국토교통연구기획사업

R&D-####

무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획

2016 . 3 . 22 .

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국과학기술원
공동연구기관 / ㈜퍼스텍
한국과학기술정보연구원
㈜날리지웍스

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

11-1613000-001584-01

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획"과제의 보고서로 제출합니다.

2016 . 3 . 22 .

주관연구기관명 : 한국과학기술원
주관연구책임자 : 손 훈 교수
연구원: 명 현 교수
연구원: 정 형 조 교수
연구원: 임 형 진 박사
연구원: 정 호 연 박사과정
공동연구기관명 : ㈜ 퍼스텍
공동연구책임자 : 이 석 태 부장
연구원: 김 태 홍 연구원
공동연구기관명 : 한국과학기술정보연구원
공동연구책임자 : 정 기 문 선임연구원
연구원: 조 혜 영 선임연구원
연구원: 유 정 록 선임연구원
공동연구기관명 : ㈜ 날리지웍스
공동연구책임자 : 이 재 희 부사장
연구원: 방 영 민 책임컨설턴트
연구원: 이 경 훈 전임컨설턴트

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2015.10.15.
~2016.2.15.</td><td>단 계
구 분</td><td>(1)/(1)</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리시스템 개발 기획</td></tr>
<tr><td>단위
과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>손 훈</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 13 명
내부 : 13 명
외부 : 명</td><td>총
연구비</td><td>정부 : 5 천만원
기업 : 천만원
계 : 5 천만원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국과학기술원
건설및환경공학과</td><td>참여기관명</td><td colspan="2">㈜ 피스텍
한국과학기술정보연구원
㈜ 날리지웍스</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서면수</td><td>335</td></tr>
<tr><td colspan="6">▪ 실질적 실용화 및 상용화가 가능한 무인검사장비를 활용한 대형 사회기반시설물(교량) 안전성 진단 및 원격 유지관리 시스템 개발에 대한 기획연구 추진을 목표로 함
▪ 다양한 분야의 산, 학, 연의 전문가들을 초청한 2회의 워크숍을 개최하고 전문가들의 활발한 토의를 통해 기술수요 파악 및 기술개발 방향을 설정하고, 이들을 정리하여 연구과제를 구성함.
▪ 비접촉 센싱 장비를 탑재한 무인검사장비가 인력의 직접적인 접근이 어려운 위치를 포함한 구조물 내/외부에서 실시간으로 데이터를 계측/수집
▪ 무인검사장비의 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터가 무인검사장비에 유/무선으로 전력을 지속적으로 공급하고 계측/수집된 데이터를 송수신
▪ 구조물에 내장된 무선 센서는 상시적으로 구조물을 진단하며 주기적인 무인검사장비 운영을 통해 전력을 공급 하고 계측/수집된 데이터 전송
▪ 무인검사장비를 통해 계측/수집된 데이터는 클라우드 컴퓨팅 플랫폼을 활용하여 수정, 저장, 처리되며 BIM 기술을 기반으로 가시화. 이들 데이터의 분석을 통한 구조물의 성능/상태 예측평가 및 유지/보수 우선순위 도출 등의 구조물 유지관리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개
이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">무인체, 안전진단, 비접촉센싱, 클라우드 컴퓨팅, 자산관리시스템</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Unmanned system, Structural health monitoring, Noncontact sensing, Cloud computing, Facility management system</td></tr>
</table>

요 약 문

1. 기술의 정의 및 필요성

1.1. 기술의 정의

무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템

- 자동 항법/운행을 통해 대형구조물의 진단을 수행할 수 있는 무인 검사 장비 시스템을 운용
- 무인 검사 장비가 획득한 비접촉/접촉 센싱 데이터를 활용하여 구조물의 안전성을 평가
- 수집한 데이터의 분석을 통해 구조물 상태 및 성능을 원격으로 관리하고 BIM을 활용해 데이터를 가시화

1.2. 기술의 필요성

'안전제일'로의 국정 패러다임 변경

- 연이은 구조물 사고 발생으로 인해 국민들의 부정적 시각과 불신이 팽배
- 국민 안전 의식도가 과거에 비해 향상되었으나 개선 여지가 많음
- 시설물 안전 및 유지관리 기술 수준이 최고기술보유국 대비 79.2%
- 이를 개선하기 위해 국민안전처가 설립되는 등 국정에서 안전이 우선 고려 됨

구조물 수량의 급격한 증가

- 국내 전체 구조물 수량이 향후 10년간 현재보다 40% 증가할 것으로 전망
- 늘어나는 구조물 수에 비해 관리 인력이 부족하고 향후 대규모 보수가 필요하여 경제적 부담 증가 예상

30년 이상 노후화 구조물 급증

- 노후화 구조물이 향후 10년간 현재보다 7배 증가할 것으로 전망
- 높은 관심이 요구되는 B, C 등급 구조물의 수가 큰 폭으로 증가 예상

유지관리 비용 증가

- 유지관리 비용이 연평균 14% 증가 전망
- 특히 점검 및 진단에 소요되는 비용의 경우 향후 5년간 3배 증가 예상

구조물 유지관리 인력의 감소 및 기피

- 국내 검사인력 1인당 25개 도로구조물(교량, 터널) 담당, 평균연령 44세
- 유지관리 업종이 3D 업종으로 인식되면서 젊은층의 기피 심각
- 향후 숙련된 전문 인력들이 대거 은퇴 시, 구조물 유지관리 산업의 공백이 우려

1.3. 연구개발과제 목표

무인검사장비를 활용한 대형구조물(교량) 진단 및 유지관리기술 개발

- 산, 학, 연의 다양한 전문가와 교량, 원전, 댐, 터널 등의 구조물 유지관리 주체 관계자들의 수요를 조사하고 피드백을 받은 결과, 원전, 댐, 터널에 비해 교량에 대한 기술개발 수요가 매우 높았으며 본과제의 예산이 75억 수준으로 책정이 되어 주어진 예산에서 연구개발을 완료하기 위해서는 대상 구조물을 교량으로 구체화하여 연구개발을 진행하는 것이 타당하다고 의견이 수렴됨
- 교량 이외의 구조물에 대한 추가 연구는 현재 국토교통과학기술진흥원에서 진행중인 '지능형건설자동화 기획과제'에서 독립과제로 진행 할 수 있도록 기획중임
- 구조물의 상태 및 안전성 평가를 위해 센싱 장비를 탑재하고 구조물의 내/외부를 진단할 수 있는 무인검사장비 개발
- 무인검사장비에 무선으로 전력을 지속적으로 공급하고 계측/수집된 데이터를 송수신하여 무인검사장비의 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발
- 무인검사장비에 탑재되어 인력의 직접적인 접근이 어려운 위치를 포함한 구조물 내/외부의 비접촉식 손상진단이 가능한 기술 개발
- 구조물 내장되어 상시적으로 구조물을 진단하며 주기적인 무인검사장비 운영을 통해 전력을 공급 받고 계측/수집된 데이터 전송이 가능한 무선 센서 개발
- 무인검사장비를 통해 계측/수집된 데이터의 저장, 처리가 가능한 클라우드 컴퓨팅 플랫폼과 BIM 기술을 기반으로 이를 가시화하며 계측 데이터의 종합적인 분석을 통한 구조물의 성능/상태 예측평가 및 유지/보수 우선순위 도출 기술 개발
- 무인검사장비를 활용한 대형구조물 진단 및 유지관리를 위한 운영지침 수립 및 통합 코드 개발

2. 국내외 동향 및 환경분석

2.1. 국내외 정책동향

무인체 기술

- 무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략 발표를 통해 신규기업의 기술 진입장벽을 완화하고 인프라 확충, 실용화 지원 등의 추진전략 수립
- 무인기 산업생태계 분야별 추진계획 발표를 통해 산업 매출을 현재 165만 달러에서 2023년 5.1억 달러, 기술 수준을 현재 7위에서 2023년 세계 3위 목표
- 미국은 경량 무인기에 대해 특별 감항증명제도 지원 개시
- 유럽은 무인항공기 수요가 증가하며 인증 및 감항성에 관한 연구 추진 중

구조물 진단 기술

- 비파괴검사기술 진흥계획을 통해 비파괴검사기술 수준을 세계 TOP 5 수준으로 향상시키기 위한 5개년 진흥계획 수립 및 지원
- 첨단 비파괴검사기술 개발과 활용을 통해 고부가가치의 기술서비스 산업을 육성하고 전문화 및 국제화된 기술인력을 양성하는 것이 목표
- 미국, 유럽 등에서는 비파괴검사를 위한 R&D 계획 및 투자는 물론, 전문 연구소를 설립하는 등 국가적 지원을 확대 중

시설물 평가 및 유지관리 기술

- 사회기반시설물 유지보수 및 안전성 관련 예산이 대폭 확대되어 관련 예산 규모가 2014년 4.4조원에서 2015년 5.7조원으로 25% 이상 증가
- 안전점검 대상 구조물의 범위를 확대하는 한편 시설안전공단의 전담 시설물을 축소하여 민간기업의 참여확대와 기술발전 유도
- 매년 국가안전대진단 집중기간 운영
- 호주에서는 BIM 기법과 센서에 의한 사회기반시설물 관리 시스템 운용

소결

- 무인체 분야 기술과 인력 육성에 대한 정부지원 가속화
- 비파괴검사기술의 중요성과 부가가치에 대한 인식
- 사회기반시설물 유지보수 및 안전성 관련 예산이 대폭 확대
- 국가 차원의 효율적인 구조물 유지관리 시스템에 대한 관심이 높아짐
- 국가 차원 유지관리 시스템의 효율적 운용을 위해 무인체 등을 활용한 시스템 자동화가 요구됨

2.2. 국내외 시장동향

무인체 기술

- 무인체의 세계 시장 규모는 2014년 53.1억 달러이고 이 중 상업용 무인체가 차지하는 시장은 0.6억 달러이며, 연평균 35% 성장 중
- 2024년까지 매년 성장해 115억 달러에 이르고 누적규모 910억 달러 예상
- 현재 미국 시장이 전체의 70%를 차지하나 2021년까지 미국 시장은 50% 수준으로 감소하고 아시아-태평양시장이 약 22% 차지할 것으로 예상
- 국내 시장은 2014년 1,000억원에 불과하나 급격한 성장세 보이고 있음

구조물 진단 기술

- 우리나라는 기술과 장비의 해외의존도가 높고 관련 산업이 취약함
- 국내 비파괴검사 시장규모는 2013년 5,020억원이며 연평균 5.5% 성장중
- Frost & Sullivan은 2010~2020년 사이에 새로운 구조물 진단기술이 등장하며 시장에 변화가 발생할 것으로 예상
- 세계적으로 무인 검사 장비에 대한 관심이 높고, 새로운 구조물 진단기술을 적용한 신개념의 장비개발 시장이 활성화

시설물 평가 및 유지관리 기술

- 국내 시설물 보수·보강공사 실적은 최근 15년간 7배 증가
- 구조물 유지관리 세계 시장 규모는 56.5조원, 국내 시장은 3.1조원 규모
- 2020년 이후부터 구조물 노후화에 따라 유지관리 시장이 본격적 증가 예상
- 정부와 지자체가 유지관리 업무를 민간기관에 위탁하는 추세
- 선진국의 경우 건설시장 규모 증가보다 유지관리 관련 시장 증가 폭이 더 크고, 국내 시장도 이와 같은 경향을 따라갈 것으로 예상

소결

- 유지관리 시장의 증가로 효과적인 구조물 유지관리 시스템에 대한 수요가 높음
- 무인 검사 장비에 대한 관심이 높아지고 있으며 기존의 진단 센서의 경우 자동 검사에 적합하지 못해 새로운 형태의 센서 및 진단 기술 개발이 필요
- 무인체의 경우 기존 시장은 이미 경쟁이 치열하지만 구조물 유지관리와의 연계를 통해 새로운 시장과 부가가치를 창출할 수 있을 것으로 보임

2.3. 국내외 기술동향

무인체 기술

- 2000년대 후반부터 전세계적인 개발 진행
- 연구는 미국, 특허는 일본이 주도하고 있는 경향을 보임
- 한국은 논문수에서 세계4위를 차지하고 있으며, 특허에서도 빠르게 성장하고 있음
- 경로계획, 영상처리, 협동제어, 충돌회피 등 무인체 제어 및 조정에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있음

구조물 진단 기술

- 비파괴 검사 기술은 기계, 항공, 조선, 건설 등의 산업 전반에서 활용이 가능하기에 활발히 연구됨
- 인력 기반 점검을 대체하기 위한 자동 검사 기술 연구 활발
- 기존 육안검사 및 외부 손상점검의 한계를 극복하기 위한 영상 방식의 진단기술이 비약적으로 발전
- 해외의 경우 타 산업에 비해 건설 분야에 대한 적용은 초기 단계

시설물 평가 및 유지관리 기술

- 시공분야의 논문 수와 비교하여 유지관리 분야의 논문 수 급증
- 연구와 특허 모두 미국이 주도하고 있음
- 일본의 경우 상대적으로 낮은 논문비율에도 불구하고 높은 특허비율을 갖고 있는데, 이는 전통적으로 기업 중심의 연구개발이 이루어졌기 때문
- 유지관리 분야 논문 중에서도 비파괴검사 관련 저널보다 구조물 모니터링 분야 저널의 상승세가 두드러짐

소결

- 구조물 유지관리 방식이 기존의 비파괴 검사에서 자동화, 모니터링 방식으로 전환되고 있음
- 비접촉식 센서, 영상 처리 기술 등 다양한 진단 센서와 기술들이 등장하고 있는 추세
- 무인체, 빅데이터, 비접촉 센싱 등 다양한 분야의 기술들을 구조물 유지관리에 사용하려는 연구가 활발히 진행되고 있음

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

3.1. 비전 및 목표

■ 동향조사를 바탕으로 SWOT/Issue-Tree 분석을 통해 다음과 같이 과제의 추진전략과 목표, 비전을 수립하고 과제를 추진함

Vision	무인검사장비 이용하여 대형구조물(교량)의 상태를 진단하고, BIM/클라우딩을 이용해 구조물을 관리하는 시스템 개발
Mission	융복합 기술개발을 통한 대형 구조물 유지관리 시장창출 및 발전 도모
R&D Goal	• 구조물 검사를 위한 무인체 개발 • 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술 개발 • 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 개발
Strategy	• 무인체, 센싱, BIM/클라우딩 기술을 융합한 구조물 유지관리 기술 개발 • 과제간 연계성 강조 • 무인체 운용 체계 수립 • 테스트베드 구축 및 적용을 통한 개발 기술의 검증 • 개발 기술의 실용화 및 기술이전 추진 • 국내외 시장 개척 및 선점

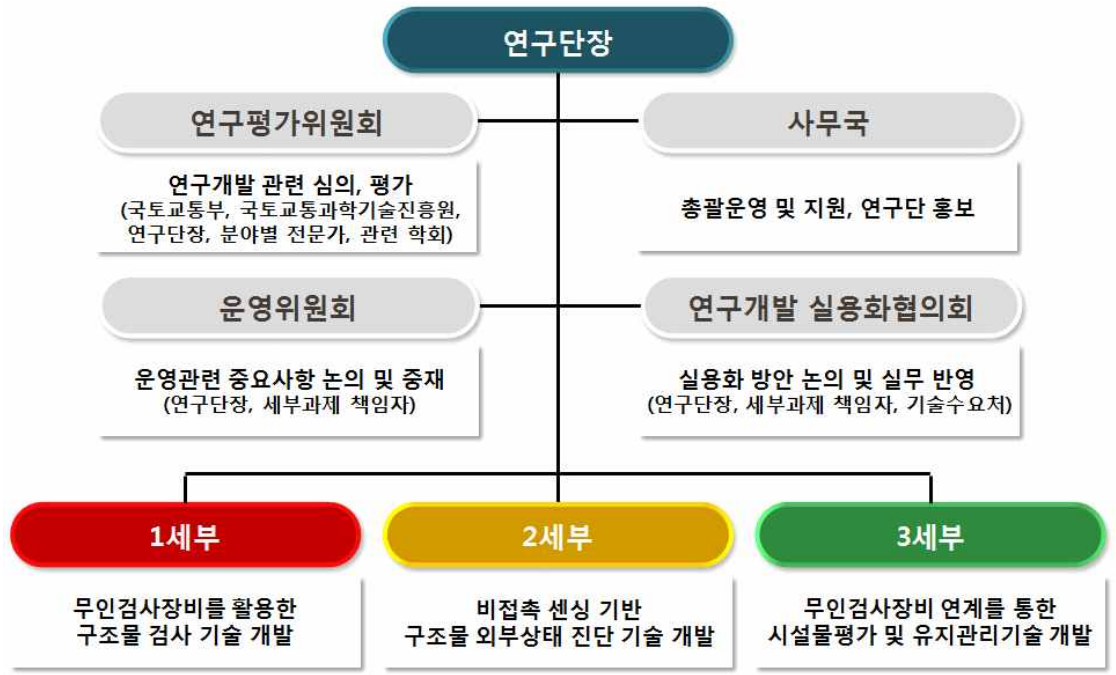
3.2 본과제 구성

■ 약 50여명의 산, 학, 연의 다양한 전문가들을 초청한 워크숍(2회)/공청회(1회)를 개최하고 논의 및 의견수렴을 통해 다음가 같이 본과제를 구성함

구분	연구과제명
총괄	무인검사장비 기반 대형구조물(교량) 유지관리 연구단
1세부	무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술
1.1	무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술
1.1.1	구조물 외관 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
1.1.2	외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발
1.2	무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술
1.2.1	구조물 내부 조사를 위한 무인 검사 장비 설계 및 구성
1.2.2	밀폐된 내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발
1.3	무인검사장비 운영 및 원격통제 기술
1.3.1	무인검사장비의 통합 운용/원격 통제/대용량데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발
1.3.2	무인검사장비와 이동관제센터 간 무선전력전송 및 급속충전 제어 데이터 송수신 기술
2세부	비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술
2.1	비접촉식 강구조물 상태 진단 기술
2.1.1	2D/3D 영상, 열화상, 초분광카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술
2.1.2	2D/3D 영상을 활용한 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 기술
2.2	비접촉식 콘크리트구조물 상태 진단 기술
2.2.1	2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술
2.2.2	2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술
2.3	기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술
2.3.1	내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술
2.3.2	매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부 손상 감지 기술
3세부	무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술
3.1	무인검사장비 계측데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터맵핑 및 가시화 기술
3.1.1	클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영
3.1.2	BIM기반 IoT센서 데이터 맵핑 및 가시화 기술
3.2	무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리기술
3.2.1	무인검사장비 계측 데이터 기반 구조물 성능저하모델 및 건전도 평가 기술
3.2.2	무인검사장비 계측 데이터-BMS DB 연계형 구조물 성능등급 산정 기술
3.3	무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립
3.3.1	무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발
3.3.2	무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립

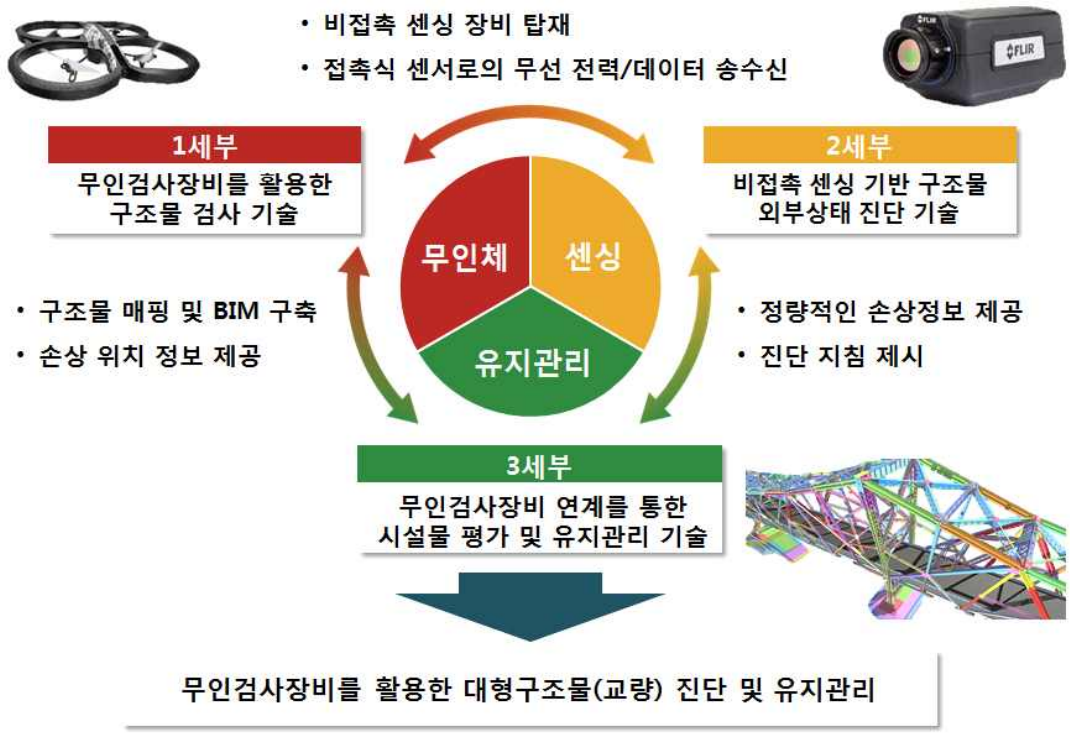
3.3 연구추진체계

■ 개발기술의 실용화, 상용화 및 연계성 강화를 위해 다음과 같이 연구단 추진체계를 구성함



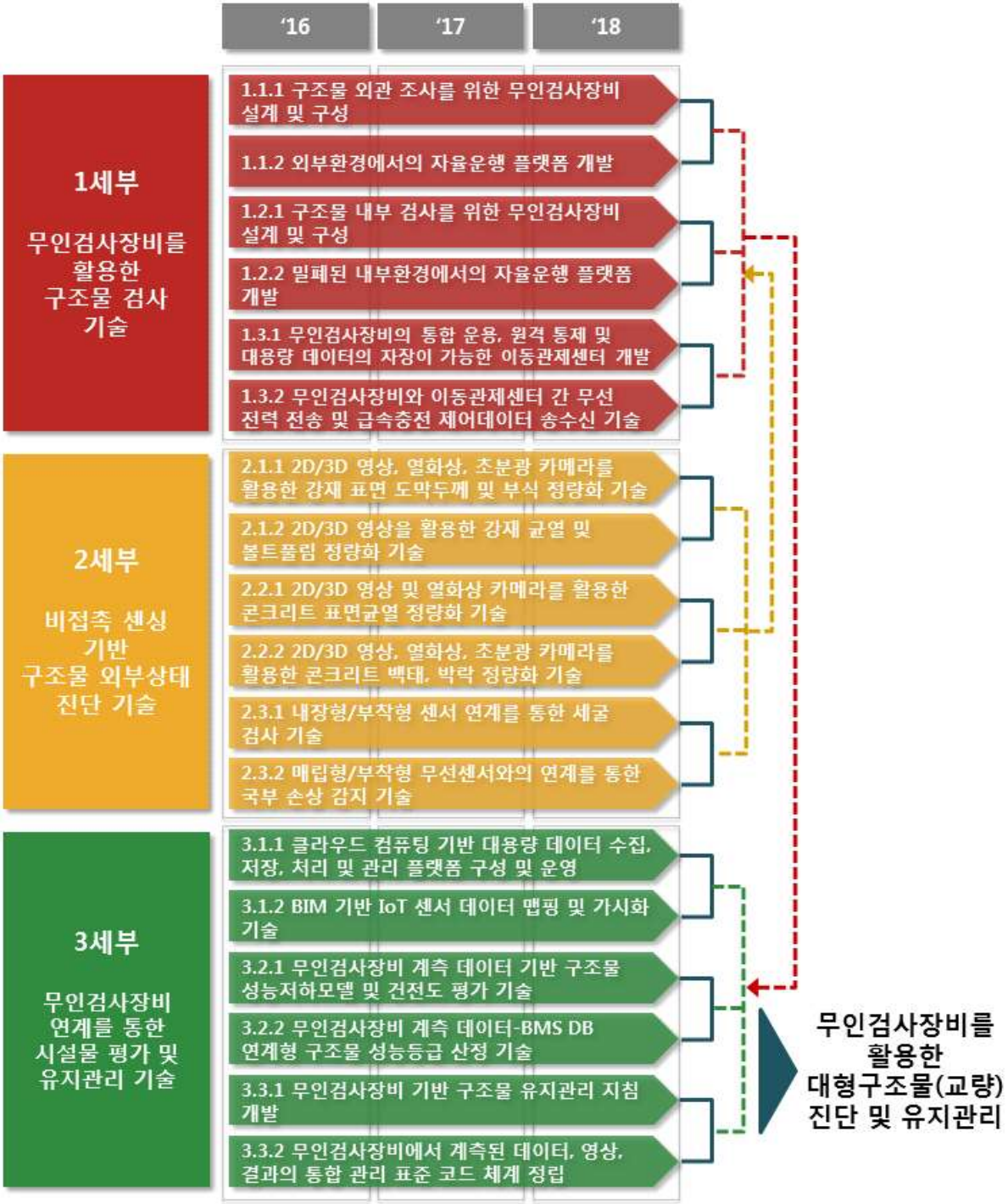
3.4 세부과제간 연계성

■ 세부과제간의 연계성은 다음과 같이 도시할 수 있으며, 세부간 긴밀한 연계를 통해 본과제의 목표를 달성할 수 있도록 함

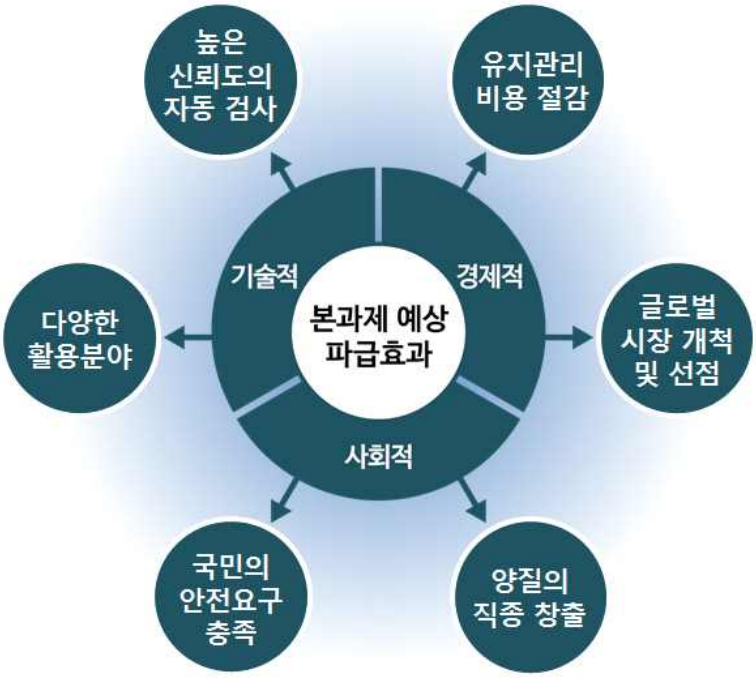


3.5. 기술로드맵(TRM)

■ 세부과제간 성과물의 연계성을 고려하여 기술로드맵(TRM)을 작성함



3.6. 본과제 예상 파급효과



기술적 파급효과
• **높은 신뢰도의 자동검사**: 무인체와 비접촉/접촉 센싱을 활용한 주기적/자동적인 데이터 수집을 통해 높은 신뢰도의 구조물 진단 및 관리 가능 • **다양한 활용분야**: 교량뿐만 아니라 향후 댐/원전과 같은 대형구조물과 유인검사가 제한되는 장소 및 극한 환경에서도 활용 가능

경제적 파급효과
• **유지관리 비용 절감**: 소수의 무인체를 이용해 다수의 구조물을 주기적/자동적으로 검사하여 구조물 유지관리 비용 절감 (일반교량: 약 8억 원, 특수교량: 약 12억 원) • **글로벌 시장개척 및 선점**: 안전진단이 필요한 고령화 구조물의 세계적 증가 추세에 따른 글로벌 시장 개척 및 해당 시장 선점 (0.5% 해외시장 점유 시 1,000억 원)

사회적 파급효과
• **국민의 안전요구 충족**: 사회에 팽배한 시설물 안전에 대한 국민의 불안감 해소 및 주기적 계측을 통한 대형구조물 사고 방지 • **양질의 직종 창출**: 단순/고위험/저임금의 직종 대신 전문성/고임금 등을 보장하는 양질의 직종 창출

목 차

1. 개요 ····· 19

1.1. 기획 과제의 필요성 및 목표 ····· 19

1.1.1. 기획 과제의 배경 및 필요성 ····· 19

1.1.2. 기획 과제의 목표 ····· 23

1.1.3. 기획 과제의 연구내용 ····· 25

1.2 본과제 목표 및 내용 ····· 27

1.2.1. 본과제 목표 및 세부구성 ····· 28

1.2.2. 본과제의 파급효과 ····· 31

1.3. 기획 과제 추진 개요 ····· 32

1.3.1. 기획과제 예산 및 수행체계 ····· 32

1.3.2. 기획과제 세부 추진 일정 ····· 33

2. 동향조사 및 환경분석 ····· 34

2.1. 국내외 정책동향 ····· 35

2.1.1. 무인체 기술 ····· 35

2.1.2. 구조물 진단 기술 ····· 35

2.1.3. 시설물 평가 및 유지관리 기술 ····· 36

2.2. 국내외 시장현황 및 전망 ····· 38

2.2.1. 무인체 기술 ····· 38

2.2.2. 구조물 진단 기술 ····· 40

2.2.3. 시설물 평가 및 유지관리 기술 ····· 42

2.3. 국내외 기술동향 (논문, 특허, 관련 연구사업) ····· 45
2.3.1. 무인체 기술 ····· 45
2.3.2. 구조물 진단 기술 ····· 47
2.3.3. 시설물 평가 및 유지관리 기술 ····· 49
2.4. 종합분석 ····· 52

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 53
3.1. SWOT / Issue-Tree 분석 ····· 53
3.1.1. SWOT 분석 ····· 53
1) 내외부 요인 분석 ····· 53
2) 포지션별 전략 수립 ····· 54
3.1.2. Issue-Tree 분석 ····· 55
1) 핵심 Keyword 및 Issue 도출 ····· 55
2) 핵심이슈 및 R&D Needs 도출 ····· 55
3.2. 기획연구 방향 및 비전 ····· 56
3.3. 기술분류체계 수립 ····· 57
3.3.1. 기술분류체계 ····· 57
3.3.2. 기술분류별 기술내용 ····· 57
1) 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술 ····· 57
2) 2세부: 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술 ····· 58
3) 3세부: 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 ····· 58
3.4. 기술수요 및 수준 · 예측 조사 ····· 59
3.4.1. 기술수요조사 ····· 59
1) 목적 및 절차 ····· 59

2) 기술수요조사 결과 ····· 60
3.4.2. 기술수준 · 예측 조사 ····· 63
1) 목적 및 절차 ····· 63
2) 기술수준 · 예측 조사 결과 ····· 68
3) 기술수준 · 예측 결과 분석 ····· 71
3.5. 연구개발과제 구성 ····· 99
3.5.1. 후보과제 Pool 구성 ····· 99
1) 후보과제 Pool 구성 방법 (1차 워크숍) ····· 99
2) 후보과제 Pool list ····· 100
3.5.2. 후보과제 우선순위 평가 ····· 103
1) 목적 및 절차 ····· 103
2) 우선순위 평가 결과 ····· 105
3.5.3. 최종 과제 선정 ····· 108
1) 최종 과제 선정 방법 (2차 워크숍) ····· 108
2) 최종 과제 선정 결과 ····· 109
3.5.4. 기술개발에 따른 과제별 As-Is/To-Be ····· 112
4. 세부과제 구성 ····· 121
4.1. 세부과제별 주요내용 ····· 121
4.1.1. 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술 ····· 121
1) 1세부과제 개요 ····· 121
2) 무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술 ····· 127
3) 무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술 ····· 133
4) 무인검사장비 운영 및 원격통제 기술 ····· 139
4.1.2. 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술 ····· 145

1) 2세부과제 개요 ····· 145
2) 비접촉식 강구조물 상태 진단 기술 ····· 153
3) 비접촉식 콘크리트 구조물 상태 진단 기술 ····· 159
4) 기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술 ····· 165
4.1.3. 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 ····· 171
1) 3세부과제 개요 ····· 171
2) 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술 · 178
3) 무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술 ····· 184
4) 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립 ····· 190
4.2. 세부과제 간 연계성 ····· 196
4.3 선행 연구과제와의 중복성 검토 ····· 200
4.4. 기술로드맵(TRM) ····· 213
4.4.1. 총괄 TRM ····· 213
4.4.2. 1세부 상세 TRM ····· 214
4.4.3. 2세부 상세 TRM ····· 215
4.4.4. 3세부 상세 TRM ····· 216
4.5. 성과의 활용 및 실용화 방안 ····· 217
4.6. 테스트베드 구축 ····· 220
4.7. 본과제 연구수행체계 제안 ····· 222
4.7.1. 연구단 추진조직 제안 ····· 222
4.7.2. 연구단 추진전략 제안 ····· 223
4.7.3. 연구단 운영전략 제안 ····· 224

5. 인력투입계획 및 소요예산 산정 ····· 228

5.1. 연구일정에 따른 인력계획 ····· 228
5.1.1. 전체사업 인력투입계획 ····· 228
1) 연차별 투입 연구인력 ····· 228
2) 상세 투입연구인력 ····· 228
5.1.2. 세부별 인력투입계획 ····· 229
1) 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술 ····· 229
2) 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술 ····· 230
3) 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 ····· 231
5.2. 소요예산 산정 ····· 232
5.2.1. 예산 산정방법 ····· 232
5.2.2. 전체사업 소요예산 ····· 232
1) 총괄 소요예산 ····· 232
2) 예산 항목별 소요예산 ····· 233
5.2.3. 세부별 소요예산 ····· 234
1) 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술 ····· 234
2) 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술 ····· 238
3) 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 ····· 242
4) 주관연구기관 운영비 ····· 246

6. 사전타당성 검토 ····· 247
6.1. 정책적 타당성 ····· 247
1) 국가 전략적 중요성 ····· 247
2) 상위계획과의 부합성 ····· 249
3) 연구추진체계의 적절성 ····· 250
4) 정책적 타당성 소결 ····· 252

6.2. 기술적 타당성 ····· 253
1) 기술개발 계획의 우수성 ····· 253
2) 기술개발 계획의 중복성 검토 ····· 254
3) 기술적 측면에서의 성공가능성 ····· 258
4) 기술적 타당성 소결 ····· 259
6.3. 경제적 타당성 ····· 260
1) 예산의 적절성 ····· 260
2) 경제성 ····· 262
3) 파급효과 ····· 267
4) 경제적 타당성 소결 ····· 269

7. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정 ····· 270
7.1. 과제 제안요구서(RFP) ····· 270
7.1.1. 연구단 RFP ····· 270
7.1.2. 1세부 RFP ····· 277
7.1.3. 2세부 RFP ····· 292
7.1.4. 3세부 RFP ····· 307
7.2. 선정평가 기준 설정 ····· 322

참고문헌

별첨1. 기획과제 참여 전문가 리스트
별첨2. 경제적 파급효과 분석 결과

1. 개요

1.1 기획 과제의 필요성 및 목표

1.1.1 기획 과제의 배경 및 필요성

■ “안전제일”로의 국정 패러다임 변경

- 최근 경주 마우나 리조트 붕괴, 부산 남북항 대교 연결 고가도로 붕괴등과 같은 연이은 구조물 사고 발생으로 인해 안전성에 대한 국민들의 부정적 시각과 불신이 팽배하게 자리 잡고 있음

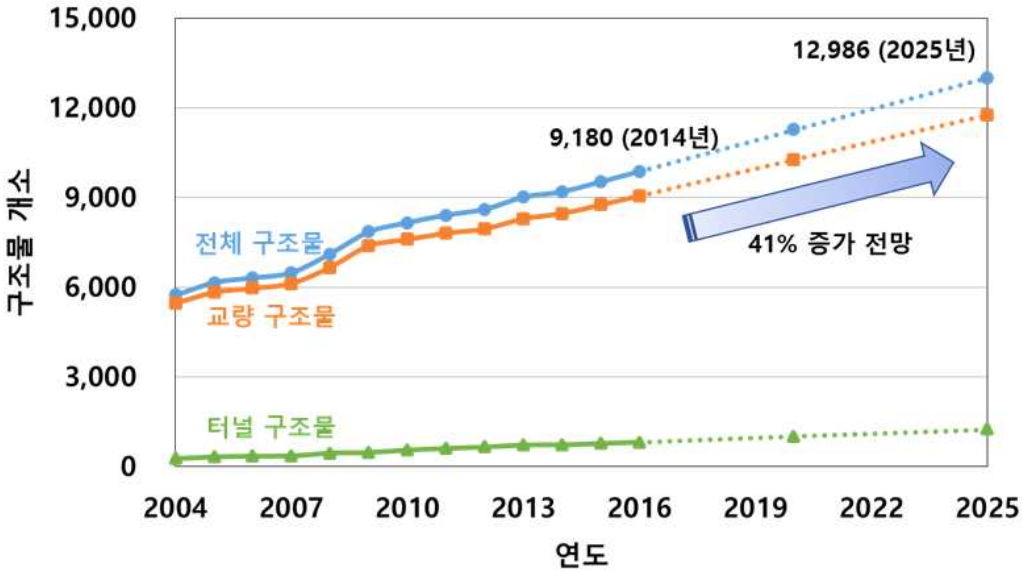
- 국민 안전 의식도는 과거에 비해 향상되었으나 개선여지가 많으며, 국토교통과학기술진흥원의 자료에 따르면 한국의 시설물 안전 및 유지관리 기술 수준은 최고기술보유국 대비 79.2%에 불과하다. 따라서 이를 개선하고자 국민안전처가 설립되는 등 국정 패러다임이 안전을 최우선으로 두고 있음

성수대교 붕괴 (1993)

부산 남북항대교 연결 고가도로 붕괴 (2013)

경주 마우나리조트 붕괴 (2014)

[그림 1.1] 구조물 붕괴로 인한 대형사고 사례



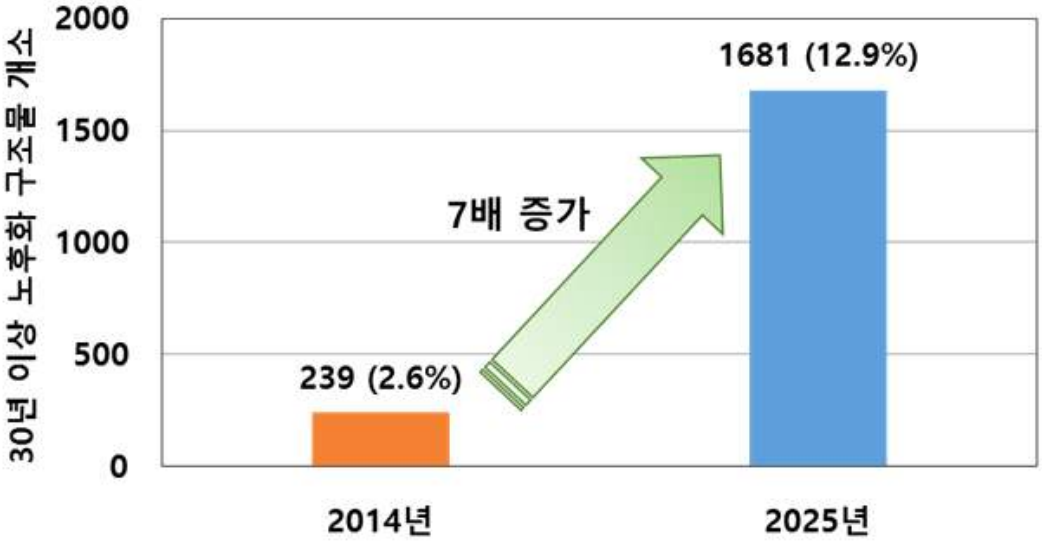
[그림 1.2] 국내 구조물 수량의 증가 추세 (한국도로공사, 2014)

■ 구조물 수량의 급격한 증가

- 국내 구조물의 전체 수량을 살펴보면 2014년 9,180개소에서 2025년에 지금보다 3,142개소 (41%) 증가한 12,986개소가 될 것으로 전망하고 있음
- 안전등급은 현재 대부분 경미한 손상이 있으나 양호한 상태를 뜻하는 B등급 이상이나 보수가 필요한 C등급 구조물이 전체 9,180개소 중 178개소(1.9%) 정도 상존하고 있음
- 늘어나는 관리 구조물 수에 비해 관리 인력이 부족하여 점검 소홀의 우려가 있으며, 향후 구조물 성능저하로 대규모 보수가 필요하여 경제적 부담이 증가될 것으로 예상됨

■ 30년 이상 노후화 구조물 급증

- 지어진 지 30년 이상 된 노후화 구조물은 2014년 239개소 (전체 구조물 중 2.6%)에서 2025년에는 지금보다 7배 증가한 1,681개소 (전체 구조물 중 12.9%)가 될 것으로 전망되고 있음
- 최근 10년간 관리수량이 1.6배 증가하였고, 제설제 사용 증가로 구조물 노화가 점점 더 가속화되고 있어 높은 관심이 요구되는 B, C등급의 구조물이 큰 폭으로 증가될 것으로 예상됨



[그림 1.3] 30년 이상 노후화 구조물의 급증 (한국도로공사, 2014)

■ 구조물 유지관리 비용의 증가

- 구조물들에 대한 점검과 진단, 개량 및 보수 등 구조물 유지관리 비용은 2014년 1,119억원에서 2020년에는 2,461억원으로 연 평균 14% 수준의 증가세를 보일 것으로 예상됨

- 특히 점검 및 진단에 소요되는 비용이 3배 가까이 증가할 것으로 예측되는데, 이는 점검 대상 구조물이 늘어나는 추세와 연관성이 높은 것으로 파악됨

[표 1.1] 구조물 유지관리비의 증가 (한국도로공사, 2014)

비고	비용 (억원)		연평균 증가율	비고
	2014년	2020년		
계	1,119	2,461	14%	2.2배 증가
점검진단비	172	493	19.4%	2.9배 증가
전면개량비	273	430	8.1%	1.6배 증가
보수보강비	674	1,538	14.9&	2.3배 증가

■ 구조물 유지관리 인력의 감소 및 기피현상

- 검사 및 진단을 수행해야 할 구조물의 수는 증가하는 반면 오히려 이를 수행할 수 있는 인력의 수는 감소하고 있는 추세임

- 한국도로공사에 따르면 검사인력 1명이 점검을 담당하는 구조물의 수는 약 25개로, 이는 미국 미네소타주의 19개에 비해 약 30% 가량 많은 수치임

- 유지관리 업종이 이른바 3D업종으로 인식되면서 젊은층의 기피가 심각해, 유지관리 인력의 평균 연령(43.8세)도 계속해서 증가하고 있음. 숙련된 인력들이 대거 은퇴할 경우 구조물 유지관리 산업의 공백이 상당할 것으로 우려됨

[그림 1.4] 열악한 구조물 유지관리 수행 환경

■ 기획과제의 추진

- 이와 같은 필요성에 의해 2015년 7월, 국토교통과학기술진흥원에서는 무인검사장비를 활용한 구조물 안전진단 기술개발을 위해 다음과 같이 기획연구를 추진하고자 함

[표 1.2] 기획과제 제안요구서(RFP) (국토교통과학기술진흥원, 일부발췌)

과제명	무인검사장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획
1. 연구기획 목표	
	▪ 구조물의 유지관리를 위한 계측기술의 일환으로 유지관리 인원들이 접근하기 힘든 대형 및 일반 구조물(교량, 원전, 댐 등)의 외관 상태를 진단하기 위한 무인체 기술 기반의 진단 및 관리 시스템 개발
2. 연구기획 범위	
	▪ **무인체 기술을 활용한 대형 구조물 진단기술 개발** - 무인체 구성 및 활용기법 개발 - 외형 탐사 센싱기술 및 스캐닝기술 개발 - 대형 구조물의 진단위치 맵핑기술 개발 ▪ **구조물의 안전성 진단기술 개발** - 외관 상태(균열 등) 기반의 구조물 진단기술 개발 - 외관 진단 결과와 기존 조사 결과의 통합을 통한 종합 상태 및 안전성 평가기술 개발 - 상시 계측 데이터와의 연계를 통한 진단기술 개발 ▪ **BIM 및 클라우딩 기반의 관리기술 개발** - BIM 기반의 시설물 표출 및 관리기술 개발 - 이기종 센서계측 데이터와 BIM과의 연계를 위한 플랫폼기술 개발 - 클라우딩 기반의 모바일 기기에서의 관리(시각화 등) 기술 개발
3. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2015년 9월 ~ 2016년 1월(4개월) ▪ 총 정부출연금 : 5천만원

1.1.2 기획 과제의 목표

- 인력 기반의 유지관리 시스템을 보완하기 위해 최근에는 구조물에 부착된 센서를 활용한 구조물 모니터링 시스템이 제안된 바 있으나, 손상 감지의 민감도가 떨어지고, 센서 설치 영역 주변으로 검사 영역이 제한되며, 설치된 센서 및 케이블에 대한 추가적인 유지보수가 요구되는 부분이 한계점으로 지적되고 있음

- 본 기획과제는 이러한 한계를 해결하기 위해, 실질적 실용화 및 상용화가 가능한 무인검사장비를 활용한 대형 사회기반시설물 안전성 진단 및 원격 유지관리 시스템 개발에 대한 기획연구 추진을 최종 목표로 함

- **대상 구조물의 구체화**: 본 기획과제는 대상 구조물을 '교량'으로 구체화 하여 진행하였으며, 그 이유는 다음과 같음

  - 과제 기획과정에서 개최한 워크샵(2회) 공청회(1회)를 통해 산, 학, 연의 다양한 전문가와 교량, 원전, 댐, 터널 등의 구조물 유지관리 주체 관계자들의 수요를 조사하고 피드백을 받은 결과, 원전, 댐, 터널에 비해 교량에 대한 기술개발 수요가 높은 것으로 파악됨

  - 본과제의 예산이 75억 수준으로 책정이 되어 주어진 예산에서 연구개발을 완료하기 위해서는 대상 구조물을 교량으로 구체화 하여 연구개발을 진행하는 것이 타당하다고 의견이 수렴되었음

  - 교량 이외의 구조물에 대한 추가 연구는 현재 국토교통과학기술진흥원에서 진행중인 '지능형건설자동화 기획과제'에서 추후 독립과제로 진행할 수 있도록 기획중임

- 본 연구진은 기획과제 제안 시, 세부과제 별 구체적인 핵심요소기술들을 다음과 같이 제안한 바 있음

- **세부과제 1: 무인체 기술을 활용한 구조물 검사 기술**

  - 무인체 시스템 설계 및 구성

  - 대상 구조물 및 검사 위치 맵핑

  - 자동 항법/운행 기술

  - 무인체 시스템 운행체계

- **세부과제 2: 비접촉/접촉 센싱을 활용한 구조물 안전 진단 기술**

  - 영상/비접촉 센싱 기반 외부상태 평가 기술

- 내장형 센서 데이터와 연계를 통한 구조물 안전성 평가
- 기존 상시 계측 데이터 연계를 통한 구조물 안전성 평가
- 유/무선 전력 및 신호 전송 기술

- **세부과제 3: BIM/클라우딩 기반 구조물 유지관리 기술**
  - IoT/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장 및 관리 기술
  - 빅데이터 분석을 통한 구조물 상태 및 성능 평가 기술
  - BIM 기반 통합 데이터 가시화 기술
  - 무인체 기반 구조물 안전진단 시스템 운영체계 정립
- 이를 토대로 무인검사장비를 활용한 대형 사회기반시설물 안전성 진단 및 원격 유지관리 시스템 개발에 대한 세부과제별 핵심요소기술을 명확화/구체화/체계화 하고, 해당분야 실무 전문가들의 객관적/합리적 검토를 통해 개발연구의 실용화 및 상용화 방안을 모색하고자 하였음

1.1.3 기획 과제의 연구내용

■ 국내외 기술개발동향 및 환경분석

- 구조물검사를 위한 무인체 관련 국내외 정책, 시장 및 기술동향 분석
- 비접촉/접촉식 센서 기반 구조물 안전진단 관련 국내외 정책, 시장 및 기술동향 분석
- BIM/클라우딩 기반 구조물 유지관리 관련 국내외 정책, 시장 및 기술동향 분석

■ 기획연구 방향 및 비전 수립

- 동향 및 환경분석을 바탕으로, 내외부 요인을 도출하고, SWOT 분석을 통해 기획연구의 추진 방향 및 전략 수립
- 동향 및 환경분석을 바탕으로 R&D Needs를 도출하고, 이들을 종합하여 기획과제의 기술개발 방향 수립
- 상기 수립된 기획연구의 추진방향, 전략 및 기술개발 방향을 종합하여 기획연구의 비전 수립

■ 기술분류체계 수립, 기술수요 및 수준 · 예측조사

- 앞서 도출된 R&D Needs를 바탕으로 연구진들의 논의를 통해 기술분류체계 수립
- 기술분류체계에 대하여 전문가들에게 기술분류체계에 대한 기술수요를 접수받고, 기술별 최고기술보유국 대비 국내 기술수준, 기술격차, 기술성숙도, 기술실현시기 등에 대한 설문조사를 실시함. 해당 설문조사 및 결과 분석은 전문업체인 ㈜날리지웍스에서 수행

■ 후보과제 Pool 구성 (1차 워크숍)

- 기술수요조사를 통해 접수된 기술수요를 바탕으로 후보과제 Pool 구성에 대한 논의를 위해 관련 전문가들을 초청하여 1차 워크숍 개최
- 워크숍을 통해 후보과제 Pool과 후보과제별 과제카드 작성자 선정

■ 후보과제 우선순위 평가

- 각 후보과제들을 대상으로 기술적 측면과 시장적 측면에 대해 각 세부별 전문가들에게 설문조사를 실시하고 결과를 분석함. 해당 설문조사 및 결과 분석은 전문업체인 ㈜날리지웍스에서 수행

■ 최종 과제 선정 (2차 워크숍)

- 후보과제 우선순위 평가 결과를 바탕으로 최종과제 선정에 대한 논의를 위해 관련 전문가들을 초청하여 2차 워크숍 개최

- 워크숍을 통해 최종과제 선정 및 과제별 과제카드 작성자 선정

■ 과제기획

- 과제의 비전 및 목표달성을 위한 구체적인 과제별 성과 목표, 지표 설정
- 주요 성과물의 선후관계 및 연계관계를 도식화한 기술로드맵 작성
- 특허출원, 기술이전 및 테스트베드 적용과 같은 실용화, 상용화 방안 수립

■ 사전타당성 검토

- 기술개발 계획의 적절성, 기술개발 성공가능성, 기존사업과의 중복성 검토를 통한 기술적 타당성 검토
- 정책의 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험요인 검토를 통한 정책적 타당성 검토
- 경제성, 과학기술적 성과 및 기타 파급효과, 예산 적정성 검토를 통한 경제적 타당성 검토

■ 인력투입 및 소요예산 산정

- 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립
- 과제별 소요예산 산정

■ 본과제 공모를 위한 과제 제안교구서 (RFP) 작성 및 보고서 작성

- 본과제 공모를 위한 과제제안요구서 (RFP) 작성
- 본과제 선정평가를 위한 평가기준 수립
- 기획과제 최종보고서 작성 및 제출

1.2 본과제 목표 및 내용

1.2.1 본과제 목표 및 세부구성

[그림 1.5] 본과제 목표

- 본 기획과제로 기획된 본과제의 최종 목표는 '무인검사장비를 활용한 대형구조물(교량) 진단 및 유지관리기술 개발' 임
- 구조물의 상태 및 안전성 평가를 위해 센싱 장비를 탑재하고 구조물의 내/외부를 진단할 수 있는 무인검사장비와 무인검사장비에 무선으로 전력을 지속적으로 공급하고 계측/수집된 데이터를 송수신하여 무인검사장비의 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터를 개발
- 무인검사장비에 탑재되어 인력의 직접적인 접근이 어려운 위치를 포함한 구조물 내/외부의 비접촉식 손상진단이 가능한 기술과 구조물 내장되어 상시적으로 구조물을 진단하며 주기적인 무인검사장비 운영을 통해 전력을 공급 받고 계측/수집된 데이터 전송이 가능한 무선 센서를 개발
- 무인검사장비를 통해 계측/수집된 데이터의 저장, 처리가 가능한 클라우드 컴퓨팅 플랫폼과 BIM 기술을 기반으로 이를 가시화하며 계측 데이터의 종합적인 분석을 통한 구조물의 성능/상태 예측평가 및 유지/보수 우선순위 도출 기술 및 무인검사장비를 활용한 대형구조물 진단 및 유지관리를 위한 운영지침 수립 및 통합 코드 개발
- 이를 위하여 본 기획과제를 통해 다음과 같이 세부 과제를 구성함

