
「성과확산형 국토교통 국제협력 연구개발사업」

단계평가 보고서

- [09] 구조물 안전 확보를 위한 밀리미터파 레이다 및 가속도계 융합기반 mm급 스마트변위 센서 개발 및 상용화 –
-

2023. 12

에스큐엔지니어링(주)

성과확산형 국토교통 국제협력 연구개발사업

- 타당성 조사 보고서 (요약본)-

< 목 차 >

1. 개요	1
1.1. 추진배경 및 목적	1
1.1.1. 기술의 정의 및 목적	1
1.1.2. 과제추진 배경	1
1.2. 조사 범위	2
1.2.1. 공간적 범위	2
1.2.2. 시간적 범위	3
1.2.3. 기술적 범위	3
1.3. 조사 내용	4
1.4. 조사 방법	5
2. 현지 수요 예측 및 현지 여건 분석의 구체성	6
2.1. 타겟 시장의 구체성	6
2.1.1. 타겟 시장의 식별	6
2.1.2. 타겟 시장의 규모 파악	7
2.2. 기술사업화 관련 법제도 환경 분석의 구체성	9
2.2.1. 기술개발 및 실증 관련 법·제도 분석	9
2.2.2. 사업화 관련 법·제도 분석	9
2.3. 기술 실증 및 사업화 가능성 분석의 구체성	12
2.3.1. 현지 사업화를 위한 정책환경 분석	12
2.3.2. 수요자 및 이해관계자 분석	12
2.3.3. 경쟁기술 분석	13
2.3.4. 국내 TRL 수준 검증	19
2.3.5. 현지 TRL 수준 검증	22
3. 기술개발 및 현지 실증계획의 적절성	25
3.1. 기술개발 계획의 적절성	25
3.1.1. 목표의 적절성	25
3.1.2. 추진절차의 구체성	25
3.1.3. 산출물 및 성능평가 방법의 적절성	28
3.2. 실증 전략의 적절성	29
3.2.1. 기술적/사업적으로 예상되는 이슈에 대한 대응절차 및 계획 여부	29
3.2.2. 실증부지 마련 및 관련 인프라 확보방안의 적절성	29
4. 해외 시장진출 및 사업화 계획의 적절성	30
4.1. 사업화 로드맵 수립	30
4.1.1. 사업화 로드맵	30

4.1.2. 현지법인 설립추진방안	30
4.2. 사업화 파트너 확보 및 이해관계 조정의 적절성	31
4.2.1. 현지 영업/마케팅 파트너 계획	31
4.2.2. 현지 기술자 교육 계획	31
4.3. 자원확보 및 마케팅 계획의 적절성	32
4.3.1. 사업확장 자원확보 계획	32
5. 리스크 분석의 적절성	34
5.1. 위험 식별 - 위험도 평가의 적절성	34
5.1.1 PEST 분석을 통한 위험 식별의 적절성	34
5.1.2. 위험도 평가의 적절성	34
5.2. 위험요인 대응 및 반영 계획의 적절성	35
6. 사업 타당성 분석의 적절성	36
6.1. 기술적 타당성 분석의 적절성	36
6.2. 경제적 타당성 분석의 적절성	36
6.2.1. 기대 매출 및 시장점유율	38
7. 결론	39

1. 개요

1.1. 추진배경 및 목적

1.1.1. 기술 정의 및 목적

- 기술의 정의: 주파수 변조형 연속 밀리미터파 레이더(frequency modulated continuous wave radar)와 MEMS (Micro-electromechanical system) 가속도계를 융합하여 구조물의 변위를 1 mm 이내의 오차와 100 Hz 이상의 샘플주파수로 산정하는 세계최고수준으로 구조물의 변위를 실시간 정밀 산정하는 시스템
- 기술의 목적: 구조물 건전성 모니터링, 시공중 구조물 모니터링, 정밀시공, 교량 내하력 검사 등에 적용해 사회 기반시설물 및 건설구조물의 안전성 확보 및 인명피해를 방지하는 목적

1.1.2. 과제추진 배경

□ 현지 이슈 및 기술 필요성

- **현지 이슈:** 전 세계적으로 중소형 구조물을 포함한 노후화 구조물 증가로 인한 구조물 안전확보 및 상시 안전 진단에 대한 수요가 증대하고 있음. 특히 미국(타겟시장)은 대공황 시대, 2차 세계대전 이후 등 국가 재건 및 경제 부흥을 위해 대량으로 건설되었던 구조물이 노후화되면서, 최근 잇단 붕괴사고가 발생해 사회적 문제가 되고 있으며, 시민의 안전에 대한 관심도가 크게 늘어나고 있는 추세임.
- **중소형 구조물용 변위계측 기술 부재:** 구조물의 변위는 구조물의 거동 및 안전성을 가장 잘 나타내는 특성치로, 구조물 시공/유지관리/안전진단 시 필수적으로 계측해야 함. 구조물 변위 계측에 가장 많이 쓰이는 RTK-GNSS(수직/수평 변위 정밀도: 1~5 cm, 샘플주파수: 20 Hz)는 구조물 정밀 변위계측에 한계가 있어 센서 국산화 및 정밀도 향상기술이 요구되어 왔음. 이러한 배경으로 본 연구진은 가속도계와 RTK-GNSS를 통합한 변위계측센서(정밀도 3 mm 이내, 샘플주파수 100 Hz)를 개발했으나, 저주파 잡음으로 인해 정적변위의 정확한 계측성능이 다소 떨어지고, 센서 성능이 주변환경에 많은 영향을 받을 뿐 아니라 가격이 높아 (1기당 3 천만원 이상) 도심지에 위치한 중소형 구조물에 적용이 어려움.
- **중소형 교량 및 3종 시설물 모니터링을 위한 변위계측기술 요구:** 제안기술은 시장성 확대를 위해 중소형 사회 인프라 구조물의 변위 모니터링을 위한 센서로, 1mm 내의 변위계측 정확도와 1000달러 이내의 가격으로 보급 가능한 센서임. 레이더를 사용해 기존 RTK-GNSS 기반 기술보다 저주파 대역 변위 계측능력이 향상되었으며, 또한 지진, 건물 붕괴 등 재난시 고정지점 없이 동적·정적 변위를 동시에 계측할 수 있고, 기존 비전센서와 달리 주변광이 약한 야간에도 계측 가능함.

□ 현지적용을 위한 기술개발 필요성

- **현지 시장안착을 위한 제안기술 성능 우수성 입증:** 본 과제에서 개발할 스마트변위센서와 같은 경우 내수시장만을 대상으로 사업화하기에는 시장 규모가 작음. 따라서 미국, 중국, 인도 등 국내보다 수요가 많은 해외시장 개척이 필수적이며, 해외시장 진출에 필요한 현지화 및 성능 검증을 위해 국제협력이 시급함. 특히 제안된 스마트변위센서는 성능의 우수성이 시장진출의 핵심요인이므로, 해외시장 개척을 위해 현지에 위치한 교량 및 건물 등 실제 구조물을 대상으로 한 검증실험이 필수적임.
- **기존 센서 대체 가능성 확보:** 개발된 스마트변위센서는 변위 이외 가속도도 동시에 계측할 수 있어 미국과 같이 대규모 지진이 종종 발생하는 국가에서는 지진가속도계를 스마트변위센서로 대체 가능.

1.2. 조사 범위

1.2.1. 공간적 범위



그림. 과제 대상국가인 미국은 기반시설의 유지관리에 큰 허점을 드러내고 있고 노후 구조물 붕괴사고가 빈번하게 발생하여, 2022년 인프라 법안을 통해 구조물 유지관리체계 재확립을 시도하고 있어 세계시장 진출에 적기로 판단됨

□ 대상국가 : 미국

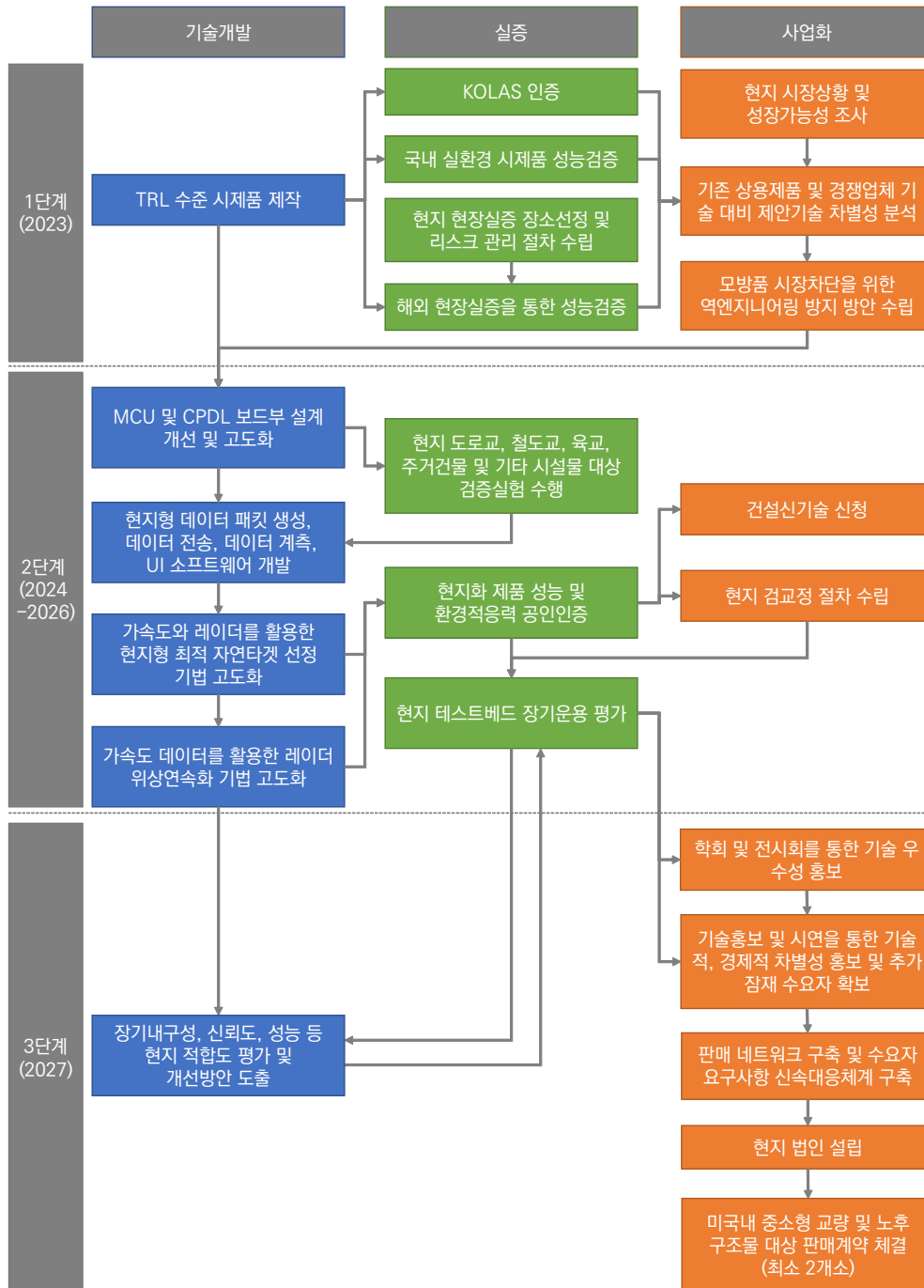
□ 대상국가 시장환경

- **자연/사회적 환경:** 최근 기후변화로 전세계적으로 이상기후 및 재난/재해가 종종 발생하고 있으며 이로 인해 교량을 포함한 사회기반 시설물의 노후화가 급속히 진행되고 있음. 또한 사회기반시설물 시공에 필수적인 콘크리트 생산은 탄소배출량이 매우 많은 분야로 기존 사회기반시설물의 수명을 연장시킴으로써 탄소배출량을 감축하고자 하는 노력이 진행되고 있음. 미국 사회 기반시설 역시 미국의 넓은 국토로 인해 유지관리 점검에 어려움을 겪고 있으며 노후도가 갈수록 심각해지고 있음. 미국 전역 61만 7000개 이상의 교량 가운데 7.5%가 구조적으로 열악한 상태이고, 42%가 50년 이상의 노후 교량이라는 판정이 나올 정도로 유지관리가 시급한 상황임.
- **정치/경제적 환경:** 2022년 바이든 대통령이 서명한 2조 2,500억 달러의 인프라 법안을 통해 노후 인프라의 대대적 보수가 이루어질 예정임. 운송 인프라에 투입될 28%의 예산 중에는 긴급 보수가 필요한 미국 내 45,000여 노후 교량을 비롯한 철도, 도로 개선 사업이 포함되어 있음. 따라서 노후 구조물 보수 뿐 아니라 유지관리 분야에도 투자가 확대될 것으로 전망되고 있으며 관련 제품의 연방 조달도 확대될 것으로 예상됨에 따라 이를 적극 활용할 수 있는 방안이 필요함. 이러한 기조를 통해 인프라 유지관리 시장이 본격 확대되고 있는 현 시점이 미국 시장에 진출할 수 있는 적기이며, 세계 최대 시장인 미국에서 기술이 검증되면 타 국가에서도 제품 홍보 및 판매가 용이해 빠른 글로벌 시장 진입이 가능할 것으로 판단됨. 특히 중소형 구조물은 최근 빈번한 붕괴사고가 발생함에도 정밀성과 경제성을 갖춘 센서의 부재로 인해 안전사각지대에 있음. 따라서 이분야에 특화된 센싱기술 개발 및 사업화는 유망할 것으로 기대됨.

표 1. 미국 연방 도로청에서 보고한 미국 교량 결함 상태

구분	1992년	2000년	2010년	2020년
불량한(Poor) 상태(0~4등급)	43,028	38,345	38,277	45,031
괜찮은(Fair) 상태(5~6등급)	143,704	186,096	239,658	294,992
양호한(Good) 상태(7~9등급)	226,829	254,986	279,982	278,433

1.2.2. 시간적 범위



1.2.3. 기술적 범위

□ 기술 우수성 및 독창성

- **세계 최고수준의 계측성능:** 정밀도 1 mm 이내, 샘플주파수 100 Hz로 구조물 거동을 계측하므로, 구조물 변위 계측에 주로 사용되는 RTK-GNSS의 성능(수직/수평 정밀도 최대 7~8mm, 샘플주파수 20 Hz)보다 우수하며, 연구진이 기 개발한 가속도계/RTK-GNSS 융합시스템(수직/수평 정밀도 3 mm, 샘플주파수 100 Hz) 대비 정적변위 계측오차를 약 67% 개선
- **최고수준의 경제성:** 고가의 RTK-GNSS 칩셋 대신 저가형 MEMS가속도계, 밀리미터파 레이더를 도입하여 1기당 1,000 달러 수준의 경제성 확보 (기존 가속도계/RTK-GNSS 융합 시스템 1기당 26,000달러)
- **설치 용이성:** RTK-GNSS 경우 변위 계측지점 이외 추가로 고정지점에 reference GNSS 장비 설치가 필요하고 인공위성 신호 수신이 용이해야 함. 제안 기술의 경우 도심지 등 고층빌딩이 밀집해 인공위성 신호 수신이 어렵고 추가적 고정지점 확보가 어려운 환경에서도 사용 가능하며, 저전력으로 무선 네트워크 구축이 가능해

설치 및 유지관리 편의성이 매우 높음

- **계측 신뢰성:** RTK-GNSS 기반 센서 대비 주변환경 영향이 적고 기상환경 및 위성상태 등 외부요인으로 인한 품질저하 우려가 적어 계측 신뢰성이 높음. 또한 비전센서와 달리 광원이 부족한 야간 및 우천시에도 계측이 가능하며, RTK-GNSS와 달리 고정지점에 reference 설치가 불필요하므로 지진 시 구조물 변위 추정도 가능
- **변위 및 가속도 동시 계측:** 0-100Hz 영역에서 변위와 가속도의 동시 계측이 가능하여, 지진 및 재난 발생시 안전진단 및 위험경보 신뢰성 향상 및 각각 센서 설치에 따른 비용저감 가능.

