배관의 압력과 환기 조건에 따라 위험도를 시뮬레이션하고 폭파 실험을 통해 위험성을 평가했습니다. 이 실험 데이터를 바탕으로 수소 주택 연료전지 전용실의 설계 기준안을 국가건설기준으로 제안했습니다. 이와 함께, 연구진은 지자체의 수소 관련 조례 제정과 산업부 및 국토부의 수소설비기준 제정에 참여하여, 수소의 안전성과 효과성에 대한 국민들의 수용성을 높이는 데 기여하고 있습니다.

알칼라인 수전해 장치



* KOH 용액을 전해질로 사용하여 물을 분해하고 수소를 생산하는 알칼라인 수전해 장치의 모습

수소정제장치

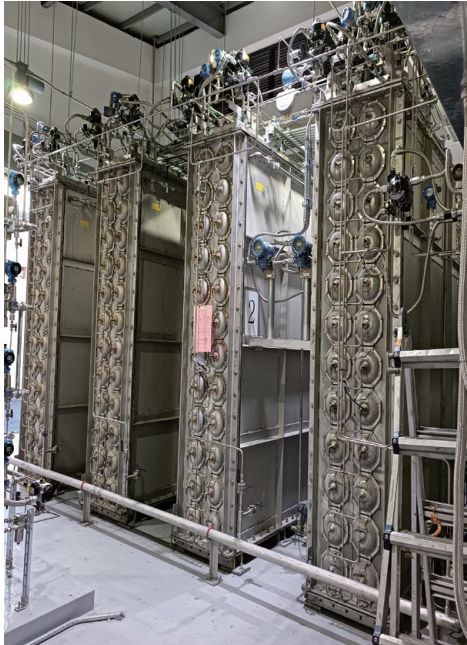


* 수전해 장치에서 생산된 수소에서 불순물인 소량의 산소와 수분을 제거하는 수소정제 장치의 모습

2 기술수준

연구진은 주거단지에 120kg 용량의 고체 수소화물 저장 시스템을 설치하였으며, 이는 국내 최초이자 최대 규모의 정치형(고정형) 시스템입니다. 또한, 비기계식 수소 압축 기술을 국내 최초로 도입하여 최대 규모로 구현했습니다. 해외에서는 미국 에너지부(DOE)의 지원을 받아 소칼가스(SoCalGas)사가 260kg 용량의 시스템 2개를 설치한 사례가 있습니다.

또한, 본 연구진은 수소와 도시가스를 동시에 사용할 수 있는 연료 스위칭 및 동시 사용 연료전지 시스템을 세계 최초로 개발했습니다. 뿐만 아니라 건물용 수소전용 고분자 전해질 연료전지 시스템에서도 뛰어난 성과를 거두었습니다. 10kW 용량의 이 연료전지로 전기 효율 51%와 종합 효율 99%를 기록하여 동종 제품 중에서 국내 최고 수준의 고효율을 달성하였습니다.



* 낮은 압력에서 안전하게 수소를 저장하는 수소저장합금 수소저장시스템(장보고 잠수함 적용)



* 수소저장합금의 온도에 따른 수소 저장 및 방출 특성을 이용하여 수소를 저압에서 흡수하고 고압에서 방출하는 수소저장합금 압축기의 모습으로 기계적인 움직임이 없어 소음이 없고 안전함

성과창출 과정

연구 과정에서 어려운 점은 없으셨나요? 그 어려움은 어떻게 극복하셨고 어떻게 성공할 수 있으셨나요?

