
「성과확산형 국토교통 국제협력 연구개발사업」

단계평가 보고서

**- [05] 가변형 탄소나노튜브 패치 센서를 이용한
교량 구조물 이상 거동 감지 시스템 -**

2023. 12

[주]이엔지소프트

< 목 차 >

1장. 개요	1
1절. 추진배경 및 목적	1
2절. 조사 범위	3
1. 공간적 범위	3
2. 시간적 범위	3
3. 기술적 범위	4
3절. 조사 내용	5
4절. 조사 방법	5
 2장. 현지 수요 예측 및 현지 여건 분석의 구체성	 7
1절. 타겟 시장의 구체성	1
1. 타겟 시장의 식별	7
2. 타겟 시장의 규모 파악	12
2절. 기술사업화 관련 법제도 환경 분석의 구체성	16
1. 기술개발 및 실증 관련 법·제도 분석	16
2. 사업화 관련 법·제도 분석	21
3절. 기술 실증 및 사업화 가능성 분석의 구체성	23
1. 현지 사업화를 위한 정책환경 분석	23
2. 수요자 및 이해관계자 분석	24
3. 경쟁기술 분석	25
4. 국내 기술의 준비도	29
 3장. 기술개발 및 현지 실증계획의 적절성	 32
1절. 기술개발 계획의 적절성	32
1. 목표의 적절성	32
2. 추진절차의 구체성	34
3. 산출물 및 성능평가 방법의 적절성	55
2절. 실증 전략의 적절성	39
1. 기술적/사업적으로 예상되는 이슈에 대한 대응절차 및 계획 여부	39
2. 실증부지 마련 및 관련 인프라 확보방안의 적절성	49
3. 실증추진을 위한 네트워크의 적절성	55

4장. 해외 시장진출 및 사업화 계획의 적절성	59
1절. 사업화 추진상의 위험요인 및 대응방안 수립의 적절성	59
1. 사업화 추진 상 위험요인 식별의 적절성	59
2. 위험요인 대응방안 수립 및 반영활동의 적절성	60
2절. 사업화 준비활동의 적절성	61
1. 사업화 로드맵 수립	61
2. 사업화 파트너 확보 및 이해관계 조정의 적절성	63
3. 재원확보 및 마케팅 계획의 적절성	63
5장. 추진체계의 적절성	65
1절. 추진체계 R&R의 적절성	65
1. 국내외 참여기관의 역량 및 명확한 R&R 구분	65
2. R&R이행을 위한 수단 및 계약관계 검토	71
2절. 사업 관리 거버넌스의 적절성	72
1. 사업관리 거버넌스 구체화	72
2. 연구개발 성과의 소유권 배분계획의 적절성	72
6장. 리스크 분석의 적절성	73
1절. 위험 식별 - 위험도 평가의 적절성	73
1. 위험 식별의 적절성	73
2. 위험도 평가의 적절성	78
2절. 위험요인 대응 및 반영 계획의 적절성	81
1. 위험요인 대응방안의 적절성	81
2. 위험요인 대응방안 반영 계획의 적절성	84
7장. 사업 타당성 분석의 적절성	85
1절. 기술적 타당성 분석의 적절성	85
2절. 경제적 타당성 분석의 적절성	87
8장. 결론	99
1절. 결언	99
2절. 향후 계획	100

1장. 개요

1절. 추진배경 및 목적

□ 연구개발과제 추진배경

○ 현지 기술 적용 필요성

- 도시화 시점이 빠른 미국, 일본 및 유럽에서는 교량 시설물 노후화에 따른 국가 차원의 체계적인 보수·보강 및 유지관리 투자 확대 등 전문적으로 교량을 관리 중임
- 본 사업의 대상인 미국은 “교통 분야 인프라 발전을 위한 정책 및 투자 방안을 위한 법안”이 통과됨에 따라 주 및 지방 정부의 자체 유지 관리 프로그램 개발 및 수행 책임이 강화되어 계측 관련 시장의 확대가 예상됨

○ 기술개발 필요성

- 교량의 안전진단을 위한 계측에 사용되는 전통적인 기술은 유선 연결 기반 다수의 센서가 설치되어 변형률, 가속도, 기울기 등 구조물의 다양한 물리량을 측정하는 방식임
- 설치 및 관리의 복잡성과 낮은 내구성 등을 극복하기 위해 IoT 기반 계측 및 진단 기술은 적극적으로 연구 및 개발되고 있으며, 일부 기술은 실제 현장에 적용되고 있음
- 미국에 소재한 “AECOM Technical Services Inc.(이하 AECOM)”는 다양한 시설 인프라 전반에 대한 컨설팅을 주 업무로 하는 글로벌 기업으로, 미국뿐만 아니라 전 세계에서 교량 유지관리 관련 사업을 수행하는 기관임
- 교량 유지관리를 위해 적용하는 다양한 종류의 센서에는 균열 게이지와 같은 이미 발생한 균열을 모니터링할 수 있게 하는 센서가 포함되나 부착 위치 또는 현장 상황에 따라 기존 방식의 한계를 느끼고 있음
- 기존 방식을 적용 한계를 극복할 수 있는 기술로서 당 연구기관에서 보유 중인 탄소 나노튜브 복합소재를 활용한 계측 기술을 소개하였고, 설치부의 형태 또는 크기에 따라 센서 크기를 자유롭게 조절하여 설치할 수 있는 기술개발에 대한 요구가 있음

○ 수요처의 기술 활용 의지

- 기존 탄소나노튜브 복합소재 센서를 응용하여 수요처인 AECOM에서 요구하는 자유롭게 크기 조절이 가능한 센서 및 모니터링 시스템의 개발 및 현지 실증 예정임

- 실증시험을 위한 교량은 AECOM에서 수주한 주 정부의 교량 유지관리 및 계측 프로젝트에서 제공할 예정이며, 개발된 결과물을 AECOM에서 향후 수주할 프로젝트에 적용하여 기존 계측 시스템을 보완하는데 적용하는 것으로 협의함

○ 현지 시장에서의 매출 가능성

- 해외실증지원기관이며 현지 수요처인 AECOM은 미국 전역 및 전 세계에서 인프라 시설의 유지관리 프로젝트를 수행하는 글로벌 기업으로 개발된 제품의 초기 적용처로서 충분한 Track Record를 확보하여 수요처 확대를 추진할 것임
- 대상국 현지 연락사무소 설치 및 마케팅을 통해 다양한 교량 유지관리 업체에 제품을 소개하며 적용할 수 있는 시장 확대를 통해 매출 증대를 기대함

□ 연구개발과제 목적

○ 최종 목적

- 가변형 탄소나노튜브 패치 센서를 이용한 교량 구조물 이상 거동 감지 시스템 현지 실증 및 사업화

○ 단계별 목적

- 1단계(타당성 조사 단계)

- 대상국에서의 사업성 검토 / 수요 조사 및 수요처 요구사항 수집
- 현지 사업화 관련 기술적/경제적 타당성 및 리스크 분석
- 고도화 방안, 실증시험 기획안 및 사업화 방안 도출

- 2단계(기술 실증 단계)

- 수요처의 요구사항 및 대상국 규제, 시장 및 환경 여건을 고려한 기술 고도화
- 가변형 CNT 패치 센서의 최적화 및 대량 생산 기술 도출
- 실증시험을 위한 계측 체계 구축 및 실증시험 상세계획 수립
- 가변형 CNT 패치 센서 및 계측 시스템 시제품 생산
- 1차 실증시험을 통해 설치 및 운용 간에 발생하는 문제점 또는 요구사항을 수집

- 도출된 문제점과 요구사항 기반 센서 및 계측 시스템 고도화, 안정화 및 최적화
- 개선된 센서와 계측 시스템을 적용한 2차 실증시험을 통해 신뢰성 검증
- 3단계(사업화 단계)
 - 현지 사업화를 위한 마케팅 및 사업화 전략 수립
 - 현지화 및 실증시험을 통해 발생한 지식재산권을 바탕으로 사업화 추진
 - 센서 및 계측 시스템 대량 생산 체계 구축
 - 대상국에서 확보한 Track Record를 바탕으로 사업 확대 전략 수립 및 추진

2절. 조사 범위

1. 공간적 범위

☐ 현지화 및 실증 예정 대상국

- 미국

☐ 대상국 환경 및 선정 배경

- 빠르게 진행된 도시화로 인프라 시설의 노후화가 상당히 진행된 대상국 미국은 현재 노후화된 교량이 매우 많으며, 이는 시간의 흐름에 따라 계속해서 가속화될 것임
- 2021년 조 바이든 행정부에서는 인프라 시설물 유지관리를 강화하기 위한 기반시설 투자 및 고용법을 발표하고 예산 투입 중임
- 주/도시의 교량 점검을 위한 주요 에이전시 중 하나인 AECOM이 해외실증지원기관으로 참여하여 실증 교량 제공 및 기술 적용을 위한 협의를 수행하고, 개발 이후 주요 수요처 및 활용처가 되어 안정적인 매출 및 Track Record 확보가 가능할 것임

2. 시간적 범위

☐ 현지화를 위한 기술개발

- 센서 및 계측 시스템 고도화 및 현지화 : 2024. 01. ~ 2026. 12.

☐ 탄소나노튜브 센서 및 이상 거동 감지 시스템 실증

- 실증시험(I) : 2024. 07. ~ 2025. 06.
- 실증시험(II) : 2025. 07. ~ 2026. 06.

☐ 가변형 탄소나노튜브 센서 기반 계측 및 모니터링 시스템 사업화

- 사업화 준비 및 예비 단계 : 2026. 06. ~ 2026. 12.
- 현지 사업화 및 매출 발생 : 2027. 01. ~ 2027. 12.

3. 기술적 범위

☐ 개발 목표

- 설치 환경에 따라 자유롭게 크기 조절이 가능하고 장기 모니터링을 위해 충분한 내구성이 확보된 탄소나노튜브 패치 센서
- 새로운 방식의 탄소나노튜브 패치 센서의 계측 및 분석 방법의 도출과 이를 적용한 계측장치를 포함한 모니터링 시스템

☐ 기술의 TRL

- 현재 국내 수준: TRL 7
 - 탄소나노튜브 복합재 패치 센서의 전기적 특성 및 전용 계측장치와 모니터링 시스템 프로토타입을 선행연구에서 개발하여 공인시험을 통해 신뢰성을 확보했고, 현장 적용을 통한 사업화를 통해 TRL 7단계를 확보함
- 현재 현지 수준: TRL 7
 - 1단계 연구 동안 미국 현지 실제 교량에서의 현장 평가를 통해 TRL 7단계 확보
- 목표 현지 수준: TRL 9
 - 기술 실증 과정을 통해 CNT 패치 센서 및 모니터링 시스템을 교량에 적용하여 실제 현장에서의 사용 가능성 검증과 예상 수요처를 통한 사업화를 통해 TRL 9 달성 예정

3절. 조사 내용

☐ 타겟 시장 선정

- 대상국의 현재 인프라(교량) 상태 및 심각성, 상황에 대한 대상국의 인지도, 향후 확산 방안을 고려하여 타겟 시장을 미국으로 선정함

☐ 시장 조사

- 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치 및 모니터링 시스템이 속해 있는 구조물 유지관리, 센서, 첨단소재, IoT 시장의 규모 및 전망을 조사함

☐ 법·제도 분석

- 미국의 교량 점검 및 모니터링 기술 관련 법·제도를 조사하고, 이 중 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치 및 모니터링 시스템이 영향을 받을 수 있는 부분을 조사함
- 추후 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치 및 모니터링 시스템을 대상국에서 사업화할 시 참고해야 할 법·제도를 조사함

☐ 기술 실증 및 사업화 가능성 분석

- 기술과 연계되는 대상국의 정책환경을 조사하고, 현재 진행 중인 프로그램을 확인함
- 기술 이해관계자, 수요자, 활용자를 분석하고, 현지 유사 기술 및 경쟁제품을 조사함

4절. 조사 방법

☐ 타겟 시장 조사 방법

- 미국 교량 관련 연방기관에서 제공하는 문헌분석 및 미국 교량 대장 데이터베이스 분석

☐ 시장 조사 방법

- 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치 및 모니터링 시스템 관련 시장 현황/동향 분석

□ 기술 관련 법·제도 조사 방법

- 미국 교통 관련 연방기관 및 주기관에서 제공하는 프로그램 매뉴얼, 제도 또는 기준을 분석하고, 설립할 수 있는 법인/지사 및 등록 제도 조사

□ 기술 실증 및 사업화 가능성 조사 방법

- 미국 행정부에서 추진 중인 투자 프로그램 조사 및 교통 관련 연방기관 로드맵을 통하여 정책환경 분석
- 미국에 출원되어있는 유사 특허 및 현재 사업화가 완료된 경쟁제품을 조사하고, 기술 실증을 통한 개발 기술의 이해관계자와 수요자 정립
- 1단계 타당성 조사 기간 동안 미국 현지의 실제 교량에 대해 사전 기술 적용 시험을 하여 본 연구 기술의 미국 현지 실증 가능성을 확인하였음
- 현지 수요처와의 논의를 통해 기술 개선 방향 및 요구사항 등을 도출하였으며, 이를 기반으로 추후 사업화 가능성에 대해서도 토의함

2장. 현지 수요 예측 및 현지 여건 분석의 구체성

1절. 타겟 시장의 구체성

1. 타겟 시장의 식별

□ 타겟 시장: 미국 교량 유지관리 실태

- 빠르게 도시화가 진행된 미국은 현재 노후 교량이 매우 많으며, 시간 흐름에 따라 지속적으로 증가함
- 미국도로교통건설협회(American Road and Transportation Builders Association, ARTBA)에 따르면, 76,600여 개의 교체가 필요한 교량을 포함하여 약 222,000개 경간이 보수·보강이 필요하며, 전체 교체 및 유지보수를 위한 예산은 3,190억 달러가 예상됨
- 보수·보강이 필요한 교량의 누적 길이는 약 9,800킬로미터(6,100마일)이며, 운전자들이 이 교량들을 지나칠 때마다 위험에 노출됨
- 미국의 교량 안전 등급은 최하 0단계에서 최고 9단계로 나뉘는데, 전체 교량의 약 44%가 7등급(Good) 이상이고, 5등급~6등급(Fair)이 49.2%, 4등급(Poor) 이하 교량이 6.8%임

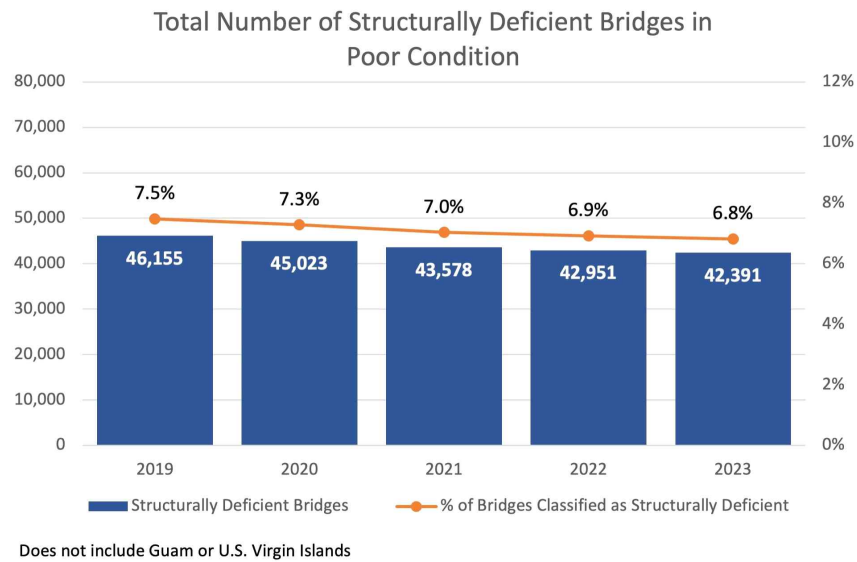
[미국 교량 대장 (U.S. Bridge Inventory) 교량 상태 변화 (ARTBA 2023)]

	2022	2023	Change 22 to 23	% Change 22 to 23
Good	276,282	275,093	-1,189	-0.4%
Fair	301,355	304,026	2,671	0.9%
Poor	42,951	42,391	-560	-1.3%
Total Number of Bridges	620,588	621,510	922	0.1%

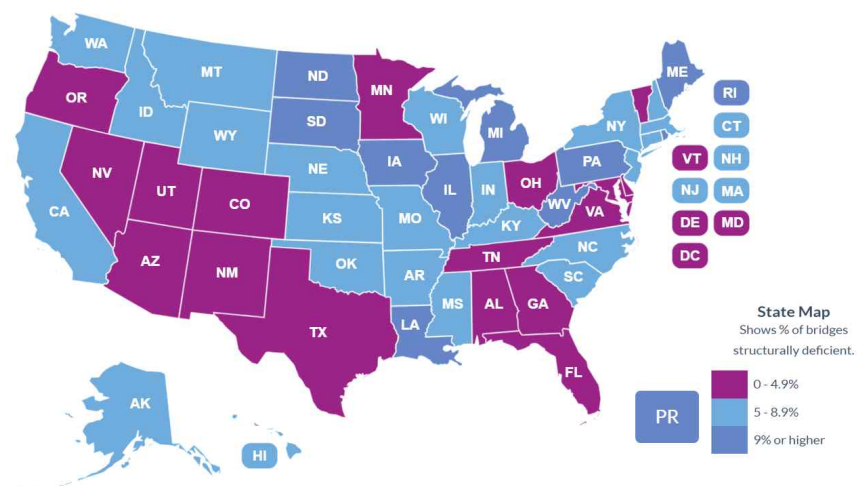
- 4등급 이하 교량은 약 42,400개가 존재하며, 현재 교량 유지보수 속도로는 교량의 교체 및 유지보수가 완료되기까지 약 75년이 걸릴 것으로 예상함

○ 교량 동향 및 예측

- 4등급 이하 교량의 수는 2022년 대비 2023년 560개 감소하였고, 2019년과 비교하면 4등급 이하 교량의 비율이 7.5%에서 6.8%로 감소하였으며, 7등급 이상의 교량 수도 2022년 대비 약 1,200개 감소했는데, 이는 노후화에 따른 교량 상태 악화에 따라 교량 등급이 낮아진 것이 원인으로 보이며, 향후 노후화 속도가 유지관리 속도보다 빠를 것으로 전망됨



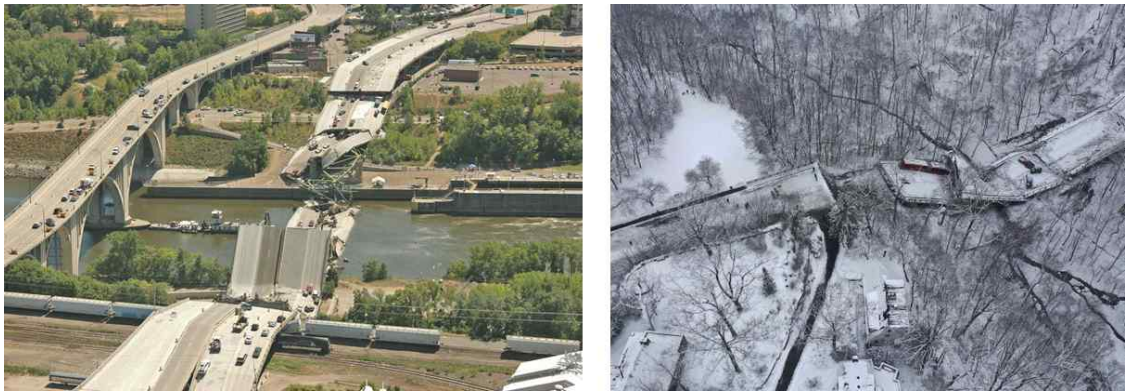
[미국 내 연도별 4등급 교량 수]



[주별 4등급 이하 교량의 비율]

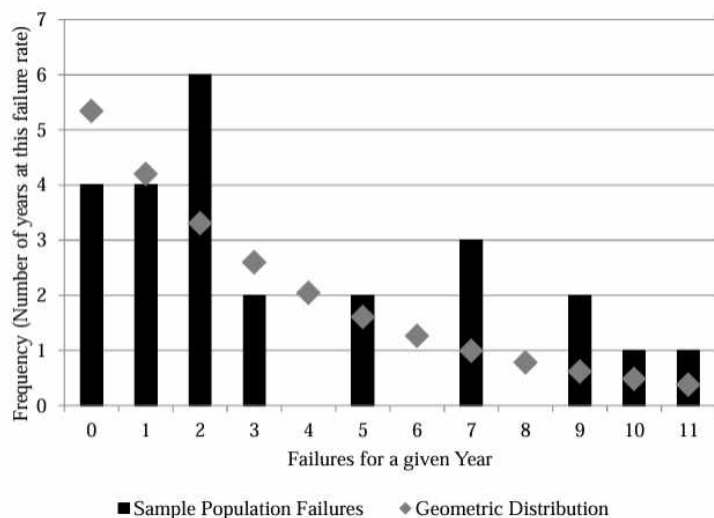
○ 교량 노후화에 따른 붕괴

- 미국 교량은 노후화 및 유지관리가 제대로 안 되어 있는 교량들이 많아 이러한 교량들의 붕괴는 큰 인명 피해로 이어질 수 있음
- 잘못된 교량 설계와 미흡한 교량 유지관리 때문에 일어난 사고 중 2007년 8월 미국 미네소타주 미니애폴리스의 미시시피강 8차선 도로 교량의 붕괴 사고로 13명의 사망자 포함 145명의 사상자가 발생한 사건과 2022년 펜실베이니아주 피츠버그에서 교량이 붕괴하여 10명이 피해를 본 사건이 있었음



[좌: 미시시피강 교량 붕괴 사건, 우: 피츠버그 교량 붕괴 사건]

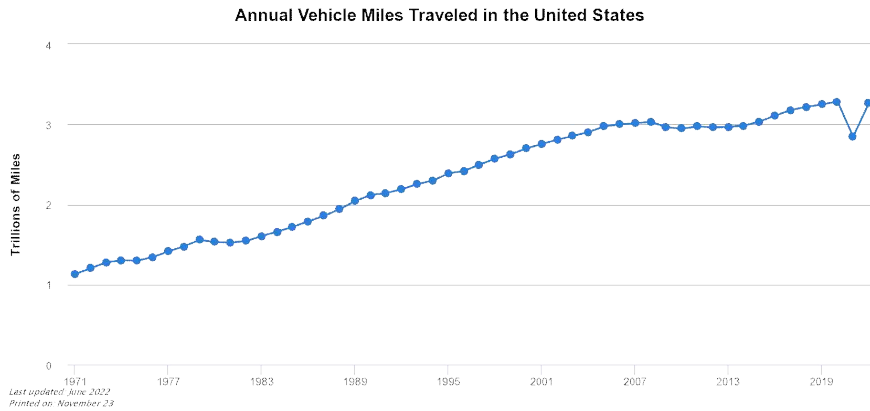
- 미국의 연방고속도로관리국(Federal Highway Administration, FHWA)의 National Bridge Inventory(NBI)에 의하면 미국의 6.1m 이상의 교량 조사 결과, 1987년부터 25년간 총 103개의 교량이 붕괴됨



[미국 교량 붕괴 사고 빈도 (1987~2011)]

○ 증가하는 교통량

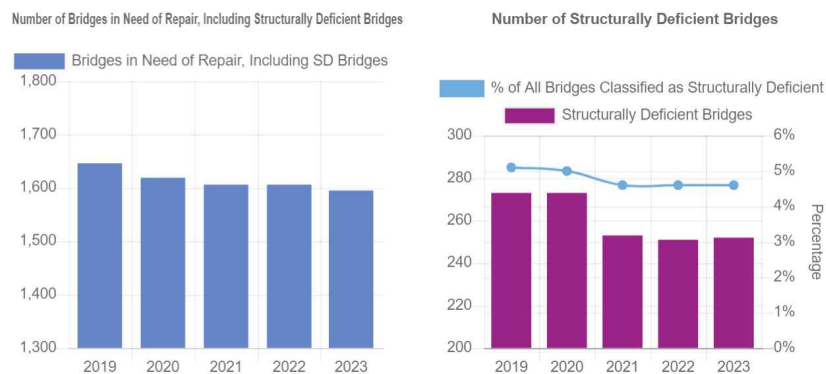
- 미국의 자동차 사용량과 자동차의 통행 거리는 꾸준히 증가하는 추세로, 연도별 자동차 통행 거리는 2022년 약 3.26조 마일을 통행하였으며, 이는 2021년 코로나 팬데믹 기간의 여파로 인한 급격한 감소 이후 다시 엄청난 상승을 보임
- 코로나 기간 제외 세 번의 추가적인 통행 거리 감소 기간이 있었으며(1974년, 1979년, 2008년), 이는 모두 유가 폭등이 이유임
- 장기적인 자동차 통행 거리 추세는 증가하는 경향을 보이며, 앞으로 현재보다 더 상승할 것으로 전망되기 때문에 더욱 도로 유지관리의 중요성이 높아질 것임



[미국 연도별 자동차 통행 거리]

□ 시장 확산 방안

- 미국 메릴랜드주 교량 대상 기술 실증 및 시범 적용을 통해 미국 전역으로 확산 계획
- 메릴랜드는 미국 동부에 위치하여 있고 약 6백만 명의 주민이 거주 중이며, 메릴랜드에는 약 3만 2천 마일의 도로가 사용 중으로 이 중 88%가 양호한 상태임
- 메릴랜드에는 총 5,473개의 교량이 존재, 1,595개의 교량이 유지관리가 필요한 상태이며, 이 중 252개의 교량은 구조적 결함이 존재하는 상태임
- 구조적 결함이 존재하는 교량들의 보수·보강은 꾸준히 이루어지는 중이며, 2021년부터 3년 연속으로 결함이 존재하는 교량의 비율을 5% 미만으로 유지 중으로 이는 미국 주 중 39위로 결함이 존재하는 교량 비율이 낮은 편에 속함



[메릴랜드 교량 상태]

- 메릴랜드주는 IIA(Infrastructure Investment and Jobs Acts) 프로그램 기간 내에 4.4억 달러의 투자금을 지원받을 예정으로, 현재까지 1.8억 달러를 집행하였고 이 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 보수·보강 작업이며, 교체 및 기타 작업에도 큰 금액 투자

Type of Work	Number of Bridges	Cost to Repair (in millions)	Daily Crossings	Area of Bridges (sq. meters)
Bridge replacement	299	\$1,819	7,457,774	319,426
Widening & rehabilitation	189	\$769	2,703,277	202,140
Rehabilitation	614	\$2,446	14,294,238	645,017
Deck rehabilitation/replacement	27	\$697	572,733	175,815
Other structural work	466	\$1,894	6,820,174	516,590
Total	1,595	\$7,626	31,848,196	1,858,989

[메릴랜드 교량 유지보수 비용]

- 교량 대부분은 각 주의 교통부(Department of Transportation, DOT)에서 관리
- 대상국인 미국에서의 기술 실증을 위해 메릴랜드주 내에 있는 교량들을 실증 대상으로 선정하였으며, 본 과제의 대상이 되는 메릴랜드주는 메릴랜드 교통부(Maryland Department of Transportation, MDOT)에서 관리 중임
- MDOT와 교량 점검 및 유지관리 에이전시 AECOM에 본 과제를 통하여 개발 기술을 소개하고 적용하여 현지화가 가능할 것으로 예상하며, 추후 MDOT가 관리하는 다른 교량이나 다른 지역의 교량에도 기술 도입이 가능할 것으로 예상함
- 최근 미국에서는 스마트 교량 모니터링과 디지털 트윈을 사용한 교량 모니터링 프로젝트의 발전이 이루어지고 있음
- 모니터링 시스템은 임베디드 솔루션이 아닌 유연한 확장성을 가지고 있는 범용성 운영체제로 개발되었기 때문에 기존에 개발된 IoT 시스템과 쉽게 연결될 수 있는 폭넓은 확장성으로 다양한 시스템이나 플랫폼과 연결이 쉬워 다양한 영역에서 적용할 수 있음
- 향후 디지털 트윈 기술과 IoT 기반 센싱 기술을 융합하여 더 스마트한 교량 실시간 모니터링 시스템으로 확장하여 시장을 확산시킬 수 있을 것으로 예상됨