1.3. 조사 내용

□ 현지 수요예측 및 현지 여건 분석

- 타겟 시장 식별 및 시장분석
- 기술사업화 관련 법제도 환경 분석
- 기술실증 및 사업화 가능성 분석

□ 기술개발 및 현지 실증계획 수립

- 기술개발 계획 수립
- 실증전략 수립

□ 해외 시장진출 및 사업화계획 수립

- 사업화 로드맵 수립
- 사업화 파트너 확보 및 이해관계 조정방안 도출
- 자원확보 및 마케팅 계획 수립

□ 추진체계 설정

- 기관별 연구내용 및 역할체계 수립
- 사업관리 거버넌스 구체화

□ 리스크 분석

- 현지 위험요소 식별 및 분석
- 위험요인 대응 및 반영계획 수립

□ 사업 타당성 분석

- 기술적 타당성 분석
- 경제적 타당성 분석

1.4. 조사 방법

□ 문헌 분석

- **논문분석:** 제안기술과 관련성이 높은 최신 변위계측 및 산정기술에 대해 최근 5년간 SCI/SCI-E급 국제 학술지를 검색해 제안기술의 차별성을 분석
- **특허분석:** 제안기술 관련 검색어(변위, 센서, 모니터링 등)를 통해 국내외 특허를 분석하고 유사성을 보이는 특허에 대해 제안기술의 차별성을 분석
- **현지 경쟁제품 분석:** 현지 시장에 출시된 다양한 변위 센서를 조사하여 성능, 유사성, 차별성, 적용성 및 경제성을 비교 분석

□ 국내외 실환경 성능평가 실험

- **국내 실환경 성능평가:** 실사용 환경과 동일(차량통행 및 보행자 허용)한 국내 보도육교 1개소에서 변위계측 후 reference와 비교해 정확도 분석
 - **현지 실환경 성능평가 실험:** 실사용 환경과 동일(차량통행 및 보행자 허용)한 미국 중소형 교량 4개소 및 주차 빌딩 1개소에서 변위계측 후 reference와 비교해 정확도 분석
 - **해외 실환경 성능평가 실험:** 향후 추가타겟시장으로 설정한 중국의 웨이팡시 웨이헤 1, 2, 6교에서 실사용 환경과 동일(차량통행 및 보행자 허용)한 환경 하에서 변위계측 후 reference와 비교해 정확도 분석
- **KOLAS 인증:** KOLAS 인증제도가 미국을 비롯한 해외에서 인정됨을 확인하고, 1단계에서 KOLAS 인증을 취득해 변위 정확도, 샘플주파수, 방진방수에 대한 공인인증 시험을 실시

2. 현지 수요 예측 및 현지 여건 분석의 구체성

2.1. 타겟 시장의 구체성

2.1.1. 타겟 시장의 식별

□ 사업기간 내 타겟시장 : 미국

□ 사업기간 이후 추가타겟시장 설정 및 근거

- **중국:** 중국은 중앙정부 교통부와 지방 및 시/도 교통부가 관할구역 내 인프라 유보수를 담당 관리하고 있어, 방대한 규모의 대륙을 저비용/고효율로 관리가능한 본 개발 제품의 잠재 수요처로 전망됨. 연구진은 칭화대 Zhang Li 교수, Harbin Institute of Technology Hui Li 교수와 학술적 네트워크를 구축하고 공동연구를 추진하고 있으며, 중국 내 총 연장 8,226km, 2,480km의 교량의 유지관리를 각각 담당하고 있는 Shandong High-speed Group, Zhejiang Communication Group Inspection Technology의 수요를 이끌어 낼 수 있을 것으로 기대됨.
- **동남아:** 동남아 건설시장은 기하급수적으로 성장하고 있는 반면에 시설물 유지관리 및 안전진단 시스템 열악하여 국가적으로 관리체계를 수립하기 위해 많은 노력을 기울이고 있음. 본 주관기관인 에스큐엔지니어링 산하 건설방재연구원은 말레이시아 페낭대교 모니터링에 참여했던 인력을 보유하고 있으며, 최근 인도네시아 공공건설주택부 (MPWH) 공무원들이 본사 방문하여 보유 진단 장비와 유지관리 시스템을 탐방하고 기술을 공유하는 등 협력관계를 구축해나가고 있음. 이외에도 인도네시아의 공공사업 및 공사장 장관부 (PUPR), 말레이시아의 공사부 (KKR), 필리핀의 공공사업 및 도로교통부 (DPWH)가 현재 동남아내 유지관리 분야에서 주요 수요처이며 PT Wijaya Karya(인도네시아), Gamuda Berhad(말레이시아), Sino-Thai Engineering and Construction(태국) 같은 건설회사 및 Meinhardt Group, Fugro, Bureau Vertias 와 같은 진단회사와 네트워크를 구축할 예정임.
- **유럽 및 캐나다:** 현재 연구진은 캐나다에 소재한 timeZYX (www.timezyx.com) CEO Kamyab Zandi와 유럽 및 캐나다 시장 개척을 위한 파트너십에 대해서 논의 중임. 2단계 진입시 timeZYX 및 Sweden 소재 Lulea University of Technology와 스웨덴에서 검증실험 추진 중이며, 최소 2단계에 2-4 기 정도의 센서를 판매할 수 있을 것으로 예상됨. 이외에도 영국의 하이웨이 에이전시, 독일의 교통 및 디지털 인프라 연방부 (BMDV), 프랑스의 발전 및 에너지부 (MEEDDM), 이탈리아의 인프라 및 교통부 (MIMS) 같이 기존 안전진단 주요 수요기관과 Vinci (프랑스), Ferrovial (스페인), Skanska (스웨덴), Salini Impregilo(이탈리아)와 같은 건설 및 토목회사, 프랑스의 Bureau Veritas 와 독일의 Dekra 같은 안전진단 전문기관이 잠재적 수요처이며 유럽의 인프라 솔루션 기술회사인 탈레스 그룹(프랑스), ABB(스위스)와 같은 기술 회사도 수요처로 판단됨.
- **중동:** 중동은 지속적인 유가상승 추세로 재정 여력을 확충하고 있으며, 향후 글로벌 인프라 투자의 중심으로 떠오르고 있음. 특히 중동의 중심국가인 사우디는 석유에 의존하던 기존 경제 구조를 탈피해 첨단 제조업 중심으로 전환하는 '사우디 비전 2030' 계획을 수립하고, 이미 1조 달러 규모의 플랜트 사업을 재개하는 등 인프라 사업을 적극 확대 추진하고 있어, 산업기반시설인 도로시설이 크게 확충될 것으로 전망됨.

2.1.2. 타겟 시장의 규모 파악

□ 타겟시장 분석

- **미국의 낙후된 사회기반 시설:** 2021년 전미토목공학회 ASCE에서 미국의 인프라구조물 건전도를 C-로 평가함. ASCE는 미국 경제규모와 인구성장을 고려한 적정 인프라 유지관리 비용에 비해 공공예산 및 투자액이 적어 인프라 갭(infra gap)이 발생하고 있다고 지적함. 1998년 이래 D등급을 벗어나지 못하는 상황에서 다소 개선되었으나, 여전히 구조물 노후화의 징후가 뚜렷할 뿐 아니라 많은 구조물이 안전성, 기능 면에서 취약한 면을 보여 위험요인이 크다고 판단하고 있음.
- **최근 빈번한 구조물 붕괴사고:** 뉴욕시 맨해튼의 3층 주차장 붕괴사고는 100년 이상된 건물 자체의 노후화로 인해 인명/재산손실이 발생한 사고로, 미국 전역에 사회인프라 구조물 및 생활 시설물 안전성에 불안감을 가중시킴. 또한 2021년 공용연수 40년 이상 노후화 구조물인 플로리다 챔플레인 타워가 부식으로 인해 붕괴하면서 90명 이상이 사망했고, 1970년 준공된 펜실베이니아주 피츠버그 페론 협고가 2022년 붕괴하는 등 크고 작은 붕괴사고가 지속적으로 발생하고 있음. 또한 노후화되는 교량이 지속적으로 늘어나고 중대 결함 발생비용 또한 지속적으로 늘어나고 있어 시설물 모니터링 및 유지관리에 대한 필요성이 대두되고 있으며 이에 대한 적극적인 예산 책정과 투자가 필요한 상황임.
- **미국의 인프라 투자정책:** 바이든 정부는 미국 내 43,000여 교량이 매우 열악한 상태임을 인지하고 2조 2,500억 달러 규모의 노후 인프라 개선 법안을 통과시킴. 28%의 예산을 운송 인프라에 투입할 예정이며, 여기에 교량, 철도, 도로 개선 사업이 포함되어 있음. 따라서 노후 구조물 보수 뿐 아니라 유지관리 분야에도 투자가 확대될 것으로 전망되고 있으며 관련 제품의 연방 조달도 확대될 것으로 예상됨에 따라 이를 적극 활용할 수 있는 방안이 필요함.
- **인프라 유지관리 분야 시장 확대 전망:** 현재 미국의 사회기반시설 및 유지관리 현황 상, 갑작스러운 사고에 사전 대응할 수 있는 모니터링 시스템과 이를 장대 특수교 외 다수의 교량과 시설물에도 적용할 수 있는 저비용 IoT 기반 모니터링 시스템 구축이 반드시 필요한 것으로 판단되며, 해당 시장이 확대될 것으로 예측 가능함. 인프라 유지관리 시장이 본격 확대되고 있는 현 시점이 미국 시장에 진출할 수 있는 적기이며, 세계 최대 시장인 미국에서 기술이 검증되면 기타 국가에서 제품 홍보 및 판매가 용이해 빠른 글로벌 시장 진입이 가능할 것으로 판단됨.
- **글로벌 인프라 건전성 모니터링 시장의 미국 주도 예상:** 미국을 비롯한 여러 국가의 정부 및 비정부 기관에서 시행한 다양한 이니셔티브가 시장 성장에 긍정적인 영향을 미치고 있음. G20이 출범한 세계 인프라 허브(Global Infrastructure Hub) 이니셔티브는 민간 협력을 통해 탄력적이고 지속 가능하며 종합적인 인프라 제공을 강화하는 것을 목표로 하고 있어 시장의 가속화를 촉진하고 있음. 최대 시장을 보유하고 있으며 정부 정책상 수요가 대폭 늘어날 것으로 전망되는 미국의 주도하에 진행될 것으로 보이며, 이러한 기조에서 미국 시장에서 요구되는 적용성과 정확도를 확보한 최첨단 인프라 모니터링 기술의 조기 시장진출이 요구됨.

□ 시장 성장 동력

- **사회 핵심 인프라 유지관리 및 보수 자동화 중요성 증가:** 최근 인프라구조물의 유지 및 보수 관련 업무가 다수 자동화되고 있음. COVID-19의 영향으로 사회적 거리두기와 현장에서의 인력 제한 등이 생산성의 저하를 가져왔으며, 이는 핵심 프로세스와 원격 작업 솔루션 자동화의 원동력이 되고 있음. COVID-19가 인력 집약적인 건설 분야에 더 더 많은 영향을 주었기 때문에 유지보수 작업의 지연도 큰 문제로 떠오름. 이로 인해 육안검사 및 장기 구조물 모니터링 등 유지보수 프로세스의 단가가 대폭 올라가면서, 그 대안으로 자동화, 표준화가 요구되고 있음. 최근 사회적, 환경적으로 불확실성이 높은 상황에서 스마트 센서는 보다 적응성, 유연성이 높은 솔루션을 제공하는 핵심 부품으로 떠오름.
- **아시아 태평양 국가 및 걸프협력회의 국가에서 시장 증가율 대폭 증가:** 인구밀도가 매우 높은 인도, 중국 등 아시아 태평양 지역 신흥국은 급속한 도시화를 위해 교통망을 대폭 확충해왔으며, 이 과정에서 사회 인프라가 크게 증가했고, 안전성 확보를 위한 신규 및 기존 인프라의 구조 건전성 모니터링 수요 역시 증가하고 있음. 세계적으로도 약 40%의 시장을 형성하고 있는 미주 지역의 구조물 건전성 모니터링 수요가 확연히 증가하면서, 모니터링 솔루션이 이국과 유럽 국가에 빠르게 확산되고 있음. 또한 한국 중국, 일본, 인도 뿐 아니라 UAE, 사우

디, 카타르 등 걸프협력회의 국가들 역시 빌딩, 교량, 터널 등 인프라에 대규모 투자를 단행하면서 구조물 건전성 모니터링 시장의 잠재적 수요자로 떠오르고 있음.

□ 시장규모 및 성장률 전망

■ 건설용 변위 센서 시장

- 글로벌 건설용 변위센서 시장은 COVID-19항후 시장전망이 긍정적으로 평가되고 있으며, 시공 및 유지관리 분야의 자동화 추세에 가장 핵심적인 부품으로 보다 높은 정확도가 요구되고 있어, 시장이 지속적으로 성장할 전망이다. 2022년에 27억 500만 달러에서 CAGR 5.35%로 성장하여 2029년에는 42억 1,500만 달러로 성장할 것으로 예측됨.
- 미주 건설용 변위 센서 시장은 2022년에 7억 4,700만 달러에서 CAGR 5.07%로 성장하여 2029년까지 11억 4,000만 달러 예측되고 있으나, 인프라 안전성 확보를 위한 대규모 정부투자로 인해 추가 성장 가능성이 높음. 특히 미주지역에서 인프라 안전문제를 야기한 구조물이 대부분 중소형 구조물에 집중되어 있어 정부의 인프라 투자가 중소형 구조물에 집중될 가능성이 높으나, 중소형 구조물에 적합한 센서군이 부족해 주로 노후 구조물의 보수 및 보강에 예산이 집중될 수밖에 없음. 그러나 성능과 경제성이 모두 확보된 센서가 도입된다면 향후 추가 붕괴사고를 막기 위해 미 전역 노후구조물에 대대적으로 보급될 확률이 높음.
- 아시아 지역 건설용 변위 센서 시장 규모는 2022년에 10억 9,900만 달러에서 CAGR 5.75%로 성장하여 2029년까지 17억 7,600만 달러로 성장할 것으로 예측됨. 특히 유가상승으로 인해 중동의 투자여력이 급증하여 사우디를 비롯한 걸프 연합체 각국이 국가 경제 패러다임 전환을 위한 사회 인프라에 확충에 집중하고 있어, 향후 시장 발전 동력은 더욱 커질 것으로 전망됨.