① 성공요인

이번 성과는 수소에너지, 신재생에너지(지열 히트펌프, 태양열, 태양광), 친환경 건축 및 설계 기술, 안전 기술, 에너지 관리 및 ICT 기술 등 다양한 기술이 융합된 결과입니다. 이러한 융합을 위해 관련 기업과 기관의 적극적인 참여가 필수적이었습니다. 이번 연구 개발에는 수소에너지 분야의 국내 최고 전문 기업인 EMK, 원일TNI, 두산퓨얼셀파워와 에너지 관리 및 ICT 분야의 전문기관인 한전기술, 고려대가 참여했습니다. 또한, 안전과 건설 기준 분야에서는 한국가스안전공사와 한국건설기술연구원이 함께했습니다. 친환경

주택단지의 설계와 건설에는 LH공사, 가비, 넥셀이 참여해 홍보와 온실가스 거래에 대한 전문성을 더했습니다.

특히, 강원도와 삼척시의 공무원들과 시민들의 적극적인 협조와 수용성이 이번 성과의 가장 중요한 성공 요인으로 작용했다고 생각합니다.

② 장애요인

연구개발을 시작하자마자 코로나 팬데믹이 발생했고, 이후 러시아-우크라이나 전쟁, 건축 기자재 가격 상승, 물류 대란 등이 어어졌습니다. 또한, 기후변화로 인한 긴 장마와 폭염까지 겹쳐 건축 기간이 1년 이상 지체되면서 많은 어려움을 겪었습니다. 특히, 주택 단지에 수소를 비롯한 다양한 신재생에너지 관련 시설을 설치해야 했기 때문에 인허가 과정에서도 시간이 많이 소요되었습니다.

③ 극복방법

장애가 닥칠 때마다, 기술적인 문제는 참여 기관들의 협조 덕분에 극복할 수 있었고, 현재도 계속해서 해결해 나가고 있습니다. 인허가 문제에 대해서는 국토교통과학기술진흥원의 협조를 받아, 현행 제도 내에서 가능한 부분은 진행하고, 불가능한 부분은 연구 내용을 변경하여 우회하는 방법을 선택했습니다. 또한, 지자체의 협조를 받아 민원, 건축, 전기, 소방 등의 분야에서 문제를 해결하고 신속한 인허가 처리를 받을 수 있었습니다. 이 자리를 빌려 국토교통과학기술진흥원 SOC플랜트사업실과 삼척시 에너지과 관계자분들께 다시 한번 깊은 감사를 드립니다.

연구성과의 차별성

연구성과는 기존의 기술과 비교할 때 어떤 차별점이 있나요?

본 연구진이 개발한 금속수소화물 저장 시스템과 수소연료전지는 한국가스안전공사의 제조 인허가를 비롯한 모든 수소 및 고압가스 안전 인허가를 받아 바로 적용할 수 있을 정도로 높은 완성도를 자랑합니다. 수전해 및 금속수소화물 압축기도 한국가스안전공사의 고압가스 일반제조시설로서 기술 검토, 중간 검사, 완성 검사를 완료하여 설비 운전을 진행 중입니다.

또한, 국내 최초로 개발된 120kg급의 수소저장합금 수소저장시스템은 국내 최대 용량을 자랑하며, 금속수소화물 압축기 시스템(Max. 5 Nm³/h at 20 barg) 역시 국내 최초로 개발하여 적용했습니다. 한국가스안전공사의 고정형 연료전지 제조 시설·기술·검사 기준을 모두 충족하는 수소 전용 연료전지를 개발하여 인증받았고, 이를 주택단지에 적용한 것도 국내 최초입니다. 이 연료전지는 종합효율이 99%에 달하는 초고효율 설비입니다.

이 연구의 차별점은 지열, 태양열, 연료전지열을 각각 단독으로 적용하거나 두 가지를 혼합하여 사용했던 기존 연료전지와 달리, 전기와 열에너지의 생산과 소비에 따라 지열, 태양열, 연료전지열을 함께 저장하고 융합 활용할 수 있도록 개발한 것입니다.

연구성과의 파급효과

연구성과는 어떤 파급효과를 기대할 수 있나요?