[좌: Collins Engineering 사의 드론을 이용한 교량 점검, 우: Benesch 사의 교량 3D 모델링]

2. 타겟 시장의 규모 파악

□ 국제시장 동향 및 타겟 시장 선정

○ 구조물 유지관리 시장

– 안전성 모니터링 시장

- 구조물 안전성 모니터링 시장은 2022년 약 51억 달러 규모에서 2025년 약 117억 달러 규모로, 연평균 약 14.9%로 성장할 것으로 전망됨
- 미국을 포함한 북아메리카 지역이 34%로 제일 높은 점유율을 보이고 있고, 아시아 지역이 제일 가파른 연평균 상승률을 보일 것으로 예상되며, 이는 중국과 인도가 인프라 프로젝트에 큰 투자를 하고 있기 때문임

[구조물 안전 모니터링 국제시장 규모 및 전망]

단위: 십억 달러, %

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	연평균 상승률
5.1	5.9	6.7	7.7	8.9	10.2	11.7	14.9

출처: Precedence Research(2022)

[구조물 안전 모니터링 국제시장 점유율]

North America	Europe	Asia Pacific	Latin America	Middle East, Africa
34%	29%	25%	7%	5%

출처: Precedence Research(2022)

– 비파괴시험 시장

- 비파괴시험(Non-Destructive Testing, NDT) 시장은 2022년 약 166억 달러에서 2028년 약 299억 달러 규모로, 연평균 약 10.3%의 높은 성장률을 보일 것으로 전망됨
- 미국을 포함한 북아메리카 지역이 36%로 제일 높은 점유율을 보이고 있고, 아시아 지역이 제일 가파른 연평균 상승률을 보일 것으로 예상됨

[비파괴시험 국제시장 규모 및 전망]

단위: 십억 달러, %

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	연평균 상승률
16.6	18.3	20.2	22.3	24.6	27.1	29.9	10.3

출처: Precedence Research(2022)

[비파괴시험 국제시장 점유율]

North America	Europe	Asia Pacific	Rest of World
36%	30%	27%	7%

출처: Precedence Research(2022)

○ 센서 시장

– IoT 센서 시장

- 국제 IoT 센서 시장은 2019년 약 71억 달러 규모에서 2025년 약 401억 달러 규모로 성장할 것으로 전망됨
- 미국을 포함한 북아메리카 지역이 40%로 IoT 센서 시장을 지배 중이며, 시장 초기 단계로 향후 시장 점유율 예측이 어려우나 IoT 시장과 비슷한 추세일 것으로 전망됨

[IoT 센서 국제시장 규모 및 전망]

단위: 십억 달러, %

2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	연평균 상승률
7.1	9.4	12.6	16.8	22.5	30	40.1	33.4

출처: MarketsandMarkets(2018), IDC(2019)

[IoT 센서 국제시장 점유율]

North America	Europe	Asia Pacific	Rest of World
40%	30%	20%	10%

출처: MarketsandMarkets(2018), IDC(2019)

– 지능형 스마트 센서 시장

- 국제 지능형 스마트센서 시장은 2022년 약 390억 달러 규모에서 2028년 약 1,134억 달러 규모로, 연평균 약 20%의 성장률로 매우 빠를 것으로 예상됨
- 미국을 포함한 북아메리카 지역이 35%로 제일 높은 점유율을 보이며, 북아메리카 지역이 향후 가장 높은 연평균 성장률을 보일 것으로 예상됨

[지능형 스마트센서 국제시장 규모 및 전망]

단위: 십억 달러, %

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	연평균 상승률
39.0	46.6	55.6	66.5	79.4	94.9	113.4	19.5

출처: Precedence Research(2023)

[지능형 스마트센서 점유율]

North America	Europe	Asia Pacific	Rest of World
35%	25%	30%	10%

출처: MarketsandMarkets(2021)

– 산업형 센서 시장

- 국제 산업형 센서 시장은 2022년 약 236억 달러 규모에서 2025년 약 385억 달러로, 연평균 8.5%의 성장률을 보일 것임
- 미국을 포함한 북아메리카 지역이 35%로 제일 높은 점유율을 보이며, IIoT와 전세계 네트워크 목적이 이루어지면서 아시아 지역의 점유율이 향후 더 높아질 것임

[산업형 센서 국제시장 규모 및 전망]

단위: 십억 달러, %

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	연평균 상승률
23.6	25.5	27.7	30.0	32.6	35.5	38.5	8.5

출처: Precedence Research(2023)

[산업형 센서 점유율]

North America	Europe	Asia Pacific	Rest of World
35%	25%	30%	10%

출처: MarketsandMarkets(2021)

○ 첨단소재 시장

- 국제 첨단소재 시장은 2022년 약 614억 달러 규모에서 2025년 약 884억 달러 규모로, 연평균 약 6.3%로 성장할 것임
- 아시아 지역이 32%, 미국을 포함한 북아메리카는 22%의 점유율을 보이며, 이 중 아시아 지역이 제일 가파른 연평균 상승률을 보일 것으로 예상됨

[첨단소재 국제시장 규모 및 전망]

단위: 십억 달러, %

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	연평균 상승률
61.4	65.2	69.3	73.6	78.3	83.2	88.4	6.3

출처: Precedence Research(2023)

[첨단소재 점유율]

North America	Europe	Asia Pacific	Rest of World
22%	27%	32%	19%

출처: MarketsandMarkets(2021)

○ IoT 시장

- IoT 시장은 현재 약 4,050억 달러 규모에서 2028년 1조 1,600억 달러 규모로 연평균 약 24%의 빠른 성장률을 보일 것으로 전망됨
- 미국을 포함한 북아메리카 지역이 33%로 제일 높은 IoT 시장 점유율을 보이며, 향후에도 북아메리카 지역이 IoT 시장을 지배할 것으로 전망됨

[IoT 국제시장 규모 및 전망]

단위: 십억 달러, %

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	연평균 상승률
328.6	405.7	500.9	618.4	763.4	942.5	1163.7	23.5

출처: Precedence Research(2023)

[IoT 국제시장 점유율]

North America	Europe	Asia Pacific	Latin America	Middle East, Africa
33%	29%	25%	8%	5%

출처: Precedence Research(2023)

□ 미국 건설/인프라 동향 및 전망

○ 건설시장

- 미국 건설시장 규모는 세계 2위 규모로 총 1조 3,000억 달러 정도로 추정되며, 비용 증가, 인력 부족으로 인한 프로젝트 기간 지연 등 방해 요인이 존재했음에도 불구하고 2023년 총 6.1%의 상승률을 보여 약 1조 4200억 달러를 기록하였음

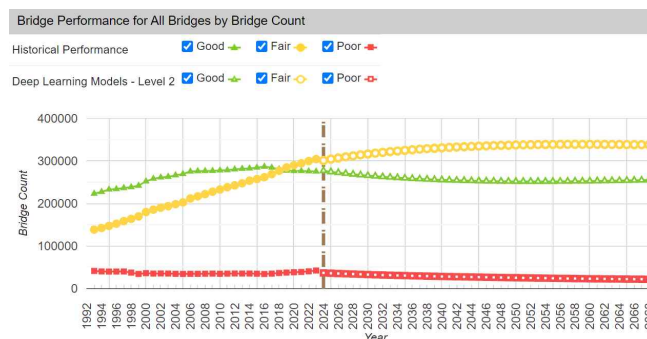
[미국 건설시장 규모, 2019년 10월 기준]

단위: 십억 달러

Construction Type	2018	2019	2020	2021	2022
Total Construction	1288.2	1288.9	1316.1	1355.2	1399.6
Residential	544.0	511.2	536.8	568.9	604.3
Nonresidential	744.2	777.8	779.2	786.3	795.2
Nonresidential Structures	494.1	505.9	514.4	525.1	532.2
Infrastructure	250.1	271.8	264.8	261.2	263.0

출처: OCIS(2019)

○ 교량 상태



[미국 교량 상태 예측 모델]

- 미국 내 양호상태의 교량 개수는 매년 감소하지만, 보통 상태의 교량 개수는 매년 약 2% 증가하였으며, 2022년까지 결함이 진행되는 교량의 개수도 매년 약 3% 증가하여 교량 유지관리에 더욱 많은 투자를 해야 할 것으로 전망됨

[Bridge Performance for All Bridges by Bridge Count]

Grade	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	변화율
Good	286,657	284,354	280,265	277,165	276,427	276,434	275,689	-0.65%
Fair	261,602	268,879	276,983	284,416	289,724	294,176	299,538	2.28%
Poor	34,299	35,160	36,578	37,641	38,403	39,087	40,508	2.82%

출처: Infobridge(2023)

[Bridge Performance Forecast for All Bridges by Bridge Count, Deep Learning Model-Level 2]

Grade	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	변화율
Good	275,689	275,117	277,055	274,438	272,443	270,487	268,674	-0.43%
Fair	299,538	304,060	300,885	304,194	306,864	309,491	311,885	0.68%
Poor	40,508	42,404	36,777	36,083	35,410	34,739	34,154	-2.65%

출처: Infobridge(2023)

2절. 기술사업화 관련 법제도 환경 분석의 구체성

1. 기술개발 및 실증 관련 법·제도 분석

□ 개발기술 관련 기준

○ 구조물 구조안전성 모니터링 관련 제도

- 구조물 구조안전성 모니터링 코드(U.S. Code § 2353 - Structural health monitoring)
 - 모니터링용 센서는 자연재해 상황을 탐지 및 반응, 사전재해 탐지 및 개선 방안 제안, 또는 인프라 수명 증가 또는 리스크 관리를 수행할 수 있어야 하며, 탄소나노튜브 패치 센서의 경우 구조물의 상태를 모니터링 하며 이상 거동을 사전에 탐지하여 대처할 수 있게 하므로 미국 구조안전성 모니터링 코드를 따르며 개발할 수 있음
- FHWA 교량 장기 모니터링 프로토콜(Long-Term Bridge Performance Program Protocols)
 - 장기 모니터링을 위한 장치의 경우, 센서가 교량 상태에 대한 데이터를 올바르게 계측할 수 있어야 하고 유선, 무선 모두 허용되며 독립적으로 전원 공급을 해야 하며, 센서로부터 계측된 데이터가 저장되는 원격 데이터 스토리지는 직접적으로 전원 공급을 받아야 하고 무선 통신을 통하여 연결되어 있어야 함
 - 본 연구의 계측 및 모니터링 시스템 기술은 저전력 계측장치를 이용하여 측정할 수 있어 상황에 맞는 최적의 전원 공급을 할 수 있으며, 센서를 통하여 계측된 데이터는 네트워크를 통해 서버 내에 저장되므로 때문에 전원 및 네트워크 요구사항을 충족할 것으로 예상됨

Assessment Method	Power	Network
Visual Inspection	None	None
Nondestructive Testing	None	None
Material Sampling	None	None
Truck Testing	Generator	None
Vibration Testing	None	None
Long-Term Monitoring	Independent	Hard-wire, wireless modem, or combination
Remote Data Storage	Generator	Wireless modem

○ 센서 관련 제도

- 미국 콘크리트학회(ACI) 콘크리트 구조물 모니터링 리포트
 - 콘크리트 구조물 특성, 구조안전성을 위한 센서 종류, 환경 및 하중으로 인한 변화를 감지하는 센서 종류 등에 관하여 서술함

	Strain Gage	
Gage length	Typical: 0.3 to 20 mm(0.01 to 0.8 in)	
Multiplexing	Parallel	
Maximum no. of sensors in network	1200	
Stability	Long-term drift is typical	
Resolution	Typical: 1 $\mu\epsilon$	Best: 0.5 $\mu\epsilon$
Repeatability(precision)	0.2% to 2%	
Sensor range	Typical: $\pm 10,000 \mu\epsilon$	Extended: $\pm 100,000 \mu\epsilon$
Temperature sensitivity	Compensation needed	
Maximum measured frequency	Typical: 100 to 200 Hz	Maximum: 100 kHz

- 스트레인 게이지는 가볍고 작지만, 정확성과 해상도가 높고 가격도 저렴하며 동적인 움직임을 계측할 수 있지만, 설치 시 표면처리를 해야 하고 재활용이 어려우며 온도에 약하고 내구성이 떨어지며, 계측장치까지 와이어를 이용해 길게 유선 연결해야 함
- 본 연구의 기술은 스트레인 게이지의 단점을 보완하며 성능도 우수하므로, 구조물 모니터링에 적극적으로 활용이 가능할 것으로 예상됨

○ 계측/모니터링 데이터 관련 제도

- 데이터 보관 및 분석의 장기적인 목표는 센서의 결과를 인터넷 웹사이트 또는 html로 생성된 애플리케이션을 통해 구조물 정보를 확인하는 것임
- 기록된 데이터는 Consortium of Organizations for Strong Motion Observation Systems(COSMOS) 데이터베이스 형식을 따라야 하며, 구조물 정보, 모니터링 시스템 레이아웃스케치, 시스템 이력 등이 있음
- 개발 기술을 통한 데이터 획득 시 요구조건에 맞게 데이터를 수정할 수 있으므로, 데이터 관련 제도 준수에는 이상이 없을 것으로 예상됨

□ 개발기술 관련 인증 제도

○ 탄소나노튜브 패치 센서의 인증 및 규제

- 한국에서는 신기술 인증 제도인 NET과 같은 프로그램을 통해 새로운 기술에 대한 인증 절차를 진행할 수 있으며, 탄소나노튜브 패치 센서와 같은 새로운 기술은 이러한 제도를 통해 기술의 신뢰성과 안전성을 검증받을 수 있을 것으로 예상됨
- 미국에서는 ASTM International과 같은 기관이 다양한 산업에 대한 표준을 제공하며, 이는 신기술 개발에 있어 중요한 지침이 되고 있어 탄소나노튜브 패치 센서 개발 시 ASTM 표준을 참고하여 국제적으로 인정받는 품질과 안전성을 확보할 예정임

□ 교량 유지관리 제도

○ 교량 유지관리 조직 및 프로그램

– 교량 유지관리 조직

- 미국 교통국(US DOT)이 최상위 기관이고, 산하에 연방고속도로관리국(Federal Highway Administration, FHWA)와 FHWA의 교육훈련기관(National Highway Institute, NHI)가 고속도로의 건설과 관리를 감독함
- 주/시의 교통부(State, City DOT)는 US DOT와 FHWA의 요청 아래 건설회사와 공동으로 지역 내의 교량을 관리 및 점검함
- 미국 교량에 유지관리 및 모니터링을 목적으로 개발 기술을 적용하려면 US DOT 또는 FHWA의 승인과 주 DOT의 승인을 통하여 가능함

– 교량 유지관리 프로그램

- 1970년 국립 교량 점검프로그램(National Bridge Inspection Program, NBIP)을 설립하여 각 주/도시 교통부에서 교량을 2년마다 검사하도록 요구하고 있음
- 1971년 미국 도로교통 행정협회(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)와 FHWA가 협력하여 미국 국립 교량 검사표준(National Bridge Inspection Standards, NBIS)이 제정되었고, 이 기준에 따라 교량이 평가됨
- 1971년 교량 교체프로그램(Special Bridge Replacement Program, SBRP)도 설립되며 교량을 교체하는 데 도움이 될 수 있게 자금을 지원하였고, 이 프로그램이 1978년부터 도로교 교체 및 보수프로그램(Highway Bridge Replacement and Rehabilitation Program, HBRRP)으로 교체되었고 현재까지 사용 중임
- 교량 점검 시 NBIS, FHWA, 그리고 AASHTO에서 제공되는 매뉴얼에 따라 시행하고, NBIS는 교량 평가의 기본 점검기준을 정의하며, 산하 세부 문서로 FHWA에서 제공하는 매뉴얼과 AASHTO에서 제공하는 매뉴얼을 참고함

	대표 교량 점검 매뉴얼
NBIS	- Code of Federal Regulations
FHWA	- Bridge Inspector's Reference Manual(BIRM) - Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges
AASHTO	- Manual for Bridge Evaluation - Guide Manual for Bridge Element Inspection - LRFD Bridge Design Specifications

□ 현지 실증 관련 제도

○ 교량 점검

- 미국 교량 점검은 크게 초기(Initial), 정기(Routine), 손상(Damage), 상세(In-Depth)로 나뉘며 각 교량 점검 단계에 따라 점검 수준 및 빈도가 달라짐
- 초기 점검은 교량이 건설된 직후에 진행되며 기초 교량 정보입력을 위한 조사 및 초기 문제를 발굴함
- 정기 점검은 공용 중인 교량에 정기적으로 진행되며 결함이나 발생 가능 문제를 찾음
- 손상 점검은 특수한 상황으로 인하여 교량에 문제가 발생 되었을 때 진행되며 교량의 외관 점검을 토대로 추가 점검이나 교통 통제가 필요한지 결정함
- 상세 점검은 정기 점검으로 확인할 수 없는 위치나 특성들에 대해 상세하게 점검함

	점검 수준	점검빈도
Initial	- Inventory Inspection - Baseline structural condition establishment - Timeline for inspection establishment - Load capacity ratings - Identification of existing problems	- State/Federally Owned: Within 90 days of construction - Others: Within 180 days of construction
Routine	- Element observations - Identification of changes from initial conditions - NBIS requirements	- 24~48 months after FHWA approval
Damage	- Fractured member evaluation - Section loss determination - Member misalignment measurement - Foundation support loss check - Determine the need for emergency load restrictions or closure of the bridge to traffic	- When needed
In-Depth	- Nondestructive field test(NDT) - Visual inspections - Material test - Critical member inspection (for smaller bridges) - Separately defined segment investigation (for larger and complex bridges)	- When needed
Others	- Fracture critical members(FCM) - Underwater inspection - Special inspection - Scour Monitoring - Nonredundant steel tension members	- 24 months, 60~72 months, when needed, respectively

○ 교량 평가

- 교량 점검 결과를 근거로 교량의 건전도를 10단계로 나누어 단계마다 9에서 0까지 좋음에서 나쁨으로 평가함
- 9단계부터 7단계를 양호 상태(Good), 6단계와 5단계를 보통 상태(Fair), 4단계와 3단계를 불량 상태(Poor), 2단계부터 0단계를 위험 상태(Critical)로 정의함

- 4단계 이하부터는 구조결함 교량(Structurally Deficient, SD)이라 정의하며 상태가 2단계 이하로 악화하였을 때부터 통행금지가 필요함
- 현재 미국 교량 중 양호 교량은 약 270,000개, 보통 상태 교량은 약 300,000개, 구조결함 교량은 약 42,400개 정도임

Code	Description
N	- NOT APPLICABLE
9	- EXCELLENT CONDITION
8	- VERY GOOD CONDITION – no problems noted
7	- GOOD CONDITION – some minor problems
6	- SATISFACTORY CONDITION – structural elements show some minor deterioration
5	- FAIR CONDITION – all primary structural elements are sound but may have minor section loss, cracking, spalling or scour
4	- POOR CONDITION – advanced section loss, deterioration, spalling or scour
3	- SERIOUS CONDITION – loss of section, deterioration, spalling or scour have seriously affected primary structural components. Local failures are possible
2	- CRITICAL CONDITION – advanced deterioration of primary structural elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may have removed substructure support. Unless closely monitored it may be necessary to close the bridge until corrective action is taken.
1	- “IMMINENT” FAILURE CONDITION – major deterioration or section loss present in critical structural components or obvious vertical or horizontal movement affecting structure stability. Bridge is closed to traffic but corrective action may put back in light service.
0	- FAILED CONDITION – out of service – beyond corrective action

- 본 연구의 개발 기술을 통하여 교량에서 발생할 수 있는 문제를 조기에 감지할 수 있고, 문제가 될 수 있는 교량에 대한 사전에 안전 대책을 마련할 수 있도록 할 수 있음
- 교량 만족도 등급평가를 통하여 교량의 교체 및 유지보수 우선순위와 투입 예산 결정
- 만족도 점수는 NBI 사전에 명시되어 있는 기준으로 평가하며, 교량의 각 부재/부분에 점수를 매긴 후 합하거나 감하여 교량의 최종 등급을 계산함
- 등급평가는 네 분야로 나뉘며, 구조적 적절성 및 안전성, 사용성과 노후화 진행도, 필요성, 만족도 점수 특별 감소 항목이 있음
- 센서를 교량 상부구조, 하부구조 및 확인이 필요한 부재에 부착하여 부재의 안전성 확인 및 등급평가가 가능함

2. 사업화 관련 법·제도 분석

□ 현지 사업자 등록 제도

○ 건설업 면허 제도

- 미국 연방 전체에 일률적으로 적용되는 면허에 관한 법령은 없으며, 건설업을 영위하고자 하는 자의 자격과 허가업무를 주가 독자적으로 시행함
- 23개 미국 주가 면허제(허가제)를 채택 중이고, 나머지 주에서는 입찰 시 사전자격심사를 통하여 적정 시공을 보장함

Class	Description
Class A	General engineering contractors
Class B	General building contractors
Class C	Specialty contractors

- 기술 실증 대상 지역인 메릴랜드주에서는 Clerk of the Circuit Court(법원사무관)에 건설업 면허 신청해야 함

○ 현지법인/지사 설치제도

- 개발 기술을 현지에 확산하기 위해서는 미국에 지사 및 현지법인을 설립하는 것이 필요할 수 있으며, 미국에서 설립 및 운영할 수 있는 회사 종류는 지점(Branch)/ 연락사무소(Liaison office), 또는 자회사(Subsidiary) 등이 있음

– 법인 설립

- 전 세계 소득에 대해 세금을 신고하고 납부해야 하기 때문에 많은 진출 기업의 현지 법인에서 이중과세의 불이익이 있을 수 있음
- 운영 중 소송으로 인한 책임이 본사로 전가되지 않으며, 연방에서 요구하는 절차는 없지만, 주마다 다른 법 및 제도가 있음
- 주식회사, 유한책임회사, 개인사업자, 파트너십 등으로 설립할 수 있으며, 본사 직원의 비자 발급이 다른 회사 유형보다 쉽다는 장점이 있음



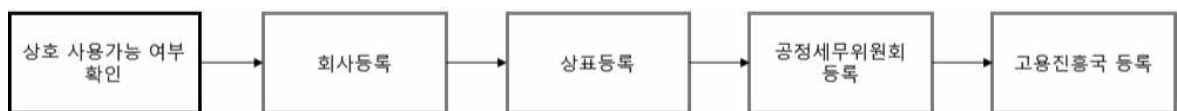
[현지법인 회사설립단계]

- 상호 사용 가능 여부를 확인하기 위해선 신청서류를 주 국무장관실(County Clerk)에 신청해야 하며, 등록 시 회사정관과 신청서류 및 증빙서를 제출해야 함
- Certificate of Incorporation을 발급받음으로써 회사등록이 완료되며, 매년 세금 보고서를 제출하고 상표등록을 위한 서류를 제출해야 법적으로 보호받음
- 공정 세무위원회(Board of Equalization)에 판매업허가를 받기 위해 신청서류를 제출해야 하며, 소유권 이전이 일어나거나 판매장 위치가 변동될 시 재취득이 필요함

설립단계	신청서류
상호 사용 가능 여부 확인	- Fictitious Business Name Statement
회사등록 (영업허가 및 면허증 신청)	- Statement of Designation by Foreign Corporation - Certificate of Good Standing
상표등록	- Statement by Foreign Corp. - Registration of Trademark and Service Mark
공정 세무위원회 등록 (영업허가)	- Application for a Seller's Permit and Registration as a Retailer
고용진흥국 등록	- Registration Form for Commercial Employers

- 지사 설립

- 외국기업이 미국에서 사업을 영위하는 것으로 간주함
- 설립 등록 대신 사업허가 신청으로 대신하며, 미국에서 발생하는 원천소득에 대해 세금 신고 및 납부해야 하고, 직원의 비자 발급이 까다로움



[지사 설립단계]

- 신청서류는 현지법인 설립할 때와 같고(영업허가 신청 제외), 상표등록은 필요시 등록이며 의무사항은 아님

- 연락사무소 설립

- 지사 설립과 같이 사업허가로 대신함
- 매출 발생이 불가하며 시장 조사, 정보수집, 연구개발만 가능함

3절. 기술 실증 및 사업화 가능성 분석의 구체성

1. 현지 사업화를 위한 정책환경 분석

□ 기술과 연계되는 현지 정책

○ 기반시설 투자 및 고용법

- 2021년 조 바이든 행정부는 기반시설 투자 및 고용법(Infrastructure Investment and Jobs Act, IIJA 또는 Baptistan Infrastructure Law, BIL) 프로그램을 발표하였고, 이에 따라 인프라 건축 및 유지관리가 중요해짐
- 이 법으로 인해 2023년까지 2,060개의 교량이 건설 및 교체되었으며, 2023년 약 106억 달러가 IIJA에 투자되었고, 이 중 약 30%에 달하는 32억 달러가 사용되었음
- IIJA 예산 중 도로와 교량에 두 번째로 높은 비율의 투자가 진행되고 있어 개발 기술에 관한 관심도 및 수요가 많을 것으로 예상되며, 향후 3년 동안 159억 달러가 투자될 예정이고, 추가적인 교량 투자 프로그램(Bridge Investment Program, BIP)으로 2026년 이내 125억 달러가 투자될 예정임
- 현재 미국 교량 유지관리 매뉴얼 및 프로그램에는 구조물 이상 거동 모니터링에 관한 규제가 정확하지 않아서 센서 부착 및 모니터링에 큰 제약이 없을 것으로 예상됨

○ 안전교통 관련 정책환경

- 미국 교통국(US DOT)에서 제시한 안전 교통관리(Safe System Approach, SSA)는 도로 교통안전의 중요성을 강조하는 관리제도임
- SSA의 목적은 도로교통사고를 방지하는 것이며, 운전자와 통행자의 안전, 책임감 강화, 도로 위의 리스크 상황 방지, 사후 효율적인 처리방식에 관한 관리 방법임
- 연방 투자자금을 이용하여 도로 상태, 목표 안전 수치 및 운전자와 통행자 안전보장을 발전시키고 있으며, IIJA 투자금 중 50억 달러가 SSA의 보조시스템(Safe Streets and Roads for All, SS4A)를 위해 사용될 것이고, 올해 235개의 지역에 총 8천2백만 달러가 투자되었음
- 올해 12월에 보조가 필요한 지역을 추가로 더 선정할 예정이며, 이 투자금은 인프라 보수·보강에 사용될 전망임

2. 이해관계자 및 수요자 분석

□ 기술 이해관계자 제시

○ US DOT(Department Of Transportation)

- 미국의 교통 시스템을 관리하는 교통국이며, 운전자와 통행자의 안전 및 교통 효율성 증가를 최우선 목표로 삼음
- 전국도로 안전관리를 위한 SSA, SS4A, NRSS 프로그램들을 운영 중이며, IJJA(BIL) 투자 프로그램으로 필요예산을 지급함

○ FHWA(Federal Highway Administration)

- US DOT 산하 연방고속도로관리국으로 주 정부를 도와 전국 도로 설계와 시공, 유지관리를 하며 교량대장(NBI)의 정보를 토대로 교량의 상태 평가 및 점검 유형을 결정함
- 주/도시 DOT는 미국 내 할당된 지역(주 또는 도시)을 관리하는 교통부임
- 지역 내에 존재하는 교량의 점검을 담당하고 관련 정보를 주기적으로 갱신하여 교량 유지관리 및 교체의 필요성을 확인함