■ 사회 인프라 건전성 모니터링 시장

- 글로벌 인프라 건전성 모니터링 시장은 20억 달러에서 CAGR 14.6% 성장하여 2029년에는 51억 1900만 달러로 성장할 것으로 예측됨. 모니터링 시스템의 계측범위, 해상도, 정확도, 정밀도 수준이 발전되면서 시스템의 수요와 단가가 증가할 것으로 예측됨. 현재 과도한 초기 설치 비용 문제가 시장확대에 걸림돌로 작용하고 있으나, 장기적인 관점에서 비용을 절감효과가 상당하므로 현재 교량, 고층빌딩 등 사회 인프라 분야의 주도로 시장이 성장하고 있음. 그러나 중소형 구조물은 건전성 모니터링이 가능한 센서 등 하드웨어의 성능이 미흡하고 단가가 높아 지속되는 붕괴 우려에도 시장이 크게 확대되지 못하고 있음. 따라서 중소형 구조물로의 시장확대는 전체 시장의 규모 확대 뿐 아니라 신시장 개척의 의미가 있을 것으로 전망됨.
- 북미 인프라 모니터링 시장은 COVID-19를 겪으며 시장 축소를 겪었으나, 향후 가장 현실적인 시나리오에서 8~10% 수준의 성장률로 회복할 것으로 보임. 북미 내 구조물의 노후화에 따른 붕괴사건이 사회적 이슈가 되고 있고 중앙정부가 대규모 예산을 책정하는 긍정적인 신호로 인해, 현재 전 세계 시장의 40% 수준을 차지하고 있는 북미 시장은 2022년 8억 1,000만 달러에서 9% 수준으로 성장할 경우 2029년 14억 8천만 달러까지 성장할 것으로 전망됨. 특히 향후 북미시장의 성장은 주로 노후 중소형 구조물에 집중될 것으로 전망되어, 향후 중소형 구조물 모니터링 시스템이 시장을 주도할 가능성이 높을 것으로 진단됨.

2.2. 기술사업화 관련 법제도 환경 분석의 구체성

2.2.1. 기술개발 및 실증 관련 법·제도 분석

□ 현지 법규체계

- **미국의 지역별 건설 법규 제정 원칙:** 미국은 정부가 직접 건설, 화재안전 규정을 제정하지 않고, 이를 전문으로 하는 민간 기관의 조사, 연구결과를 바탕으로 제정한 기준을 각 주나 지자체가 채택하고 있는 상황임. 미국의 건축법이라 불리는 Building Code에 대한 제정 및 채택에 관한 권한은 연방법에 의해 주(State) 정부가 갖는 것으로 규정되어 있기 때문에, 각 주의 규제사항도 각 지방(County)정부에 대폭 위임되어 있음
- **현지 건설관련 법규에 센서 설치 및 운용규정 부재:** 미국의 건설관련 법규는 IBC(International Building Code), IFC(International Fire code), NFPA(National Fire Protection Association codes)가 있고, 이에 대응되는 국내 법규는 하기와 같음. IBC가 좀 더 내용면에서 포괄적이고, 국내 건설법의 하부기준인 피난방화 규칙과 국가화재안전기준(NFSC)는 IFC(International Fire Code), NFPA codes와 유사함. 특히 IBC는 미국 내 모든 주에서 채택하고 있어 미국 건설법이라고 이야기하여도 무방한 기준으로, 기존의 미국 3대 건설법규 제정기관이 통합하여, 1994년에 설립된 ICC(International Code Council)가 2000년 이후 발간하기 시작한 법규임. 그러나 상기 기술한 IBC 등의 건설관련 법규에는 구조물의 점검에 있어 센서 설치나 운용 등에 관한 규정이 없음.

□ 개발기술 관련 법규 및 지침

- 국내 및 현지의 기술시방은 2, 3종 구조물의 설계 변위 제한수준을 현재 상용화된 센서 시스템으로 계측이 어려운 수준으로 설정하고 있으며, 대부분의 소형 구조물의 모니터링을 위해 밀리미터급 변위 계측 정확도가 요구됨. 성능 면에서 2, 3종 구조물의 계측이 가능한 제품이 없는 현 시장상황에서, 제안기술의 기술적합성 및 시장필요성이 높다고 평가됨.

□ 현지 실증시설 구축 및 운영 승인 기준

- **지역 규제 확인:** 미국의 경우 위치한 주 별 지방 규제를 확인해야 하며 환경규제, 건설규제, 안전규제를 사전 확인
- **EIA(Environmental Impact Assessment):** 환경에 미치는 영향을 평가하고 줄이기 위한 계획을 사전 수립
- **토지 사용 허가 및 국유지 승인:** 프로젝트가 특정 지역에서 토지를 사용할 경우 해당 지역의 토지 사용 허가를 받아야 하며, 국가 또는 지방 정부에서 소유한 토지를 사용할 경우 국유지 사용 승인 여부 사전 확인
- **건설 허가 및 인허가:** 실증시설의 특수한 용도에 따라 인허가가 필요
- **안전 및 보안 승인:** 실증시설이 안전 및 보안 규정에 부합하는지 확인하는 승인이 필요할 수 있으며, 특히 연구 및 개발 시설에서는 안전에 대한 특별한 주의가 필요함

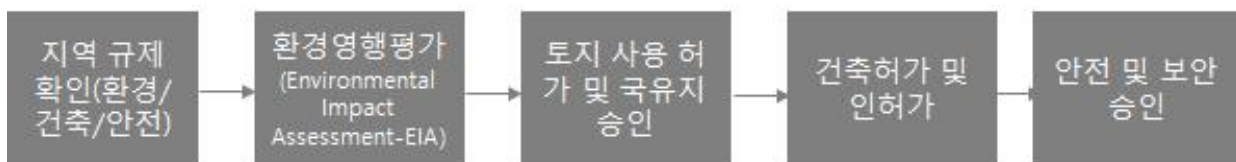


그림. 현지 실증시설 구축 및 운영사업 승인절차

2.2.2. 사업화 관련 법·제도 분석

- **미국 연방조달규정(FAR, Federal Acquisition Regulation):** 미국 연방정부 조달에 관한 책임과 권한은 각 정부기관 및 부처에 귀속되나, 조달시 모든 정부부처는 연방조달을 관장하는 기본 법률인 미국 연방조달규정을 준수해야 함. FAR 외에도 각 행정부 별로 조달에 대한 책임과 권한이 귀속되어 있어, 각 부처의 운영환경과

여건에 따라 기관별 특별규정을 따라야 하나, 각 부처에서는 FAR을 기반으로 하되 규정 내용에 상충하지 않는 범위 내에서 실무적으로 필요한 별도 규정을 마련하여 FAR과 병행, 이를 준수함. 부처별 조달 규정은 CFR(Code of Federal Regulation)에 명시됨. 현재 미국 국방부, 미국 보건복지부, 미국 조달청, 국제개발청 등 23개 이상의 연방정부들이 FAR에 대한 보완규칙을 제정하여 시행하고 있음.

- **SAP (Simplified Acquisition Procedure):** 25만 달러 (2023년 현재 기준) 이하의 조달 시 행정적 소요 비용을 절감하고 소규모 사업자에게 기회를 부여하며, 연방정부기관 및 계약자에게 불필요한 부담을 줄이는 등 조달 효율성의 증대를 위하여 간소화된 구매 절차 (Simplified Acquisition Procedure)를 통해 조달을 시행함. 간소화된 구매 절차에서는 공식적 입찰절차 및 제안서 제출 없이 조달이 이루어지며 견적요청(RFQ, Request for Quotation)과 P/O(Purchase Order) 방식을 활용함. 또한 포괄적구매협정(BPA, Blanket Purchase Agreement)와 선불금(Imprest Fund), 정부신용카드(Government-wide Commercial Purchase Card) 등을 사용함. 본 과제의 센서는 1기당 1,000 달러 미만이므로, 사업회사 SAP 제도를 적극 활용할 필요가 있을 것으로 판단됨.

□ 현지 공급원 승인제도

- **직접 진출 방법:** 신뢰성 성능인증을 통한 현지 설계승인으로, 일반적으로 수출 시에는 공급원 승인제도에 대한 검토가 필요하며, 조달시장 참여를 위한 GSA(GSA Acquisition Manual)의 적격성을 인정받기 위해서 다음의 절차를 신청하여 발급받아야 함
- **DUNS 발급:** DUNS는 일반 민간시장에서 기업을 확인하는 데 사용하기 위해 DUN & Bradstreet(D&B)에서 부여하는 일종의 기업식별 번호임. 9개의 고유 숫자로 이루어져 있으며, <https://www.dnb.com/duns-number/get-a-duns.html>에서 무료로 발급이 가능
- **VETS-100 Report 작성:** 미국현지법인인 경우에만 해당하는 VETS-100은 미국정부가 민간 기업에서 적임의 퇴역군인을 고용하고 승진토록 장려하기 위한 제도임. 25,000달러 내외의 연방 계약을 체결한 기업은 VETS-100 보고서를 완성해야 하며 VETS-100에 대한 소개 및 정보, 도움말은 미국 노동부에서 확인할 수 있음

표. GSA 적격성 인정을 위한 신청 절차

번호	내용
1	데이터 공통 번호부여 체계(DUNS, Data Universal Numbering System)
2	북미산업분류시스템/표준산업분류(NAICS, North American Industry Classification System/SIC, Standard Industrial Classification) 코드 확인
3	생산자부호(CAGE Code, Commercial and Government Entity Code)
4	마케팅 파트너 ID 번호(MPIN, Marketing Partner ID Number)
5	SAM 등록
6	공개평가보고서(Open Ratings Report) 신청
7	납세자 인증번호(TIN, Taxpayer Identification Numver)
8	VETS-100 (Veterans' Employment and Training Service 100) Report

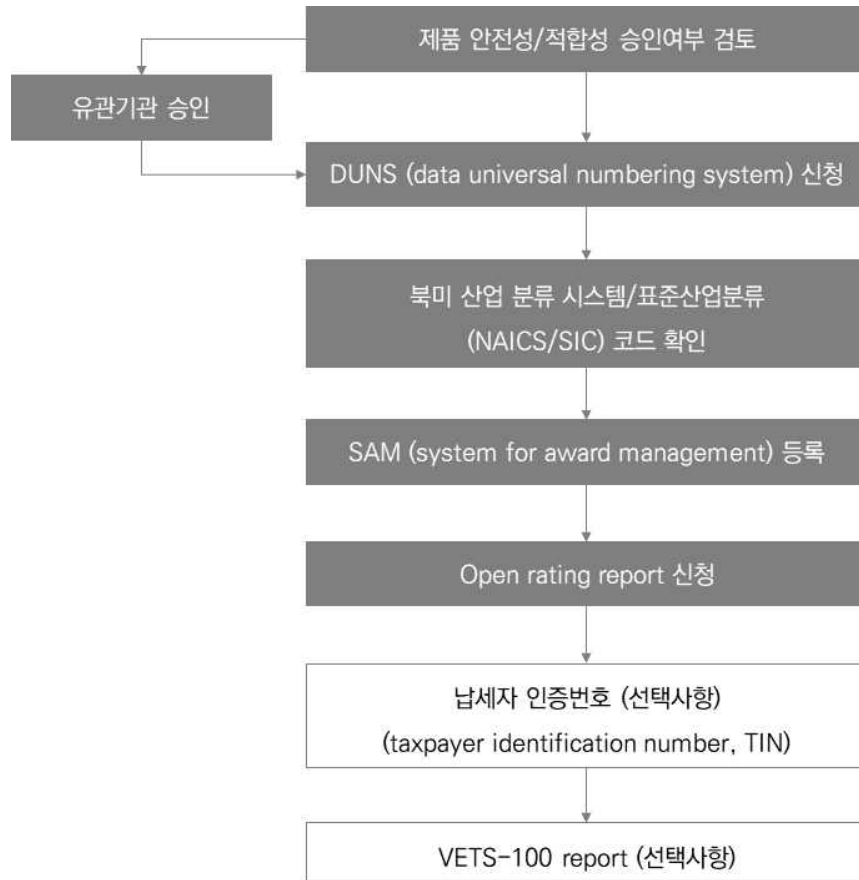


그림. 현지 공급원 승인 적격성 인증 절차

- **간접 진출 방법:** 각 전략시장의 유력 조달기업(Prime Vendor)을 파트너사 및 바이어로 삼거나, 글로벌 기업의 글로벌 공급망을 통해 우리 기업이 B2B 사업구조로 조달시장에 진출하는 방식임. 본 과제의 사업화 진출 역시 진출 용이성과 신뢰성을 감안해 간접 진출 방법을 채택할 예정임.
- **간접진출시 장단점:** 직접 진출보다 국내 기업의 수고가 경감된다는 장점이 있으나, 신뢰할 만한 파트너사 발굴이 어렵고 및 연계 후 수익성 확보 등이 큰 애로사항으로 적용되며, 법적분쟁 등 발생 시 해외소송으로 막대한 비용이 발생 할 수 있다는 문제점으로 존재 실효적 접근이 쉽지 않음. 만약 기존 현지 조달벤더(Vendor)와의 유통 네트워크가 형성되지 않은 기업이면, 국제전시회 등에 참석하여 직접 조달벤더(Vendor)를 발굴해야 하나 조달벤더(Vendor)의 신용정보를 확보하기 어렵고 오랫동안 조달벤더(Vendor) 신뢰성을 확인하는 작업을 거쳐야 해서 보이지 않는 비용이 존재함. 간접진출방식들은 직접 진출 방식보다 상대적으로 투자 비용이 적게 들고 비교적 안정적인 데다가 민수와 조달 시장을 동시에 노릴 수 있음
- **일반적 진출 전략:** 국제기구 및 해외정부에 직접 진출을 시도하더라도 국내 중소기업의 특성상 해외공공조달 레퍼런스 부재로 인한 가중치 부여가 어려우므로, 기 레퍼런스를 보유한 현지 유력 조달기업과 함께 해외공공조달 프로젝트에 참여하는 것이 초기 진출 부담을 덜 수 있음. 간접진출을 하는 국내 기업들은 기존에 신뢰를 다져온 현지 조달벤더(Vendor)로부터 입찰 정보를 입수하여 그들에게 물품을 납품하는 하청 형태로 진출하고 있음. 이는 이미 확보된 현지 조달벤더(Vendor)의 유통망과 실적을 활용하여 조달시장에 진출하기 용이한 방법인데다 조달벤더(Vendor)의 신뢰성이 확보되어 있기 때문에 가장 안전한 방식임

□ 수입물품 등록제도

- **수입물품 등록:** 현지 수입물품 등록 제도에 따라 수입품목으로 지정되어 있어야 국내에서 제작한 제품을 현지로 수출하여 현지에서 구축이 가능하므로, 사전에 수입물품 등록 제도에 대한 검토가 필요할 것으로 예상됨. 미국에서 센서 또는 다른 제품을 수입할 때는 해당 물품을 미국 세관 및 국경보호국 (U.S. Customs and Border Protection, CBP)에 등록해야 하며, EIN (Employer Identification Number) 취득 뿐 아니라 미국에 사업체 등록이 필요한 경우, 먼저 이를 위해 IRS에서 Employer Identification Number (EIN)을 얻어야

함

- **등록 및 통관 대리인 선정:** 수입 업체는 CBP에 등록을 해야 하며, 보통은 등록 대리인을 선정하여 통관 업무를 처리 진행함. CBP는 ACE(Automated Commercial Environment)라는 자동 통관 환경을 통해 수입 업체와 통관 대리인이 전자적으로 신고 및 통관 절차를 처리할 수 있도록 지원함. 수입 업체 또는 등록 대리인은 CBP에 통관 신고를 제출해야 하며, 수입 물품에 대한 세금 및 관세를 결정하고, 물품이 합법적으로 수입되었는지 여부를 확인하기 위한 절차임.
- **관세 납부 및 타기관 규정준수 여부 확인:** CBP는 통관 신고를 기반으로 관세 및 세금을 부과함. 또한 개발기술 분야인 센서 류의 제품은 FDA (식품의약국), EPA (환경보호국), FCC (통신위원회) 등과 같은 다른 규제 기관의 규정을 준수할 의무가 있음. 특히 수입 프로세스의 정확한 세부 사항은 수입제품의 성격, 규모, 및 해당 규정에 따라 다르므로, 수입물품 등록 전 CBP 또는 특정 규제 기관과 상담하여 정확한 절차 및 규정을 파악해야 함.