■ 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술

• 1.1 무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술

연번	과제명
1.1.1	구조물 외관 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
1.1.2	외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발

• 1.2 무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술

연번	과제명
1.2.1	구조물 내부 조사를 위한 무인 검사 장비 설계 및 구성
1.2.2	밀폐된 내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발

• 1.3 무인검사장비 운영 및 원격통제 기술

연번	과제명
1.3.1	무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발
1.3.2	무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 전송 및 급속충전 제어 데이터 송수신 기술

■ 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

- 2.1 비접촉식 강구조물 상태 진단 기술

연번	과제명
2.1.1	2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술
2.1.2	2D/3D 영상을 활용한 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 기술

- 2.2 비접촉식 콘크리트구조물 상태 진단 기술

연번	과제명
2.2.1	2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술
2.2.2	2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술

- 2.3 기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술

연번	과제명
2.3.1	내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술
2.3.2	매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부 손상 감지 기술

■ 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

• 3.1 무인체 계측을 위한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술

연번	과제명
3.1.1	클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영
3.1.2	BIM기반 IoT센서 데이터 맵핑 및 가시화 기술

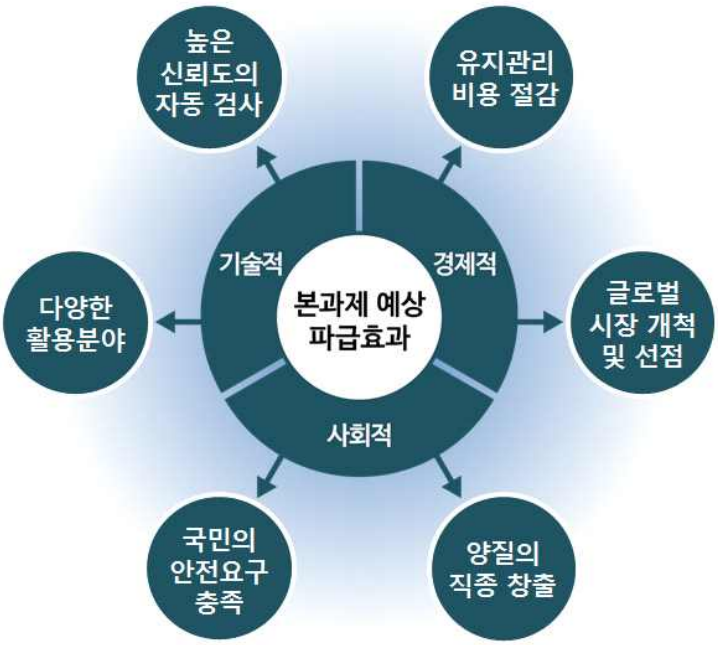
• 3.2 무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술

연번	과제명
3.2.1	무인검사장비 계측 데이터 기반 구조물 성능저하모델 및 건전도 평가 기술
3.2.2	무인검사장비 계측 데이터-BMS DB 연계형 구조물 성능등급 산정 기술

• 3.3 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

연번	과제명
3.3.1	무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발
3.3.2	무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립

1.2.2 본과제의 파급효과



[그림 1.6] 본과제의 예상 파급효과

■ 기술적 파급효과

- **높은 신뢰도의 자동검사**: 무인체와 비접촉/접촉 센싱을 활용한 주기적/자동적인 데이터 수집을 통해 높은 신뢰도의 구조물 진단 및 관리 가능
- **다양한 활용분야**: 교량뿐만 아니라 향후 댐/원전과 같은 대형구조물과 유인검사가 제한되는 장소 및 극한 환경에서도 활용 가능

■ 경제적 파급효과

- **유지관리 비용 절감**: 소수의 무인체를 이용해 다수의 구조물을 주기적/자동적으로 검사하여 구조물 유지관리 비용 절감 (일반교량: 약 8억원, 특수교량: 약 12억원 절감 기대. 자세한 분석 결과는 '별첨.2' 참고)
- **글로벌 시장개척 및 선점**: 안전진단이 필요한 고령화 구조물의 세계적 증가 추세에 따른 글로벌 시장 개척 및 해당 시장 선점 (해외시장 0.5% 진출 시, 최소 1000억원의 시장 형성 기대. 자세한 분석 결과는 '별첨.2' 참고)

■ 사회적 파급효과

- **국민의 안전요구 충족**: 사회에 팽배한 시설물 안전에 대한 국민의 불안감 해소 및 주기적 계측을 통한 대형구조물 사고 방지
- **양질의 직종 창출**: 단순/고위험/저임금의 직종 대신 전문성/고임금 등을 보장하는 양질의 직종 창출

1.3 기획 과제 추진 일정

1.3.1 기획과제 예산 및 수행체계

■ **예산:** 5천만원

■ **기획연구 수행체계**

연 구 개 발 과 제	
과제명	무인검사장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획

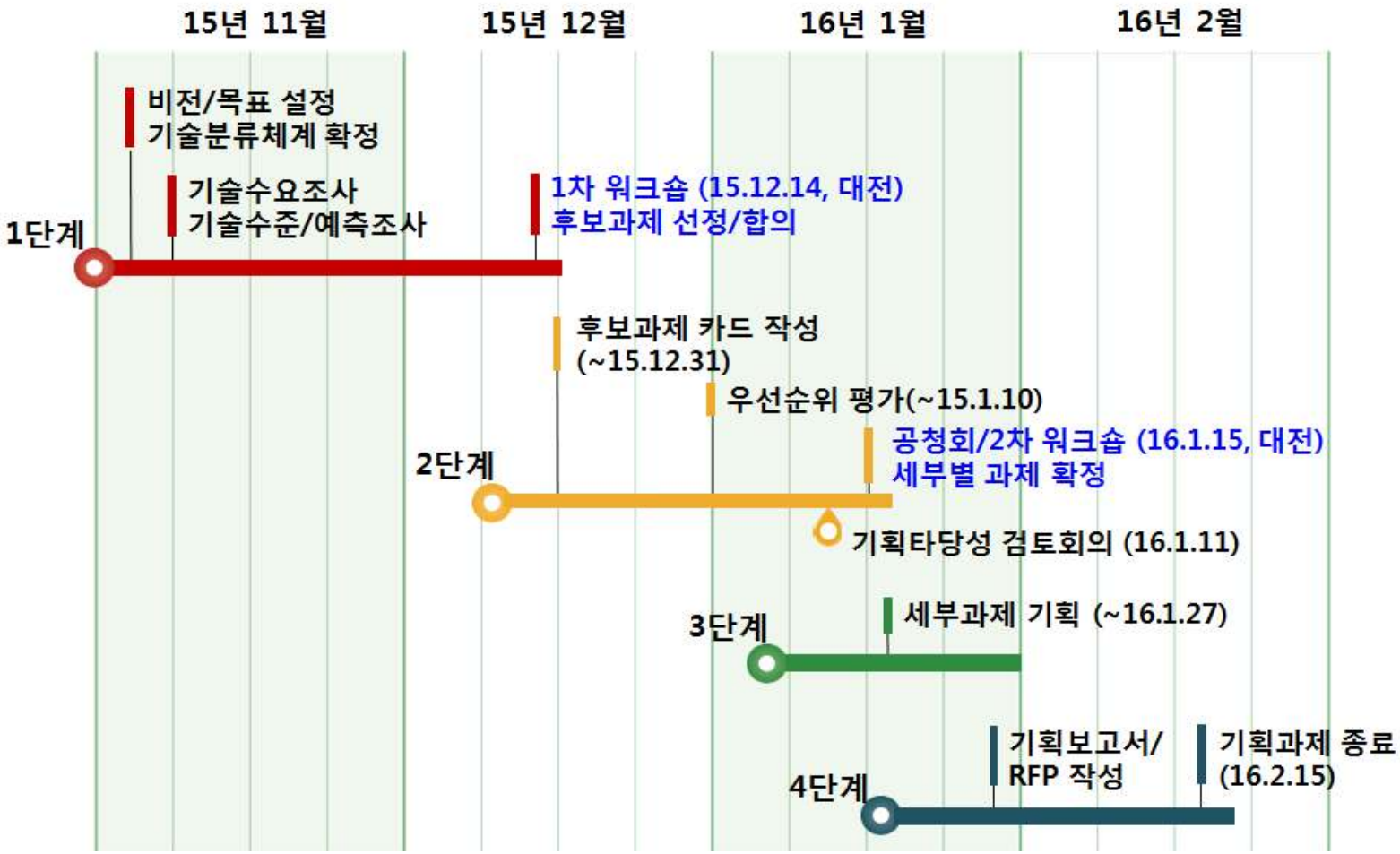
총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 (손 훈)외 12명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	5	13
대 학	1	5	
국공립(연)	1	3	
출 연 (연)			
기 타			

주 관 연 구 기 관	협동(공동) 연 구 기 관	협동(공동) 연 구 기 관	협동(공동) 연 구 기 관
한국과학기술원	㈜퍼스텍	KISTI	㈜날리지웍스
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
주관연구책임자 (손 훈)외 4명	공동연구책임자 (이석태)외 1명	공동연구책임자 (정기문)외 2명	공동연구책임자 (이재희)외2명
책임급 3명 원급 2명	책임급 1명 원급 1명	선임급 3명	책임급 1명, 선임급 1명, 원급 1명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
과제명: 비접촉/접촉 센싱 기반 구조물안전진단 기술개발 기획	과제명: 무인체 기반 구조물 검사 기술 개발 기획	과제명: BIM/클라우딩 기반 구조물 유지관리 기술 개발 기획	과제명: 무인체기반 구조물안전진단 기술개발 기술수요조사, 기술수준 및 예측조사
비접촉/접촉 센싱 기반 구조물 안전진단 관련 기술 동향 조사 및 과제 기획	무인체 기반 구조물 검사 관련 기술동향 조사 및 과제 기획	BIM/클라우딩 기반 구조물 유지관리 기술 관련 기술 동향 조사 및 과제 기획	후보과제의 기술수요조사, 기술수준 및 예측조사 수행, 분석. 기획연구 가이드라인 제시

1.3.2 기획 과제 세부 추진 일정

- 본 기획과제는 2015년 10월 15일부터 2016년 2월 15일까지 4개월 동안 진행되었으며, 세부 추진 일정은 다음과 같음



[그림 1.7] 기획과제 세부 추진 일정

2. 동향조사 및 환경분석

2.1 국내외 정책동향

2.1.1 무인체 기술

■ 미래창조과학부: 무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략 발표

- 무인이동체에 각기 적용가능한 공통기술(①공통 요소부품, ②SW플랫폼, ③ 안전운용 인프라, ④ 역기능 예방) 개발 및 확산을 통해, 기술 경쟁력 강화 및 신규기업의 기술 진입장벽 완화하는 방안을 추진
- 무인이동체 발전협의회 설치, 통합로드맵 수립, 협력사업 발굴, 법제도 정비, 인프라 확충, 실용화 지원 등의 추진전략 수립을 목적으로 함
- 주요 산업엔진 프로젝트로 고속-수직이착륙 무인기 개발사업의 추진을 통해 시범운용 및 선도적 비행체 개발을 추진 중에 있음
- 전자광학/적외선 카메라, 전천후 레이더 등의 군기술을 민간의 교통, 산불·재난 감시용 무인기 등에 적용하기 위해 국방 및 민간분야 무인기의 실용화 촉진을 위한 상호 협력 추진

■ 산업통상자원부: 무인기 산업생태계 분야별 추진계획 발표

- 무인기 산업 매출을 현재 165만불(세계 30위권)에서 2023년 5.1억불(세계 4위) 수준으로 끌어 올리고, 기술 수준도 세계 7위(2012년 기준)에서 2023년 세계 3위 수준까지 올라가는 것을 목표
- 이를 뒷받침하기 위해 4대전략 및 10대 추진과제를 설정하여 지원 예정

4대 전략	10대 추진과제
1. 시장선점: 선도적 시장분석 및 신시장 선점	1) 무인기 수요 활성화를 위한 시범운용사업
	2) 해외 기술선진국과의 기술협력 및 공동마케팅
2. 기술개발: 선도기술 및 선도형무인기 개발공급	3) 무인기 및 임베디드SW 선도기술 개발
	4) 무인기 획득정보 처리 및 활용 기반 구축
	5) 시장선도형 무인기 체계개발
3. 인프라/인력: 무인기 인프라 확충과 인력양성	6) 지상/비행시험 인프라 확충
	7) 무인기 개발인력 및 전문 운용인력 양성
4. 제도: 무인기 운용 활성화를 위한 제도 확충	8) 무인기 전용주파수 확보 및 이용 방안 연구
	9) 민간 무인기 인증/운항 제도 구축
	10) 장기 산업특성에 적합한 차별화된 금융지원 제도

2.1.2 구조물 진단 기술

■ **산업통상자원부: 센서산업 발전전략 발표**

- 2019년까지 총 3,338억원 규모의 투자를 통해 세계 수준의 센서 중견기업 20개를 육성하고 센서산업 매출 100억달러 달성과 일자리 2.5만개 창출을 추진하기 위한 전략을 발표
- 세계 4대 센서산업 강국 도약을 비전으로 하여 10대 핵심 센서기술 확보, 유망 센서 상용화 및 신뢰성 평가기반 구축을 통한 One-Stop 서비스 지원을 목표
- 스마트센서 발전 포럼을 통해 센서기업과 수요기업 등 산·학·연 네트워크 강화를 통한 혁신역량 강화

■ **산업통상자원부: 첨단센서 핵심기술 확보 및 유망 센서 상용화 등 전략적인 기술개발 지원**

- 자동차·바이오 등 수요시장의 요구와 센서산업의 성장 기여율이 높은 10개 핵심 센서 분야를 선정·지원
- 7개 핵심소자(자기센서, 입력센서, 관성센서, 영상센서, 레이더센서, 화학 및 광학센서)와 2개 기반기술 지원, 또한 10대 기반기술 개발과 연계해 7대 산업 분야에 필요한 미래 유망 센서를 60개 선정·지원

■ **산업통상자원부: 센서관련 고급인력 양성**

- R&D 참여형 교육 등 신규 교육 프로그램 개발과 기존사업에 센서분야를 신규로 추진하는 등 연 100명의 최고급 인력 배출

■ **산업통상자원부: 센서 산업화 지원센터 구축**

- 센서 산업 발전의 기반을 조성하기 위해 시험·신뢰성 평가, 시제품 제작 등을 지원하는「(가칭)센서 산업화 지원센터」구축을 추진하고, 나노종합기술원, 전자부품연구원, 한국전자통신연구원 등 센서관련 장비를 보유한 기관을 지역 거점으로 지정·활용

2.1.3 시설물 평가 및 유지관리 기술

■ 국토교통부: 사회기반시설물 유지보수 및 안전성 관련 예산 대폭 확대

- 사회기반 시설물에 대한 안전성 확보를 위한 예산을 전반적으로 확대 (3.3조원 (2014) → 4.0조원 (2015))
- 노후한 교량·철도시설, 위험도로, 철도건널목 등 사고 위험도가 높은 시설에 대한 개량투자를 확대 (도로구조물 기능개선 예산: 1,948억원 (2014) → 4,459억원 (2015))
- 사회기반시설물(SOC)의 성능을 적정 수준으로 유지하고 안전도를 향상시키기 위해 도로·철도 등의 유지보수 비용 현실화 (도로유지보수 예산: 3,370억원 (2014) → 4,776억원 (2015) / 철도유지보수 예산: 2,059억원 (2014) → 2,389억원 (2015))
- 자연재해 및 SOC 노후화에 선제적으로 대응하고, 플랜트의 해외진출 및 중소기업 육성을 위한 국토교통 R&D 투자를 확대 (R&D 예산: 4,117억원 (2014) → 4,500억원 (2015))
- 도로 옆의 비탈면의 붕괴로 인한 위험도가 높아짐에 따라 이를 정비하기 위한 유지보수 투자 확대 (2013년 이후로 매년 1000억원 이상 투입)

■ 국토교통부: 구조물 유지관리를 위한 제도적 장치 확대

- 2015년 7월 24일에 공포된 「주택법」 일부개정법률에서 “15층 이하 공동주책에 대한 안전점검 강화 대상 요건”을 정하면서 의무관리 대상인 15층 이하 공동주택으로서 사용검사일로부터 30년이 경과되었거나 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」상 안전등급이 C·D·E 등급에 해당하는 경우에도 16층 이상의 경우와 같이 전문기관 등의 안전점검 대상에 포함(‘16년.1.25부터 시행)
- 노후건축물 등 안전진단 강화 및 건축관련 안전산업 육성을 위해 시설안전공단이 전담하여 유지·관리하는 시설물을 축소(191개소→152개소)하여 민간기업의 참여확대와 기술발전을 유도할 계획
- 2014년 하반기 이후로, 매년 국가안전대진단 집중기간 운영 (전국의 위험 시설 구조물에 대해서 3단계의 안전진단을 실시)
- 국토교통부의 국가공간정보정책기본계획(2010~2015) 실시를 통해 공중(인공위성, 다고도 비행체, 항공기 등)과 지상(USN, 측량기기, CCTV, GPS-Van 등)에서 국토의 변화를 실시간으로 관측하여 사건, 재해 등에 대한 신속한 대응체계 확보

■ 국회: 국가 초고성능 컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률

- 국내의 경우 고성능 컴퓨팅 기술 수준 및 연구개발 현황이 저조한 것으로 평가되고 있는 상황으로, 시스템 수준으로는 기상청과 KISTI의 시스템 도입 사업의 결과로써 Top 500에 4개의 시스템이 등재되는 등 한국의 지난 5년간 연평균 슈퍼 컴퓨터 관련 연구비의 규모는 697억 원 규모로써 대부분의 관련 예산이 연구개발보다는 시스템 도입에 사용되고 있음

- 2011년 5월 국가 초고성능 컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률이 국회를 통과하였으며, 이를 통하여 향후 한국의 슈퍼 컴퓨팅 기술 연구개발 분야의 활성화가 예상됨

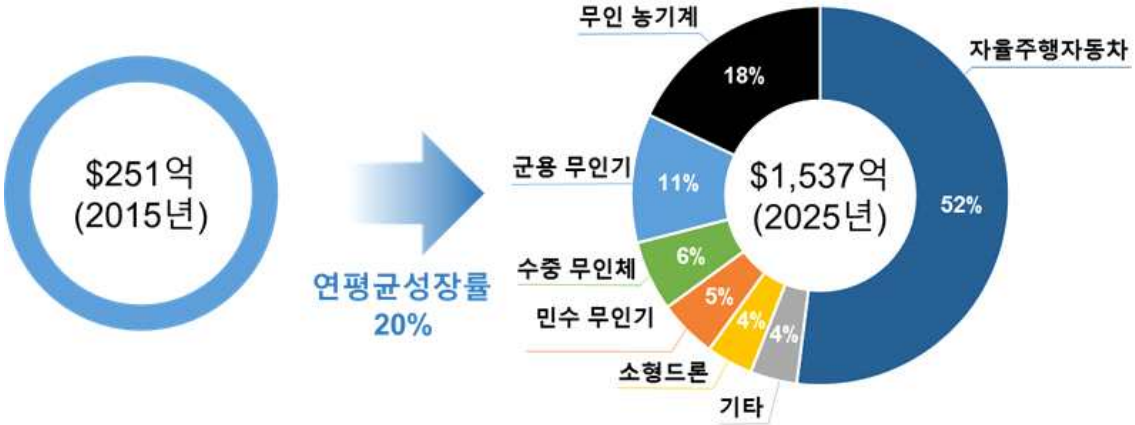
2.2 국내외 시장현황 및 전망

2.2.1 무인체 기술

- 무인체의 세계 시장규모는 2014년 53.1억 달러이며, 이 중 상업용 무인체가 차지하는 시장은 0.6억 달러임

- 세계 무인기 시장 및 상업용 무인기 시장은 연 평균 35%의 높은 증가율을 보이고 있으며, 2023년에는 각각 124.7억 달러 및 8.8억 달러의 규모를 가질 것으로 예상됨 (부산발전연구원, 드론을 활용한 도시관리, 2015)

- 미래창조과학부에 따르면 무인 비행체뿐만 아니라 지상 및 수중 무인체를 포함하는 무인체 시장 규모는 2015년 현재 251억 달러이며, 연간 20% 수준의 시장 증가율과 함께 2025년 기준 총 1,537억 달러의 규모를 가질 것으로 예상됨



[그림 2.1] 무인체의 활용 산업별 예상 시장규모 (미래창조과학부, 2015)

- 국가별 무인체 시장 비율의 경우, 2012년 기준 미국 71%, 유럽 13%, 중동 7%, 아시아태평양 8% 이었지만, 2021년에는 미국의 지배력이 점차 약화되어 미국 49%, 유럽 17%, 아시아태평양 22%, 중동 9% 등으로 과점시장에서 경쟁시장으로 변화될 것으로 예상됨 (World unmanned aerial systems 2012 market profile and forecast, 2012)

- 국내의 경우, 2014년 시장 규모가 1,000억 원 수준으로 전 세계 시장 규모 대비 2% 수준이지만, 급격한 성장세를 보이고 있어 수년 이내로 민간 시장에 있어서는 가전시장 규모로 성장될 것으로 예상됨 (드론의 기술 및 시장 트렌드와 무한한 기회, 2015)

- 시장조사업체 노무라 마켓 리서치(Nomura Markets Research)에 따르면, 무인체 수요의 증가에 따라, 관련 산업 생태계 역시 빠르게 조성되고 있음

■ 관련 사례 및 동향

- 2014년, 구글은 6000만 달러 이상을 투자하여 무인항공기 회사 '타이탄'을 인수하였고, 페이스북은 2000만 달러를 투자하여 영국의 무인항공기 회사 '애센타'를 인수하는 등 글로벌 IT 대기업이 무인항공기 사업에 관심을 보임에 따라 무인항공기 시장의 규모는 점점 커져가고 있음

- 2015년, 세계경제포럼(WEF, 다보스포럼)에서 올해 떠오르는 10대 기술 중 드론이 포함되는 등 세계 경제 전문가들이 무인항공기를 유망한 산업으로 분석하고 있음

- 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)이 처음으로 상업용 무인 항공기 운행을 허용하여 AeroVironment사의 Puma AE 드론이 알라스카 지역 내 영국 석유 회사 British Petroleum의 시스템 및 안전 점검을 위해 사용됨

- 미국의 허가받은 민간 무인체 수는 2013년 현재 545대이며 2018년 7500대 수준으로 증가할 전망

■ 시장 확대 가능성 전망

- 무인체 기술은 군사용 목적으로 많은 연구 및 시장이 집중되어 있는 현황이나, 최근 무인체에 대한 집중적인 관심으로 의학, 교통, 재해, 안전 등 산업 여러 분야에서 무인체를 활용 한 연구 진행 및 시장 형성 예상

- 본래 군사용 위주(90% 이상)로 활용되었으나 민수용인 택배·농업·재난관리 등으로도 활용될 것으로 기대되면서 시장규모 확대가 전망되며 농업용, 삼림 및 해안 감시용, 방송 및 촬영용 등의 용도로 사용 급증

- 2035년 민간분야 및 군용 무인체 시장이 유인체 시장을 앞설 것으로 예상됨. 관련 기술 개발 급증하는 반면 비용은 감소 추세에 있고 응용분야 역시 증가

- 산업 경쟁력 측면에서 차세대 고부가가치 산업으로서, 무인헬기, 제어 등 핵심기술 분야에서 선진국과의 기술 차이(미국1위, 한국 7위)가 크지 않은 반면 아직 시장형성 초기단계임

- 2015년 2월 FAA가 발표한 무인체 규제안 공고는 무인체 시장 활성화를 위한 제도적 행보로서, 미국 내 소형 무인체의 상업적 활용은 더욱 자유로워질 전망

- 국내에서도 미래창조과학부 및 산업통상자원부의 정책적 지원으로 관련 기술 개발이 촉진되고 규제가 완화됨. 민간 분야에 대한 무인체 적용이 활성화되면서 구조물 유지관리 분야에도 적용될 것으로 기대되며, 구조물 유지관리 분야와 무인체의 융합을 통한 부가가치 창출을 통해 새로운 시장 개척 가능성이 있음

- 이를 위해 무인체와 비접촉식 센싱 시스템의 통합, 무인체와 내장형 센서간의 연동 등에 대한 기술 개발이 필요함

2.2.2 구조물 진단 기술

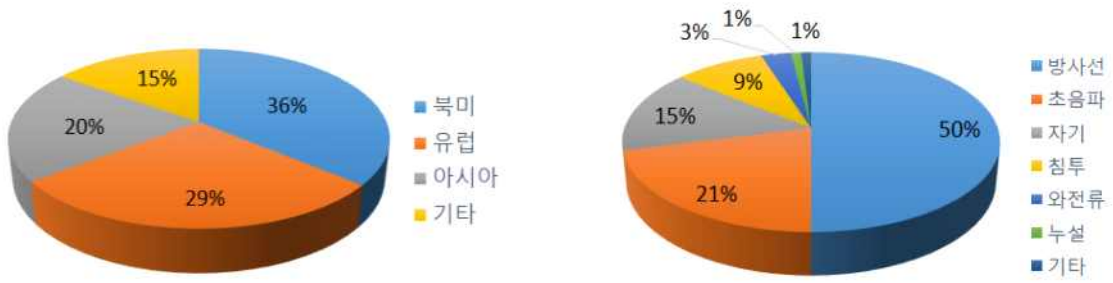
■ 시장 현황 및 향후 예측

- Frost & Sullivan에 의하면 안전 진단 센서 관련 부가가치는 약 100억 달러에 이르는 높은 경제성을 갖고 있는 것으로 분석됨
- 2012년 기준 해외 안전 진단 센서 시장의 규모는 약 41,928억원
- 해외 안전 진단 센서 시장의 성장률은 연평균 6.0%로 전망되며, 2012년 41,928억원 규모에서 오는 2017년 56,109억원 규모로 성장
- 2012년 국내 시장은 약 4,758억원 규모로 연평균 5.5%의 성장률을 보이며, 2017년 6,218억원 규모의 시장이 형성될 것으로 전망됨

[표 2.1] 국내 안전 진단 센서 시장 규모 (한국원자력연구원, 2014)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	성장률(%)
세계시장 (억원)	37.3	39.5	41.9	44.4	47.1	49.9	52.9	56.1	6.0%
국내시장 (억원)	4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	5.5%

- 국내의 선진국 대비 기술 수준은 20% 가량으로 분석됨
- 첨단장비일수록 수입의존도가 더 높고, 관련 소모품 등 일부만 국내생산되며 비파괴 검사 및 안전 진단 분야의 센서의 경우 90% 가량 수입에 의존
- 방사선 센서의 비율이 50% 수준으로 지배적이었으나, 안전 문제로 인해 규제가 강화되면서 최근에는 초음파와 기타 비접촉식 센서로 시장 이동 중



전세계 지역별 안전 진단 센서 시장 비율　　국내 안전 진단 센서 종류별 비율

[그림 2.2]. 안전 진단 센서 시장 동향 (광주테크노파크, 2014)

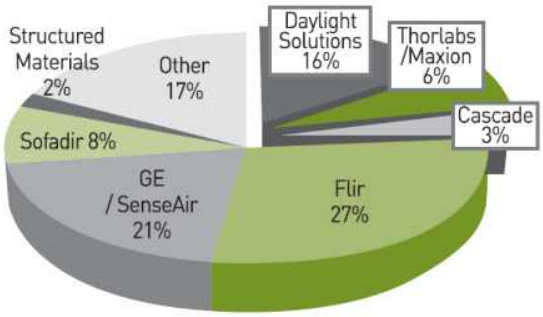
■ 관련 사례 및 동향

- 세계를 기준으로 이미지 센서 시장은 2014년 88억 달러에서 2020년까지 연평균 성장률 10.6%를 보일 것으로 전망되고 3D 센서 시장은 2015년부터 연평균 성장률 25.51%을 보일 것으로 예상되며 2020년까지 33억 달러에 이를 것으로 보이는 등 가파른 성장 동향을 보임

- 비접촉센서의 대표주자격인 이미지센서 업계는 트루센스와 앱티나 간 인수합병 사례와 같이 최근 인수합병을 통해 사업 확장에 매진하고 있는 추세임

- 적외선 센서 시장은 2012년 8억 달러에서 2019년 70억 달러에 이를 것으로 예측되며 27%의 시장점유율을 가지는 FLIR사와 21%를 차지하는 GE/SenseAir가 시장을 주도하고 있음

전 세계 적외선 센서 시장 전망



적외선 센서 업계 점유율

[그림 2.3] 적외선 센서 시장 동향 (한국산업기술평가관리원, 2012)

■ 시장 확대 가능성 전망

- 사회기반시설물의 안전성에 대한 관심이 높아지면서 안전진단 센서의 수요가 커져 시장도 확대되는 추세이나 기존의 안전진단 센서의 경우 크기가 크고 전력을 많이 소모해 구조물 자동 안전진단에 적용하기에는 한계가 많음

- 최근 시장의 대부분을 차지하는 방사선 센서가 안전에 대한 우려로 규제가 강화되며 초음파 센서로 대체되고 있는 만큼, 본과제에서는 기존 접촉식 센서를 개선한 내장형 초음파 센서를 개발하도록 기획하고자 함

- 최근에는 이미지센서, 적외선 센서 등의 다양한 비접촉식 센서 시장이 빠르게 확대되고 있으며, 본과제에서는 이들을 활용한 검사 시스템을 개발하도록 기획하고자 함

- 특히 이러한 안전진단 센서와 무인기 기술, 클라우드 컴퓨팅 기술과의 연계는 시장에서 그 독창성을 크게 인정받을 수 있을 것으로 보임

2.2.3 시설물 평가 및 유지관리 기술

■ 시장 현황 및 향후 예측

- 2014년 16차 국가과학기술자문회의'과학기술을 활용한 효과적인 재난대응'에 보고된 내용에 따르면, 구조물 안전진단 센서를 이용하여 상시감시가 필요하거나 육안점검이 어려운 시설물의 상태를 실시간으로 파악하는 것에 대한 필요성이 제기 되었으며, 정부는 과학기술을 재난재해 부문에 접목해 국민들의 안전에 기여하고자, 현재 6조원 수준의 구조물 안전진단 관련 매출액은 2017년 12조원으로 발전시킨다는 방침

- 대한시설물유지관리협회에 따르면 2014년 시설물 보수·보강공사 실적은 3조7000억원으로 2013년 3조4000억원 대비 7%증가함. 이는 유지관리시장이 업종 도입 후 첫 실적을 냈던 1999년(5448억원)과 견주면 15년 동안 700% 증가한 규모임

- 2013년 말 구조물 유지관리 관련 업체 수는 4688 곳으로 10년 새 3088곳 (193%)이나 급격하게 증가하는 등 구조물 유지관리 산업은 새롭게 부상하는 블루오션으로, 구조물 유지관리 업체의 수는 연간 300여개씩 증가 추세임

- 구조물 유지관리 관련 시장은 2006년 6,000억원 규모에서 연평균 20%의 성장률을 기록, 2009년에 1조원, 2015년에는 3조원의 시장을 형성하고 있음

[표 2.2] 국내외 구조물 유지관리 시장 현황 (대한시설물유지관리협회, 2015)

구분	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	성장률
세계시장 (조원)	31.9	35.1	38.7	42.5	46.8	51.4	56.5	10.0%
국내시장 (억원)	10,368	12,441	14,930	17,916	21,499	25,800	30,960	20.0%

- 한국건설신문에 따르면, 2013년 기준으로 경과연수 10년미만의 교량이 전체교량의 50% 이상을 차지하고 있기에, 2020년대 이후부터 교량에 대한 안전 및 유지관리 수요는 본격적으로 더욱 급증 할 것으로 예상

- 한국도로공사에 따르면 구조물 유지관리 비용은 2014년 1,119억원에서 2020년에는 2,461억원으로 연 평균 14% 수준의 증가세를 보이고 특히 점검 및 진단에 소요되는 비용이 3배 가까이 증가할 것으로 예측됨

- 클라우드 컴퓨팅의 다양한 장점으로 인해 2014년 글로벌 클라우드 서비스 시장의 크기는 약 693억 달러로 전년 대비 약 21.6% 상승하였으며, 이러한 추세는 지속되어 2018년까지 연평균 성장률 20.8%를 기록하며 1,238억 달러까지 성장할 것으로 예상

- 한국IDC가 최근 발간한 보고서에 의하면, 2014년 국내 클라우드 소프트웨어 시장은 2013년 대비 25.5% 성장하며 1,465억원 규모를 형성한 것으로 나타났으며, 정부의 클라우드 진흥법 시행과 기업의 클라우드 투자 확대 등 긍정적인 시장 분위기에 힘입어 21.8%의 성장률을 보이며 2019년 2,583억원 규모가 될 것으로 예상

[그림 2.4]. 국내 클라우드 소프트웨어 시장 전망 (한국IDC, 2015)

[표 2.3] 구조물 유지관리비의 증가 (한국도로공사, 2014)

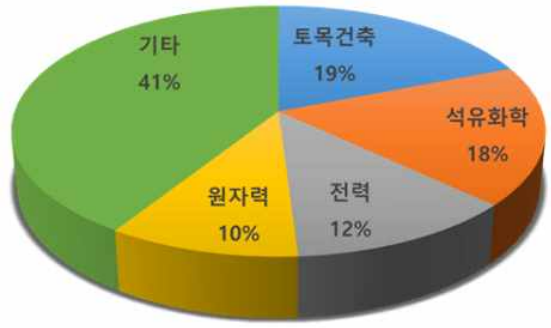
비고	비용 (억원)		연평균 증가율	비고
	2014년	2020년		
계	1,119	2,461	14%	2.2배 증가
점검진단비	172	493	19.4%	2.9배 증가
전면개량비	273	430	8.1%	1.6배 증가
보수보강비	674	1,538	14.9&	2.3배 증가

■ 관련 사례 및 동향

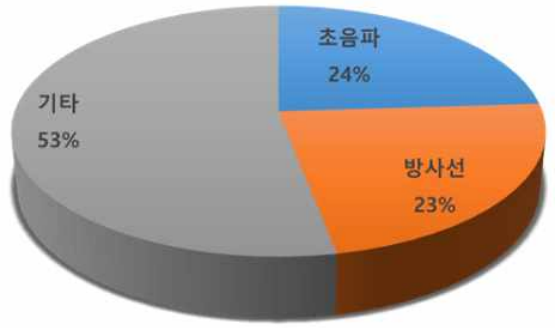
- 국내 대형교량의 유지관리시스템은 1995년 성수대교 붕괴를 계기로 구조물과 SoC를 관리하는 시설안전기술공단이 설치되어, 서해대교 점검 전산화 구축(2000), 영종대교 점검 전산화 구축(2002), 광안대교 점검 전산화 구축(2002), FMS(시설물정보통합관리시스템, KISTEC 2002)등 교량 유지관리를 위한 모니터링 시스템사업이 활발하게 수행됨

- 국토교통부에서 건설기술연구사업의 일환으로 추진되고 있는 '초장대교량사업단'에서 개발한 케이블교량 통합 유지관리 시스템이 2016년 초부터 베트남 방콩교에 적용될 예정으로, 국내 최초로 해외 진출에 성공한 사례임

- 일본공업회가 산출한 비파괴 검사의 산업분류로는 토목·건축 분야가 19%로 가장 크고 그 비중이 점차 증가하고 있으며, 석유화학이 18%, 전력 연관이 12%, 원자력이 10% 정도를 차지함



분야별 비파괴 검사 분류



방식별 비파괴 검사 분류

[그림 2.5] 일본 내 비파괴 검사 활용 통계 (일본공업회, 2012)

- Google: 2014년 6월 국내 클라우드 플랫폼 사업진출 발표
- Alibaba: 2015년 3월 계열사인 알리윈이 미국 실리콘밸리에 데이터센터 개설
- Microsoft: 2015년 5월 클라우드 확대를 위한 미국-중국을 잇는 태평양 해저 케이블 매설 작업 참가 발표

■ 시장 확대 가능성 전망

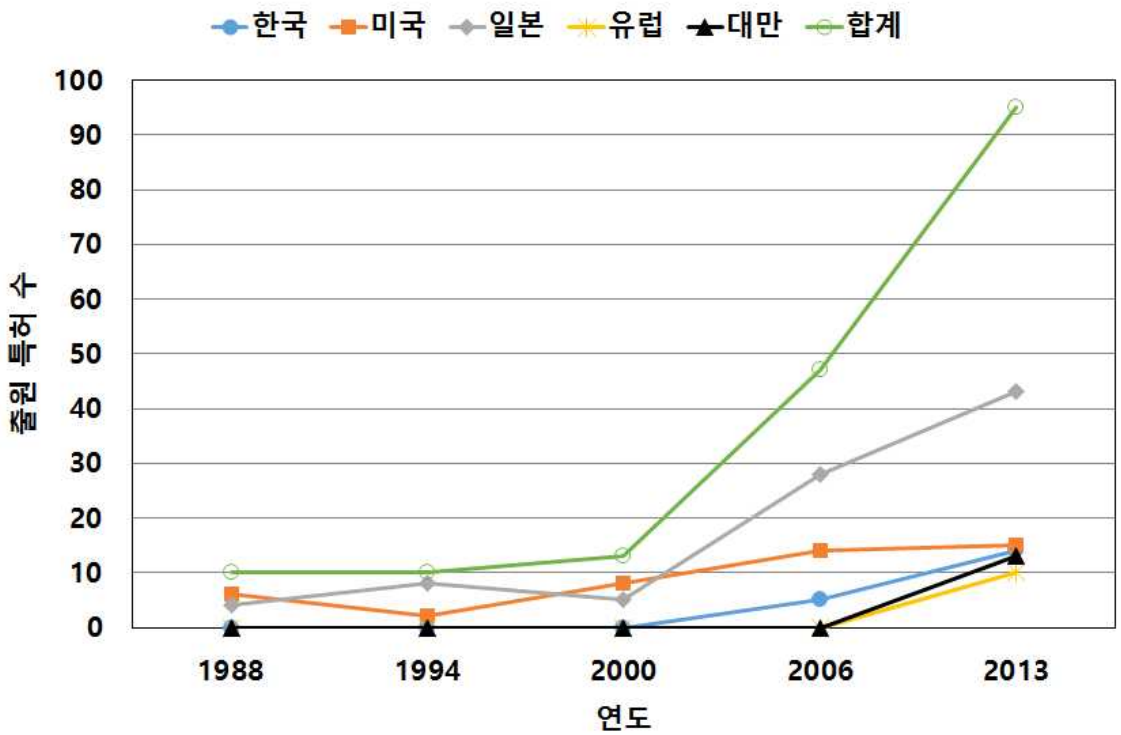
- 우리나라도 점차 선진국 수준으로 유지관리 비중이 점차 증가하고 있으며, 정부와 지방자치단체 등 주요 관리주체들이 SOC 시설물의 안전 및 유지관리 업무를 외부기관에 위탁하는 추세
- 일상적인 안전 및 유지관리 업무보다는 시설물 안전과 효율적 사용, 위탁기관의 관리 등을 위한 정책수립과 안전 및 유지관리 기준과 지침의 개발 등의 연구개발 기능에 보다 치중하는 방향으로 시장이 변화될 것으로 예상됨
- 선진국의 경우 건설시장의 규모 증가 추이보다 유지관리 관련 시장 증가 폭이 크므로, 국내 유지관리 시장도 보다 더 확대될 것으로 전망
- 이에 대응하여 효과적인 모니터링 시스템을 선제적으로 개발할 필요성이 있음
- 구조물 유지관리 분야의 경우, 현재까지는 인력 위주로 이루어졌기에 대규모의 데이터를 수집 및 저장할 수도 없었고 그에 대한 필요성도 느끼지 못했음
- 그러나 모니터링 시스템에 대한 관심이 증가하면서 다양한 센싱 데이터가 수집될 것으로 예측되는 만큼, 이를 위한 선행작업으로 구조물에서 계측되는 대량의 데이터를 효율적으로 수집, 저장, 관리하는 데이터베이스 구축 및 클라우드 컴퓨팅 플랫폼 마련이 필요함

2.3 국내외 기술동향 (논문, 특허, 관련 연구사업)

2.3.1 무인체 기술

■ 연구 및 특허 동향

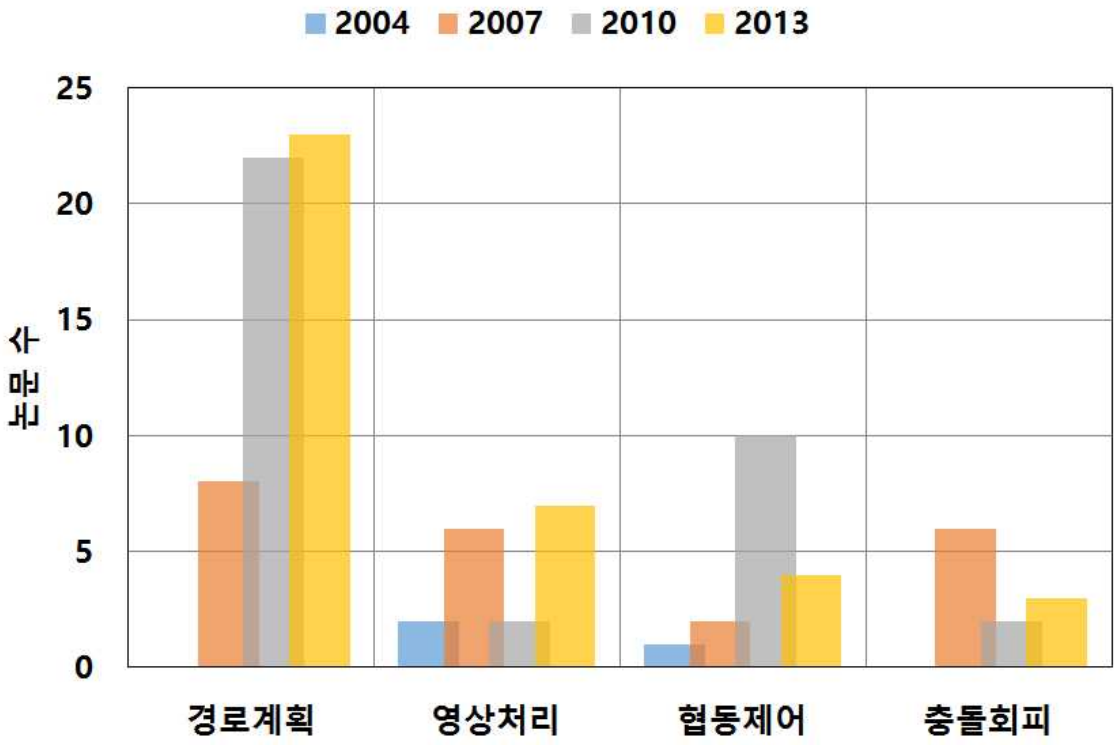
- 최근 20년간 약 1000여건의 논문이 발표되었으며, 특히 2000년대 이후에 급속한 성장을 보이고 있음
- 연구를 주도하는 국가는 미국(전체 논문의 20%)과 일본(19%) 등이 있으며 한국의 논문은 전체 6%로 세계 4위에 해당함



[그림 2.6]국가별/연도별 무인체 분야 특허 동향 분석

- 연도별 특허 동향 역시 2000년 이후 급격한 성장세를 보이고 있으며, 일본과 미국을 선두로 하여 한국 등 다양한 국가에서도 급속한 성장이 시작됨
- 논문 성과에서의 경향성과는 달리 전체 출원 건수 175건 중에서 일본 국적의 출원이 88건으로 50%의 절대 다수를 차지하는 등 일본이 관련 특허 분야를 주도하고 있음
- 해당 기술은 작접 장비/제어계/전기적 조정계 성격이 큰 분야로서 일본의 YASKAWA / TOYOTA / HITACHI를 포함한 기업들의 영향으로 분석됨
- 특히 일본의 FANUC 사는 30여개의 관련 특허를 보유하고 있으며 이 중 다수는 무인체 제어 및 조종에 관련됨

■ 향후 주요 연구 분야



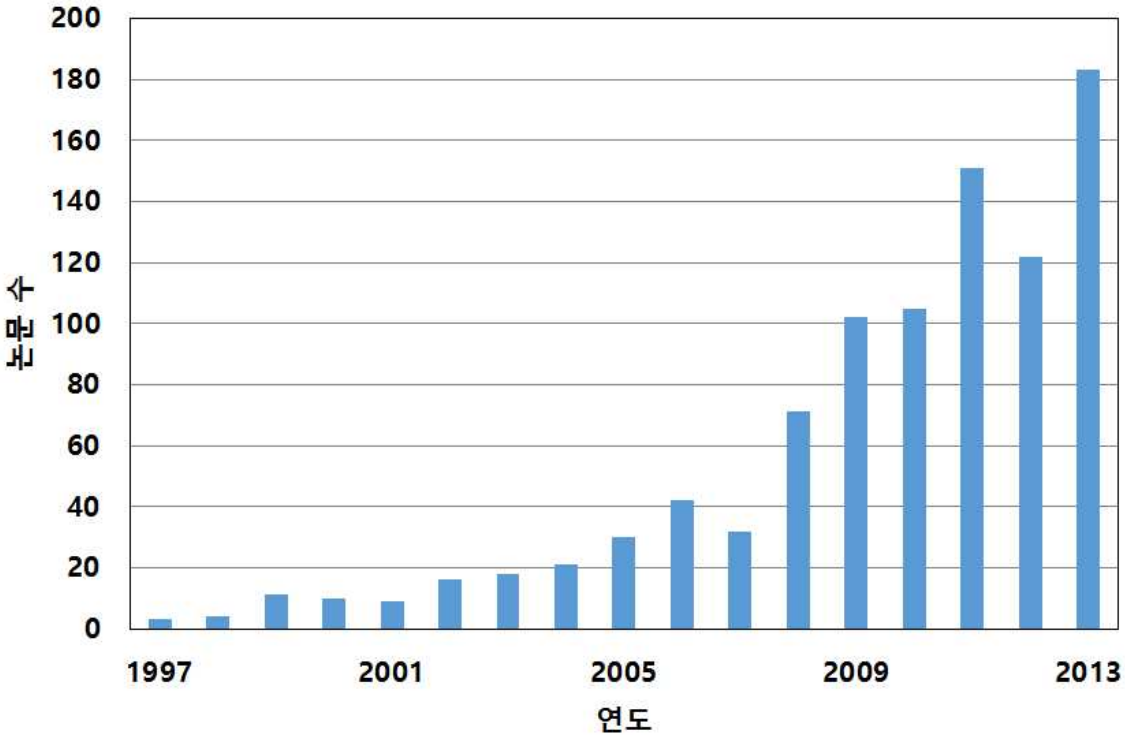
[그림 2.7] 무인체 분야 주요 키워드별 논문 동향 분석

- 관련 논문들의 경우에도 경로계획, 영상처리, 협동제어, 충돌회피 등 무인체의 제어와 관련된 키워드를 가진 경우가 많음
- 무인체기를 활용하여 사용자가 원하는 업무를 자동으로 수행하기 위해서는 효과적인 제어 기술이 필요함을 확인할 수 있음
- 또한 최근 무인체의 수가 늘어나며 이들로 인해 야기될 수 있는 충돌사고들에 대한 우려를 반영한 것으로 보임
- 활발히 진행되고 있는 무인체 분야의 연구 결과를 구조물 유지관리 시스템 개발에 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 본과제에서도 구조물 검사용 무인체를 개발하도록 기획하고자 함
- 특히 구조물 유지관리 및 안전진단에 최적화되어 작업을 수행할 수 있도록 다용도 정밀 매니퓰레이션, 구조물 맵핑 기술, 자동 탐색 경로 계획 기술, 무인체 시스템 운영 체계 등의 기술 개발을 기획하고자 함

2.3.2 구조물 진단 기술

■ 연구 및 특허 동향

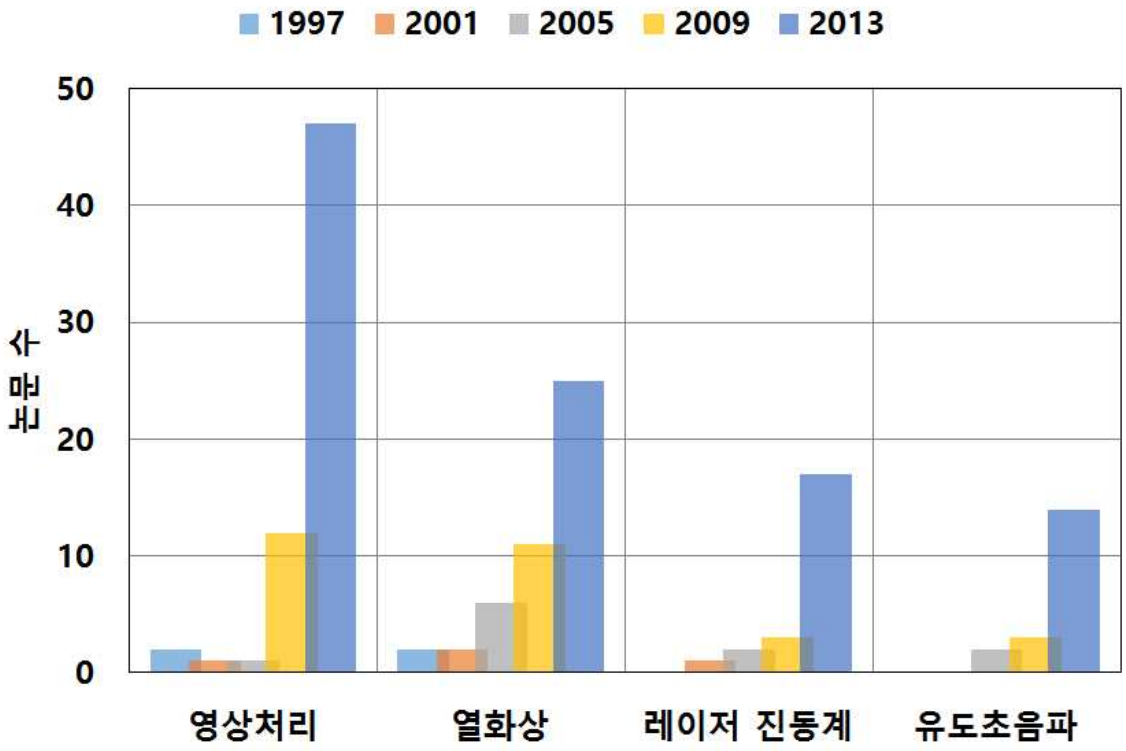
- 구조물 안전진단용 센서 관련 논문은 최근 15년간 약 1000여건의 논문이 발표되었으며, 특히 2000년대 후반에 급속한 성장을 보이고 있음
- 연구를 주도하는 국가는 미국(전체 논문의 37%)과 중국(31%) 등이 있으며 한국의 논문은 전체 6%로 세계 4위에 해당함



[그림 2.8]연도별 구조물 안전진단용 센서 분야 논문 동향 분석

- 연도별 특허 동향 역시 2000년 이후 급격한 성장세를 보이고 있으며, 일본과 미국을 선두로 하여 한국 등 다양한 국가에서도 꾸준히 성장하고 있음
- 논문 성과에서의 경향성과는 달리 전체 출원 건수 989건 중에서 일본 국적의 출원이 561건으로 57%의 절대 다수를 차지하는 등 일본이 관련 특허 분야를 주도
- 이는 일본의 대표적인 진단 센서 업체인 OLYMPUS, KODAK 등의 영향으로 보임
- 2000년대 후반에 들어 출원수가 다소 하락하는 경향을 보이지만, 시장의 축소나 기술적 문제로 인한 쇠퇴라고 보기에는 2008년 이후 국제금융위기의 영향을 무시할 수 없음