① 기술부문

이번 연구를 통해 수소 기술과 재생 에너지를 포함한 친환경 건축 기술을 통합적으로 검증하고, 이를 통해 수용성을 확대할 수 있을 것으로 기대됩니다. 개발된 기술은 국내 도시 재생, 신규 도시 개발, 그리고 해외 수소 주거 건설 사업에도 적용 가능할 것으로 보입니다.

또한, 금속수소화물 저장, 압축, 그리고 수소 전용 연료전지의 기술 수준을 한층 향상시켰으므로, 앞으로 최적화와 운영기술의 추가적인 발전도 기대됩니다. 특히, 수전해, 저장, 활용 기술은 인허가가 어려운 분야이지만 이번 연구를 통해 인허가 절차를 확립함으로써, 앞으로 관련 기술 개발이 더욱 촉진될 것입니다. 이 연구는 수소 에너지를 주거 시설에 활용하는 중요한 참조 사례를 제시함으로써, 미래의 수소 에너지 도시 구축에 중요한 촉매제가 될 것으로 기대됩니다.

② 경제/사회적 파급효과

주거 부문에서 수소 에너지 프로슈머 주택을 구축함으로써 전력 계통에 대한 투자와 예비력 투자를 줄일 수 있을 것으로 예상됩니다. 이는 에너지를 단순히 소비하는 것이 아니라 생산까지 하는 주체로 전환되어, 기존의 '공급자 중심'에서 '도시 기반의 수요-공급 밸류체인 중심'으로 변화하는 것을 뜻합니다.

또한 Home to Home(P2P) 에너지 거래 기술을 확보함으로써, 단순한 제로에너지 하우스를 넘어 플러스에너지 하우스로 발전할 수 있을 것으로 보입니다. 이 기술은 앞으로 전력 중개 사업이나 개인 간의 에너지 거래 등 새로운 비즈니스 모델로 이어질 가능성이 큼니다.

연구진이 개발한 기술은 수소 도시의 확장을 돕고, 친환경 주택, 통합 열설비, 수소 설비 산업을 확대하며, 관련 일자리 창출에도 기여할 것입니다. 또한, 국산화된 기술은 후속 시범 도시 구축 사업에도 연계되어 추진될 예정입니다. 더 나아가 한국-UAE 수소 도시 협력 MOU(국토교통부-국무부)와 같은 해외 수출형 사업 모델로도 활용되어, 해외의 신재생 에너지를 활용한 수소 주택 사업에도 진출할 계획입니다.

이 연구는 다양한 건물에 대한 최적의 설계 기준을 제시하여, 제로 에너지 빌딩과 건물 에너지 관리 기술 융복합 플랫폼 구축, 그리고 제로 에너지 빌딩 산업 창출에도 기여할 것입니다. 또한 도심 내 수소 이용 시설 간 안전 거리 적용 방안을 제시하고, 수소 기반 인프라의 안전 기술, 안전 기준, 인증 제도 마련에도 기여할 것입니다.

환경적인 측면에서도 긍정적인 영향을 미칠 것입니다. 연구진이 개발한 수소 에너지 분산 발전과 재생 에너지 다중 열원 활용 열관리 시스템은 에너지 자립률과 효율을 높이며, 온실가스 및 미세먼지 저감에 기여할 것입니다. 수소 에너지의 안전성 확보를 위해 리빙랩을 통해 주민들의 수용성을 개선하고, 수소 도시 확장에도 기여할 것으로 예상됩니다. 또한, 오지 등 지역을 대상으로 한 친환경 수소 도시 개발에도 널리 활용될 것으로 보입니다.

향후계획

앞으로의 연구 계획에 대해 말씀해주세요.

삼척의 실증 설비를 지속적으로 운영하면서, 설비의 용량과 운영 방식을 최적화할 계획입니다. 또한, 주거자의 만족도 개선을 위한 연구를 통해, 미래 수소 도시에 실증 단지와 유사한 에너지 생산, 저장, 활용 설비를 도입할 경우 적절한 용량 설정과 운영 최적화 기술을 적용해 나갈 것입니다.