2.3. 기술 실증 및 사업화 가능성 분석의 구체성

2.3.1. 현지 사업화를 위한 정책환경 분석

□ 개발기술 관련 현지 정부 정책

- **법안 파급효과:** 대규모 인프라 투자정책으로 인한 풍부한 유동성은 한국의 수출, 투자 등에 긍정적인 요인으로 작용할 것으로 기대되나, 자원 마련을 위한 증세 현실화, 고위험 투자손실 발생 가능성 등은 리스크 요인으로 작용할 것으로 전망됨. 주택 개량 및 공급(2,130억 달러), 공립학교 시설 및 기술 지원(1,000억 달러), 병원 현대화(250억 달러)에 총 3,380억 달러를 지원할 예정이며, 총 투자는 8년에 걸쳐 이루어질 예정임

2.3.2. 수요자 및 이해관계자 분석

□ 수요자 니즈 분석: 기후조건, 사회문화, 설치비용, 정책방향 중심으로

- **기술적 수요의 급증 예상:** 대부분의 교량은 기술자가 접근하기 힘들고 구조물에 발생된 작은 변화까지도 탐지하기가 곤란하여 효율적인 구조물 유지관리를 위해서는 육안검사 이외에 구조물 상태에 대해 객관적이고 정량적인 평가 자료가 필요함. 특히 노후교량 및 건물 등 노후 사회 인프라가 점진적으로 증가하고 인건비가 급격히 상승하고 있는 미국의 현지 특성상 자동화 모니터링 기술의 기술적/경제적 수요가 급격히 증가할 것으로 판단됨.
- **수집된 데이터의 낮은 활용률:** 구조물에 각종 센서가 부착되어 각종 정보를 계측하고 있으나, 단순 구조물에 부착되어 운영되고 있는 각종 센서들의 데이터 수집 방식이며, 구조물 모니터링 시스템은 센서에서 수집된 데이터를 각각 처리하고 있어 데이터의 활용도가 낮은 수준임. 특히 중소형 교량이나 저층 빌딩 등의 구조물은 모니터링 시스템의 높은 설치비로 인해 정보 취득이 거의 수행되지 않는 수준임.

□ 기술 잠재 수요자 및 이해관계자 분석

- **현지 인프라 모니터링 시스템 수요분석:** 2022년 현재 북미 인프라 모니터링 시스템 시장은 전세계 시장의 32.3%를 점유하고 있는 것으로 추산되며, 특히 사회 인프라 분야에서 최신 기술이 많이 도입됨에 따라 북미 시장은 더욱 확대될 것으로 예상됨. COVID-19 이후 건설 산업이 빠르게 성장하고 있고, 사회적으로 안전에 대한 인식이 급격히 전환되면서 정부의 공공 인프라에 대한 투자가 공격적으로 진행되고 있어 성장동력이 높게 평가받고 있음. 현재 Nova Metrix, Cambell Scientific, GEOKON 등 메이저 기업이 미국시장을 선도하고 있음.
- **현지 인프라 관리주체 분석:** 미 연방도로국(Federal Highway Administration, FHWA)은 국가 고속도로 시스템의 설계, 건설, 유지관리 측면에서 주 정부 및 지방 정부를 기술적, 재정적으로 지원하는 기관이며, 실제

관리업무는 각 주 교통국에서 담당하고 있음. 연방정부의 인프라 개선 의지와 맞물려 캘리포니아, 뉴욕, 플로리다 등 여러 주에서는 인프라 유지보수를 위해 기존보다 대폭 증가된 투자를 계획하고 있음.

2.3.3. 경쟁기술 분석

□ 현지/유사기술 논문분석

- **분석 방법:** 제안 센서의 기반 기술과 관련성이 높거나 직접적 경쟁관계를 형성할 수 있는 최신 변위계측 및 산정기술에 대해 최근 5년간 SCI/SCI-E급 국제 학술지를 검색해 제안기술의 차별성을 분석함.
- **분석 결과:** 조사 결과 6건의 논문에 게재된 기술이 제안 센서의 핵심 기술과 유사성을 띄는 것으로 판단됨. 논문 게재기술의 내용을 상세히 분석한 결과, 6개 기술 모두 장대교량이나 고층빌딩의 변위계측에 적합한 기술로, 제안 센서의 목표시장인 중소형 구조물의 변위계측에는 한계가 있는 것으로 파악됨.

논문명	Fast bridge deflection monitoring through an improved feature tracing algorithm
제안센서 차별성 분석	구조물 외부에 설치한 카메라로 계측지점을 촬영하는 기법으로, 카메라의 시야가 확보된 개활지에 설치하므로 장대교량에 적합한 기법이며, 도심지 또는 계측 환경이 열악한 중소형 인프라의 변위계측에는 적합하지 않음.

논문명	Zhang Q, Fu X, Ren L. Deflection estimation of beam structures based on the measured strain mode shape
제안센서 차별성 분석	변형률 데이터로 변위를 간접 추정하는 방식으로, 정확한 변위 산정을 위해서는 구조물의 정확한 역학적 모델이 필요함. 시공 정확도가 높고 유지관리 및 보수보강 수준이 높은 대형 인프라에는 적용이 가능하나, 설계도면과 오차가 크고 유지관리 수준이 낮은 중소형 인프라는 실제 구조물의 특성이 설계도면을 통한 역학적 모델과 차이를 보일 가능성이 높아 적용이 어려움.

논문명	Data analysis and dynamic characteristic investigation of large-scale civil structures monitored by RTK-GNSS based on a hybrid filtering algorithm.
제안센서 차별성 분석	RTK-GNSS는 오차의 수준이 수 밀리미터 수준이므로 1 mm 이내의 변위 발생이 빈번한 중소형 인프라 구조물의 모니터링에는 오차가 많이 발생하여 적용이 어려움. 또한 기준국을 개활지에 설치해야 하므로 도심지 또는 계측 환경이 열악한 중소형 인프라의 변위계측에는 적합하지 않음.

논문명	Radar-based multipoint displacement measurements of a 1200-m-long suspension bridge
제안센서 차별성 분석	레이더 간섭계를 통해 변위를 계산하므로 구조물 외부에 설치해야 하며, 일정 세기 이상의 반사파를 확보해야 하므로 구조물에 타겟을 부착해야 함. 그러나 본 과제의 제안 센서는 레이더와 가속도계를 융합해 정밀도를 높였고, 타겟 등의 부속 구조물을 설치하기 힘든 중소형 구조물에서도 활용이 가능함.

논문명	Noncontact dynamic displacements measurements for structural identification using a multi-channel Lidar.
제안센서 차별성 분석	구조물 외부에 설치한 라이다 센서를 통해 계측지점을 스캔하는 기법으로, 센서의 시야가 쉽게 확보될 수 있는 개활지에 설치하므로 장대교량에 적합한 기법이며, 도심지 또는 계측 환경이 열악한 중소형 인프라의 변위계측에는 적합하지 않음.

논문명	Nontarget-based displacement measurement using LiDAR and camera
제안센서 차별성 분석	비전 카메라와 라이다 센서를 구조물 외부에 설치하고, 이를 통해 계측지점의 변위를 계측하므로 제안 센서와 계측원리가 상이함. 구조물 외부에서 변위를 계측하므로 센서의 시야가 쉽게 확보될 수 있는 개활지에 설치할 수 있는 장대교량에 적합한 기법이며, 도심지 또는 계측 환경이 열악한 중소형 인프라의 변위계측에는 적합하지 않음.

□ 현지/유사기술 특허분석

■ 국내특허 분석

키워드	구조물 모니터링 시스템	구조물 변위 센서	구조물 건전성 모니터링	교량 건전성 모니터링
특허 등록수	10,090	4,475	288	89

- **특허검색 방법론 및 검색결과:** 국내 특허 출원은 중복을 허용해 4개의 키워드 군으로 검색을 실시함. (1) “구조물*모니터링*시스템”에 의해 검색된 특허는 약 10,090개 정도임. 대부분 “구조물*변위*센서”의 검색 결과와 상당히 많이 일치하고 있음. 구별이 되는 특허 가운데 무선 계측센서에 대한 특허가 많이 제시됨. 이 키워드에 의한 특허 검색결과로부터 마찬가지로 교량 구조물에 제한된 모니터링 기술 특허 출원은 매우 제한적임을 알 수 있음. (2) “구조물*변위*센서”은 4,475건의 등록 특허가 검색되었음. 통합계측 기술을 활용하는 모니터링 장치에 관한 특허 출원 및 등록 빈도는 매우 낮은 것으로 판단됨. (3) “구조물*건전성*모니터링”의 키워드에 의해 288개의 특허 출원이 검색됨. 데이터베이스가 구조물과 모니터링과 연관이 큰 단어인 관계로 역시 위 두 개의 키워드에 의한 검색 결과와 상당히 많은 부분이 일치하고 있음. 일반화한 특허출원이 많고 변위측정에 관한 특허들이 다수 출원 등록되었으나 이들 역시 통합계측에 의한 모니터링 특허로 활용하는데 청구항의 범위가 제한적으로 판단됨. (4) “교량*건전성*모니터링”의 키워드로 89개의 특허가 검색되었으나, 주로 유지보수와 관련하여 부품 교체 주기를 예측하는 방법 등을 제시하고 있음. 이러한 기법은 본 연구에서 개발하고자 하는 구조물 안전성 진단 및 분석 툴이라기 보다는 신뢰성 해석을 통한 교체 주기에 초점을 맞추고 있어 연관성이 적음.
- **국내특허 출원동향 분석결과:** 국내 특허는 센싱 방법, 대상부품, 데이터베이스 항목 등에 있어서 본 연구 개발의 대상이 되는 통합계측에 의한 실시간 모니터링 부합하는 것은 거의 검색이 되지 않음. 기본적으로 단일 센서를 활용하는 모니터링 방법에 관한 특허를 출원하고 있으나 복합적인 센서 구성과 이를 활용한 모니터링 방안에 관한 출원은 거의 없음. 특히 본 과와 직접적인 연관이 있는 고성능 센서 하드웨어 개발 및 센서 시스템 개발에 대해서는 특허출원 건수가 많지 않았고, 제안 센서와 기술적으로 중복되는 특허 역시 없다고 판단됨.

■ 해외 특허 분석

키워드	구조물 변위 센서	구조물 모니터링	구조물 건전성 모니터링	교량 구조물 건전성 모니터링
특허 등록수	17,714	9,180	416	111

- **특허검색 방법론 및 결과:** 해외 특허 검색에서는 구조물 모니터링으로 검색하는 경우 너무 많은 건수가 검색되고 많은 경우 본 과제와 상관이 없는 특허가 검색되어 결과 내에서 다음과 같은 키워드로 특허 검색을 실시하였음. 국내와 비교할 때 구조물 변위센서에 관한 특허등록 비율이 매우 높았고, 통합계측에 의한 구조건전성 모니터링 기술은 크게 이루어지지 않고 있는 것으로 파악됨.

국내 특허명	기관	출원 번호	내용
구조물의 절대변위측정 시스템	한국과학기술 원	10-201 0-002 6004	구조물의 변위를 다수개의 구간으로 나누어 각 구간에서의 변위를 레이저 변위측량기로부터 계측하고 누적하여 최종적으로 구조물 최상층의 절대 변위를 계측하는 시스템
제안기술과의 차별성			
비교 특허의 경우, 구조물의 변위를 산출하기 위하여 개발 센서를 여러 구간에 설치해야 함. 본 제안기술의 경우, 한 개의 센서로 구조물의 변위를 정확하게 계측이 가능하기 때문에 경제적이며 상용화에 용이함			

국내 특허명	기관	등록 번호	내용
적외선 열화상 카메라를 이용한 구조물의 3차원 실시간 영상계측 모니터링 시스템	(주)대우건설	10-12 83413	적외선 열화상 카메라를 이용하여 대상 구조물에 주위 온도보다 높은 열을 발생하는 마커를 부착하여, 주야간 구조물의 변위를 실시간 모니터링하기 위한 시스템
제안기술과의 차별성			
비교 특허의 경우, 영상 이미지로 계측한 대상 구조물의 변위를 픽셀 단위에서 Metric 단위로 변환하기 위해서 크기를 알고 있는 마커가 사용됨. 본 제안기술은 가속도계 데이터와의 융합을 통하여 구조물의 변위를 픽셀 단위에서 Metric 단위로 변환이 가능하여, 별도의 마커 부착이 필요 없으므로 대상 기술의 상용화가 용이함.			

국내 특허명	기관	등록 번호	내용
이미지 처리를 통한 객체의 동적 특성 분석 장치 및 이를 위한 방법	서울시립대 학교 산학협력단	10-14 38073	촬영된 구조물의 연속된 이미지를 기반으로 대상 구조물의 동특성을 분석하는 시스템
제안기술과의 차별성			
비교 특허의 경우, 구조물 건전도를 평가하기 위하여 구조물의 동특성(고유진동수)를 영상 이미지 분석을 통하여 산출함. 제안기술은 구조물의 동특성(고유진동수, 동적 변위) 뿐 아니라 정적 변위도 정밀하게 계측이 가능하기 때문에 신뢰도 높은 구조물 건전도 평가가 가능함.			