■ 향후 주요 연구 분야

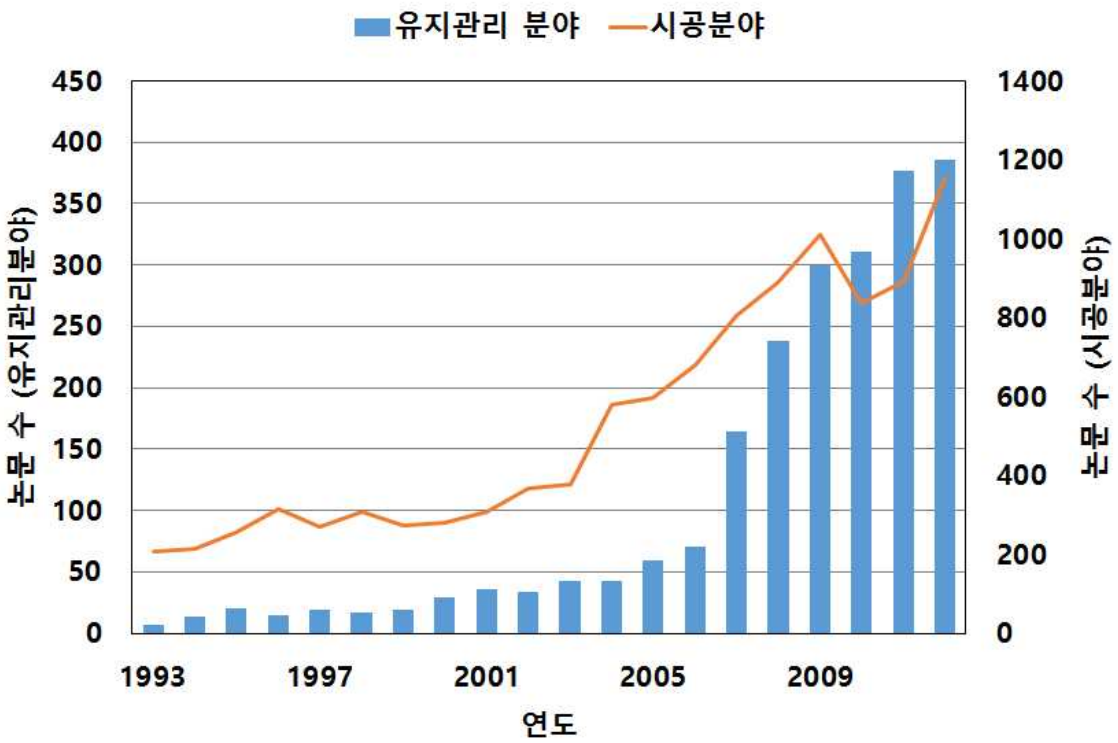


[그림 2.9] 구조물 안전 진단용 센서 분야 주요 키워드별 논문 동향 분석

- 센싱 결과를 사용자가 직관적으로 파악할 수 있는 결과로 제공하는 기술에 대한 수요가 높아지면서 영상처리 관련 연구가 폭발적으로 성장하고 있음
- 또한 비접촉식 센싱 방식에 대한 관심이 높아지면서 비접촉식 센싱 기술인 열화상 기술, 레이저 진동계 기술 관련 논문의 수 역시 늘어나고 있음
- 비접촉식 센싱 방식에 비해서는 다소 미약하지만, 접촉식 내장형 센서에 관한 연구도 꾸준히 진행되고 있으며 특히 유도초음파 기반의 내장형 센서에 대한 연구가 활발함
- 이를 반영하여 본과제에서도 영상처리, 비접촉식 센싱을 활용하고 기존 접촉식 내장형 무선센서와 연계된 구조물 안전진단 기술을 개발하도록 기획하고자 함
- 특히 영상처리 및 비접촉 센싱을 통한 외부상태 평가 기술, 비접촉 센싱 데이터와 내장형 센서 데이터의 연계를 통한 국부손상 감지 기술, 기존 상시 계측 데이터 연계를 통한 구조물 안정성 평가 기술 등의 기술 개발을 기획하고자 함

2.3.3 시설물 평가 및 유지관리 기술

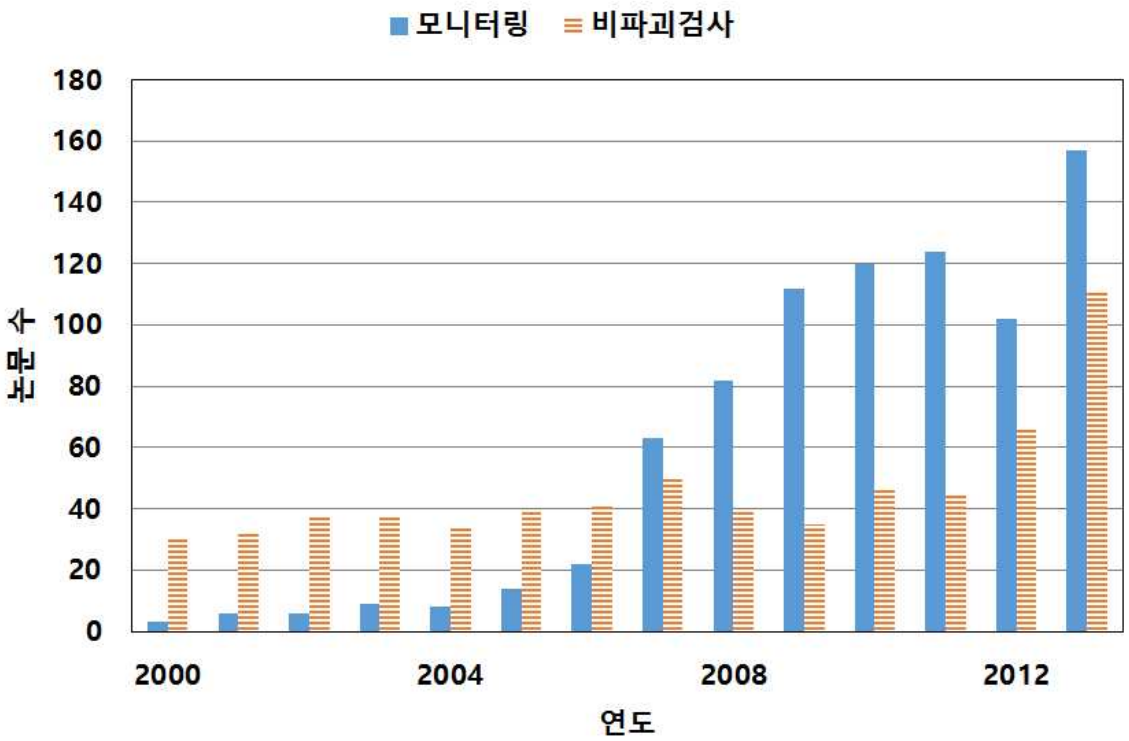
■ 연구 및 특허 동향



[그림 2.10] 연도별 유지관리 분야 및 시공분야 논문 동향 분석

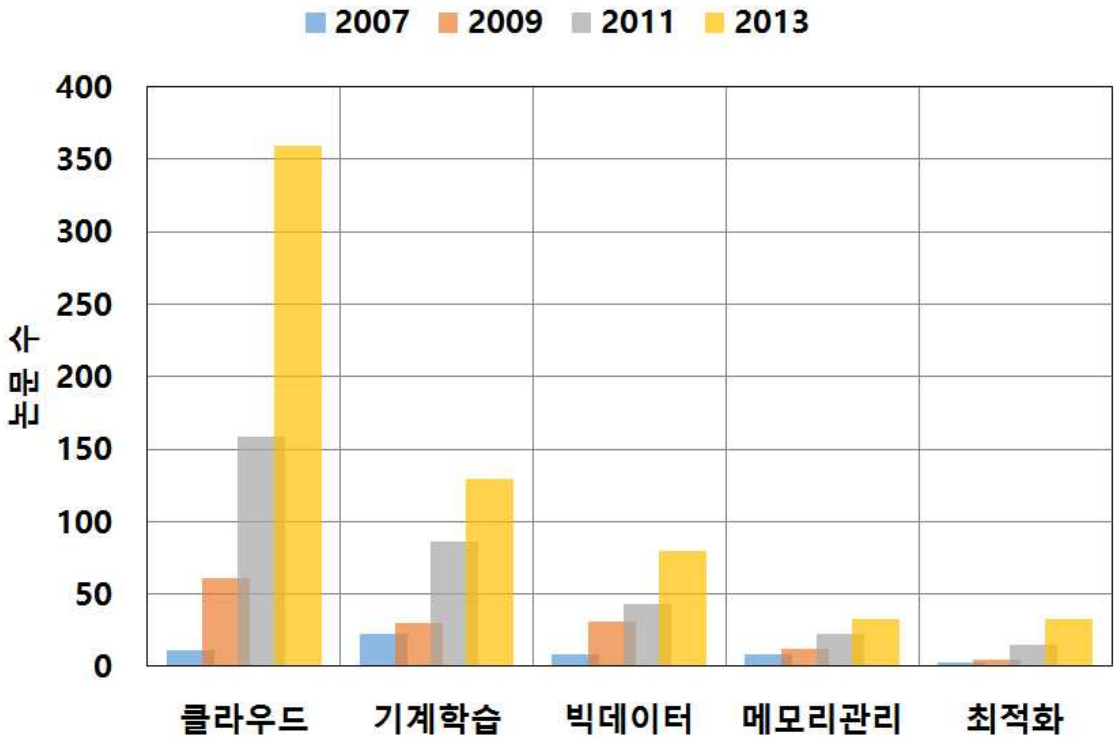
- 구조물 유지관리와 관련하여 최근 20년간 약 3800여건의 논문이 발표되었으며, 특히 2000년대 후반 이후에 급속한 성장을 보이고 있음
- 이는 시공분야의 논문 수와 비교해 볼 때 더욱 두드러지는데, 시공분야의 논문 수 성장세와 비교해 보면 유지관리분야의 논문 성장률이 매우 높음을 알 수 있으며 이는 학계 및 산업계에서 구조물 유지관리의 중요성을 인식하고 있다고 해석될 수 있음
- 국가별로 보자면 미국(전체 논문의 29%)의 비중이 매우 높으며, 한국의 논문은 6%로 세계 5위에 해당함
- 관련 특허 역시 약 700여건이 출원되었으며, 미국이 이 중 359건인 51%를 출원하여 역시 높은 비중을 차지하고 있고 한국은 전체의 4%를 차지
- 일본의 경우 논문비율(5%)는 상대적으로 낮은 반면 특허비율(23%)는 상대적으로 높은데, 이는 구조물 유지관리에 전통적으로 관심이 많은 국가로서 기업 중심의 연구개발이 이루어졌기 때문으로 추정됨

■ 향후 주요 연구 분야



[그림 2.11]모니터링 분야 및 비파괴검사 분야 연도별 논문 동향 분석

- 비파괴검사와 구조물 모니터링 등 구조물 유지관리와 관련된 대표 저널들인 NDT & E International (비파괴검사), International Journal of Structural Health Monitoring (모니터링), Structural Control and Health Monitoring (모니터링)의 임팩트 팩터는 최근 관련 연구의 활성화와 함께 계속해서 상승세에 있음
- 2000년 이후 최근 10여년 간의 논문 동향을 보면, 2000년대 초반까지만 해도 구조물 유지관리와 관련하여 비파괴검사 관련 논문의 수가 압도적이었으나 2000년대 후반에 들어서 모니터링 분야의 논문이 비파괴검사 관련 논문을 앞지름
- 이는 구조물 유지관리 방식이 기존의 비파괴 검사에서 구조물 모니터링으로 전환되고 있다는 점을 보여줌
- 이를 반영하여 본과제에서도 비파괴검사 기반이 아닌 모니터링 방식 기반의 구조물 유지관리 시스템을 개발하도록 기획하고자 함
- 특히 유지관리 수행의 자동화와 시스템 안정성 향상을 위해 기존의 접촉식 센서 네트워크 기반의 유지관리 시스템이 아닌 무인체를 활용한 비접촉식 센싱 기반의 모니터링 시스템 등의 기술 개발을 기획하고자 함



[그림 2.12] 대용량 데이터 처리 분야 주요 키워드별 논문 동향 분석

- 사회 정보화와 함께 데이터의 양이 기하급수적으로 늘어나면서 수집한 데이터를 효과적으로 저장 및 관리하는 클라우드 기술에 대한 관심이 높아지고 있음
- 또한 대용량 데이터를 처리하는 과정에서 부하를 막기 위한 메모리관리 및 최적화 기술, 사용자의 판단 없이 방대한 데이터를 컴퓨터가 자동으로 처리할 수 있는 기계학습 기술 역시 활발히 개발되고 있음
- 지금까지 구조물 유지관리에는 이러한 기술들이 적용된 예가 적은데, 이는 인력 기반의 유지관리 과정에서는 이와 같은 대용량 데이터를 확보할 수 없었을 뿐만 아니라 서로 다른 관리주체들 간에 데이터 공유가 이루어지지 못했기 때문
- 본과제에서는 무인체 기반의 구조물 검사 시스템을 활용하여 막대한 양의 데이터를 수집할 수 있기에, 수집한 데이터를 효과적으로 가공하여 신뢰도 높은 구조물 상태/성능 데이터를 얻고 유지보수 우선순위 도출이 가능하도록 유지관리 기술을 개발하도록 기획하고자 함
- 특히 클라우드 컴퓨팅 기반의 데이터 수집/저장/관리 기술을 통한 구조물 상태 및 성능 평가 기술 등의 기술 개발을 기획하고자 함

2.4 종합분석

- 구조물 유지관리 시장의 증가로 국가 차원에서 효율적인 구조물 유지관리 시스템에 대한 수요와 관심이 높음
- 센싱 시스템의 개발 및 성장을 위해 대규모의 국가예산 지원이 이루어지고 있음
- 무인체와 클라우드 컴퓨팅 산업에 관련된 기술과 인력 육성이 지원되고 있으며, 본과제를 통해 개발되는 유지관리 시스템과 시너지 효과를 발휘할 수 있을 것으로 보임
- 기존 접촉식/비파괴검사 기반 안전진단 센서의 경우 구조물의 자동 검사에 적합하지 못해 새로운 형태의 비접촉식/접촉식 센서의 개발이 필요
- 무인체와 클라우드 컴퓨팅의 경우 기존 시장은 경쟁이 치열하나 구조물 유지관리분야와의 융합을 통해 새로운 시장과 부가가치를 창출할 수 있을 것으로 보임
- 구조물 유지관리에서는 특히 모니터링 방식에 대한 관심이 높아지고 있음
- 구조물 안전진단 센서의 경우 비접촉식 센서의 비중이 증가 추세에 있음
- 무인체 분야, 클라우드 컴퓨팅 분야에서 활발히 이루어지는 연구 결과들의 구조물 유지관리 분야에 대한 활용 가능성이 높음

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

3.1 SWOT / Issue-Tree 분석

3.1.1 SWOT 분석

1) 내외부 요인 분석

- 국내외 동향 및 환경분석을 바탕으로 “무인체 기반 구조물 유지관리”의 경쟁력에 영향을 끼치는 인자로써 5종류의 거시적 환경요인 (사회적/기술적/경제적/환경적/정치적 요인)을 분석 (STEEP분석)하고 기술개발 방향 설정에 활용함

Social (사회/문화)	• 구조물 붕괴사고의 증가 • 안전에 대한 국민의 요구 증가 • 유지관리 업종 기피현상 심화
Technology (기술)	• 무인체 및 로봇 기술의 발달로 사람의 노동력 대체, 무인체 사용 분야의 확장 • 영상 및 비접촉식 센싱 기술의 발달 • 대용량 데이터의 저장, 처리 및 시각화에 대한 기술 발달
Economic (경제)	• 유지관리가 필요한 구조물 및 노후구조물의 급격한 증가 • 구조물 검사 및 유지관리 비용 증가 • 구조물 유지관리를 위한 제한적인 예산
Environment (환경)	• 환경보호를 위한 신규 건설 규제의 강화로 재건설을 지양하고 구조물을 효율적으로 유지관리하여 오래 사용할 필요가 있음 • 재난, 재해 후 주요 시설물의 신속, 정확한 안전진단의 필요성 증대
Political (정책/법규)	• 안전관리 대상이 되는 구조물의 범위 확대 • 국민 안전대진단, 안전신문고 등 안전관련 국가 정책 시행 확대 • 안전관련 기술에 대한 R&D 예산 증가 계획

[그림 3.1] STEEP 분석 결과

- STEEP 분석 결과를 바탕으로 내부환경과 외부환경 요인들을 분석하여 강점(Strength)/약점(Weakness)/기회(Opportunity)/위협(Threat) 요인들을 도출함. 이를 통해 기술개발 전략을 수립하는데 활용함

내부환경	강점 (S)	• 무인체, 센싱, BIM/클라우딩 분야의 주요 기술에 대한 선행 연구 및 활용 역량 보유 • 다양한 연구진 구성을 통한 융합연구 가능
	약점 (W)	• 무인체 운용 체계의 미비 • 기존에 관련 분야들간의 연계를 통해 연구가 기존 진행된 바가 없음
외부환경	기회 (O)	• 효율적이고 신뢰도 높은 구조물 유지관리에 대한 필요성 증대 • 관련 주요 기술에 대한 시장이 성장 또는 형성되고 있는 상태
	위협 (T)	• 구조물 유지관리 업종 기피현상의 심화 • 국외의 기술 선진국은 이미 같은 활용방법에 대한 연구 및 적용 시작

[그림 3.2] 내외부 요인 분석 결과

2) 포지션별 전략 수립

- 강점을 이용하여 기회요인을 활용하고(SO전략) 위협요인을 극복(ST전략)하며, 기회를 이용하여 약점을 줄이고(WO전략), 위협과 약점을 최소화(WT전략)하는 포지션별로 기술개발 전략을 수립함

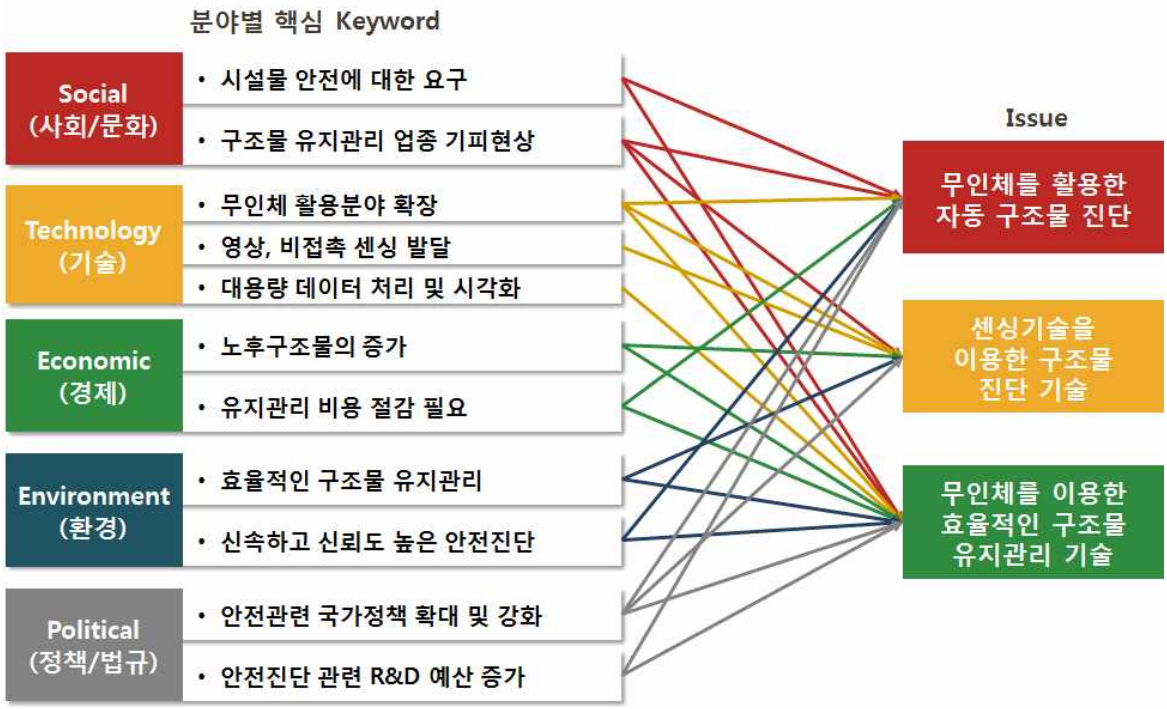
		외부환경	
		기회 (O)	위협 (T)
내부환경	강점 (S)	• 무인체, 센싱, BIM/클라우딩 기술을 이용한 효율적이고 신뢰도 높은 구조물 진단, 유지관리 기술 개발 • 국내외 시장 개척 및 선점	• 무인체기반 구조물 유지관리 기술 개발을 통한 양질의 직종 창출 • 무인체 운용 체계 수립
	약점 (W)	• 구조물 유지관리를 위한 무인체 운용 체계 수립 • 개발 기술의 실용화 및 기술이전 추진	• 테스트베드 구축 및 적용을 통한 개발 기술의 검증 • 과제간 연계성 강조

[그림 3.3] 포지션별 전략 수립 결과 (SWOT 분석)

3.1.2 Issue-Tree 분석

1) 핵심 Keyword 및 Issue 도출

- STEEP 분석 결과를 바탕으로 사회/기술/경제/환경/정책별로 아래와 같이 핵심 Keyword를 도출하고 이들을 바탕으로 Issue를 도출함



[그림 3.4] 분야별 핵심 Keyword 및 Issue 도출

2) R&D Needs 도출

- Issue를 바탕으로 R&D Needs를 도출하여 기술개발 방향을 수립함.

[그림 3.5] R&D Needs 도출 결과

3.2 기획연구 방향 및 비전

- 국내외 동향 및 환경분석을 바탕으로 한 STEEP분석 및 SWOT분석과, Issue-Tree 분석을 통해 다음과 같이 연구개발 방향, 비전 및 목표를 설정하였음

[그림 3.6] 통합 비전 및 목표

3.3 기술분류체계 수립

3.3.1 기술분류체계

- 앞서 도출된 R&D Needs를 바탕으로 연구진들의 논의를 통해 아래와 같은 기술분류체계를 수립함

1. 구조물 검사를 위한 무인체 기술

- 1.1 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술
- 1.2 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술
- 1.3 자동 항법 및 운행 기술

2. 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술

- 2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술
- 2.2 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술
- 2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술

3. 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

- 3.1 IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술
- 3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술
- 3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

[그림 3.7] 기술분류체계 수립

3.3.2 기술분류별 기술내용

1) 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술

■ 1.1 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술

- 대상 구조물 내외부 검사를 위한 단일 무인체 플랫폼 (구동부, 매니퓰레이션, 센서 인터페이스) 설계/구성 및 다개체 연계 매커니즘 개발
- 무인체 통합 관리 시스템 및 운영체계 구성 및 개발

■ 1.2 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술

- 무인체 운영을 위한 구조물 3차원 정밀 맵핑 및 구조물 검사 위치 정밀 추정 기술 (영상, SLAM, GPS, INS 등).

■ 1.3 자동 항법 및 운행 기술

- 무인체의 고정밀 운행 (이동, 도킹, 착륙 등) 기술
- 구조물 검사 최적 경로 생성 및 제어 기술
- 무인체와 대상 구조물 또는 무인체간의 충돌 및 추락 방지 기술
- 이종 무인체간 통합 운행 기술

2) 2세부: 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술

■ 2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

- 무인체 탑재가 가능한 비접촉 센싱 (영상, 열화상, 레이저, 초분광 카메라 등) 기반 구조물 외부상태 진단 기술

■ 2.2 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술

- 무인체와 연계가 가능한 내장형/부착형 센싱 기술
- 구조물 내장형/부착형 센서(가속도계, 변형률계, 압전소자 등)와 무인체간의 연계를 통한 구조물 진단 기술

■ 2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술

- 유/무선으로 무인체간 또는 무인체와 센서간 전력 및 데이터 송수신 기술 (광섬유, 자기공진, 자기유도, RF 등)

3) 3세부: 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

■ 3.1 IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술

- 무인체, 내장형/부착형 센서, 기 구축 DB와의 연계를 통한 데이터 수집, 저장 및 관리 기술
- BIM 기반 통합 데이터 가시화 기술

■ 3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술

- 무인체와 상시계측 데이터, 육안검사 결과와의 연계 (빅데이터 분석 등)를 통한 구조물의 상태, 안전성 평가 및 유지관리 기술

■ 3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

- 무인체 통합 관리 시스템 및 유지관리 시스템 운영지침 마련

3.4 기술수요 및 수준 · 예측 조사

3.4.1 기술수요조사

1) 목적 및 절차

■ 기술수요조사 목적

- 앞서 수립된 기술분류체계에 대하여 각 분류별 요소기술 확보를 위해 기술아이템 도출을 목적으로 함
- 산, 학, 연의 관련 분야 전문가들을 대상으로 세계적 수준의 기술확보를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사하였음

■ 기술수요조사 절차

- 기술수요조사는 기술수요조사 설계, 기술수요조사 수행, 기술수요조사 결과 분석, 기술수요조사 결과 활용 순으로 추진되었음
- 기술수요조사 설계단계에서는 기술수요조사 항목을 결정하고 기술수요조사 대상 전문가를 설정하였음. 이때, 전문가들의 이해를 돕기 위해 앞서 수립된 기술분류체계 및 기술내용에 대한 정보를 함께 제공하였음
- 기술수요조사 수행단계에서는 기술수요조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신하였음
- 기술수요조사 결과 분석 단계에서는 기술분류체계의 중분류별로 회신된 기술아이템을 분류하고, 응답현황 및 기술분류체계별 기술수요를 분석하였음
- 기술수요조사 결과 활용 단계에서는 회신된 기술아이템을 바탕으로 후보과제 Pool을 구성하는데 활용하였음

■ 기술수요조사서 발송 및 응답개요

- 기술수요조사서는 내부 기획연구진, 전문가들을 대상으로 이메일로 발송하여 조사를 수행하였음
- 총 79명의 전문가에게 기술수요조사서를 발송하였으며, 그중 42명의 전문가들로부터 52개의 기술수요를 접수받았음

구분	내용
조사기간	2015년 11월 10일~27일 (18일간)
조사방법	이메일을 통한 설문조사
조사대상	내부 기획연구진, 전문가 79인
응답률	42인의 전문가로부터 52건의 기술수요 접수 (53.2% 응답률)

2) 기술수요조사 결과

■ 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술 (9건)

연번	후보과제명
1.1.1	외란에 강인한 퍼칭형 무인기 플랫폼 개발 및 벽면 탈부착 동작 제어기 개발
1.1.2	구조물 내부의 장애물 환경에서 이동가능한 모바일 로봇 플랫폼 및 자율 주행 기술
1.1.3	자동 이착륙 가능한 환경 친화적 무인체 설계/제어 및 시스템 운영기술
1.1.4	교량 내부 검사를 위한 협조 기반 장애물 극복형 모바일 로봇 기술 개발
1.1.5	다중 로봇팔 장착 드론기반 구조물검사 플랫폼
1.1.6	교량구조물의 내부 정밀검사와 원격 작업을 위한 매니퓰레이팅 주행로봇 기술
1.2.1	무인체에 장착된 vision/depth 센서 정보를 이용한 무인체 3차원 실시간 위치인식 및 대형 구조물 3차원 맵핑 데이터 생성 기술
1.3.1	자동 항법에 의한 구조물 3D 맵핑 기술의 정밀화와 무인화
1.3.2	구조물 외관 조사를 위한 밀집 구조물 간 자동비행 기술

■ 2세부: 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술 (17건)

연번	후보과제명
2.1.1	열화상 시스템 및 영상처리 기법을 이용한 실시간 도막 두께 정량화 기술
2.1.2	LiDAR 시스템을 활용한 3D 영상화를 통한 구조물 외부 상태 평가 기술
2.1.3	비행체 탑재 레이저센싱 기반 비접촉 진동 모니터링을 통한 전역적(댐/원전) 구조물 상태 평가 기술
2.1.4	초분광 이미징을 통한 외관 손상 검출 기술
2.1.5	영상 시스템 및 무선헬기를 이용한 구조물 상태평가 기술 개발
2.1.6	Vision-based change evolution tracking for prognosis-based condition assessment of civil infrastructures
2.1.7	드론과 영상처리를 이용한 구조물의 손상 및 변화 인식 시스템
2.1.8	구조물 건전성 평가를 위한 UAV 영상처리 기술
2.1.9	무인 로봇 탑재용 GPR 기반의 비접촉식 콘크리트 구조물 검사 시스템
2.2.1	유도초음파를 활용한 구조물 결함 진단 신호의 정량적 영상화 기술
2.2.2	구조물 가진용 이동식 무인로봇과 무선가속도계를 연계한 다지점 하중/응답 데이터 동시 획득 및 이를 이용한 동특성 산정 기술
2.2.3	상시계측 데이터와의 연계를 통한 하천 교량의 교각 안정성 실시간 평가 기술
2.3.1	915MHz 대역 RF를 이용한 무선 전력 전송 기술 개발
2.3.2	무인체 탑재가 가능한 자기공진기반 철근콘크리트 투과 무선전력 및 신호전송 기술
2.3.3	마이크로웨이브 및 레이저를 이용한 이동체로의 전력전송
2.3.4	광섬유를 이용한 에너지 및 데이터 동시 전송 기술 개발
2.3.5	무인체간 및 무인체와 센서간 수백 W급 광/RF 전력 전송 및 데이터 송수신 기술

■ 3세부: 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 (26건)

연번	후보과제명
3.1.1	클라우드 기반의 구조물 빅데이터 관리 및 고성능 처리 인프라 서비스 기술
3.1.2	IoT 기반 구조물 형상 검측 및 관리 시스템 개발
3.1.3	무인체 스캔 데이터와 연계한 BIM기반 인프라 추적관리 시스템
3.1.4	IoT기반의 대형구조물 진단 및 관리를 위한 분산병렬 빅데이터 클라우드 플랫폼기술
3.1.5	BIM기반 구조물 점검 위치 및 센서정보 맵핑기술
3.1.6	모바일 기기 활용을 위한 유지관리 데이터 맵핑 및 표출 기술 개발
3.1.7	상황인지 기술을 활용한 사용자 중심의 시설물 유지관리 정보 관리 플랫폼 개발
3.1.8	IoT 센서 및 무인체 통합 Cloud computing 서비스 Platform 개발
3.2.1	특수교량 유지관리 첨단화 시스템 핵심 요소 기술 개발
3.2.2	상시계측 데이터 기반 생애주기 성능 및 비용평가 반영 구조물 유지관리 기술
3.2.3	콘크리트 중성화 측정 자동화 장치 및 대상 부재 내구성 등급화 기술 개발
3.2.4	비접촉 센싱 기반 자율주행 무인체와 연계한 시설물 유비쿼터스 모니터링 기술 및 유지관리 시스템 개발
3.2.5	무인체를 이용한 수리시설물(관로 및 수로터널) 부단수 원격 진단 기술
3.2.6	구조물 안전 진단을 위한 deep learning 기반 sensor stream data 분석 기술
3.2.7	유무인 기반 진단 데이터 통합형 Auto Reporting 기술 개발
3.2.8	무인검사체 기반 구조물 변위 진단기술 개발
3.2.9	무인체를 활용한 대형 SOC 시설물 취약부위 중점 유지관리 기술 개발
3.2.10	촬영된 구조물 영상의 특성점 분석을 통한 진단위치 저장 및 확인 기술
3.2.11	무인 촬영 영상과 상시계측 정보를 활용한 Auto-grading 기술 개발
3.2.12	Data fusion framework to integrate huge amounts of heterogeneous data for robust condition assessment of civil infrastructure systems
3.3.1	비접촉 센싱 기반 자율주행 무인체를 활용한 지하매설관 모니터링 시나리오 개발
3.3.2	무인체 기반 역설계 및 BIM을 활용한 노후 시설물 실시간 성능 평가 기술
3.3.3	무인체 기반 수집 데이터의 시설물 종류/형식별 통합 관리 표준 코드 체계 개발
3.3.4	시설물별, 구조형식별 무인검사체 기반 점검 매뉴얼 마련
3.3.5	무인체 기반 대형 SOC 시설물 통합 유지관리 운영 시스템 개발
3.3.6	Cloud computing 서비스 Platform을 이용한 통합관리 시스템 개발

3.4.2 기술수준 · 예측 조사

1) 목적 및 절차

■ 기술수준 · 예측 조사의 목적

- 앞서 수립된 기술분류체계에 대하여 관련 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술혁신 동향을 정량적으로 평가하여 과제우선 후보과제 Pool을 구성할 때 참고자료로 활용하는 것을 목적으로 함

- 산, 학, 연 전문가들을 대상으로 관련 기술의 실현시기, 기술수준, 기술성숙도(TRL) 단계, 중요도 등을 조사하였음

■ 기술수준 · 예측 조사의 절차

- 기술수준 · 예측 조사는 조사 설계, 조사 수행, 조사 결과 분석, 조사 결과 활용 순으로 추진되었음

- 조사 설계 단계에서는 기술수준 · 예측 조사서 항목을 결정하고 대상 전문가를 설정하였음. 이때, 전문가들의 이해를 돕기 위해 앞서 수립된 기술분류체계 및 기술내용에 대한 정보를 함께 제공하였음

- 세부 기술분야별 최고기술보유국과 국내의 기술적/사회경제적 기술실현시기, 최고기술보유국 대비 국내 기술수준, 기술격차 및 년수, TRL, 인프라 성숙도, 기술적 중요도, 기술획득방식, 정부우선시행방안 등을 조사항목으로 설정하였음

- 조사 수행단계에서는 대상 전문가들에게 이메일로 조사서를 발송하고 회신하며, 2회에 걸친 Mini-델파이 방법을 활용하였음

- 2차 조사에서는 응답자별로 본인이 1차 응답결과와 전체 조사대상자 응답 통계자료를 함께 제공하고, 통계자료 확인 후 1차 응답결과를 수정할 수 있도록 하여 조사항목별로 전문가들의 합의를 유도하였음

- 2차 응답결과 중, 양 극단값을 평가한 응답자의 응답결과를 배제한 값의 평균치를 최종 결과값으로 설정하였음

- 조사 결과 분석 단계에서는 기술분류체계별 조사 결과에 대한 통계분석과 기술수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도의 포트폴리오 분석을 수행하였음

- 결과활용단계에서는 분석결과를 기반으로 후보과제 Pool을 구성할 때 참고자료로 활용하였음

■ 기술수준 · 예측 조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	1차: 2015년 11월 10일~27일 (18일간) 2차: 2015년 11월 30일~12월 4일 (5일간)
조사방법	이메일을 통한 설문조사
조사대상	내부 기획연구진, 전문가 79인
응답률	42인의 전문가로부터 회신 (53.2% 응답률)

■ 기술수준 · 예측 조사 항목 설정

- 기술 실현시기

- '기술적 실현시기'는 해당기술의 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점임

- '사회경제적 실현시기'는 해당기술의 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점임

- 국내 기술수준 및 기술격차

- '국내 기술수준'은 현재 시점에서 해당기술의 최고기술보유국 대비 국내 기술수준이며 평가기준을 다음과 같음

기술수준	평가기준
100%	독보적 세계 최고
81% ~ 99%	기술 분야를 선도
61% ~ 80%	선진기술의 모방개량이 가능
41% ~ 60%	선진기술의 도입적용이 가능
1% ~ 40%	연구개발능력이 취약
0%	우리나라에서 관련 연구가 전혀 진행되고 있지 않음

- '기술격차'는 국내 기술수준이 세계최고기술에 도달하기까지 소요되는 시간(단위: 년)임

- '기술격차추세'는 세계 최고기술과 국내 기술수준 격차가 어떻게 변화하고 있는지를 나타내는 지표로 5점 척도로 평가하며 평가기준은 다음과 같음

구분	평가기준
5	최고기술과 기술격차가 “빠르게 확대 중”
4	최고기술과 기술격차가 “확대 중”
3	최고기술과 기술격차가 “유지되고 있음”
2	최고기술과 기술격차가 “축소 중”
1	최고기술과 기술격차가 “빠르게 축소 중”

- 기술성숙도(TRL)

- ‘기술성숙도(TRL)’는 현재 시점에서 해당기술의 국내외 기술성숙도를 나태는 지표임이며, 평가기준은 다음과 같음

TRL 단계	평가기준
1단계	기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계
2단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계
3단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계
4단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계
5단계	확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
6단계	파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
7단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이뤄지는 단계
8단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계
9단계	사업화가 완료된 단계

- 최고기술 보유국

- ‘최고기술 보유국’은 현재 시점에서 해당기술의 최고기술을 보유한 국가임

- 기술기반 성숙도

- ‘기술기반 성숙도’는 현재 시점에서 해당 기술과 관련된 국내 산업/기술 연구인력, 장비 등 인프라 구축을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시되며 평가 기준은 다음과 같음

구분	평가기준
5	세계선도 연구인력 및 장비 등 확보
4	최고기술보유국과 동등한 수준
3	최고기술보유국보다 낮지만 자체연구개발 수행가능 인력 장비 확보
2	국내 관련 연구인력, 장비가 매우적어 해외협력연구가 필요한 수준
1	국내 관련 연구인력, 장비 인프라 전무

• 기술적 중요도

- ‘기술 핵심성’은 해당기술이 본 기획과제 내에서 차지하는 상대적인 중요도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시되며, 평가기준은 다음과 같음

구분	평가기준
5	해당 기술이 본 기획과제 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 높음
4	해당 기술이 본 기획과제 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 높음
3	해당 기술이 본 기획과제 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 보통임
2	해당 기술이 본 기획과제 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 낮음
1	해당 기술이 본 기획과제 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 낮음

- ‘시급성’은 해당 기술이 적정 수준을 구현해야 하는 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시되며 평가기준은 다음과 같음

구분	평가기준
5	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 매우 시급함
4	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급함
3	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급한 정도가 보통임
2	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급하지 않음
1	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 전혀 시급하지 않음

- ‘과학기술력 파급효과’는 해당 기술이 타 요소기술 개발에 미치는 영향력을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시되며 평가기준은 다음과 같음

구분	평가기준
5	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 높음
4	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 높음
3	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 보통임
2	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 낮음
1	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 낮음

- 기술획득방식

- '기술획득방식'은 해당 기술의 기술개발을 위해 적합한 연구 주체를 나타내며 아래 4개 항목 중 하나를 선택하게 하도록 함

구분		평가기준
자체 개발	민간	▪ 기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 바람직함
	정부	▪ 기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연연구소 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 바람직함
	공동	▪ 정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직함
기술도입 및 국제공동연구		▪ 국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감할 수 있어 독자적 개발보다는 국제공동개발 또는 해외 기술을 도입하는 것이 바람직함

- 정부우선시행방안

- '정부우선시행방안'은 해당 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 정책을 의미하며 아래 5개 항목의 중요도 비중을 조사함

구분	평가기준
인력양성	▪ 해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류 활성화	▪ 기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라구축	▪ 기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비확대	▪ 기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도개선	▪ 규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

2) 기술수준 · 예측 조사 결과

■ 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술

구분		1.1 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술	1.2 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술	1.3 자동 항법 및 운행 기술
기술수준(%)		72.5	72.8	70.0
기술격차(년)		3.8	4.2	4.3
기술적중요도(5점척도)		4.3	4.4	4.4
시급성(5점척도)		4.3	4.2	4.4
파급효과(5점척도)		3.8	4.3	4.4
기술적 실현시기(년)	최고기술국	`17	`16	`18
	국내	`20	`20	`21
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	`18	`18	`19
	국내	`22	`22	`23
기술획득 방식(%)	민간	11.2%	0.0%	0.0%
	정부	44.4%	37.5%	42.9%
	정부/민간 공동	44.4%	50.0%	57.1%
	기술도입 및 국제공동연구	0.0%	12.5%	0.0%
정부우선 시행방안(%)	인력양성	11.1%	11.8%	0.0%
	협력교류 활성화	22.2%	35.3%	20.0%
	인프라구축	11.1%	11.8%	20.0%
	연구비 확대	33.4%	35.3%	40.0%
	제도개선	22.2%	5.8%	20.0%

■ 2세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술

구분		2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술	2.2 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술	2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술
기술수준(%)		67.8	72.5	63.6
기술격차(년)		5.2	4.8	6.0
기술적중요도(5점척도)		3.4	3.5	3.7
시급성(5점척도)		3.6	3.5	3.6
파급효과(5점척도)		3.8	3.8	4.0
기술적 실현시기(년)	최고기술국	`17	`17	`16
	국내	`22	`22	`21
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	`19	`20	`19
	국내	`24	`25	`23
기술획득 방식(%)	민간	10.0%	0.0%	0.0%
	정부	40.0%	33.3%	42.9%
	정부/민간 공동	40.0%	66.7%	57.1%
	기술도입 및 국제공동연구	10.0%	0.0%	0.0%
정부우선 시행방안(%)	인력양성	4.5%	20.0%	17.6%
	협력교류 활성화	40.9%	26.7%	29.4%
	인프라구축	22.8%	13.3%	11.8%
	연구비 확대	27.3%	26.7%	29.4%
	제도개선	4.5%	13.3%	11.8%

■ 3세부: 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

구분		3.1 IoT/ BIM/ 클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술	3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술	3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립
기술수준(%)		69.2	64.4	62.4
기술격차(년)		4.9	4.6	5.1
기술적중요도(5점척도)		4.1	4.1	4.1
시급성(5점척도)		3.7	4.1	4.1
파급효과(5점척도)		4.2	4.1	4.0
기술적 실현시기(년)	최고기술국	17	18	18
	국내	21	21	21
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	19	20	20
	국내	23	23	23
기술획득 방식(%)	민간	5.3%	0.0%	0.0%
	정부	15.8%	37.5%	73.7%
	정부/민간 공동	73.6%	50.0%	21.1%
	기술도입 및 국제공동연구	5.3%	12.5%	5.3%
정부우선 시행방안(%)	인력양성	21.4%	7.7%	11.1%
	협력교류 활성화	19.0%	21.2%	13.9%
	인프라구축	23.8%	19.2%	22.2%
	연구비 확대	31.0%	36.5%	22.2%
	제도개선	4.8%	15.4%	30.6%

3) 기술수준 · 예측 조사 분석

■ 총괄

- 전체 기술 관점에서 최고기술 보유국은 국내보다 약 4년 앞서 기술이 실현될 것으로 보이며, 이후 약 2~3년 정도의 격차를 두고 사회경제적으로 실현될 것으로 예측됨

- 최고기술국의 기술적 실현시기는 2~3년 내에 모두 이루어질 것으로 예측되며 이는 국내보다 약 4년 앞서는 것임

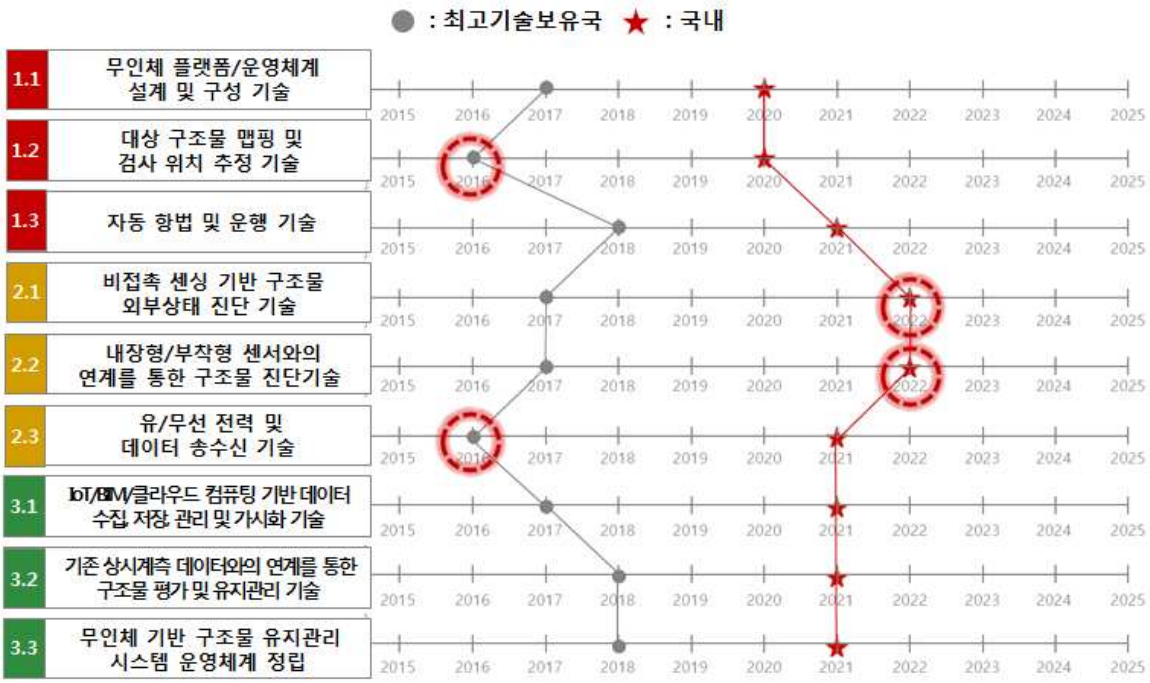
[그림 3.8] 기술적 실현시기 예측 결과

- 최고기술국의 사회경제적 실현시기는 2019년 전후, 국내는 2023년 전후로 예측되며 기술적 실현 이후 상용화까지는 국내·외 모두 약 2년 정도 소요되는 것으로 예측됨

[그림 3.9] 사회경제적 실현시기 예측 결과

■ 기술적 실현시기

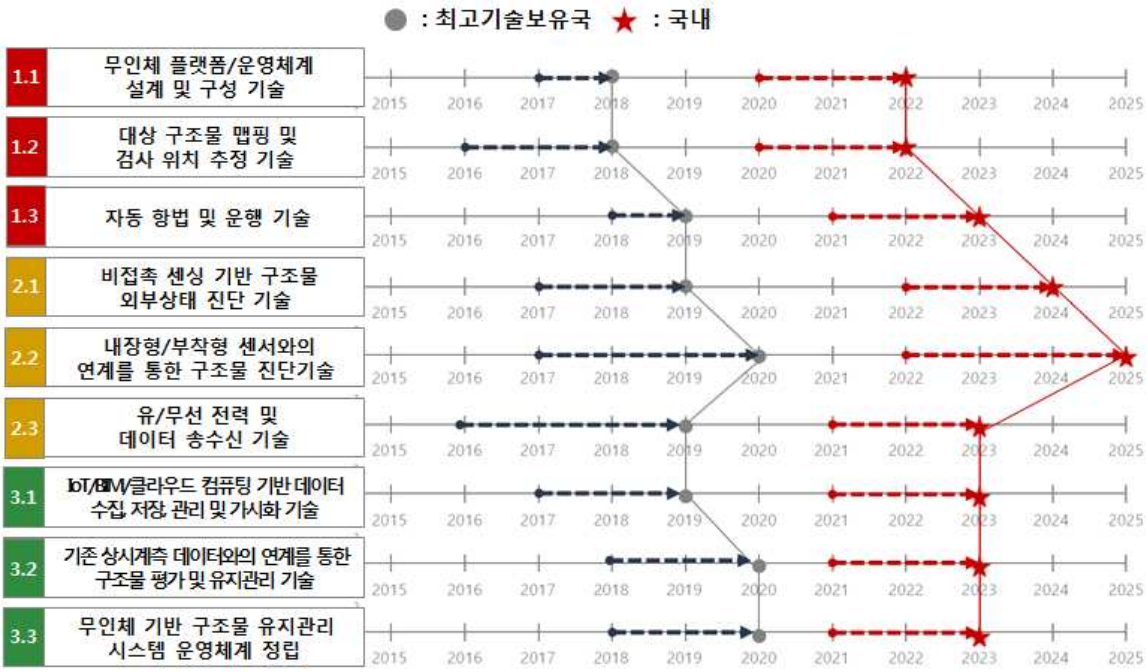
- 최고기술 보유국은 빠르면 2016년에 기술적 실현이 이루어질 것으로 예측되었으며, 국내는 2020년~2022년에 각 기술의 기술적 실현이 이루어질 것으로 예측됨
- 대상구조물 맵핑 및 검사위치 추정기술, 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술의 경우 최고기술 보유국에서는 가까운 시일 내에 기술적 실현이 이루어 질 것으로 나타남
- 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단기술, 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술의 경우 국내에서는 전체 기술분야 중 가장 늦게 기술적 실현이 이루어 질것으로 나타남



[그림 3.10] 기술적 실현시기 예측 결과

■ 사회경제적 실현시기

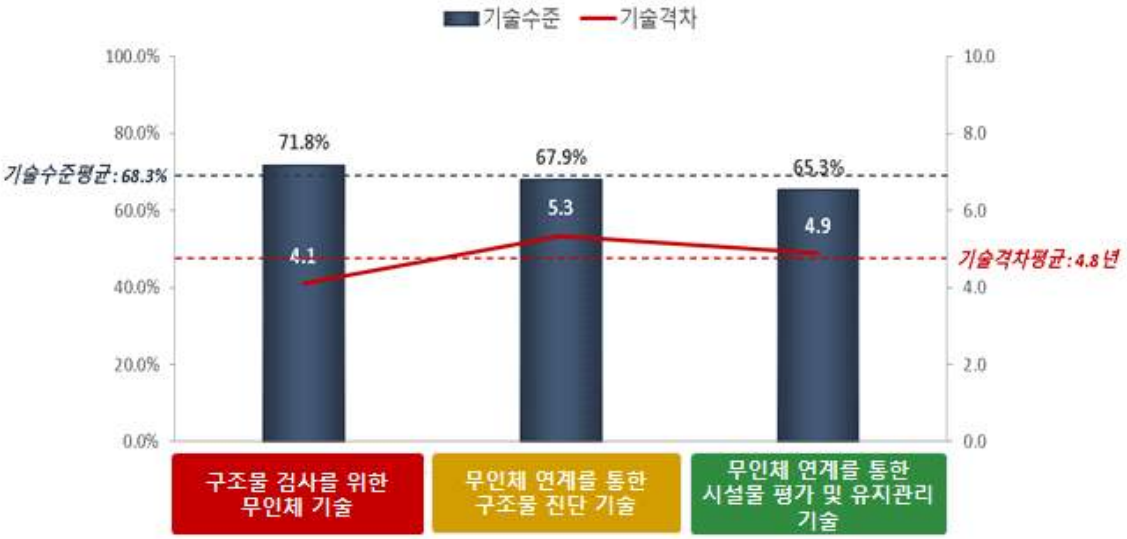
- 세부 기술분야별로 최고기술 보유국은 기술적 실현 이후 상용화까지 짧게는 1년에서 3년 정도 소요되며, 국내의 경우 대부분 2년정도 소요되는 것으로 예측됨
- 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성기술, 자동항법 및 운행기술의 경우 최고기술 보유국에서는 상용화 기간이 약 1년으로 예측됨
- 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술의 경우 국내외 모두 상용화 기간이 약 3년으로 예측되며, 이를 단축할 경우 국내외 격차를 줄일 수 있을 것으로 분석됨
- 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술의 경우 해외 상용화 기간(3년)보다 국내 상용화 기간(2년)이 짧게 예측됨



[그림 3.11] 사회경제적 실현시기 예측 결과

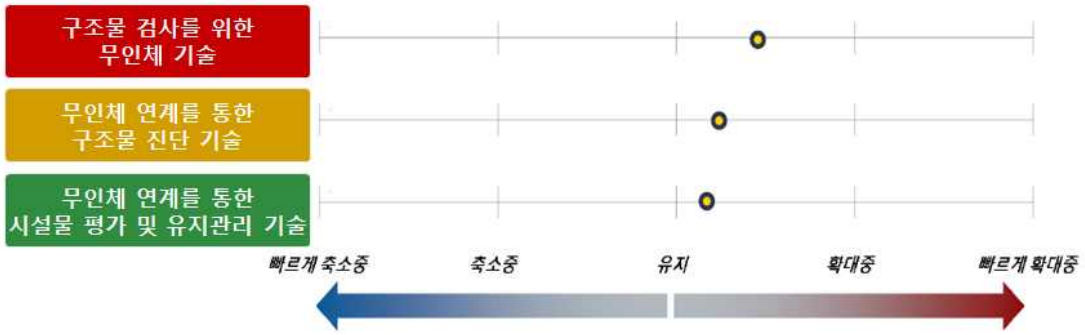
■ 기술수준 및 기술격차

- 관련 기술의 기술수준 평균은 68.3%, 기술격차 평균은 4.8년임
- ‘1세부. 구조물 검사를 위한 무인체 기술’은 기술격차가 4.1년으로 타 기술 대비 가장 작은 것으로 나타남
- ‘2세부. 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술’은 기술격차가 5.3년으로 타 기술 대비 가장 큰 것으로 나타남
- ‘3세부. 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술’은 상대적으로 기술수준이 가장 낮으나 기술격차의 확대 추세는 비교적 큰 것으로 나타남