□ 기술 수요자/활용자 제시

○ 주/도시 DOT 교량 점검 에이전시

- 주/도시 교통부가 교량 점검을 진행할 때 건설사 및 엔지니어링사들과 공동작업함
- 이때 교량 점검 프로젝트 입찰에 성공한 회사와 함께 점검을 진행하며, 교통국과 연방고속도로관리국에서 요청한 점검항목을 검토 및 수행함
- 교량 점검 진행 시 육안으로 확인 및 비파괴시험을 통한 교량 상태 평가와 스트레인 게이지, 크랙 게이지 등 다양한 센서를 부착하여 교량 상태 평가를 진행하고 있음
- 건설사 또는 엔지니어링사가 본 개발 기술의 타겟 활용자가 될 것으로 예상함
- 본 연구의 해외실증지원기관인 AECOM은 주/도시 주요 에이전시 중 하나로, 전국적으로 교량 점검 프로젝트를 맡아 수행하고 있음
- AECOM과의 협력을 통해 본 연구의 개발 기술 실증을 진행하고, 이를 통해 기술의 현지화를 위한 우선 수요자 및 활용자가 될 수 있을 것으로 기대함

3. 경쟁기술 분석

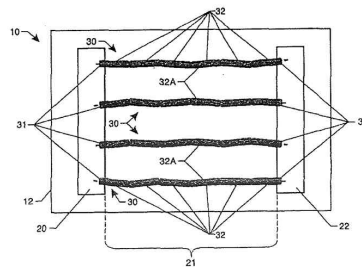
□ 미국 내 유사 기술 특허

○ 탄소나노튜브를 활용한 센서 응용 특허

- 탄소나노튜브를 활용한 센서 응용 특허는 다수 존재하나, 탄소나노튜브 폴리머 복합체 기반의 패치형 센서는 거의 존재하지 않으며, 본 기술과 같은 가변형의 구조물 이상 거동 감지 센서는 유사 기술들과 차별성이 존재함

적용기술명	Carbon Nanotube-Based Sensor and Method for Continually Sensing Changes in a Structure 탄소나노튜브 기반 센서와 구조물 변형의 지속적인 감지방법		
등록번호	US7194912B2	등록일자	2007년 03월 27일
특허권자	United States of America as represented by the Administrator of the National Aeronautics and Space Administration	발명자	Jeffrey D. Jordan, Anthony Neal Watkins, Donal M. Oglesby, JoAnne L. Ingram

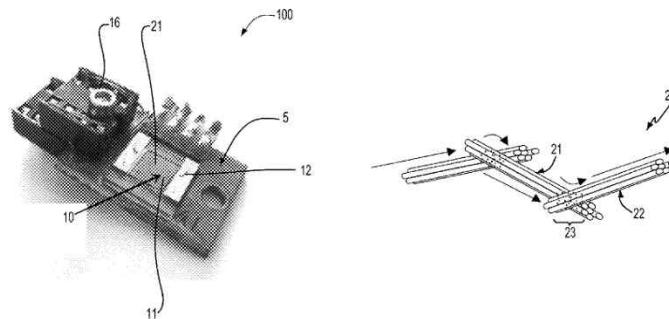
발표도면



기술요약	- 복수의 탄소나노튜브 기반 전도체를 기판위에 나란히 부착한 센서에 관하며, 탄소나노튜브 전도체는 병렬 관계를 가짐 - 탄소나노튜브의 저항과 변형률은 직접적인 관계를 가지며, 구조물의 변형을 탄소나노튜브 전도체의 전기적 특성 변화로 감지가 가능함		
------	--	--	--

적용기술명	Carbon Nanotube Temperature and Pressure Sensors 탄소나노튜브 온도와 압력 센서		
등록번호	US9759622B2	등록일자	2017년 09월 12일
특허권자	UT-BATTELLE, LLC.	발명자	Iliia N. Ivanov, David B. Geohegan

발표도면



기술요약	복수의 탄소나노튜브를 사용하여 온도 및 압력을 계측하는 센서를 개발하는 방법에 관하며, 복수의 탄소나노튜브의 저항을 온도와 압력에 변화를 가하며 저항의 차이를 분석 및 센서로 활용할 수 있게끔 관계를 정립함		
------	---	--	--

- 센서를 이용하여 구조물 거동을 모니터링하는 시스템에 관한 특허는 일부 존재하나, 대부분이 구조물의 모니터링에 중점을 두지 않고 데이터베이스 구축 또는 데이터 분석기법 연구에 관한 것이므로 본 개발 기술과는 차별성이 존재함

DWG 1

1

2

3

4

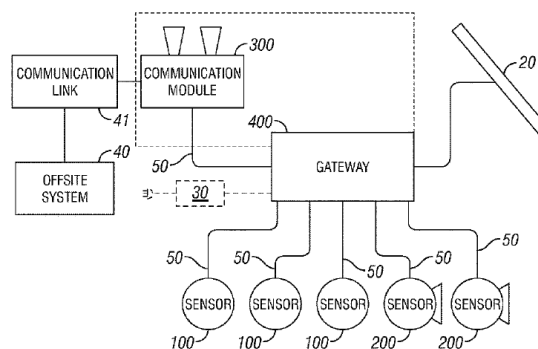
MASTER STATION

5

CENTRAL SERVER(S)

(NOT TO SCALE)

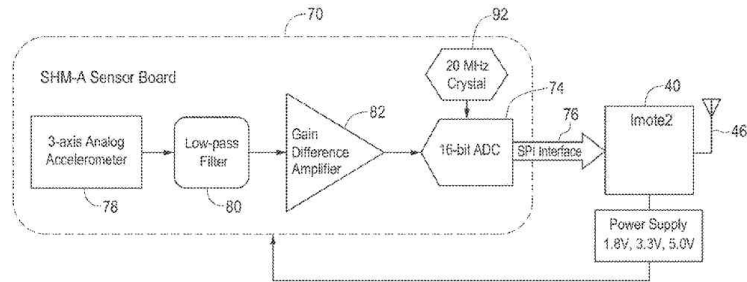
적용기술명	Sensor and Monitoring System 센서와 모니터링 시스템		
등록번호	US10812998B2	등록일자	2020년 10월 20일
특허권자	SENSR Monitoring Technologies, LLC	발명자	Christopher L. Kavars, Leslie G. Davis, Walter F. Bleser, II
발표도면			



– 26 –

적용기술명	High Sensitivity Environmental Sensor Network and Network Services for Structural Health Monitoring 구조안전성 모니터링을 위한 고감도 환경센서 네트워크 및 네트워크 서비스		
등록번호	US9970842B2	등록일자	2018년 05월 15일
특허권자	The Board of Trustees of the University of Illinois, Urbana, IL	발명자	Jennifer Rice, Gul Agha, B. F. Spencer, Jr.

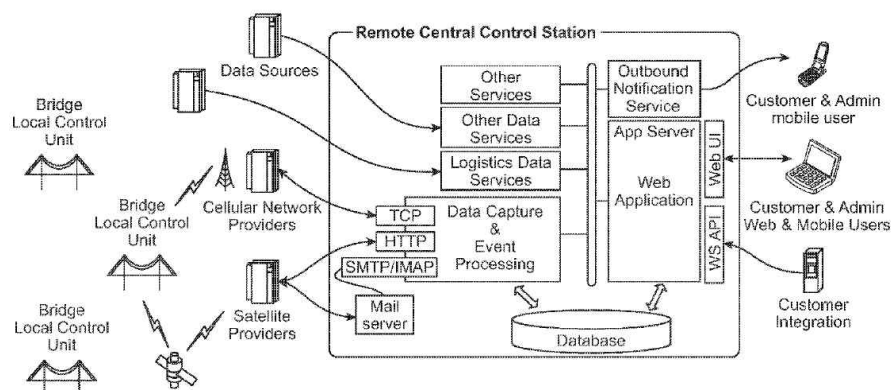
발표도면



기술요약	- 하나 이상의 센서 채널을 통해 통신하는 복수의 센서 노드가 존재하며 각 센서 노드는 스마트 센서 보드 플랫폼에 대한 인터페이스를 갖는 회로 기판을 가짐 - 복수의 센서가 일정 간격으로 배치되어 있으며 다축 가속도계를 통하여 구조물의 진동 감지를 계속함 - 계속된 신호를 변환하기 위한 아날로그-디지털 변환기(ADC)와 연결된 개별 채널을 통해 인터페이스에 데이터를 제공 및 제어하며, 각 센서 노드에 네트워크를 제공하는 네트워크 프레임워크를 통해 데이터를 수집하고 각 데이터세트의 시간 동기화를 진행함		
차별성	- 개별 센서 노드에서 채널을 통한 데이터 제공의 동기화 및 네트워크 프레임워크 구축에 중점을 둔 기술이므로, 센서의 효율성 및 고도화에 관한 본 개발기술과는 차이가 있을 것으로 예상됨		

적용기술명	Methods and Systems for Infrastructure Performance: Monitoring, Control, Operations, Analysis and Adaptive Learning 교량 및 인프라 모니터링, 제어, 운영, 분석, 적응형 학습을 위한 방법 및 시스템		
등록번호	US10345775B2	등록일자	2019년 07월 09일
특허권자	Brian Westcott	발명자	Brian Westcott

발표도면



기술요약	- 다수의 교량 및 타 대형 구조물로부터 통신 네트워크를 통하여 정보를 전달받아, 원격 중앙 제어장치에 데이터베이스를 구축하고, 개발된 알고리즘을 통해 특정 교량에 관한 분석을 진행함 - 모니터링되는 구조물 위 또는 근처에 분포된 센서 모듈을 통해 계속하며 계속된 데이터를 로컬 제어장치로 전송, 데이터 처리 및 추출하여 원격 중앙 제어장치로 전송됨 - 추출된 데이터를 통해 단기/장기적으로 인프라의 성능을 분석하고, 적응형 알고리즘을 통해 구조물의 성능 변화를 분석하여 대시보드에 제공함		
차별성	- 센서의 개발 위주보다 교량에서 정보를 얻어 데이터베이스를 구축, 알고리즘이 주인 특이므로 무선 센서와 그 센서를 모니터링하는 개발기술과 큰 경쟁력이 없을 것으로 예상됨		

□ 현지 경쟁제품 현황

○ 스트레인 게이지

- 스트레인 게이지는 점검 및 계측에 통상적으로 사용되고 있으며, 구조물 거동 변화에 따른 변형률을 측정함
- 스트레인 게이지는 계측 위치에 대한 측정 정확도를 높이기 위해서 다수로 부착되며, 추가로 부착되는 연결 케이블, 기타 부수 장치들도 투입됨



[교량에 부착된 다수의 스트레인 게이지 센서]

- AECOM에서 교량 점검을 진행할 때 다수의 스트레인 게이지를 이용하여 계측하고 있으나, 위치에 따라 설치에 한계를 느낌
- 본 연구의 개발 기술인 가변형 탄소나노튜브 패치 센서는 센서가 부착된 위치의 국소 거동만을 측정하는 기존 센서들과는 달리 센서의 크기를 목적에 맞게 자유롭게 조절하여 설치할 수 있기 때문에 일정 영역에서 발생하는 이상 거동이나 균열의 발생 및 진전 등의 상황을 조기에 감지할 수도 있고, 기존 스트레인 게이지 설치가 어려운 환경에서 맞춤형 크기 조절을 통해 설치가 가능한 장점이 있어 기존 계측 작업에 추가되어 시스템을 보완할 수 있을 것으로 예상함

○ 스마트 교량 모니터링

- 현재 미국 몇몇 회사들이 스마트 IoT 센서를 교량 안전 모니터링에 도입하는 프로젝트를 진행 중임
- 스마트 모니터링의 특징으로는 무선이며, 원격으로 모니터링할 수 있고, 정적, 동적, 장기 모니터링 상황에 따라 파라미터를 설정하여 데이터를 분석할 수 있음
- 교량 위치에 따라 가속도계, 변위 센서, 3축 경사계 등을 설치하고 교량 근처에 게이트웨이를 설치하여 네트워크를 통해 수집된 데이터를 전송하는 방식이며, 클라우드 플랫폼으로 조회할 수 있음

- 본 연구의 개발 기술은 스마트 센서와 비교하여 비교적 저렴할 것이므로 종합적인 접근성이 뛰어날 것으로 예상됨



[Move Solutions 사의 스마트 모니터링 센서 종류]

4. 국내 기술의 준비도

□ 국내 현장에서의 TRL 단계

- 선행연구를 통해 탄소나노튜브 복합재료 패치형 센서, 전용 계측장치 및 모니터링 시스템의 프로토타입 개발 및 생산을 완료하였고, 공인시험을 통해 공인시험성적서를 발급받아 해당 프로토타입의 신뢰성을 확보하였으며, IoT 기반 모니터링 시스템 기술의 현장 적용을 통한 사업화를 진행하여 TRL 7단계를 확보하였음

○ 현재 기술 수준(TRL) 입증 근거

- 국제협력 대상 기술 프로토타입 개요
- 셀프센싱 CNT 폴리머 코팅 센서: 탄소나노튜브-폴리머 복합체의 기계-전기적 연관관계를 바탕으로 구조물의 균열 발생을 판별함

셀프센싱 CNT 폴리머 코팅 센서 프로토타입 근거

「시제품 제작」 성과 확인서

□ 과제정보

사업명	국토교통기술혁신연구	과제번호	21CTAP-C151809-03
과제명	스마트시티 구현을 위한 '셀프센싱' 건설재료와 사용인타당 기반 콘크리트 구조물 건강성 모니터링 시스템 개발		
연구기관	위이엔지소프트	연구책임자	남상익

□ 현장시험·검증 성과

구분	시험시공		
시제품명	균열 감지가 가능한 탄소나노튜브 기반 코팅제		
제작일시	2021년 9월 1일	제작업체	이노메이트이스 주식회사
목적	콘크리트 균열 감지		
내용	콘크리트 균열 감지 기능여부 확인을 위한 시험실 내 3월형 형상물		
활용계획	콘크리트 구조물의 초기 균열 감지용		
준비	[첨부] 증빙 내역 (시험결과보고서)		

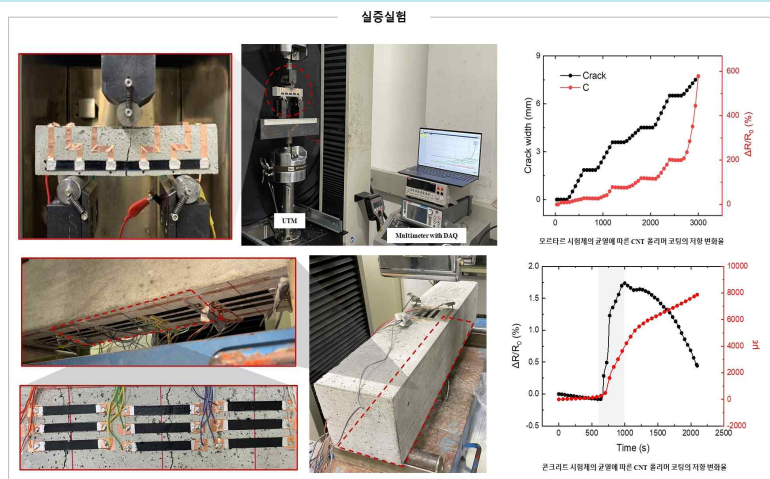
위 연구과제를 통해 발생한 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.

2021년 12월 27일

연구기관
(위이엔지소프트)

책임자
김창곤

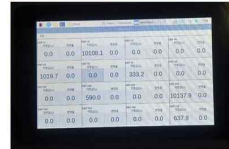
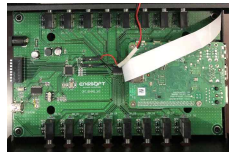
국토교통부장관 귀하



- CNT-PU 패치 센서 전용 계측장치 및 IoT 기반 모니터링 시스템: CNT 폴리머 센서의 전기적 특성 계측을 위한 전용 장치와 이를 활용한 모니터링 시스템임

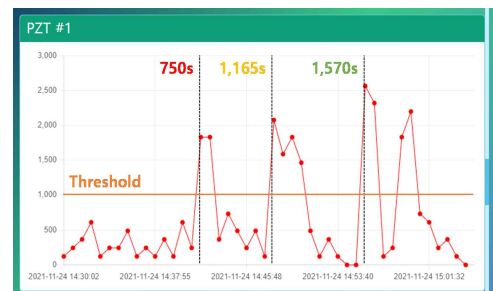
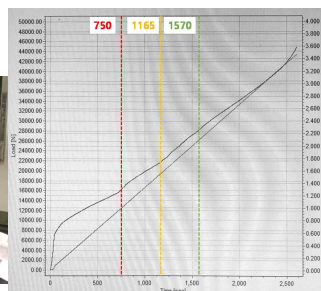
CNT-PU 패치 센서 전용 계측장치 및 IoT 기반 모니터링 시스템 프로토타입 근거

「시제품 제작」 성과 확인서		
□ 과제정보		
사업명	국토교통기술혁신연구사업	과제번호
과제명	스마트시티 구현을 위한 스마트 건설재료의 시공인식용 기반 콘크리트 구조물 건강성 모니터링 시스템 개발	연구기관
□ 현장시험-검증 결과		
구분	공인시험	
시험종류	CNT 센서 계측을 위한 스마트 센서노드	
제정일시	2021년 9월 30일	제정업체
목적	탄소나노튜브(CNT) 복합재료용 이용한 센서 계측	
내용	CNT 센서를 통한 계측 데이터 수집, 분석 및 데이터 통신	
활용계획	CNT 센서 공중 제리의 제작 및 공중 제리로 활용하게 되어, 추후 구조물을 통해 보다 실용적인 기술을 제공할 수 있도록 할 것임	
증빙	[첨부] 증명 내역(시험결과보고서)	
위 연구과제를 통해 발생한 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.		
2021년 12월 30일		
연구기관	책임자	
카이엔지소프트	김성근	
국토교통부장관 귀하		



시험 및 검증 결과

- 공인시험기관인 건설품질기술연구원에서 본 연구의 대상 기술인 CNT 센서, 계측장치 및 모니터링 시스템 프로토타입의 성능 검증을 위한 통합 시험을 수행함
- 0.7m의 길이를 갖는 각주형 시험체를 4점 재하 방식으로 시험하였으며, 가력 중 인장 부에서 발생하는 균열에 따른 CNT/PU 센서의 전기적 상태 변화 및 계측장치와 모니터링 시스템을 통해 균열 감지 여부에 대해 검증하였음
- 하중 증가 과정에서 균열 발생과 함께 UTM의 하중 곡선에서 이상 신호가 감지 되었고 이에 대응하여 모니터링 시스템에서도 미리 설정된 한계치 이상의 전기적 성질 변화 상태가 감지되어 균열 발생을 확인할 수 있었음



- KOLAS 인증기관의 시험으로 센서 및 모니터링 시스템 프로토타입의 성능을 검증하고 공인시험성적서를 발급받음
- 대상 기술 중 IoT 기반 모니터링 시스템은 2020년 현대건설과 세종-포천 고속도로 14공구 현장에 기술을 적용하여 사업화 실적 1건을 확보하였음

ICQT
건설품질기술연구원

시험 성적서

1. 접수 번호	ICQT-20211619	4. 접수 일자	2021년 11월 24일
2. 의뢰인	㈜이엔지소프트	5. 발급 일자	2021년 12월 31일
담당자	이엔지소프트	6. 발급처	연구사원
주소	서울시 강서구 양천로 551-17, 4층 404호		
3. 시험명	콘크리트 교량 시험		

- 결 과 -

연번	시험 일자	시험 항목	단위	시험 결과	시험 결과	시험 결과
1	CNT-PZT 복합센서 부착	시험제1	%	9.8	9.3	7.6
2	CNT-PZT 복합센서 부착	시험제2	%	2.8	4.7	6.6
3	CNT-PZT 복합센서 부착	시험제3	%	310	0.04	

※ CNT-PZT 복합센서 부착률 100% 이상을 나타내며, 100% 미만인 경우 100%로 기재합니다.
※ 부착률 100% 이상을 나타내며, 100% 미만인 경우 100%로 기재합니다.

연구기관명: (주)이엔지소프트

연구책임자: 김성근

연구사원: 김성근

2021년 12월 31일

(주)건설품질기술연구원장

주소: 경기도 수원시 영통구 영통로 999-1 (영통동) ICQT-2021-0001 / 팩스번호: 031-667-0201
 고객센터: 1588-1234 / 홈페이지: www.icqt.co.kr / 이메일: info@icqt.co.kr
 ※ 본 성적서의 진위 여부는 국가 건축물 확인 가능합니다.

「사업화·제품화(매출)」 성과 확인서

□ 과제정보

사업명	국토교통기술혁신연구사업	과제번호	19CTAP-C151808-02
과제명	스마트시티 구현을 위한 센서형 건설재료와 자율인터넷 기반 콘크리트 구조물 건전성 모니터링 시스템 개발	연구기관	㈜이엔지소프트
연구책임자	김성근	연구책임자	남상혁

□ 사업화·제품화 성과

구분	내수	외수	
기술명	자율인터넷 기술을 활용한 현장 모니터링 기술		
내용	자율인터넷 기술을 360카메라에 적용하여 시공 현장 관리		
당해연도 판매가(A)	61,700,000원 (부가세 별도)	판매수량(B)	12건
매출액(C=A×B)	61,700,000원	R&D비율(D)	30%
당해연도 기술매출액(E=C×D)	18,510,000원	매출유형	직접매출
증빙	[첨부] 증빙 내역(영역계약서, 세금계산서)		

① 직접매출: 주관/참여(수요기업포함) 주체가 되어 개발기술을 제3 기관에 제공
 ② 간접매출: 주관/참여(수요기업포함) 주체가 되어 개발기술(사업계획서)을 명시하지 않았지만 기술개발을 통해 얻은 KNOW-HOW(파생기술)을 제3 기관에 제공

위 연구과제를 통해 발생한 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.

2020년 12월 24일

연구기관명: (주)이엔지소프트

책임자: 김성근

국토교통부장관 귀하

□ 해외 현장에서의 TRL 단계

○ 해외 실증

- 2023년 9월 해외협력기관인 Columbia University 및 해외실증지원기관인 AECOM과 함께 대상국인 미국 메릴랜드주에 있는 Paper Mill Road Bridge(Bridge No. 030376001, MD 145) 교량 거더 연결부에 탄소나노튜브 패치 센서를 부착하고 CNT 패치 센서 전용 계측장치 및 IoT 기반 모니터링 시스템을 이용하여 차량 주행에 따른 교량 거동 변화를 측정하였고, 이를 통해 미국 현지 교량에 대한 CNT 센싱 시스템의 성능을 확인함
- 해당 기술을 미국 내 실제 교량에 적용하여 중차량을 이용한 재하시험을 실시하였으며, 시험 차량 주행 시 교량 거동 변화에 따른 탄소나노튜브 패치 센서의 전기적 변화를 계측하였고, 웹 기반 시스템을 통해 실시간으로 계측 데이터를 모니터링 하며 탄소나노튜브 센싱 시스템의 성능을 확인함으로써 미국 현지에서도 TRL 7을 달성 하였음



[개발기술 현지 교량 부착 및 재하시험 중 성능 검증]

3장. 기술개발 및 현지 실증계획의 적절성

1절. 기술개발 계획의 적절성

1. 목표의 적절성

□ 현지 수요처 니즈가 반영된 기술개발 목표

○ 탄소나노튜브 패치 센서

- 수요처에 대한 요구사항 조사와 사전 현장 시험을 통해 탄소나노튜브 패치 센서 크기의 가변성과 센서로서의 내구성 확보 등에 대한 검증 및 추가 개발 필요성이 도출되었으며, 이에 대해 한양대학교 에리카 산학협력단에서 Columbia University와의 공동연구를 통해 탄소나노튜브 패치 센서의 현지화 및 최적화 연구를 목표로 수행 예정임
- 이상 거동 감지 센서 최적 설계 및 온/습도 영향성 평가
- 탄소나노튜브 패치 센서의 내구성 확보방안 연구
- 탄소나노튜브 패치 센서 대량 생산 및 최적화 기법 도출

○ IoT 계측장치 및 모니터링 시스템

- 해외실증지원기관이며 해당 기술의 수요처인 AECOM에서는 교량 등 다양한 구조물에 대해 기존 스트레인 게이지 기반의 계측 업무를 수행하고 있으나 스트레인 게이지를 적용할 수 없거나 계측 범위 문제 등 기존 계측 방식에 대한 한계를 인지하고 있어 새로운 형태의 센서나 계측 방식에 대한 필요성을 느끼고 있음
- 이에 대해 (주)이엔지소프트에서는 (주)제이원산업과 함께 가변형 탄소나노튜브 패치 센서 기반의 IoT 계측장치 및 모니터링 시스템 최적 설계를 통해 기술의 고도화 및 현지화를 목표로 연구를 수행할 예정임
- 탄소나노튜브 패치 센서 기술 실증을 위한 최적 계측 시스템 설계
- 계측장치 및 모니터링 시스템 고도화 및 실증시험을 통한 현지 기술 검증
- 계측 시스템 설치·운영 및 장기 모니터링을 통한 데이터 분석 기법 고도화

□ 현지화를 위한 개발기술 고도화 및 최종 성과 목표

- 미국 현지의 교량에 적용하기 위한 가변형 탄소나노튜브 센싱 시스템의 성능 검증을 위해 탄소나노튜브 패치 센서 및 IoT 계측장치 및 모니터링 시스템에 대해 다음과 같은 개발 목표를 설정하고 전문가 평가 및 미국 내 공인인증기관에서 시험 예정

성과명	평가 항목 (주요성능 Spec)	단위	개발 목표치	대상국 기술수준	설정근거	평가 방법	산출물
IoT 계측 장치 및 모니터링 시스템	계측 주기	초/채널	0.1	0.1	계측 장치의 채널 수를 10채널로 가정하여 매초 데이터 송신을 위한 채널 당 계측 주기	전문가의견서 공인시험성적서	계측장치 (H/W) 및 모니터링 시스템 (S/W)
	업데이트 (송신) 주기	초	1	-	매초 주기적으로 계측장치에서 서버로 데이터 송신 고려	전문가의견서 공인시험성적서	
	데이터 정합성	%	99	-	제어장치에 저장된 데이터와 서버에서 수신한 데이터 일치율	전문가의견서 공인시험성적서	
	시스템 기능 적절성	%	99	-	UI 작동 시 목적에 부합하는 기능 수행 여부 고려	전문가의견서 공인시험성적서	
탄소나 노튜브 패치 센서	변형률 측정 범위	%	2	0.36	구조물 파괴 변형률인 0.3%를 포괄하는 범위의 최대 측정 변형률 설정	전문가의견서 공인시험성적서	가변형 탄소나노 튜브 패치 센서
	온도 영향성	%/°C	0.6	0.6	탄소나노튜브 소재 기반의 최신 기술 성능 고려	전문가의견서 공인시험성적서	
	습도 영향성	%/%	0.02	0.02	탄소나노튜브 소재 기반의 최신 기술 성능 고려	전문가의견서 공인시험성적서	
	센서 크기	cm ²	100	8.4	교량에 부착되어 감지할 수 있는 유효 범위 고려	전문가의견서 공인시험성적서	

□ 해외 현장에서 TRL단계 목표

○ 탄소나노튜브 패치 센서

- 본 과제의 기술 실증 과정을 통해 탄소나노튜브 패치 센서를 실제 교량에 적용하여 실제 현장에서의 사용 적합성을 증명하며, 사업화 과정에서 센서 상용제품을 생산을 통한 사업화로 TRL 9를 달성하여 이에 대한 근거 제시 예정임