국내특허명	기관	등록 번호	내용
동적 변위 계산 장치 및 동적 변위 계산 방법	한국과학기술 원	10-173 6133	RTK-GNSS와 가속도계 데이터를 융합하여 구조물의 동적 변위를 산출하는 시스템
제안기술과의 차별성			
비교 특허의 경우 공동연구기관이 개발하였으며, 구조물의 동적 변위를 정확하게 계측하지만, 장기간에 걸쳐 발생하는 구조물의 정적변위의 정확한 계측이 불가. 제안기술은 구조물의 동적 변위 뿐 아니라 정적변위도 정확하게 계측이 가능하여 신뢰도 높은 구조물의 건전도 평가가 가능함			

해외특허명	기관	등록 번호	내용
Non-contacting monitor for bridges and civil structures	RDI Technologi es Inc	US105 21098 B2	외부 고정점에 설치된 비전 카메라로 구조물에 부착된 타겟을 촬영, 추적해 변위를 계측하는 비접촉식 교량 및 토목구조물 모니터링 시스템
제안기술과의 차별성			
최근 연구되고 있는 비전 카메라 기반 변위계측 시스템으로, 제안 기술과 마찬가지로 저주파 대역 변위 계측에 대한 정확도가 상대적으로 높음. 그러나 구조물의 계측위치에 타겟을 부착해야 하며, 주변광의 광량이 약한 야간에는 계측이 제한되는 단점이 있음. 또한 일조시간에도 태양의 위치에 따라 변경되는 그림자의 위치에 의해 오차가 발생함.			

해외특허명	기관	등록 번호	내용
Structural displacement measurement using unmanned aerial vehicles equipped with lasers	UNM Rainforest Innovations	US106 41898 B1	무인드론과 레이저 발생기를 활용해 구조물의 변위를 계측하는 시스템
제안기술과의 차별성			
무인드론과 구조물의 상대적 변위를 레이저의 도플러 효과를 이용해 계측하고, 무인드론의 위치를 내장된 차량모션센서로 계측해 두 값을 뺌으로써 구조물의 변위를 계측하는 시스템으로, 구조물의 안전점검을 무인화할 수 있는 장점이 있음. 그러나 상시 모니터링 용도로는 활용이 어렵고, 중소형 구조물의 변위계측에 적합한 수준의 정확도를 확보하지 못함.			

□ 경쟁제품 비교

회사명	SQ엔지니어링 	풍산FNS 	Leica 	Micro-epsilon 
모델명	제안기술	고정밀 변위계측기	GS18	optoNCDT1171
제품 사진				
구성 요소	레이더 및 저가형 가속도계 융합	RTK-GNSS 및 포스피드백 가속도계 융합	RTK-GNSS 기반 변위 계측	레이저 광선의 왕복시간 계측
대상 구조물	중소형 교량 및 구조물 도심지 구조물	개활지 장대교량, 고층빌딩 및 대형구조물	개활지 장대교량, 고층빌딩 및 대형구조물	중소형 교량 및 구조물
정확도	수평, 수직변위 1mm 이내	수평, 수직변위 3 mm	수평 변위: 8 mm 수직 변위: 15 mm	수평수직변위 1 mm
샘플 주파수	100 Hz	100 Hz	20 Hz	40 KHz
크기 (mm)	80x80x30 (예상)	174x174x168	173x173x109	98x46x25
소비 전력 (mWh)	31	6,240	31,000	3,000
계측 물리량	변위, 가속도	변위, 속도, 가속도	변위, 속도	변위
기준국	불필요	필요	필요	불필요
환경영향	없음	기상상태 및 주변 장애물에 영향받음	기상상태 및 주변 장애물에 영향받음	없음
가격 (USD)	1,000	26,000	45,830 (라이선스 비용 추가 발생, 1600 USD/년)	5,500

□ 현지 기술 차별화 방안

▪ 해외기술 한계점

- 구조물 변위 계측은 구조물 안전진단 및 위험 경보에 있어서 핵심적인 요소로써 구조물의 이동이나 변형을 감지하여 잠재적 붕괴에 대한 중요한 조기 지표로 작용함. 그러나 현재 구조물 변위 측정을 위한 기술들은 RTK-GNSS에 기반하고 있어 정확도가 낮고 가격이 고가임. 또한 레이저의 왕복시간을 활용한 장거리 레이저 센서는 반사판을 설치해야 하므로 실구조물에 적용이 어렵고 변위 정확도가 제한적이며 경제성이 떨어짐.
- 이러한 이유로 공동연구기관인 KAIST는 RTK-GNSS와 가속도계를 융합해 계측 정확도 3mm의 변위계측시스템을 개발함. 개발 시스템은 미국 San Francisco - Oakland Bay Bridge, 중국 Xihoumen, Qingfeng bridge, 말레이시아 Second Penang Bridge에서 실시한 현장실험에 적용되었으며, 국내 영종대교, 인천대교에 설치되어 장기 운용중. 그러나 본 센서 역시 수 밀리미터 수준의 변위를 보이는 중소형 구조물의 계측은 어려움.

▪ 제안기술 차별화 요인

- 세계 최고수준의 계측성능: 정밀도 1 mm 이내, 샘플주파수 100 Hz로 구조물 거동을 계측하므로, 구조물 변위 계측에 주로 사용되는 RTK-GNSS의 성능(수직/수평 정밀도 최대 7~8mm, 샘플주파수 20 Hz)보다 우수하며, 연구진이 기 개발한 가속도계/RTK-GNSS 융합시스템(수직/수평 정밀도 3 mm, 샘플주파수 100 Hz) 대비 정적 변위 계측오차를 약 67% 개선
- 최고수준의 경제성: 고가의 RTK-GNSS 칩셋 대신 저가형 MEMS가속도계, 밀리미터파 레이더를 도입하여 1기당 1,000 달러 이내의 경제성 확보 (기존 가속도계/RTK-GNSS 융합 시스템 1기당 26,000달러)

2.3.4. 국내 TRL 수준 검증

□ 국내 성능검증 실험결과 (TRL 7)

▪ 검증실험 1: 보도육교 실험

- 실험대상 구조: 보도육교 (레이더와 지면 사이의 거리 약 6 m)
- 실험 결과: 기존 기술을 사용하여 약 0.1 mm 의 RMSE 값을 구했으며, 제안 기술을 사용하여 약 0.03 mm 내외의 정확도를 확인함

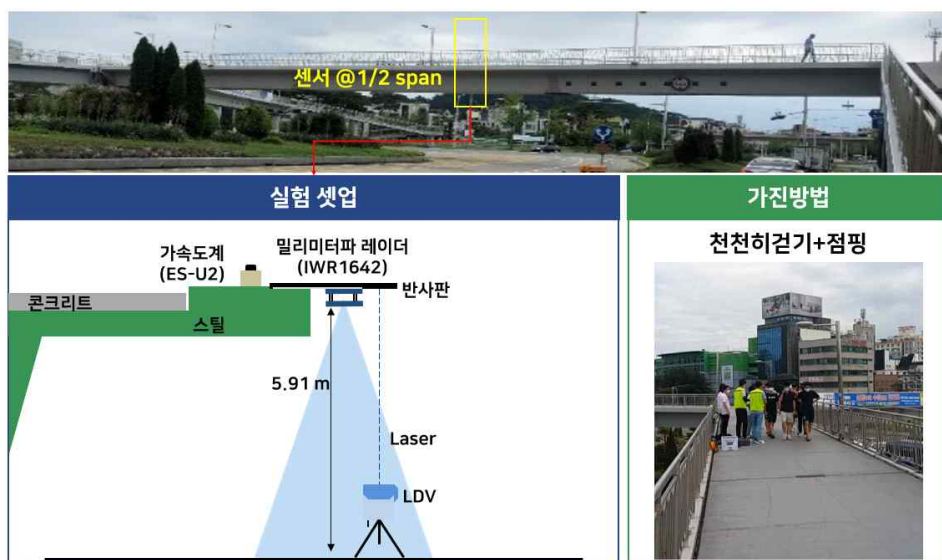


그림. 보도육교 현장 실험

■ 검증 실험 2: 야외 모형 실험

- 실험대상 구조: 4층 건물 모델 (레이더와 대상 건물 거리 약 50 m)
- 실험 결과: 기존 기술을 사용한 결과는 1 Hz 사인파 및 실제 교량 진동값에 대한 변위 추정에 큰 드리프트가 발생하였음. 제안 기법은 1 mm 이하의 오차로 정밀히 추정



그림. 야외 모형 실험

■ 검증 실험 3: 환경영향 평가실험 (우천시 정확도 검증)

- 실험대상 구조: 4층 건물 모델 (레이더와 대상 건물 거리 5~28 m)
- 실험 결과: 우천 시에도 제안 기법은 0.2 mm 이내의 오차로 정밀히 추정하여, 센서 정확도가 우천 환경에 영향을 받지 않음을 검증함.

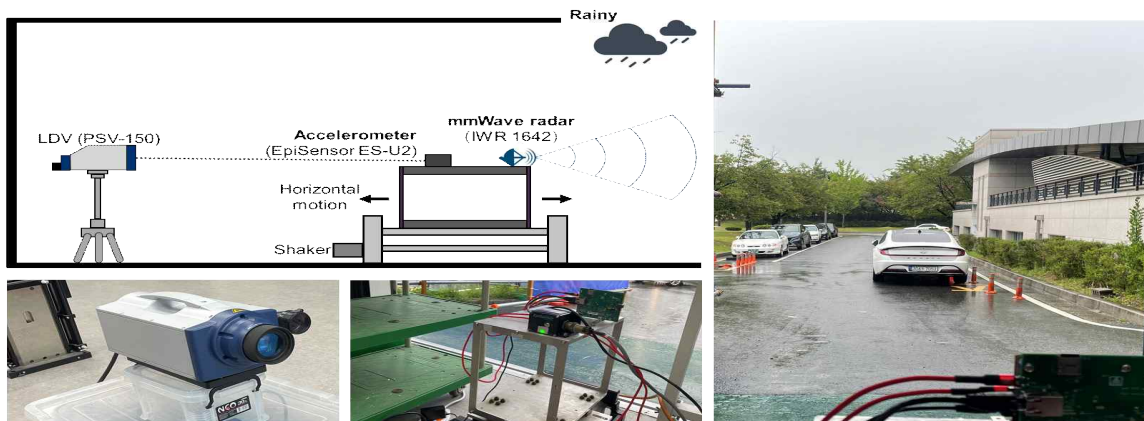


그림. 야외 모형 실험

■ 검증 실험 4: 실험실 검증실험

- 실험실 및 국내 현장 검증실험 완료: 가속도계와 밀리미터파 레이더 센서 각 1조를 동일한 셰이커에 설치하고, 진동을 가한 상태에서 주변 자연타겟을 대상으로 본 기술의 핵심요소인 계측지점 부착식 밀리미터파 레이더 기반 변위산정기법을 검증함. 이를 기반으로 가속도와 밀리미터파 레이더 데이터를 융합한 변위 산정 알고리즘을 개발하고, 변환계수 및 자연표적을 자동으로 추적해 사람의 개입을 최소화할 수 있는 성능을 확보함. 기술을 성능을 검증하기 위해 Lab-scale 및 보도육교의 수직변위 계측실험을 실시하였으며, 1 mm 이내의 정확도를 확인함.

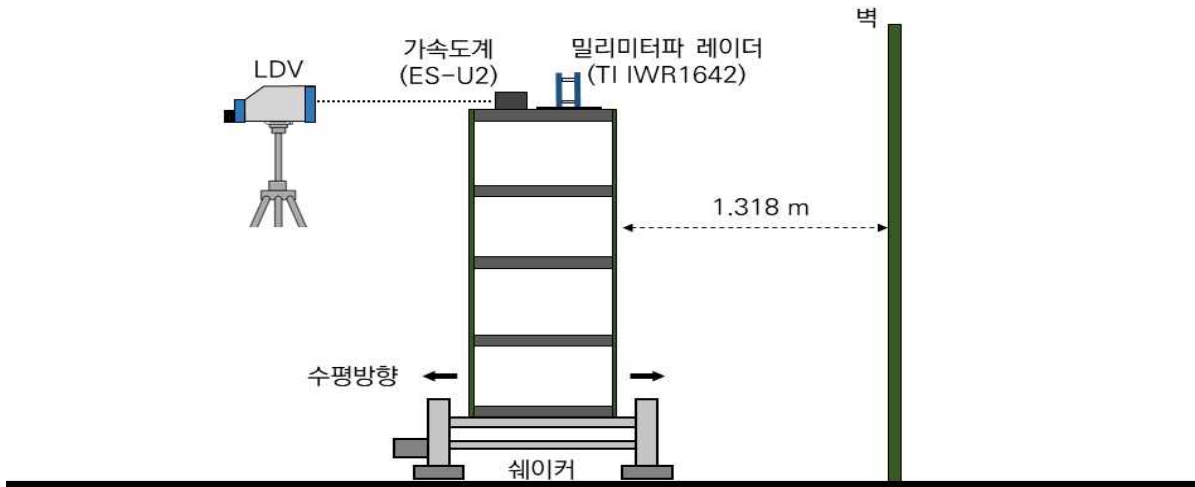


그림. lab-scale 실험

□ 국내 특허출원 (TRL 6)

- 선행연구결과 기술이전 완료: 공동연구기관이 개발한 제안기술을 출원한 국내특허(구조변위 추정방법 및 이를 위한 시스템, 출원번호 10-2022-0071762)에 대해 2022년 7월 5일 1억 정액기술료 + 3% 경상기술료 조건으로 기술 통상실시권을 부여하는 기술이전계약을 주관-공동연구기관간 체결하였음

□ 국내 매출 (TRL 9)

- 개발된 시제품의 현장 적용 및 매출을 위하여 S/W 플랫폼 공급업체인 “가온플랫폼(주)”에 개발센서를 판매해 매출 3천만원을 발생시킨 바 있음
- 주관기관은 국내 사업화를 위하여 관련용역을 가장 많이 수행하고 있으며, 특히 교량 및 터널분야의 경우 2023.11 현재 288개 시설물의 유지관리를 수행하고 있음. 향후 주관기관의 용역 및 유지관리 업무에 센서 시제품을 적용해 추가적인 매출을 달성할 계획임.