[그림 3.12] 세부별 기술수준 및 기술격차

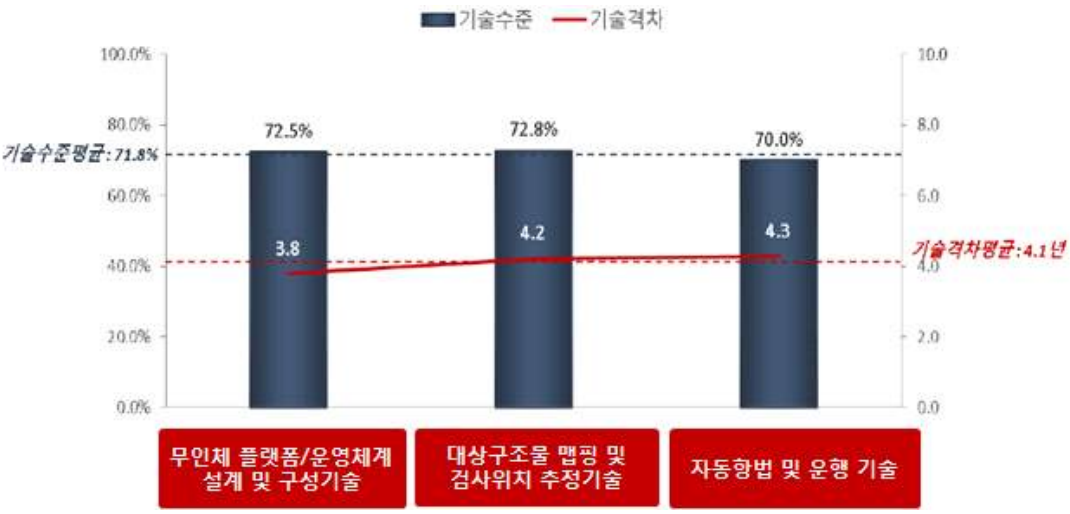
- 관련 기술의 기술격차는 조금씩 확대 중인 것으로 나타나며 ‘1세부. 구조물 검사를 위한 무인체 기술’이 상대적으로 가장 빠른 속도로 확대되고 있음



[그림 3.13] 세부별 기술격차 추세

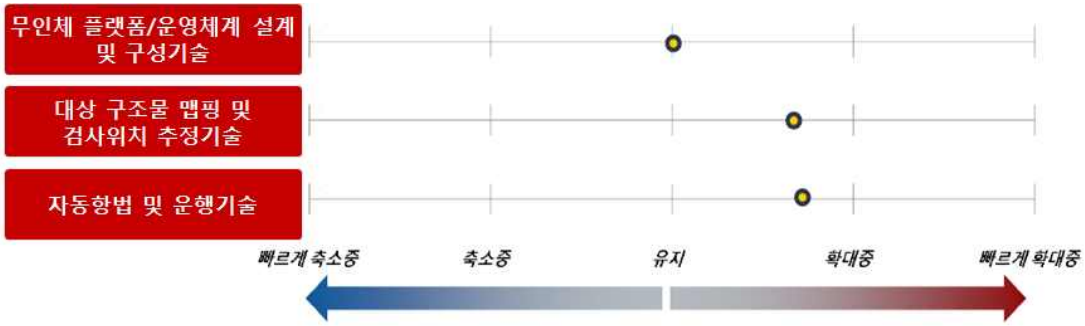
■ 구조물 검사를 위한 무인체 기술

- 기술수준 평균은 71.8%, 기술격차 평균은 4.1년임
- 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술은 기술수준이 72.5%로 상대적으로 높은 편이며, 기술격차가 3.8년으로 가장 낮은 것으로 나타남
- 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술은 기술수준이 72.8%로 상대적으로 가장 높으나, 기술격차가 4.2년으로 비교적 크게 나타남
- 자동 항법 및 운행 기술은 기술수준이 70.0%로 상대적으로 가장 낮으며, 기술격차도 4.3년으로 가장 크게 나타남



[그림 3.14] 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 기술수준 및 기술격차

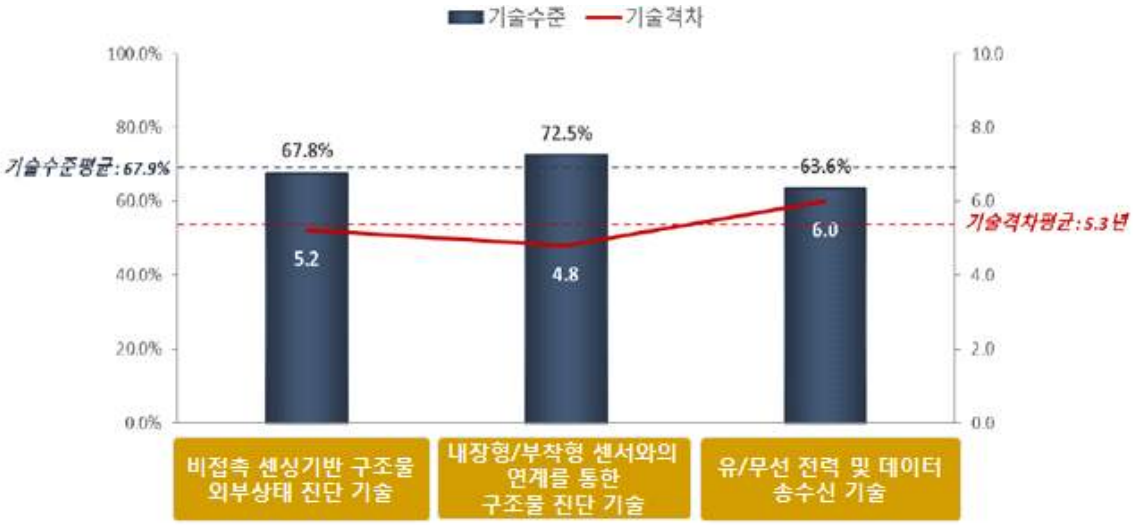
- 구조물 검사를 위한 무인체 기술은 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술을 제외한 모든 기술의 격차가 확대 중인 것으로 나타남
- 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술은 기술격차가 유지되는 것으로 나타났으며, 그 외의 기술은 기술격차가 점차 확대 중인 것으로 나타남



[그림 3.15] 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 기술격차 추세

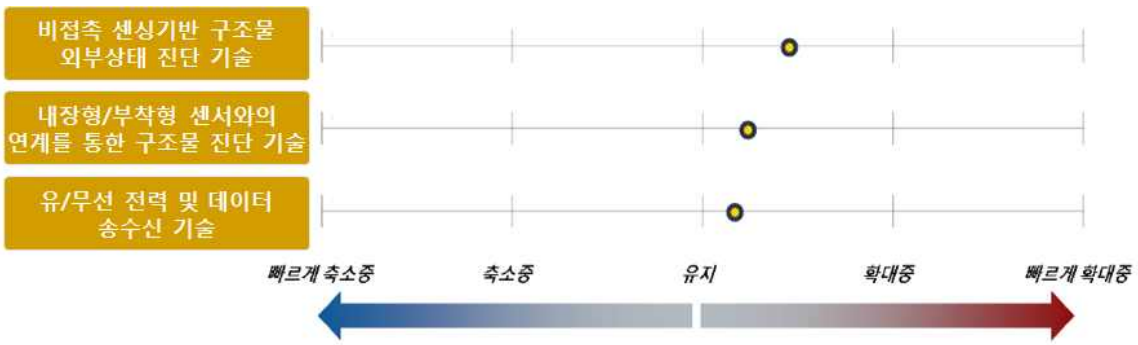
■ 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술

- 기술수준 평균은 67.9%, 기술격차 평균은 5.3년임
- 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술의 기술수준은 67.8%, 기술격차는 5.2년으로 평균 수준으로 나타남
- 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술은 기술수준이 72.5%로 상대적으로 가장 높고 기술격차가 4.8년으로 가장 낮음
- 유무선 전력 및 데이터 송수신 기술은 기술수준이 63.6%로 상대적으로 가장 낮고 기술격차가 6.0년으로 가장 높음



[그림 3.16] 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 기술수준 및 기술격차

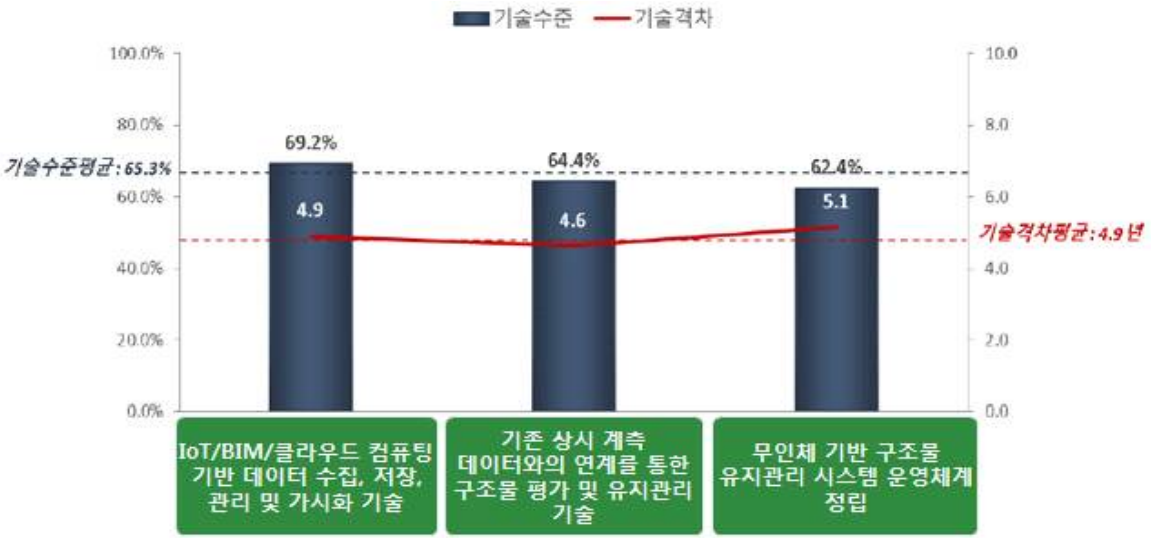
- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술은 모든 기술의 기술격차 추세가 확대중인 것으로 나타남
- 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술의 기술격차가 가장 빠르게 확대중이며, 그 외 기술들도 기술격차가 조금씩 확대 추세인 것으로 나타남



[그림 3.17] 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 기술격차 추세

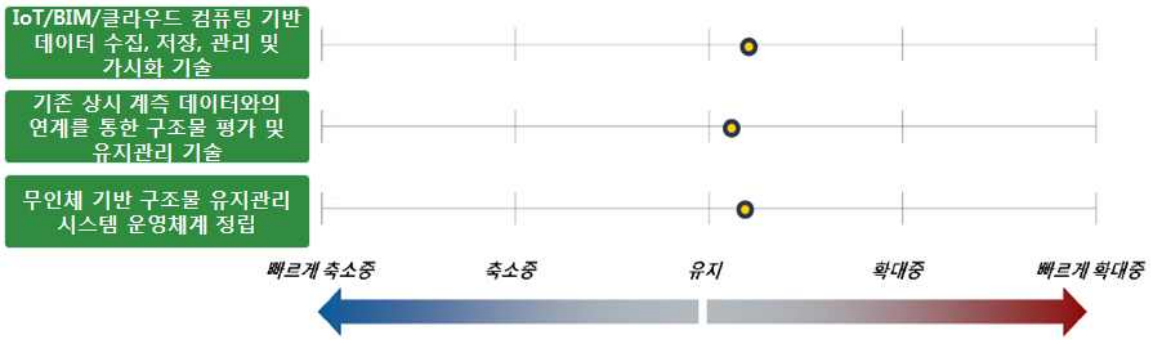
■ 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

- 기술수준 평균은 65.3%, 기술격차 평균은 4.9년임
- IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술은 기술수준이 69.2%로 상대적으로 가장 높은 것으로 나타남
- 기존 상식계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술은 기술격차가 4.6년으로 가장 낮음
- 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립은 기술수준이 62.4%로 상대적으로 가장 낮고 기술격차가 5.1년으로 가장 높은 것으로 나타남



[그림 3.18] 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술의 기술수준 및 기술격차

- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술은 모든 기술의 기술격차 추세가 확대중인 것으로 나타남
- 기존 상식계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술이 상대적으로 가장 양호하지만, 세 기술의 격차 추세에 큰 차이는 없음



[그림 3.19] 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술의 기술격차 추세

■ 총괄 기술성숙도(TRL)

- 국외 TRL은 6~7단계, 국내는 4단계에 있는 것으로 나타났으며, 향후 TRL 성과달성을 통한 계량적 평가 시 활용할 수 있음
- 국내의 TRL단계는 4단계로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되고 있는 것으로 나타남
- 현재 국외의 경우 파일럿 규모의 시작품 제작단계가 완료되고 있는 것으로 분석되었으며, 향후 이를 고려한 기술개발 종료시점의 TRL 설정이 필요함

[그림 3.20] 총괄 TRL 단계

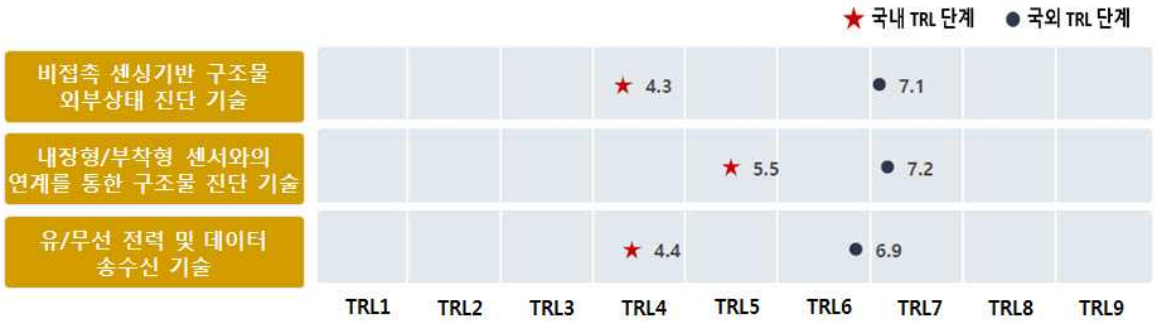
■ 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 TRL

- 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 국외 TRL은 6단계, 국내는 4단계에 있는 것으로 나타남
- 국내 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 TRL단계는 4단계로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행 중임
- 국외 구조물 검사를 위한 무인체 기술은 대부분 6단계로 파일럿 규모의 시작품 제작단계에 있음

[그림 3.21] 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 TRL 단계

■ 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 TRL

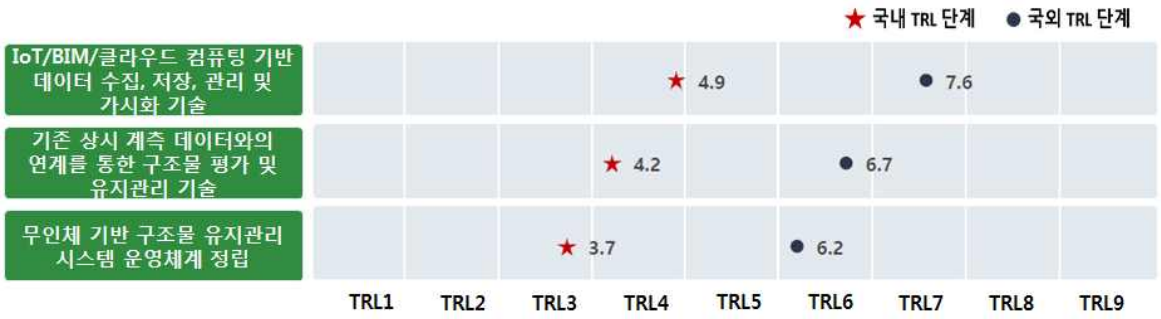
- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 국외 TRL은 6~7단계, 국내는 4~5단계에 있는 것으로 나타남
- 국내 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 TRL단계는 4~5단계로 실험실 규모의 핵심성능평가 및 확정된 시스템의 시작품 제작/성능평가가 수행되고 있음
- 국외 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술은 6~7단계로 신뢰성/수요기업 평가 단계로 접어들고 있음



[그림 3.22] 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 TRL 단계

■ 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술의 TRL

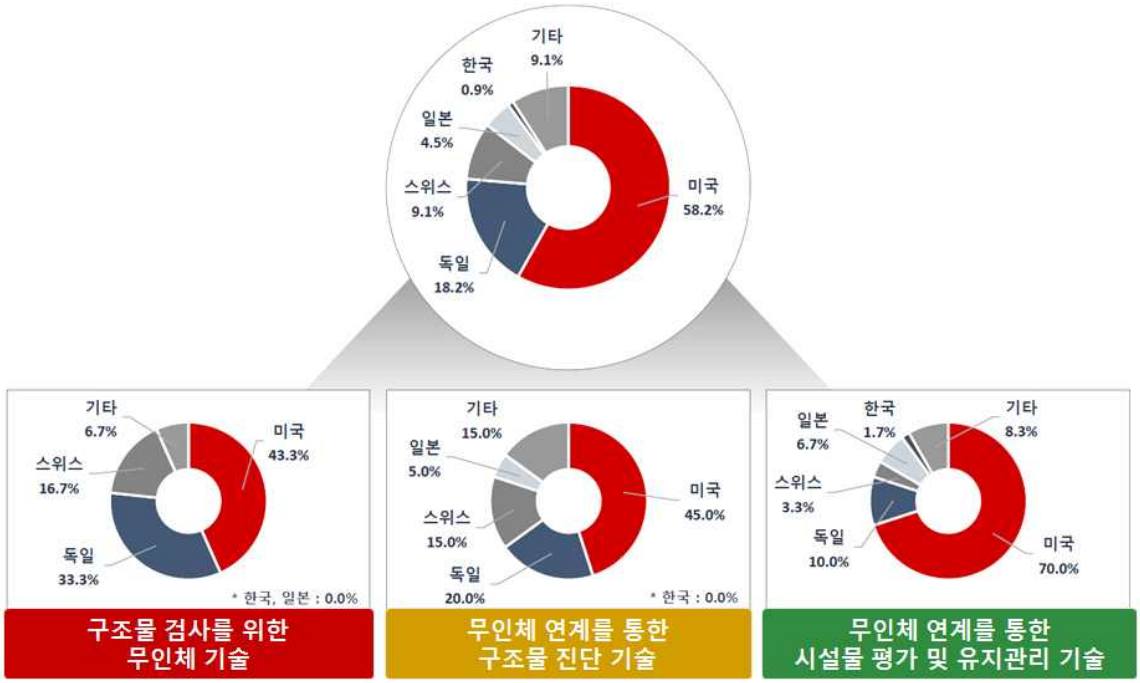
- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술의 국외 TRL은 6~7단계, 국내는 3~4단계에 있는 것으로 나타남
- 국외의 경우 IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술의 TRL단계가 7단계로 전체 기술분야 중 가장 앞선 것으로 조사됨
- 국내의 경우 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립기술의 TRL 단계 3단계로 전체 기술분야 중 가장 낮은 것으로 조사됨



[그림 3.23] 무인체 연계를 통한 구조물 시설물 평가 및 유지관리 기술의 TRL 단계

■ 기술의 최고기술보유국

- 최고기술보유국을 조사한 결과 미국(58.7%)이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타났으며, 그 이외에 독일(18.3%), 스위스(9.2%)순으로 조사됨



* 기타국가로는 중국, 스페인, 네덜란드, 영국 등이 있음

[그림 3.24] 기술의 최고기술보유국 비중 조사 결과

- 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국(43.3%)이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타났으며, 그 이외에 독일(33.3%), 스위스(16.7%) 순으로 조사됨. 상세 조사결과는 아래와 같음

중분류	최고기술보유국(비중, %)								
	미국	독일	스위스	일본	한국	중국	스페인	네덜란드	영국
1.1 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술	38.5	38.5	15.3	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0
1.2 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술	37.5	50.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.3 자동 항법 및 운행 기술	55.6	11.1	22.2	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0

- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국(47.4%)이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타났으며, 그 이외에 독일(21.1%), 스위스(15.8%), 일본(5.3%) 순으로 조사됨. 상세 조사결과는 아래와 같음

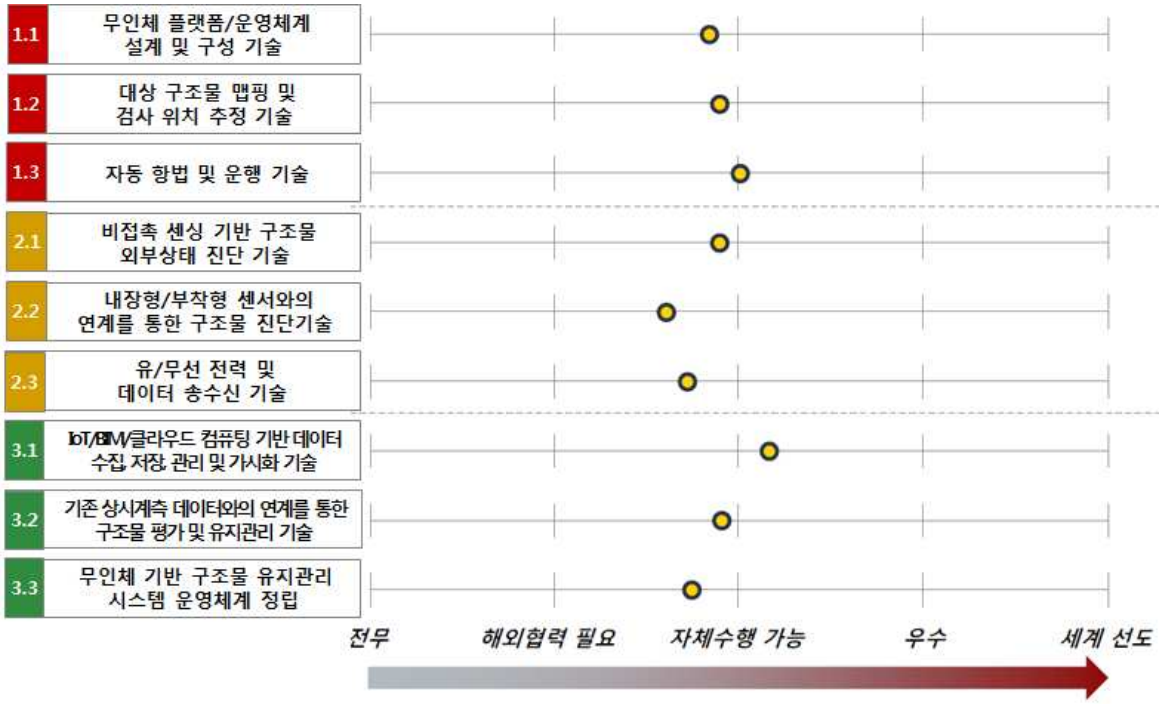
중분류	최고기술보유국(비중, %)								
	미국	독일	스위스	일본	한국	중국	스페인	네덜란드	영국
2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술	25.0	37.5	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5
2.2. 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술	40.0	20.0	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0
2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술	83.3	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국(70.0%)이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타났으며, 그 이외에 독일(10.0%), 일본(6.7%) 순이며, 한국도 1.7%로 조사됨. 상세 조사결과는 아래와 같음

중분류	최고기술보유국(비중, %)								
	미국	독일	스위스	일본	한국	중국	스페인	네덜란드	영국
3.1 IoT/ BIM/ 클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술	76.5	11.8	5.9	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0
3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술	77.0	7.7	0.0	3.8	0.0	3.8	0.0	0.0	7.7
3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립	52.9	11.8	5.9	17.6	0.0	0.0	0.0	5.9	5.9

■ 기술기반(인프라) 성숙도

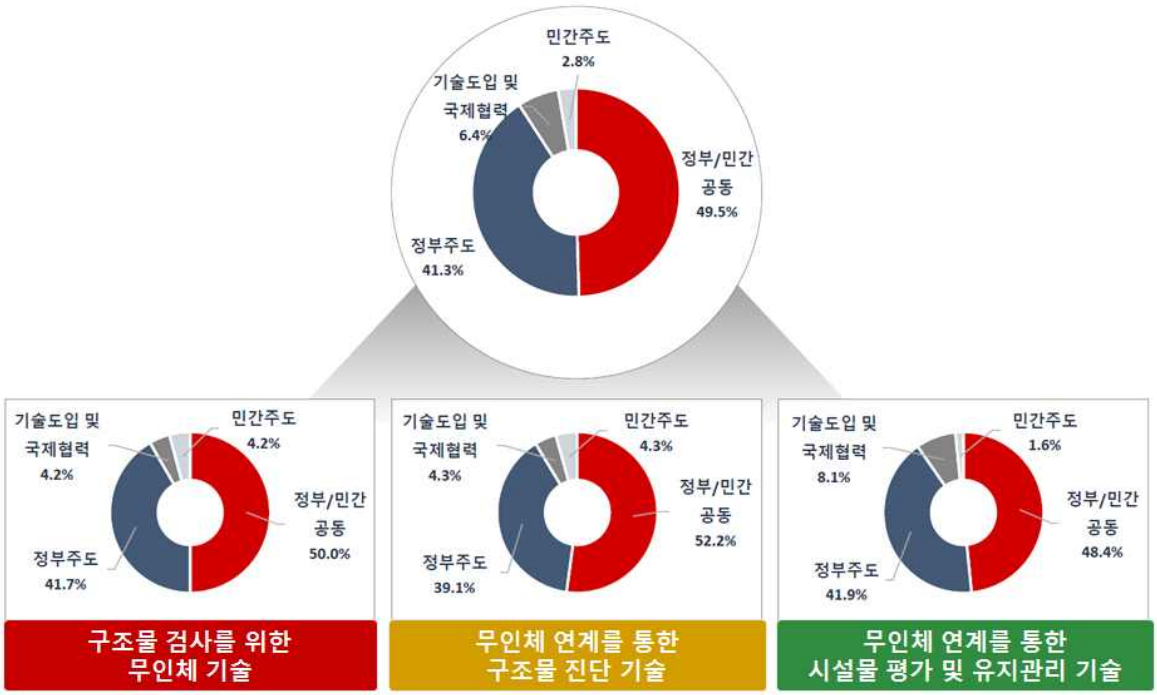
- 관련 기술들의 인프라(산업기술 연구인력, 장비 등) 성숙도 조사결과 대부분의 분야가 연구의 국내 자체수행이 가능한 것으로 나타남
- 구조물 검사를 위한 무인체 기술에서는 일부 해외협력이 필요한 부분이 있으나 대부분 자체수행이 가능함
- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술에서는 상대적으로 해외협력의 필요성이 높게 나타나고 있음
- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술은 대부분 자체수행이 가능하며, 일부 인프라가 우수한 부분이 있는 것으로 나타남



[그림 3.25] 기술기반 성숙도 분석 결과

■ 기술획득 방식

- 기술획득방식 조사 결과, 정부-민간 공동추진(49.5%), 정부주도추진(41.3%) 순으로 높게 나타났음



[그림 3.26] 기술획득방식 조사 결과

- 구조물 검사를 위한 무인체 기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(50.0%)의 중요성이 높은 것으로 나타남

중분류	기술획득방식			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
1.1 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술	11.2%	44.4%	44.4%	0.0%
1.2 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술	0.0%	37.5%	50.0%	12.5%
1.3 자동 항법 및 운행 기술	0.0%	42.9%	57.1%	0.0%

- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(52.2%)의 중요성이 높은 것으로 나타남

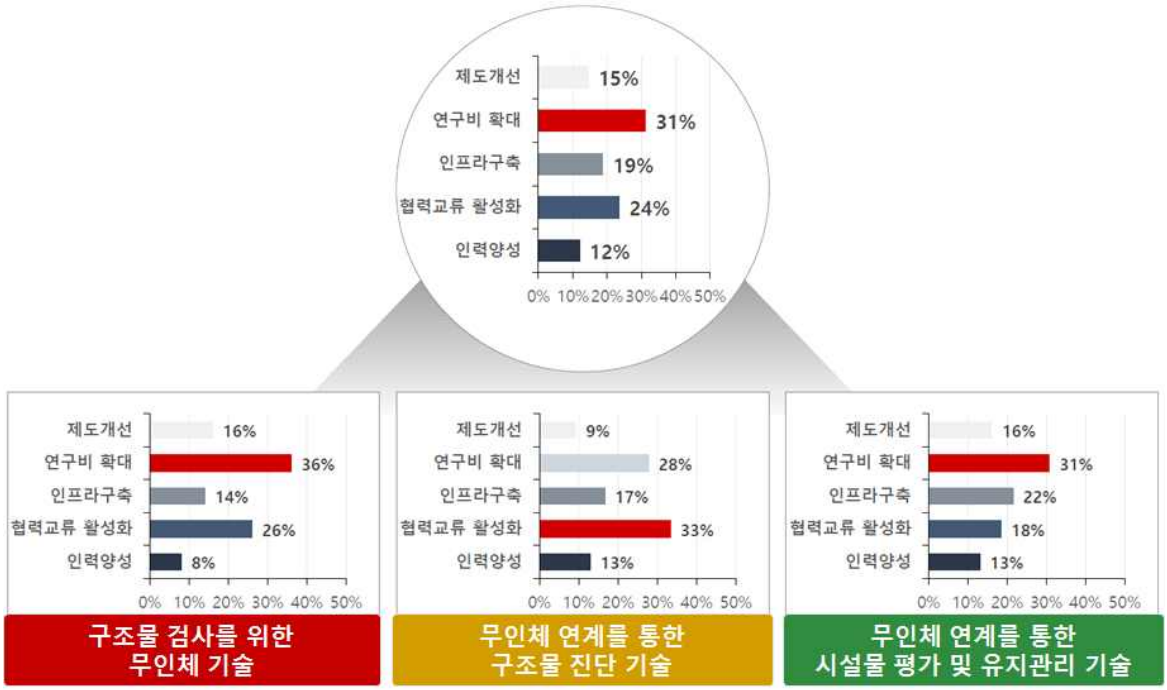
중분류	기술획득방식			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술	10.0%	40.0%	40.0%	10.0%
2.2. 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술	0.0%	33.3%	66.7%	0.0%
2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술	0.0%	42.9%	57.1%	0.0%

- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(48.4%)의 중요성이 높은 것으로 나타남

중분류	기술획득방식			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
3.1 IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술	5.3%	15.8%	73.6%	5.3%
3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술	0.0%	37.5%	50.0%	12.5%
3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립	0.0%	73.6%	21.1%	5.3%

■ 정부우선 시행방안

- 기술실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안으로는 연구비 확대(31%), 협력교류(24%), 인프라구축(19%)이 필요한 것으로 나타남. 연구비 확대 외에 “협력교류 활성화”의 이슈가 부각된 것은 기획 시 정부-수요처-기술개발자 등 이해관계자간의 협력 및 역할제시가 필요함을 의미함



[그림 3.27] 기술획득방식 조사 결과

- 구조물 검사를 위한 무인체 기술분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타나며 이는 모든 하위기술에 해당함. 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술 분야에서는 연구비 확대와 함께 협력교류 활성화의 중요성도 높게 조사되었음

중분류	정부 우선 시행방안				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
1.1 무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술	11.1%	22.2%	11.1%	33.4%	22.2%
1.2 대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술	11.8%	35.3%	11.8%	35.3%	5.8%
1.3 자동 항법 및 운행 기술	0.0%	20.0%	20.0%	40.0%	20.0%

- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 협력교류 활성화인 것으로 나타남. 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술과 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술 분야에서는 협력교류 활성화와 함께 연구비 확대의 중요성도 높게 조사되었음

중분류	정부 우선 시행방안				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술	4.5%	41.0%	22.7%	27.3%	4.5%
2.2. 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술	20.0%	26.7%	13.3%	26.7%	13.3%
2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술	17.6%	29.4%	11.8%	29.4%	11.8%

- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남. 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립 분야에서는 제도개선이 가장 우선적으로 시행해야 할 방안으로 조사되었음

중분류	정부 우선 시행방안				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
3.1 IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술	21.4%	19.0%	23.8%	31.0%	4.8%
3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술	7.7%	21.2%	19.2%	36.5%	15.4%
3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립	11.1%	13.9%	22.2%	22.2%	30.6%

■ 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

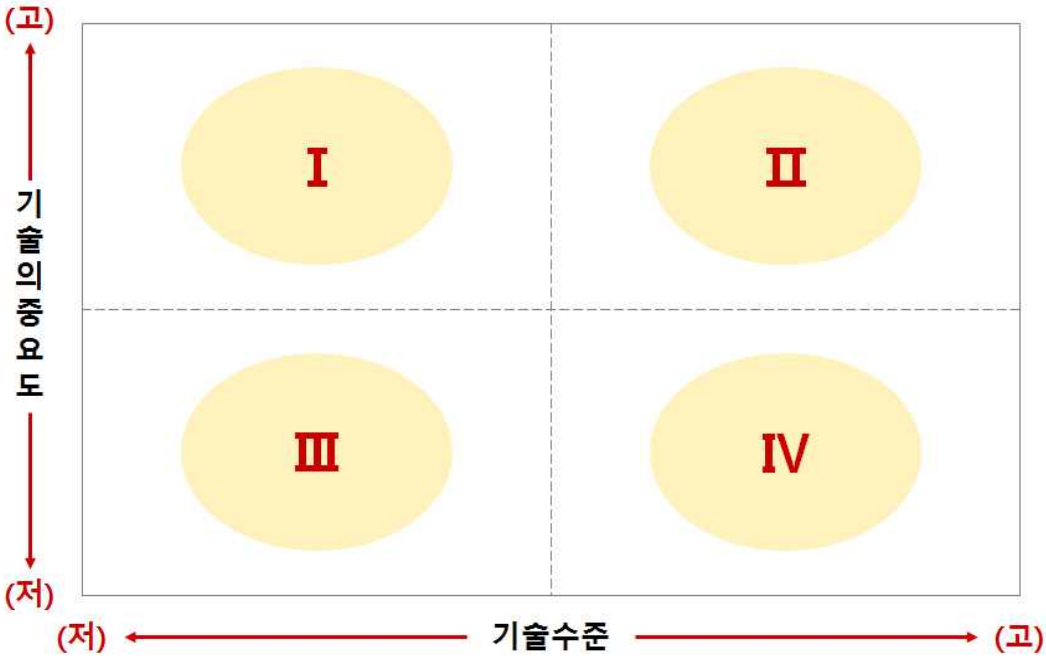
• 4분면별 전략은 기술 수준과 기술의 중요도를 축으로 함

- Ⅰ : 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야 하는 영역

- Ⅱ : 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역

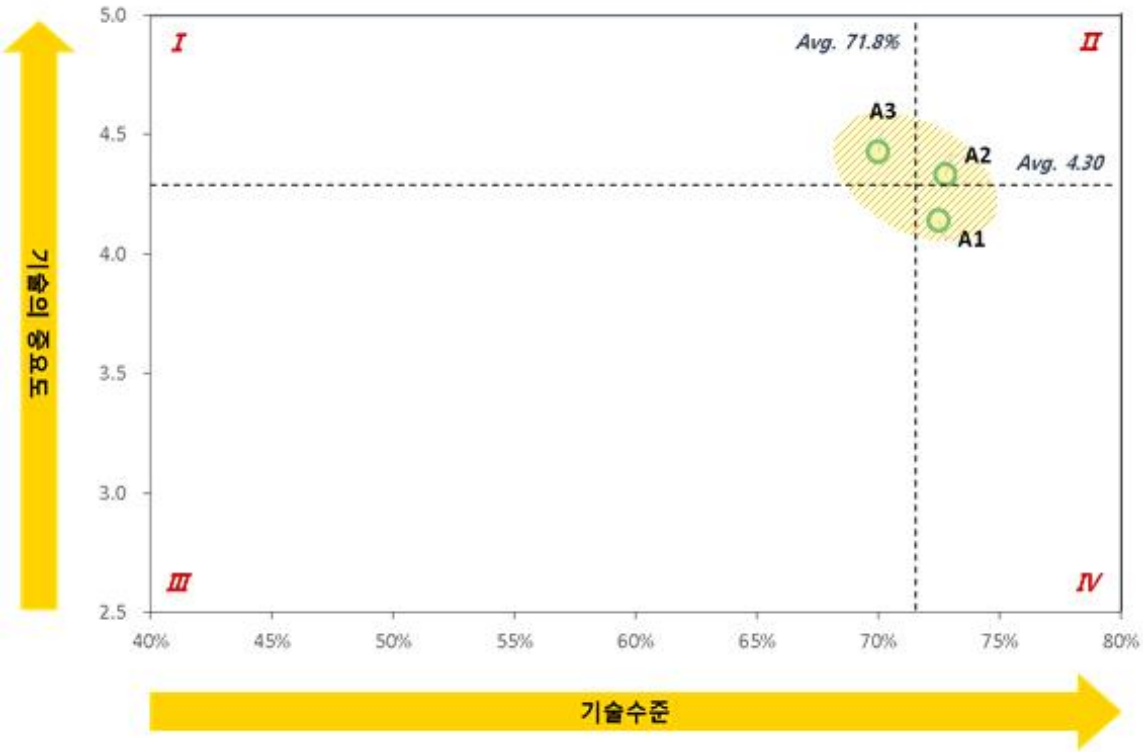
- Ⅲ : 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 영역

- Ⅳ : 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역



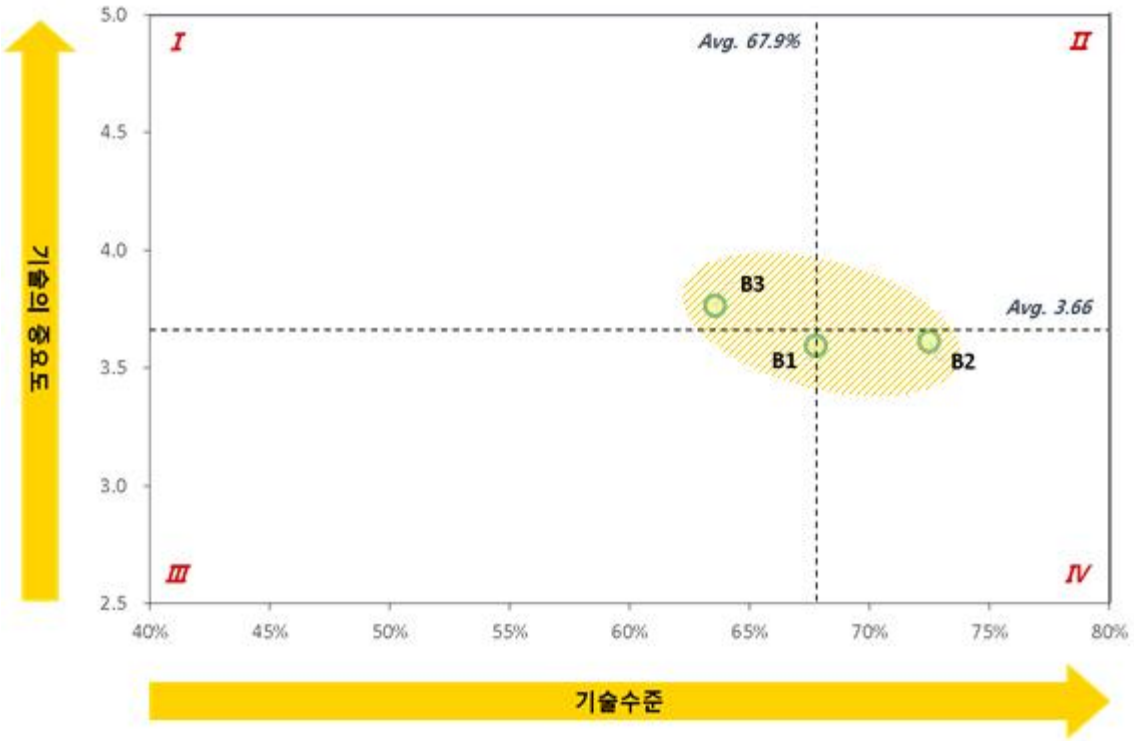
[그림 3.28] 기술수준-중요도 포트폴리오 영역구분

- 구조물 검사를 위한 무인체 기술 분야는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 Ⅰ, Ⅱ, Ⅳ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- A3(자동 항법 및 운행 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- A2(대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술)은 Ⅱ영역에 포함되어 더 넓은 시장창출을 위해 기술혁신을 추구해야 함
- A1(무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 함



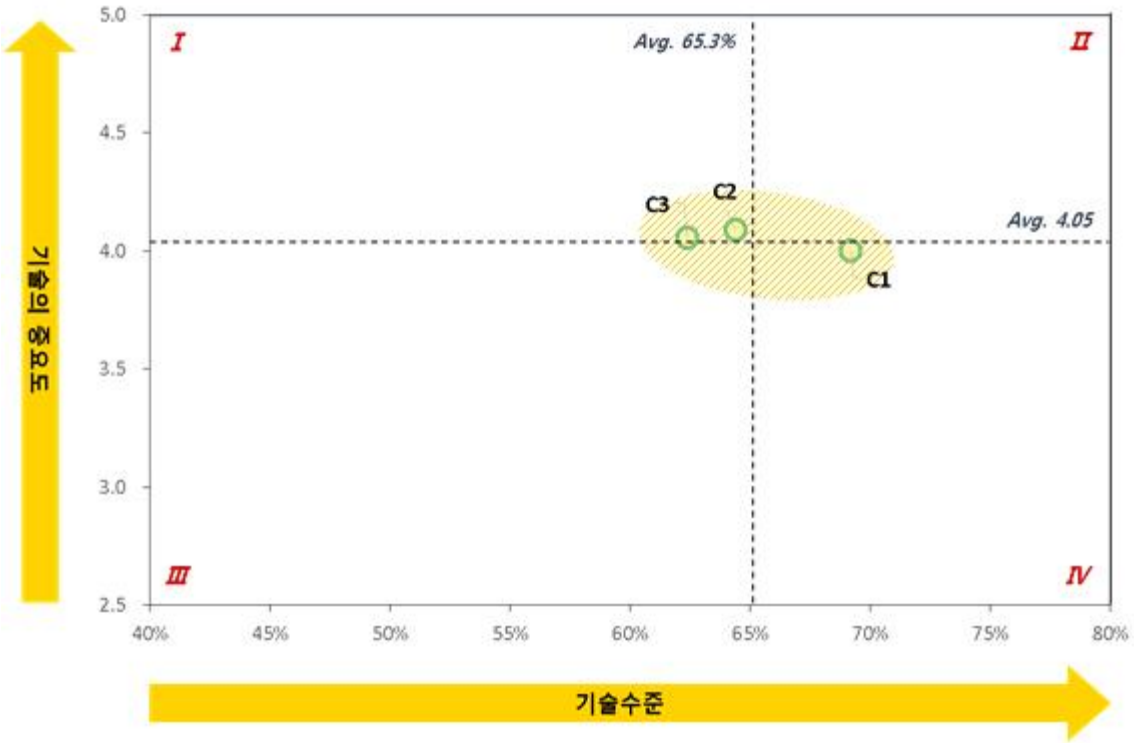
[그림 3.29] 구조물 검사를 위한 무인체 기술분야 기술수준-중요도

- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술 분야는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 Ⅰ, Ⅲ, Ⅳ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- B3(유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- B1(비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술)은 Ⅲ영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요함
- B2(내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술 시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 함



[그림 3.30] 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술분야 기술수준-중요도

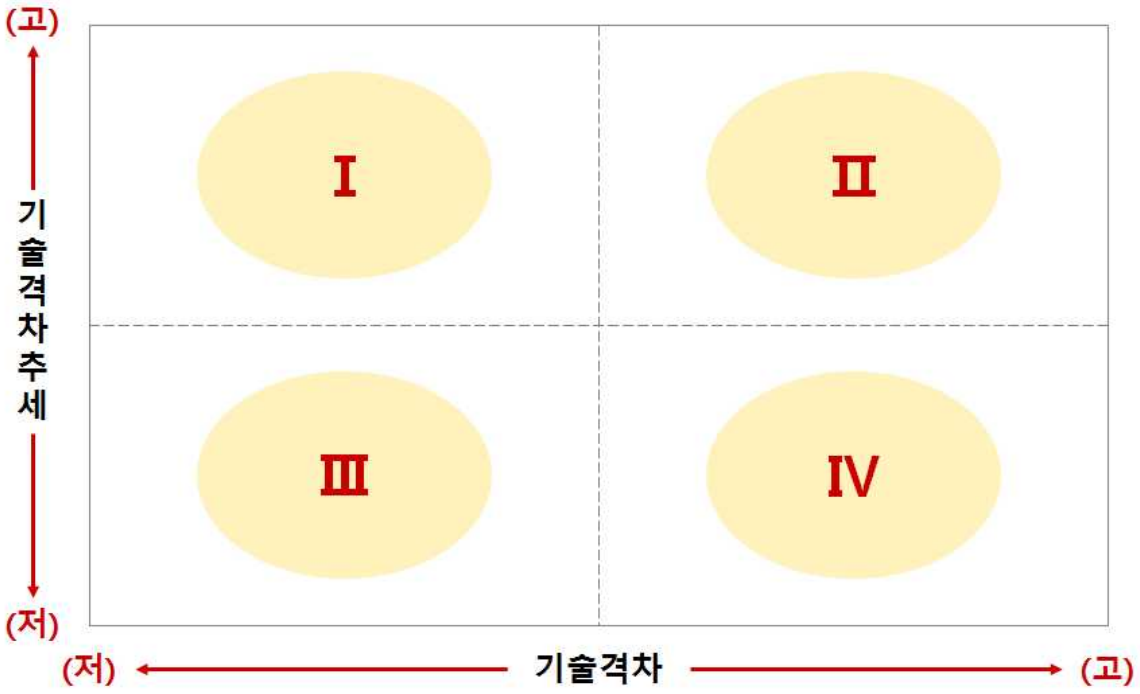
- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 분야는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 Ⅰ, Ⅳ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- C2(기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술), C3(무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립)은 Ⅰ영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- C1(IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심 기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 함



[그림 3.31] 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술분야 기술수준-중요도

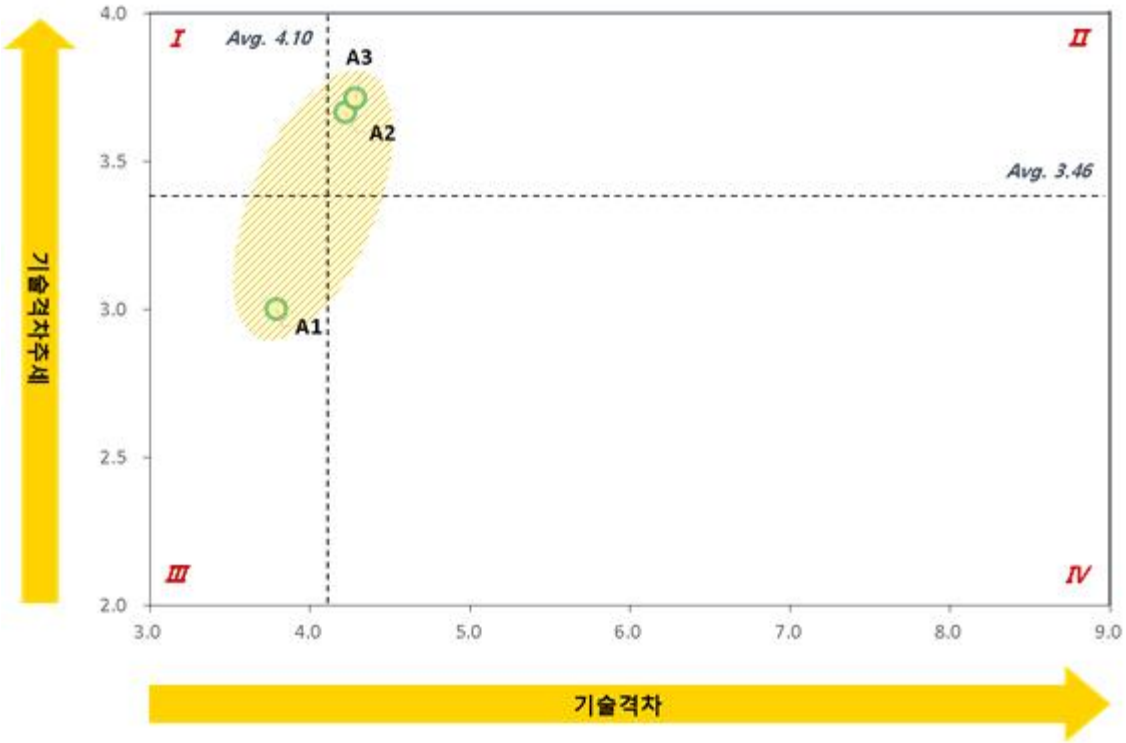
■ 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술격차추세와 기술격차를 축으로 함
- Ⅰ : 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역
- Ⅱ : 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역
- Ⅲ : 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역
- Ⅳ : 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역



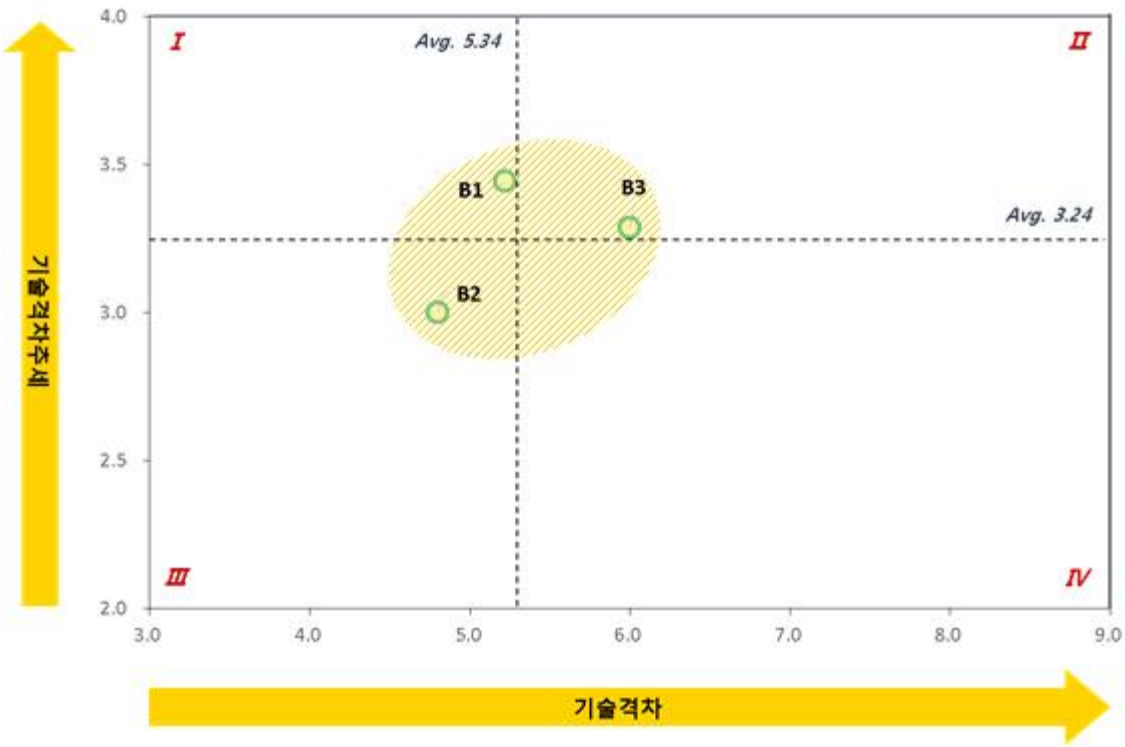
[그림 3.32] 기술격차-격차추세 포트폴리오 영역구분

- 구조물 검사를 위한 무인체 기술 분야는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 I, Ⅲ 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- A1(무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술)은 Ⅰ영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- A2(대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술), A3(자동 항법 및 운행 기술)은 Ⅱ영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함