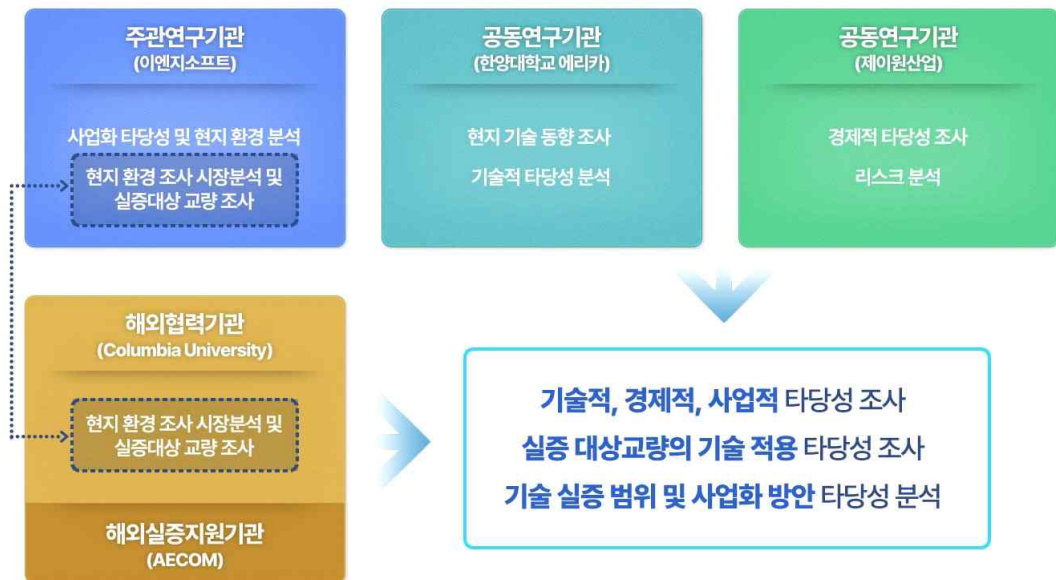
○ IoT 계측장치 및 모니터링 시스템

- 본 과제의 기술 실증 및 사업화 과정을 통해 탄소나노튜브 패치 센서 기반의 IoT 계측 장치 및 모니터링 시스템 완제품을 실제 교량에 적용하여 실제 현장에서의 사용 적합성을 증명하며, 이에 대한 성능 및 사용 가능성 검증을 통해 TRL 9 달성에 대한 근거 제시 예정임

2. 추진절차의 구체성

□ 연차별 주체별 추진 절차 및 방법

○ 1단계(타당성 조사) : 2023. 06. 30 ~ 2023. 12. 31



○ 2단계(공동연구 및 기술 실증) : 2024. 01. 01 ~ 2026. 12. 31



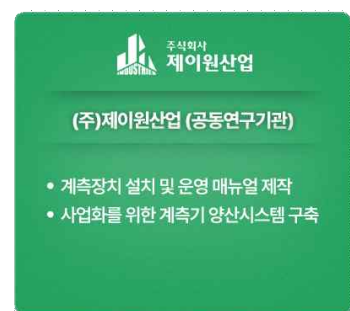
- 세부 추진 일정

- 공동연구를 통한 기술 고도화 및 현지화 : 2024. 01. 01 ~ 2026. 12. 31
[기술 고도화 - 1차 실증 - 개선사항 도출 및 적용 - 2차 실증 - 추가 개선 및 기술 현지화 개발 - 사업화 연계]
- 1차 실증 : 2024. 07. 01. ~ 2025. 06. 30 (Bridge No. 030376001)
- 2차 실증 : 2025. 07. 01. ~ 2026. 06. 30 (Bridge No. 210043001)
- 사업화 연계 : 2026. 07. 01. ~ 2026. 12. 31

– 연차별 주체별 기술 개발 Activity

연차별 주체별	1차년도 (2024.01.01.~2024.12.31)	2차년도 (2025.01.01.~2025.12.31)	3차년도 (2026.01.01.~2026.12.31)
(주)이엔지소프트	기술실증을 위한 계측장치 및 모니터링 시스템 고도화 / 1차 실증 준비	1차 실증을 통한 계측·분석 및 모니터링 방법 고도화 / 2차 실증 준비	2차 실증을 통한 시스템 성능 검증 / 사업화 연계
한양대학교 에리카	패치 타입의 탄소나노튜브 센서 최적 설계 및 성능 개선 / 1차 실증 적용	가변형 CNT 센서 온·습도 영향성 평가 / 2차 실증 적용	대량 생산 기법 및 생산 최적화 기법 도출 / 사업화 연계
(주)제이원산업	현지 계측 시스템 분석을 통한 센싱 시스템 설계 및 설치·운용 방법 도출 / 1차 실증 적용	계측 시스템 운용을 통한 계측 모듈 고도화 / 2차 실증 적용	저전력 설계 기술 분석 및 배터리 운용 시스템 구현 / 사업화 연계
Columbia University	CNT 패치 센서의 현지 적용을 위한 내구성 향상 방안 도출 / 1차 실증 지원	탄소나노튜브 센서 내구성 평가 / 계측 및 분석 기법 개발 지원 / 2차 실증 지원	환경 영향성 및 내구성 시험 및 신뢰성 검증 / 사업화 연계 지원
AECOM	1차 실증 대상 교량 제공을 위한 관리 주체 협의 및 실증시험 지원	1차 실증 현장 지원 및 2차 실증 대상 교량 제공	2차 실증 현장 지원 / 사업화 연계 지원

○ 3단계(현지 기술 사업화) : 2027. 01. 01. ~ 2027. 12. 31.



– 기술 실증과 연계된 사업화 준비

- 2단계 3차년도 2차 기술 실증 이후 사업화 연계 과정을 통해 3단계에 본격적인 사업화 준비가 진행될 수 있도록 함
- 3단계 현지 사업화 기간 동안 미국 협력기관 및 실증지원기관의 협조하에 구체적인 사업화 전략을 구축하여 매출 발생이 될 수 있도록 함

– 주체별 사업화 Activity

연차별 주체별	3단계 (2027.01.01.~2027.12.31)	
(주)이엔지소프트	미국 현지 사업화 추진 및 확산 방안 도출	- 미국 현지 사업화 계획 및 마케팅 전략 수립 - 사업화를 위한 미국 인증 및 지식재산권 확보 - 확보된 Track Record를 바탕으로 주변국 및 제3국으로 시장 및 판로 확대 전략 수립
한양대학교 에리카	대량 생산 최적화 기법이 적용된 탄소나노튜브 패치 센서 제작 및 적용	- 사업화 연계를 위한 탄소나노튜브 패치 센서 대량 생산 설비 구축 - 센서 시제품 제작 및 사업화를 위한 현장 적용
(주)제이원산업	계측장치 데이터 시트, 설치/운영 매뉴얼 도출 및 계측기 양산 시스템 구축	- 계측기(H/W) 제품 사양서 등의 데이터 시트 작성 - 계측기 설치/운영을 위한 매뉴얼 도출 - 사업화를 위한 계측기 양산 시스템 구축
Columbia University	사업화 지원	- 미국 내 사업화를 위한 네트워크 연계 지원 - 현지 적용을 위한 필요 항목 추가 연구개발 지원 - 사업화를 위한 계측 및 분석 기술 지원
AECOM	사업화 지원	- 가변형 CNT 패치 센서 적용을 위한 자체 프로젝트 개발 - 미국 현지 마케팅 및 사업화 전략 지원 - 현지 적용 제품 인증 등을 위한 기술 지원

□ 주체별 성과물 연계 계획

○ (주)이엔지소프트 (주관연구기관)

- 공동연구기관인 한양대학교에서 개발한 가변형 탄소나노튜브 패치 센서와 연계하여 전용 계측장치 및 모니터링 시스템 고도화
- 해당 기술의 미국 현지 적용을 위해 한양대학교와 Columbia University에서 진행하는 센서의 환경 영향성 및 내구성이 보완된 CNT 센서를 기술 실증에 반영
- 제이원산업에서 설계하는 최적 센싱 시스템에 따라 모니터링 시스템을 개발하고 이를 고도화하여 기술 실증 및 사업화 연계

○ 한양대학교 에리카 산학협력단 (공동연구기관)

- 해외협력기관인 Columbia University와 협업을 통해 탄소나노튜브 센서 고도화 및 특성 평가를 진행하고 미국 현지에 적용할 수 있는 고품질 탄소나노튜브 센서 개발 추진
- 현지 적용을 위한 맞춤형 탄소나노튜브 패치 센서의 현지화 및 최적화 연구를 통해

시제품 개발 이후 양산 기술을 개발하여 사업화 이후 (주)이엔지소프트로 기술이전 예정

○ (주)제이원산업 (공동연구기관)

- (주)이엔지소프트 및 AECOM과의 협업을 통해 현지 실증 대상 교량에 적용할 계측 시스템에 대한 최적 설계 방안 도출
- 기술 실증을 위한 계측 시스템 설계 및 설치·운영 기술 연구를 하게 되며, 주관연구기관과 함께 현장 적용을 통해 해당 기술의 성능을 검증

□ 실증 및 사업화 과정 개선사항의 기술개발 반영계획

- 1단계 과정 중 실시된 사전 현장 시험을 통해 도출된 수요처의 요구사항 및 발생 가능 리스크 등을 분석하여 탄소나노튜브 센싱 시스템 고도화를 진행하고, 2차에 걸친 미국 현지 실제 교량을 대상으로 하는 기술 실증을 통해 센싱 시스템의 전반적인 검증과 성능 개선을 도모함
- 미국 현지의 니즈에 의해 개선된 현지화 기술을 통해 사업화를 추진하며, 사업화 이후에도 지속적인 기술개발을 통해 최선의 스마트 센싱 기술이 될 수 있도록 할 것임
- 미국 현지 요구사항을 만족하는 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치 및 모니터링 시스템의 양산을 위한 기술 구축 및 개선

3. 산출물 및 성능평가 방법의 적절성

□ 기술개발 성과물

- 미국 현지 교량에 적용할 수 있는 고품질의 탄소나노튜브 패치 센서와 센서 전용 IoT 계측장치 및 모니터링 시스템

□ 성능평가 계획

○ 탄소나노튜브 패치 센서

- 해당 센서에 대한 표준화된 시험 방법 및 인증기준이 부재하므로 다음과 같은 성능 목표에 대해 전문가 평가 및 공인시험기관의 테스트를 통해 성능 검증
- 일반적인 콘크리트 구조물의 파괴 변형률인 0.3%를 포괄하는 2% 변형률까지 거동 감지 가능 여부
- 환경 변화에 대한 센서의 신뢰성 확보를 위해 온도변화 영향성 0.6%/°C, 습도 변화 영향성 0.02%/% 이하
- 교량에 부착되어 이상 거동을 감지할 수 있는 가변형 탄소나노튜브 센서의 크기(유효 범위) 100cm² 이상
- 미국에서의 센서 성능 검증을 위해 해외협력기관인 Columbia University와의 협조를 통해 성능인증시험기관에서 성능 인증

○ IoT 계측장치 및 모니터링 시스템

- 가변형 탄소나노튜브 패치 센서 전용 계측장치 및 교량 거동 모니터링 시스템의 성능 검증을 위해 성능 목표에 대해 전문가 평가 및 공인시험기관 시험 시행
- 교량의 차량 주행 시험 또는 장기 거동 모니터링 과정 동안 실시간 이상 거동 감지를 위해 계측장치의 측정 주기는 채널당 0.1초 이하로 하며 서버로의 송신 주기는 1초 이내로 함
- 계측장치에서 송신한 데이터와 서버에서 수신한 데이터 사이의 정합성은 99% 이상을 목표로 하며, 모니터링 시스템 소프트웨어의 UI 기능 적절성도 99% 이상을 목표로 함
- 미국에서의 IoT 계측장치 및 모니터링 시스템의 성능 검증을 위해 해외협력기관인 Columbia University와의 협조를 통해 성능인증시험기관에서 성능 인증

2절. 실증 전략의 적절성

1. 기술적/사업적으로 예상되는 이슈에 대한 대응절차 및 계획 여부

□ 실제 환경 적용을 위한 사전 현장 시험

○ 기술오류 및 이슈 대응을 위한 실증 대상 교량 사전 현장 시험

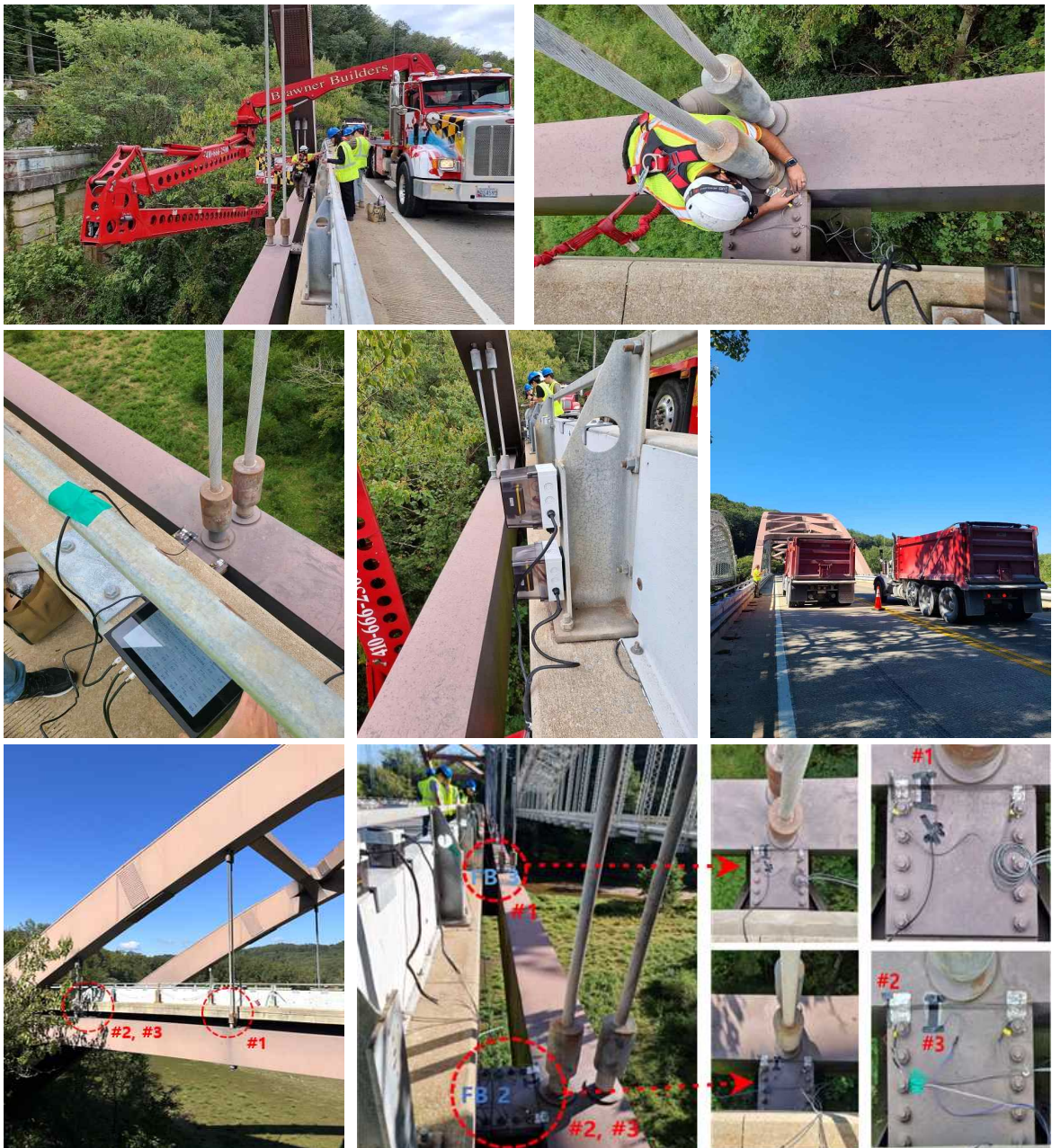
– 가변형 CNT 센싱 시스템 현지 적용을 위한 사전 현장 시험 실시

- 1차 실증 예정 교량을 대상으로 사전 현장 시험 계획 (2023년 9월 18일~19일)
- 미국 메릴랜드주 볼티모어 카운티에 있는 Paper Mill Road Bridge
- 2000년에 준공한 Steel Tied Arch 교량으로 Floor Beam 접속부에 일반 Strain gauge 및 CNT 센서를 부착하고 중차량 주행 시험을 통한 교량 거동 계측



- Maryland 주 DOT 담당관의 감독하에 주관기관인 (주)이엔지소프트, 국내 공동기관인 한양대학교, 해외협력기관인 Columbia University가 참가하고, 해외실증지원기관인 AECOM의 주관 및 협조하에 현장 재하 시험을 실시함

- 재하시험용 중차량(70,000lb 트럭 2대)을 이용하여 1개 차선 또는 2개 차선으로 주행하며 교량의 거동 변화 측정
- 현장 재하 시험 결과 CNT 패치 센서가 차량 주행에 따른 교량의 거동 변화를 정확하게 측정할 수 있음을 알 수 있었고, Scalable & Flexible한 CNT 센서의 특징을 이용하여 교량의 이상 거동 예측에 매우 효과적으로 적용될 수 있음을 확인함
- 가변형 CNT 센서의 적용 가능성 및 성능 파악과 함께 사용자 요구사항 및 개선 필요사항 도출



08

Scalable Carbon Nanotube Sensor

Preliminary Field Testing Plan



PAPER MILL ROAD BRIDGE OVER GUNPOWDER FALLS (BRIDGE NO. 030376011)

- Location : Maryland Route 145, Baltimore County, Maryland, United States
- Type : Steel Tied Arch
- Specifications : 668' 10" (204m) -518' 4" steel tied arch span + 7@21' 6" approach span / 46' width (2 lanes each)
- Construction Completion Date : December 2000
- Managing Department : Maryland Department of Transportation



08

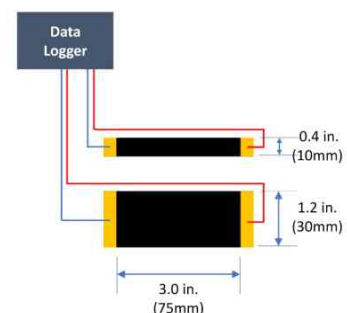
Scalable Carbon Nanotube Sensor

Preliminary Field Testing Plan



OBJECTIVE: TEST CNT SENSORS AND DATA LOGGER PROTOTYPE & DETECTION PERFORMANCE

- 2 Sensors attached near to existing cracks during loading test
- Bridge behavior monitored using data logger prototype
- CNT Sensors attached using gauge adhesives (Ex. CN)
- CNT Sensor thickness: 0.02 in (0.5 mm)
- Sensors could be attached between 9/18 afternoon and 9/19 morning, whenever AECOM is available
- CNT Sensor detection monitored only during Loading Test (Long-time monitoring not planned for now)
- Sensor attachment location can be changed through discussion
- Standing on the old bridge with laptop to retrieve data



– 사전 현장 시험 결과 분석

- AECOM에서 부착한 일반 Strain gauge 계측 결과는 Floor Beam 상·하부에 부착되어 차량 주행에 따른 압축 및 인장 거동을 잘 표현하고 있고, 발생하는 변형률의 범위를 확인할 수 있었음
- CNT 센서는 콘크리트 구조물이나 강 구조물 등의 표면에 모두 적용할 수 있었고, 일반 Strain gauge를 부착할 수 없는 위치에 적용할 수 있다는 큰 장점이 있다는 것을 검증하였음
- CNT 센서는 Scalable & Flexible한 특성으로 인해 좁거나 넓은 영역뿐만 아니라 양단의 높이 차이가 나는 용접부에도 적용할 수 있었고, 주행 차량의 하중을 잘 감지하며 교량의 거동 변화에 따라 센서의 저항이 변화하며 거동 변화 특성을 잘 나타내고 있다는 것을 확인하였음
- 차량 주행에 의한 거동을 분석하는 시험에서 데이터 sampling rate를 0.5Hz로 하여 계측한 것은 취득 데이터가 다소 부족할 수 있을 것으로 판단되어 보다 정밀한 거동 분석을 위해서는 sampling rate를 높여서 계측하는 것이 필요한 것으로 판단됨
- 일반 Strain gauge를 이용한 AECOM 계측 결과

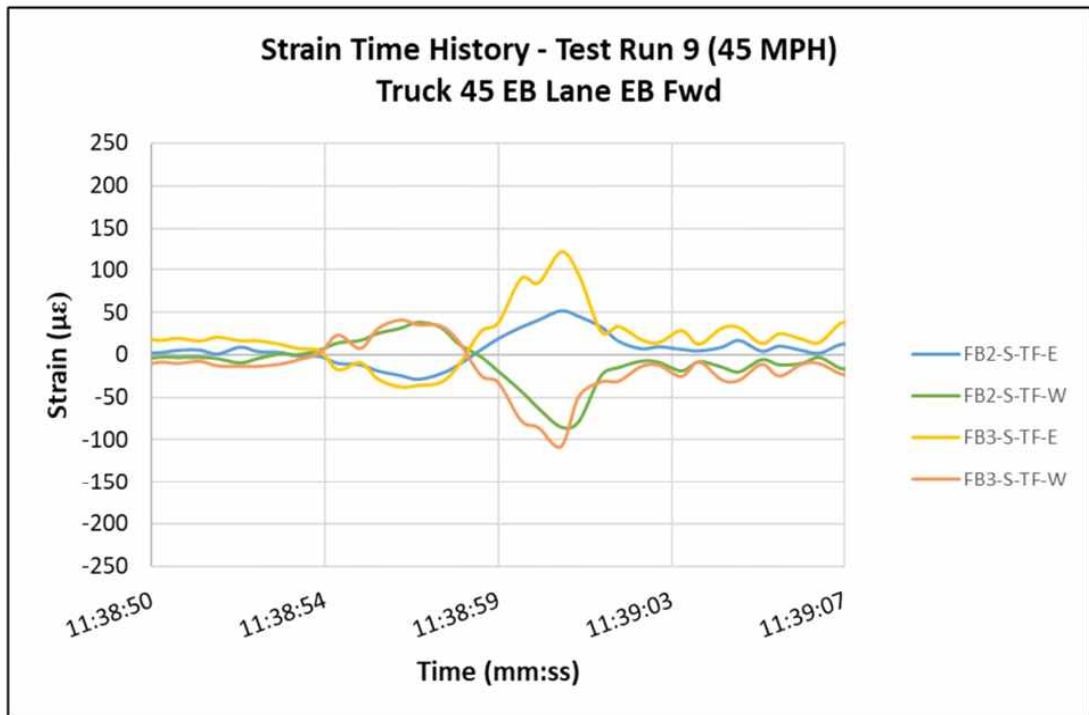
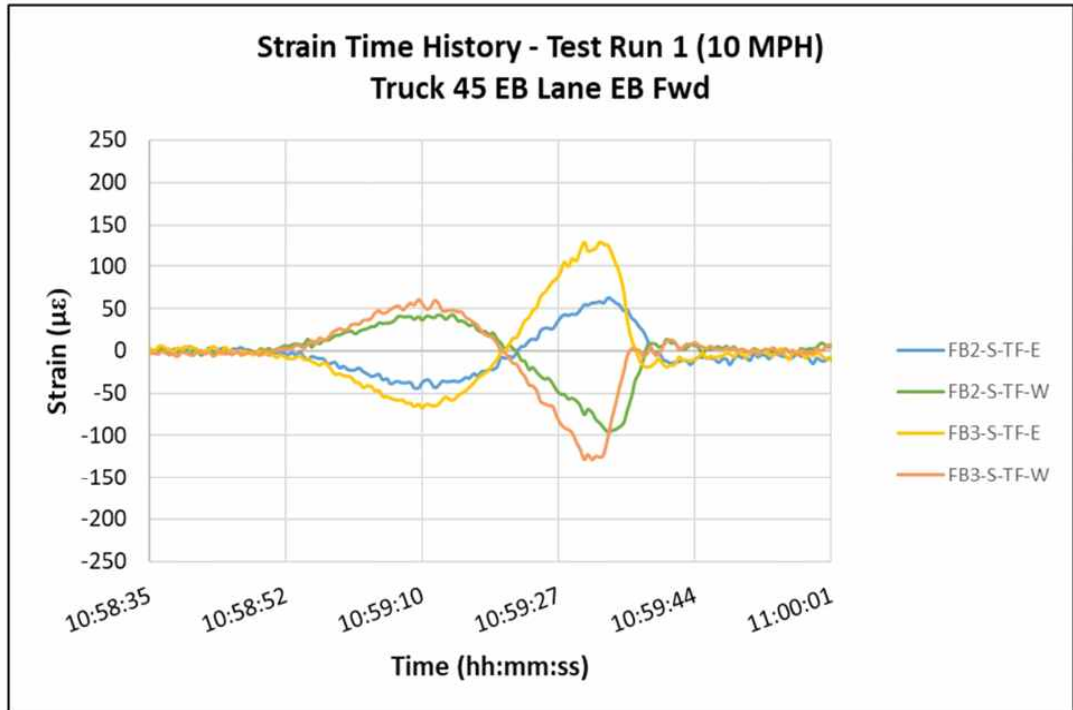


Strain Gage Measurements from Paper Mill Road Bridge Load Testing – 9/19/23

Test Run Summary

Test Run	Start Time	Truck Speed	Truck Lateral Position		Travel Direction
			EB Lane	WB Lane	
1	10:58 AM	10 mph	CL Truck (#45)	-	WB FWD
2	11:00 AM		CL Truck (#45)	-	
3	11:06am		CL Truck (#45)	CL Truck (#44)	
4	11:18am		-	CL Truck (#44)	
5	11:19am		CL Truck (#45)	-	
6	11:22am		CL Truck (#45)	CL Truck (#44)	
7	11:22am	45 mph	CL Truck (#45)	-	
8	11:24am		-	CL Truck (#44)	
9	11:42am		CL Truck (#45)	-	
10	11:44am		-	CL Truck (#44)	

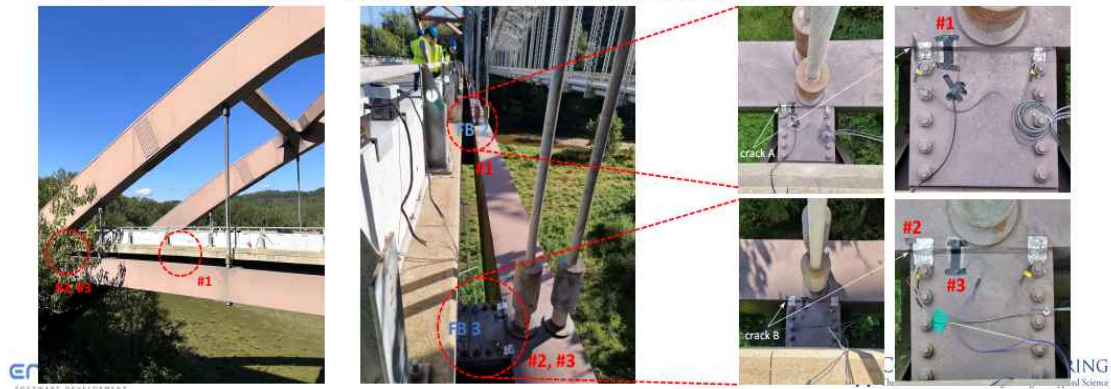
Short Name	Long Name
FB2-S-TF-E	Floor Beam 2, South Side of Bridge, Top Flange, East Side of Connection
FB2-S-TF-W	Floor Beam 2, South Side of Bridge, Top Flange, West Side of Connection
FB3-S-TF-E	Floor Beam 3, South Side of Bridge, Top Flange, East Side of Connection
FB3-S-TF-W	Floor Beam 3, South Side of Bridge, Top Flange, West Side of Connection