2.3.5. 현지 TRL 수준 검증

□ 스탠포드대학교 Via Ortega 주차빌딩 변위계측 현장적용 실험 (TRL 7)

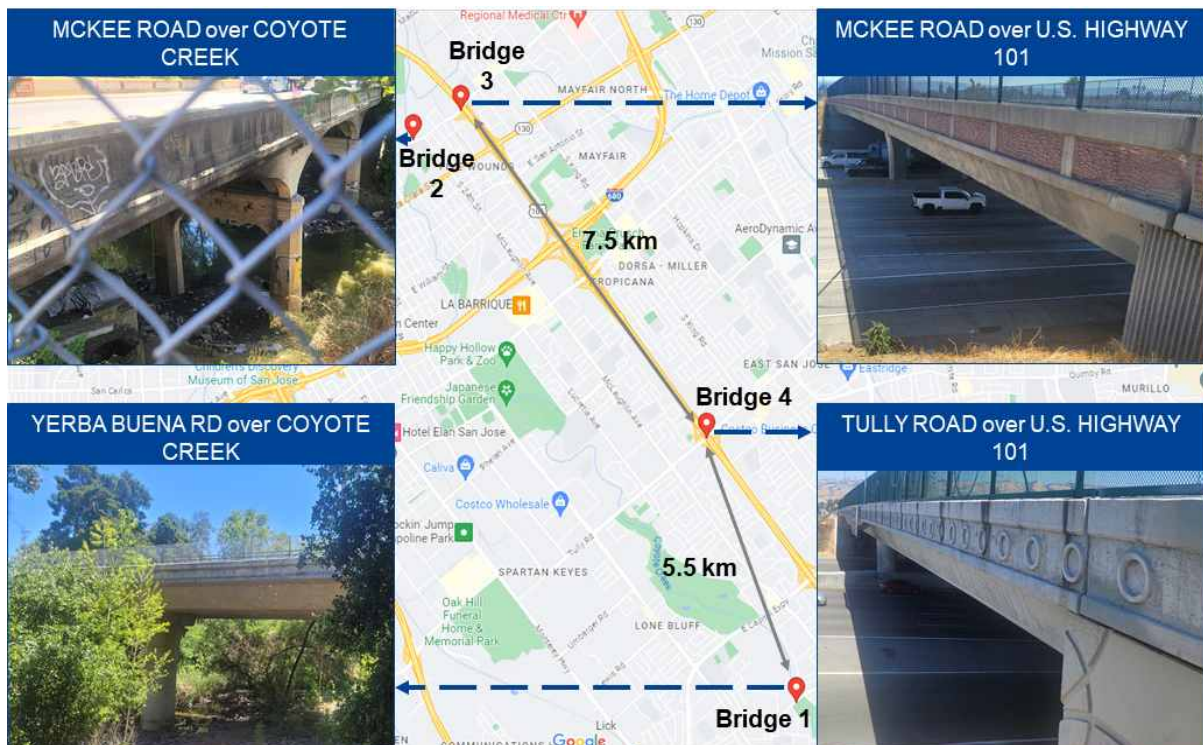
- 주차빌딩 경사로 차량통행시 경사로 슬래브의 수직변위를 개발 센서와 LDV (laser Doppler vibrometer)로 동시 계측해 개발 센서의 정확도를 검증



그림. 스탠포드대 Via Ortega 주차빌딩 변위계측 현장적용 실험을 통해 1mm 이내의 중소형구조물 변위계측 성능을 입증함.

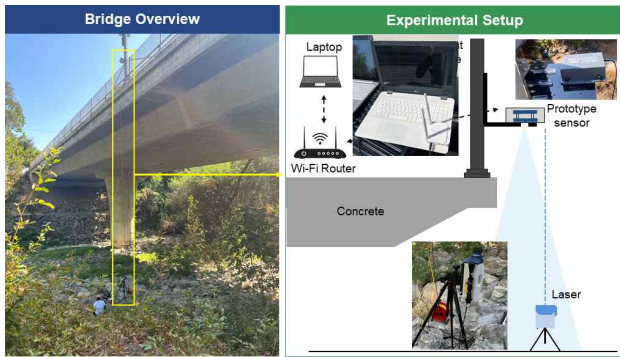
□ 미국 산호세(San Jose)시 노후교량 변위계측 현장적용실험 (TRL 7)

- 미국 산호세시, 스탠포드 대학과 공동으로 관내 노후 콘크리트 교량 4곳을 선정해 제안기술 현장적용실험을 수행하고, 실환경에서의 정밀도를 검증



- 실환경 검증결과: 레이더와 가속도계를 융합한 제안센서를 적용한 실환경 성능검증 실험에서, 현지의 모든 대상구조물에서 0.01mm 이내의 정확도(RMSE 기준)를 보임.

- Yerba Buena Road (Coyote Creek) 실험현장 및 실험구성



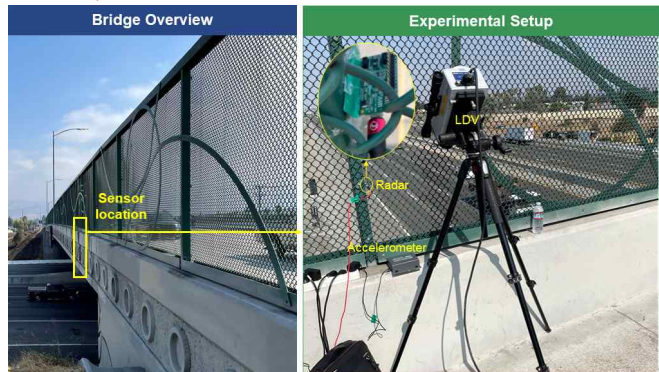
- McKee Road (Coyote Creek) 실험현장 및 실험구성



- McKee Road (101번 고속도로) 실험현장 및 실험구성



- Tully Road (101번 고속도로) 실험현장 및 실험구성



□ 중국 현지 성능검증 실험



- 중국 Zhejiang Communication Group과 공동으로 중국 웨이팡시 소재 교량 3개소(웨이헤 1, 2, 6교)에서 실사용 환경과 동일(차량통행 및 보행자 허용)한 환경 하에서 스마트 변위센서 시제품으로 변위계측 후 reference와 비교해 시제품의 정확도를 분석함. 계측 결과 모든 실험에서 reference 대비 평균 0.1mm 이내의 정확도를 보여 실환경 운용시 안정성과 신뢰성을 검증함.

□ 현지 매출 (TRL 9)

- 1단계 개발센서 2개 판매 (Hanul America Inc.), 총 2,280 USD 매출 발생
- Hanul America Inc는 미국 텍사스 주 소재한 플랜트 분야 시공 및 유지관리 업체로, 자사의 프로젝트에서 개발센서를 플랜트 구조물의 정밀 진단에 활용할 예정임.

3. 기술개발 및 현지 실증계획의 적절성

3.1. 기술개발 계획의 적절성

3.1.1. 목표의 적절성

□ 정성적 성능목표

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 고수준 보유국/보유 기관	연구개발 전 국내 수준	연구개발 목표치			목표 설정 근거
			성능수준	성능수준	1단계 (23)	2단계 (24-26)	3단계 (27)	
동적변위 계측 정확도	mm	25	풍산 FNS 2	풍산 FNS 2	-	1	1	중소형교량 계측가능 세계최고수준
정적변위 계측 정확도	mm	25	풍산 FNS 7-8	풍산 FNS 7-8	-	1	1	중소형교량 계측가능 세계최고수준
샘플주파수	Hz	10	풍산 FNS 100	풍산 FNS 100	-	100	100	토목구조물 동적계측시 일반적으로 적용되는 샘플주파수
가격	USD	20	풍산 FNS 26,125	풍산 FNS 26,125	-	1,500	1,000	중소형교량 적용가능 세계최고수준
방진방수	IP	10	풍산 FNS 67	풍산 FNS 67	-	67	67	KS CIEC 60529
환경 적응력	통과 여부	10	풍산 FNS 통과	풍산 FNS 통과	-	통과	통과	MIL-STD-810

3.1.2. 추진절차의 구체성

□ 연차별/기관별 기술개발 내용

1단계 (2023): 기술 타당성 검토, 성과목표 구체화 및 현지 시장 여건 파악

- 기술개발: TRL 7단계 수준 시제품 제작 (SQ Eng, KAIST)



그림. 스마트변위센서의 IP66에 적합하도록 방수 방진 케이스를 설계해 1차 시제품을 제작함.

- 사업화: 제안 기술 특징점/차별성 분석 및 정량적/정성적 성과 목표 구체화

제안 센서	RTK-GNSS 제품
 • 저가형 레이더/가속도계 융합 • 정확도 1mm 미만 • 중소형 교량 및 도심지 구조물 장기 계측에 적합 • 변위, 가속도 계측 • 지면 설치 불필요 (계측지점 부착) • 1,000달러 이내	 • RTK-GNSS 시스템 • 정확도 5mm 이상 • 개활지 장대교량, 고층빌딩 및 대형구조물 장기계측에 적합 • 변위, 속도 계측 • 기준국 지면 설치 필요 • 45,000달러
RTK-GNSS/가속도계 융합형 제품	레이저 TOF 기반 제품
 풍산 FNS PDMS • RTK-GNSS, 포스피드백 가속도계 융합 • 정확도 3mm 이내 • 개활지 장대교량, 고층빌딩 및 대형구조물 장기계측에 적합 • 변위, 속도, 가속도 계측 • 기준국 지면 설치 필요 • 26,000달러	 Micro-epsilon optoNCDT1171 • 레이저 광선 왕복시간 계측 • 정확도 1mm • 중소형 교량 및 개활지 구조물 단기계측에 적합 • 변위 계측 • 센서 시스템 지면 설치 필요 • 5,500달러

그림.. 현재 미국 내에서 보급 중인 구조물 모니터링을 위한 변위센서 제품군을 조사하고, 제안된 스마트변위센서의 차별성 및 장점을 분석해 중소형 구조물에 특화된 제품으로 시장 포지션을 설정해 시장 진입 전략에 반영함.

- **현지 시장상황 및 성장가능성 조사(Stanford):** 목표시장인 미국 현지의 사회적 환경과 정치, 경제적 환경을 조사, 분석함. 미국 사회 기반시설의 심각한 노후도와 그에 따른 미국 정부의 투자 확대에 따라, 해당 분야 센싱 기술의 사업화 전망이 밝을 것으로 진단함.
- **기존 상용제품 및 경쟁업체 기술 대비 제안기술 차별성 분석 (KAIST):** 현재 미국 내에서 보급 중인 구조물 모니터링을 위한 변위센서 제품군을 조사하고, 기존 상용제품 및 경쟁업체 기술과 비교한 본 과제의 스마트변위센서의 기술적 포지션을 정의함. 제안된 스마트변위센서의 차별성 및 장점을 분석하고, 미국의 환경에 따른 단점과 보완사항을 도출하여 향후 시장진입 전략을 세우기 위한 정보체계를 수립함. 분석 결과 제안 센서의 목표 시장인 중소형 구조물의 상시계측에 적합한 센서가 전무하다 판단되어, 제안된 스마트변위센서를 중소형 구조물에 특화된 제품으로 설정함.
- **모방품 시장차단을 위한 역엔지니어링 방지 방안 수립 (SQ Eng):** 스마트변위센서의 하드웨어 및 소프트웨어를 무단 복제한 모방품의 시장 출현을 차단하기 위해 역엔지니어링을 어렵게 만드는 안티 리버스 엔지니어링 기법을 조사 검토함. 역공학 방지 기법에 관한 특허를 검색하고, 원본 SW의 소스코드를 컴파일하고 소스코드를 가상화하는 가상화 컴파일 기법과 암호화 기법을 선정해 향후 사업화를 위한 시제품 개발시 적용할 예정임.
- (실증) KOLAS 인증 및 국내 실제 환경에서 시제품 성능 검증 (SQ Eng, KAIST)
- (실증) 미국/중국 현장실증을 통한 성능검증 (KAIST, Stanford)
- 현지 현장실증 장소선정 및 리스크 관리 절차 수립
- 미국 현장실증을 통한 성능검증
- 중국 현장실증을 통한 성능검증

2단계 (2024-2026): 스마트 센서 모듈 고도화 및 실증 실험 수행

- (기술개발) FMCW mm파 레이더, 가속도 및 MCU 통합한 스마트변위센서모듈 고도화
- (기술개발) 레이더/가속도계 융합 기반 고정밀 (1 mm급)/광대역 (0-100Hz) 변위 계측기법 고도화
- (실증) 현지 테스트베드 장기운용 평가 및 시제품 공인인증
- (사업화) 건설 신기술 신청 및 사업화를 위한 검교정 절차 수립

3단계 (2027): 구조물 안전진단을 위한 스마트 센서 판매 및 설치 운영

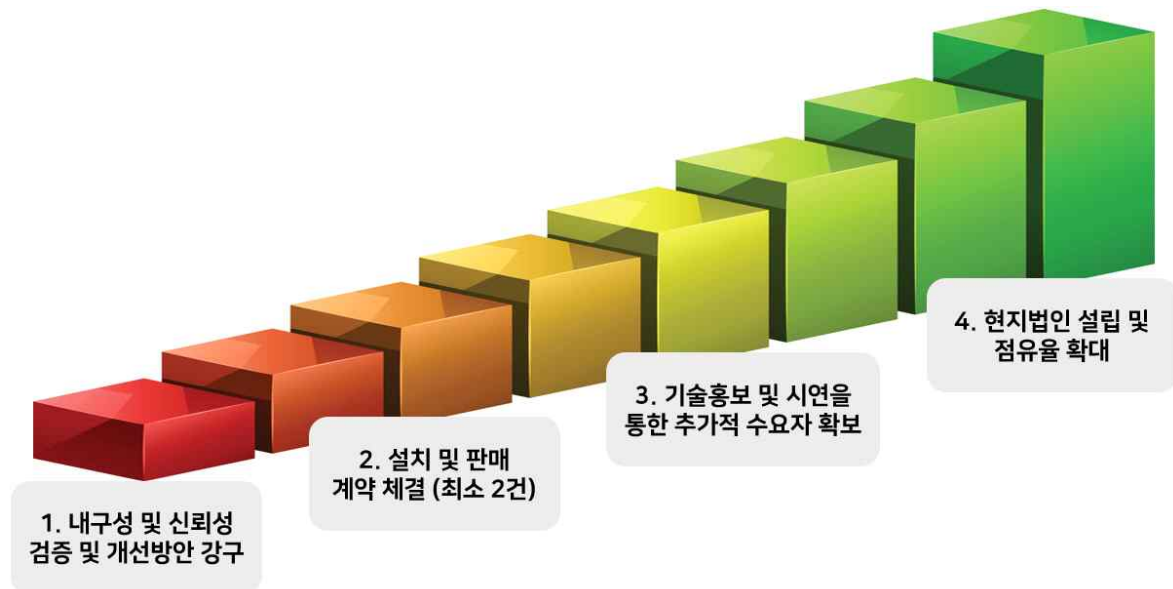
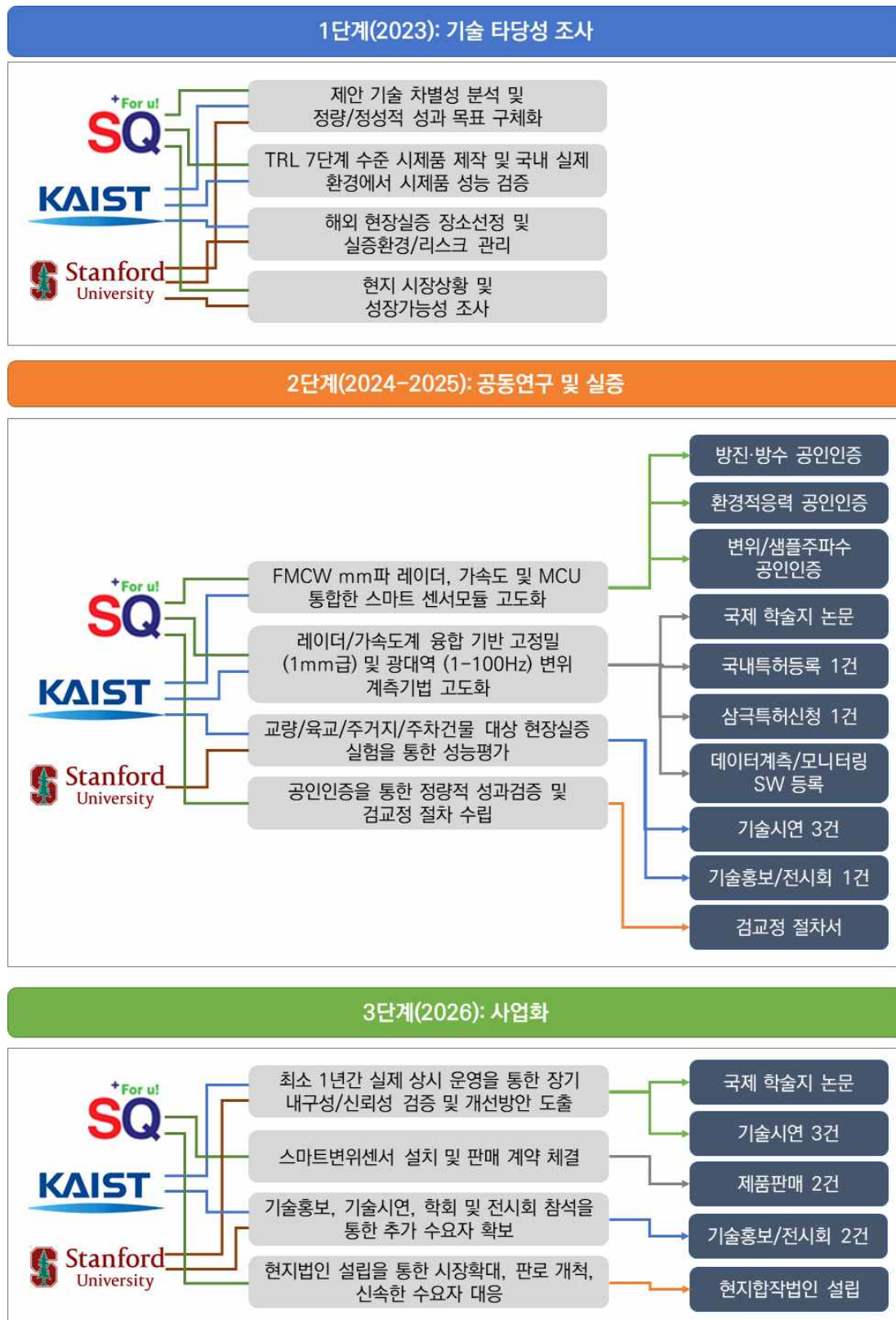