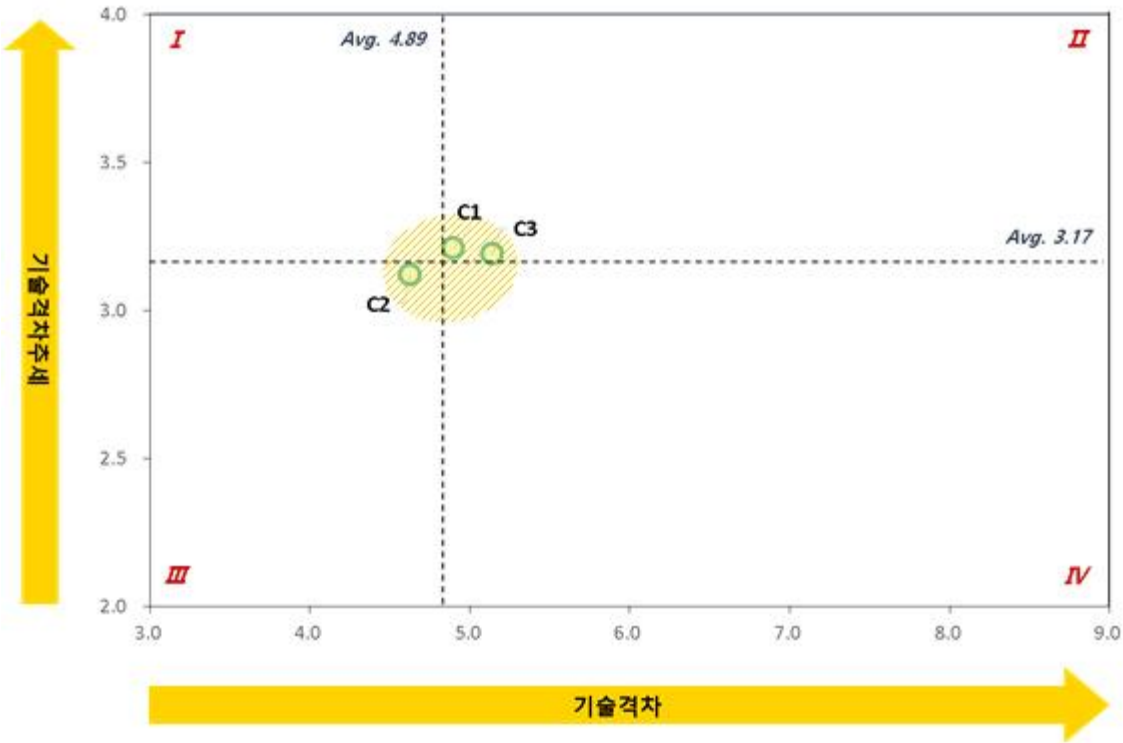
[그림 3.33] 구조물 검사를 위한 무인체 기술분야 기술격차-격차추세

- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술 분야는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- B1(비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술)은 Ⅰ영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- B3(유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술)은 Ⅱ영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략의 구사가 필요함
- B2(내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술)은 Ⅲ영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함



[그림 3.34] 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술분야 기술격차-격차추세

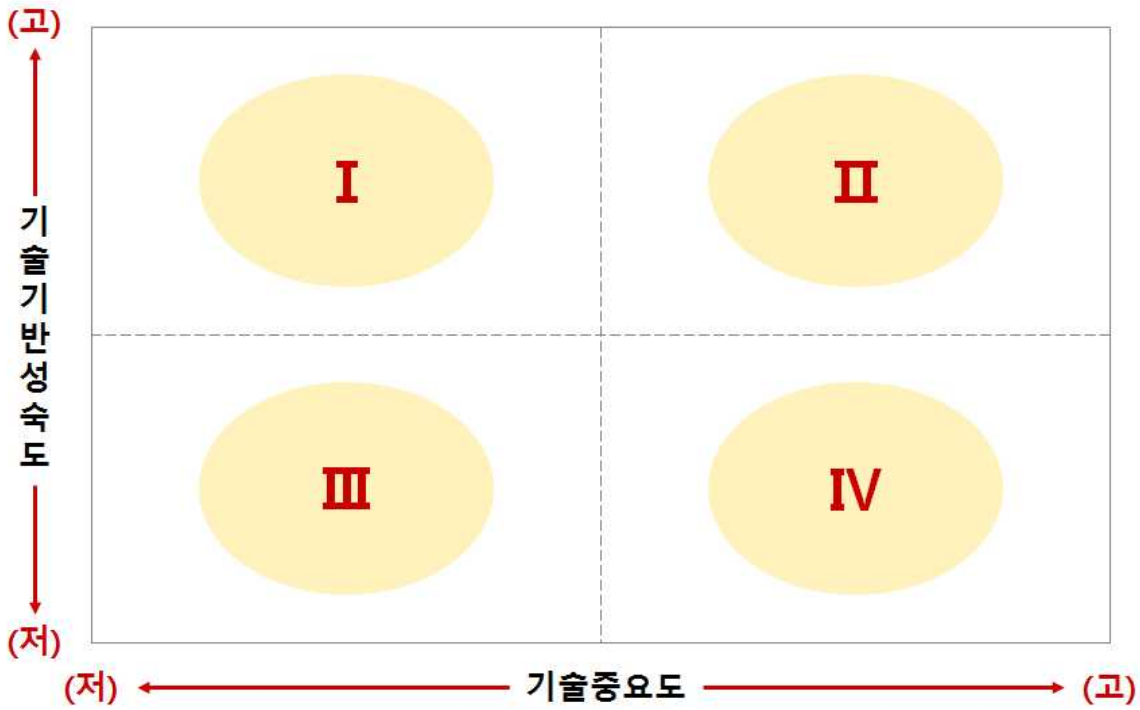
- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 분야는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 Ⅱ, Ⅲ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- C1(IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술), C3(무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립)은 Ⅱ영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함
- C2(기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술)은 Ⅲ영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함



[그림 3.35] 무인체 연계를 통한 구조물 시설물 평가 및 유지관리 기술분야 기술격차-격차추세

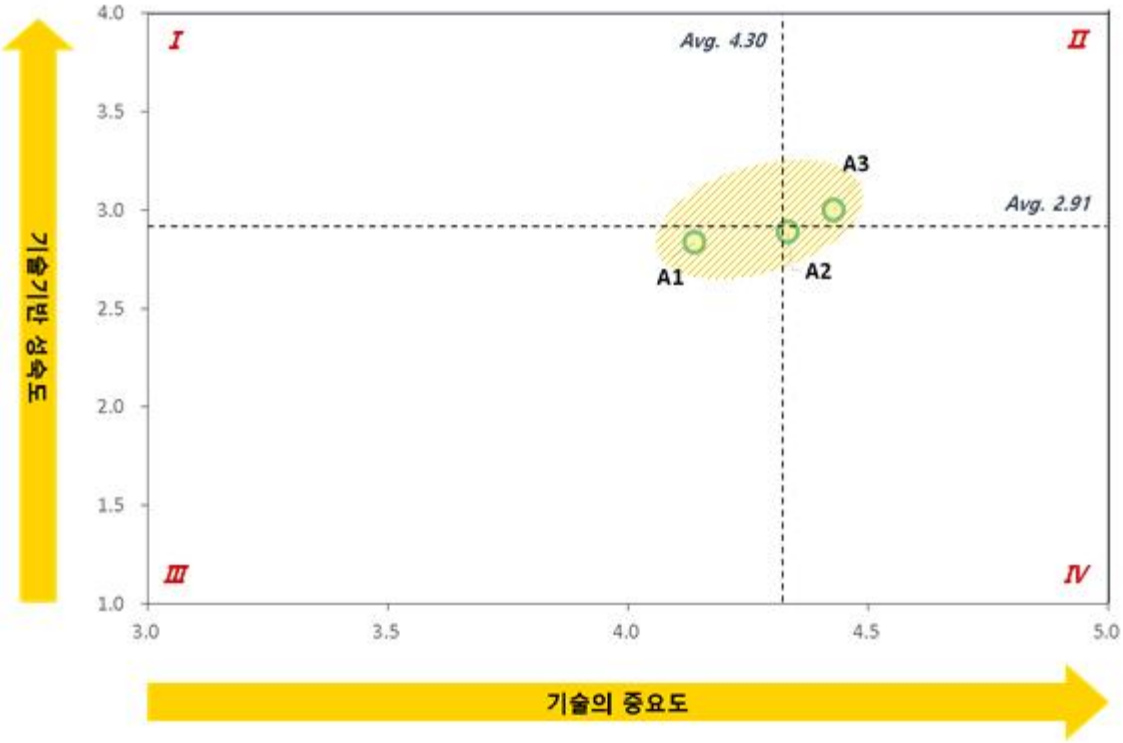
■ 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술기반성숙도과 평균 중요도를 축으로 함
- Ⅰ : 기술기반 관리-유지 영역
- Ⅱ : 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 확대해 나아갈 필요가 있는 영역
- Ⅲ : 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
- Ⅳ : 기술기반 확보가 시급한 영역



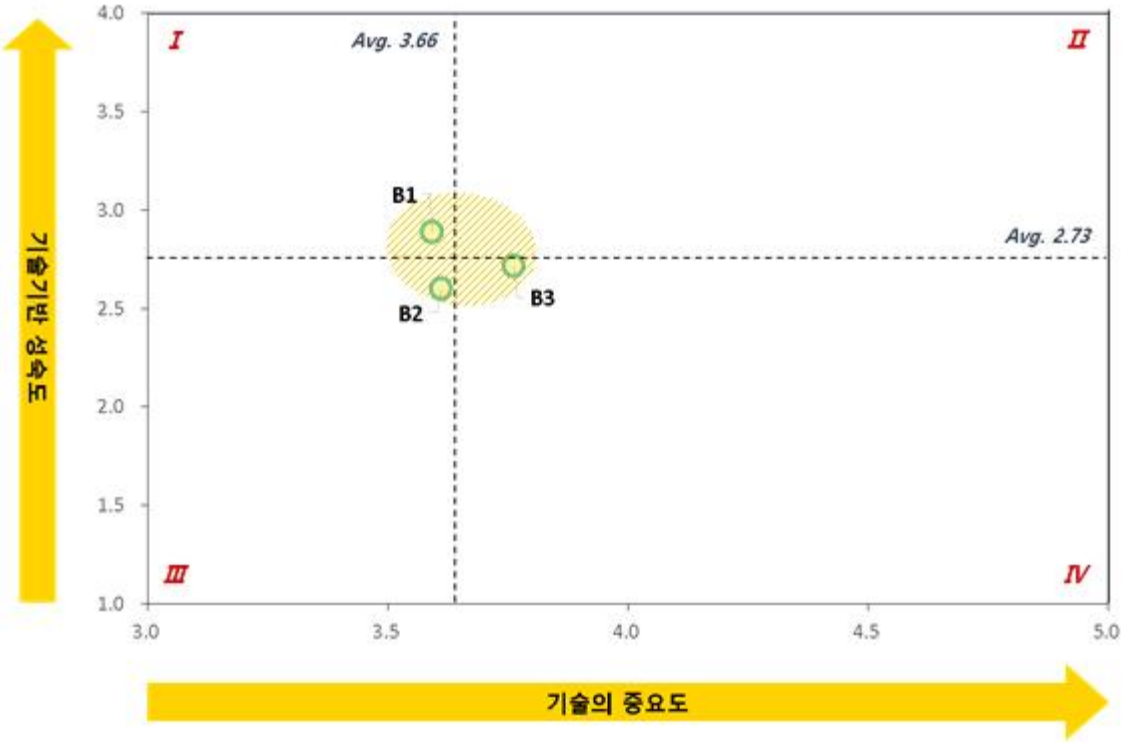
[그림 3.36] 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 영역구분

- 구조물 검사를 위한 무인체 기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- A3(자동 항법 및 운행 기술)은 Ⅱ영역에 포함되어 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대할 필요가 있음
- A1(무인체 플랫폼/운영체계 설계 및 구성 기술)은 Ⅲ영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해 나가야 함
- A2(대상 구조물 맵핑 및 검사 위치 추정 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



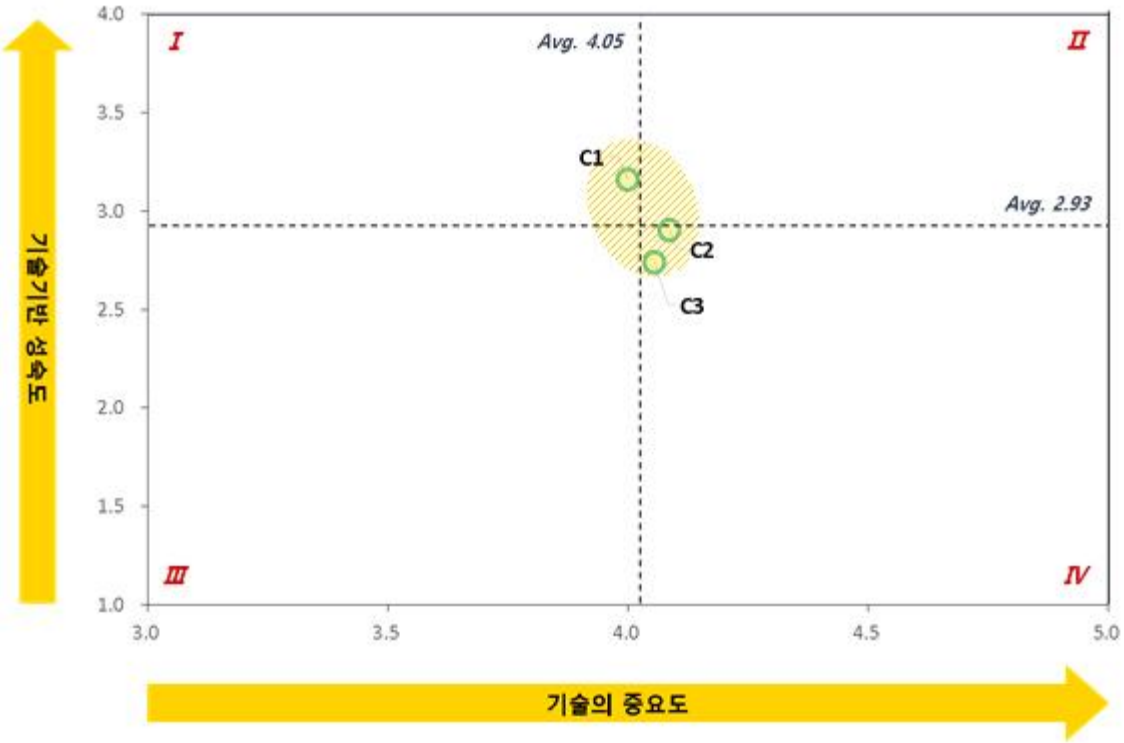
[그림 3.37] 구조물 검사를 위한 무인체 기술분야의 기술기반성숙도-중요도

- 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 Ⅰ, Ⅲ, Ⅳ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- B1(비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 필요함
- B2(내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단기술)은 Ⅲ영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함
- B3(유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



[그림 3.38] 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술분야의 기술기반성숙도-중요도

- 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 Ⅰ, Ⅳ영역에 해당되는 것으로 분석됨
- C1(IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 필요함
- C2(기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술), C3(무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



[그림 3.39] 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술분야의 기술기반성숙도-중요도

3.5 연구개발과제 구성

3.5.1 후보과제 Pool 구성

1) 후보과제 Pool 구성 방법 (1차 워크숍 개최)

- 앞서 수행된 기술수요조사를 통해 접수된 52개의 기술수요를 바탕으로 후보과제 Pool 구성에 대한 논의를 위해 40명의 관련 분야 전문가를 초청하여 1차 워크숍을 개최함

- 워크숍은 2015년 12월 14일 대전 KAIST에서 개최되었으며, 후보과제 Pool 구성에 대한 논의에 앞서 참여 전문가들의 이해를 돕고자 본 기획과제의 목적, 일정, 추진방향 및 비전을 소개하고, 앞서 수행된 기술수준 · 예측조사 분석 결과를 정리하여 발표하였음

- 워크숍을 통해 총 41개의 후보과제 Pool을 구성하였고 후보과제별로 과제카드 작성자를 선정하였음

기획과제 및 워크숍 일정 소개 (손훈 교수)

워크숍 참석 전문가 단체사진

[그림 3.40] 후보과제 Pool 구성을 위한 1차 워크숍 개최

2) 후보과제 Pool List (총 41개)

■ 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술 (12개)

• 1.1 검사용 무인체 시스템 설계 및 구성 기술

연번	후보과제명
1.1.1	구조물 검사를 위한 장애물 극복형모바일 로봇 기술 개발
1.1.2	외부/내부 검사용 무인체 임무장비 매니퓰레이션, 매니퓰레이터 자세안정화, Teleoperation 기술
1.1.3	외부/내부 검사용 무인체 자율 내비게이션 기술 (경로생성, 자동이착륙 유도 및 제어, 경로비행/주행, perching/sticking/climbing, 충돌방지, 배터리 교체/충전)
1.1.4	탑재체 경량화, 센서/임무장비 신호처리 및 인터페이스 기술

• 1.2 무인체 지원을 위한 지능형 환경 인식 기술

연번	후보과제명
1.2.1	무인체 기반 대상 구조물 3차원 맵핑 기술
1.2.2	무인체 기반 자동 검사위치 추정 기술
1.2.3	무인체기반 건물의 무인 상시 모니터링을 위한 능동/수동형 환경 인식 센서 운용
1.2.4	BIM의 무인체 자동 항법 적용 기법

• 1.3 무인체 지원을 위한 지능형 환경 인식 기술

연번	후보과제명
1.3.1	무인체이착륙/보관 및 운용이 가능한 모바일 장치 기술
1.3.2	무인체 탑재형 원격통제장치 기술 개발
1.3.3	무인체 유/무선 운용 시스템 기술
1.3.4	무인체 상태감시 및 이착륙 유도 기술

■ 2세부: 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술 (14개)

• 2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

연번	후보과제명
2.1.1	열화상 기반 시스템 및 영상처리 기법을 활용한 실시간 도막 두께 정량화 기술
2.1.2	2D 영상과 시설물의 3D 형상정보에 기반한 융합형 손상 점검 시스템
2.1.3	강재 외부 부식 정량화 기술
2.1.4	무인체 촬영 영상기반 강교 외부 볼트접합부의 볼트풀림 감지 기술
2.1.5	무인 로봇 탑재용 GPR 기반의 콘크리트 내부 검사 시스템 개발

• 2.2 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술

연번	후보과제명
2.2.1	대형교량 케이블 안전성확보를 위한 상태 진단 비파괴 진단 기법 개발
2.2.2	무인체를 이용한 이동형 교량 계측 및 성능평가 시스템
2.2.3	내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술
2.2.4	무인체와 연계한 케이블 및 텐던 장력 측정 기술

• 2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술

연번	후보과제명
2.3.1	RF/레이저/마이크로웨이브를 이용한 무인체와 센서간 무선 전력 및 신호 전송 기술
2.3.2	무인체 탑재가 가능한 LF/HF를 이용한 콘크리트 투과 무선 전력/신호 전송
2.3.3	초음파를 이용한 강재 투과 전력 및 신호 전송 기술
2.3.4	광섬유를 이용한 위치 추적 및 전력/데이터 동시 전송 기술 개발
2.3.5	RF/마이크로파를 이용한 무인체간 전력/신호 전송 및 무인체 상황추적 기술

■ 3세부: 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 (15개)

• 3.1 IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술

연번	후보과제명
3.1.1	클라우드 컴퓨팅 기반 대형구조물 진단 및 관리를 위한 플랫폼 기술
3.1.2	클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 관리 S/W 기술
3.1.3	BIM 기반 구조물 센서 맵핑 및 표출 기술
3.1.4	무인체 객체 인식과 객체 DB 컨텐츠 연동을 위한 시각화 플랫폼 개발

• 3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술

연번	후보과제명
3.2.1	무인체기반 콘크리트 구조물 중성화 수준 모니터링 기법 및 등급화 기술
3.2.2	무인체 기반 강재 구조물 부식 손상(도막두께 등) 등급화 기술
3.2.3	무인체 및 상시계측 데이터 통합형 강재 구조물 성능 평가 및 등급산정 자동화 기술
3.2.4	무인체 및 상시계측 데이터 통합형 콘크리트 구조물 성능 평가 및 등급산정 자동화 기술
3.2.5	무인체를 활용한 SOC 콘크리트 시설물의 취약부위 진단 및 평가 기술
3.2.6	열화모델 및 무인체 진단 데이터 기반 건전성 추정 기술
3.2.7	무인체 및 상시계측 데이터 통합형 구조물 형상관리 시스템 개발

• 3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

연번	후보과제명
3.3.1	무인체기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 개발
3.3.2	무인체기반 대형구조물 안전점검 수집 데이터의 통합 관리 표준 코드 체계 개발
3.3.3	무인체기반 대형 SOC 시설물 통합유지관리 운영 시스템 패키지화기술
3.3.4	무인체기반 대형 SOC 시설물 통합유지관리 테스트베드 구축 및 현장 적용 기술

3.5.2 후보과제 우선순위 평가

1) 목적 및 절차

■ 우선순위 평가 목적

- 앞서 도출된 후보과제 중 본과제 사업 수행에 필요한 과제를 선정하고, 선정 과제 중 추진 우선순위를 설정하기 위함
- 산, 학, 연의 관련분야 전문가들을 대상으로 후보과제의 기술적 측면과 시장적 측면에 대한 설문평가를 수행함

■ 우선순위 평가 절차

- 우선순위 평가는 후보과제 선정, 우선순위 평가서 설계, 우선순위 평가 수행, 결과분석 및 활용 순으로 추진되었음
- 우선순위 평가서 설계단계에서는 앞서 도출된 본 기획 과제의 추진 전략과 비전에 부합하도록 우선순위 평가항목을 설정하였음
- 우선순위 평가 수행단계에서는 후보과제 Pool과 평가항목이 포함된 설문지를 평가자들에게 발송하고 회신함. 이때, 평가자들의 이해 및 판단을 돕기 위해 앞서 작성된 후보과제카드와 기술수준 및 예측조사 분석결과를 함께 제공하였음
- 우선순위 평가 결과 분석 및 활용 단계에서는 평과 결과를 종합 분석하여 후보과제들의 우선순위를 매기고, 이를 바탕으로 최종과제 선정에 활용하였음

■ 우선순위평가서 발송 및 응답개요

- 우선순위평가는 내부 기획연구진, 전문가들로 구성된 평가자들을 대상으로 이메일로 발송하여 조사를 수행하였음
- 총 53명의 평가자에게 설문지를 발송하였으며, 그중 33명의 평가자로부터 회신을 받아 결과를 분석하였음

구분	내용
조사기간	2016년 1월 4일~13일 (10일간)
조사방법	이메일을 통한 설문조사
조사대상	내부 기획연구진, 전문가들로 구성된 평가자 53인
응답률	33인의 평가자로부터 회신 받음 (62.2% 응답률)

■ 우선순위평가서 항목 설정

- 우선순위 평가 항목은 앞서 도출된 기획과제의 추진 전략과 비전에 부합하는 '기술적 측면' 과 '시장적 측면'의 6개 항목으로 구성하였으며 각 항목별로 5점 척도의 평가를 수행하였음 (5점: 매우높음 ↔ 1점: 매우낮음)
- 최종순위는 각 항목별로 평균을 구하고 이들의 총합을 구하고 (30점 만점), 중분류별로 순위를 도출하였음

구분	항목
기술적 측면	테스트베드 적용 가능성
	과제의 독창성 및 우월성
	과제범위 및 성과물의 명확성
시장적 측면	기업 기술이전/실용화/상용화 가능성
	해외시장 개척 가능성
	국내시장 점유 및 점유확대 가능성

2) 우선순위 평가 결과

■ 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술

• 1.1 검사용 무인체 시스템 설계 및 구성 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	1.1.2	외부/내부 검사용 무인체 임무장비 매니퓰레이션, 매니퓰레이터 자세 안정화, Teleoperation 기술	24.7
2	1.1.3	외부/내부 검사용 무인체 자율 내비게이션 기술	24.5
3	1.1.1	구조물 검사를 위한 장애물 극복형모바일 로봇 기술 개발	24.3
4	1.1.4	탑재체 경량화, 센서/임무장비 신호처리 및 인터페이스 기술	21.2

• 1.2 무인체 지원을 위한 지능형 환경 인식 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	1.2.1	무인체 기반 대상 구조물 3차원 맵핑 기술	24.2
2	1.2.3	무인체 기반 건물의 무인 상시 모니터링을 위한 능동/수동형 환경 인식 센서 운용	22.6
3	1.2.4	BIM의 무인체 자동 항법 적용 기법	22.4
4	1.2.2	무인체 기반 자동 검사위치 추정 기술	22.2

• 1.3 무인체 지원을 위한 지능형 환경 인식 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	1.3.1	무인체이착륙/보관 및 운용이 가능한 모바일 장치 기술	25.0
2	1.3.2	무인체탑재형 원격통제장치 기술 개발	23.7
3	1.3.3	무인체 유/무선 운용 시스템 기술	23.5
4	1.3.4	무인체 상태감시 및 이착륙 유도 기술	22.3

■ 2세부: 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술

• 2.1 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	2.1.5	무인로봇 탑재용 GPR 기반의 콘크리트 내부 검사 시스템 개발	23.1
2	2.1.1	열화상 기반 시스템 및 영상처리 기법을 활용한 실시간 도막 두께 정량화 기술	22.8
3	2.1.4	무인체촬영 영상기반 강교외부 볼트접합부의 볼트풀림감지 기술	22.3
4	2.1.3	강재 외부 부식 정량화 기술	22.3
5	2.1.2	2D 영상과 시설물의 3D 형상정보에 기반한 융합형 손상점검 시스템	21.5

• 2.2 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	2.2.2	무인체를 이용한 이동형 교량 계측 및 성능평가 시스템	21.5
2	2.2.4	무인체와 연계한 케이블 및 텐던 장력 측정 기술	21.1
3	2.2.3	내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술	20.8
4	2.2.1	대형교량 케이블 안전성확보를 위한 상태진단 비파괴진단기법 개발	20.5

• 2.3 유/무선 전력 및 데이터 송수신 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	2.3.4	광섬유를 이용한 위치추적 및 전력/데이터 동시전송 기술 개발	22.0
2	2.3.2	무인체 탑재가 가능한 LF/HF를 이용한 콘크리트 투과 무선 전력/신호 전송	21.6
3	2.3.1	RF/레이저/마이크로웨이브를 이용한 무인체와 센서간 무선 전력 및 신호 전송 기술	21.2
4	2.3.5	RF/마이크로파를 이용한 무인체간 전력/신호 전송 및 무인체 상황추적 기술	20.7
5	2.3.3	초음파를 이용한 강재 투과 전력 및 신호 전송 기술	19.6

■ 3세부: 무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

• 3.1 IoT/BIM/클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 및 가시화 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	3.1.3	BIM 기반 구조물 센서 맵핑 및 표출 기술	24.1
2	3.1.1	클라우드 컴퓨팅 기반 대형구조물 진단 및 관리를 위한 플랫폼기술	22.9
3	3.1.4	무인체 객체인식과 객체 DB 컨텐츠 연동을 위한 시각화 플랫폼 개발	22.7
4	3.1.2	클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 관리 S/W 기술	22.5

• 3.2 기존 상시계측 데이터와의 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술

순위	연번	후보과제명	총점
1	3.2.5	무인체를 활용한 SOC 콘크리트시설물의 취약부위진단 및 평가 기술	24.3
2	3.2.1	무인체기반 콘크리트구조물 중성화수준 모니터링기법 및 등급화 기술	23.4
3	3.2.6	열화모델 및 무인체 진단 데이터 기반 건전성 추정 기술	22.4
4	3.2.4	무인체 및 상시계측 데이터 통합형 콘크리트 구조물 성능 평가 및 등급산정 자동화 기술	22.2
5	3.2.7	무인체 및 상시계측데이터 통합형 구조물 형상관리시스템 개발	20.6
6	3.2.2	무인체기반 강재 구조물 부식 손상(도막두께 등) 등급화 기술	20.5
7	3.2.3	무인체 및 상시계측 데이터 통합형 강재 구조물 성능 평가 및 등급산정 자동화 기술	20.5

• 3.3 무인체 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

순위	연번	후보과제명	총점
1	3.3.3	무인체기반 대형 SOC 시설물 통합유지관리 운영시스템 패키지화기술	23.8
2	3.3.4	무인체기반 대형 SOC 시설물 통합유지관리 테스트베드구축 및 현장적용 기술	23.5
3	3.3.2	무인체기반 대형구조물 안전점검 수집 데이터의 통합 관리 표준코드체계 개발	22.8
4	3.3.1	무인체기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 개발	22.6

3.5.3 최종 과제 선정

1) 최종 과제 선정 방법 (공청회/2차 워크숍 개최)

- 전문가들에게 기획과제의 현재 진행상황을 보고하고 향후 기획과제 진행에 대한 의견을 수렴하기 위해 공청회를 개최함. 산 · 학 · 연의 의견을 수렴하고자 하민기 선임연구원 (국토교통과학기술진흥원), 길흥배 박사 (한국도로공사), 이강문 전무 ((주)이제이텍), 권일범 박사 (한국표준과학연구원), 조윤호 교수 (부산대학교)를 초청하였음

- 앞서 수행된 후보과제 우선순위 평가 결과를 바탕으로 최종과제와 과제카드 작성자 선정을 위해 2차 워크숍을 개최함

- 공청회와 2차 워크숍은 2016년 1월 15일 대전 KAIST에서 개최되었으며, 참여한 44명의 전문가들에게 본 기획과제의 진행상황을 설명하고, 앞서 수행된 후보과제 우선순위 평가 결과를 발표함

- 워크숍을 통해 총 18개의 최종과제를 선정하였고 과제별로 과제카드 작성자를 선정하였음

전문가 의견 수렴 (국토교통과학기술진흥원 하민기 선임연구원)

참석 전문가 단체사진

[그림 3.41] 전문가 의견 수렴 및 최종과제 선정을 위한 공청회/2차 워크숍 개최

2) 최종 과제 선정 결과 (총 18개)

■ 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술 (6개)

• 1.1 무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술

연번	과제명
1.1.1	구조물 외관 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성 (검사용 센서 장착, 필요시 대상구조물 부착, 무인검사장비와 이동관제센터의 연계)
1.1.2	외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발 (센서 인터페이스, 위치추정, 경로생성, 자동이착륙, 충돌/추락 방지)

• 1.2 무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술

연번	과제명
1.2.1	구조물 내부 조사를 위한 무인 검사 장비 설계 및 구성 (검사용 센서 장착, 장애물 극복 메카니즘, 내부 검사 임무 수행용 매니퓰레이션)
1.2.2	밀폐된 내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발 (센서 인터페이스, 위치추정, 경로생성, 충돌방지)

• 1.3 무인검사장비 운영 및 원격통제 기술

연번	과제명
1.3.1	무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발
1.3.2	무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 전송 및 급속충전 제어 데이터 송수신 기술

■ 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술 (6개)

- 2.1 비접촉식 강구조물 상태 진단 기술

연번	과제명
2.1.1	2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술
2.1.2	2D/3D 영상을 활용한 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 기술

- 2.2 비접촉식 콘크리트구조물 상태 진단 기술

연번	과제명
2.2.1	2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술
2.2.2	2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술

- 2.3 기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술

연번	과제명
2.3.1	내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술
2.3.2	매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부 손상 감지 기술 (피로균열, Post-tensioning 텐던 장력측정)

■ 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 (6개)

- 3.1 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술

연번	과제명
3.1.1	클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영
3.1.2	BIM기반 IoT센서 데이터 맵핑 및 가시화 기술

- 3.2 무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술

연번	과제명
3.2.1	무인검사장비 계측 데이터 기반 구조물 성능저하모델 및 건전도 평가 기술
3.2.2	무인검사장비 계측 데이터-BMS DB 연계형 구조물 성능등급 산정 기술

- 3.3 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

연번	과제명
3.3.1	무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발 (검사 시나리오, 검사 위치, 검사항목, 센싱/검사 방법, 검사 주기, 안전성 확보)
3.3.2	무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립

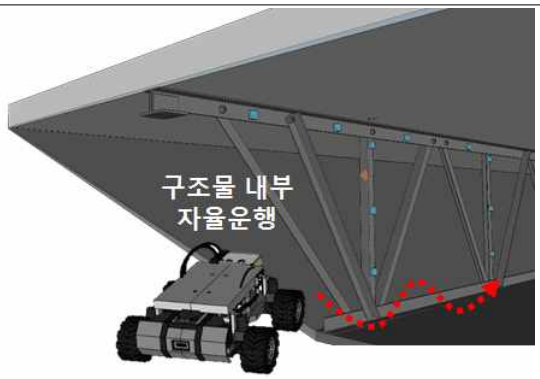
3.5.4 기술개발에 따른 과제별 As-Is/To-Be

■ 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술

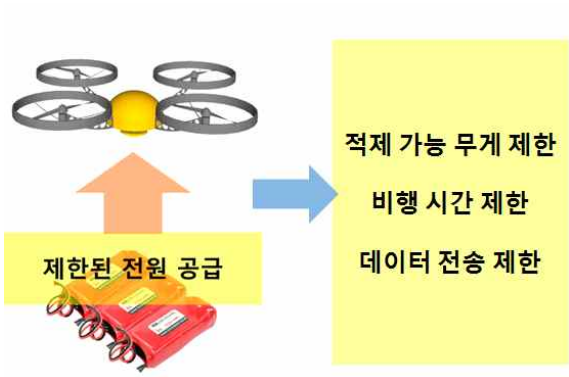
- 1.1 무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술

구조물 외관 조사를 위한 무인체 설계 및 구성	외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발
As-Is	As-Is
• 외부 구조물 검사에는 육안검사에 의한 계측이 이루어지고 있어 검사 기간이 길고, 계측위치가 부정확함 • 특수차량을 이용하여 육안검사를 시행하는 경우, 통행을 방해해 교통체증을 유발시킴 • 복잡한 구조물의 경우, 접근이 어려운 지역이 많아 면밀한 검사가 이루어지지 못함	• 무인체의 장애물 대처능력 미비, 구조물에 충돌 및 추락에 의한 대비책이 없어 안전사고가 발생할 수 있음 • 바람의 영향에 따라 안정적 제어가 어려움 • 단순 거리 센서로 장애물 인지를 하여 정확한 장애물 형상 추정이 어려움
To-Be	To-Be
• 무인체 기술을 활용한 구조물 검사는 접근성이 매우 뛰어나고, 검사 속도가 빠름 • 무인검사장비는 일반차향 통행에 방해를 주지 않으며, 지속적인 검사가 가능 • 복합센서를 적용한 무인검사장비의 정밀 위치인식으로 정확한 계측위치를 추정할 수 있음	• 무인체를 이용하여 획득한 구조물 맵 정보 및 절대 검사 위치 추정 결과를 사용하여 최적화된 검사 경로를 생성함 • 검사 필요 위치들을 중간 거점으로 하여 구조물의 형태 및 장애물을 고려한 안전한 경로 생성 • 무인검사장비의 구조물 진단 속도 및 효율성 향상

- 1.2 무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술

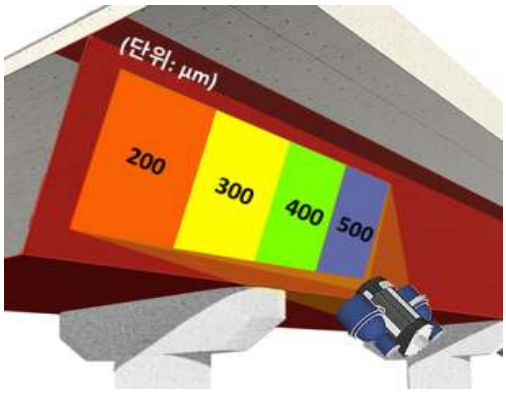
구조물 내부 조사를 위한 무인 검사 장비 설계 및 구성	밀폐된 내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발
As-Is	As-Is
• 구조물 내부 검사는 주기적인 육안검사, 비파괴 검사에 의존하고 있지만, 내부의 열약한 환경으로 인해 실질적인 검사가 매우 어려운 상황임 • 시간이 경과함에 따라 유지관리 비용이 많이 발생하며 효율성과 신뢰성이 떨어짐 • 실제 손상부위에는 사람이 접근하기 어려운 곳이 많아 정밀한 계측이 어려움	• 무인체의 장애물 대처능력 미비, 구조물과의 충돌 대비책이 없어 무인체 및 구조물의 손상 가능성이 있음 • 구조물 내부는 GPS음영지역이기 때문에 일반적인 위치추정 방법으로는 자율운행이 어려움 • 단순 거리 센서로 장애물 인지를 하여 정확한 장애물 형상 추정이 어려움
To-Be	To-Be
	
• 구조물 내부를 자유롭게 이동하는 무인검사장비를 개발하여 접근성 및 이동성능을 향상시킴 • 각종 센서를 탑재한 매니퓰레이터를 이동 무인검사장비에 적용하여 다양한 방향에 대한 접근성을 높임	• 무인검사장비를 이용하여 획득한 구조물 맵 정보 및 절대 검사 위치 추정 결과를 사용하여 최적화된 검사 경로를 생성함 • 인공표식 및 내장형 센서 인식을 통한 위치 추정 및 이를 이용한 자율운행 • 무인검사장비의 구조물 진단 속도 및 효율성 향상

- 1.3 무인검사장비 운영 및 원격통제 기술

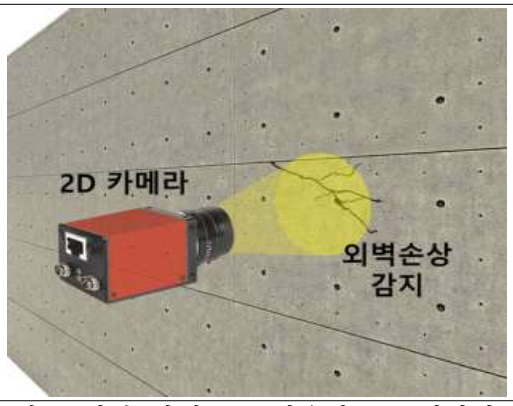
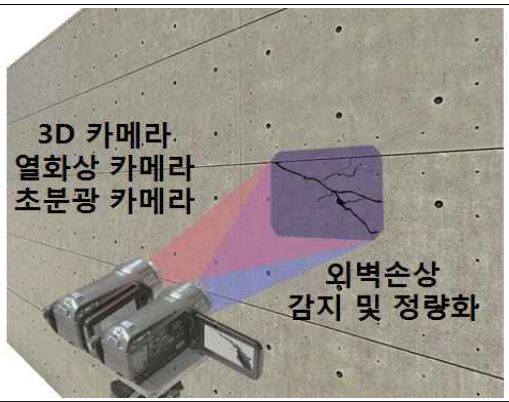
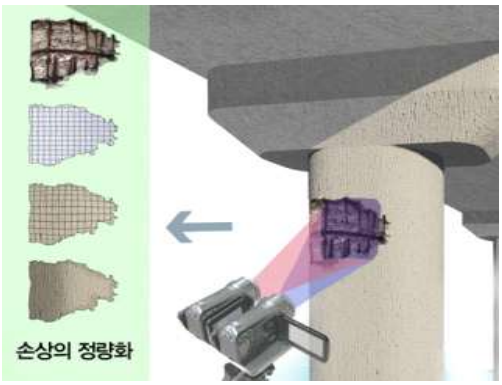
무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발	무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 전송 및 급속충전 제어 데이터 송수신 기술
As-Is	As-Is
	
• 기존의 소형 무인체 운영체계는 자동도킹, 자동 이착륙 기능이 없어 효율성이 떨어짐 • 원격 자동제어 기능 및 검사업무의 자동화가 미비함 • 업무 수행에 시간이 많이 소요됨	• 대부분의 무인체가 배터리를 사용하므로 전원공급에 제한이 있어 이로 인해 적재가능 무게, 비행시간, 데이터 전송에 많은 제약을 받음 • 배터리를 이용할 경우, 무인체의 실제 운용 시간이 짧아 대형 구조물의 진단에 많은 어려움이 있음
To-Be	To-Be
• 무인검사장비의 통합적인 운용, 원격제어 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터의 개발을 통해 무인검사장비의 구조물 진단 효율성 증대 • 이동관제센터가 구조물에 접근 후 무인검사장비를 활용하기 때문에 구조물 진단에 소요되는 시간 단축	• 이동관제센터에서 무인검사장비의 무선 전력공급, 데이터 송수신이 가능하도록 하여 무인검사장비의 운용 제약을 없앰 • 무인검사장비의 운용 시간을 비약적으로 증가시켜 대형 구조물의 효율적인 진단이 가능하도록 함

■ 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

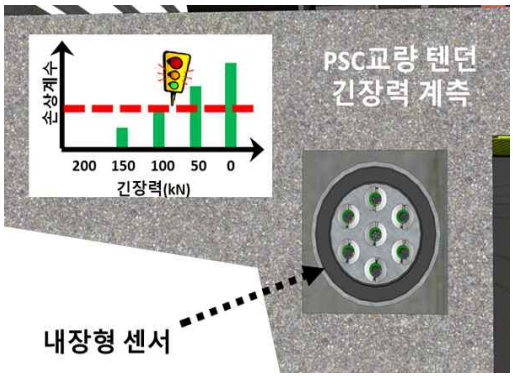
• 2.1 비접촉식 강구조물 상태 진단 기술

2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술	2D/3D 영상을 활용한 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 기술
As-Is	As-Is
• 재도장 시기를 판단하는 도막조사 및 부식 진단은 주로 전문가에 의한 육안검사를 통해 이루어짐 • 전문가 개개인의 지식/경험에 기반한 주관적 판단이 이루어지므로, 오차가 발생함 • 전문인력의 부족으로 인해 재도장 시기의 판단이 어려움	• 기존 주기적인 정밀검사 기간 중에만 인력의 투입을 통해 육안, NDT 기반 강구조물 손상검사가 수행되고 있음 • 인력의 직접적인 접근이 어려운 위치에서는 손상검사가 이루어지지 못함
To-Be	To-Be
	
• 열화상 카메라 및 초분광 카메라를 활용하여 도막 두께 및 부식 정량화 • 구조물 외관 도막에 발생한 부식의 정도를 단계별로 파악 • 계측장비를 탑재한 무인검사장비를 활용하여 인력의 접근이 위험하거나 불가능한 위치에서 도막 두께 및 부식 검사	• 무인검사장비를 이용한 강구조물의 미세균열, 볼트풀림 감지 • 육안검사로 감지할 수 없는 수십 μm 폭을 가진 미세균열의 감지를 통한 안전성 증대 • 계측장비를 탑재한 무인검사장비를 활용하여 인력의 접근이 위험하거나 불가능한 위치에서 균열 및 볼트풀림 진단

- 2.2 비접촉식 콘크리트구조물 상태 진단 기술

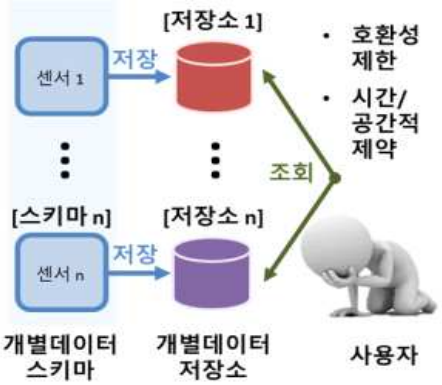
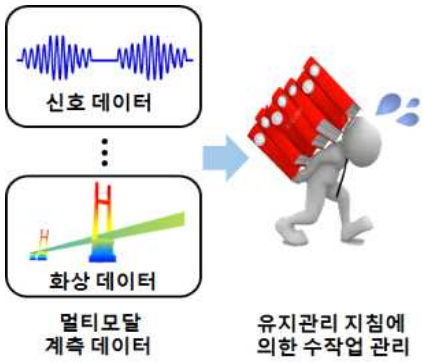
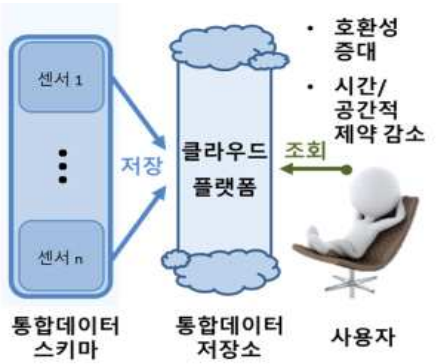
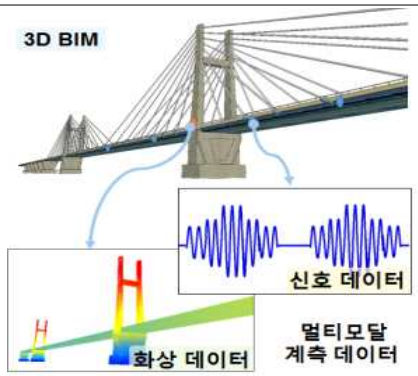
2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술	2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술
As-Is	As-Is
	
• 기존 비젼 카메를를 활용한 2D 영상화 방식을 통해 표면 균열 감지 • 균열의 위치/길이/폭의 측정은 가능하나 깊이 측정 불가 • 고정식 카메라를 사용할 경우 검사영역에 제약이 있음	• 유지보수 필요성 판단에 있어 표준화된 명확한 기준 없이, 전문가의 주관적 판단에 의존 • 전문인력이 접근하기 어려운 구조물의 경우 손상 검출의 사각지대가 존재 • 불필요한 유지보수 공사의 추가 및 누락 발생
To-Be	To-Be
	
• 열화상 카메라, 초분광 카메라를 활용한 3D 영상화를 통해 균열 위치/길이/폭 뿐만 아니라 깊이까지 정량화 가능 • 계측장비가 탑재된 무인검사장비를 활용하여 검사 인력의 접근이 어려운 부분에서도 표면 상태평가 가능	• 영상정보를 통해 콘크리트 백태 위치 감지 및 정량화 • 카메라가 탑재된 무인검사장비를 활용하여 검사 인력의 접근이 어려운 위치에서도 검사가능 • 카메라의 떨림 현상 제거를 통한 진단신뢰도 개선

- 2.3 기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술

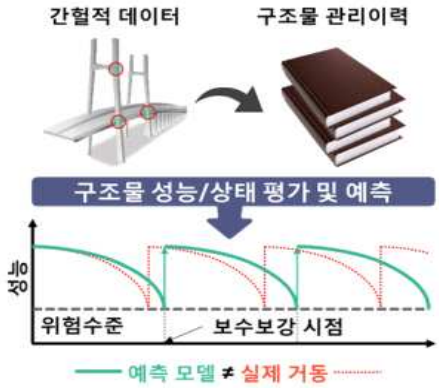
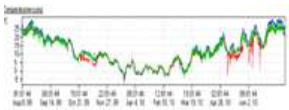
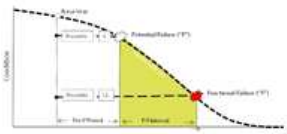
내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술	매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부 손상 감지 기술
As-Is	As-Is
• 기존 콘크리트 구조의 세굴이 발생하여도 토사에 덮여 있으므로 감지가 어려움 • 정확한 계측을 위해서는 별도의 잠수사 투입을 통한 검사가 요구됨 • 미국내 고속도로의 교량붕괴사고 중 60%가 세굴에 의한 교각붕괴	• 현재 PSC교량 텐던 긴장력 및 케이블 장력을 지속적으로 계측할 수 있는 기술은 없음 • 계측이 필요한 경우, 반드시 인력의 직접적인 접근이 필요함 • 일반적으로 사용되는 로드셀은 계측정확도가 낮으며, EM센서는 1회 계측시 수백 W의 전력이 요구됨
To-Be	To-Be
	
• 세굴의심지역에 파이프형태로 압력센서를 내장하고, 토사층 내·외부에서의 압력변화를 계측함으로써 콘크리트 구조물의 세굴 감지 가능 • 무인검사장비를 활용하여 내장형 센서의 전력수급 및 계측데이터 전송을 통하여 교량 전 생애기간 동안 반영구적 운영가능	• 저전력/저비용 내장형 센서를 이용한 PSC 구조물 텐던 및 케이블 긴장력의 상시 계측 및 정량화 • 저비용/소형화 센서를 활용하여 초기설치 비용 부담 감소 • PSC구조물 신설시공 단계에서 내장형 센서가 설치되고, 무인검사장비로부터의 전력수급 및 계측데이터 전송을 통하여 교량 전 생애기간 동안 반영구적 운영가능

■ 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

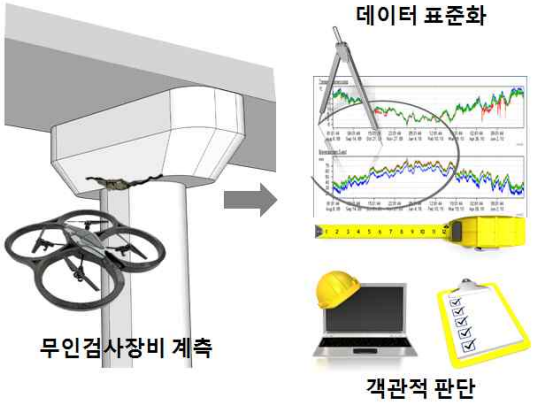
- 3.1 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술

클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영	BIM기반 IoT센서 데이터 맵핑 및 가시화 기술
As-Is	As-Is
	
• 개별 계측장비를 활용한 단편적 데이터 저장으로 데이터 스키마간의 호환성이 결여됨 • 저장된 빅데이터 조회를 위한 시·공간적 제약으로 실시간 데이터 활용이 불가능함 • 다양한 계측 장비로 부터 수집된 대용량의 데이터를 저장/처리하기 위한 플랫폼이 없음	• 기존 현장 계측데이터는 수작업으로 정리되어, 보고서의 형태로 BMS와 연계됨 • 계측 신호 및 영상정보는 단순저장 및 보고서 작성의 목적 외에 활용도가 낮음 • 다양한 이종 신호의 효율적 관리 및 가시화 방안 부재
To-Be	To-Be
	
• 무인검사장비로부터 측정된 데이터 스키마간의 호환성을 증대시키는 멀티모달 클라우드 플랫폼 구축 • 클라우드 플랫폼을 통해 저장 된 융합적 데이터의 실시간 활용을 통해 통합 데이터 이용자들의 시·공간적 제약 감소 및 다양한 외부기기로부터 접근용이	• BIM 기반으로 표현된 구조물 3D 모델에 계측된 신호 및 영상의 위치 인식 및 표기 • 계측 신호를 3차원 영상화로 표현/관리함으로써, 계측데이터로의 접근이 용이하고 비전문인력의 활용도를 높임

- 3.2 무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술

무인검사장비 계측 데이터기반 구조물 성능저하모델 및 건전도평가 기술	무인검사장비 계측 데이터-BMS DB 연계형 구조물 성능등급 산정 기술
As-Is	As-Is
	
• 기존에는 인력에 의존하여 간헐적으로 국한된 위치에서 수집된 데이터 분석을 통해 구조물의 성능/상태 평가 수행 • 따라서 제한된 정보에 바탕을 둔 성능/상태 예측 모델에 대한 신뢰도가 낮고 계측 데이터의 관리기준이 명확하지 않음	• 기존 계측데이터는 보고서 형태로 작성되어 BMS에 저장되므로, 계측데이터와 BMS 사이에 직접적인 연동이 이루어지지 않음 • 일부교량의 BMS에 국한되어 계측데이터가 수작업으로 저장되는 경우가 있음
To-Be	To-Be
 	
• 다양한 구조물 및 구조물 전역에서 상시적으로 수집된 데이터 기반으로 향상된 신뢰도의 구조물 건전도 평가 • 구조물 성능 성능저하모델을 개선하여 향상된 신뢰도를 가지고 구조물의 상태를 예측	• 무인검사장비로부터 계측된 데이터와 BMS BD를 연계함으로써 종합적인 구조물 유지관리 실현 • 기존 육안검사, 이력데이터 및 계측데이터의 연계를 통하여 향상된 신뢰도의 구조물 성능 평가