이러한 검증과 기술 확대를 통해 해외 수출형 사업 모델로도 활용할 예정이며, 수소저장합금 활용 저장 기술과 압축 기술을 고도화하여 관련 기술의 상용화를 앞당길 것입니다. 또한, 이번 성과에 사용된 알칼라인 수전해 전극, 스택, 시스템 기술, 그리고 정제기 기술 등을 대형화, 저가화, 고효율화하여 국내 그린 수소 생산 및 해외 수소 생산 기지에도 적용할 수 있도록 노력할 것입니다.

현장 적용사례

수소 타운하우스 실증단지 드론 촬영 사진



* 삼척시 교동 265-1번지 일원에 위치한 수소 타운하우스 실증단지('23.12월 건축 완료)의 드론 촬영 사진으로, '24.6월에 한국가스안전공사의 완성검사 필증을 받아 설비 시운전이 가능한 상태



* 삼척 수소 타운하우스 실증단지 내 통합관리동에서 한국 가스안전공사가 수소설비에 대하여 완성검사를 수행하는 모습

현장 목소리



본 사업의 수소 설비는 국내 수소 충전소 등과 비교해 용량은 작지만, 복잡성이 훨씬 높아 설치에 어려움이 많았습니다. 최초 완성검사에서 많은 지적사항이 발생하여 연구 참가 기관들이 혼란과 절망을 겪었으나, 문제를 하나씩 해결하는 방식으로 접근했습니다. 추가 공사와 서류 준비를 통해 1개월 만에 완성검사를 완료할 수 있었습니다.

이 사업에서는 그린 수소의 매립 배관을 통한 주택 직접 사용, 수소저장합금 기술을 활용한 저장 및 압축, 수소 연료전지와 도시가스 연료전지를 동일 장소에 설치, BESS(배터리 에너지 저장 시스템)와 연료전지, 태양광 등 다양한 신재생 에너지원을 동시에 적용하는 등 수소법 제정 이후 '국내 최초'의 시도가 많았습니다. 이러한 어려움을 극복하며, 우리 연구단이 남긴 이정표가 수소를 포함한 다양한 에너지를 도시에 활용하는 데 도움이 될 것이라는 생각에 큰 보람을 느낍니다.

주요 연구개발 성과물

논문	SCI(E) 6건, 일반학술지 3건
지식재산권	- 특허출원 : 보호막을 포함하는 다공성 수전해 촉매 및 이를 이용한 수소 생성 방법(10-2023-0043481) 1건 - 특허등록 : 다입력 다출력 에너지 인터린커(10-2470585) 외 3건 - 소프트웨어 : 엑셀기반 MW급 수전해 기반 수소생산 시스템의 경제성 평가 프로그램(C-2020-039606) 외 6건
현장시험 및 검증	열화학식 압축 시스템 공인시험 외 3건
기술실시(이전)	수소 흡탈착 특성의 정밀 측정에 관한 노하우 외 2건(기술료 총 3억 원)
포상 및 수상실적	- 2022년 기후변화대응 대표기술 10선 과학기술정보통신부 장관 표창 - 2022년 국토교통기술대전 우수연구자 국토교통부 장관 표창

2024 국토교통 R&D 주요성과 사례집

발 행 인 박승기

발 행 처 국토교통과학기술진흥원

발 행 일 2024년 9월

펴 낸 곳 (사)한국지식서비스연구원

디 자 인 주식회사 동진문화사

이 책에 수록된 내용 중 문의사항이 있으시면 아래로 연락주시기 바랍니다.

국토교통과학기술진흥원

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

TEL 031-389-6413 FAX 031-381-4994

* 이 책의 판권은 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

2024
국토교통
R & D
주요성과
사 례 집



국토교통부



국토교통
과학기술진흥원

국토교통과학기술진흥원

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

TEL 031-389-6413

FAX 031-381-4994