그림. 본 과제 3단계에서는 구조물 안전진단을 위한 스마트 센서 판매 및 수요자 확보와 시장확대 및 판로개척에 대응할 계획임

□ 실증/사업화 과정 개선사항의 기술개발 반영계획

3.1.3. 산출물 및 성능평가 방법의 적절성

□ 기술개발 성과물



3.2. 실증 전략의 적절성

3.2.1. 기술적/사업적으로 예상되는 이슈에 대한 대응절차 및 계획 여부

□ 현지화시 예상되는 기술적 이슈

- **현지 무선통신 표준 준수:** 10KHz ~ 3,000GHz의 주파수 대역을 관할하는 FCC의 전파인증이 요구되며, 위반 시 유통 전반에 대해 강력한 제재를 가하므로 FCC 인증은 필수임. 본 과제에서는 2단계 사업화 진입단계 이전에 인증을 취득할 예정이며, 필요한 경우 레이더 센서 및 무선통신 모듈의 재설계 및 고도화를 수행할 예정임.
- **센서 오작동시 신속한 수리/교체 문제:** Stanford 대학의 협력 하에 현지법인을 설립하고 현지 파트너십 계약 체결을 통해 신속 대응방안을 마련할 예정임. 또한 센서 진단/설치/운영 매뉴얼 제작을 통한 현지 기술자 교육, 센서 오작동시 일단 신제품으로 신속히 교체해주고 고장 센서는 수거하여 수리후 교체하는 방식으로 신속한 대응 가능함.
- **안전진단 및 위험경보 서비스 확보문제:** 수요자의 최종적 요구조건은 구조물의 안전성에 대한 명시적인 판단이며, 변위 계측치를 바탕으로 한 직관적인 구조물 안전성 평가 결과, 위험 경보 및 이를 통한 재난 방지 효용성에 관심을 가질 수 밖에 없음. 따라서 구조물 건전성의 현 상태에 관해 보다 자세한 정보를 요구하거나 특수한 물리량의 지속적 추적을 필요로 하는 수요자를 위해, 현지 법인과 별도 컨설팅 또는 용역계약을 통해 세부적 모니터링을 가능하게 하는 옵션을 제공할 예정임. 이를 통해 수요자는 각각의 특수한 요구조건에 맞는 안전진단이 가능하고, 수요자 별 맞춤형 위험경보 시스템을 구축할 수 있음.

□ 예상 이슈 대응절차 및 인력확보 계획

- **현지 협력기관 전문성 활용:** 현지 협력기관인 Stanford 대학은 변위계측 관련 센서 및 시스템 운용에 많은 지식과 경험을 축적하고 있으므로, 이슈 대응에 1차적인 대응선 역할을 수행할 예정임.
- **현지 인력 교육 프로그램 구축:** 수요자의 수요 및 공급 분석을 토대로 센서 작동, 설치, 운용, 유지관리 및 트러블슈팅에 대해 현지 기술자 육성 커리큘럼을 마련하고, 법정 교육 이수 및 실효성·편의 향상 및 경력관리 지원함. 제안 센서는 구조가 단순하고 설치 및 유지관리가 용이하므로 기술자 교육에 큰 기술적, 경제적 어려움이 예상되지 않음.

3.2.2. 실증부지 마련 및 관련 인프라 확보방안의 적절성

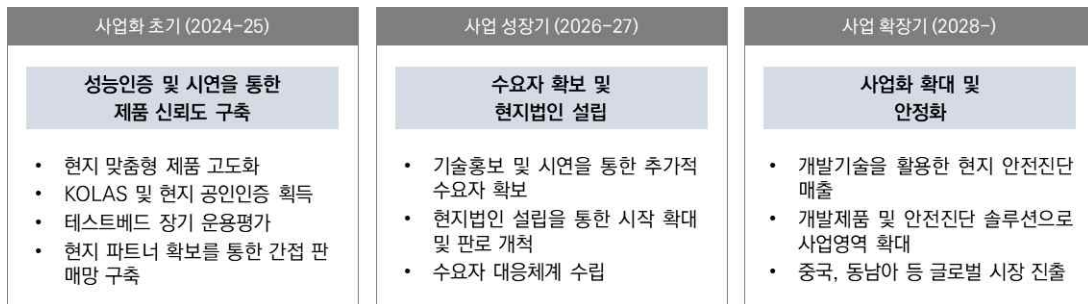
- **실증부지 마련 불필요:** 본 과제는 수요자의 관리 대상 구조물에 센서 시스템을 설치해 실증 후 철거하는 절차가 매우 용이하며, 수요자 및 이해관계자 역시 자사가 보유한 구조물을 대상으로 직접적인 검증을 선호하므로, 고정된 실증부지를 확보하는 것이 필요하지 않으며, 대부분의 현장에서 기본 제공하는 상시전원을 제외한 실증 인프라 역시 구축이 요구되지 않음.

4. 해외 시장진출 및 사업화 계획의 적절성

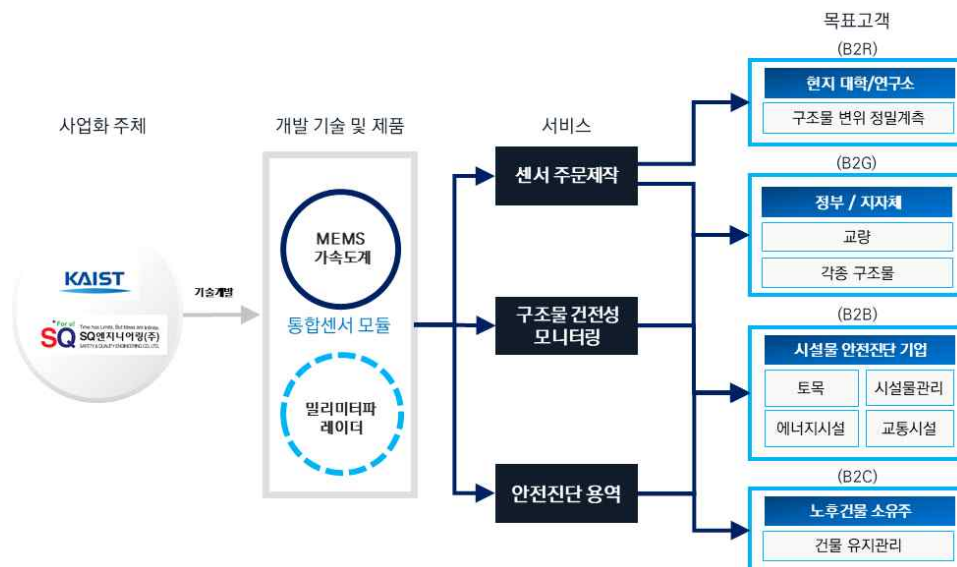
4.1. 사업화 로드맵 수립

4.1.1. 사업화 로드맵

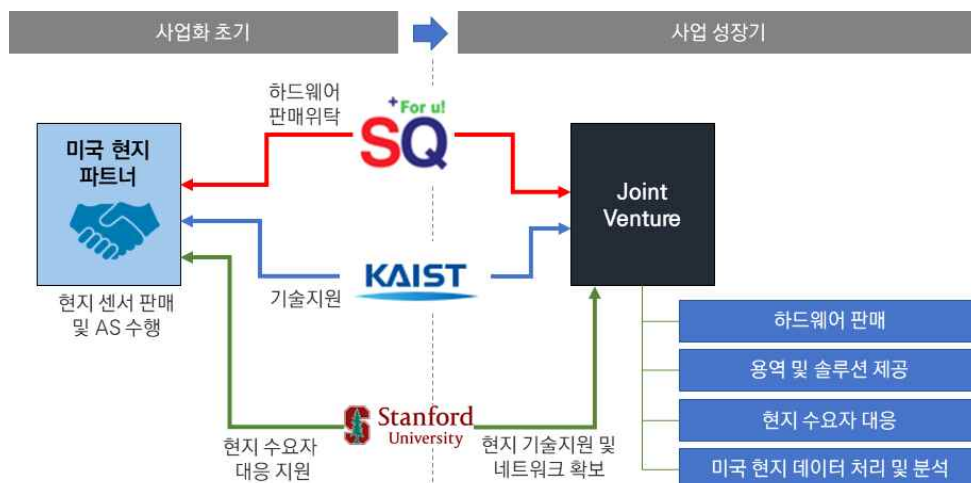
□ 사업화 전략



□ 비즈니스 모델



4.1.2. 현지법인 설립추진방안



4.2. 사업화 파트너 확보 및 이해관계 조정의 적절성

4.2.1. 현지 영업/마케팅 파트너 계획



그림. 현지 및 국제 박람회, 학회, 전시회 등에 적극참여하여 현지 판로를 적극 확보하고 기술 우수성을 홍보할 예정임.

4.2.2. 현지 기술자 교육 계획

□ 현지 인력 교육 프로그램 구축

- 수요자의 수요 & 공급 분석을 토대로 센서 작동, 설치, 운용, 유지관리 및 트러블슈팅에 대해 현지 기술자 육성 커리큘럼을 마련하고, 법정 교육 이수 및 실효성·편의 향상 및 경력관리 지원
- 제안 센서는 구조가 단순하고 설치 및 유지관리가 용이하므로 기술자 교육에 큰 기술적, 경제적 어려움이 예상 되지 않음

□ 교육 방식

- 현지 대면교육 및 온라인 화상교육을 통한 병행 진행
- 주제별 강의를 기획하여 현지 법인 및 기술자와 원활한 소통창구 개설
- 이론 교육 후 실습으로 구성하여 진행
- 집체 교육 및 그룹세미나, 1:1 사내 기술자 실습 등으로 진행
- 교육 현장에서 강사/멘토와 수강생/멘티의 스킨십과 소통을 제고하도록 함

□ 자체 데이터베이스 구축 및 활용 방안

- 국내에서는 현재 「시설물정보관리종합시스템 운영규정」에 의해 FMS(시설물정보관리종합시스템)을 구축, 시설물 관리대장, 설계도서 등 관련서류 및 감리보고서의 작성 및 제출과 건설진흥법에 따라 안전점검종합보고서 등에 대한 보존 및 관리를 하고 있으나, 미국 현지에서는 관리주체별 개별적인 시스템에 따라 유지관리하고 있음.
- 따라서 국내와 유사한 형태로 자체 데이터베이스를 구축하고 현지 법인이 유지관리 중인 구조물에 대한 통일된 유형의 정보관리시스템을 운용함으로써 현지 관리주체의 관리 편의성을 높이는 동시에, 관리주체의 신규/기존 관리 인프라의 수주를 통해 추가 실적도 가능함.

4.3. 재원확보 및 마케팅 계획의 적절성

4.3.1. 사업확장 재원확보계획

- **기술로 및 신규사업 유치 위한 투자자금 확보:** 기술보증기금을 활용해, 기술력을 보유하고 있는 기업의 기술성, 사업성 등 미래가치에 대한 평가를 기반으로 보증서를 발급하여, 원활한 자금을 조달 할 수 있게 함
- 주관기관 인력확보계획

(단위: 명)

채용구분	사 업 화 년 도				
	(2027년) 과제종료후 1년	(2028년) 과제종료후 2년	(2029년) 과제종료후 3년	(2030년) 과제종료후 4년	(2031년) 과제종료후 5년
판매 인력	2	2	3	5	6
설치 인력	2	2	3	5	7
소프트웨어 개발 인력	2	3	4	4	4
현지법인 인력	2	2	2	3	3
계	8	9	12	17	20

□ 현지 홍보 계획

- **국내 및 해외 보도자료 작성 및 배포:** 통합 센서 모듈 시스템 기술에 대한 수요기업 접근성 향상을 위한 언론 홍보를 추진할 예정. 언론홍보를 통해 수요발굴의 문턱을 낮추고 사업화 유망기술의 신뢰성 강화하며, 외부 미디어 활용 통한 개발 기술 홍보와 더불어 연구기관 브랜드 이미지를 제고함.