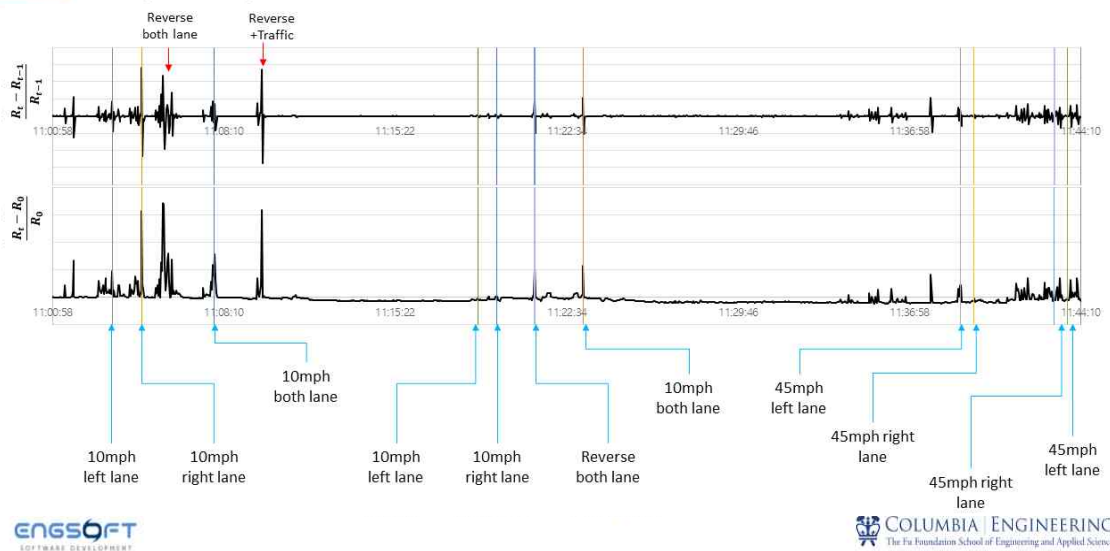
- 가변형 CNT 센서를 이용한 계측 결과

CNT sensor test at the Paper Mill Road Bridge

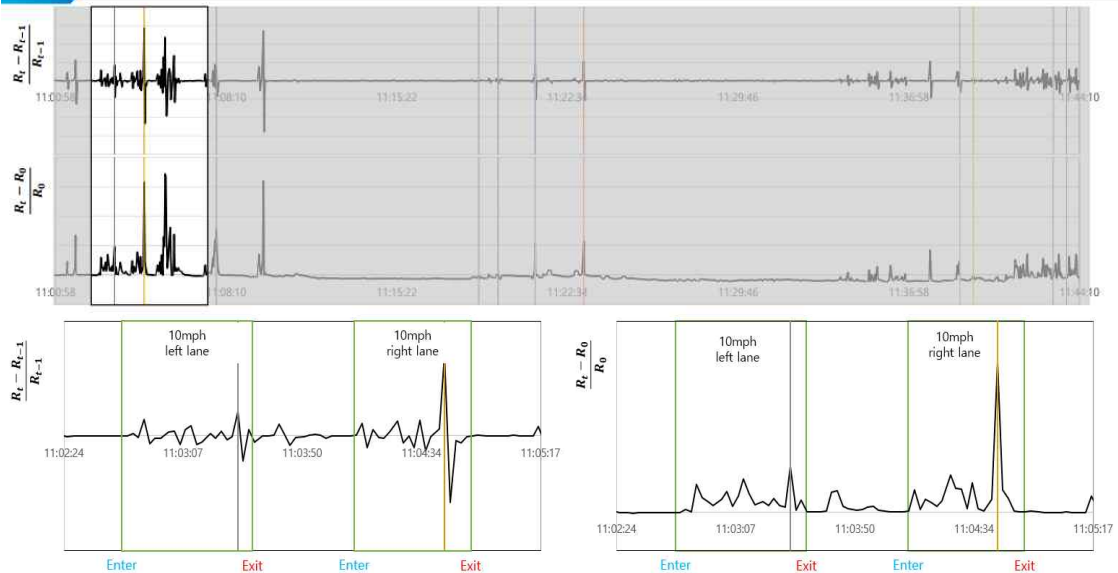
- The scalable and flexible CNT sensors across the welds having cracks and height difference between the both sides.
 - : Sensor #1 (wide) with crack A in FB 2.
 - : Sensor #2 (narrow) & #3 (wide) with crack B in FB 3.
 - : Sensor #2 was positioned to the nearest crack.
- Changes in electrical resistance of CNT sensor were measured at 0.5 Hz sampling rate during the loading test.
 - : Two 70,000 lb trucks passed at 5/45 mph next to the sensors along the bridge lanes.



Signal analysis of sensor #2 with crack B



Single (left/right) lane at 10 mph



Observations & Suggestions for future

Observations from the test

1. Due to the flexible and scalable nature, the CNT sensors could be applied onto narrow or wide area as well as across the weld having height difference between its both sides.
2. The CNT sensors could successfully detect loadings on the bridge.
 - The sensor's resistance changed to detect most of loadings by the 70,000 lb trucks as well as traffic.
 - Unlike 5 mph of the trucks, when the trucks passed next to the sensors at 45 mph, the sampling rate of 0.5 Hz was not high enough to show the resistance change.
3. Since the sensor can detect any kinds of deformations in any surfaces in either steel or concrete bridges, it would be more effective to apply to where a strain gauge cannot be applied.

Suggestions for the long-term monitoring with better reliability

1. Improvements of installation methods for reliability of the sensors
 - Double-sided tapes instead of glue
 - Protection layer and insulating layer under external contaminants or raining
 - Wiring with electrodes
2. Improvements of data logging methods for long-term monitoring
 - Adjustable sampling rate: shorter data acquisition period with higher sampling rate under limited capacity
 - More stable network and power supply

○ 수요자(AECOM) 요청 및 제안사항

- 가변형 CNT 센서를 이용한 교량 이상 거동 감지 시스템은 **실제 교량 현장에 적용할 수 있는 좋은 기술**인 것으로 판단됨
- CNT 센서 부착 방법을 현재의 접착제를 이용한 부착이 아닌 간편하게 부착할 수 있는 방법을 찾을 수 있으면 좋을 것이며, 장기 모니터링을 위해 외부 오염물질이나 수분에 대한 보호층 등이 필요할 것으로 보임
- CNT 센서의 전극 연결을 간편하고 안정적으로 할 수 있도록 제작하면 좋을 것임
- CNT 센싱 시스템의 sampling rate가 0.5Hz인 경우 저속 주행이면 상관없지만, 고속 주행하는 차량의 활하중에 의한 거동을 정상적으로 감지하기 어려울 수 있으므로 **sampling rate를 충분히 높여서** 계측할 필요가 있을 것임
- 부재의 미세 균열 발생 여부를 확인하기 위해 현재 CNT 센서에서 측정하고 있는 저항 변화량을 변형률로 변환하여 정량적인 계측을 할 수 있으면 좋겠음
- **사전 현장 시험 결과 분석 및 사용자(AECOM) 요구사항 분석을 통해 가변형 CNT 센싱 시스템의 개선 및 추가 연구개발 필요 항목들을 도출**하였으며, 기술 개선을 통해 실증을 위한 교량 2개소에 대해 **사용자 요구사항이 반영된 기술을 적용**하기로 하였음
- 실증 대상 교량은 2개소가 정해졌으며, 2024년~2025년 1개소, 2025년~2026년 1개소에 대해 개선된 가변형 CNT 센싱 시스템을 적용하여 기술 실증을 시행할 예정임
- 1차 실증 : Bridge No. 030376001
MD 145(Paper Mill Road) over Gunpowder Falls
Baltimore County, Maryland, US
- 2차 실증 : Bridge No. 210043001
US 522 over Potomac River and CSX Transportation
Washington County, Maryland, US

□ 실제 환경에서 예상되는 기술오류

○ 탄소나노튜브 패치 센서

- 외력에 의한 손상 및 내구성 저하
- 탄소나노튜브 패치 센서는 유연하고 탄력적이지만 과도한 기계적 힘이나 외력에 의한 손상이 발생할 수 있으며, 이에 따라 센서의 정확도와 수명을 단축할 수 있음

- 장기간 사용으로 인해 센서가 노후화되면서 측정 데이터의 정확도가 저하되는 등의 문제 발생 가능
- 환경적 요인에 의한 성능 저하
 - 센서가 외부 환경에 노출되어 온도, 습도 등의 환경적 변화에 따른 센서의 성능 변화와 이로 인한 기계적 및 전기적 안정성 저하로 인해 센싱 데이터 신뢰성 저하
- 센서 부착 문제
 - 실외 작업 환경에서 부착 면이 불규칙하거나 오염되어 있는 경우 센서가 제대로 부착되지 않을 수 있고, 접착제의 특성에 따라 센서 부착 성능이 달라질 수 있음

○ IoT 기반 계측 및 모니터링 시스템

- 계측을 위한 CNT 센서 전극 생성 및 연결 문제
 - 불안정한 CNT 센서 전극부로 인해 계측 데이터의 손실이 발생할 수 있으므로 센서의 전극을 안정적이고 효율적으로 생성하는 방안 필요
- 계측 데이터 Sampling Rate 문제
 - 차량 주행에 의한 거동을 단기 계측하는 경우와 장기간의 거동을 모니터링 하는 경우 등 목적에 따라 데이터 취득 주기가 달라질 필요가 있음
- 시스템 전원 및 통신 두절에 의한 계측 및 데이터 송수신 문제
 - 장기 거동 모니터링을 위해서는 시스템 전원과 데이터 송수신을 위한 통신 체계가 안정적으로 지원되어야 함

□ 예상 이슈의 대응 계획

○ 탄소나노튜브 패치 센서

- 외력에 의한 손상 및 내구성 저하 문제
 - 2단계 1차년도부터 한양대학교와 Columbia University의 공동연구를 통해 탄소나노튜브 패치 센서의 내구성을 향상할 수 있는 방향으로 개선하고, 센서 자체의 기계적 내구성 테스트(충격, 압력, 굴곡 테스트 등) 등을 통해 센서의 기본 성능을 확보할 수 있도록 함

- 2단계 2차년도 및 3차년도에 주관기관과 함께 개선된 탄소나노튜브 패치 센서를 실증 시험에 적용하여 교량의 거동 계측 및 모니터링과 함께 센서의 내구 성능 검증
- 환경적 요인에 의한 성능 저하 문제
 - 온도 및 습도 변화 등 다양한 환경 조건 하에서의 탄소나노튜브 패치 센서 성능 시험을 통해 환경적 요인에 의해 센서 성능이 저하되지 않도록 개선하고, 장기적으로 안정적이고 신뢰성 있는 계측을 할 수 있도록 함
- 센서 부착 문제
 - 다양한 표면 조건 및 부착 방법에 따른 부착 성능 테스트를 통해 패치 센서의 부착 성능을 최적화하고, 기술 실증 과정을 통해 부착 성능을 검증함

○ IoT 기반 계측 및 모니터링 시스템

- 계측을 위한 CNT 센서 전극 생성 및 연결 문제
 - 2단계 1차년도 상반기부터 공동연구를 통해 다양한 형태의 전극에 대한 성능 테스트를 실시하여 효율적인 전극 생성 방법을 도출하고, 현장에서 직접 간편하게 전극을 생성할 수 있도록 전극을 모듈화하는 방법도 모색
- 계측 데이터 Sampling Rate 문제
 - 2단계 1차년도에 탄소나노튜브 패치 센서 전용 데이터 로거의 성능을 개선하여 계측 목적에 따라 데이터 sampling rate를 조절할 수 있도록 개발함
- 시스템 전원 및 통신 두절에 의한 계측 및 데이터 송수신 문제
 - 장기 거동 모니터링을 위해 저전력 시스템으로 구축하고 장기간 전원 공급이 가능한 배터리 시스템을 도입하며, 통신 두절에 의한 데이터 손실 방지 대책 마련

2. 실증부지 마련 및 관련 인프라 확보방안의 적절성

□ 가변형 CNT 센싱 시스템 적용을 위한 실증 대상 교량

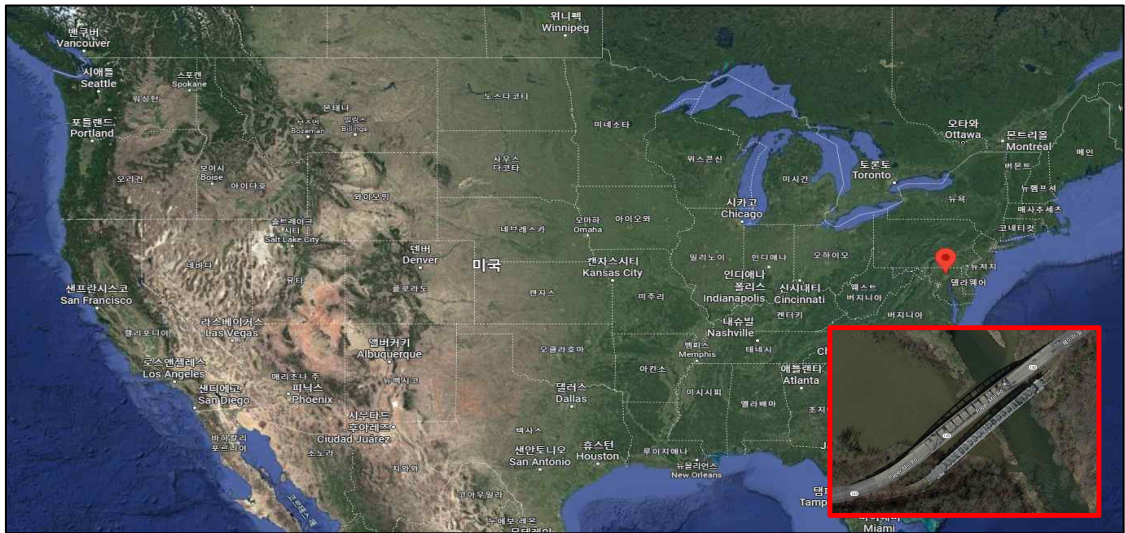
○ 실증 후보지 선정

- 본 연구의 해외협력기관(Columbia University) 및 해외실증지원기관(AECOM)과의 논의를 통해 미국 내 교량 2개소를 선정하여 가변형 탄소나노튜브 센싱 시스템 기술을 2차에 걸쳐 미국 내 실제 사용 중인 교량에 적용하여 기술 실증하기로 하였음
- 실증 대상 교량은 AECOM에서 유지관리가 예정된 미국 메릴랜드주 소재 교량 2개소로 정하였으며, 부식 및 피로균열 등이 발생하여 관리가 필요한 상태의 교량임

○ 1차 실증 대상 교량

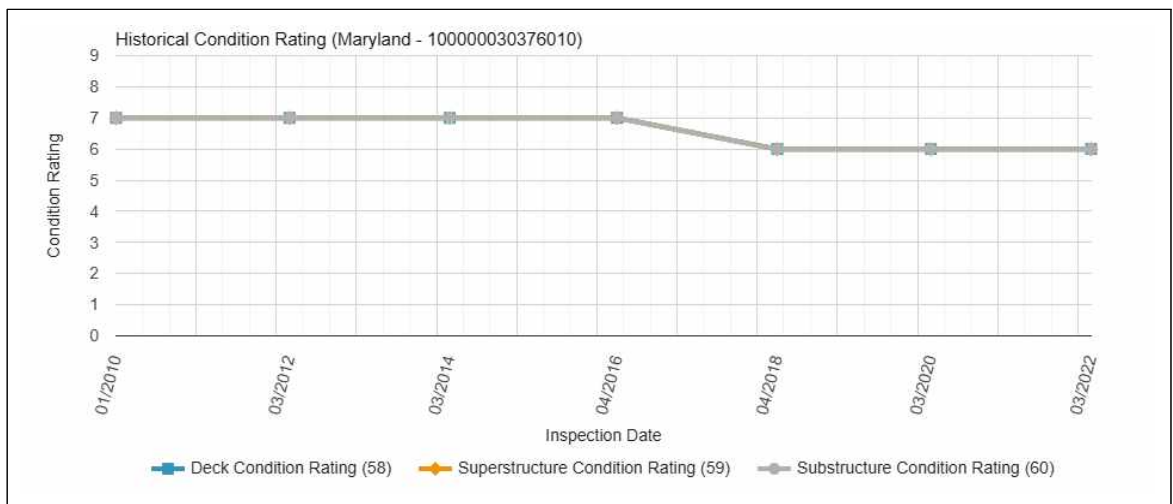
- 실증 대상 교량 기본 정보

- 교량명 : Bridge No. 030376001
MD 145(Paper Mill Road) over Gunpowder Falls
- 위치 : 미국 메릴랜드주 볼티모어 카운티, MD 145번 국도
- 구조형식 : Steel Tied Arch
- 경간장 및 경간 구성 : 673.9ft. (204m)
518'-4" steel tied arch span + 7@21'-6" approach span
- 교폭 : 46' (도로폭 36', 왕복 2차선)
- 준공연도 : 2000년 12월
- 1일 평균 교통량 : 10,100대
- 관리주체 : 메릴랜드주 정부 DOT(Department of Transportation)
- 실증 예정 기간 : 2024년 7월 ~ 2025년 6월



– 실증 대상 교량 현황

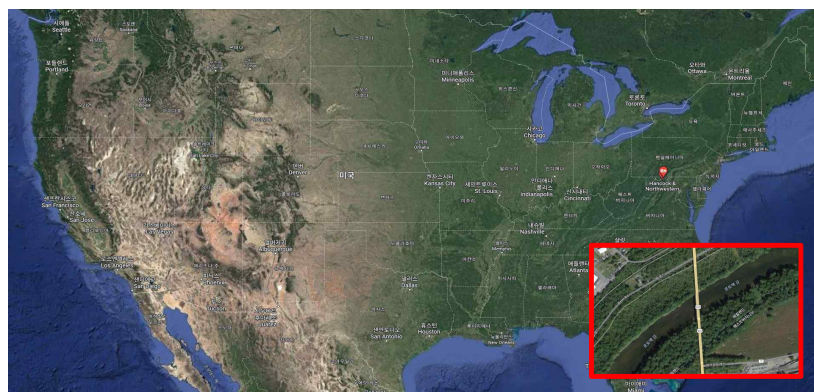
- 2022년 교량 점검을 통해 대상 교량 상부 구조물 하단부에서 많은 부식 발생하여 있고, Floor Beam(FB)과 Edge Girder 연결 용접부 여러 위치에 피로균열과 일부 손상이 발생하여 있음을 확인
- 해외실증지원기관인 AECOM에서는 대상 교량의 상태 점검 및 안전성 확보를 위한 계측 및 유지관리를 진행하고 있음
- 피로균열이 발생하여 있는 용접부에서의 추가적인 균열 진행 등 거동 변화를 검토해야 하지만 해당 위치의 표면 형상 및 단차 등의 이유로 인하여 일반 스트레인 게이지를 부착하기 어려운 상황이며, AECOM에서는 이에 대한 해결 방안을 모색하는 중이었음
- 2023년 9월 18일~19일에 대상 교량에 대한 사전 현장 시험을 통해 단차가 있는 용접 부위에도 가변형 CNT 센서를 적용할 수 있음을 확인하였고, 교량 전체의 필요 부위에 가변형 CNT 센서를 다양하게 설치하여 교량의 거동 변화를 계측하고 모니터링하는 본격적인 기술 실증을 진행하기로 함



○ 2차 실증 대상 교량

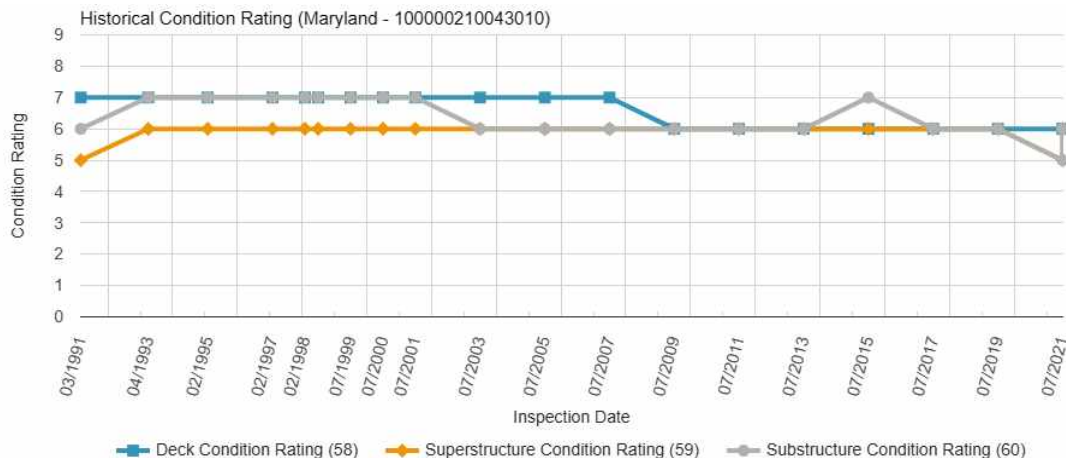
- 실증 대상 교량 기본 정보

- 교량명 : Bridge No. 210043001
US 522 over Potomac River and CSX Transportation
- 위치 : 미국 메릴랜드주 워싱턴 카운티, US 522 국도
(메릴랜드주와 웨스트 버지니아주 경계)
- 구조형식 : Wichert Truss (Rhomboid girder span + Rhomboid truss span)
- 경간장 및 경간 구성 : 2577.1ft. (23 span, 3 types)
Simply supported rolled steel beams (Span 1~7) + five-span continuous riveted steel rhomboid girders (Spans 8~12, 19~23 / 100'+140'+140'+140'+100') + six-span continuous riveted steel rhomboid trusses (Spans 13~18 / 117'-9"+196'-3"+196'-3"+196'-3"+ 196'-3"+117'9")
- 교폭 : 42' (도로폭 32', 왕복 2차선)
- 준공연도 : 1937년
- 1일 평균 교통량 10,930대
- 관리 주체 : 메릴랜드주 정부 DOT(Department of Transportation)
- 실증 예정 기간 : 2025년 7월 ~ 2026년 6월



- 실증 대상 교량 현황

- 2021년 AECOM의 교량 점검을 통해 대상 교량의 Rhomboid pin 및 핀 부재에 과도한 비틀림 전단 응력 및 휨 응력이 발생할 수 있음을 지적하였고, 마모 및 부식 등으로 인한 단면 손실로 응력 집중이 발생하게 되는 경우 노후화된 핀 연결부에 피로 손상이 발생할 수 있을 것으로 평가하였음
- 거더 및 트러스 경간에서 Rhomboid 상부 핀은 1997년에 수행된 외부 포스트텐션 시스템에 의해 구조적으로 보호되고 있지만 상부 데크 조인트의 상태에 따라 일부 부식이 발생한 곳이 있으며, 하부 핀 부위에는 부식, 균열 등 상당한 열화가 발생
- 교량의 안전성 확보를 위해 일부 부재에 대한 보수나 보강이 필요하며, 교량의 장기적인 거동 변화 감시를 위해 적절한 교량 거동 계측 및 이상 거동 감시를 위한 모니터링 시스템 적용이 필요함
- 사전 현장 시험을 통해 미국 내 교량에 대한 사용성을 확인한 가변형 CNT 센싱 시스템에 대해 사용자 요구사항을 반영한 추가 연구개발과 1차 실증 과정을 거쳐 고도화된 '가변형 CNT 센서를 이용한 교량 이상 거동 감지 시스템'을 2차 실증 대상 교량의 이상 거동 감시를 위한 모니터링 시스템으로 기술 실증하기로 함



□ 가변형 CNT 센싱 시스템 실증을 위한 필요 사항 확보 계획

○ 사용자 요구사항 분석을 통해 성능 개선 항목 도출

- CNT 센서 부착 방법
- 전극 설치 및 연결 방법
- CNT 센서 표면 보호 방법
- CNT 센싱 시스템 sampling rate 개선 방안
- 정량적인 계측을 위한 안정적 변형률 환산 방법 연구 등

○ 추가 공동연구를 통한 성능 개선 및 가변형 CNT 센싱 시스템 현지화 및 고도화

- 공동연구를 통한 사용자 요구에 따른 CNT 센싱 시스템 성능 개선
- 센싱 시스템의 sampling rate를 계측 및 모니터링 상황에 맞게 조절할 수 있도록 개선
- 센싱 시스템의 전원 공급을 위해 저전력 시스템으로 구축하고 장시간 사용할 수 있는 배터리 적용 고려
- IoT 시스템의 원활한 데이터 전송을 위한 네트워크 구축 방안 마련
- CNT 센서를 이용한 장기 모니터링을 위해 센서의 환경적 영향 및 내구성 확보를 고려한 공동연구 수행

○ 기술 실증을 위한 해외 기관 협조 계획

- 해외실증지원기관인 AECOM의 협조하에 실증 대상 교량 확보 및 실증시험 준비와 실증시험을 위한 인력, 장비, 재하 차량, 교통 통제 등 전반적인 실증시험 현장 지원
- 미국 현지 교량 대상 가변형 CNT 센서 실증시험을 위한 DOT 승인 및 협조 (AECOM)
- 기술 현지화 및 기술 실증 준비 및 수행을 위한 기술 지원 (Columbia University)
- 기술 실증 과정 동안 필요한 전력, 통신 등 필요 인프라 지원 (AECOM)

3. 실증추진을 위한 네트워크의 적절성

□ 실증에 참여하는 이해관계자

- 가변형 탄소나노튜브 패치형 센서를 이용한 교량 이상 거동 감지 시스템의 미국 내 사용 중인 교량에 실제 적용하는 기술 실증을 교량 2개소에 대해 수행할 예정임
- 주관연구기관인 (주)이엔지소프트, 공동연구기관인 한양대학교 에리카, (주)제이원산업과 해외협력기관인 Columbia University, 해외실증지원기관인 AECOM과 함께 실증 교량 관리 주체인 메릴랜드주 교통부 (MDOT)가 실증에 참여할 예정임

○ 미국 메릴랜드주 교통부(Maryland State Department of Transportation, MDOT)

	- 1971년 설립 - 미국 메릴랜드주 도로 및 교통관리 - 미국 연방정부 교통국 (US DOT) 산하 기관임
---	---

- 기관 개요

- 메릴랜드 DOT는 다섯 개의 사업부와 하나의 관리기관으로 구성되어 있으며, 고속 도로국(State Highway Administration), 교통국(Transit Administration), 자동차국(Motor Vehicle Administration), 항만국(Port Administration), 항공국(Aviation Administration) 과 메릴랜드 교통관리국(the Maryland Transportation Authority)임
- MDOT의 최근 20년간 최우선 목표는 안전·보안, 교통 문제 감소로 인한 경제적 이익, 교통 시스템 최신화, 교통효율 상승 등이 있음
- MDOT의 2023년 목표는 도로교통 사망사고 예방 및 감소, 자연재해 대처법 제시, 열화가 진행되는 교량 보수·보강 및 유지관리 등이 있으며, 메릴랜드주 내의 도로교통 시설을 보강하여 안전성을 확보하고 사고를 감소시키는 것이 목표임

○ Columbia University (해외협력기관)

 COLUMBIA UNIVERSITY IN THE CITY OF NEW YORK	- 1754년 설립된 미국 뉴욕주 소재 명문 사립대학교 - 아이비리그 대학 중 하나로 학부 약 9천 명, 대학원 약 2만5천 명 재학 중
--	---

- 기관 개요

- Columbia University는 2023년 THE 미국 대학 순위에서 8위를 차지하고 있고, 2023년 QS 미국 대학 순위에서도 10위를 차지하고 있는 명문대학교임
- Columbia University의 Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics는 구조, 교통, 첨단소재, 건설 관리, 재해 관련 리스크 관리, 건설 안전 등의 분야를 주로 연구 중임