- 3.3 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발	무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립
As-Is	As-Is
• 무인체를 활용한 구조물 안전성 평가 사례가 없으며 이에 대한 운영지침이 없음 • 무인체 기반으로 계측된 데이터의 활용에 대한 운영지침 역시 존재하지 않음	• 유지관리를 위해 계측되는 데이터의 종류 및 형태는 점검자의 주관적인 판단이 개입되어 표준화가 어려움 • 무인체 기반 구조물 안전성 평가에 대한 기준이 없음
To-Be	To-Be
	
• 무인검사장비 운영에 대한 운영지침 정립. • 무인검사장비 검사 지점/방식 등에 대한 운영지침 정립 • 무인검사장비 기반 검사 위한 운영지침 제시	• 정량화되고 객관화된 데이터 표준 양식 도입을 통해 효율적이고 객관적인 데이터 계측 및 수집 기준 마련 • 계측데이터 분류 및 분석을 통하여 무인검사장비 기반 구조물 안전성 평가를 위한 계측 데이터에 대한 기준 및 표준 제시

4. 세부과제 구성

4.1 세부과제별 주요내용

4.1.1 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술

1) 1세부과제 개요

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 구조물 외관 조사에 적용할 수 있는 무인체로서 무인기(드론) 기술이 가장 유망하며 구조물 검사 및 유지보수 업무의 안정성과 효율화에 기여할 수 있으며, 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 기술에 대한 국산화 전무, 세계적으로 실용화된 기술이 개발된 사례 거의 없음 ▪ 무인체 기반 구조물 유지관리 기술에 대한 국산화가 전무하며, 세계적으로 실용화된 기술이 개발된 사례 거의 없음. 무인체 자동 항법 운행 요소 기술들의 국내외 기술격차 (4.3년)가 점차 확대 중. 기술 선점을 통해 세계 시장 주도 및 고부가가치 산업으로 발전 가능 ▪ 인프라 시설물의 내부 조사에 있어서는 협소한 공간적 제약으로 인하여 비행체 운영 보다는 주행 기반의 무인체 운영이 효과적임. 또한 구조물 내부 환경에서 장애물을 극복할 수 있는 주행형 무인체에 넓은 작업 반경을 갖는 매니퓰레이터를 결합하여 기술 구현 필요 ▪ 밀폐된 구조물 내부 환경에서 GPS 기반 항법은 불가능함. GPS 음영지역에서의 항법은 구조물에 설치된 센서의 인식에 의한 추정 위치 사용 필요 ▪ 접근이 용이하지 않은 구조물의 내/외부검사를 위한 무인검사장비로의 무선 전력공급 및 급속 충전, 데이터 전송기술에 대한 연구 필요 ▪ 구조물 진단환경을 정의하고 운용시 발생할 수 있는 위험요인을 사전에 점검하며 안전성을 확보하기 위해 무인체 원격통제기술이 필요
국내외 기술동향	▪ 구조물 진단 목적의 무인기와 관련하여 해외에서는 TRL6단계의 기술 성숙도로 파일럿 규모 시작품 제작 및 성능평가가 수행되고 있으나, 국내는 무인기 제조 및 기술력 면에서 열세로 부품 대부분 해외 의존, 실험실 규모의 성능 평가 수준 ▪ 한국도로공사에서 PSC Box 교량 내부 점검을 위한 주행 로봇이 개발이 되었으나, 매니퓰레이터가 존재하지 않아 작업이 필요한 경우에는 로봇 이외의 추가의 인력이 요구됨. 미국의 I-robot 사에서 소형 정찰감시 로봇으로 510 PackBot이 개발되었으며, 8 자유도, 길이 187cm의 로봇 매니퓰레이터가 장착이 가능하나, 고가이며 군사용으로 특화되어있음 ▪ 한국생산기술연구소의 경우 상하수도 관내의 모니터링을 위하여 비전 기반 기법을 개발. 이때 표면에 아무 정보가 없는 시설물 내의 효과적 맵핑을 위하여 이동시 페인트를 인위적으로 분사하여 길을 기억하고 환경 맵핑을 효과적으로 진행 ▪ KAIST에서는 'TERA-DRONE1'이라는 무선충전 스테이션을 통한 드론 무선충전 기술을 개발하였고 미국 WiTricity 에서는 무선 충전 패드를 통한 드론

	무선 충전 기술 개발 및 드론에 부착된 무선 충전 패드를 통해 모바일 기기 및 센서 무선 충전 기술 개발 ▪ 이동관제센터는 국내에서 대한항공, 퍼스텍, 유콘시스템에서 다년간 무인체 체계개발을 통하여 핵심기술을 보유하고 있음
정부지원 필요성	▪ 공공성이 큰 대형 구조물의 요구사항 및 운용개념 등을 개발하고 적용하기에 민간 단독으로는 구현하기 어려우며, 공공기관 및 정부의 지원이 시급함 ▪ 구조물 안전관리 정부 정책 강화 및 노후 구조물 증가로 인한 경제적 무인체 기술 필요성 방향에 부합 ▪ 시설물 건전도 평가와 유지관리는 시설물의 장수명화와 국가 인프라의 안전도 향상과 직결되는 중요한 국가적 사안이므로 사회인프라를 효율적으로 관리 할 수 있는 선도적 연구개발이 필요하며, 이를 통해 해외 인프라 수주 및 유지관리 사업까지 확장하여 국부 창출에 기여 가능 ▪ 특히 사회인프라 시설 내부의 난접근 지역에 대한 건전성 검사의 품질과 효율을 높이기 위해 모바일 매니퓰레이터를 통해 검사장비를 운용하는 것이 필요하며 무인화 작업을 통해 경제적 효과를 극대화 하는 것이 필요함 ▪ 기존 대형 사회인프라 유지관리 시스템 구축에 있어, 전력 및 신호 전송 케이블 설치가 전체 예산에 상당 부분을 차지하므로, 무선 전력/신호 전송 기술을 적용하여, 전력 및 신호 전송 케이블 사용을 배제함으로써 해당 예산 감축 효과를 낼 수 있음
과제의 개념 및 범위	▪ 구조물 외부 검사가 가능한 무인검사장비 개발 ▪ 구조물 내부 검사가 가능한 무인검사장비 개발 ▪ 무인검사장비의 운영 및 원격통제가 가능한 이동관제센터 개발
과제목표	▪ 구조물 외관 조사용 무인검사장비 시작품 개발 ▪ 외부환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품 개발 ▪ 교량내부조사용 무인검사장비 시작품 개발 ▪ 내부환경에서의 자율운행 플랫폼 요소 기술 개발 ▪ 무인검사장비의 운영 및 원격통제가 가능한 이동관제센터 시작품 개발 ▪ 이동관제 센터용 무선전력 송신기 및 급속충전 데이터 송수신기 시작품 개발 ▪ 무인체 탑재용 무선전력 수신기 및 급속충전 데이터 송수신기 시작품 개발
주요내용	▪ 구조물 외관 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성 ▪ 외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발 ▪ 구조물 내부 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성 ▪ 밀폐된 내부에서의 무인검사장비 자율운행 플랫폼 개발 ▪ 무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발 ▪ 무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 및 계측 데이터(영상 등) 송수신 기술 개발

기술적 위험요인	▪ 무인검사장비를 이용하여 조사업무 수행 시 구조물과의 충돌 상황이 발생하지 않도록 충돌위험 감지 및 회피 기술이 필요하며, 이를 위해 운용자가 무인검사장비 운용상황을 모니터링 하면서 손상이나 파손 없이 안전하게 제어할 수 있는 방안이 마련되어야 함 ▪ 무인검사장비의 동력 상실과 제어 오류에 의한 추락 및 충돌 위험성 ▪ 외부 환경 및 장애물 투과 환경의 다양한 환경적인 영향 및 주파수 혼선 및 간섭에 따른 데이터 송수신 성능 저하 ▪ 무인검사장비 탑재 가능한 수준의 무선 전력 및 데이터 전송 시스템의 경량화 및 소형화의 한계 ▪ 단기간의 기술개발과정에서 무인검사 플랫폼, 자율운행 기술, 센싱 및 프로세싱 기술, 무인검사 운용 및 통제부 간의 신뢰성 있는 시스템 구현 어려움
연구개발 추진전략	▪ 설계 단계에서 검증된 부품을 적용할 수 있도록 하며, 하위 모듈 단계에서부터 단계별 철저한 기술검증을 실시하는 등, 개발 품질을 확보하여 기술적 위험요인에 대한 관리체계를 구축함 ▪ 검사 플랫폼을 중심으로 하드웨어, 소프트웨어, 통신부 등에 대한 인터페이스 및 프로토콜을 사전에 조율하여 시스템 통합 시 시행착오 과정을 최소화 ▪ 무인검사장비를 안전하고 효율적으로 운용할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어가 융합된 시스템을 개발하여야 하므로 수요현장 운용환경 및 조건이 명확히 정의되도록 함
기대효과 및 파급효과	▪ 검사 인력의 업무환경 개선으로 근로자 만족도 향상 ▪ 기존의 인력 검사에 의존하는 유지관리방식에서 탈피하여 시설물 건전도 정보 수집을 자동화하고, 정량화된 계측 데이터베이스 기반의 시설물 관리를 수행함으로써 사회인프라 시설의 유지관리의 신뢰성 및 안전도를 향상 ▪ 해당 기술의 결과물은 실제 상용화가 가능한 장비로써, 국내외 대형 구조물의 검사 및 진단 장비로 확대할 수 있으며, 드론에 확대 적용시 시장 규모는 약 5,200 억원 예상 (국내기업 10% 시장점유 목표) ▪ 추후 연구가 확장된다면, 무인 검사뿐만 아니라 원격 제어를 통한 센서 설치, 필요에 따른 추가적 센싱 등의 작업까지 가능케 함으로써 구조물 유지관리의 효율성을 향상 ▪ 무인체에 상용화가 가능한 무선 충전 기술을 적용함으로써, 기존 무인체 전력 공급에 대한 한계점 개선과 동시에 무선 충전을 도입한 무인체 시장 활성화 기대 ▪ 장애물을 포함한 환경에서 일정 효율 수준을 유지하는 무선 전력 전송 기술 개발을 통해 다양한 환경 변화를 극복 가능한 무선 충전 기술 개발 기대. ▪ 다양한 어플리케이션 및 증강현실과 결합하여 응용분야 확대, 고부가가치 산업으로 발전 가능

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 구조물 내/외부 조사용 무인검사장비 설계	- 구조물 외부 조사를 위한 무인검사장비 설계 - 구조물 내부 조사를 위한 무인검사장비 및 매니퓰레이터 플랫폼 설계
	▪ 구조물 내/외부 외치추정 알고리즘 개발	- 센서 데이터와 3차원 맵 매칭을 통한 정밀 위치 추정과 3차원 최단 경로 생성 및 경로 추정 - BIM, 인공 표식, 내장 센서의 운용방안 연구
	▪ 이동관제센터 설계	- 이동식 관제센터 개념설계 및 시스템 설계 - 이동식 관제센터 핵심 구성품 설계, 제작 및 시험
	▪ 무선 전력/데이터 송수신 시스템 설계	- 무인검사장비의 전력 요구량과 제한 조건을 만족하는 무선 전력/데이터 전송 시스템 상세 사양 설정 및 설계
2차년도	▪ 구조물 내/외부 조사용 무인검사장비 제작 및 구현	- 무인검사장비 시스템 구성품 모듈별 시험 - 무인검사장비 통합시스템 시험 및 보완 - 내부조사용 무인검사장비 매니퓰레이터 구현
	▪ 장애물 회피, 자동항법 기술 개발	- 거리센서, 비전센서 기반 동적 장애물 인식과 회피 기술, 마커 인식을 통한 자동 이착륙 기술 개발 - 센서 모델링을 통한 항법 기술 적용
	▪ 이동관제센터 구성품 및 시스템 제작	- 이동관제센터 구성품 제작 및 시험 - 이동관제센터 통합시스템 시험 및 보완
	▪ 무선 전력/데이터 송수신 시스템 제작 및 하우징	- 설계된 시스템을 바탕으로 소형화, 경량화를 포함한 무선 전력/데이터 전송 시스템 제작 및 하우징
3차년도	▪ 구조물 내/외부 조사용 무인검사장비 테스트베드 적용 및 검증	- 개발된 내/외부 검사용 무인검사장비들의 테스트베드 적용 및 검증, 보완 - 자율주행 알고리즘/검사장비와 통합한 구조물 내/외부 무인 검사 - 이동관제센터와 연계한 구조물 내/외부 무인 검사
	▪ 무인체·이동관제센터 통합한 무선 전력/데이터 전송 시스템 적용 및 성능 최적화	- 무선 전력/데이터 전송 시스템을 무인체·이동관제센터에 적용한 통합 시스템 제작 및 성능 최적화

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
외관조사용 무인체 개발	1	제어정밀도	제어명령에 따른 이동거리 실측	cm	10	0.2	2017년 예상 세계 최고기술 도달수준
	2	비행시간	체공시간 실측	분	60	0.2	세계최고기술 기준
	3	실시간 통신거리	자동/수동 모드 운용 가능한 통신거리 실측	km	3	0.2	상업용 국내 최고수준
	4	가반하중	가반하중 측정	kg	2	0.2	탑재할 구조물 진단 시스템의 예상 평균 무게
	5	운용풍속	풍속 센서의 측정값 확인	m/s	10	0.2	구조물 주변의 예상 평균풍속
외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발	1	위치 오차 및 접근 거리	무인기의 구조물 접근 거리 측정 및 오차 범위 계산	m	0.5	0.3	진단 및 관리 업무 수행을 위한 무인기와 구조물간 최단 거리
	2	3차원 최단 경로오차	개발 알고리즘 경로와 ground truth(ideal) 경로 간 길이의 백분율 차이	%	5	0.2	한정적 배터리 효율 극대화를 위한 무인기 최단 거리 경로 계획
	3	시스템 신뢰도	주행 시스템 구동에 의한 작업 성공 확률 계산	%	95	0.2	기술의 상용화 위한 시스템의 최소 신뢰도
	4	자율운행 가능 환경	바람 속에서의 안정적 데이터 계측	m/s	10	0.3	교량 외부 환경에서의 풍속
내부조사용 무인체 개발	1	최대 주행속도	거리/시간측정	m/s	1	0.2	평균 보행속도
	2	교량 내부 환경 격벽 통과 능력	현장실험	폭 cm	70	0.2	환경정형화 방안에 따른 매니퓰레이터와 검사장비를 장착한 주행로봇의 격벽 통과 능력
				높이 cm	100		

	3	매니퓰레이터 자유도	설계도, 플랫폼 실물 검사	D.O.F.	6	0.2	검사장비 스캐닝을 위한 3차원 공간 운동의 최소 자유도
	4	매니퓰레이터 최대 확장 길이	길이측정	m	1.8	0.2	교량 내부 격벽의 환경적 제약을 고려한 길이
	5	매니퓰레이터 가반하중	가반하중 측정	kg	4.5	0.2	교량 내부 주행에 적합한 무인검사장비 크기 고려
내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발	1	위치추정 오차	검증환경 내에서 알고리즘 검증	cm	10	0.3	수 센티미터 내 위치 추정 오차 확보
	2	경로생성 실시간성	경로생성 소요시간 측정	Hz	10	0.4	10 Hz 처리 속도 확보
	3	충돌회피 실시간성	충돌회피 소요시간 측정	Hz	10	0.3	10 Hz 처리 속도 확보
이동식 관제센터 개발	1	데이터 갱신주기	측정장비	Hz	10	0.3	상업용 국내 최고수준
	2	무인체 위치감지 정밀도	측정장비 및 실측자료 비교	cm	10	0.4	세계최고기술 기준
	3	저장용량	저장용량 측정	TB	1	0.3	대용량 구조물 진단 데이터 저장
무선 전력 및 데이터 송수신 기술 개발	1	이동관제센터용 전력 송신출력	송신출력 측정	W	200	0.25	콘크리트 투과 가능 송신출력
	2	콘크리트 투과충전거리	충전가능 콘크리트 두께	m	0.5	0.25	일반적 콘크리트 거더 두께
	3	무인검사장비 탑재용 수신기 충전 배터리 용량	배터리 용량 측정	W	50	0.25	무인검사장비 운용 가능 배터리 용량
	4	무인검사장비 탑재용 수신모듈 무게	모듈 무게 측정	kg	0.5	0.25	무인검사장비 탑재 가능 무게

2) 무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술

■ 구조물 외관 조사를 위한 무인체 설계 및 구성

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 교량과 같은 구조물은 수직형, 절곡형, 경사형 등 규모나 형상이 다양할 뿐만 아니라, 외부나 내부를 검사하는 경우, 협소하거나 위험한 경우가 많아서 무인 검사장비를 채용하는 것이 바람직 함 ▪ 구조물 검사 및 유지보수 분야에서 무인체의 필요성이 큰 것에 비해, 실용화 개발은 부족한 현실이어서 현장 수요에 적극 대응하지 못하고 있음 ▪ 구조물 외관 조사에 적용할 수 있는 무인체로서 무인기(드론) 기술이 가장 유망하며 첨단 ICT 기술과의 융합을 통해 구조물 검사 및 유지보수 업무의 안정성과 효율화에 기여할 수 있음 ▪ 세계 무인기 시장은 2003년부터 2012년까지 21.8%의 성장률로 빠르게 성장하고 있으며 상업용 드론 시장의 경우 2014년 6천만 달러에서 2023년까지 8억 8천만 달러 규모로 확대될 것으로 전망됨. 이는 민간용 중소형 드론의 기술개발과 다양한 아이디어 드론이 개발되면서 민간 분야로의 활용이 확대되기 때문으로 분석됨 ▪ 아시아-태평양에서의 급속한 발전은 중국의 급성장 에서 기인하는 것으로 중국은 이미 민수용으로 소형 무인기를 제작 중이며, 내수 시장을 기반으로 투자를 확대 중에 있음 ▪ 민수용 무인기 시장에서는 향후 10년간 공공분야 수요를 중심으로 발전될 것으로 전망되며, 활용도 여하에 따라 확대될 것으로 전망되고 있음
국내외 기술동향	▪ 미국 Autel Robotics사의 X-Star Premium은 항공 사진 촬영용 쿼드 콥터 드론이며, 4K 카메라, 3축 짐벌 탑재하고 Ultra HD 비디오, 스마트폰 연동 기능이 있음 ▪ 프랑스 Novadem 사의 NX110은 군용으로 개발된 쿼드콥터 드론으로서 작전 반경 1km, 20분 비행 가능, 주야간 360° 전방위 정찰 가능하며, U130은 구조물의 주기적 검사 및 정밀진단을 위한 드론이며, 무게 2.5Kg, 길이 130Cm, 상승속도 4m/s, 풍속 12m/s, 검사 고도 245m, 운용시간 20~30분으로서 100m^{2}를 검사할 수 있음 ▪ 벨기에 FLEYE사의 Personal Flying Robo은 프로펠러를 케이스 안쪽에 장착한 드론으로서, 1080 HD 카메라, 500만 화소 영상 촬영, 비행시간 10분, 100m 내에서 조종 가능하며, 512MB 듀얼코어 컴퓨터, 자이로센서, 자기센서, 광학흐름센서, 고도계, GPS 등 7개 등의 센서를 장착하고 있음 ▪ 중국 DJI사 팬텀3 4K는 4K(4096×2160p) 카메라 탑재, 영상 480p, 비행시간 25분, 인식 거리 500m(CE) 임. 하지만 중국은 미국, 유럽에 비해 항공전자/통신, 그리고 항법시스템 관련 기술력은 높지 않다고 알려지고 있음
정부지원 필요성	▪ 해당 기술은 구조물의 외관 조사를 위한 무인체 응용 기술을 개발하는 것으로서, 기본 플렛폼 위에 구조물의 복합성/다양성에 대응하는 센서, 구동체 등에 대한 물리적/전기적 인터페이스가 필요함 ▪ 공공성이 큰 대형 구조물의 요구사항 및 운용개념 등을 개발하고 적용하기에 민간 단독으로는 구현하기 어려우며, 공공기관 및 정부의 지원이 시급함

과제의 개념 및 범위	▪ 구조물 외관 검사가 가능한 무인검사장비 개발
과제목표	▪ **구조물 외관 조사용 무인검사장비 시작품 개발** - 무인검사장비 제어정밀도 10cm - 무인검사장비 체공시간 1시간 - 무인검사장비 실시간 통신거리 3km - 가반하중 2kg 이상 - 풍속 10m/s 에서 안정적 운용이 가능
주요내용	▪ 자동수직이착륙 제어 및 1시간이상 비행이 가능한 비행체 설계, 제작 ▪ 풍속 10m/s에서 위치 및 자세유지 가능한 구조물 외관 조사용 무인기의 구조, 전원 및 동력계통 설계, 제작 ▪ 실시간 데이터 처리하며 정밀비행제어를 위한 탑재 장비류(비행제어컴퓨터와 항법장비, 3km 이상 통신 가능한 통신장비 등) 설계, 제작 ▪ 이동관제센터와 제어/상태 데이터, 영상/센서 송수신 ▪ 가반하중 2kg 이상의 임무장비 인터페이스 설계, 제작 ▪ 통합시스템 구성 및 테스트베드 적용
기술적 위험요인	▪ 무인기를 이용하여 조사업무 수행 시 구조물과의 충돌 상황이 발생하지 않도록 충돌위험 감지 및 회피 기술이 필요하며, 이를 위해 운용자가 무인기 운용 상황을 모니터링 하면서 손상이나 파손 없이 안전하게 제어할 수 있는 방안이 마련되어야 함 ▪ 조사업무 결과, 구조물의 위치가 전송된 후, 전문인력이 손쉽게 이를 확인 및 조치할 수 있어야 함
연구개발 추진전략	▪ 최근 무인기 개발동향을 분석하고 기 확보한 무인기 기술을 최대한 활용하여 중복 개발을 지양하고 첨단 ICT 기술과 융합하여 특화 기술의 완성도를 높일 수 있도록 함 ▪ GPS, 레이저 센서 등 두가지 이상의 센서 융합을 통한 충돌방지 등 안전기능의 이중화가 이루어지도록 함 ▪ 설계 단계에서 검증된 부품을 적용할 수 있도록 하며, 하위 모듈 단계에서부터 단계별 철저한 기술검증을 실시하는 등, 개발 품질을 확보하여 기술적 위험요인에 대한 관리체계를 구축함
기대효과 및 파급효과	▪ 대형구조물 검사의 기간 단축, 데이터의 신뢰성 향상 및 고품질화 ▪ 구조물 위험성에 대한 신속한 확인 및 조치가 가능하여 안전한 인프라 확보 ▪ 검사 인력의 업무환경 개선으로 근로자 만족도 향상 ▪ 해당 기술의 결과물은 실제 상용화가 가능한 장비로써, 국내외 대형 구조물의 검사 및 진단 장비로 확대할 수 있으며, 드론에 확대 적용 시 시장 규모는 약 5,200 억원 예상 (국내기업 10% 시장점유 목표) ▪ 주변 환경 인식, 자율운용 미래기술에 대한 기술경쟁력 선점과 교량 검사에 특화된 무인체 유/무선운용 HW/SW 관련 기술개발 촉진 ▪ 기존의 자율운항, 자율제어 기술과 전기/전자/정보/통신 기술을 융합하여 예측 대응 가능한 환경구축 산업 기술 확보

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 구조물 외관 조사용 무인검사장비 시스템 설계	- 요구사항 연구 분석 - 무인검사장비 개념설계 및 시스템 설계 - 무인검사장비 시스템 구성품 설계 - 무인검사장비 핵심 구성품 제작 - 무인검사장비 핵심 구성품 시험
2차년도	▪ 구조물 외관 조사용 무인검사장비 시스템 제작	- 무인검사장비 시스템 구성품 모듈별 시험 - 무인검사장비 통합시스템 구성 - 무인검사장비 통합시스템 시험 및 보완
3차년도	▪ 구조물 외관 조사용 무인검사장비 시스템 테스트베드 적용 및 검증	- 무인체 시스템 테스트베드 연구 및 개념설계 - 무인체 시스템 테스트베드 상세설계 - 무인체 시스템 테스트베드 적용 및 시험

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
외관조사용 무인체 개발	1	제어정밀도	제어명령에 따른 이동거리 실측	cm	10	0.2	2017년 예상 세계 최고기술 도달수준
	2	비행시간	체공시간 실측	분	60	0.2	세계최고기술 기준
	3	실시간 통신거리	자동/수동 모드 운용 가능한 통신거리 실측	km	3	0.2	상업용 국내 최고수준
	4	가반하중	가반하중 측정	kg	2	0.2	탑재할 구조물 진단 시스템의 예상 평균 무게
	5	운용풍속	풍속 센서의 측정값 확인	m/s	10	0.2	구조물 주변의 예상 평균풍속

■ 외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 대형 구조물 안전사고(창선대교, 성수대교 붕괴) 발생으로 안전 관리 정책 강화 및 노후 구조물 증가로 고효율성 자동화 관리 시스템 이슈화. 사회기반시설 유지관리 예산 감소 및 비효율적 점검 방식 개선을 위한 경제적 무인체 안전 진단 기술 필요성 증대 (한국시설안전공단) ▪ 교량 바닥판 하면 점검을 위해 크레인에 카메라를 부착한 모니터링 시스템 및 교량의 박스 내부 점검용 이동 로봇이 개발되었으나 특정 구조물에 제한적이고 실용화되지 못한 한계성. 무인체를 활용하면, 보다 범용적이고 효율적인 기술 개발 가능 (한국도로공사) ▪ 무인체 관련 시장은 2013년 66억 달러(약 7조원)에서 2022년 114억 달러(약 12조원)로 급성장할 것으로 전망 (미국 틸 그룹 보고서) ▪ 무인체 기반 구조물 유지관리 기술에 대한 국산화가 전무하며, 세계적으로 실용화된 기술이 개발된 사례 거의 없음. 무인체 자동 항법 운행 요소 기술들의 국내외 기술격차 (4.3년)가 점차 확대 중. 기술 선점을 통해 세계 시장 주도 및 고부가가치 산업으로 발전 가능
국내외 기술동향	▪ 독일 TUM의 LSD(large scale direct) SLAM은 GPS 인식이 불가한 음영지역, feature 추출이 어려운 환경에 강인한 위치 인식 기술이나, 기술에서 사용하는 monocular 이미지는 정확한 거리 정보를 알 수 없어 카메라 위치 추정의 한계가 존재. 대규모 영상을 기반으로 한 알고리즘으로 긴 연산 시간이 소요되어 실시간성의 한계 ▪ 미국 MIT의 Kintinuous는 RGB-D 센서를 이용한 3D 맵핑 기술로 대규모 공간에 대한 맵 생성에 유용. 맵을 구성하는 데이터 간 정합 알고리즘을 추가하여 명확한 맵을 생성할 수 있어야 하고 자율 운행을 위한 SLAM으로의 확장도 필요 ▪ 3차원 공간에서의 경로 설계는 환경을 고려한 실시간 변경 및 최적화를 수행하여야 함. 이를 위한 기법으로 최적화 기법, 적응 기법, 예측 기법, 모델 역변환 기법 등이 활용되고 있음. 최근에는 무인기 스스로 학습을 통해 경로를 재설정하는 알고리즘도 연구 중 ▪ 적외선 센서 또는 카메라 이미지(마커) 기반의 자동 이착륙 기술이 개발되어 있으며, 무인기 상용품에 적용 중 ▪ 구조물 진단 목적의 무인기 자율 운행 기술과 관련하여 해외에서는 TRL6단계의 기술 성숙도로 파일럿 규모 시작품 제작 및 성능평가가 수행되고 있으며, 시설감시, 지형탐사 등 상업적 활용 확대. 국내는 무인기 제조 및 기술력 면에서 열세로 부품 대부분 해외 의존, 실험실 규모의 성능 평가 수준
정부지원 필요성	▪ 구조물 안전관리 정부 정책 강화 및 노후 구조물 증가로 인한 경제적 무인체 기술 필요성 방향에 부합 ▪ 관련 산업에 대한 인식 부족으로 자금 확보 방법이 타 산업에 비해 적음 ▪ 2014년 기술영향평가에서 무인체를 장기실현기술로 선정, 2015년 무인 이동

	체 기술개발 및 산업성장 전략 수립
과제의 개념 및 범위	▪ 구조물 외부 진단 목적의 무인검사장비 자율운행 기술 개발
과제목표	▪ **외부환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품 개발** - 무인검사장비의 위치오차 및 접근거리 0.5m - 구조물 검사를 위한 3차원 최단경로 오차율 5% - 주행 시스템 구동에 의한 작업성공률 95%이상 - 3g(g:중력가속도) RMS, 50Hz 이하의 진동 및 풍속 10m/s 이하의 환경에서 안정적 센서데이터 획득 기술
주요내용	▪ 거리센서, 비전센서를 이용한 구조물 3차원 맵 생성 알고리즘 개발 ▪ 센서 데이터와 3차원 맵 매칭을 통한 정밀 위치 추정 알고리즘 개발 ▪ 3차원 최단 경로 생성 및 경로 추종 기술 개발 ▪ 거리센서 및 비전센서 기반 장애물 인식 및 회피 기술 개발 ▪ 비전센서를 이용한 착륙 지점 탐지 및 자동 이/착륙 기술 개발 ▪ 3차원 맵 생성 및 정밀 위치 추정 알고리즘, 경로 생성 및 추종, 장애물 인식 및 회피, 착륙 지점 탐지 및 자동 이/착륙 기술을 통합한 외부환경 자율주행 시스템 개발 및 최적화 ▪ 센서 데이터 기반 실시간 시스템 오류 감지와 추락 방지 시스템 개발 ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증
기술적 위험요인	▪ 교량 하부와 같은 GPS 음영지역에서의 위치 추정 신뢰도 감소 ▪ 조류와 타 비행체 등 동적 장애물과의 충돌 가능성 ▪ 배터리 부족, rotor의 고장 등 무인기의 동력 상실과 제어 오류에 의한 추락 위험성
연구개발 추진전략	▪ 실험실 규모의 기술을 시제품 화하고 신기술로 표준화할 수 있도록 대학-기업-수요처 간 연계 프로그램 마련 ▪ 위치 인식용 GPS 신호 유실시 대응 알고리즘 설계 ▪ 센서 데이터를 이용한 추락 및 제어 오류 감지, 대처 시스템 개발 ▪ 비전 및 거리 센서를 이용한 동적 장애물 탐지 및 회피 기술 개발
기대효과 및 파급효과	▪ 정확한 위치인식 기반 자동 구조물 검사 수행으로 유지 관리 비용 절감 및 인명 사고 예방 효과 ▪ 다양한 어플리케이션 및 증강현실과 결합하여 응용분야 확대, 고부가가치 산업으로 발전 가능 ▪ 무인 이동체 상용화는 다양한 분야 파생이 가능, 새로운 부가가치 및 일자리 창출 효과 큼 ▪ 무인체 기술이 유통시장 및 소비 패턴의 변화를 가져와 큰 파급효과 전망

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 3차원 맵 생성 ▪ 위치 추정 및 경로 생성 알고리즘 개발	- 거리센서, 비전센서를 이용한 구조물 3차원 맵 생성 알고리즘 개발 - 센서 데이터와 3차원 맵 매칭을 통한 정밀 위치 추정 알고리즘 개발 - 3차원 최단 경로 생성 및 경로 추종 기술 개발
2차년도	▪ 장애물 회피와 자동 이착륙 기술 개발	- 거리센서 및 비전센서 기반 장애물 인식 및 회피 기술 개발 - 비전센서를 이용한 착륙 지점 탐지 및 자동 이/착륙 기술 개발 - 3차원 맵 생성 및 정밀 위치 추정 알고리즘, 경로 생성 및 추종, 장애물 인식 및 회피, 착륙 지점 탐지 및 자동 이/착륙 기술을 통합한 외부환경 자율 주행 시스템 개발 및 최적화
3차년도	▪ 통합 자율 주행 시스템 개발	- 센서 데이터 기반 실시간 시스템 오류 감지와 추락 방지 시스템 개발 - 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발	1	위치 오차 및 접근 거리	무인기의 구조물 접근 거리 측정 및 오차 범위 계산	m	0.5	0.3	진단 및 관리 업무 수행을 위한 무인기와 구조물간 최단 거리
	2	3차원 최단 경로오차	개발 알고리즘 경로와 ground truth(ideal) 경로 간 길이의 백분율 차이	%	5	0.2	한정적 배터리 효율 극대화를 위한 무인기 최단 거리 경로 계획
	3	시스템 신뢰도	주행 시스템 구동에 의한 작업 성공 확률 계산	%	95	0.2	기술의 상용화 위한 시스템의 최소 신뢰도
	4	자율운행 가능 환경	바람 속에서의 안정적 데이터 계측	m/s	10	0.3	교량 외부 환경에서의 풍속

3) 무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술

■ 구조물 내부 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 사회인프라 시설 유지관리의 신뢰성 및 안전도를 높이기 위해서는 기존의 인력 검사에 의존하는 유지관리방식에서 탈피하여 시설물 건전도 정보 수집을 자동화하고, 정량화된 계측 데이터베이스 기반의 시설물 관리를 수행하는 것이 필수적임 ▪ 인프라 시설물의 내부 조사에 있어서는 협소한 공간적 제약으로 인하여 비행체 운영 보다는 주행 기반의 무인체 운영이 효과적임. 또한 주행 기술만으로는 검사대상물과의 접근거리 한계로 인하여 고품질의 2D/3D 영상 정보 취득이 불가하므로 구조물 내부환경에서 장애물을 극복할 수 있는 주행형 무인체에 넓은 작업반경을 갖는 매니퓰레이터를 결합하여 기술을 구현하는 것이 필요함 ▪ 검사용 모바일 매니퓰레이터로 사용할 수 있는 인접 기술로는 미국의 i-Robot사 Packbot 계열의 로봇이며, 전장이나 원전과 같은 위험지역에서 사용되고 있음. 대당 24만달러의 가격에, 년평균 1,000대 생산 가정시(2010년기준) 연 매출액은 최소 2880억원이며, 최근 매출 증가 추세가 가속화 되고 있음. 국내기술수준은 군사 분야에서의 시장경쟁력은 부족하나 시설물 유지관리라는 특수한 검사로봇 분야에서는 기술경쟁력이 있으므로 특수 환경이 고려된 모바일 매니퓰레이터 개발이 필요함
국내외 기술동향	▪ 한국도로공사에서 PSC Box 교량 내부 점검을 위한 주행 로봇이 개발이 되었으나, 매니퓰레이터가 존재하지 않아 근접 정밀촬영이 불가하며, 센서 설치 등의 작업이 필요한 경우에는 로봇 이외의 추가의 인력이 요구됨 ▪ 미국의 I-robot 사에서 소형 정찰감시 로봇으로 510 PackBot이 개발되었으며, 8 자유도, 길이 187cm의 로봇 매니퓰레이터가 장착이 가능하나, 고가이며 군사용으로 특화되어있음. ▪ 국내 매니퓰레이터 기술에 있어서는 전자부품연구소에서 7자유도 고출력/경량/중공형 매니퓰레이터가 개발된 바 있음. (자유도 7 D.O.F, 최대길이 70cm, 무게 14kg)
정부지원 필요성	▪ 시설물 건전도 평가와 유지관리는 시설물의 장수명화와 국가 인프라의 안전도 향상과 직결되는 중요한 국가적 사안이므로 사회인프라를 효율적으로 관리 할 수 있는 선도적 연구개발이 필요하며, 이를 통해 해외 인프라 수주 및 유지관리 사업까지 확장하여 국부 창출에 기여 가능 ▪ 특히 인프라 시설 내부의 난접근 지역에 대한 건전성 검사의 품질과 효율을 높이기 위해 모바일 매니퓰레이터를 통해 검사장비를 운용하는 것이 필요하며 무인화 작업을 통해 경제적 효과를 극대화 하는 것이 필요함
과제의 개념 및 범위	▪ 내부조사를 위한 무인검사장비 이동부 플랫폼 설계 ▪ 내부조사를 위한 무인검사장비 매니퓰레이터 개발
과제목표	▪ **교량내부조사용 무인검사장비 시작품 개발** - 최대 주행속도 1m/sec

	- 교량내부 격벽 통과 능력 (폭 70cm x 높이 100cm) - 6자유도, 작업반경 1.8m, 무게 15kg 이하의 매니퓰레이터 개발 - 매니퓰레이터의 가반하중 4.5 kg
주요내용	▪ 내부조사를 위한 주행형 무인체의 이동부 플랫폼 설계 - 작업시간 단축을 위한 교량 내부 환경 정형화 (격벽에 범용적으로 적용가능한 간이 구조물을 도입) - 교량 내부 환경의 주행과 격벽 통과 가능 ▪ 주행형 무인체 플랫폼에 장착되는 매니퓰레이터 개발 - 6자유도, 1.8m 작업반경 ▪ 시스템 통합, 구조물 내부 조사시연 및 성능개선 - 건전도 검사장비를 탑재하고, 자율주행 알고리즘과 통합
기술적 위험요인	▪ 실제 구조물의 환경 분석에 기반하여 내부조사 무인체의 설계 요구사항이 도출되지 않는 경우, 적용 및 운영과정에서 한계점 발생 ▪ 단기간의 기술개발과정에서 무인검사 플랫폼, 자율운행 기술, 센싱 및 프로세싱 기술, 무인검사 운용 및 통제부 간의 신뢰성 있는 시스템 구현 어려움
연구개발 추진전략	▪ 1차년도 연구에서 구조물 내부환경에 대한 분석을 무인체를 비롯한 검사장비, 유지관리 운영 차원에서 다각도로 검토하여 무인검사장비의 설계와 운영 시나리오 개발에 반영함. 해당 기술을 단순히 로봇 기술 관점에서 접근하기보다는 구조물 진단 및 유지관리라는 최종적 임무를 목적에 두고 수요자와 운영자 측면에서 개발을 수행 ▪ 검사 플랫폼을 중심으로 하드웨어, 소프트웨어, 통신부 등에 대한 인터페이스 및 프로토콜을 사전에 조율하여 시스템 통합시 시행착오 과정을 최소화 ▪ 매니퓰레이팅 무인체 기술은 현재 국내 업체의 기반이 마련되지 않은 상황이므로, 학/연을 중심으로 개발을 추진하고, 통합 시스템 구현에 있어서는 업체와 긴밀할 협조를 통해 전체 시스템으로서의 완성도를 높이는 방향으로 기술개발
기대효과 및 파급효과	▪ 무인체와 매니퓰레이터 조작을 통해 교량 내부에 대한 고품질의 검사 정보 취득이 가능 ▪ 교량 내부 조사의 무인화를 통한 구조물 유지관리의 효율성 향상 및 유지관리 비용 절감. ▪ 사회 기반 시설물의 위험 진단 및 시설물 수명 예측으로 인한 장수명화에 기여 ▪ 추후 연구가 확장된다면, 무인 검사뿐만 아니라 원격 제어를 통한 센서 설치, 필요에 따른 추가적 센싱 등의 작업까지 가능케 함으로써 구조물 유지관리의 효율성을 향상 ▪ 기존의 인력 검사에 의존하는 유지관리방식에서 탈피하여 시설물 건전도 정보 수집을 자동화하고, 정량화된 계측 데이터베이스 기반의 시설물 관리를 수행함으로써 사회인프라 시설의 유지관리의 신뢰성 및 안전도를 향상 ▪ 특화된 난접근 환경에서의 모바일 매니퓰레이팅 로봇 기술 선점 이후에 건설분야 적용처 확대와 로봇 시장의 점유율 확보

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 구조물 내부 조사를 위한 주행형 무인체 및 매니퓰레이터 설계	- 구조물 내부 환경 및 검사장비 분석 - 구조물 내부 조사를 위한 주행형 무인체 및 매니퓰레이터 플랫폼 설계
2차년도	▪ 주행형 무인체 및 매니퓰레이터 플랫폼 구현	- 구조물 내부 조사를 위한 무인체 플랫폼 하드웨어 구성 - 구조물 내부 조사를 위한 무인체 플랫폼 소프트웨어 구성
3차년도	▪ 구조물 내부 조사를 위한 무인 검사장비 시스템 통합, 테스트 및 성능개선	- 자율주행 알고리즘/검사장비와 통합한 구조물 내부 무인 검사 - 이동관제센터와 연계한 구조물 내부 무인 검사 - 구조물 내부조사 테스트 및 성능개선

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
내부조사용 무인체 개발	1	최대 주행속도	거리/시간측정	m/s	1	0.2	평균 보행속도
	2	교량 내부 환경 격벽 통과 능력	현장실험	폭 cm	70	0.2	환경정형화 방안에 따른 매니퓰레이터와 검사장비를 장착한 주행로봇의 격벽 통과 능력
				높이 cm	100		
	3	매니퓰레이터 자유도	설계도, 플랫폼 실물 검사	D.O.F.	6	0.2	검사장비 스캐닝을 위한 3차원 공간 운동의 최소 자유도
	4	매니퓰레이터 최대 확장 길이	길이측정	m	1.8	0.2	교량 내부 격벽의 환경적 제약을 고려한 길이
	5	매니퓰레이터 가반하중	가반하중 측정	kg	4.5	0.2	교량 내부 주행에 적합한 무인검사장비 크기 고려

■ 밀폐된 내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 밀폐된 구조물 내부 환경에서 필요한 항법은 GPS 기반 불가. GPS 음영지역에서의 항법은 구조물에 설치된 센서의 인식에 의존하여 이루어지며, GPS등에 의한 절대 위치보다는 센서 위치에 의한 추정 위치를 사용. 동시에 인식된 주변 환경 정보에 기반한 궤적 생성과 물체 탐지를 통한 충돌 회피는 자동 운행을 위한 요소 기술로 판단됨 ▪ 안전과 고령화 등으로 구조물 진단의 무인화 필요성은 증대. 작업의 위험성 및 작업 인력의 고령화로 인하여 무인화가 시급. 작업 환경은 비좁은 내부나 외부의 위험한 환경의 가능성이 높음. 고령화로 인하여 무인화 설비 도입으로 안정적이고 정량적인 조사 가능 ▪ 특히 내부 환경의 경우 환경의 복잡도가 증가하고 운용 가능한 영역이 극도로 제한되어 있어 내부 위치 추정 오차에 영향이 크게 받음. 주변 환경 중 충돌 회피로 이동 가능한 범위의 정확한 추정을 위하여 로봇의 위치와 환경에 대한 정밀 지도가 필요. ▪ 정량적인 검사의 필요. 인력에 의존하는 검사의 경우 장비를 이용한다하더라도 많은 부분에서 직관적인 부분이 존재하며, 정성적 평가와 조사가 존재. 무인체를 통한 조사는 정량적이고 반복 적인 조사가 가능하여 조사의 신뢰도를 향상 시킬 수 있음 ▪ 위치 추정, 궤적 생성, 충돌 회피의 요소 기술에 대한 개발 필요. 위치 추정의 오차율은 내부 문제 요인 조사의 정확도에 직접적 영향. 특히 실내의 고도의 복잡한 환경에서 개발 적용되어 다른 시설물의 관리에도 확장적용 가능
국내외 기술동향	▪ 일리노이대학의 Mani 교수팀은 BIM 정보와 센서 정보를 융합하여 정보화하는 기술 및 환경 맵핑 기술을 보유. 센서 정보의 융합을 통하여 현재 센서 정보가 획득된 시점을 추정하고 정보를 융합하여 전체 환경을 맵핑하는 기술을 개발. 정량적인 정확도에 집중하기보다 시공 프로세스 모니터링에 활용 ▪ 한국시설안전공단, 한국도로공사에서는 인공표식물을 통한 시설물 안전 관리에 대한 기술을 개발. 한국생산기술연구소의 경우 상하수도 관 내의 모니터링을 위하여 비전 기반 기법을 개발. 이때 표면에 아무 정보가 없는 시설물 내의 효과적 맵핑을 위하여 이동시 페인트를 인위적으로 분사하여 길을 기억하고 환경 맵핑을 효과적으로 진행 ▪ 미국 해군의 선박 조사 과제와 스페인의 댐 조사 과제 및 프랑스의 교량 조사 과제 등에서 이미 세계의 유수 대학과 연구 기관들이 시설물안전 점검 무인화에 참가하고 있음. 상기 기술된 과제에서 위치 추정, 궤적 생성, 충돌 회피는 주요 요소 기술로 지목되어 개발이 진행
정부지원 필요성	▪ 플랫폼과 알고리즘 개발의 실효성을 확보하기 위해 실제 테스트베드에서 검증이 필수적 ▪ 사회 안전 문제등과 밀접한 관련이 있어 공익 목적으로 개발 당위성 존재

과제의 개념 및 범위	▪ 밀폐된 구조물 내부조사를 위한 자동운행 플랫폼 요소 기술 개발
과제목표	▪ **내부환경에서의 자율운행 플랫폼 요소 기술 개발** - 위치추정 모듈 위치 정확도 오차 10cm - 10Hz의 경로생성 실시간성 - 10Hz의 충돌회피 실시간성
주요내용	▪ 시설물 내 밀폐공간을 인지할 수 있는 센서 처리 기법 연구. 광조건과 제한된 환경에서 적용 가능한 센서 종류를 선정하고 노이즈 등 센서 처리 기법 연구 ▪ 기존 인식 센서 데이터의 보완 및 보강 기술. 제한된 광조건과 평이한 환경에서 센서 정보 취득을 위하여 보강 및 보완 기술 연구 ▪ 시설물에 적합한 BIM, 내장센서, 인공표식의 적용 방법 연구. 인공 표식물을 만들어 환경에 표식물 설치. 능동적인 지도 생성 기법 연구. 내부 환경은 외부와 달리 제한된 공간에 대부분 특이점이 없는 센서 데이터로 구성 ▪ 위치추정 및 시설물 주변 인식을 통한 환경 맵핑. 정확도 10cm 이내의 위치 추정 오차 ▪ 10Hz의 처리속도를 보장하는 실시간 충돌감지 및 충돌회피 경로 생성. 획득한 10cm 정확도의 지도에 대해 충돌 감지 및 회피를 위한 경로 생성 기술 개발. 10Hz 의 속도로 실시간성 보장 필요
기술적 위험요인	▪ 무인체의 내구성 문제 (고장이나 유지 보수로 인한 실제 운용 기간 감소) ▪ 무인체의 낙하 등으로 인한 안전사고 위험
연구개발 추진전략	▪ 시뮬레이션을 통한 고도의 복잡도를 가진 환경에서의 항법 기술과 경로 생성 기술 개발 ▪ 실효성 있는 연구 성과 도출을 위하여 시나리오 기반의 실제 환경에서의 적용 및 개발 기술의 실질적 검증 ▪ 개발 모듈의 실시간성 확보를 위하여 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 협력 추구
기대효과 및 파급효과	▪ 대형구조물 검사의 기간 단축, 데이터의 신뢰성 향상 및 고품질화 ▪ 구조물 위험성에 대한 신속한 확인 및 조치가 가능하여 안전한 인프라 확보 ▪ 검사 인력의 업무환경 개선으로 근로자 만족도 향상 ▪ 주변환경 인식, 자율운용 미래기술에 대한 기술경쟁력 선점과 교량 검사에 특화된 무인체 유/무선운용 HW/SW 관련 기술개발 촉진 ▪ 기존의 자율운항, 자율제어 기술과 전기/전자/정보/통신 기술을 융합하여 예측 대응 가능한 환경구축 산업 기술 확보

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 센서 운용 기반 기술 확보	- 시설물 내 밀폐공간을 인지할 수 있는 센서 처리 기법 연구 - 광조건과 제한된 환경에서 적용가능한 센서 종류를 선정하고 노이즈 등 센서 처리 기법 연구
2차년도	▪ 센서 기반 위치추정 기술 개발	- 시설물에 적합한 BIM, 내장센서, 인공표식의 적용 방법 연구 - 인공 표식물을 만들어 환경에 표식물 설치. 능동적인 지도 생성 기법 연구
3차년도	▪ 충돌방지 및 경로생성 연구	- 10Hz의 처리속도를 보장하는 실시간 충돌감지 및 충돌회피 경로 생성 - 획득한 10cm 정확도의 지도에 대해 충돌 감지 및 회피를 위한 경로 생성 기술 개발 - 10Hz 의 속도 실시간성 보장

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발	1	위치추정 오차	검증환경 내에서 알고리즘 검증	cm	10	0.3	수 센티미터 내 위치 추정 오차 확보
	2	경로생성 실시간성	경로생성 소요시간 측정	Hz	10	0.4	10 Hz 처리 속도 확보
	3	충돌회피 실시간성	충돌회피 소요시간 측정	Hz	10	0.3	10 Hz 처리 속도 확보

4) 무인검사장비 운영 및 원격통제 기술

■ 무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 구조물 진단환경을 정의하고 운용시 발생할 수 있는 위험요인을 사전에 점검하며 안전성을 확보하기 위해 무인체 원격통제기술이 필요함 ▪ 무인검사장비 운용에 따르는 대용량 데이터 저장기술에 대한 실용화 개발은 부족한 현실이어서 현장 수요에 적극 대응하지 못하고 있음 ▪ 기존의 무인항공기 또는 지상 이동 로봇의 원격통제장치는 오픈된 영역의 2차원 수치지도 또는 위성지도를 기반으로 설계되어 교량 검사에 적용하는데 어려움이 있음 ▪ 교량 진단을 위한 무인검사장비의 임무계획 기능 및 관련 기술은 전세계적으로 출시된 제품이 없어 기술 개발 시 조기 시장 선점이 가능 ▪ 장애물을 극복할 수 있으며, 매니퓰레이터를 장착한 기존의 필드로봇 플랫폼에 임무장비 기술을 응용하여 교량 내부 구조물 진단이 가능함
국내외 기술동향	▪ 국내뿐만 아니라 세계적으로 무인체 자동 운용을 위한 자동착륙 유도기술 연구개발이 진행 중에 있음 ▪ 이동관제센터는 차량에 탑재된 통제장치와 유도장치를 기반으로 무인체 및 검사장비를 조종하는 역할로서 하드웨어 및 소프트웨어 기술발전에 따라 성능이 향상되고 있음 ▪ 이동관제센터는 무인체 제어에 필요한 각종 계기와 영상 모니터 조종장치, 통신장비, 컴퓨터 등이 갖추어져 있음. 이동관제센터는 대한항공, 퍼스텍, 유콘시스템에서 다년간 무인체 체계개발을 통하여 핵심기술을 보유하고 있음
정부지원 필요성	▪ 무인체의 통합운용, 원격통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터기술은 구조물 감시진단 업무에 적용되는 무인체 시스템이 안전하게 운용될 수 있도록 무인체 상태감시, 이착륙 유도 및 원격제어, 대용량 데이터 저장 및 처리 기술을 개발하는 것임 ▪ 장비 요구사항 및 운용개념 등을 개발하여 검증 및 도입되기 위해서는 민간 단독으로는 어려우며 공공기관의 참여 및 정부의 지원 요망됨
과제의 개념 및 범위	▪ 무인검사장비의 위치정보를 비롯한 상태정보를 감시 및 디스플레이 하면서 실시간 제어 가능한 이동관제시스템 개발 ▪ 임무수행 후 무인검사장비의 안전한 복귀 및 착륙을 위한 착륙 유도 시스템과 보관시스템 개발 ▪ 무인검사장비의 임무계획수립, 경로설정, 수동/자동 운용모드 선택이 가능하며, 통신두절에 대비하여 안전하게 회수할 수 있는 임무계획 및 통제시스템 개발 ▪ 무인검사장비로부터 획득되는 데이터의 처리, 저장, 전송을 위한 대용량 데이터 처리 및 저장시스템 개발 및 상위 관제센터와의 통신 인터페이스 개발
과제목표	▪ **무인검사장비의 운영 및 원격통제가 가능한 이동관제센터 시작품 개발** - 데이터 갱신주기 10Hz - 무인검사장비 위치감지 정밀도 10cm