□ 영업 계획

- **기존 비즈니스 네트워크 활용:** 주관연구기관인 SQ엔지니어링은 용역 서비스 분야에서 현재 다양한 국가에서 프로젝트를 진행하고 있음. 본 과제를 통한 개발제품은 기존 해외진출 분야와 매우 밀접한 관련성이 있으므로, 이를 이용해 기존 판로를 개척 및 확대함. 특히 최근 미국 및 아세안 국가들의 정부기관 관계자들이 기업을 방문, 기술교류 및 정보공유를 통한 비즈니스 네트워크를 이어가고 있음. 이러한 네트워크를 활용해 향후 미국, 중국 나아가 유럽 등의 국가에 있는 정부 및 기업 수요처를 확보하여 해외 진출할 계획임



그림. 주관연구기관(SQ엔지니어링)의 해외사업 진출국

□ 타겟 마케팅

- 개발 기술의 적용 분야를 대상으로 기술 소개 및 기술사업화 제안
- 매출 10~20억 대상 기업 및 공공기관을 대상으로 1차 타겟 마케팅 진행 이후, 2차 중견/대기업 형태의 타겟 마케팅 진행 예정

5. 리스크 분석의 적절성

5.1. 위험 식별 - 위험도 평가의 적절성

5.1.1. PEST 분석을 통한 외부환경 주요이슈 도출

- 정책(Political): 자유무역에서 보호무역으로 국제정세가 변하면서 자국사업을 보호하고 생산기반을 자국으로 회귀시키는 방식으로 미국 정책변화
- 경제(Economic): 물가/인건비 상승 및 이민자 수급 감소와, 이로 인한 구조물 안전진단을 위한 인건비 및 기타 비용 급등
- 사회문화(Social): 기후변화 및 노후화 구조물 증가로 구조물 안전 진단 및 모니터링에 대한 수요증가
- 기술(Technological): 미국 제조업의 자국 회귀에 따른 제조업 자동화(스마트팩토리) 및 생산성 극대화를 위한 ICT, AI, 로봇 기술 활용

5.1.2. 위험도 평가의 적절성

	긍정적 측면	부정적 측면
제조 판매업	• 우수한 성능: 정밀도 1 mm 이내, 샘플주파수 100 Hz로 구조물 거동 계측이 가능한 세계 최고수준의 계측 성능 보유 • 유지관리 업무 자동화 가능: 기존 건설분야 사업과 달리 노동집약적이지 않고 기술집약적인 사업으로 전환 가능 • 넓은 시장 확장성: 기존 대형구조물 이외의 중소형 구조물에도 적용 가능 • 높은 경제성: 1기당 1,000달러 이하의 경제성 확보 • 시장개척 용이성: 용역사업이 아닌 제품판매 사업을 중심으로 해외시장 개척이 용이	• 초기 매출 부진 가능성: 1기당 제품의 단가가 타 센서 대비 매우 낮기 때문에 초기 센서 판매량이 적을 경우 매출의 부진 가능성이 있음 • 현지 파트너로 인한 이익 감소: 해외시장 개척을 위해 판매 및 AS 대행을 계약한 해외 파트너 기업과 초기 수익을 배분해야 하므로 이익 감소가 예상됨
역엔지니어링	• 제품 수요 증가 예측: 기후 변화 및 노후화 구조물 증가에 따른 정부 시책의 변화로 모니터링 및 센서 시장 확대 동력이 높고 향후 수요가 증가할 것으로 예측 • 구조물 안전진단 자동화 확대: 인건비 및 물가 상승으로 인하여 구조물 안전진단 자동화에 대한 사회적 요구 증대 • 부품의 지속적 성능 향상 및 가격 하락: 자율주행차 수요증가 및 반도체 기술 향상으로 본 제품 개발에 필요한 기속도 및 라이다 등 요소 부품 성능의 지속적 향상 및 가격 하락 • 미중 냉전에 따른 경쟁우위 확보 용이: 최근 미국과 중국을 중심으로 보호무역 체제로 회귀되면서 미국시장 개척에 있어서 중국 대비 경쟁우위 확보 용이	• 지속적 연구개발 및 성능향상 요구: 경쟁기업과의 기술격차를 유지하기 위해서는 지속적인 연구개발이 요구되며, 이에 따른 적응성 확대와 성능향상이 필요 • 역엔지니어링 방지책 필요: 역엔지니어링 및 기술 도용 방지를 위한 체계적 대응방안 마련 필요 • 제품생산에 필요한 주요부품 수급 불확실성: 가속도계, 레이더 등 주요부품을 타 기업에서 조달하고 있어 수급이 불확실한 상황이 발생할 수 있음

5.2. 위험요인 대응 및 반영 계획의 적절성

- **경쟁기업 기술현황 모니터링:** 미국 시장 진출 및 현지법인 설립 후, 현지 및 중국 경쟁기업의 특허출원, 논문발표 및 전시회 참여 현황 등을 지속적으로 모니터링하여 경쟁기업의 기술 발전 정도를 확인하는 경쟁사모니터링 시스템을 도입할 예정임. 이를 통해 경쟁기업의 기술개발 동향 및 사업동향을 면밀히 모니터링하고 업데이트함으로써 경쟁회사의 전략 방향성의 변화와 마케팅 활동으로 인해 충성 고객의 이탈과 시장점유율의 저하가 발생하지 않는지 여부를 모니터링할 계획임.
- **기존 상용제품 및 경쟁업체 기술 대비 제안기술 차별성의 지속적 확보:** 현재 미국 내에서 보급 중인 구조물 모니터링을 위한 변위센서 제품군을 조사하고, 기존 상용제품 및 경쟁업체 기술과 비교한 본 과제의 스마트 변위센서의 기술적 포지션을 정의함. 스마트 변위센서의 차별성 및 장점을 분석하고, 미국의 환경에 따른 단점과 보완사항을 도출하여 향후 시장진입 전략을 세우기 위한 정보체계를 수립함. 이를 바탕으로 제품 고도화를 위한 연구개발 방향을 정립하고 센서 차별화방안을 지속적으로 업데이트함.

6. 사업 타당성 분석의 적절성

6.1. 기술적 타당성 분석의 적절성

□ 기술적 타당성

- 본 과제의 스마트변위센서는 시장성 확대를 위해 중소형 사회 인프라 구조물의 변위 모니터링을 위한 센서로, 1mm 내의 변위계측 정확도와 1000달러 이내의 가격으로 보급 가능한 센서임. 현재 미국 현지에서는 중소형 사회 인프라 구조물의 장기 모니터링 용 변위센서가 부재한 상태임.
- 미 정부의 시책으로 인프라 유지관리 시장이 본격 확대되고 있는 현 시점은 미국 시장에 진출할 수 있는 적기이며, 세계 최대 시장인 미국에서 기술이 검증되면 타 국가에서도 제품 홍보 및 판매가 용이해 빠른 글로벌 시장 진입이 가능할 것으로 판단됨.
- 특히 중소형 구조물은 최근 현지에서 빈번한 붕괴사고가 발생함에도 정밀성과 경제성을 갖춘 센서의 부재로 인해 안전사각지대에 있으며, 이분야에 특화된 센싱기술 개발 및 사업화는 유망할 것으로 기대됨.

□ 기술 실증 및 사업화 가능성

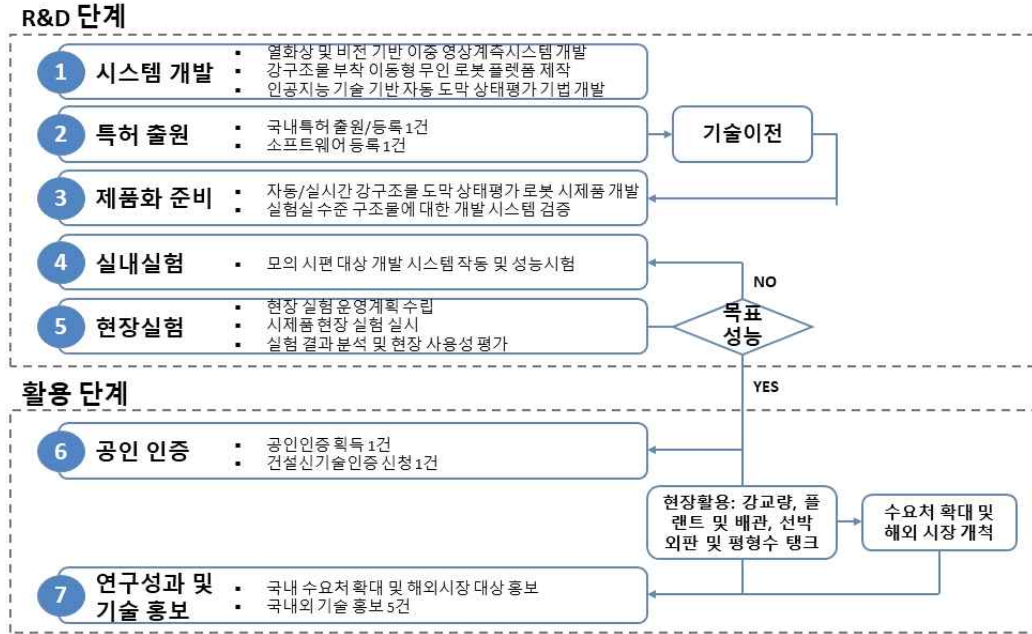
- 현지 수요분석: 2022년 현재 북미 인프라 모니터링 시스템 시장은 전세계 시장의 32.3%를 점유하고 있는 것으로 추산되며, 특히 사회 인프라 분야에서 최신 기술이 많이 도입됨에 따라 북미 시장은 더욱 확대될 것으로 예상됨. 사회적으로 안전에 대한 인식이 급격히 전환되면서 정부의 공공 인프라에 대한 투자가 공격적으로 진행되고 있어 성장동력이 높게 평가받고 있음.

6.2. 경제적 타당성 분석의 적절성

- 수요처의 시연 및 현지 국가에서 요구하는 인증 확보 예산 반영. 또한 실증기간 연장에 따른 5차년도 연장시 현지 법인 설립을 통한 매출 및 기 판매제품의 유지관리 실시
- 주관기관은 최근 3년간 수행한 연구과제의 사업비 40% 이상을 건설신기술 확보 및 현장적용에 활용하였음.
- 건설 신기술 확보 및 관련 유관기관의 홍보를 통하여 신규 분야의 매출을 확보하고 있음.

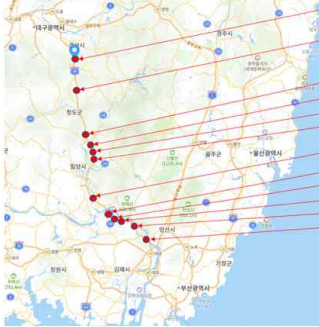
- ◆ **과제명:** 강구조물 도막 상태 실시간 평가 (도막 열화 분류 신뢰도 95%, 두께 정량화 정확도 20μm)를 위한 인공지능 기반 열화상/비전 검사 로봇 개발
- ◆ **전문기관:** 국토교통과학기술진흥원('19.4~'21.12) / 에스큐엔지니어링 참여 형태: 공동연구기관
- ◆ **연구과제의 매출을 위한 사업비 비율 : 50 % 이상**(건설신기술 확보, 수요처 기술홍보 및 현장적용)

연구개발계획중 활용단계



- ◆ **과제명:** XAI기반 터널&교량 시설물 안전점검 자동화 솔루션 도입
- ◆ **전문기관:** 정보통신산업진흥원('20.6~'20.12) / 에스큐엔지니어링 참여 형태: 주관연구기관
- ◆ **연구과제의 매출을 위한 사업비 비율 : 41 % 이상**(건설신기술 확보, 수요처 기술홍보 및 현장적용)

개발 제품의 현장 적용/매출 실적

시설물명	길이	비고
상동1터널	547m(왕복4차선)	 - 남천터널(870m, 2차로) - 청도2터널(1,550m, 2차로) - 청도1터널(560m, 2차로) - 고창3터널(655m, 2차로) - 고창2터널(1,060m, 2차로) - 고창1터널(1,142m, 2차로) - 삼랑진터널(722m, 2차로) - 생원2터널(526m, 2차로) - 생원1터널(292m, 2차로) - 무악산터널(2,042m, 2차로) - 상동2터널(520m, 2차로) - 상동1터널(547m, 2차로) 총 연장, 20.97km, 왕복 4차로, 신기술 대가 2.7억 원
상동2터널	520m(왕복4차선)	
제2만덕터널	1,740m(왕복4차선)	
신가지하차도	445.5m(왕복6차선)	
곰내터널	1,835m(왕복4차선)	
그 외	방음터널, 서울 청덕초교 지하차도 등	

- ◆ **과제명:** 인공지능 및 열화상/비전기술 기반 휴대용 강구조물 도막 자동 상태평가 장비 고도화 및 상용화
- ◆ **전문기관:** 연구개발특구진흥재단('20.9~'21.8) / 에스큐엔지니어링 참여 형태: 주관연구기관
- ◆ **연구과제의 매출을 위한 사업비 비율 : 48% 이상**(건설신기술 확보, 수요처 기술홍보 및 현장적용)

개발 제품의 현장 적용/매출 실적

항목	건수	내용
수요처 발굴	6	- 부산시설공단 방문 및 기술 홍보 1건 / 도화 엔지니어링 방문 및 홍보 1건 - 한국건설안전박람회 참관 및 홍보 1건 / 포스코건설 기술 미팅 1건 - 현대건설 기술 미팅 1건 / 대우건설 기술 홍보 1건
시제품 성능 평가	1	KOLAS 인증기관에서 강구조물 도막상태 시스템 성능 인증 1건
마케팅 활동	4	- 철도시설공단 테스트베드 활용 방안 논의 1건 / 한국콘크리트학회 봄학술대회 참석 및 홍보 1건 - 한국구조물진단유지관리공학회 기조연설 1건 - K-테스트베드 참여기업 컨설팅 및 판로지원 간담회 참석 1건
용역 수주	4	- 한국동서발전 당진화력본부 정밀안전진단 1건 / 신대구부산고속도로 정밀안전진단 1건 - 광주제2순환고속도로 정기안전점검 1건 / 성산대교 점검용역 1건
신기술신청	1	건설신기술(NET) 신청 완료

6.2.1. 기대 매출 및 시장점유율

(단위: 백만원)

구 분		사업화년도					
		2026년	2027년	2028년	2029년	2030년	2031년
사 업 화 품 목		구조물 변위 계측용 통합 센서 모듈, 안전진단 서비스 솔루션, 진단용역					
판매계획	내 수	-	10	40	160	640	2,560
	수 출	8	40	160	640	2,560	10,240
	계	8	50	200	800	3,200	12,800
지출계획	인 건 비	300	450	600	750	900	1,200
	센서 모듈 개발/운영비	500	300	200	100	100	100
	경상운영비	12	100	150	300	450	800
	계	812	850	950	1,150	1,450	2,100
자금조달	정부지원 및 R&BD 사업	200	500	-	-	-	-
	외부 투자	-	500	-	-	2,000	60,000
	계	200	1,000	-	-	2,000	60,000

7.2.4.

□ 사업화가 본격적으로 진행되는 2027년을 기점으로, 2027년 5,000만원의 첫 매출을 시작으로 사업화 5년 뒤인 2031년에는 120억원 규모의 매출을 달성 예정임. 미국 시장을 타겟으로 1차 시장 타겟팅 이후 시장 확장 및 비즈니스 모델 확장을 통해 지속적인 매출을 확장해 나갈 계획임

7. 결론

- 2단계에는 FMCW mm파 레이더, 가속도 및 MCU 통합한 스마트변위센서모듈 고도화, 레이더/가속도계 융합 기반 고정밀 (1 mm급)/광대역 (0-100Hz) 변위 계측기법 고도화를 수행해 현지 맞춤형 센서를 시제품을 제작하고, 현지 테스트베드 장기운용 평가 및 시제품 공인인증을 통해 신뢰도를 입증하며, 건설 신기술 신청 및 사업화를 위한 검교정 절차를 수립할 예정임.
- 3단계에서는 현지화 성능 평가 및 개선사항을 도출하고, 기술홍보, 기술시연, 학회 및 전시회 참석을 통해 추가적 수요자를 확보해 시장진입 가능성을 높이며, 현지법인 설립을 통한 시장확대, 판로 개척, 수요자 대응체계를 수립하고, 스마트변위센서를 현장 설치하고 판매 계약을 체결할 예정임.