- Columbia University(해외협력기관) 참여 책임자

- Huiming Yin, PhD / Associate Professor, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, Columbia University
- 2006년부터 2008년까지 캘리포니아 DOT(California Department of Transportation, Caltrans)에서 근무하였고, 이후 Columbia University에서 현재까지 교수로 재직 중임
- 전문 분야는 첨단 신소재이며 소재의 특성 및 적용에 관한 연구를 다수 수행하였고, ASCE의 비탄성 및 멀티스케일 모델링 위원회(Modeling Inelasticity & Multiscale Behavior Committee) 위원장 역임

- Columbia University(해외협력기관) 참여 실무 책임자

- Byung-Wook Kim, PhD / Associate Research Scientist, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, Columbia University
- 2015년부터 2022년까지 현대자동차그룹에서 근무하였고, 2021년부터 Columbia University의 Research Scientist로 재직 중이며, 전문 분야인 첨단 신소재의 특성 및 적용에 관한 다수의 연구를 수행하였고 관련 특허도 다수 보유 중임

○ AECOM (해외실증지원기관)

	- 1990년 설립된 글로벌 인프라 컨설팅 기업 (건설, 도시, 교통, 에너지 분야 등) - ENR 2023 Design 기업 순위 2위 - 2023년 144억 달러 매출, 직원 규모 약 50,000명
---	--

- 기관 개요

- AECOM은 Fortune 글로벌 500대 기업에 이름을 올리고 있는 전 세계적인 대기업이며, 2023년 ENR(Engineering News-Record) 리포트에 교통 설계, 시설물 설계, 친환경 설계 및 환경엔지니어링, 공항, 고속도로, 댐 및 저수지, 교육 분야에서 1위를 기록하고 있고, 교량 분야는 2위를 기록하고 있음
- AECOM은 Fortune 지의 "World's Most Admired Companies"로 8년 연속 선정되었으며, 2021년과 2023년 "World's Most Ethical Companies"로 선정되었음
- AECOM은 최근 건설업계에 두드러지는 지속가능성(Sustainability)을 중요하게 여기기 때문에 도로 및 교통시설의 유지관리 프로젝트를 꾸준히 진행하고 있으며, 총 1,000 마일 이상의 도로 및 교량 프로젝트를 수행하였음
- 정부 프로젝트에 민간 기관으로 참여하여 고속도로 및 도로 관련 업무를 지속해서 진행하고 있으며, AECOM의 Branch인 AECOM Technical Services(ATS)에서 교량을 포함한 인프라의 설계, 계획, 보수·보강 및 유지관리 업무를 담당하고 있음

- AECOM(해외실증지원기관) 참여 책임자

- Y. Edward Zhou, PhD, PE / Bridge Instrumentation & Evaluation Lead
- 의사결정 지원을 위한 교량 계측, 시험 및 모니터링 분야 경력 약 37년
- 강 교량의 피로파괴 분야 전문가로 미국토목학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)의 피로파괴위원회(Fatigue and Fracture Committee) 위원장 역임
- 교량의 비파괴검사(NDE), 구조물 건전성 모니터링(SHM), 보수·보강 및 유지관리 분야의 전문가이며, 주 정부 DOT 또는 FHWA와 협력하여 다수의 프로젝트 및 연구 수행

□ 현지 네트워크 활동·관리 계획

○ 현지 교통·인프라·모니터링 관련 단체

- 미국 내에 존재하는 교통, 인프라, 구조물 모니터링 관련 학회에 참석하여 개발 기술 홍보 및 네트워킹을 통해 사업화에 도움이 될 수 있도록 함
- 연방고속도로관리국(Federal Highway Administration, FHWA)에서 꾸준히 다양한 도로교통 분야 컨퍼런스를 진행하고 있으며, 이 중 본 연구의 기술과 관련된 학회도 다수 존재함
- 미국토목학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)는 전 세계적으로 177개국, 약 15만 명이 가입된 미국에서 제일 오래된 공학회이며, 다수의 건설·엔지니어링 기관들의 후원 아래에 운영되고 있음
- 지능형교통체계협회(Intelligent Transportation System America, ITS America)는 미국 교통체계의 발전을 위해 설립된 단체로, AECOM을 포함한 미국의 건설기업들이 멤버로 등록되어 있음
- 미국도로교통행정협회(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)에서는 미국의 도로교통을 대표하는 단체이며, 교통 가이드라인을 제시하는 단체임

대표 단체	Conference/Seminar
FHWA	- American Traffic Safety Services Association (ATSSA) Annual Convention and Traffic Expo - Institute of Transportation Engineers (ITE) Annual Meeting and Exhibition
ASCE	- Construction Institute(CI) Construction Research Congress(CRC) Joint Conference - Forensic Engineering Congress
AASHTO	- AASHTO Briefing - Spring Meeting - Annual Meeting
ITS America	- ITS World Congress - ITS America Annual Meeting

4장. 해외 시장진출 및 사업화 계획의 적절성

1절. 사업화 추진상의 위험요인 및 대응방안 수립의 적절성

1. 사업화 추진상 위험요인 식별의 적절성

□ 정부 정책변화의 위험

- 미국이 추구하는 막강한 보호무역주의를 통해 한국에 대한 수입 규제 등의 비관세조치가 행해지면 미국 내 수출둔화에 따른 위험성이 예상됨
- 법률 및 제도에 대한 인식 부족이나 적절치 못한 대응으로 인해 수입 거부, 수입 경보 등의 불이익을 당하거나 무역 보호 조치로 인한 문제 발생 가능
- 해외 사업 경험이 없는 경우 관세에 대한 정보 부족으로 납품 가격 산정 등에서 벌금, 세금 부과 등의 경제적 손해를 입을 수 있음
- 미국으로 수입되는 모든 물품은 CBP(US Customs and Border Protection) 규정 및 관세 규정과 다르게 신고되는 경우 회사가 제도적, 경제적으로 불이익을 당할 수 있으며, 특정 국가나 산업에 대한 제제나 추가 관세를 부과할 수 있기 때문에 위험이 존재

□ 급변하는 시장변화에 따른 위험

- 미국 내 금융위기로 인해 줄어든 세수로 인해 노후화된 기반시설의 유지보수를 위한 재원 부족 및 급변하는 주변 환경에 의해 변화되는 환율변동에 따른 위험 예상
- 미국 바이든 행정부의 '더 나은 미국 건설(Build Back Better)' 계획을 위한 투자가 미국 정부의 인프라 투자 의지에 따라 유동적으로 변할 수 있어 위험성이 존재함

□ 현지 행정 지연으로 인한 제도적 위험

- 미국 내 연방(Federal), 주(State), 지방자치단체(Municipality)로 구분되는 행정구역마다 다른 법·제도가 제도적 행정 지연 등의 위험성으로 야기될 수 있음
- 미국 내에서 법인을 설립하는 데 있어 행정적 지연이 발생 될 위험이 있으며, 이러한 조건들을 만족하여도 법인 설립은 몇 주에서 몇 개월까지 걸릴 수 있음

□ 파트너 및 협력기관 관리에 관한 위험

- 해외협력기관인 Columbia University와 해외실증지원기관인 AECOM과의 협력으로 미국 교량에 본 연구 기술 실증이 진행 중이지만, 협력기관과의 문제로 인한 계약 파기 시 기술 현지화 및 고도화에 문제 발생
- 해외협력기관과의 관계 악화 및 계약 파기는 당초 합의된 연구내용에 대해 연구비 축소 등의 이유로 연구비를 제대로 지급하지 못하는 경우에도 발생할 수 있음

2. 위험요인 대응 방안 수립 및 반영 활동의 적절성

□ 정부 정책변화에 따른 위험요인 대응 방안

- 미국 내 자사 보호무역주의에 따라 변화되는 보호무역 규제, 수입 규제 등의 제도적 문제 발생에 대비하여 회사의 운영 및 프로세스를 규제에 맞게 조정하고 대응함
- 이해관계자와의 지속적인 소통 강화를 통해 정책변화에 대해 유동적으로 대응할 수 있도록 하는 기업의 전략과 대응력을 향상함

□ 시장변화에 따른 위험요인 대응 방안

- 미국 시장 추세 분석을 통해 변화를 예측하고 소비자의 요구와 관심사에 따라 제품 또는 서비스를 보완하여 새로운 시장을 발견
- 새로운 기술과 서비스 혁신에 투자하여 시장에서의 경쟁력을 확보하고, 새로운 기술 도입 등을 통해 기술의 차별화를 두며 현지 네트워크를 통해 시장 동향을 파악하고 새로운 기회를 발굴함

□ 행정 지연으로 인한 제도적 위험 해소 방안

- 미국 내 현지 기관 설립을 위한 전문가의 컨설팅을 받아 사업 인허가 절차 대응을 진행하여 시간 지연으로 인한 손실이 발생하지 않도록 함
- 사업 인허가 설립에 필요한 서류, 절차, 비용 등에 대해 전략을 세운 후 기업에 가장 유리한 조건의 주 정부에서 행정 업무를 진행할 수 있음

□ 파트너 및 협력기관 관리에 관한 위험 대응 방안

- 협력기관과의 공동 업무 수행 및 상호 계약에 대한 신뢰를 쌓아 항상 좋은 관계가 유지될 수 있도록 하여 지속적인 파트너 관계가 유지될 수 있도록 함

2절. 사업화 준비활동의 적절성

1. 사업화 로드맵 수립

□ 현지 기관 설립

- 미국 내 사업화를 위한 연락사무소(Liaison office)를 먼저 설립하여 본 연구 기술의 확산을 위한 판로개척, 시장 조사, 정보수집 및 추가 연구개발을 수행함
- CNT 패치 센서의 현지화 및 최적화 연구를 통한 시제품의 양산 기술 확보 후 사업화를 진행할 예정이며, 연락사무소에서는 시장정보 수집, 추가 개발 필요성 연구
- 현지 이해관계자 및 수요자와의 네트워킹을 통하여 개발 기술 설명 및 홍보 진행
- 연락사무소 설립 시 필요 절차에 따라 약 3주 이내에 설립할 수 있으며, 추후 미국 내의 개발 기술 수요 증가 시, 미국 내에 지사 설립 후 사업을 영위할 것임

□ 현지 기준 수립 계획

- 미국 현지에서 가변형 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치 및 모니터링 시스템에 대한 사용 기준 가이드라인을 수립하여 본 연구의 개발 목표와 유사한 기준으로 미국 내 공인인증기관 시험 예정

□ 사업화 로드맵

○ 3단계(현지 기술사업화)

– 연구 기술의 인증 및 지적재산권

- 현지 테스트베드 실증 및 적용시스템 적합성/안정성 인증
- 모니터링 시스템 최적화, 탄소나노튜브 패치 센서의 대량 생산 설비 구축과 시제품 제작 및 현장 적용, 계측장치 설치와 운영 매뉴얼 제작 및 양산시스템 구축
- 미국 특허 출원, 공인인증 확보, 사용 기준 가이드라인 수립

○ 미국 사업화 계획

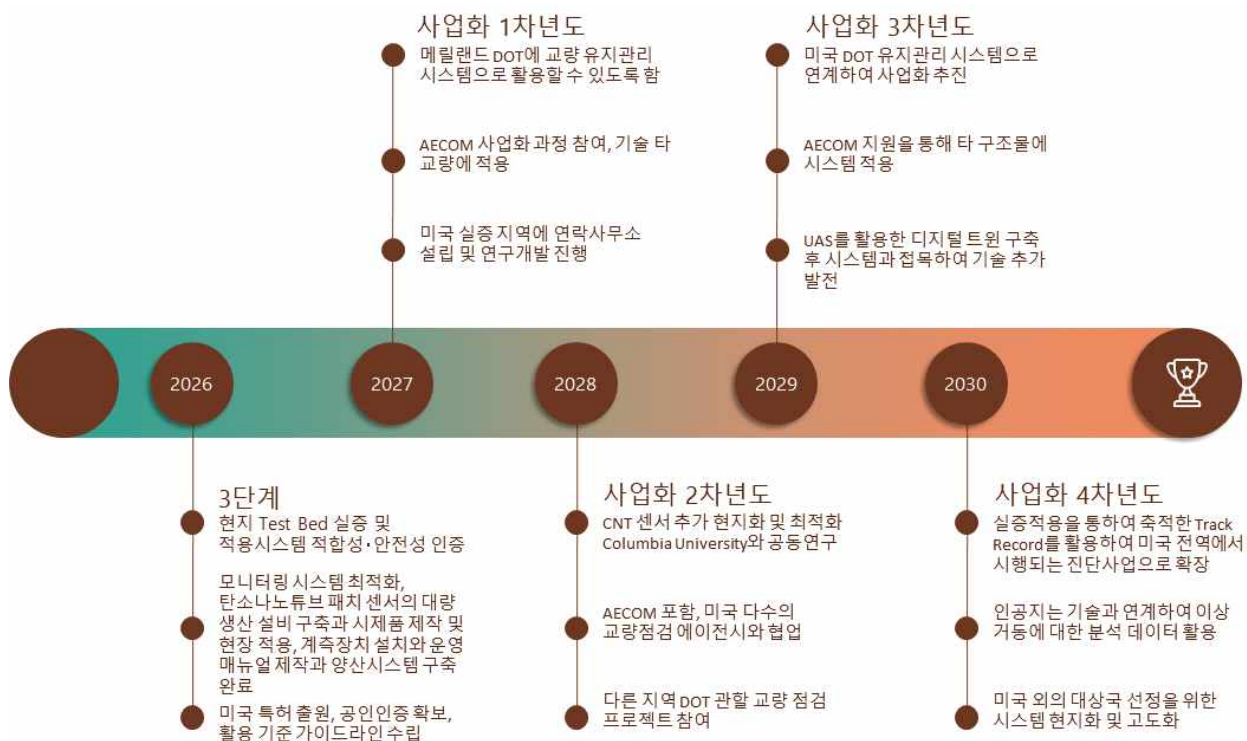
– 사업 연계

- 실증 완료 후 이해관계자이며 실증시험에 참여한 메릴랜드 DOT에서 교량 유지관리 시스템으로 활용할 수 있도록 하고, 추후 미국 DOT 유지관리 시스템으로 연계

- AECOM에서는 기술 실증을 통해 해당 기술의 타당성 및 적용성이 검증된 후 사업화 과정에 적극적으로 참여하여 해당 기술을 여러 교량 및 타 구조물에 적용할 수 있도록 협조함
- 타 지역 DOT 관할 유지관리 시스템으로 활용 시, AECOM 포함 타 교량 유지관리 에이전시가 추가적인 수요자가 됨
- 미국 실증 지역에 주관연구기관 연락사무소 설립 및 향후 사업 확장 시 지사 설립

- 기술 연계

- 사업화 이후 시제품의 현지화 및 최적화를 탄소나노튜브 소재 분야에 높은 수준의 기술 역량을 보유하고 있는 Columbia University와 함께 진행
- 기술 실증 적용을 통하여 축적한 Track Record를 활용하여 미국 전역에서 시행되는 진단사업으로 확장 가능 뿐만 아니라 인공지능 기술과 연계하여 이상 거동에 대한 분석 데이터로 활용 가능
- 해당 기술은 접근성이 뛰어나기 때문에 다른 개발 기술과 접목하여 사용 가능, 무궁한 발전 가능성 있음



[연차별 사업화 로드맵]

2. 사업화 파트너 확보 및 이해관계 조정의 적절성

☐ 현지 영업/마케팅 파트너 계획

- 해외협력기관인 Columbia University의 지원으로 해외실증지원기관인 AECOM과의 협업을 성공적으로 진행하고 있으며, 실질적인 기술 수요처인 AECOM을 지속적인 영업 및 마케팅 파트너로 삼아 사업을 확장해 나감
- AECOM은 수요처인 동시에 연방기관·주 DOT와의 네트워크 구축을 지원하고 있으며, 본 연구의 기술 사업화 시 다른 지역 DOT와의 협업 및 AECOM의 회사 브랜드 평판 및 가치를 통한 마케팅이 가능함

☐ 현지 기술자 교육 계획

☐ 활용자 또는 설치 기술자

- 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치를 설치·운영하기 위해 현지 기술자에게 설치 기준 및 유지관리 가이드라인을 제공하고 관련 교육을 실시할 계획임
- 모니터링 시스템을 사용하기 위해 현지 기술자 및 사용자에게 모니터링 시스템 사용 가이드라인을 제공할 계획임

3. 재원확보 및 마케팅 계획의 적절성

☐ 기술 설명 홍보자료 계획

☐ 제품 홍보 웹사이트 개설

- 제품 성능 검증과 관련한 인증 절차 등을 진행하고, 데모사이트, 홍보영상, 브로셔 등을 제작·배포하여 제품 홍보

☐ 시스템을 활용한 교량 모니터링 Case Study 리포트 작성

- AECOM에서 제공하는 대상 교량에 적용 사례를 각 Case Study 리포트로 작성하여 제품 웹사이트 및 다른 기관 웹사이트를 통해 제품 홍보

○ 기술 시연 홍보영상 제작

- 교량에 적용하는 기술 시연을 통해 관련 내용을 홍보영상으로 제작하여 Youtube, Facebook을 통해 관련 제품 홍보

□ 기술 세미나/설명회 계획

○ 정부 기관 주최 세미나 참석

- 정부 기관에서 주최하는 기술 세미나 등에 참석하여 본 기술과 관련한 구조물 모니터링을 진행한 사례 발표, 제품 홍보 및 사업화 계획 제시

○ 학회 세미나 참석

- 미국토목학회(ASCE)와 지능형교통체계협회(ITS America) 등 미국의 건설·교통 관련 학회에 논문 제출 및 참석하여 제품의 성능, 실적, 역량에 관하여 발표 및 네트워킹 진행

□ 마케팅/영업 계획

- 현지 설립 기관을 비즈니스 전문 소셜 미디어 플랫폼인 LinkedIn 등에 등록하여 제품 설명 또는 회사·시스템 소개를 통한 마케팅 및 타 기관/인물과 네트워크 구축
- 미국 현지 교량에 적용된 기술 내용을 바탕으로 US DOT 및 주정부 DOT와 지자체, 당사의 주요 거래처에 관련 제품 시연으로 제품 홍보
- 해외시장을 공략하고 해외 마케팅 및 해외 영업 인력을 고용하여 잠재고객을 발굴
- IoT 기반의 모니터링 시스템을 적용하고자 하거나 사용 중인 담당자의 요구사항 및 피드백을 수용하고 시스템에 반영하여 수요처 니즈 충족
- 유용하고 흥미로운 콘텐츠를 생성하여 이해관계자와 수요자에게 인지도를 상승시키고 가변형 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장치 및 모니터링 시스템의 전문성을 강조
- 기술 실증 진행 중인 지역의 비즈니스 네트워킹 그룹 또는 로컬 학회에 가입하여 현지 비즈니스 커뮤니티와 네트워크 구축

5장. 추진체계의 적절성

1절. 추진체계 R&R의 적절성

1. 국내외 참여기관의 역량 및 명확한 R&R 구분

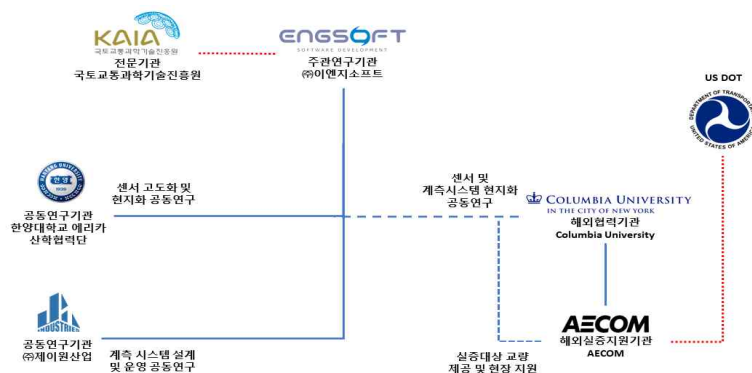
□ 국내외 참여기관 역할

○ 국내 참여기관

- 주관연구기관인 (주)이엔지소프트는 가변형 탄소나노튜브 패치 센서 기반의 계측 및 모니터링 시스템을 고도화·현지화하여 미국 현지 교량에 적용하는 2차례의 기술 실증 및 사업화를 주관함
- 공동연구기관인 한양대학교 에리카 산학협력단은 가변형 탄소나노튜브 패치 센서의 고도화를 통한 성능 개선과 미국 현지 적용을 위한 환경 영향성 평가 등을 통해 사업화와 연계할 수 있는 생산 최적화 기법을 도출
- 공동연구기관인 (주)제이원산업은 미국 현지에 가변형 탄소나노튜브 패치 센서 적용을 하기 위한 최적 계측 시스템 설계를 하고, 기술 실증을 위한 시스템 설치·계측·모니터링 운용 등의 공동 업무를 수행함

○ 해외 참여기관

- 해외협력기관인 Columbia University는 가변형 탄소나노튜브 패치 센서의 미국 현지화를 위해 센서의 환경 영향성과 함께 내구성을 증진시킬 수 있는 공동연구를 통해 계측 시스템의 고도화에 기여
- 해외실증지원기관인 AECOM은 미국 내 기술 실증을 위해 DoT의 협조하에 실증 대상 교량을 선정하고 기술 실증 과정 동안 현장 지원을 하게 되며, 기술 수요처로서 사업화 과정에 참여하여 성공적인 사업화를 지원



[참여기관 역할]

□ 국내 참여기관 역량 및 실적/경험

○ 주관연구기관 : (주)이엔지소프트

- 주관연구기관인 (주)이엔지소프트는 선행연구에서 계측장치 및 모니터링 시스템에 대한 연구를 이미 수행하여 관련 특허 및 소프트웨어를 보유하고 있어, 이를 활용하여 개발되는 맞춤형 센서 전용 계측장치와 현지화된 모니터링 시스템 개발 가능

- (주)이엔지소프트 연구책임자

- 남상혁 / 공학박사 / CTO / 최근 28년 이상 국가 R&D 수행
- 대상 기술의 선행연구인 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(글로벌 기술협력)의 “스마트시티 구현을 위한 셀프 센싱 건설재료와 사물인터넷 기반 콘크리트 구조물 건전성 모니터링 시스템 개발” 과제를 영국 University of Plymouth와의 국제공동연구로 “우수” 등급으로 성공적으로 수행
- 현재 산업통상자원부의 2021년도 우수기업연구소육성사업(해외 산학연 개방협력)의 “인공지능 및 3D 프린팅 기반의 안테나 센서 최적화를 통한 스마트 모니터링 시스템 개발” 과제를 미국 University of Hawaii와 국제공동연구를 수행 중
- 많은 국제 공동연구 경험이 있어 국제협력 연구과제를 수행하기에 적합하며, 본 과제 의 각 분야를 잘 이해하며 연구를 성공적으로 이끌 수 있는 준비가 되어 있음

- 주요 연구개발 실적

중앙행정기관 (전문기관)	세부사업명	연구개발과제명	주관연구개발기관	연구개발기간 (참여한 기간)	역할: 연구책임자 /연구자	비고 (신청/수행 중/완료)
			당시 소속기관			
산업통상자원부/ 방위사업청 (민군협력진흥원)	국방기술 상용화 지원사업	수중 음향 트랜스듀서를 활용한 침몰선박 위치식별시스템 개발	(주)오션플래닛	22.08.01.~24.07.31. (22.08.01.~24.07.31.)	연구자	수행중
			(주)이엔지소프트			
산업통상자원부 (한국산업기술 평가관리원)	우수기업 연구소육성 사업(ATC+)	인공지능 및 3D 프린팅 기반의 안테나 센서 최적화를 통한 스마트 모니터링 시스템 개발	(주)이엔지소프트	21.04.01.~24.12.31. (21.04.01.~24.12.31.)	연구책임자	수행중
			(주)이엔지소프트			
산업통상자원부 (한국산업기술 평가관리원)	소재부품기술 개발사업	송전용량 220% 증가 장기간용 500kV급 탄소섬유강화 경량 가공송전케이블 개발	(주)한국화이바	20.08.01.~24.12.31. (20.08.01.~24.12.31.)	연구자	수행중
			(주)이엔지소프트			
국토교통부 (국토교통과학 기술진흥원)	국토교통기술 촉진연구사업	탄소나노튜브 도로 코팅제 기반 능동형 블랙아이스 탐지 및 제거 시스템 개발	한양대학교	20.04.01~21.12.31 (20.04.01~21.12.31)	연구자	완료
			(주)이엔지소프트			
국토교통부 (국토교통과학 기술진흥원)	국토교통기술 촉진연구사업	스마트시티 구현을 위한 셀프센싱 건설재료와 사물인터넷 기반 콘크리트 구조물 건전성 모니터링 시스템 개발	(주)이엔지소프트	19.04.05~21.12.31 (19.04.05~21.12.31)	연구책임자	완료
			(주)이엔지소프트			

○ 공동연구기관 : 한양대학교 에리카 산학협력단

- 공동연구기관인 한양대학교 에리카 산학협력단은 선행연구를 통해 CNT/PU 센서를 개발했을 뿐만 아니라 다양한 연구를 통해 탄소나노튜브 복합체에 관한 기술을 보유하고 있어 맞춤형 탄소나노튜브 복합소재 패치 센서의 현지화 및 최적화 연구 가능

– 한양대학교 에리카 산학협력단 연구책임자

- 장승환 / 공학박사 / 부교수
- 미국 Columbia University 토목공학과에서 탄소나노튜브 폴리머 복합체 제작과 토목 구조물의 센서 적용에 관한 연구로 박사학위 취득
- 대상 기술의 관련 연구인 한국연구재단의 신진연구사업의 “극한 하중 감지 및 환경에 대응 가능한 인텔리전트 건설 재료 시스템 개발” 과제 수행 중
- 본 과제의 주관기관과 다수의 공동연구를 수행해 오고 있어 국제협력 연구과제를 함께 수행하기에 적합하며, 기존 연구 네트워크 및 성과들을 활용하여 실질적인 연구 성과물을 도출할 준비가 되어 있음

– 주요 연구개발 실적

중앙행정기관 (전문기관)	세부사업명	연구개발과제명	주관연구개발기관	연구개발기간 (참여한 기간)	역할: 연구책임자 /연구자	비고 (신청/수행 중/완료)
			당시 소속기관			
과학기술정보통신 부	기초연구실 지원사업	K-인공위성과 탄소나노튜브 기반 대형 SOC 구조물 유지관리 고도화 연구실	강릉원주대학교 산학협력단	23.06.01.~25.12.31.	연구자	신청
			한양대학교 에리카 산학협력단			
산업통장자원부	2021년도 우수기업연구 소육성사업 (ATC+)	인공지능 및 3D 프린팅 기반의 안테나 센서 최적화를 통한 스마트 모니터링 시스템 개발	(주)이엔지소프트	21.04.01.~24.12.31. (22.04.01~24.12.31.)	연구자	수행중
			한양대학교 에리카 산학협력단			
연구재단	신진연구지원 사업	극한 하중 감지 및 환경에 대응 가능한 인텔리전트 건설 재료 시스템 개발	한양대학교 에리카 산학협력단	20.03.01.~24.02.28. (20.03.01~24.02.28.)	책임자	수행중
			한양대학교 에리카 산학협력단			
연구재단	나노 및 소재기술개발 사업	자극 감응성 고분자 복합체 기반 응력 시각화 및 정량화 내구성 평가 플랫폼 개발	한양대학교 에리카 산학협력단	21.04.26.~25.12.31. (21.04.26.~25.12.31.)	연구자	수행중
			한양대학교 에리카 산학협력단			
국토교통부	국토교통기술 촉진연구사업	블랙아이스 탐지 및 제거가 가능한 탄소나노튜브 도로 코팅제 개발	한양대학교 에리카 산학협력단	20.04.13.~21.12.31. (20.04.13~21.12.31.)	책임자	완료
			(주)이엔지소프트			