	- 실시간 감시제어 및 1 TB급 저장 기능
주요내용	▪ 영상/상태/제어 데이터 갱신주기 10Hz 이상의 기술개발 ▪ 무인체의 안전한 유도를 위한 위치감지 정밀도 10cm 이내 기술 개발 ▪ 구조물 내/외부 검사용 무인체용 도킹 및 보관장치 기술개발 ▪ 산업용 컴퓨터 기반의 데이터 처리 및 저장 시스템 기술개발 ▪ 구조물 내/외부 검사용 무인검사장비의 임무계획수립, 경로설정, 수동/자동 운용모드 선택이 가능하며, 장비 운용시 통신두절에 대비하여 안전하게 회수할 수 있는 임무계획 및 이중화 통제시스템 개발 ▪ 데이터의 처리, 저장, 전송을 위한 대용량 데이터 처리 및 저장시스템 개발 (표준메모리 4GB 이상, 최대128GB RAM, 1TB 이상 스토리지) ▪ 구조물 내/외부 조사를 위한 무인검사장비, 지상관제시스템, 착륙유도장비 등을 보관 및 이동(운반)할 수 있으며, 이동 중에도 통신이 가능한 이동 관제센터 기술개발 및 통합시스템 구성 ▪ 밀폐된 곳에서 운용되는 무인검사장비와 이동관제센터가 통신하기 위해서는 중계기를 사용하거나 부분적으로 유선통신을 채용할 수 있음
기술적 위험요인	▪ 무인체 운용범위에 대한 사전정보 부족과 결함이 발생할 수 있는 조사 대상의 위치정보 및 환경정보 부족 ▪ 비가시권 발생 영역에서의 운용방안 ▪ 위험 요인에 대한 사전감시 및 대응방안 ▪ 적합한 규모의 시스템 설계(대형화 vs. 경량화 vs. 실효성)
연구개발 추진전략	▪ 해당 기술은 실제 무인체를 운용할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어가 융합된 시스템을 개발하여야 하므로 유사장비 개발경험이 있는 업체 역할 중요 ▪ 지상관제시스템 소프트웨어에 통합되는 영상처리 소프트웨어, 경로계획 소프트웨어 등은 산학 협력개발 가능 ▪ 무인체를 안전하고 효율적으로 운용할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어가 융합된 시스템을 개발하여야 하므로 수요현장 운용환경 및 조건이 명확히 정의되도록 함 ▪ 무인체 보관 및 운용이 가능한 모바일 장치와 실시간 통신, 소프트웨어 및 하드웨어적으로 인터페이스 되어야 하므로, 감시장치, 유도장치, 통신지원장치를 수요관계처 및 관계 전문가 협력 ▪ 본 과제의 결과물은 실제 운용 가능한 소프트웨어를 포함하는 이동식 원격통제장비로, 체계(전체 과제 주관기관)에서 무인체와 통합하여 수요처(한국도로공사 등)를 통하여 최종점검 및 활용될 수 있도록 함
기대효과 및 파급효과	▪ 대형구조물 검사의 기간 단축, 데이터의 신뢰성 향상 및 고 품질화 ▪ 구조물 위험성에 대한 신속한 확인 및 조치가 가능하여 안전한 인프라 확보 ▪ 검사 인력의 업무환경 개선으로 근로자 만족도 향상 ▪ 해당 기술의 결과물은 실제 상용화가 가능한 장비로써, 국내외 대형 구조물의 검사 및 진단 장비로 확대할 수 있음 ▪ 주변환경 인식, 자율운용 미래기술에 대한 기술경쟁력 선점과 교량 검사에 특화된 무인체 운용 HW/SW 관련 기술개발 촉진 ▪ 기존의 자율운항, 자율제어 기술과 전기/전자/정보/통신 기술을 융합하여 예측 대응 가능한 환경구축 산업 기술 확보 ▪ 국내에서 검증 후 해외로 수출 가능함

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 구조물 외관 및 내부 조사용 무인체의 보관/이동/운용이 가능한 이동식 관제센터 시스템 및 구성품 설계	- 요구사항 연구 분석 - 이동식 관제센터 개념설계 및 시스템 설계 - 이동식 관제센터 구성품 설계 - 이동식 관제센터 핵심 구성품 제작 - 이동식 관제센터 핵심 구성품 시험
2차년도	▪ 구조물 외관 및 내부 조사용 무인체의 보관/이동/운용이 가능한 이동식 관제센터 구성품 및 시스템 제작	- 이동식 관제센터 구성품 제작 - 이동식 관제센터 구성품 모듈별 시험 - 이동식 관제센터 통합시스템 구성 - 이동식 관제센터 통합시스템 시험 및 보완
3차년도	▪ 테스트베드 구축 및 검증	- 무인체 시스템 테스트베드 구축 및 시험 - 무인체 시스템 테스트베드 검증

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
이동식 관제센터 개발	1	데이터 갱신주기	측정장비	Hz	10	0.3	상업용 국내 최고수준
	2	무인체 위치감지 정밀도	측정장비 및 실측자료 비교	cm	10	0.4	세계최고기술 기준
	3	저장용량	저장용량 측정	TB	1	0.3	대용량 구조물 진단 데이터 저장

■ 무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 전송 및 급속충전 제어 데이터 송수신 기술

• 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 스마트폰, 태블릿 PC, Smart Watch 등의 IT 디바이스의 무선 충전이 상용화가 본격적으로 진행되어 전 세계적으로 시장 확대가 진행되고 있음 ▪ 드론, 무인 로봇을 포함한 무인체 무선 충전 시장은 현재 활성화 되지 않은 상태이므로 새로운 시장 형성이 가능함 ▪ 무인체에 무선 충전 기술을 적용하는 것은 현재 기술 개발 단계에 속해 있으며 상용화를 위해서는 현실적이고, 실용적인 관점의 연구 개발이 필요 ▪ 접근이 용이하지 않은 구조물의 내/외부검사를 위한 무인검사장비로의 무선 전력공급 및 급속 충전, 데이터 전송기술에 대한 연구가 필요
국내외 기술동향	▪ 국내 KAIST - 2015년 7월, 'TERA-DRONE1'이라는 무선충전 스테이션을 통한 드론 무선 충전 기술을 개발 ▪ 미국 WiTricity - 2015년 7월, 무선 충전 패드를 통한 드론 무선 충전 기술 개발 및 드론에 부착된 무선 충전 패드를 통해 모바일 기기 및 센서 무선 충전 기술 개발
정부지원 필요성	▪ 국가가 관리하는 사회 기반 시설물의 관리 및 유지 보수를 위한 무인 이동체의 도입 및 활성화를 위해 무선 전력 및 계측 데이터 송수신 기술 개발의 국가적 차원의 연구 지원 요구 ▪ 기존 대형 시설물 유지관리 인프라 구축에 있어, 전력 및 신호 전송 케이블 설치가 전체 예산에 상당 부분을 차지하므로, 무선 전력/신호 전송 기술을 적용하여, 전력 및 신호 전송 케이블 사용을 배제함으로써 해당 예산 감축 효과를 낼 수 있음
과제의 개념 및 범위	▪ 이동관제센터의 무선충전 스테이션과 교량 외부 검사용 무인검사장비 탑재용 소형/경량 무선충전모듈 개발, 급속무선충전 방식 구현 및 급속 충전 제어 데이터 송수신 기술 개발 ▪ 이동관제센터와 교량 내부 검사용 무인검사장비 탑재용 소형/경량 무선충전 모듈 간 콘크리트 투과가 가능한 고효율 급속무선전력전송 및 급속 충전 제어 데이터 송수신 기술 개발 ▪ 이동관제센터와 강 Box내 센서모듈 간의 무선 전력전송 및 급속 충전 제어 데이터 송수신 기술 개발
과제목표	▪ **자기공진 방식 이동관제 센터용 무선전력 송신기 및 급속 충전 데이터 송수신기 시작품 개발** - 송신출력 ~200W - 근거리/원거리 충전: 무인검사장비 (~5cm), 콘크리트투과 (~0.5m) - 급속충전기능(Quick Charge 2.0이상) - 급속 충전 데이터통신 주파수: ISM대역 ▪ **자기공진 방식 무인체 탑재용 무선전력 수신기 및 급속충전 데이터 송수신기 시작품 개발** - 충전 배터리용량 ~50W (12V-4A) - 수신모듈무게: 0.5kg 이하

	- 급속충전 데이터통신 주파수: ISM대역
주요내용	▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 고효율 전력 증폭기 및 공진기 설계 및 최적화 ▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 고효율 전기 변환 회로 및 전력 제어 시스템 개발 ▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 고출력 고효율 급속 충전 알고리즘 개발 및 구현 ▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 코일 간 공간 변화에 따른 효율 저하를 극복하는 무선 전력 전송 기술 연구 ▪ 콘크리트투과 무선 전력 전송 환경에 대한 분석 및 효율의 최적화 기법 연구 ▪ 강 Box의 전력전송 환경에 대한 분석 및 무선 전력 전송 효율의 최적화 기법 연구 ▪ 무인검사장비 탑재 가능한 소형 경량 무선 전력/급속 충전 데이터 전송 모듈 및 시스템 개발
기술적 위험요인	▪ 고출력의 무선 전력 전송 시스템 동작 시 발열로 인한 시스템 동작 영향 ▪ 무선 충전 코일 간의 거리 및 위치 변화에 따른 전력 전송 효율의 저하 ▪ 장애물(콘크리트) 투과 시에 발생하는 효율 저하로 인한 요구 수준에 못 미치는 무선 전력 전송 효율에 따른 무인체 충전 필요 전력 미충족 ▪ 외부 환경 및 장애물 투과 환경의 다양한 환경적인 영향 및 주파수 혼선 및 간섭에 따른 데이터 송수신 성능 저하 ▪ 무인체의 부착 가능한 수준의 무선 전력 및 데이터 전송 시스템의 경량화 및 소형화의 한계
연구개발 추진전략	▪ 무인체 관련 업체와의 전력충전부/통신제어부의 협력 연구를 통한 탑재 가능한 무선전력 및 급속충전통신모듈 경량화 성과물 확보 ▪ 무인검사장비에 허용 가능한 수준 및 무인검사장비에서 요구하는 상세 조건을 토대로 제한된 상황에서 최적의 무선 전력전송 및 급속충전 데이터 전송 도출을 위한 심층 연구 ▪ 이동 관제 센터와 무인체간 다양한 환경에서의 무선전송채널 및 급속충전 데이터전송채널의 전파예측 모델을 통한 최적 시스템 링크 연구 ▪ 무인검사장비 및 센서 모듈에 탑재 시 무선 전력 전송 및 급속 충전 데이터 전송 시 무선채널 상황인지 및 적응기술 도입 ▪ 이동 관제 센터와 무인체간의 고효율 전력전송 및 과충전/과부하 방지등 안정성 확보 기술 도입 ▪ 전자파 인체 보호 기준을 만족하는 전력 전송 환경(수리적 모델 및 안정성 검증) 제시
기대효과 및 파급효과	▪ 시설물 안전 진단의 무인화 및 무선화를 통해 해당 인력 감축 및 전력 및 신호 전송 케이블 등을 비롯한 설비 유지 및 보수비용 감축 ▪ 무인체에 상용화가 가능한 무선 충전 기술을 적용함으로써, 기존 무인체 전력 공급에 대한 한계점 개선과 동시에 무선 충전을 도입한 무인체 시장 활성화 기대 ▪ 장애물을 포함한 환경에서 일정 효율 수준을 유지하는 무선 전력 전송 기술 개발을 통해 다양한 환경 변화를 극복 가능한 무선 충전 기술 개발 기대

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 무인검사장비·이동관제센터 탑재용 무선 전력 전송 시스템 설계 및 사양 설정	- 무인검사장비의 전력 요구량과 제한 조건을 만족하는 무선 전력 전송 시스템 상세 사양 설정 및 설계
2차년도	▪ 무인검사장비·이동관제센터 탑재용 무선 전력 전송 시스템 제작 및 하우징	- 설계된 시스템을 바탕으로 소형화, 경량화를 포함한 무선 전력 전송 시스템 제작 및 하우징
3차년도	▪ 무인검사장비·이동관제센터 통합한 무선 전력 전송 시스템 적용 및 성능 최적화	- 무선 전력 전송 시스템을 무인체·이동관제 센터에 적용한 통합 시스템 제작 및 성능 최적화

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
무인검사 장비와 이동관제센터 간 무선 전력 전송 및 급속충전 제어 데이터 송수신	1	이동관제센터용 전력 송신출력	송신출력 측정	W	200	0.25	콘크리트 투과 가능 송신출력
	2	콘크리트 투과충전거리	충전가능 콘크리트 두께	m	0.5	0.25	일반적 콘크리트 거더 두께
	3	무인검사장비 탑재용 수신기 충전 배터리 용량	배터리 용량 측정	W	50	0.25	무인검사장비 운용 가능 배터리 용량
	4	무인검사장비 탑재용 수신모듈 무게	모듈 무게 측정	kg	0.5	0.25	무인검사장비 탑재 가능 무게

4.1.2 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

1) 2세부과제 개요

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 강재는 우수한 경제성과 물리적 특성에도 불구하고, 원천적으로 부식이 발생됨. 부식 속도는 보통 연간 0.02mm 정도지만, 구조물 관리 수준에 따라 연간 0.3mm 이상까지 진전됨. 전체 강재 부피 1%의 부식은 5~10%의 강도 하락을 초래함 (교량 점검 핸드북, 국토교통부) ▪ 강재균열은 대다수가 강재의 피로손상으로 인해 발생하고 있으며 피로에 의한 부재의 파손 사고는 전체 파손사고 중에서 약 59%를 차지하고 있음 ▪ 볼트접합부에서 볼트풀림 교량에 심각한 내하력 저하를 야기하고, 위험부재로써 관리되고 있으나 특별한 대체 기술이 없어 종래의 기술들이 현재까지 이용되고 있음 ▪ 현재 개발된 콘크리트 균열 진단 기술들은 실구조물의 현장 상황, 예컨대 현장 조도 및 음영의 영향 혹은 표면 불균질 상태의 영향으로 정밀한 계측이 용이치 않거나, 분석이 어려우며, 그 신뢰도가 높지 않음 ▪ 콘크리트의 손상을 정량화하고 적절한 유지관리 계획을 세우기 위하여, 최신의 영상 기반의 장치를 이용하여 백태와 박락을 정량화하는 기술 개발이 필수적임 ▪ 매년 우리나라에서 세굴로 붕괴되는 교량의 수는 평균 100개가 넘는 것으로 조사 되었으며 (재해연보, 한국건설기술연구원) 이를 방지하기 위해서는 홍수시, 세굴심을 정확하게 측정할 수 있는 기술이 필요함 ▪ PT텐던은 장대교량, 원전구조물 등 대형 콘크리트구조물을 구성하는 주요 부재로써, PT텐던의 잔여장력은 구조적 안전성과 밀접한 연관이 있음. 그럼에도 불구하고, 콘크리트에 매립되는 PT텐던의 설계구조상 인력 접근 및 센서부착이 불가능하여 현재 장력측정 기술이 없음 ▪ 최근 (2016.2.21.) 서울 내부순환로 일부 교량에서 텐던의 부분절단, 부식이 발견됨으로써 한 달 동안 긴급 폐쇄되었으며, 이로 인하여 극심한 교통 정체, 보수·보강 등 막대한 사회적·경제적 비용이 발생함
국내외 기술동향	▪ 일본 Nippon paint사에서 도포 된 도막 두께에 따라 색상이 변하는 도료를 개발 하였으나, 도막 색상 선정에 한계가 있을 뿐 아니라, 적용 가능 범위가 450μm 이하의 도막 두께에 한정 됨 ▪ 미국 George Washington University에서 강재 내부에서의 전기적 특성 분석을 통한 부식 진행 정도를 평가할 수 있는 기술을 개발 중에 있으나, 해당 기술은 부식이 진행되는 위치를 알려주지는 못함 ▪ 미국 National Technical Information Service사에서 레이저 분광기법을 이용하여 도료가 도포된 강재의 도막 두께 및 부식 정도를 측정하는 기술이 개발 중에 있으나, 해당 기술은 파괴검사에 해당되며 손상 이전 초기 계측데이터의 수집이 필수적임 ▪ 접촉식 압전센서를 이용한 피로균열 진단과 관련해서는 Hong Kong Polytechnic University에서는 운행중인 베이징-상해 고속철도차량 보기 구조물에 시험 적용한 바 있으며, KAIST에서는 압전센서를 이용한 피로균열

	진단이 가능한 무선센서 노드를 개발하고 이를 영종대교에 현장 적용함. 또한 비접촉 가진과 레이저 스캐닝을 통해 균열을 영상화 할 수 있는 기법을 개발함 ▪ 영상을 활용한 볼트풀림 진단 기술은 부경대학교 산학협력단에서 기술을 개발한 바 있고 해외에서는 미국 Perdue University에서 개발한 바 있음 ▪ ㈜쓰리텍에서는 고정된 상태의 CCD 카메라를 이용하여 20m 의 거리에서 0.1mm 균열을 측정한 바 있으며, UNIST 에서는 UAV에 CCD 카메라를 적용해 콘크리트 균열 폭 0.25mm 까지 측정한 바 있음 ▪ 프랑스 Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussees 에서는 UAV에 CCD 카메라를 탑재해 mm 단위의 교량 표면 균열 탐지를 위한 적용가능성 실험을 수행한 바 있음 ▪ 콘크리트의 백태를 측정하는 영상 및 초분광 영상 기반 기술은 국내외 모두에서 개발된 바 없으며, 2012년 미국 조지아텍 연구팀(German, Brilakis, and DesRoches; 2012)은 문헌연구를 통해 영상 기반으로 콘크리트의 박락을 정량화 하는 기술이 개발된 바 없다고 밝힘 ▪ 국내외적으로 음파/초음파 기반의 세굴 진단 시스템을 개발, 검증한 바 있으며 일본에서는 경사계 및 가속도계를 이용하여 세굴심을 측정하는 기술을 개발한 바 있음. 하지만 국내외 대부분의 기술들은 공통적으로 상시 모니터링이 힘들다는 문제점을 가지고 있음 ▪ 한국건설기술연구원(KICT)에서는 강연선 중앙에 광섬유와 FBG센서가 삽입된 스마트 강연선을 개발하여, 강연선 길이방향의 장력을 계측함. 해당 기법은 광계측장비, 스마트 강연선 특수제작공정 (강연선 내부에 광섬유 삽입) 에 과도한 초기비용이 발생함. 미국 Northeastern 대학교에서는 PT텐던 장력 정량화를 위한 전자기센서를 개발하였으나 해당기법의 적용을 위해서는 순간적으로 수백W의 전력이 요구되어 상시적 진단에 활용될 수 없고, 구조물 매립이 불가함
정부지원 필요성	▪ 도료는 외부 환경에 대한 구조물의 1차적인 보호재로, 정량적인 도료 두께 관리 체계는 안전한 사회 건설을 위한 필수적인 기술임. 또한 부식은 강구조물에서 가장 많이 발생하는 손상유형으로써, 이를 정량적으로 파악하는 기술은 안전한 사회 건설을 위하여 필수적임 ▪ 대형 사회기반 구조물의 외관검사는 민간 단독으로 진행하기에는 절차상의 여러 문제점들이 존재하며, 본 기술의 가장 큰 수요처는 대형 구조물의 관리 주체인 정부기관으로써, 민간의 개발보다 정부의 지원에 의하여 개발하는 것이 더욱 효과적임 ▪ 본 기술의 주요 적용 대상이 강 및 콘크리트 교량으로 사회기반시설물이며, 대부분이 정부 및 지방행정기관에서 관리하고 있다는 점에서 민간보다는 정부지원을 통해 기술이 개발되어야 한다고 판단됨 ▪ 콘크리트 구조물은 주요 선진국에서도 가장 큰 비중을 차지하는 구조물로 미국, 프랑스, 독일 등 주요 국가들에서 정부 차원에서 예산을 지원하여 유지관리 및 보수의 효율성 향상을 추진하고 있으므로 이들 국가들과 경쟁하기 위해서는 정부차원의 연구개발 투자가 반드시 필요함

	▪ 사회기반시설물의 대표적인 구조물인 교량은 공공성을 기초로 하여 개발되고 있으며, 홍수 시 세굴심을 정확하게 측정할 수 있는 기술은 교량의 효과적인 유지관리 및 재난대응을 위하여 국가 차원에서 개발이 필요함 ▪ 강재의 피로균열 및 PT텐던은 대형 사회기반시설물에 사용되는 부재로써, 개발기술의 신뢰성 확보를 위하여 상당한 경제적 규모의 실험이 요구됨. 제한적인 민간자원만으로 연구개발이 어려움
과제의 개념 및 범위	▪ 비접촉 센싱 기법을 활용한 강 구조물 외부상태 진단 및 정량화 ▪ 비접촉 센싱 기법을 활용한 콘크리트 구조물 외부상태 진단 및 정량화 ▪ 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 국부손상 진단 및 정량화
과제목표	▪ 비접촉식 강재 도막두께 및 부식손상 정량화 장비 시작품 개발 ▪ 비접촉식 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 장비 시작품 개발 ▪ 비접촉식 콘크리트 표면 균열 정량화 장비 시작품 개발 ▪ 비접촉식 콘크리트 백태, 박락 정량화 장비 시작품 개발 ▪ 세굴 모니터링 시스템 시작품 개발 ▪ 무인검사장비 연계 피로균열, PT텐던 장력 측정 센서 시작품 개발
주요내용	▪ 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술 개발 ▪ 2D/3D 영상을 활용한 강재 피로균열 및 볼트풀림 정량화 기술 개발 ▪ 2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술 개발 ▪ 2D/3D 영상 및 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술개발 ▪ 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 세굴 검사 기술 개발 ▪ 매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부손상 감지 기술 개발 (피로균열, PT텐던 장력측정)
기술적 위험요인	▪ 적외선 및 자외선 등의 계측 장비는 고가 장비로 이를 어떤 방식으로 무인체에 탑재 하여 운용할 것인지에 대한 고찰이 필요함 ▪ 촬영 영상에서 원근왜곡, 렌즈왜곡 등 왜곡 문제가 발생 할 수 있음 ▪ 무인체 최대 탑재 가능 하중의 한계 및 고정밀도 시스템의 소형화 ▪ 무인체 비행 안정화 및 영상 계측 가능 거리 ▪ 백태의 초분광 영상의 스펙트럼이 콘크리트와 많은 차이를 보이지 않을 경우, 콘크리트와 백태를 구분하기 위한 효과적인 특징 추출기법 및 스펙트럼 밴드 선정 기법의 연구를 통하여 정확도를 높여야 함 ▪ 박락이 발생한 콘크리트 부위가 복잡한 형상을 가지고 있을 경우, 박락의 정량화의 기준 제시가 어려울 수 있음 ▪ 소나를 이용한 세굴심 측정기술의 경우 홍수 시 발생하는 탁류에 의해 세굴심을 계측하지 못하는 문제가 있음. 또한 매립형 구조장치는 세굴 이후 침전물에 의해 세굴심 계측의 정확성이 떨어짐.

	▪ PT 텐던은 대부분 콘크리트 내부에 설치되어야 하는 문제가 발생하며, 이때 센서가 파손되는 경우가 빈번히 발생함 ▪ 무인체와 무선 센서 연계 기술 적용 시, 다양한 요인으로 인하여 무인체와 무선 센서간 전력/데이터 전송이 원활하지 않는 경우가 발생함
연구개발 추진전략	▪ 국내외 연구기관과의 산업체를 통한 유기적인 기술 협력 및 교류 ▪ 열화상 카메라 사용 시, 열원 공급에 의한 안전 관리: 대상 구조물로부터 검사 시스템까지의 거리를 최대한 좁게 설정 할 예정이며, 이를 위해 적외선 계측정비에 광각 렌즈를 부착할 뿐만 아니라, 조사 열원을 대상 구조물에 최적화 시켜 검사에 필요 거리를 최소화 시킬 예정임 ▪ 촬영 영상에서 발생 할 수 있는 왜곡 문제를 해결하기 위하여 영상처리를 연구하는 대학 및 연구소들과 공동 연구를 수행 ▪ 상용 CCD 카메라, 적외선 카메라 및 원격 열원 가진 시스템의 콘크리트 균열 정량화를 위한 충분한 성능 검토를 통해 요구되는 최소사양의 경량 시스템을 구축 ▪ 내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 및 위험도 평가 기술 개발을 위해서는 IT, 센서, 통신 기술, 기계 등 다양한 분야의 기술이 복합적으로 필요하기 때문에 산학연 공동 연구 체계를 구축함 ▪ 저전력으로 구동 가능한 무선센서 개발을 목표로 설정하며, 개발된 기술에 최적화된 회로 및 소자 사용을 통한 모니터링용 무선 센서노드 소비 전력 최소화. PT 텐던 장력 측정 센서의 경우, 콘크리트 내부에서 구동 가능하도록 센서 내구성 향상 기술 적용 ▪ 한국시설안전공단이나 한국도로공사 등 관리하는 교량이 많은 공기업과의 협의를 통해 테스트베드를 구축하며, 테스트베드에서의 성능 검증을 최종 목표로 연구함으로써, 실용화 및 상용화가 가능한 기술 확보
기대효과 및 파급효과	▪ 도장 두께 및 부식 정도에 대한 효율적인 관리를 통해 구조물의 수명 단축 방지 ▪ SOC뿐 아니라 선박, 원전설비, 자동차, 신소재 등 도막이 중요한 산업에서 간단히 적용 가능 ▪ 볼트풀림과 강재균열 검출 기술은 강교 외에도 플랜트 등의 타 건축물에서도 중요하게 점검하는 항목으로 이들에 대해서도 적용가능 ▪ 독창적 무인체 탑재용 비접촉식 모니터링 기술 (하드웨어 및 소프트웨어)개발로, 강재 및 콘크리트 비파괴검사 분야의 원천기술 확보 ▪ 현재 무인체와 연계하여 세굴심 모니터링의 효과를 극대화한 연구는 진행된 적이 없으므로, 본 기술개발을 통한 기술적 우위 확보가 가능함 ▪ 장대교량의 강재 피로 균열 감지 및 PT 텐던 장력 측정을 무인체와 연계한 세계 최초/최고 핵심 원천기술 확보 ▪ 연구 결과물인 무인기 기반 내장형/부착형 센서를 통한 세굴 모니터링 기술은 세굴심을 정확하게 측정하여 교량을 효율적으로 유지관리 할 수 있기에 교량 파괴로 인한 경제적 및 인적 피해를 최소화 하는데 기여할 수 있음

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 실험실규모 실험을 통한 도막두께 및 부식 정량화 기술 개발	- 도막 두께 검사 / 부식 정량화 알고리즘 구축 - 실험실 기반 실험을 통한 기술 검증 및 개선
	▪ 영상기반 강교 피로균열 및 볼트풀림 진단 요소기술 및 알고리즘 개발	- 강재 균열 및 볼트풀림 영상정보 획득을 위한 영상처리 기술 선정 및 개발 - 촬영 영상에서 발생하는 왜곡 (원근왜곡, 렌즈왜곡 등)을 보정하기 위한 기술 선정 및 개발
	▪ 영상 기반의 콘크리트 균열 평가 요소기술개발	- 국내·외 관련 논문·특허 및 연구사례 조사 및 분석 - CCD/적외선 하이브리드 영상 기반의 균열 감지 및 정량화 알고리즘 개발
	▪ 콘크리트 백태 및 박락 인식 기술 개발	- 초분광영상을 이용한 물질 분석 기술에 관한 문헌 연구 - 초분광영상을 이용한 백태 및 박락 스펙트럼 분석 및 특징 개발
	▪ 세굴심 측정을 위한 최적 기술 선정 및 타당성 조사	- 세굴심 측정에 관한 선행 연구 조사 수행 - 수치해석을 통하여 교량 세굴 평가를 위한 최적 센서 및 계측 물리량(센서) 분석 수행
	▪ 매립형/부착형 무선센서 기반피로균열 감지 및 텐던 장력 측정 단위기술 개발	- 강재 피로균열 감지 및 PT텐던 장력 측정 목표성능 설정 - 매립형/부착형 무선센서 기반 피로균열 감지 및 PT텐던 장력 측정 기술/시스템 개발 및 실험실 수준 성능평가·검증 - 무인검사장비와의 전력 및 데이터 송수신 테스트
2차년도	▪ 고정식 통합 영상 시스템을 통한 도막두께 및 부식 정량화 기술 현장 적용	- 고정식 통합 영상 시스템 구축 - 시스템 운용방법 연구 및 검사 정확도 향상 - 고정식 시스템의 실 구조물 검증

	▪ 강교 피로균열 및 볼트풀림 진단 기술 검증 및 보완	- 실시간 볼트풀림 및 강재균열 검출을 위한 알고리즘의 최적화 - 무인체와 모형구조물을 이용한 볼트풀림 및 강재균열 감지 시스템의 적용성 평가 및 개선
	▪ 영상 기반의 콘크리트 균열 평가 시스템 개발 및 성능 검증	- 무인체 탑재로 유발되는 동적 불안정 이미지 처리를 위한 영상 보정 알고리즘 개발 - 다양한 실험실 조건 및 균열 상태에 대한 성능 검증 실험
	▪ 2D/3D 카메라와 초분광 카메라를 이용한 백태 및 박락 정량화 기술 개발	- 초분광영상을 이용한 백태 및 박락 정량화 기술 개발 - 2D/3D 영상의 융합을 통한 백태 및 박락 정량화 정확도 증가
	▪ 실험실 규모 세굴심 측정 기술 개발	- 내장형/부착형 센서로부터 계측된 상시계측 데이터에 기반한 세굴심 모니터링 알고리즘 개발 - 무인체와 내장형/부착형 센서가 연계된 세굴심 모니터링 기술 실험실 규모 검증 수행
	▪ 매립형/부착형 무선센서 기반피로균열 감지 및 텐던 장력 측정 센서의 무인검사장비와의 연계 시험	- 매립형/부착형 무선센서 기반 피로균열 감지 및 텐던 장력 측정 시스템 시제품 제작 - 무인검사장비 연계 상황에서 개발 기술의 테스트베드 적용 및 성능평가
3차년도	▪ 진단 시스템의 무인검사장비 탑재 및 현장검증	- 시스템 운용방법 연구 및 검사 정확도 향상 - 시스템 중량, 크기, 부작 위치 등의 최적화를 통한 무인체 탑재용 시작품 제작 - 무인검사장비 운용 환경에 따른 검사 변수 최적화 - 개발 시스템의 실용화 전략 제시 및 기술 이전 - 정량화 소프트웨어 및 GUI 개발

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
비접촉식 강재 도막두께 및 부식손상 정량화	1	테스트베드 적용	테스트베드 적용 성공 여부	건	1	0.3	실용화를 위한 개발 시스템의 현장적용 및 검증
	2	도막두께 정량화 단위	파괴검사 기반 표본검사	μm	100	0.2	실제 도장 과정에 있어 발생할 수 있는 기준 오차 수준
	3	강재부식 정량화 단위	부식부피 직접측정	cm^3	1	0.2	기술의 상용화 위한 시스템의 최소 신뢰도
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	3	0.3	무인검사장비 탑재 가능 무게
비접촉식 강재 균열 및 볼트풀림 정량화	1	테스트베드 적용	테스트베드 적용 성공 여부	건	1	0.3	개발 시스템의 현장적용에 대하여 테스트베드 적용 여부를 평가함
	2	강재 균열 검출 성능	강재균열 폭	μm	100	0.2	실규모 테스트베드 환경에 대하여 시스템 적용 및 평가
	3	볼트풀림 감지 성능	볼트풀림각도 검출	°	45	0.2	실규모 테스트베드 환경에 대하여 시스템 적용 및 평가
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	2	0.3	무인검사장비 탑재 가능 무게
비접촉식 콘크리트 표면 균열 정량화	1	균열폭 정량화	현장실험	mm	0.3	0.3	콘크리트 설계
	2	오보율	현장실험	%	3	0.3	공학적 오보율
	3	측정면적	현장실험	cm^2	2500	0.2	IR 카메라 512 픽셀
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	3	0.2	무인검사장비 탑재 가능 무게
비접촉식 콘크리트	1	백태 발생 면적	실제 백태 면적 대비 추정 면적의	%	30	0.2	백태는 물에 용해되어 발생하므로, 발생

백태, 박락 정량화			오차				면적을 정확하게 정의하기 어려움
	2	박락 존재 구분	다양한 콘크리트 구조물에서 박락의 유무 측정 오차	%	5	0.2	박락은 일반적으로 빠른 대처가 필요한 손상 유형
	3	박락 발생 면적	실제 박락 부피 대비 추정 부피의 오차	%	15	0.2	아직까지 영상 기반으로 박락 부피의 정량화 기술은 개발된 바 없음
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	3	0.2	무인검사장비 탑재 가능 무게
	5	측정면적	현장실험	m^2	25	0.2	DSLR 카메라 픽셀 기준
세굴심 측정	1	세굴심 모니터링 시스템 테스트베드 적용	테스트베드 시험 적용 여부	건	1	0.3	세굴심 모니터링 시스템의 현장적용에 대하여 테스트베드 적용 여부를 평가함
	2	세굴심 모니터링 기술	세굴심 추정 오차	cm	10	0.7	실규모 테스트베드 환경에 대하여 개발 시스템의 오차를 추정하고 이를 통해 개발 시스템의 성능을 평가함
매립형/내장형 센서 연계 국부 손상 감지	1	무선센서 기반 강재 피로균열 감지 균열 폭	개발 기술 적용하여 감지 가증한 강재피로균열 폭	㎛	100	0.4	피로균열 전파 진전 가능한 최소 균열 폭
	2	무선센서 기반 PT 텐던 긴장력 저하량	개발 기술 적용하여 측정 가능한 PT텐던 긴장력 저하량	%	30	0.4	구조물 안전성 유지 가능 최대 장력 저하량
	3	소비전력	현장조건에서 소비전력 측정	W	3	0.2	매립형/부착형 무선센서 전력 소비량

2) 비접촉식 강구조물 상태 진단 기술

■ 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 강재는 우수한 경제성과 물리적 특성에도 불구하고, 원천적으로 부식이 발생됨. 부식 속도는 보통 연간 0.02mm 정도지만, 구조물 관리 수준에 따라 연간 0.3mm 이상까지 진전됨. 전체 강재 부피 1%의 부식은 5~10%의 강도 하락을 초래함. (교량 점검 핸드북, 국토교통부) ▪ 강재의 부식 속도를 늦추기 위해 강재 표면에 보호 도장을 도포 하지만 오히려 부적절한 두께의 도장은 보호 도장 내부에 부식을 진전시키며, 이는 조기에 검출 해 내지 못하는 실정임 ▪ 경간 680m의 steel box 교량의 경우, 100년 보호도장 관련하여 유지관리에 소요되는 비용이 157억원 가량 산정되는데, 설계 기준에 준하는 도장 두께가 적절히 유지 되는지 여부에 따라 유지관리 비용은 전체 비용의 40% 편차가 발생 됨. (안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서, 국토교통부) ▪ 강재 표면 및 내부의 전수적인 도장 두께 및 부식 부피 측정이 필요하나, 현재 표면 검사만이 수행되는 수준이며 강재 내부의 부식은 구조물 평가에 반영되지 못함. 정밀 검사 시, 초음파 탐사법 등이 이용되지만, 이는 표본 검사 수준으로 일부 영역만 검사되고 있는 실태임 ▪ 2D/3D 영상, 열화상 및 초분광 카메라를 활용하여 강재의 도막 두께 및 부식 부피를 측정 할 경우, 넓은 면적에 대한 도막 두께 측정 및 표면과 내부 부식 부피 측정이 단시간에 가능하며, 이로써 구조물 마감 처리 및 유지관리에 대한 시간 및 비용을 단축킬 수 있음
국내외 기술동향	▪ 일본 Nippon paint사에서 도포 된 도막 두께에 따라 색상이 변하는 도료를 개발 하였으나, 도막 색상 선정에 한계가 있을 뿐 아니라, 적용 가능 범위가 450μm 이하의 도막 두께에 한정 됨 ▪ 미국 George Washington University에서 강재 내부에서의 전기적 특성 분석을 통한 부식 진행 정도를 평가할 수 있는 기술을 개발 중에 있으나, 해당 기술은 부식이 진행되는 위치를 알려주지는 못함 ▪ 미국 National Technical Information Service사에서 레이저 분광기법을 이용하여 도료가 도포된 강재의 도막 두께 및 부식 정도를 측정하는 기술이 개발 중에 있으나, 해당 기술은 파괴검사에 해당되며 손상 이전 초기 계측데이터의 수집이 필수적임
정부지원 필요성	▪ 다양한 구조물에서 도료(페인트)는 가장 널리 사용되고 있는 마감재, 보수 및 보강재이나 품질 관리가 매우 부정확한 방법에 기반하고 있음 ▪ 도료는 외부 환경에 대한 구조물의 1차적인 보호재로, 정량적인 도료 두께 관리 체계는 안전한 사회 건설을 위한 필수적인 기술임 ▪ 또한 부식은 강구조물에서 가장 많이 발생하는 손상유형으로써, 이를 정량적으로 파악하는 기술은 안전한 사회 건설을 위하여 필수적임 ▪ 본 기술의 가장 큰 수요처는 대형 구조물의 관리 주체인 정부기관으로써, 민

	간의 개발보다 정부의 지원에 의하여 개발하는 것이 더욱 효과적임 ▪ 대형 사회기반 구조물 (교량, 댐, 풍력발전기 등)의 외관검사는 민간 단독으로 진행하기에는 절차상의 여러 문제점들이 존재함
과제의 개념 및 범위	▪ 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술 개발
과제목표	▪ **도막 두께 시각화 및 부식 정량화를 위한 통합 영상시스템 시작품 개발** - 100 μm 단위의 미세 도료 두께 측정 및 영상처리 기술 개발 - 1cm^3 단위의 부식 부피 정량화 부식 면적 추정 기술 개발
주요내용	▪ 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 이용한 강재 부식 부피 및 표면 두께 측정 시스템 개발 ▪ 무인체에 탑재 가능한 형태의 검사 하드웨어 개발 ▪ 영상처리 기법의 접목을 통한 도막 두께 및 부식 정량화 알고리즘 및 구조물의 열 투과성에 따른 광학 조사기법 개발 ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증
기술적 위험요인	▪ 열원 공급에 의한 안전 관리: 열원 공급은 할로겐램프 혹은 레이저를 통해 수행 될 가능성이 높으나, 해당 열원을 사용 할 시 고출력 혹은 고밀도의 광에너지 사용이 필수적이어서 안전 관리에 대한 대책이 필요함 ▪ 광학계 운용방안: 광학계를 통한 열원 공급을 수행 할 시 많은 에너지가 사용되므로 최적의 열원 조사 방법 및 운용 방법에 대한 고찰이 필요함 ▪ 계측장비 운용방안: 적외선 및 자외선 등의 계측 장비는 고가 장비로 이를 어떤 방식으로 무인체에 탑재 하여 운용할 것인지에 대한 고찰이 필요함
연구개발 추진전략	▪ 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 기술/정보 교류를 통한 관련 분야 기술동향 및 기술수준 조사 및 분석 ▪ 통합 영상시스템 개발 시, 소형화 및 경량화를 위한 산업체와의 협업 ▪ 개발 시스템에 대한 국내외 지적 재산권 확보와 해당 지적 재산권을 구조물 안전진단 전문 업체로 기술이전을 통한 사업화 추진 ▪ 국제 공동연구 진행을 통한 해외 실구조물 현장실험 수행 및 이를 통한 해외 시장 개척 ▪ 기존의 육안검사, 정밀 안전진단 결과와의 비교분석을 통한 개발 기술의 우수성 검증
기대효과 및 파급효과	▪ 도장 두께 및 부식 정도에 대한 효율적인 관리를 통해 구조물의 수명 단축 방지 ▪ 고속 두께 및 부식 정도 측정의 고속화로 원자재비용 절감 가능 ▪ 원천기술 개발에 의한 비파괴검사 기술의 해외 의존도 감소 및 기술적 우위 획득 ▪ SOC뿐 아니라 선박, 원전설비, 자동차, 신소재 등 도막이 중요한 산업에서 간단히 적용 가능

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 도료 종류 및 강재에 따른 전자기파 특성 분석	- 검사 대상 도료 및 강재 선정 및 사전조사 - 검사 재료와 전자기파간의 상관관계 분석 - 적외선/가시광선/자외선 관련 문헌 조사
	▪ 실험실 기반 도막두께 및 부식 정도 측정기술 개발	- 소형 열원 가진부 및 적외선/가시광선/자외선 계측부 설계 - 도막 두께 검사 / 부식 정량화 알고리즘 구축 - 실험실 기반 실험을 통한 기술 검증 및 개선
2차년도	▪ 고정식 통합 영상 시스템을 이용한 실 구조물 검증	- 고정식 통합 영상 시스템 구축 - 시스템 운용방법 연구 및 검사 정확도 향상 - 고정식 시스템의 실 구조물 검증
3차년도	▪ 현장 검증을 통한 시스템 최적화 및 신뢰성 향상	- 가진부 및 계측부의 무인체 탑제 - 대상 구조물에 따른 시스템 최적화 방안 설계 - 무인 검사장비 탑제를 통한 실 구조물 검증
	▪ 무인체 기반 도막두께 및 부식 정도측정시스템 상용화	- 무인체 기반 도막두께 및 부식 측정 및 3차원 정보화 기술 소프트웨어 개발 - 무인체를 활용한 도막두께 및 부식 측정 가이드라인 작성

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
비접촉식 강재 도막두께 및 부식손상 정량화	1	테스트베드 적용	테스트베드 적용 성공 여부	건	1	0.3	실용화를 위한 개발 시스템의 현장적용 및 검증
	2	도막두께 정량화 단위	파괴검사 기반 표본검사	μm	100	0.2	실제 도장 과정에 있어 발생할 수 있는 기준 오차 수준
	3	강재부식 정량화 단위	부식부피 직접측정	cm^3	1	0.2	기술의 상용화 위한 시스템의 최소 신뢰도
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	3	0.3	무인검사장비 탑재 가능 무게

■ 2D/3D 영상을 활용한 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 기술

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 강교량은 공용기간 중 외부 하중에 의하여 반복적인 응력 변동이 발생하고 이로 인한 피로손상은 시간이 흐름에 따라 함께 진행해가는 성질이 있으며 강교의 수명을 지배하는 중요한 요인임 ▪ 강재균열은 대다수가 강재의 피로손상으로 인해 발생하고 있으며 피로에 의한 부재의 파손 사고는 전체 파손사고 중에서 약 59%를 차지하고 있음 ▪ 강재 피로손상으로 인한 부재 파손을 예방하기 위해서는 피로손상의 진행 상태를 알 수 있는 강재균열의 진행을 모니터링 하는 기술이 필요하지만 현재 강재 균열을 효율적으로 모니터링 할 수 있는 기술이 부족함 ▪ 볼트접합부에서 볼트풀림 교량에 심각한 내하력 저하를 야기하고, 위험부재로써 관리되고 있으나 특별한 대체 기술이 없어 종래의 기술들이 현재까지 이용되고 있음 ▪ 2012년 기준 국내 전체 교량의 유지관리비용은 약 1,820억원이며, 강교량이 약 15%를 차지하고, 1개 교량 당 볼트풀림 진단 비용이 약 5% 수준으로 가정하였을 때, 연간 볼트풀림 진단에 사용되는 비용은 약 13.7억원으로 예상됨 ▪ 본 기술은 짧은 시간 안에 강교의 볼트접합부와 강재 접합부를 촬영하고 해당 촬영 영상으로부터 모든 볼트들에 대한 풀림여부를 감지하고 강재 균열을 평가하는 기술로, 기존의 볼트풀림 점검 및 강재 균열 모니터링 기술들에 비해 점검시간이 짧으며, 경제적임 ▪ 해외 선진국의 경우 유지관리비용이 국내에 비해 높고, 국내와 달리 볼트풀림 사례가 많이 나타남에 따라 본 기술이 성공적으로 개발되어 상용화 될 경우 연간 수백 억원 이상의 시장규모가 될 것으로 판단됨
국내외 기술동향	▪ 교량 구조물의 강부재 균열 검출을 위하여 PZT, 광섬유센서, 변형률계 등 다양한 종류의 센서를 활용하여 비파괴 검사가 수행되고 있으나 센서 설치 시간 및 균열 검출 효율이 육안검사에 비해 떨어짐 ▪ 볼트풀림을 진단하기 위한 국내외 기술들은 많으나, 대부분 부착식 센서를 활용한 기술들이 대부분임 (볼트풀림 검출각 10° ~ 12°) ▪ 영상을 활용한 볼트풀림 진단 기술은 부경대학교 산학협력단에서 기술을 개발한 바 있고 해외에서는 미국 Perdue University에서 개발한 바 있음 ▪ 접촉식 압전센서를 이용한 피로균열 진단과 관련해서는 Hong Kong Polytechnic University에서는 운행중인 베이징-상해 고속철도차량 보기 구조물에 시험 적용한 바 있음 ▪ KAIST에서는 압전센서를 이용한 피로균열 진단이 가능한 무선센서 노드를 개발하고 이를 영종대교에 현장 적용함. 또한 비접촉 가진과 레이저 스캐닝을 통해 균열을 영상화 할 수 있는 기법을 개발함
정부지원 필요성	▪ 세월호 사고 등을 거치면서 정부에서는 “안전혁신 마스터플랜”을 확정하여 시행하고 있어 높은 신뢰성을 가지는 본 제안 기술은 정부의 정책과도 잘 부합된다고 판단됨

	▪ 다만 본 기술의 적용 대상이 강교로 사회기반시설물이며, 대부분이 정부 및 지방행정기관에서 관리하고 있다는 점에서 민간보다는 정부지원을 통해 기술이 개발되어야 한다고 판단됨
과제의 개념 및 범위	▪ 무인체를 사용하여 촬영된 영상 정보에 기반하여 교량 구조물 접합부의 볼트풀림과 강재 균열을 감지하고 진단 할 수 있는 기술의 개발
과제목표	▪ **강재 피로균열 및 볼트풀림 진단 위한 통합 영상시스템 시작품 개발** - 100μm 단위의 강재 균열 폭 검출 기술 개발 - 45° 단위의 볼트풀림 각도 검출 기술 개발
주요내용	▪ 강재균열 및 볼트풀림 영상정보 획득을 위한 영상 처리 기술 선정 및 개발 ▪ 강재균열 및 볼트풀림 검출에 영향을 미칠 수 있는 왜곡 요소 검토 및 보정 기술 개발 ▪ 강교 강재 균열 영상기반 진단 요소기술 및 알고리즘 개발 ▪ 강교 볼트접합부 영상기반 볼트풀림 진단 요소기술 및 알고리즘 개발 ▪ 모형실험을 통한 영상기반 강재균열 및 볼트풀림 진단기술의 검증 및 보완 ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증
기술적 위험요인	▪ 강재균열의 경우 현장에서는 육안검사에 의존하기 때문에 사람이 접근하기 힘든 부위의 강재균열을 검출하는 것에 있어서 어려움이 발생함 ▪ 촬영 영상에서 원근왜곡, 렌즈왜곡 등 왜곡 문제가 발생 할 수 있음
연구개발 추진전략	▪ 영상처리, 무인체 제어 기술 등 관련 기술과 관련하여 산업체 및 주간기관 등에서 협업을 통해 공동연구를 수행하고자 함 ▪ 촬영 영상에서 발생 할 수 있는 왜곡 문제를 해결하기 위하여 영상처리를 연구하는 대학 및 연구소들과 공동 연구를 수행 ▪ 한국시설안전공단이나 한국도로공사 등 관리하는 강교량이 많은 공기업과의 협의를 통해 테스트베드를 구축하고자 함
기대효과 및 파급효과	▪ 기존 강교 볼트풀림 및 강재균열 진단 기술의 대체 및 신뢰성 증대 ▪ 볼트풀림 진단과 관련된 국내외 시장의 선점 ▪ 강재균열 진단의 효율성 향상 및 비용 절감 ▪ IoT 기반의 구조물 유지관리 기술의 적용성 확대 ▪ 영상을 이용한 구조물 진단의 다양한 적용 가능성 확대 ▪ 볼트풀림과 강재균열 검출 기술은 강교 외에도 플랜트 등의 타 건축물에서도 중요하게 점검하는 항목으로 이들에 대해서도 적용가능

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 강교 볼트접합부 영상기반 볼트풀림진단 요소기술 및 알고리즘 개발	- 무인체를 이용해 촬영된 영상에서 발생할 수 있는 기존 점검 기술의 문제점 도출 - 촬영 영상에서 발생하는 왜곡(원근왜곡, 렌즈왜곡 등)을 보정하기 위한 기술 선정 및 개발 - 볼트풀림 검출에 영향을 미칠 수 있는 변수(왜곡 보정, 영상의 해상도, 광도 등) 검토 및 보정기술 개발
	▪ 강교 강재 균열 영상기반 진단 요소기술 및 알고리즘 개발	- 강재 균열 영상정보 획득을 위한 영상 처리 기술 선정 및 개발 - 강재 균열 검출에 영향을 미칠 수 있는 왜곡 요소 검토 및 보정 기술 개발
2차년도	▪ 모형실험을 통한 영상기반 볼트풀림 및 강재균열 진단기술의 검증 및 보완	- 원근 왜곡 보정 기술 개발 - 실시간 볼트풀림 및 강재균열 검출을 위한 알고리즘의 최적화 기술 - 강교 볼트접합부 볼트풀림 및 강재균열 감지 시스템 개발 - 무인체와 모형구조물을 이용한 볼트풀림 및 강재균열 감지 시스템의 적용성 평가 및 개선
3차년도	▪ 무인체 촬영 영상기반 볼트풀림 및 강재균열 감지 기술의 현장적용 및 검증	- 무인체 영상 기반 볼트풀림 및 강재균열 감지 시스템의 적용 현장(테스트베드) 선정 - 볼트풀림 감지 및 강재균열 검출 시스템의 현장 적용성 평가 및 문제점 개선 - 개발 시스템의 실용화 전략 제시 및 기술 이전

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
비접촉식 강재 균열 및 볼트풀림 정량화	1	테스트베드 적용	테스트베드 적용 성공 여부	건	1	0.3	개발 시스템의 현장적용에 대하여 테스트베드 적용 여부를 평가함
	2	강재 균열 검출 성능	강재균열 폭	μm	100	0.2	실규모 테스트베드 환경에 대하여 시스템 적용 및 평가
	3	볼트풀림 감지 성능	볼트풀림각도 검출	°	45	0.2	실규모 테스트베드 환경에 대하여 시스템 적용 및 평가
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	2	0.3	무인검사장비 탑재 가능 무게

3) 비접촉식 콘크리트 구조물 상태 진단 기술

■ 2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 무인체 기반의 구조물 모니터링 기술의 국내외 기술수요가 급증하고 있음에도 불구하고 최근까지의 국내외 모니터링 기술은 유인 검측, 정적 상태 계측, 혹은 상용 UAV에 CCD 카메라를 접목한 초기단계의 이미지 프로세싱 기술들이 주를 이루고 있음 ▪ 현재 개발된 기술들은 실구조물의 현장 상황, 예컨대 현장 조도 및 음영의 영향 혹은 표면 불균질 상태의 영향으로 정밀한 계측이 용이치 않거나, 분석이 어려우며, 그 신뢰도가 높지 않음 ▪ 무인검사장비에 탑재가 가능하며, 기존의 CCD 카메라에만 의존했던 영상 분석을 뛰어넘는 CCD/적외선 하이브리드 영상 기반의 콘크리트 균열 계측 및 자동화 평가 시스템 개발이 필요함 ▪ 개발 시스템은 정밀한 무인검사장비 원격 제어 기술과 접목하여 조도 및 음영, 그리고 불균질한 표면상태 등의 예측이 어려운 현장 환경 변인에 민감하지 않으며, 보다 정밀한 균열 정량화가 가능한 원천 신기술임 ▪ 즉시적 균열 평가 알고리즘을 개발하고 무인검사장비에 탑재하여 사용자에게 실시간 안전진단 정보를 제공할 수 있으므로, 기존의 기술적 한계점을 뛰어넘는 원천 기술 개발 확보의 의미를 지님은 물론이고, 향후 다양한 대상 구조물의 손상진단 및 재난요소 모니터링 등의 타분야 확장성도 매우 높음 ▪ 현재 구조물 건전성 모니터링 분야에서 사용되는 센서 및 계측장비는 대부분 해외 기술에 의존하고 있어, 이 분야의 국내 원천 기술 개발이 절실한 상황. 본 원천 기술의 개발은 국가 경쟁력을 강화할 수 있는 계기로 개발 기술의 해외 이전 가능성 또한 매우 클 것으로 예측
국내외 기술동향	▪ ㈜쓰리텍에서는 고정된 상태의 CCD 카메라를 이용하여 20m 의 거리에서 0.1mm 균열을 측정한 바 있음 ▪ UNIST 에서는 UAV에 CCD 카메라를 적용해 콘크리트 균열 폭 0.25mm 까지 측정한 바 있음 ▪ 프랑스 Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussees 에서는 UAV에 CCD 카메라를 탑재해 mm 단위의 교량 표면 균열 탐지를 위한 적용가능성 실험을 수행한 바 있음 ▪ 독일의 Fraunhofer Institute for NDT 에서는 UAV에 CCD 적용해 건물 3D 스캔 후 점검하는 기술을 개발하였고, 1mm 균열을 탐지를 위한 파일럿 테스트를 수행한 바 있음 ▪ 국내외 대부분의 기술들은 고정형태 또는 주변풍속 1~2m/s 이내의 안정적 환경 조건에서 적용이 가능하며, 공통적으로 표면 불균질에 의한 오보 가능성이 높고 진단 시 조도 및 음영에 많은 영향을 받는다는 문제점을 가지고 있음
정부지원 필요성	▪ 구조물 안전문제와 관련하여 사회적으로 매우 큰 관심이 집중되고 있는 이때, 한정 되어있는 정부 투자의 선택과 집중이 필요한 시점. 사회 안전과 관련된 분야의 집중 투자 및 개발은 선진국들 또한 많은 관심과 투자를 하고 있는 상황임을 고려해볼 때, 원천기술의 소유권 및 해외 수출과 관련하여 매