○ 공동연구기관 : (주)제이원산업

- 공동연구기관인 (주)제이원산업은 구조물 제작 및 시공 기술을 포함하여 다양한 구조물 유지관리 및 계측·시험 실적을 보유한 시설물 유지관리 업체로 구조물 계측 관련 장비를 다수 보유하고 있으며, 많은 연구 경험을 바탕으로 본 사업에 이바지할 수 있음

– (주)제이원산업 연구책임자

- 김성배 / 공학박사 / 부사장
- 센서 제조업체에서 근무하며 다양한 계측 센서 개발연구 업무를 수행하여 센서에 대한 전문지식 습득
- 교량, 댐, 지반 등 다양한 사회기반시설물 계측 실무를 경험한 이력을 보유하고 있으며, 실증화 대상인 교량 구조물의 경우 이순신대교(여수), 묘도대교(여수), 팔영대교(고흥), 노량대교(남해) 등의 해상 특수교량 시공 중 계측관리 시스템 구축 업무를 수행한 경험이 있어 해당 과제의 실증화 현장의 계측 시스템 구축업무에 적합한 전문가임

– 주요 연구개발 실적

중앙행정기관 (전문기관)	세부사업명	연구개발과제명	주관연구개발기관	연구개발기간 (참여한 기간)	역할: 연구책임자 /연구자	비고 (신청/수행 중/완료)
			당시 소속기관			
중소벤처기업부 (중소기업기술정 보진흥원)	네트워크형 기술개발사업	감쇠력 500kN과 복원률 90%의 성능을 갖는 자기복원 비좌굴 가새 시스템 개발	(주)제이원산업	21.11.16.~23.11.15 (21.11.16.~23.11.15)	연구책임자	수행중
			(주)제이원산업			
국토교통부 (국토교통과학기술 진흥원)	국토교통 기술사업화 지원사업	하이브리드 마찰재를 적용한 다중 마찰댐퍼 시스템의 개발	(주)제이원산업	21.04.01.~23.12.31 (21.04.01.~23.12.31)	연구책임자	수행중
			(주)제이원산업			
국토교통부 (국토교통과학기술 진흥원)	국토교통부 기술혁신 연구사업	반응성 커피찌꺼기 애쉬를 재활용한 그린자원 콘크리트 개발	한국건설생활 환경시험연구원	21.04.01.~22.12.31 (21.04.01.~22.12.31)	연구자	완료
			(주)제이원산업			
산업통상자원부 (에너지기술 평가원)	청정화력 핵심 기술사업	운영 중 화력발전소 내진안전성 향상을 위한 기기구조물 내진성능평가 및 보일러용 하이브리드 감쇠시스템 개발	(주)에이티맥스	17.05.01.~20.04.30 (17.05.01.~20.04.30)	연구자	완료
			(주)제이원산업			
중소기업청 (중소기업기술정 보진흥원)	창업성장 기술개발 사업	유해물질 분해기능이 있는 파퓰리드 액상을 시멘트 배합 시 혼입하여 인조 대리석급의 표면 질감을 갖는 콘크리트 흡음판 제작	(주)제이원산업	17.09.15.~18.09.14 (17.09.15.~18.09.14)	연구책임자	완료
			(주)제이원산업			

□ 해외 참여기관 역량 및 실적/경험

○ 해외협력기관 : Columbia University

- Columbia University는 첨단소재와 구조물 제어 및 구조안전성 모니터링 기술 분야에 전문성이 있으며, 첨단소재 3D 프린팅 기술을 활용한 생산 및 multiphase flow, nanocomposites, multiplayered materials를 이용한 소재 개발 역량이 있음
- 토목공학과 Robert A.W. Carleton Strength of Materials 연구소에 탄소나노튜브 패치 센서와 계측장비 및 모니터링 시스템의 고도화를 지원할 시설 보유 중임

– Columbia University 연구책임자

- Huiming Yin / Ph.D / Associate Professor
- 미국 University of Iowa 토목공학과에서 박사 학위 취득
- 첨단소재 및 탄소나노튜브 관련된 많은 연구를 수행하며 미국토목학회(ASCE), 국립과학재단(NSF) 등에서 활동하고 있고, 본 연구와 관련된 다수의 논문을 발표하였으며, 본 연구과제를 함께 수행하기에 적합한 전문가임

– 주요 연구개발 실적

구분	논문명/저서명	저널명	등록번호(ISSN)	발표연도
논문	Thermoelastic fields for a heat exchanger of arbitrary shape in a bi-material infinite plane	International Journal of Structures and Solids	0020-7683	2023
논문	Mixing carbon nanotubes with asphalt binder thorough a foaming process toward high-performace warm mix asphalt (WMA)	Internal journal of Pavement Engineering	1029-8436	2022
논문	Revealing the AC electromechanically coupled effects and stable sensitivity on the dielectric loss in CNT-based nanocomposite sensors	Materials & Design	0264-1275	2022
논문	Finite element simulation of self-heated pavement under different mechanical and thermal loading conditions	Road Materials and Pavement Design	1468-0629	2019
논문	Experiments and micromechanical modeling of electrical conductivity of carbon nanotube/cement composites with moisture	Cement and Concrete Composites	0958-9465	2017

○ 해외실증지원기관 : AECOM

- 본 연구에 실증지원기관으로 참여하고 있는 메릴랜드주 AECOM은 미국 교량 점검 본부이므로 여러 주/도시 교통부 및 관리기관들과 좋은 네트워크를 유지하고 있으며, 오랜 교량 점검 경력이 있는 공학박사, 구조기술사 등의 전문가들이 교량 점검팀으로 근무하고 있어 본 연구의 실증지원기관으로 충분한 역량이 있음

– AECOM 연구책임자

- Y. Edward Zhou / Ph.D, PE / Associate Vice President
- 미국 Lehigh University 구조공학과에서 박사 학위 취득
- AECOM Bridge Instrumentation & Evaluation 대표이자 비파괴검사, 구조안전성 모니터링, 교량 보수·보강 전문가이며, 주 DOT 또는 FHWA와 많은 프로젝트 수행하였고, 다수의 국가 기준 및 가이드라인 개발 프로젝트에도 참여하였음
- 현재까지도 많은 교량 점검 및 유지관리 프로젝트에 참여하고 있어 본 연구의 실증지원에 적합하며, 기존 네트워크 및 교량 점검 경험을 활용하여 기술 현지화, 실증 및 사업화에 실질적인 도움을 줄 수 있는 책임자임

– 주요 연구개발 실적

역할	연구명
국제 연구원	The US DOT FHWA: Research Topic HIBS10-LR-001 Mobile Lab for Bridge Load Testing and Bridge Performance Testing – Feasibility and Conceptual Framework
핵심 멤버	TRB task force for updating Section 8: Load Testing of the AASHTO Manual for Bridge Evaluation, approved by AASHTO in May 2023
공동 저자	TRB Circular E-C257 'Primer for Bridge Load Testing
전문 패널 멤버	NCHRP Project 20-05 'Load Rating of Bridges and Culverts with Missing or Incomplete As-Built Information
공동 연구책임자	NCHRP Project 12-81 'Evaluation of Fatigue on the Serviceability of Highway Bridges', which updated Section 7: Fatigue Evaluation of Steel Bridges of the AASHTO Manual for Bridge Evaluation in the 2015 Interim Revisions

2. R&R 이행을 위한 수단 및 계약관계 검토

□ 해외기관 서명 LOI

- 해외협력기관인 Columbia University에서는 본 연구과제에 미국 교통국의 협조 아래 국내 연구기관과 해외실증지원기관과 협력하여 계측 방법, 분석 및 예측 모델 등에 관한 연구개발에 참여하기로 하여 LOI를 제출하였음
- 해외실증지원기관인 AECOM에서는 본 연구의 기술을 미국 현지에 적용하는 기술 실증을 위해 본 연구의 2단계 기간(2024년~2025년) 동안 실증 대상 교량 2개소를 제공하고 탄소나노튜브 패치 센서 설치 등의 업무를 지원하기로 하여 LOI를 제출하였음

Letter of Intent to participate in Int'l Collaborative R&D Program

Title of Project	Structural health monitoring system using scalable carbon nanotube sensors		
Name of Proposer	Sang-Hyeok Nam (Republic of Korea)	Organization (location, country)	ENGSOFT Inc. (Republic of Korea)
Department	Research Institute	Phone Number	+82-10-4272-4807
Position	CTO	E-mail Address	shnam@engsoft.kr

To President of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA),

I hereby consent to details of a full scale Research and Development project proposal that is submitted for the purpose of executing the project stated above under Int'l Collaborative R&D Program. If the project stated above is deemed eligible to receive funding from KAIA, I will actively collaborate with ENGSOFT Inc, Hanyang University, and AECOM Technical Service, Inc. under the cooperation of Department of Transportation (DOT) for developing measurement method, analysis and prediction model therein, faithfully observing all applicable laws and regulations governing international joint research and development.

05/16/2023

(Participating Organization)

The Trustees of Columbia University
in the City of New York

(Representative)

Jessy George
Senior Project Officer

Jessy George
(Authorized Seal/ Signature)

Digitaly signed by Jessy George
SHA-256 Certificate ID: 5486968605
Certificate Authority: verisign
Date: 2023.05.16 10:41:00 (GMT)

Letter of Intent to participate in Int'l Collaborative R&D Program

Title of Project	Structural Health Monitoring System Using Scalable Carbon Nanotube Sensors		
Name of Proposer	Sang-Hyeok Nam (Republic of Korea)	Organization (location, country)	ENGSOFT Inc. (Republic of Korea)
Department	Research Institute	Phone Number	+82-10-4272-4807
Position	CTO	E-mail Address	shnam@engsoft.kr

To President of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA),

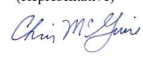
This serves as confirmation that AECOM Technical Services, Inc. (AECOM) is willing to collaborate with Columbia University for a research and development project proposal for executing the project as described above. If the project receives funding from KAIA, AECOM will be a subcontractor to Columbia University and will be responsible for finding field applications and installing test sensors on two bridges during a two-year period of 2024 to 2025. A scope of work including budget for the sub-award will be established and agreed upon at a later time. Necessary inter-institutional agreement(s) will be prepared upon agreement with all the terms and conditions by appropriate programmatic and administrative personnel of AECOM. If you have any questions, please contact Dr. Ed Zhou at 443.255.1897 or ed.zhou@aecom.com

May 5, 2023

(Participating Organization)

AECOM Technical Services, Inc.

(Representative)



Christopher O. McGuire, PE
Vice President

(Authorized Seal/ Signature)

[좌: Columbia University LOI, 우: AECOM LOI]

2절. 사업 관리 거버넌스의 적절성

1. 사업관리 거버넌스 구체화

□ 사업관리 거버넌스

- 공동기관 한양대학교 에리카 산학협력단 및 (주)제이원 산업이 국내기관으로 참여하며, 미국 현지에서 Columbia University, AECOM이 참여하며, 주관기관인 (주)이엔지소프트가 전체 사업을 주관하여 진행하고 관리함
- 해외협력기관인 Columbia University에서는 현지화 과정에서 요구되는 가변형 탄소나노튜브 센서의 내구성 및 환경 안정성에 대한 센서 고도화 연구를 수행하며 해외실증기관인 AECOM과의 현지 네트워크를 형성하여 협의 역할을 수행
- 해외실증지원기관인 AECOM은 현지 교량 관리주체인 관련 교통국(DOT)으로부터 수주한 교량 유지관리 프로젝트에 기술 시범 적용에 대한 협의를 통해 현지 실증 시험 교량을 제공하며, 개발된 기술의 실질적인 수요처로서 매출 발생 역할 수행할 것임

□ 기관별 재원조달 계획

- 국토교통부의 R&D 예산에서 국고지원이 이루어지며, 주관기관인 (주)이엔지소프트, 국내 공동기관인 (주)제이원산업에서 사업 전체에 대해 민간부담 연구개발비를 출자함
- 해외협력기관인 Columbia University에서는 별도 재원 조달 없이 국내 국토교통부의 R&D 예산 및 민간 부담 비용으로 연구를 수행함

2. 연구개발 성과의 소유권 배분 계획의 적절성

□ 국내 참여기관과 연구개발 성과의 소유권 배분 계획

- 주관연구기관 및 공동연구기관은 연구의 주체가 되는 기관에서 소유권을 가지며, 특별한 경우 공동으로 개발된 기술에 한해 소유권을 기여도에 따라 배분할 계획임

□ 해외 참여기관과 연구개발 성과의 소유권 배분 계획

- 해외협력기관인 Columbia University에서는 현지화를 위한 가변형 CNT 센서의 고도화 연구에 참여하며, 해당 기관에서 개발한 기술에 대한 소유권은 가짐
- 해외실증지원기관인 AECOM은 기술개발에 참여하지 않으며, 기술 소유권을 이전하지 않을 계획임

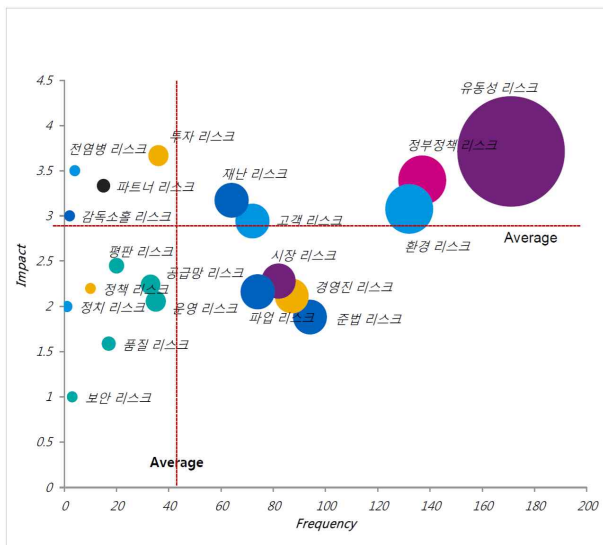
6장. 리스크 분석의 적절성

1절. 위험 식별 - 위험도 평가의 적절성

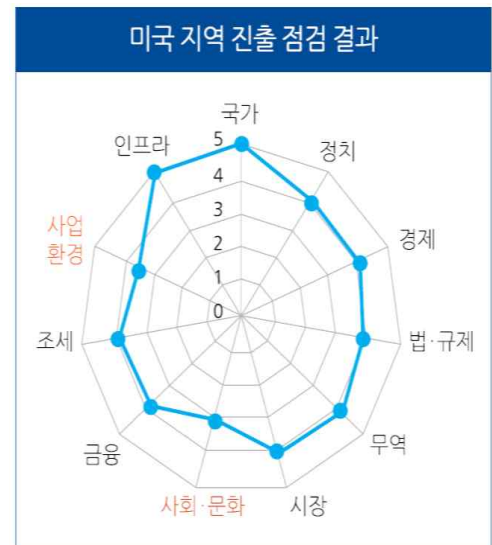
1. 위험 식별의 적절성

□ 위험요인 조사

- 최근 삼정KPMG(2018)에서 국내 기업의 해외진출시 발생하는 위기 경험 분석 결과 유동성 리스크, 정부 정책 리스크, 사업환경 리스크 및 시장 리스크가 Top priority risk였으며, 이에 대한 대비가 필요한 상황임
- Deloitte Aajin(2016)은 미국시장 진출 시 점검사항 및 위험요인에 대한 점검 결과를 분석하였음



[해외진출 시 리스크 프로파일 (삼정KPMG, 2018)]



[미국진출 시 점검사항 (Deloitte Aajin(2016))]

- 본 과제의 해외진출 시 예상되는 사업 및 현지실증을 위한 위험요소는 다음과 같으며 이에 대한 적절한 대응이 강구되어야 함

□ 위험요인 분석

○ 시장변화 RISK

- 미국의 도로, 철도 등 사회기반시설이 상당수 노후화되어 1980년대부터 고령화 시대에 진입하고, 유지관리 비용도 비약적으로 증가하는 추세임

- 사회기반 시설의 평균 내용연수가 50년이므로, 경제대공항 시절(1920~1930년대) 건설된 많은 시설이 내용연수를 초과하여 고령화됨
- 중앙정부보다 사회기반시설을 직접 관리하는 주 또는 지방정부의 유지관리 예산의 비약적 증가가 발생 전망
- 현재 미국 토목공학회(ASCE)는 4년마다 16개 시설물을 평가하여 등급을 부여하고 있으며, 최근 평가는 2021년으로 공항, 교량/도로, 철도, 댐, 제방, 상하수도 등 시설물별 평가 등급이 대부분 C 아니면 D 등급이었고 전체 등급은 D등급으로 평가
- 미국 내 금융위기로 인해 무리한 경제지원과 줄어든 세수로 인해 재정난이 심해진 지방 정부는 교량의 유지보수에 할당할 수 있는 재원이 부족한 상황이 지속 유지보수에 적극적이지 않은 투자를 보일 수 있음
- 원자재의 경우 팬데믹 이후 글로벌 공급망의 취약성이 증대된 가운데 향후 중요 필수 원자재의 수급불안이 나타날 있으며 수급차질 및 원자재 가격이 상승하여 해외 수출에 부정적 영향을 미칠 가능성이 높음
- 현재 개발 제품의 필수적인 원자재·중간재의 대외의존도가 높을 뿐만 아니라 수입처도 중국 등 일부 국가에 편중되어 있는 실정

○ 환율변동 RISK

- 최근 세계 금융시장 환경 불안으로 인해 환율변동이 크게 발생하고 있으며, 이로 인해 해외 사업을 영위하는 국내기업이 많은 어려움을 겪는 실정임
- 환율변동 영향은 최초 예상했던 현금흐름과 실제 현금흐름 간 큰 차이를 가져오기 때문에 사업자 관점에서 환율변동은 수익성에 직접적으로 영향을 미치는 주요한 요소이며, 특히 사업 대상국인 미국의 경우 불확실한 금리 정책에 따른 환율 변동성 확대가 주요 리스크로 선정
- 높은 환율은 수출기업의 가격 경쟁력을 제고하는 측면이 있을 수 있으나, 글로벌 유동성 위축 등으로 세계경제가 둔화할 경우 수출 가격 경쟁력 개선이라는 긍정적 측면보다는 수입 물가 상승이라는 부정적 측면이 부각될 우려

○ 정부정책의 변화 RISK

- 2022년 교량 붕괴사건으로 피츠버그를 방문한 조 바이든 대통령은 올해 노후 교량 교체를 위해 3억 달러 이상 투입하겠다고 밝혀 향후 미국 내 교량을 포함 SOC 시설물에 대해 유지보수의 예산을 확보할 것으로 보임

- 바이든 행정부는 장기간에 걸친 추가 경기부양책 실시 및 세제개편을 통한 확장적 재정정책으로 정부예산 부족현상을 겪고 있으며 이로 인한 SOC 시설에 대한 투자 예산 확보가 어려울 수 있음
- 바이든 행정부는 리쇼어링 정책 추진으로 미국 중심의 공급망 구축 관점에서 보호무역주의적 전략을 수립하여 본국으로 회귀하는 자국 기업에 제공하는 인센티브를 확대하고, 해외로 빠져나가는 기업에 징벌적 세금 부과방식을 적용
- 보호무역주의를 강화할 경우 한국에 대한 한·미 FTA 재협상, 수입규제 등 비관세조치에 따른 수출둔화의 가능성

○ 법률 및 제도 RISK

- 연방 국가인 미국은 단일 국가인 우리나라와는 법령체계가 다르며, 연방법, 연방규정, 주법과 같이 지역별로 상이한 법률 규제와 사업환경으로 복잡한 체계를 가짐
- 법률 및 제도에 대한 인식부족으로 인해 수입 거부, 수입경보, 해외 제조소 실사 등의 문제가 발생할 수 있음
- 특히 해외 사업 경험이 미비할 경우 관세에 대한 정보 부족으로 납품 가격 산정 등에서 손해를 입을 수 있으며, 물품정보 등록이 안되어 수출 자체가 안되는 상황 발생
- 미국으로 수입되는 모든 물품은 CBP (US Customs and Border Protection) 규정 및 여타 관세관련 규정에 따른 올바른 품목분류(HS Code), 납세신고(과세가격의 산정), 원산지 표시 및 증명 등이 필요하며 한-미 FTA 특혜관세 혜택을 누리기 위해서도 올바른 품목분류 및 이에 따른 원산지 결정 등이 요구

○ 실증화 RISK

- 해외 실증화와 관련하여 문제가 되는 것은 국내기업이 현지에 적절한 대상구조물을 대상으로 일정 수준의 TEST-BED를 구축하고 운영할 수 있는지의 여부이며, 대상국인 미국 교량시설물의 경우 연방정부 교통부서인 DOT의 승인하에 센서설치가 이뤄져야 해서 국내기업의 독단적인 설치 및 협조가 어려운 상태임
- 이로 인해 국내기업의 제품이 미국 현지에 시험적용하는데 실패할 위험이 발생함
- 또한, 승인 기관인 연방정부 교통부서인 DOT의 본 과제의 특성과 실증화에 대한 인식 부족으로 실증화 기간의 지연 등의 어려움 예상

○ 현지 파트너 RISK

- 현지파트너를 통한 시장진출의 경우 지역 기반이 없는 시장에서의 진출시 리스크를 줄이고, 판매망 등 지역의 노하우와 경험을 신속히 습득하며, 원활한 부품 조달의 확보 등의 면에서 중요성을 더해가고 있음
- 국제적 제휴의 증가추세만큼이나 기업간 제휴의 실패 또한 늘어나고 있으며, 제휴의 실패는 비용과 인력 등 경제적인 손실뿐만 아니라 해당 기업의 정보 및 잠재적인 기술의 유출 등으로 인한 기회손실을 가져오며, 이는 기업의 경쟁력에 치명적인 손상을 줄 수 있음
- 현지파트너의 역량은 정부부처와의 관계, 투자파트너와의 관계 등에 지대한 영향을 미침

○ 지역적 특성 RISK

- 교통, 환경, 물가 등으로 주재원 및 현지 채용 인력 고용에 대한 어려움이 발생할 수 있으며, 주재원 및 현지 채용 인력 고용에 대한 관리 부족과 진출 지역 고유의 노동 문제에 대한 고려 미흡으로 인한 문제 발생

○ 천재지변 RISK

- 미국 지형의 특성상 태풍, 지진, 홍수 등의 자연 재해 및 재난으로 사무실, 공장, 창고 등 유형자산의 손실이 발생할 수 있음
- 또한 외부환경에 노출되는 구조물에 적용되어 천재지변 등으로 인한 센서 시스템의 망실 등이 발생할 수 있음

○ 운영관리 RISK

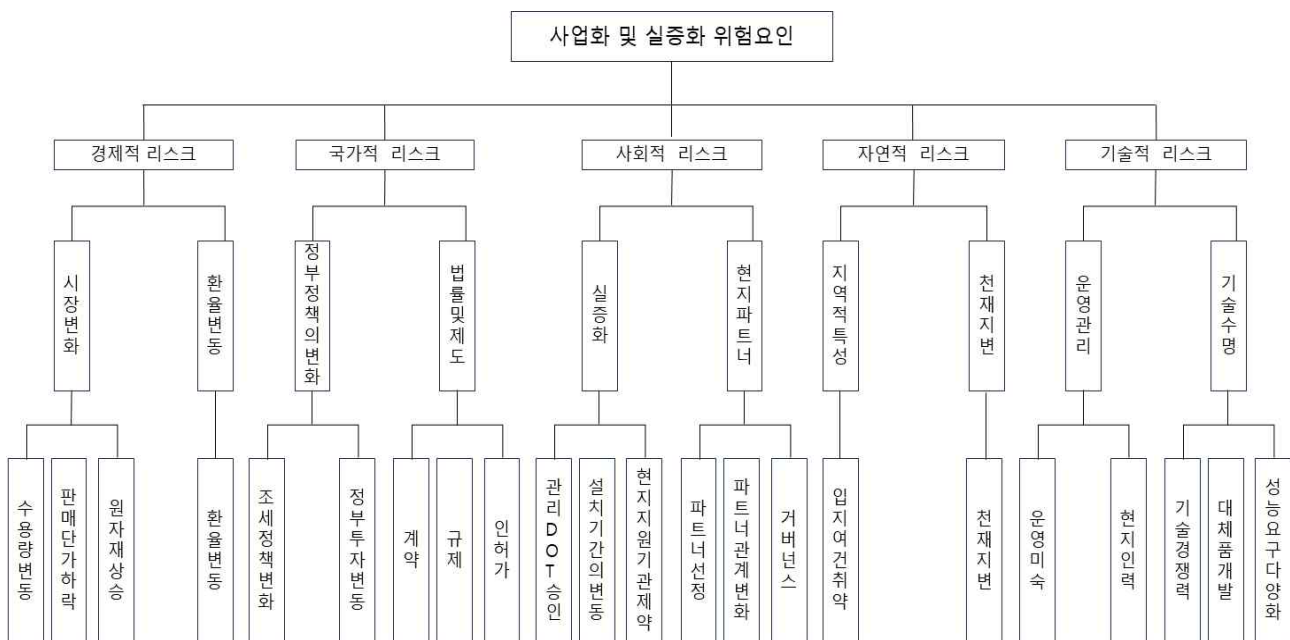
- 사업화하고자 하는 제품은 기존과 유사하지만, 현재까지 범용적인 제품과는 설치/사용에 익숙하지 않은 제품으로 계속 데이터의 신뢰도가 낮아질 수 있으며, 이로 인한 하자 등의 위험이 발생할 위험이 큼
- 더욱이 국내기업의 직접적인 A/S 등의 서비스 제공이 원활하지 않아 운영상의 RISK가 높을 것으로 예상
- 운영미숙으로 인한 해외 수요처의 요구 결과 미확보 시 현지 파트너와의 전체적인 사업협약이 무산될 수 있음

○ 기술수명 RISK

- 현재 미국 현지 파트너인 AECOM Technical Services Inc.에서 요구하는 성능은 대면적, 가변형 특성을 갖는 이상거동 감지센서로 전 세계적으로 개발된 사례가 전무함
- 국내 보다는 미국 현지에서 수요가 증가할 것으로 예상되며 현재까지 경쟁제품 및 대체품은 확인되지 않고 있음
- 그러나 CNT 기술과 센서 기술의 발전 속도가 가속화되고 있으며, 일부 기업에서 응용 가능한 원천기술 및 기술력은 확보하고 있는 것으로 분석
- 시장수요 및 수익성에 따라 3~5년 이내 경쟁제품 및 대체품의 위협이 발생할 수 있음

□ 리스크의 분류

- 리스크의 분류는 앞선 국내 해외진출 시 경험한 리스크 프로파일(삼정KPMG, 2018)과 Deloitte Aajin(2016)의 미국 지역 진출 시 위험요인 점검, 산업별 리스크 조사자료(Ernst & Young, 2018)를 기초분석한 자료와 본 연구의 위험요인을 분석하여 리스크 요인을 3계층 대, 중, 소로 분류



[위험요인 분석을 위한 AHP 연구모형]

2. 위험도 평가의 적절성

□ 리스크의 중요도 분석

○ 리스크의 중요도

- 관계자 및 전문가를 대상으로 리스크에 대한 중요도 우선순위를 선정하였으며, 조사된 값의 평균치(반올림 값)로 표기

□ 리스크의 발생 빈도 분석

○ 리스크의 발생 가능성

- 발생확률 : 일회적인 리스크

등급	영향강도	비재무적인 영향과의 비교
5	50억	회사의 전략에 전면적인 제동이 걸려 지속적인 성장에 영향을 주는 정도
4	20~30억	회사의 중요한 전략이 이행 중지
3	10~20억	단위 부문 및 1개 이상 부서의 전략/목표 달성에 상당한 차질을 초래
2	5~10억	장기적인 성과 목표에 잠정적으로 영향 초래
1	5억 미만	정상적인 Biz tolerance 하에서 기존 자원 및 프로세스로 영향을 통제/관리 가능

- 발생빈도 : 반복적으로 일어나는 리스크

등급	발생빈도	발생확률	정의
5	연간 5회이상	80~100%	과거로부터 지속적으로 발생하였으며 자주 발생할 리스크
4	연간 1~4회	60~80%	회사에 손실을 입힐 가능성이 비교적 큰 리스크
3		40~60	
2	2~5년에 1회	20~40%	회사에 손실을 입힐 가능성이 있으나 비교적 작은 리스크
1	5년에 1회 미만	20% 미만	과거 손실발생이 없고 앞으로도 발생가능성이 낮은 리스크

○ 리스크 요인별 발생 빈도

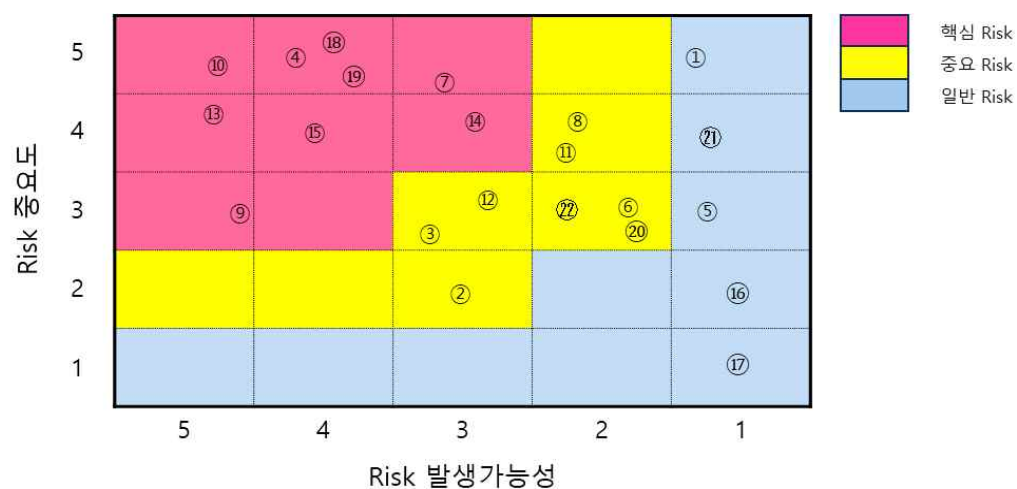
- 리스크의 발생 가능성을 발생확률 및 발생빈도로 구분하여 리스크 항목별로 평가하여 제시함

□ 리스크의 위험도 평가

- 위험도 평가는 위험요인의 중요도와 발생빈도의 가중치로부터 계산하였으며, 아래 표에는 평균치의 반올림 값으로 표기하였음

리스크명				리스크 중요도 평가					발생빈도	
대분류	중분류	소분류		최상	상	중	하	최하	확률	빈도
				5	4	3	2	1		
경제적 리스크	시장변화	①	수용량 변동	√						2
		②	판매단가 하락				√			3
		③	원자재 상승			√				3
	환율변동	④	환율변동	√						4
국가적 리스크	정부정책의 변화	⑤	조세정책 변화			√				1
		⑥	정부투자변동			√				2
	법률 및 제도	⑦	계약	√						3
		⑧	규제		√				2	
		⑨	인허가			√			5	
사회적 리스크	실증화	⑩	관리 DOT 승인	√					5	
		⑪	설치 기간의 변동		√				2	
		⑫	현지 지원기관의 지원 제약			√			3	
	현지 파트너	⑬	파트너 선정		√				5	
		⑭	파트너 관계변화		√					3
		⑮	거버너스		√				4	
자연적 리스크	지역적 특성	⑯	입지여건 취약				√			1
	천재지변	⑰	태풍, 지진 등 천재지변					√		1
기술적 리스크	운영관리	⑱	운영미숙	√						4
		⑲	현지 인력	√						4
	기술 수명	⑳	기술 경쟁력			√				2
		㉑	대체품 개발				√			1
		㉒	성능 요구의 다양화			√				2

- 종합분석결과 대분류에서는 사회적 리스크와 경제적 리스크에 대한 위험도가 가장 높게 나타났음
- 중분류에서는 환율변동, 운영관리, 현지 파트너, 실증화, 법률 및 제도 순으로 핵심 리스크로 분석되었으며 시장변화는 중요 리스크, 일반 리스크는 정부정책의 변화, 기술수명, 지역적 특성, 천재지변 순으로 다소 낮은 위험도로 분석
- 소분류에서는 실증화를 위한 관리 DOT의 승인이 전체에서 가장 높은 위험 리스크로 분석되었으며, 환율변동, 운영미숙, 현지 인력, 파트너 선정 등이 고위험 리스크로 분류되었으며, 반면 입지여건, 천재지변, 대체품 개발에 대한 위험도는 낮은 것으로 분석됨
- 위험도를 종합적으로 평가한 결과, 위험요인 중 빈도, 파급력 등을 토대로 위험요인 대응 필요성이 큰 위험요인을 중심으로 대응방안을 수립해 나갈 계획임



[사업화 리스크 위험도 Map]

2절. 위험요인 대응 및 반영 계획의 적절성

1. 위험요인 대응방안의 적절성

□ 환경변화(시장, 환율)에 대한 모니터링 강화 및 대응 계획

- 국제 금융시장이 불안정하고, 환율 변동성이 급등하고, 국제 유가 기조가 변화하는 등 다양한 변화가 나타나고 있음
- 미국 기준금리 인상이라는 변화와 환율 절상압력 등은 다양한 거시경제 지표의 변동성을 높게 만들 것이라고 판단
- 환율, 금리 등의 다양한 환경변화를 진단하기 위한 RC(Resilience Committee)를 구축하고 다양한 거시경제 지표의 흐름과 대상국의 위기 발생가능성 등을 모니터링하여 선제적으로 대응할 수 있도록 대응 계획을 수립
- 특히 현재의 미국 기준금리 인상 속도에 주목하고, 환율 급변등 가능성 및 시점에 유의하여 환헤지 등의 재무관리적 기능을 강화할 계획
- 환율 변동에 대한 리스크의 경우에는 선진관리 기법을 도입하여 환율 리스크 관리 프로세스 체계화하고 내부 전문가를 육성하여 신속 대응
- 미국 현지 에이전시로 협의 중인 AECOM과 환율변동에 대한 다양한 계약조건으로 계약조건을 명시할 계획이며, 협약 때 예상 매출액에 대한 기본 헤지(Hedge)비율을 조정하고 환율 변동성을 감내할 수준으로 헤지비율을 조정하는 조건으로 협약할 계획임
- 환율변동 폭이 급격하게 변하는 시점에서는 단순히 특정 시점의 환율로 수출입 단가를 산정할 때 환율의 갑작스러운 등락에 따라 환차손이 발생할 수 있으므로 단가 산정 시에는 영업손익은 물론 환율 동향과 전망 등을 고루 고려해 일정 기간의 평균 환율을 적용하는 등의 방식으로 결정할 계획임

□ 보호무역 조치에 선제적 대응 계획

- 해외수출 기업은 각국의 반덤핑·상계조치를 피하기 어려우며, 따라서 기업은 초반 대응이 필수적임
- 철저한 질문서 답변을 준비해야하며, 무역구제 조사를 대비한 가격 책정 및 보조금 관리가 필요하며, 미국이 제시하는 규격·기준 등을 고려해 제품 인증을 서둘러 수행하여 제품 인증 과정에서 기술 기밀 유출 및 지적권 침해 등이 발생하지 않도록 철저히 관리할 계획

□ 수출 대상국 맞춤형 상품 기획

- 신흥국들의 기술추격 등으로 한국 수출품목의 경쟁력이 하락하고 있는 것은 구조적인 문제이며, 중장기적으로 기업들이 개선해야 할 중대한 사안이 되고 있음
- 기술격차가 줄어들고, 저가격 제품이 국제시장에 많이 진입될 경우, 살아남을 수 있는 방법으로 거론되는 가장 많은 대안은 “기술력을 더 높이고, 비용을 더 줄여야 한다”는 주장이나, 문제는 기술력을 더 높이고, 비용을 줄일 수 없을 때, 그에 대한 대안으로 맞춤형 상품을 기획
- 수출대상국의 기호에 맞춤화된 소비재를 개발하고, 해외 제조사가 요구하는 맞춤화된 중간재를 공급하는 노력이 필요하며, 수출대상국의 제도·절차를 잘 파악하고 바이어·연관 업체와 협력관계를 강화해야 함
- 현재 해외실증지원기관인 AECOM과 국제협력을 통해 기술 실증을 바탕으로 사업화가 가능할 것으로 보고 있으며 이는 현재 해외실증지원기관인 AECOM이 해외 파트너가 될 가능성이 가장 높음
- AECOM Technical Services Inc.는 제안한 시스템에 큰 관심을 보였으며, “넓은 면적의 구조물 표면의 이상 거동 및 모니터링을 위해 사용 목적에 따라 센서의 크기 조절할 수 (Scalable) 있는 센서”에 대한 개발 요구가 있어 맞춤형 상품으로 제작할 계획

□ 법제도 및 정책변화에 대한 모니터링 계획 및 대응 계획

- 정권 교체 및 지속적 경제개혁으로 매년 기업경영에 직접적인 영향을 미치는 굵직한 사안이 수시로 변화하며, 투자정책 및 기구도 끊임없이 변화하는 등 정책리스크가 큰 관계로 회사법과 FDI 규정을 숙지
- 현지 마케팅, 대 관공서 업무 및 노동자 문제의 관리를 위해 현지 직원을 채용하여 최고 의사결정에는 참여시키지 않더라도 과감하게 권한을 이양한 후 철저한 원칙에 의거하여 관리/감독하는 것이 효과적이고 바람직
- 각 무역관에서 현지 비즈니스에 필요한 회계사, 변호사, 자문 등 전문가를 발굴, 비용 수준 별로 맞춤형으로 제공
- 중소기업이기 때문에 KPMG, PWC 등 소위 BIC 4를 쓰기는 어려움
- 한정된 예산을 감안하여 외교통상부의 거점 공관별 자문변호사와 투자거점 무역관의 한국투자기업지원센터 자문변호사와 회계사를 풀제로 운영

□ 운영관리 및 현지 파트너와의 협업관계에 대한 모니터링 및 대응 계획

- 현지 파트너에 끌려 다니지 않게 최소 한명의 파견자는 10~20년이라도 계속 근무 시키거나, 현지 관리자를 우리쪽 사람으로 키워야 함
- 또한, 현지 파트너 또는 관계사 출신의 현지 직원을 고용하여 협력사와의 소통 및 관계를 유연하게 대처할 수 있도록 계획
- 전문적인 해외사업단을 구성하고 해당인력이 지속적으로 해외사업에 투입되어 전문성을 얻을 수 있도록 하는 인력양성 체계 구축

□ 실증화 위험요인에 대한 대응 방안

- 미국 연방정부 교통부서인 DOT에 국내기업이 직접적인 승인을 받기 보다는 현지기업을 통한 간접승인을 받는 전략이 유리할 것으로 판단됨
- 본 연구를 위해서는 미국 DOT 관리하에 있는 교량의 유지관리를 담당하고 있는 현지기업을 통해 실증화에 접근하는 방식을 계획하고 있음
- 현지 지원기업인 AECOM은 현재 다수의 DOT 교량에 대한 유지관리 사업을 진행하고 있으며, 이 중 실증화 대상을 선정할 계획임
- 1차년도에 이미 미국 실증화 대상 순위에 있는 교량을 대상으로 협업을 진행하였으며, 이에 대한 승인을 획득한 경험이 있어 이를 바탕으로 추가적인 실증 대상확보 및 인증, 설치를 진행할 계획임

□ 리스크 관리체계와 시스템 사전 구축

- 해당 지역의 특성을 연구하고 현지 상황에 맞는 리스크 관리 기법을 구축한 후 진출할 계획
- 해외 진출국의 이상징후나 리스크 요인에 즉각 대응할 수 있도록 데이터관리시스템을 구축하고 한도관리, 심사체계 등 높은 수준의 리스크 관리 기준을 적용해 관리할 계획

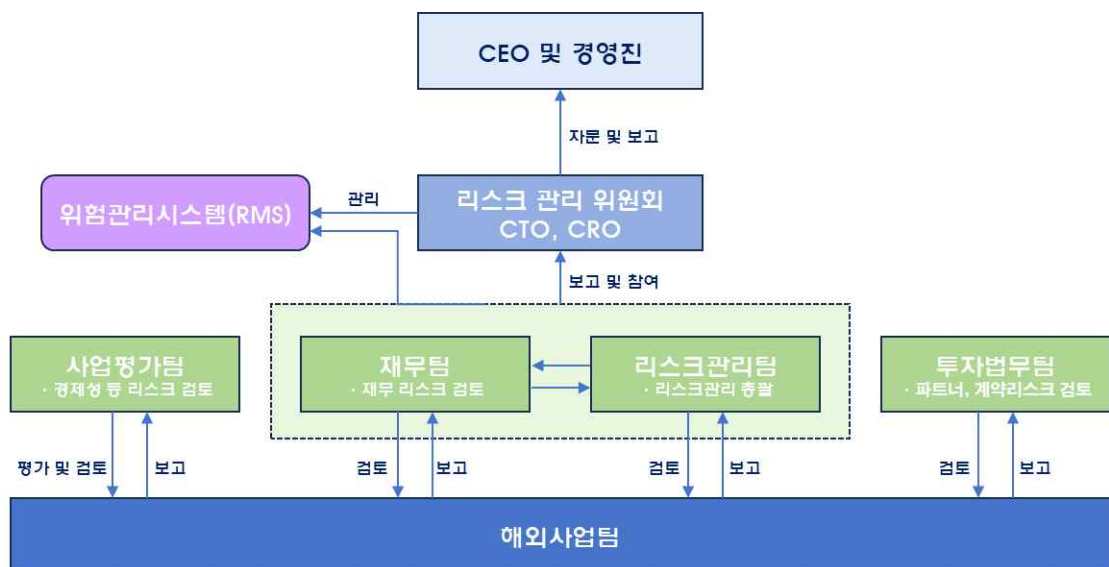
2. 위험요인 대응방안 반영 계획의 적절성

□ 모니터링 대응방안 반영계획

- 위험요인에 대응하기 위한 전담 리스크 관리팀을 구축하고 핵심, 중요, 일반 리스크 별 중·장기적 플랜 수립과 시행 대비 진척결과에 대한 주기적 모니터링을 통해 지속적인 피드백으로 위기 극복
- 이를 위해서는 앞서 언급한 시장, 국가 정책, 현지 파트너, 법률 및 제도 등에 대한 주기적인 모니터링과 외교통상부의 거점 공관별 자문변호사와 투자거점 무역관의 한국 투자기업지원센터 자문변호사와 회계사를 통한 정기적인 분석 결과를 반영하여 사업화 전략을 재수립
- 현지 파트너와의 원활한 의사소통 및 유연한 관계 유지를 위해 현지 파트너로 협의 중인 AECOM에서 근무한 직원을 1차년도 신규인력으로 채용하였으며, 신규채용인력으로 현지 파트너 관리 및 현지 사업환경 모니터링을 진행

□ 리스크 관리 체계 및 시스템 반영계획

- 본 연구진은 리스크관리 체계 및 시스템을 도입하여 일정 정도의 경보가 주어질 경우 사전에 설계된 대응체계에 따라 즉시 적절한 사전예방을 수행하도록 계획
- 또한 효율적인 사후 대응 체계를 구축하고 사전 설계된 대응 체계 및 시스템에 의해 사건 발생시 대응 지침이 되어 효과적으로 대응할 수 있도록 계획하고 있음



[사업화 리스크 관리 체계]

7장. 사업 타당성 분석의 적절성

1절. 기술적 타당성 분석의 적절성

□ 현지 수요 예측 및 현지 여건 분석의 구체성

- 미국의 교량 정책 및 현황과 시장의 확산 가능성을 고려하여 타겟을 식별하고, 구조물 유지관리, 센서, 첨단소재 및 IoT 관련 국제 시장 동향을 분석하였고, 대상국의 건설/인프라 관련 시장 동향을 통해 타겟 시장 선정 배경을 구체적으로 검토함
- 탄소나노튜브 센서와 모니터링 기술에 관련된 기준, 인증 제도, 신기술 적용 규제 및 교량 유지관리 관련 법규를 검토하여 현지화 단계에서 고려해야 할 사항을 분석하고, 기술 사업화를 위한 현지 사업자 등록 관련 제도를 검토하여 고려하고 준비해야 할 사항을 점검함
- 현지 사업화 정책환경, 이해관계자, 수요자 및 경쟁 기술에 대해 구체적으로 분석함
- 국내와 현지의 현재 TRL 수준을 구체적인 달성 근거를 제시하여 기술함

□ 기술개발 및 현지 실증계획의 적절성(현장적용, 테스트베드 구축, 시범운영 등)

- 선행연구에서 개발된 탄소나노튜브 센서를 미국 현지 실제 교량에 적용하여 사전 현장시험을 실시하였고, 이 과정에서 현지 수요처의 요구사항을 도출하여 기술개발 방향 및 목표를 설정함
- 사전 현장시험 결과를 기술하고 현장 설치 및 시험에 참여한 수요처의 요청사항을 분석하였으며, 실증 과정에서 예상되는 발생 가능한 문제점과 해결 방안에 대해 구체적으로 제시함
- 각각의 연구단계에 따른 구체적인 연차별 및 주체별 Activity, 성과물 연계 계획 및 실증과 사업화 중 기술 개선을 위한 개발 계획을 적절히 제시함
- 해외기관과의 협의를 통해 실증대상 교량 2개소를 결정하였고, 각 교량에 대한 실증 시험 계획을 구체적으로 작성하였으며, 현지 기술 실증을 위한 국내외 참여기관들의 역할 및 지원 계획을 명확히 구분하여 기술함
- 사전 현장시험을 통해 도출된 수요처 요청사항 및 추가 개발 필요항목들을 반영하여 기술 고도화 및 현지화하고, 기술 실증 과정을 통해 해당 기술의 성능을 검증함

□ 해외 시장 진출 및 사업화 계획의 적절성(사업화 방안 등)

- 대상국 현지 정세 변화에 따라 발생할 수 있는 사업화 관련 위험 요인을 분석하고 각각의 위험 해소 방안을 기술함
- 현지 기관 설립 계획 및 기준 수립 계획을 바탕으로 사업화 로드맵을 작성하였으며, 현지 영업/마케팅 파트너 확보 및 현지 기술자 교육 계획을 수립하고, 홍보/마케팅 계획을 구체적으로 작성함

□ 추진체계의 적절성

- 연구에 참여하는 주관기관(주)이엔지소프트)과 공동기관(한양대학교 에리카, (주)제이원산업) 및 해외협력기관 Columbia University와 해외실증지원기관 AECOM의 구체적인 각각의 역할 및 역량에 관해 기술하였으며, 해외기관의 경우 양해각서(LOI)에 명확한 R&R을 포함하여 체결함
- 사업관리 거버넌스, 자원조달 및 소유권 배분 계획에 대해 구체적으로 작성됨

□ 리스크 분석의 적절성

- 해외 진출 시 발생할 수 있는 리스크를 가려내어 발생 가능한 실질적 손실에 대해 분석하였고, AHP 분석을 통한 연구모형을 구축함
- 리스크 중요도 및 확률 또는 빈도에 따라 위험도 평가를 수행하여 리스크 위험도 Map을 작성하여 사업화 리스크 위험도를 가시화하며, 위험도를 순위별로 목록화하여 우선적으로 대응해야 할 리스크를 구체화함
- 각각의 리스크 대응 방안을 도출하고 이를 향후 기술개발에 반영할 계획에 대해 상세히 작성함

□ 종합 검토 결과

- 앞서 검토한 내용과 같이 본 타당성 조사 보고서에는 대상국 선정, 기술개발 및 현지 실증계획, 사업화 계획, 추진체계와 리스크 분석에 등 대해 구체적이고 적절하게 작성되었음

2절. 경제적 타당성 분석의 적절성

□ 총 사업비 및 세부용도

- 정부출연금과 민간대응자금을 합친 총 사업비는 24.175억원이 소요되며, 기술고도화 및 실증에 15.6억원, 현지 사업화에 8.575억원이 소요됨
- 비목별로는 인건비 12.1억원, 성능 시험비 0.3억원, 재료비 1.89억원, 연구활동비 7.27억원, 연구수당 1.65억원, 간접비 0.96억원이 소요
- 기술고도화 과정에서 기술분석에 1.5억원, 기술개발에 4.75억원, 재료비에 1.25억원, 시험비에 0.2억원 투입되며, 실증화 과정에서 실증화 대상 현장조사 및 분석에 1.8억원, 실증화 계획수립에 1.2억원, 재료비에 0.85억원, 실증화 구축비에 2.65억원, 시험비에 0.1억원, 데이터분석에 1.29억 투입
- 사업화 과정에서 사업화 환경 및 현장조사에 1억원, 환경분석에 0.6억원, 사업 타당성 분석에 0.8억원, 사업화 전략수립에 2억원, 생산시스템 구축에 1.7억원, 인증 및 IP확보에 1.9억원, 시제품 제작에 0.58억원이 투입

□ 시장규모 및 전망

- 미국 연방 도로 교통국(US Department of Transportation)에 따르면, 미국 전역에 구조적 결함 또는 붕괴 위험이 발견된 교량은 7,795개로 집계되었으며, 연간 유지관리비용은 약 205억 달러로 추산되며 보수가 가장 시급한 주요 교량에 대해 최소 10억 달러의 유지관리 비용이 필요한 것으로 보고 있음
- 연간 유지관리 비용인 205억 달러 중 계측 비용은 약 3% 정도를 차지하고 있고, 이는 6.15억달러/년 (6.15억달러×1,303원=8,013억원)로 추정됨
- 2022년 교량 붕괴사건으로 피츠버그를 방문한 조 바이든 대통령은 올해 노후 교량 교체를 위해 3억 달러 이상 투입하겠다고 밝혀 향후 미국 내 교량을 포함 SOC 시설물에 대해 유지보수의 예산이 증가될 것으로 예상
- 글로벌 시장조사기관인 IBIS 월드에 따르면 미국의 건설시장은 2022년 6%의 성장률을 보였으나 이후 향후 5년간 3.0%의 연평균 성장률을 보일 것으로 전망하여 교량 유지관리를 위한 계측 관련 시장을 아래와 같이 예측함

년도	2023	2030	2035	2040	성장률(%)
시장규모(억원)	8,013	9,855	11,425	13,244	3.0

□ 시장점유 및 기대매출

사업화년도		시장규모(억원)	점유율(%)	매출액(백만원)
2024	-	8,013	-	-
2025	-	8,253	-	-
2026	1	8,501	0.01	50
2027	2	8,756	0.01	100
2028	3	9,019	0.02	150
2029	4	9,568	0.02	200
2030	6	9,855	0.03	300
2031	6	10,151	0.05	500
2032	7	10,455	0.10	1,000
2033	8	10,769	0.10	1,000
2034	9	11,092	0.14	1,500
2035	10	11,425	0.14	1,500
2036	11	11,767	0.17	2,000
2037	12	12,120	0.17	2,000
2038	13	12,484	0.20	2,500
2039	14	12,859	0.20	2,500
2040	15	13,244	0.23	3,000

- 미국의 계측 시장에 적용되는 센서의 업체 및 종류는 다양하며 해외 사업을 추진하는 제품의 경우에는 특수계측 목적으로 적용되기 때문에 점유율 측면에서 낮은 수치를 보일 수 있음
- 그러나 본 연구에서는 보수적으로 실제 실증화 대상인 미국시장과 AECOM 이라는 해외실증지원기관이 직접적으로 접근할 수 있는 시장만을 대상으로 하여 기대매출액도 낮게 평가되었음
- 실질적으로 현지법인이나 미국 이외의 다른 나라 진출까지 고려하면 현재 시장의 수 배 이상으로 확장이 가능할 것으로 판단됨

8장. 결론

1절. 결론

□ 미국 현지 사업화 가능성 확인

- 미국 현지의 기술 수요 예측 및 현지 여건 분석 결과를 고려할 때 미국 내에 본 연구 기술에 대한 수요가 상당히 있는 것으로 파악됨
- 미국 내 “가변형 탄소나노튜브 패치 센서를 이용한 교량 구조물 이상 거동 감지 시스템”의 현지화를 위한 기술 고도화 통해 사업화가 가능함을 확인함

□ 기술 실증 계획 검증

- 미국 현지 실증 대상 교량에 대해 탄소나노튜브 센싱 시스템의 사전 적용 시험을 실시하여 해당 기술의 현지 적용 가능성을 확인하였음
- “가변형 탄소나노튜브 패치 센서를 이용한 교량 구조물 이상 거동 감지 시스템”의 미국 현지 적용을 위한 실증 대상 교량 2개소가 이미 결정되어 이의 기술 실증계획은 적절하게 준비되었음

□ 기술 실증 및 사업화 계획 타당성 검증

- 기술개발 및 현지 실증계획, 해외 시장진출 및 사업화 계획, 추진체계 및 리스크 분석 적절성 검토 결과 전체적인 계획의 타당성이 확인됨
- “가변형 탄소나노튜브 패치 센서를 이용한 교량 구조물 이상 거동 감지 시스템”의 미국 현지 사업화를 위한 계획은 전반적으로 잘 준비되었음

□ 사업화의 경제적 타당성 검증

- 향후 시장 전망과 원가분석 및 민감도 분석 등을 통한 경제성 분석이 적절하게 수행되었고, 이를 통해 기술사업화의 경제적 타당성을 검토하였음
- “가변형 탄소나노튜브 패치 센서를 이용한 교량 구조물 이상 거동 감지 시스템”의 사업화를 위해 NPV, IRR, B/C Ratio 등의 기법을 통해 경제적 타당성을 분석한 결과 사업의 경제성이 있는 것으로 판단됨

2절. 향후 계획

□ 현지 교량에 대한 기술 실증

- 최우선 수요처로 예상되는 해외실증지원기관인 AECOM의 요구사항을 반영한 가변형 탄소나노튜브 패치형 센서와 이를 이용한 이상 거동 모니터링 시스템의 고도화 수행
- 교량 2개소에 대한 1, 2차 실증 시험을 통한 기술 검증 및 실증 과정에서 도출되는 개선 방향 및 항목 적용
- 탄소나노튜브 센서의 대량 생산 기술 확보 및 계측 및 분석 기법 고도화

□ 사업화 준비

- 미국 현지 연락사무소를 설립하여 기술 확산을 위한 판로개척, 정보수집, 연구개발 등의 업무 수행
- 미국 현지의 공인인증시험기관(ATLAS, SGS 등)을 통해 성능인증시험을 실시하여 공인 시험성적서 확보 및 개발 기술에 대한 지적재산권 확보를 통해 기술사업화 기반 마련
- 해외실증지원기관(AECOM)에서 수주한 교량 유지관리 프로젝트에 시범 적용 및 판매 계약을 통한 매출 발생

□ 사업화 연계

- 주 정부 DOT에서 탄소나노튜브 센싱 시스템을 활용할 수 있도록 하고, 주 정부 DOT의 교량 유지관리 시스템과 연계하는 방안 추진
- 기술 실증을 통해 확보한 Track Record를 기반으로 사업 범위를 확장하여 타 지역에서도 교량 유지관리 시스템으로 활용할 수 있도록 마케팅 범위를 넓히고, 교량 뿐만 아닌 다른 구조물에도 적용할 수 있도록 하여 적용 범위를 확장함
- 해외협력기관(Columbia University)와의 지속적인 공동연구를 수행하고, 최신 첨단 기술과의 융합을 통해 스마트 유지관리 기술로 발전할 수 있도록 함