	우 시급 ▪ 본 연구 개발 기술의 가장 큰 수요자는 대형 구조물의 관리주체인 정부기관으로서, 민간보다 정부의 지원에 의하여 개발하는 것이 더욱 효과적임
과제의 개념 및 범위	▪ 무인검사장비 탑재용 CCD 영상 및 적외선 열화상 기반의 콘크리트 표면 균열 정량화 시스템 개발
과제목표	▪ **부피 30x30x30cm^3, 무게 3kg 이내의 하이브리드 영상 시스템 시작품 개발** - 0.3mm 폭의 균열 검출 및 정량화 - 97% 의 검출 신뢰도 - 1회 측정면적 50x50cm^2 이상
주요내용	▪ CCD/적외선 하이브리드 영상 기반의 균열평가 요소기술 개발 ▪ 무인체 탑재용 하이브리드 영상 시스템 개발 ▪ 무인검사장비 탑재로 유발되는 동적 불안정 이미지 처리를 위한 영상 보정 알고리즘 개발 ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증
기술적 위험요인	▪ 무인체 최대 탑재 가능 하중의 한계 및 고정밀도 시스템의 소형화 ▪ 무인체 비행 안정화 및 영상 계측 가능 거리 ▪ 법적 제한과 맞물린 테스트 베드 확보 및 다양한 실제 현장 환경 요건 획득
연구개발 추진전략	▪ 상용 CCD 카메라, 적외선 카메라 및 원격 열원 가진 시스템의 콘크리트 균열 정량화를 위한 충분한 성능 검토를 통해 요구되는 최소사양의 경량 시스템을 구축 ▪ 연구단 내 무인검사장비 개발 연구팀과의 유기적인 협력을 통해 적정 탑재 하중 및 공간, 나아가 운용 중 안정화 변수 등에 대한 정보교환 ▪ 대상 테스트베드의 비행거리, 풍속 및 조도 등의 현장 요건에 대한 선수 조사는 현장 시험의 성공을 답보 ▪ 국내외 협력 연구기관 및 전문가와의 긴밀한 협조체제를 구축하여 핵심 원천기술을 확보하고 최신 기술동향 파악 및 향후 발전방향 모색 ▪ 개발 시스템의 향후 실용화 및 사업화를 위한 국내외 지적 재산권 확보 및 기술이전 추진
기대효과 및 파급효과	▪ CCD 카메라와 적외선 카메라의 통합 하이브리드 시스템 개발로 고정밀도의 균열 감지 및 정량적 평가 가능 ▪ 독창적 무인체 탑재용 비접촉식 모니터링 기술 (하드웨어 및 소프트웨어)개발로, 콘크리트 비파괴검사 분야의 원천기술 확보 ▪ 기존의 점검 한계인 점검사각지대 해소로 사회기반시설물의 유지관리 향상 ▪ 굴절차 및 곤돌라를 대체하여 차량 지체로 인한 경제적 비용 감소와 안전사고 등의 위험 비용의 감소 ▪ 점검 수행 인력 및 기간의 단축으로 인적 물적 자원의 효율성 증대 ▪ 선진적 안전관리체계 구축으로 시설물의 안전관리 내실화 ▪ 국가적인 차원에서 구조물의 고질적이며 치명적인 균열로 인한 구조물의 사고를 예방하여 국민 불안 해소 및 시민의 안전 보장에 기여 가능 ▪ 고온/고압의 극한환경으로 인력 투입이 힘든 원전, 화학 플랜트 등의 안전진단에 활용 가능

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ CCD 및 적외선 영상 기반의 균열평가 요소기술개발	- 국내·외 관련 논문·특허 및 연구사례 조사 및 분석 - CCD 카메라 영상을 이용한 콘크리트 외부 균열의 자동화 감지 및 정량화 알고리즘 개발 - 적외선 열화상을 이용한 콘크리트 외부 균열의 자동화 감지 및 정량화 알고리즘 개발 - 원격 열원 가진 및 제어 시스템 개발 - CCD/적외선 하이브리드 영상 기반의 균열 감지 및 정량화 알고리즘 개발
2차년도	▪ 무인체 탑재용 하이브리드 영상 시스템 개발 및 실험적 성능검증	- 무인체 탑재용 CCD 카메라, 적외선 열화상 카메라 및 원격 열원 가진 시스템의 통합 및 동기화 계측 시스템 개발 - 무인체 탑재로 유발되는 동적 불안정 이미지 처리를 위한 영상 보정 알고리즘 개발 - 다양한 실험실 조건 및 균열 상태에 대한 성능 검증 실험
3차년도	▪ 시작품 제작 및 테스트 베드 적용 시험	- 시스템 중량, 크기, 부작 위치 등의 최적화를 통한 무인체 탑재용 시작품 제작 - 무인체 운용 상태의 시험을 통한 시작품 검증 시험 및 시스템 디버깅 - 대형 테스트 베드에서의 실제 적용 시험

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
콘크리트 표면 균열 정량화	1	균열폭 정량화	현장실험	mm	0.3	0.3	콘크리트 설계
	2	오보율	현장실험	%	3	0.3	공학적 오보율
	3	측정면적	현장실험	cm^2	2500	0.2	IR 카메라 512 픽셀
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	3	0.2	무인검사장비 탑재 가능 무게

■ 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술

• 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 공용 중인 도로교의 37.4%(6,763개소)가 1986~1996년에 가설된 교량으로 교량의 보강주기(15-20년)을 감안할 때, 조만간 유지보수 수요의 급격한 증가가 예상됨 ▪ 교량의 유지관리는 현재 안전성 중심에서 성능 중심으로 전환되고 있으며, 내구성 평가의 중요성이 점차 부각되고 있음 ▪ 콘크리트 구조물의 내구성 평가는 균열, 백태, 박락과 같은 외부손상과 중성화, 철근부식, 박리와 같은 내부 손상을 모두 고려하여야 함 ▪ 무인체와 영상 장치를 함께 이용할 경우, 대형 토목구조물에서 콘크리트 외부 손상에 대한 정보를 경제적이고 수월하게 획득하고 데이터베이스화하여 구조물의 유지관리 비용을 크게 절감할 수 있음 ▪ 콘크리트의 손상을 정량화하고 적절한 유지관리 계획을 세우기 위하여, 최신의 영상 기반의 장치를 이용하여 백태와 박락을 정량화하는 기술 개발이 필수적임 ▪ 백태는 콘크리트 표면에 흰색으로 나타나 시각적 탐지가 가능하지만, 회색의 콘크리트의 색상과 대비가 크지 않아 영상 기반의 탐지 및 정량화에 관한 연구가 미흡한 실정임 ▪ 박락은 외관상으로 뚜렷하게 드러나지만, 영상 기반의 정량화에 관한 연구는 미흡함 ▪ 영상장비를 탑재한 무인검사장비를 이용할 경우, 국내외 토목구조물 유지관리 시장에서의 활용도가 매우 높을 것으로 예상됨 ▪ 현재 매우 고가인 초분광 카메라는 조만간 가격이 하락하여 활용도가 매우 높아질 것으로 예상되어, 적극적 연구를 통해 원천기술을 선점하는 것이 필수적임
국내외 기술동향	▪ 콘크리트의 백태를 측정하는 영상 및 초분광 영상 기반 기술은 국내외 모두에서 개발된 바 없음 ▪ 2012년 미국 조지아텍 연구팀(German, Brilakis, and DesRoches; 2012)은 문헌연구를 통해 영상 기반으로 콘크리트의 박락을 정량화 하는 기술이 개발된 바 없다고 밝힘. ▪ 2D 영상을 이용하여 지진 후 구조물 상태 평가를 위한 박락 정량화 연구를 수행하였으나, 노출된 철근과 골재를 이용한 박락 진단을 수행하여 정확도가 높지 않음
정부지원 필요성	▪ SOC 시설물의 안전성 확보는 국민의 안전과 직결되는 문제로써 이러한 시설물의 유지관리 및 보수 관련 기술 개발은 공공적 성격이 강함 ▪ 연구개발의 실용화를 위한 테스트베드 선정 및 운용에 정부의 적극적인 지원이 필요함 ▪ 콘크리트 구조물은 주요 선진국에서도 가장 큰 비중을 차지하는 구조물로 미국, 프랑스, 독일 등 주요 국가들에서 정부 차원에서 예산을 지원하여 유지관리 및 보수의 효율성 향상을 추진하고 있으므로 이들 국가들과 경쟁하기 위

	해서는 정부차원의 연구개발 투자가 반드시 필요함 ▪ 국가 유지보수비용 절감 및 국가 인프라의 안전성 확보를 위한 연구개발의 필요 측면에서 본 과제에 대한 정부의 지원은 타당하다고 판단됨
과제의 개념 및 범위	▪ 무인체를 이용하여 획득한 2D/3D 영상과 초분광영상을 함께 활용함으로써, 콘크리트 구조물의 외관에서 백태와 박락을 정의하고 이를 정량화하는 기술을 개발함
과제목표	▪ **비접촉식 콘크리트 백태, 박락 정량화 장비 시작품 개발** - 통합 장비 무게 3kg 이하 및 부피 30x30x10cm^3 이내 - 5x5m^2 영역을 5m 이내의 거리에서 진단 및 정량화 ▪ **콘크리트 백태 및 박락 유무 진단 및 정량화 알고리즘** - 백태 진단 20%, 면적 30% 측정오차 - 박락 진단 5%, 면적 15% 측정 오차
주요내용	▪ 초분광 영상을 이용한 백태 및 박락의 스펙트럼 분석 및 특성 추출 ▪ 2D/3D 영상 및 초분광 영상을 결합한 백태 및 박락 진단 및 정량화 기술 개발 ▪ 영상처리 기법의 접목을 통한 개발 기술의 정밀도 및 신뢰도 향상 ▪ 정량화 소프트웨어 및 GUI 개발 ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증
기술적 위험요인	▪ 백태의 초분광 영상의 스펙트럼이 콘크리트와 많은 차이를 보이지 않을 경우, 콘크리트와 백태를 구분하기 위한 효과적인 특징 추출기법 및 스펙트럼 밴드 선정 기법의 연구를 통하여 정확도를 높여야 함 ▪ 박락이 발생한 콘크리트 부위가 복잡한 형상을 가지고 있을 경우, 박락의 정량화의 기준 제시가 어려울 수 있음
연구개발 추진전략	▪ 초분광 영상 관련 기술에 대한 충분한 문헌연구를 통하여, 백태 및 박락 정량화 기술 개발 시간을 절감하고, 기술의 최적화 및 경쟁력확보에 주력 ▪ 테스트베드에서의 성능 검증을 최종 목표로 연구함으로써, 실용화 및 상용화가 가능한 기술 확보 ▪ 기술의 소비자인 대형구조물 관리주체(국가기관 및 유관 공공기관), 관련 연구소, 산업계의 공통 추진체계를 갖추어 핵심·원천기술 개발 ▪ 타 분야(원격탐사, 전자, 국방 등)에서 초분광 영상 관련 연구를 수행한 적이 있는 연구기관과의 협력 및 관련 기술 도입을 통해, 초분광 영상 관련 기술적 위험요인 최소화 ▪ 도면 형상을 기준으로 박락의 정량화를 수행함으로써 객관적인 정량화 수행
기대효과 및 파급효과	▪ 콘크리트 구조물의 효율적 손상 관리를 통해 구조물의 수명 단축 방지 ▪ 외관 손상에 대한 선제적 대응을 통해 구조물 보수에 필요한 비용 저감 ▪ 무인체 기술 활용을 통해 콘크리트 구조물의 유지관리 프로세스 자동화, 객관화 및 선진화 ▪ 구조물의 안전성 향상을 통하여 국민의 불안감 해소 및 민원 감소 ▪ 융합 기술의 개발을 통한 토목/건설 기술 선진화 ▪ 초분광영상 활용 기술 및 무인체 활용 기술 패러다임의 선점, 원천기술 확보

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 초분광영상을 이용한 백태 및 박락 인식 기술 개발	- 초분광영상을 이용한 물질 분석 기술에 관한 문헌 연구 - 초분광영상을 이용한 백태 및 박락 스펙트럼 분석 및 특징 개발
2차년도	▪ 2D/3D 카메라와 초분광 카메라를 이용한 백태 및 박락 정량화 기술 개발	- 초분광영상을 이용한 백태 및 박락 정량화 기술 개발 - 2D/3D 영상의 융합을 통한 백태 및 박락 정량화 정확도 증가 - 실내 실험을 통한 성능 검증
3차년도	▪ 무인체를 이용한 백태 및 박락 정량화 기술 고도화	- 정량화 소프트웨어 및 GUI 개발 - 개발된 백태 및 박락 정량화 기술의 실규모 구조물 성능 검증

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
비접촉식 콘크리트 백태, 박락 정량화	1	백태 발생 면적	실제 백태 면적 대비 추정 면적의 오차	%	30	0.2	백태는 물에 용해되어 발생하므로, 발생 면적을 정확하게 정의하기 어려움
	2	박락 존재 구분	다양한 콘크리트 구조물에서 박락의 유무 측정 오차	%	5	0.2	박락은 일반적으로 빠른 대처가 필요한 손상 유형
	3	박락 발생 면적	실제 박락 부피 대비 추정 부피의 오차	%	15	0.2	아직까지 영상 기반으로 박락 부피의 정량화 기술은 개발된 바 없음
	4	통합시스템 무게	직접 측정	kg	3	0.2	무인검사장비 탑재 가능 무게
	5	측정면적	현장실험	m^2	25	0.2	DSLR 카메라 픽셀 기준

4) 기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술

■ 내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 우리나라는 산이 많은 지형으로 하상경사가 크고 강수량이 하절기에 집중되어 있어서 홍수 시 세굴의 가능성이 매우 높으며, 특히 지난 2002년에는 집중호우 및 태풍 '루사'로 인해 226개의 교량이 붕괴된 바 있음 (재해연보) ▪ 매년 우리나라에서 세굴로 붕괴되는 교량의 수는 평균 100개가 넘는 것으로 조사 되었으며 (재해연보, 한국건설기술연구원) 이를 방지하기 위해서는 홍수 시, 세굴심을 정확하게 측정할 수 있는 기술이 필요함 ▪ 교량의 효율적 유지관리 및 재난대응 시스템을 구축하기 위해서, 세굴심을 정확하게 측정 할 수 있는 기술이 필요함 ▪ 기존의 세굴심 계측 관련 기술은 대체로 실험실 규모의 성능평가에서 성공적이었으나 실제 적용 시 센서/전원공급/데이터관리 등의 문제점이 있어 광범위하게 확산되지 못함 ▪ 내장형/부착형 센서와 무인체기술을 연계하여, 무선데이터 전송과 전력공급을 통해 효율적인 세굴심 모니터링을 실현할 수 있어, 이에 기술개발이 필요함 ▪ 사회기반시설물에 대하여 유지관리투자의 경우 시설물 자산 가치대비 0.3%, 신규 건설 대비 8% 정도로 선진국 1/3 가량으로 유지관리 및 안전관리에 대한 투자가 필요함 ▪ 건설시장의 투자액 중 안전관리분야가 차지하는 비중이 점차 증가하는 추세이며 향후 시설물 안전관리기술이 차세대 건설 산업을 선도할 것으로 예상됨
국내외 기술동향	▪ 한국건설기술연구원에서는 일정한 간격으로 부착된 온도 센서를 활용하여 매질 경계면에서의 온도변화를 이용하여 세굴심을 측정하는 연구를 수행함 ▪ 세종대학교에서는 세굴심 측정을 위해 수중음파장비(Sonar)를 이용한 첨단 수중점검 장비를 개발한 바 있음 ▪ 삼성물산에서는 회전가능한 초음파 탐지기를 이용하여 세굴 진단 시스템을 개발, 검증한 바 있음 ▪ 미 연방도로국에서는 초음파를 이용하여 세굴심을 측정하고 이를 3D 이미지로 변환하는 기술을 개발한 바 있음 ▪ 동일본여객철도에서는 교각에 경사계 및 가속도계를 설치하고 측정데이터들을 기반으로 세굴심을 측정하는 기술을 개발한 바 있음 ▪ 국내외 대부분의 기술들은 공통적으로 상시 모니터링이 힘들다는 문제점을 가지고 있음
정부지원 필요성	▪ 사회기반시설물의 대표적인 구조물인 교량은 공공성을 기초로 하여 개발되고 있으며, 홍수 시 세굴심을 정확하게 측정할 수 있는 기술은 교량의 효과적인 유지관리 및 재난대응을 위하여 국가 차원에서 개발이 필요함 ▪ 매년 우리나라에서 세굴로 붕괴되는 교량의 수는 평균 100여개가 넘는 것으로 조사됨 ▪ 2002년에는 집중호우 및 태풍 '루사'로 인해 226개의 교량이 무너진바 있으며 이는 심각한 경제적 손실과 인명피해를 초래할 수 있기 때문에 공공시설

	물의 관리 책임이 있는 정부에서 연구개발이 시급한 상황임
과제의 개념 및 범위	▪ 교대 및 교각에 설치된 내장형/부착형 센서와 무인검사장비의 연계를 통해 무선 전력/데이터 송수신을 수행하고, 교량 세굴심을 효과적으로 모니터링 할 수 있는 기술 개발
과제목표	▪ **내장형/부착형 센서와 무인검사장비의 연계를 통해 세굴심 실시간 모니터링 시스템 시작품 개발** - 세굴심 최대 추정 오차 ±10cm 이내
주요내용	▪ 세굴심 모니터링을 위한 최적 기술 선정 및 타당성 조사 ▪ 세굴 진행 정도에 따른 해석 응답 변화 분석 수행 ▪ 수치해석을 통하여 교량 세굴 평가를 위한 최적 센서 및 계측 물리량(센서) 분석 수행 ▪ 내장형/부착형 센서와 무인검사장비 간 데이터 전송 및 연계 기술 개발(내장형/부착형 센서와 시스템 구성, 무인검사장비와 내장형/부착형 센서 데이터 전송 및 무선통신 시스템 구성, 내장형/부착형 센서 전원공급 시스템 구성) ▪ 내장형/부착형 센서로부터 계측된 상시계측 데이터에 기반한 세굴심 모니터링 알고리즘 개발(세굴심 최대 추정 오차 ±10cm 이내) ▪ 무인체와 내장형/부착형 센서가 연계된 세굴심 모니터링 기술 실험실 규모 검증 수행 ▪ 실험실 및 테스트베드에서 개발 기술의 적용 및 검증
기술적 위험요인	▪ 소나를 이용한 경우 홍수 시 발생하는 탁류에 의해 세굴심을 계측하지 못하는 문제가 있음 ▪ 매립형 구조장치는 세굴 이후 침전물에 의해 세굴심 계측의 정확성이 떨어짐 ▪ Float-out장치의 경우 1회성 장치이기 때문에 장기적인 모니터링 방안으로는 적절하지 않음
연구개발 추진전략	▪ 저전력 또는 무전원센서 기술을 바탕으로 세굴 모니터링에 적합한 무선센서 개발 및 적용이 필요함 ▪ 내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 및 위험도 평가 기술 개발을 위해서는 IT, 센서, 통신 기술, 기계 등 다양한 분야의 기술이 복합적으로 필요하기 때문에 산학연 공동 연구 체계를 구축함 ▪ 우리나라의 재해대응 기술 수준은 선진국 대비 59.4%로 상대적으로 낮기 때문에 외국 사례 분석 및 국내외 전문가들과의 기술 교류를 통하여 연구 체계를 구축할 예정임
기대효과 및 파급효과	▪ 내장형/부착형 센서 연계를 기반으로 홍수 시 세굴심을 정확하게 측정하여 자연재해에 능동적으로 대처할 수 있는 대응기술 마련이 가능함 ▪ 현재 무인체와 연계하여 세굴심 모니터링의 효과를 극대화한 연구는 진행된 적이 없으므로, 본 기술개발을 통한 기술적 우위 확보가 가능함 ▪ 연구 결과물인 무인기 기반 내장형/부착형 센서를 통한 세굴 모니터링 기술은 세굴심을 정확하게 측정하여 교량을 효율적으로 유지관리 할 수 있기에 교량 파괴로 인한 경제적 및 인적 피해를 최소화 하는데 기여할 수 있음 ▪ 주요 사회기반시설물인 교량의 안전도 향상을 통하여 자연 재해에 대한 사고 우려를 줄이고 국민의 삶의 질을 높일 수 있음 ▪ 정확한 세굴심 정보를 기반으로 피해를 최소화 할 수 있는 효과적인 재해대응이 가능함

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 세굴심 측정을 위한 최적 기술 선정 및 타당성 조사	- 세굴심 측정에 관한 선행 연구 조사 수행 - 수치해석을 통하여 교량 세굴 평가를 위한 최적 센서 및 계측 물리량(센서) 분석 수행
	▪ 세굴 진행 정도에 따른 응답 변화 분석	- 수치해석을 통하여 세굴 진행에 따른 해석 응답 변화 분석 수행
2차년도	▪ 내장형/부착형 센서와 무인체 간 데이터 전송 및 연계 기술 개발	- 내장형/부착형 센서와 시스템 구성 - 무인체와 내장형/부착형 센서 데이터 전송 및 무선 통신 시스템 구성 - 내장형/부착형 센서 전원공급 시스템 구성
	▪ 상시계측 데이터 수집 및 분석 기술	- 내장형/부착형 센서로부터 계측된 상시계측 데이터에 기반한 세굴심 모니터링 알고리즘 개발
	▪ 실험실 환경에서 성능 검증	- 무인체와 내장형/부착형 센서가 연계된 세굴심 모니터링 기술 실험실 규모 검증 수행
3차년도	▪ 테스트베드 적용을 통한 기술 검증 및 개선	- 세굴심 모니터링 시스템 테스트베드 적용 및 검증

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
세굴검사	1	세굴심 모니터링 시스템 테스트베드 적용	테스트베드 시험 적용 여부	건	1	0.3	세굴심 모니터링 시스템의 현장적용에 대하여 테스트베드 적용 여부를 평가함
	2	세굴심 모니터링 기술	세굴심 추정 오차	cm	10	0.7	실규모 테스트베드 환경에 대하여 개발 시스템의 오차를 추정하고 이를 통해 개발 시스템의 성능을 평가함

■ 매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부 손상 감지 기술

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 강구조물의 경우, 붕괴원인의 90% 이상이 피로균열 발생이며, 일반 강교량(4차로 1000 m) 기준 정밀안전진단 1회당 약 1.76 억원의 예산이 소요됨(시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대가표, (사)한국시설물안전진단협회, 2014년). 그러나 피로균열의 폭은 수 ㎛ 수준으로, 일반적인 육안 검사를 통한 조기 감지가 불가능함 ▪ PT텐던은 장대교량, 원전구조물 등 대형 콘크리트구조물을 구성하는 주요 부재로써, PT텐던의 잔여장력은 구조적 안전성과 밀접한 연관이 있음. 그럼에도 불구하고, 콘크리트에 매립되는 PT텐던의 설계구조상 인력 접근 및 센서부착이 불가능하여 현재 장력측정 기술이 없음 ▪ 최근 (2016.2.21.) 서울 내부순환로 일부 교량에서 텐던의 부분절단, 부식이 발견됨으로써 한 달 동안 긴급 폐쇄되었으며, 이로 인하여 극심한 교통정체, 보수·보강 등 막대한 사회적·경제적 비용이 발생함 ▪ 기존 검사인력 기반의 구조물 안전진단을 실시하는 경우, 인력의 안전문제로 접근이 불가능한 지역과 콘크리트에 매립된 부재(ex. PT텐던)에 대한 안전진단 정보를 획득할 수 없음. 해당 위치에 구조물 매립형/부착형 무선센서를 설치하고 무인검사장비에 의하여 주기적으로 운영(전력수급 및 진단데이터 수집)함으로써, 손상을 조기에 발견하고, 이로 인해 발생 가능한 사회적·경제적 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 기대
국내외 기술동향	▪ **강재 피로균열 감지 기술** - 2000년대 초반 KAIST, Georgia 공과대학 등 다수의 연구기관에서 선형 초음파 기반 강재 균열감지 기술을 개발하였음. 해당기법은 균열폭 mm 수준의 균열에는 높은 민감도를 보여주는 반면, 실 구조물에서 발생되는 수 um 수준의 피로균열은 감지에 한계가 있음 - 일본 Tohoku 대학교에서는 와전류 탐상법을 이용한 강재 균열감지 및 정량화 기술을 개발하였음. 그러나 와전류 탐상은 대상 물체와의 거리 및 주변 환경에 민감하여, 충분한 진단신뢰도 확보를 위해서는 철저히 제어된 진단 환경이 요구됨 ▪ **PT텐던 장력 측정 기술** - 한국건설기술연구원(KICT)에서는 강연선 중앙에 광섬유와 FBG센서가 삽입된 스마트 강연선을 개발하여, 강연선 길이방향의 장력을 계측함. 해당 기법은 광계측장비, 스마트 강연선 특수제작공정 (강연선 내부에 광섬유 삽입)에 과도한 초기비용이 발생함 - 미국 Northeastern 대학교에서는 PT텐던 장력 정량화를 위한 전자기센서를 개발하였음. 해당기법의 적용을 위해서는 순간적으로 수백W의 전력이 요구되어 상시적 진단에 활용될 수 없고, 구조물 매립이 불가
정부지원 필요성	▪ 최근 국내·외에서 발생하는 대형 사회기반시설물 붕괴로 인한 경제적·인적 피해가 발생하고 있으며, 국민의 안전이 위협받고 있음. ▪ 최근 (2016.2.21.) 서울 내부순환로 일부 교량에서 텐던의 부분절단, 부식이 발견됨으로써 한 달 동안 긴급 폐쇄되었으며, 이로 인하여 극심한 교통

	정체, 보수·보강 등 막대한 사회적·경제적 비용이 발생함 ▪ 강재의 피로균열 및 PT텐던은 대형 사회기반시설물에 사용되는 부재로써, 개발기술의 신뢰성 확보를 위하여 상당한 경제적 규모의 실험이 요구됨. 제한적인 민간자원만으로 연구개발이 어려움
세부과제의 개념 및 범위	▪ 구조물에 설치된 매립형/부착형 무선센서를 통해 강재의 피로균열 및 PT 텐던 장력을 효과적으로 진단하고, 무인체와 상호연계함으로써, 구조물 생애주기동안 반영구적 운영이 가능한 국부손상감지 기술 개발
세부과제의 목표	▪ **무인검사장비 연계 피로균열 감지 무선센서 시작품 개발** - 길이 20 mm, 100 μm 폭의 강재 균열 검출 및 소비전력 3W 이내 ▪ **무인검사장비 연계 PT텐던 장력 측정 센서 시작품 개발** - 초기 긴장력 대비 30 % 이상 긴장력 저하 감지 및 소비전력 3W 이내
주요내용	▪ 매립형/부착형 무선센서 기반 피로균열 진단 및 PT텐던 장력측정 시스템개발 ▪ 저전력으로 구동 가능한 무선센서 기반 손상진단 기술을 개발·검증함으로써, 무인검사장비로부터 수급 받아야하는 전력량 최소화 실험실 환경에서 무인검사장비로 운영되는 매립형/부착형 무선센서의 성능평가·검증 (유선 전력 기반 운영결과와 비교) 및 시스템 보완 ▪ 현장 환경에서 무인검사장비로 운영되는 매립형/부착형 무선센서의 성능평가·검증 (실험실 환경의 결과와 비교) 및 시스템보완
기술적 위험요인	▪ 무선 센서의 경우 소비 가능 전력이 한정적임 ▪ PT 텐던은 대부분 콘크리트 내부에 설치되어야 하는 문제가 발생하며, 이때 센서가 파손되는 경우가 빈번히 발생함 ▪ 무인체와 무선 센서 연계 기술 적용 시, 다양한 요인으로 인하여 무인체와 무선 센서간 전력/데이터 전송이 원활하지 않는 경우가 발생함
연구개발 추진전략	▪ 저전력으로 구동 가능한 무선센서 개발을 목표로 설정하며, 개발된 기술에 최적화된 회로 및 소자 사용을 통한 모니터링용 무선 센서노드 소비 전력 최소화 ▪ PT 텐던 장력 측정 센서의 경우, 콘크리트 내부에서 구동 가능하도록 센서 내구성 향상 기술 적용 ▪ 무인체 – 무선 센서간 전력/데이터 통신 시 일정이상의 전력 및 정보가 송수신이 가능할 경우에만 작동 가능한 시스템 구축 및 최적화 ▪ 강재/텐던 제작 및 시공업체와의 공동연구를 통하여, 개발초기부터 현장에서 요구되는 수준의 목표성능을 설정함으로써, 기술의 실용화·상용화 가능성 증대
기대효과 및 파급효과	▪ 장대교량의 강재 피로 균열 감지 및 PT 텐던 장력 측정을 무인체와 연계한 세계 최초/최고 핵심 원천기술 확보 ▪ 최근 국내·외에서 발생하는 대형 사회기반시설물 붕괴로 인한 경제적·인적 피해 방지 및 국민 안전·신뢰 증대 ▪ 연구기간 동안 개발된 원천기술 및 지적재산권을 활용하여, 최근 급속도로 성장하고 있는 교량 유지관리 분야의 신규시장 개척 및 수익모델 창출 기반 마련

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 매립형/부착형 무선센서 기반피로균열 감지 및 텐던 장력 측정 관련 기술동향 조사 및 분석	- 매립형/부착형 무선센서 관련 국내·외 논문·특허 및 기술동향 조사 및 분석 - 기존기술의 활용방안 검토
	▪ 단위기술 개발 및 실험실 수준 성능평가·검증	- 강재 피로균열 감지 및 PT텐던 장력 측정 목표성능 설정 - 매립형/부착형 무선센서 기반 피로균열 감지 및 PT텐던 장력 측정 기술/시스템 개발 및 실험실 수준 성능평가·검증 - 무인체를 통한 전력 및 데이터 송수신 테스트
2차년도	▪ 시제품 제작 및 실험실 수준 성능평가·검증	- 매립형/부착형 무선센서 기반 피로균열 감지 및 텐던 장력 측정 시스템 시제품 제작 - 개발된 시제품과 무인체 통합 및 실험실 수준 성능평가·검증
	▪ 무인체 연계 조건에서의 개발된 시제품의 테스트베드 적용	- 무인체 연계 조건에서 시제품의 테스트베드 성능평가 - 시제품 성능보완 및 최적화
3차년도	▪ 개발된 시스템 실용화·상용화·사업화	- 구조물 유지관리 기업으로 기술이전을 통한 개발된 시스템의 실용화·상용화·사업화 - 현장실험데이터, 상용화 매출실적에 기반한 신기술 출원

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
매립형/내장형 센서 연계 국부 손상 감지	1	무선센서 기반 강재 피로균열 감지 균열 폭	개발 기술 적용하여 감지 가증한 강재피로균열 폭	㎛	100	0.4	피로균열 전파 진전 가능한 최소 균열 폭
	2	무선센서 기반 PT 텐던 긴장력 저하	개발 기술 적용하여 측정 가능한 PT텐던 긴장력 저하	%	30	0.4	구조물 안전성 유지 가능 최대 장력 저하
	3	소비전력	현장조건에서 소비전력 측정	W	3	0.2	매립형/부착형 무선센서 전력 소비량

4.1.3 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물평가 및 유지관리기술

1) 3세부과제 개요

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ BIM 기반의 대용량 구조물 진단 데이터를 수집, 저장, 처리하기 위해서는 사용자 맞춤 및 유연한 구축·운영이 가능하고 비용 효과가 좋은 클라우드 컴퓨팅 기술이 필요 ▪ 구조물 안전관리를 위해 수집 된 데이터(무인검사장비, 센서, 기존 수집 등)을 효율적으로 통합하여 다양한 서비스와 연동하기 위해서는 IoT기반의 데이터 통합과 BIM기반의 센서 데이터 맵핑 및 표출 연동기술개발이 필요함 ▪ 무인검사장비 계측 데이터는 기존 방식으로는 구현이 어려운 3D, 열화상 자료 새로운 형태의 데이터를 확보함에 따라서 이를 활용하여 건전성을 평가할 수 있는 기술이 요구되며, 대상 구조물의 열화환경과 무인체 계측 데이터를 종합적으로 고려한 최적의 성능저하모델을 개발하여 구조물의 건전도를 평가할 수 있는 기술개발의 필요성이 있음 ▪ 현행 시설물 상태 등급 산정은 한국시설안전공단의 “안전검검 및 정밀안전진단 세부지침”에서 제시한 방법론에 근거하여 수행되고 있으며, 주요 관리주체별로 교량 유지관리를 위한 BMS가 운용되고 있으며, 현재 운용되고 있는 등급화 프로세스, BMS DB 및 무인검사장비를 활용하여 획득된 현장 계측 데이터를 종합적으로 고려하여 해당 시설물의 상태를 평가하는 기술 개발 필요 ▪ 현행 구조물 안전진단 지침에는 무인검사장비를 활용한 시설물의 상태 조사와 그 결과를 활용한 평가기법 및 절차가 제시되어 있지 않으므로 현장 적용 이전에 제도화를 위한 지침 개발이 필요함 ▪ 무인검사장비 기반 대형 SOC 시설물의 유지관리를 위해서는 시설물의 유형과 점검환경에 맞는 무인검사장비의 활용계획에서부터 장착된 각종 센서로부터 수집된 데이터의 체계적인 관리와 이로부터의 정량적인 분석과 합리적인 의사결정 과정까지가 포함된 통합유지관리시스템의 개발과 이를 표준코드로 체계화 시키며, 패키지화할 필요 있음
국내외 기술동향	▪ 구조물의 상태 정보(BIM 데이터, 이미지, 영상 등)를 기반으로 구조물 안전수준의 모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구가 진행되고 있으나 대용량 데이터 처리 및 공동활용을 위한 시스템 인프라는 전무하나, 한국도로공사에서는 시설물관리 업무의 효율성을 높이기 위해 고속도로 교량관리를 위한 HBMA (Highway Bridge Management System) 시스템 등에 대한 클라우드 기술 적용연구를 진행하고 있음 ▪ 최근에는 점검결과로서 내구성이나 건전도을 평가하는 방법과 더불어 열화를 발생시키는 원인이 되는 열화환경을 평가하여 대상 구조물의 열화발생 가능성과 열화진전 속도를 평가에 반영하려는 경향이 있으나, 현재 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 성능저하모델 개발 및 이를 이용하여 구조물 건전도를 평가하는 기술에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있음 ▪ 영상처리기술 등에 의한 손상 등급 자동화 기술에 대해 일부 존재하나, 무인체를 기반으로 한 데이터와 기구축 DB를 연계하여 평가 및 성능등급을 산정

	하는 기술은 국내외적으로 전무함 ▪ 국토교통부와 항공안전기술원은 무인비행체 활용을 신산업분야중 한 분야로 선정하고 안전성 검증 시범사업을 진행 중이며 (~2017년 12월) 시범사업 이후 무인체 운영에 관한 각종 법제화 방안이 제시될 것으로 예상됨 ▪ 구조물 유지관리기관마다 독자적으로 운영되는 유지관리 시스템을 통일하고자 하는 연구가 수행되고 있으나 현재 국내에 무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 수집 데이터의 통합 관리 시스템이 전무한 실정임
정부지원 필요성	▪ 정부·공공기관에서 생산되는 데이터에 대한 비밀성 등을 보장하기 위하여 민간영역보다는 공공영역에서 개발·운영하는 클라우드 컴퓨팅 환경이 신뢰도가 높을 것으로 보이며 이에 따라 공공영역에서 최신 기술을 추진할 필요가 있음 ▪ 무인검사장비를 활용하는 첨단 점검기법을 선도해 나가기 위해서는 민간차원 추진보다는 국가적 차원에서의 주도가 바람직할 것으로 판단됨 ▪ 무인검사장비를 활용 진단/평가 기법은 새로운 고용 수요를 창출할 수 있는 신수종 분야로 정부의 지원이 필요함 ▪ 무인체 기술을 활용하여 국가가 인프라 시설의 유지관리에 활용할 수 있는 분야에 대한 실용화 및 상용화를 유도함으로써 선제적으로 관련 신시장 창출을 추진하여야 함 ▪ 현행 지침 대비, 발전된 기술을 접목하는 경우 이에 적응하기 위한 지침 개발이 반드시 필요하며 이러한 일련의 행위는 결국 시설물의 점검/진단의 효율성을 제고함으로써 국민의 안전을 확보하기 위함이므로 정부 차원의 지원이 필요함
과제의 개념 및 범위	▪ 무인검사장비 계측 데이터의 수집, 처리 및 분석을 위한 플랫폼 개발 및 데이터 가시화. ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 기구축 DB의 연계를 통한 구조물 유지관리 ▪ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 운영체계 정립
과제목표	▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 시작품 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터 맵핑 및 가시화 S/W 시작품 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능 등급 매뉴얼 개발 ▪ 무인검사장비 기반 안점점검 운영지침 개발 ▪ 무인검사장비 기반 획득 데이터의 통합관리 표준코드 체계 개발
주요내용	▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영 기술 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터 맵핑 및 가시화 기술 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 기술 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터-BMS DB 연계형 성능등급 산정 기술 개발 ▪ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발 ▪ 무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준코드체계 정립 ▪ 개발 기술의 테스트베드 적용 및 검증

기술적 위험요인	▪ 맞춤형 클라우드 컴퓨팅 플랫폼 구축의 어려움 ▪ 클라우드 컴퓨팅 환경의 정보유출, 시스템 침해 등의 정보보안 위협요소 ▪ 대형구조물 측정 데이터의 효율적 통합을 위해 ICT 분야에 진행 되는 다양한 개방형 IoT 기술(LWM2M 등)을 활용을 통한 BIM 정합 필요하나 개방형 기술의 상용시 지적재산권에 대한 문제 고려해야 함 ▪ 대상 시설물에서 고해상도와 재현성 있는 높은 신뢰성을 바탕으로 점검이 이루어져야 건전도 평가에 신뢰도가 높아짐 ▪ 무인검사장비에서 계측 데이터와 현재 활용중인 정밀안전진단세부지침의 평가 등급과의 연계 가능성 수준 여부가 실제 성능등급 산정에 활용될 수 있을 것인지가 결정될 것으로 사료됨 ▪ 운영지침 개발 시 무인검사장비 활용 신산업 분야 등 관련 산업분야의 규제 및 법제도와의 상충성을 신중히 고려하여야 함
연구개발 추진전략	▪ 오픈소스 기반의 클라우드 컴퓨팅 인프라 및 플랫폼 관련 기술, 인력의 참여를 통한 독자 기술 확보하며, 대용량 데이터 처리를 위한 클라우드 컴퓨팅 인프라 구축 기술은 산·학 등과 연계하여 추진 ▪ 산학연의 유기적인 협조를 통해 사용자 중심의 맵핑 표출기술 개발 추진하며, 개방형 API기반 가시화 기술을 통해 관련 중소기업의 다양한 서비스 사업화 유도 ▪ 기존 정밀안전진단 체계와 연구가 진행 중인 최신 성능평가 방식의 평가체계를 기초로 하여 연구 추진하며, 본 연구에서 개발되는 성능저하모델과 건전도 평가기법의 신뢰도 검증을 위한 비교를 위하여 기존 정밀안전진단 기반의 건전도 평가 결과를 활용 ▪ 국토교통부 BMS, FMS DB 활용을 위한 관련 부서와의 협의를 추진하며, 무인검사장비 계측 데이터와 기 구축 DB 연계 성능 등급 메뉴얼 활용을 위한 시설물 관리주체 및 산업체와의 협업
기대효과 및 파급효과	▪ 컴퓨팅 클라우드를 활용한 개방형 플랫폼 구축으로 건축물 대용량 데이터의 축적 및 다양한 활용 가능 ▪ BIM기반의 분석기법과 효율적인 운영관리를 활용한 새로운 건축물/대형시설물 안전 관리 시장 창출 가능성 확보 ▪ 실제 구조물의 성능저하를 이끄는 열화환경을 무인검사장비 기반 구조물 점검 및 평가에 반영함으로서 평가결과의 신뢰도 향상을 기대함 ▪ 현행 점검 체계 선진화 달성 및 점검 결과의 신뢰성 확보 가능 및 산정 등급의 객관성 확보 가능 ▪ 육안점검 결과를 객관화하여 대체할 수 있는 기술을 활용한 유지관리 분야의 새로운 기술 창출 가능 및 시설물 점검 분야의 패러다임 전환(인력 중심→장비 중심) ▪ 시설물의 고령화로 안전점검 대상물이 급증하는 시점에서 무인검사장비를 활용한 안전점검 운영에 대한 가이드라인을 제공하는 것은 안전성 측면뿐만 아니라 유지관리 비용 측면에서도 유리할 것으로 사료됨

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 구조물 검사 대용량 데이터 수집, 저장, 처리를 위한 컴퓨팅 요구사항 도출 및 플랫폼 설계	- 구조물 진단 관련 데이터 체계 분석 - 구조물 진단 데이터 수집, 저장 및 처리를 위한 데이터 체계 분석 - 클라우드 컴퓨팅 기반 플랫폼 설계
	▪ 손상, 진단 위치 맵핑 및 무인검사장비 측정 정보의 연동 구현	- 대형구조물 진단 데이터 분석 및 IoT기술 연계방안 연구 - BIM 및 IoT 기술 정합 방안 연구 및 구현 - 손상, 진단 위치 맵핑 및 무인검사장비 측정 정보의 연동 구현
	▪ 무인검사장비 기반 건전도 평가 체계 설계	- 무인검사장비 기반 점검에서 산출되는 예상 데이터 분석 및 활용성 검토 - 대상구조물의 열화환경 조사/분석 및 적용성 검토 - 기구축 데이터 조사 및 활용성 검토 - 무인검사장비 기반 건전도평가 지표 설정
	▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 통합 활용을 통한 성능등급 산정 프로세스 개발	- 기구축 BMS DB 분석 및 활용 방안 연구 - 등급화 결과의 신뢰도 향상을 위한 DB 항목 결정 및 적용 방안 연구 - 무인검사장비와 BMS DB 연계 프로세스 프레임워크 설계
	▪ 무인검사장비 기반 점검 시나리오 조사	- 관련 운영지침 동향에 대한 국내·외 조사 및 분석 - 무인검사장비 기반 점검 시나리오 조사 및 분석
	▪ 무인검사장비의 활용성을 극대화하고 유효한 데이터 수집과 처리를 위한 통합 관리 체계정립	-무인검사장비 기반 안전점검 시나리오별 수집 데이터 분석 -무인검사장비를 활용한 유지관리시스템의 적용 가능한 성능수준 제시 -확보된 각종 점검 및 진단 정보의 유효성 확인 및 활용방안 검토
2차년도	▪ 구조물 검사 정보 맞춤형 데이터 수집, 저장 모듈 개발	- 구조물 진단 맞춤형 데이터 수집, 저장 모듈 설계, 개발 및 테스트
	▪ 손상, 진단 위치 가시화 기술 개발	- 표준기술기반(국내/국제 등)을 고려한 BIM기반 가시화 기술 개발 - 개방형 API를 통한 모바일, 웨어러블 기기 연동 및 표출 기술 개발
	▪ 무인검사장비 기반 진단/평가를 위한 성능저하모델 개발	- 대상 부재의 열화환경을 반영한 성능저하모델 - 주요 열화메카니즘을 고려한 성능저하모델 - 기구축 데이터와 연계를 통한 성능저하모델 - 성능저하모델을 위한 손상 데이터베이스 구축 - 무인검사장비 기반 성능저하모델 개발
	▪ 무인검사장비 계측 데이터	- 무인검사장비 계측 데이터 포맷 분석

	와 BMS DB 연계 성능등급 산정 기술 개발	- 무인검사장비 계측 데이터의 등급화 프로세스 개발 - 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 통합 활용을 통한 성능등급 산정 프로세스 개발 - 성능등급 산정 프로그램(안) 개발
	▪ 무인검사장비 기반 안전점검 운영지침(안) 개발	- 무인검사장비 기반 점검 시나리오 조사를 통해 검사 위치, 검사항목, 검사 주기 및 안전성 확보 방안에 대한 연구 - 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침(안) 개발 - 운영지침(안) 개발 시 관련 산업분야 규제 및 법과의 상충성 조사
	▪ 시설물의 점검/진단 시나리오 및 플랫폼 바탕으로 설정단계, 계측단계, 후처리단계 등으로 구분된 무인체 기반 통합유지관리 운영시스템 패키지 정의 및 설계, 구현	- 구조물 성능평가용 유효 데이터 추출기법 개발 및 유효데이터 관리방안 마련 - 무인검사장비 계측 데이터 통합관리 표준코드 제시 - BMS 및 FMS와의 연계 방안 연구 - 무인검사장비 계측 데이터의 공개 서비스를 위한 검색시스템 구축
3차년도	▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 플랫폼 프로토타입 개발	- 클라우드 관리 플랫폼 개발 및 적용 - 데이터 수집, 저장 및 처리 모듈 적용
	▪ 시각화 표출기술을 통한 스마트 기기와 연동 기술 개발	- 무인검사장비 계측 데이터와 BIM/IoT 연동기술 개발 (상용화 기술개발) - 테스트베드 적용을 통한 검증 및 보완
	▪ 성능저하모델을 활용한 무인검사장비 기반 건전도 평가 프로세스 개발	- 열화환경/기구축데이터/무인검사장비/성능저하모델 기반 구조물 건전도 평가 알고리즘 개발 - 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백 - 무인검사장비 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼 작성
	▪ 등급 산정 기술 현장 적용성 확보	- 성능등급 산정 자동화 및 현장 여건을 고려한 최적 활용 Tool 개발 - 유지관리 실무자를 활용한 만족도 조사 실시 - 현장 적용 및 문제점 도출을 통한 개선 추진 - 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계를 통한 성능평가 매뉴얼(안) 제시
	▪ 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 도출	- 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 도출을 위한 시범사업 실시 - 유관기관 의견조회 및 공청회 - 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 도출
	▪ 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침의 검증을 위한 테스트베드 적용	- 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백을 통한 표준코드 수정보완 - 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 검증을 위한 시범사업 실시 - 유관기관 의견조회 및 공청회

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 개발	1	구조물 데이터 수집, 처리 기능	수집 기능 여부 확인	가/부	가	0.3	목표 기능이 정상적으로 동작해야 함
	2	데이터 저장, 처리 기능	저장 기능 여부 확인	가/부	가	0.3	
	3	클라우드 관리 플랫폼 기능	플랫폼 기능 여부 확인	가/부	가	0.4	
IoT/BIM 기반 검사 데이터 및 결과 가시화 기술	1	국내/국제 IoT 표준 기술 적용	IoT(국내/국제) 표준기술 적용 여부	유/무	유	0.3	IoT 특성을 위한 표준기술 적용 및 구현
	2	맵핑 데이터 연동확인	BIM 기반 손상, 진단 위치 맵핑 및 무인체 측정 정보의 연동 구현	건	1	0.4	
	3	구조물 진단 정보 가시화를 위한 API 구현	진단 위치 정보 표출을 위한 API 구현 여부	건	1	0.3	
무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 기술	1	무인검사장비 계측데이터 기반 구조물 성능저하모델	성능저하모델 개발 여부	건	1	0.5	무인검사장비 계측데이터를 활용한 성능저하모델
	2	무인체 기반 구조물 건전성 평가 알고리즘 신뢰도	기존 육안검사 기반 정밀안전진단과 비교	%	90	0.4	현장 적용 가능한 신뢰도 달성
	3	무인체 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼	매뉴얼 작성 유무	건	1	0.1	현장 적용 가능한 매뉴얼 작성
무인검사장	1	무인검사장비	기존 정밀안전진단	%	90	0.7	현장 적용 가능한

비계측데이터와 BMS DB 연계 성능등급 기술 개발		기반 시설물 성능 등급화 알고리즘 신뢰도	결과와 비교				신뢰도 달성
	2	성능 등급 평가를 위한 정량적 지표	정량적 지표 제시 여부	건	1	0.1	현장 적용 가능한 지표 제시
	3	기구축 BMS-DB 연계 방법론	방법론 제시 여부	건	1	0.1	현장 적용 가능한 방법론 제시
	4	무인검사장비와 BMS DB 연계형 성능 등급 산정 및 매뉴얼	매뉴얼 작성 여부	건	1	0.1	현장 적용 가능한 매뉴얼 작성
무인검사장비 기반 안전점검 운영지침 개발	1	무인체 점검시나리오 실용화 방안 보고서	보고서	건	1	0.3	대상시설물 규모
	2	지침화 실적	지침(보고서)	건	1	0.7	대상시설물 규모
무인검사장비 기반 안전점검 통합 코드 개발	1	유효 데이터 추출 및 유효성 검증 시스템	시스템 적용 및 검증	회	10	0.4	실제 시설물에 대한 활용 가능 여부 확인
	2	데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 매뉴얼	매뉴얼 작성	건	1	0.6	실제 시설물에 대한 활용 가능 여부 확인

2) 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술

■ 클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 최근 공공 발주 프로젝트의 BIM (Building Information Modeling) 적용 의무화 등의 영향으로 적용확대가 예상됨에 따라 BIM 인프라 구축, 정보 공유 및 관리를 위한 데이터 규격화, BIM 대용량 데이터를 수집, 저장, 관리, 처리할 수 있는 효율적인 시스템 및 공공 서비스 개발 구축이 필요함 ▪ BIM 기반의 대용량 구조물 진단 데이터를 수집, 저장, 처리하기 위해서는 사용자 맞춤 및 유연한 구축·운영이 가능하고 비용 효과가 좋은 클라우드 컴퓨팅 기술이 필요 ▪ 클라우드 컴퓨팅 시장규모는 지속적으로 성장하고 있으나 국내 공공부문의 클라우드의 외산 점유율이 매누 높은 상황으로 자체 기술 확보가 시급함 ▪ 정보보안 강화가 필요한 공공데이터에 대한 보호를 위하여 프라이빗 클라우드 기술 개발이 요구됨
국내외 기술동향	▪ 클라우드 인프라 기술은 아마존 컴퓨터 서비스인 EC2, EMR, 스토리지 서비스인 S3, EBS, 그리고 데이터베이스 서비스인 DynamoDB, RDS가 대표적이며, 국내에서는 KT, SKT, LGCNS, 틸론, KISTI 등을 중심으로 서비스를 확대 중임 ▪ 클라우드 플랫폼 기술은 구글, 마이크로소프트 등의 클라우드 제공자를 중심으로 앱엔진, 에저 등의 범용 플랫폼 연구 개발이 진행되고 있으며, 다양한 웹 서비스 적용을 위해 통합개발환경 및 SDK가 제공됨 ▪ 최근 클라우드 기반 BIM 서비스 관련 연구가 활성화되고 있으며, Graphisoft 등과 같은 산업계를 중심으로「Open BIM Clouding」기술 등이 활성화되고 있음 ▪ 구조물의 상태 정보(BIM 데이터, 이미지, 영상 등)를 기반으로 구조물 안전 수준의 모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구가 진행되고 있으나 대용량 데이터 처리 및 공동활용을 위한 시스템 인프라는 전무함 ▪ 한국도로공사에서는 시설물관리 업무의 효율성을 높이기 위해 고속도로 교량관리를 위한 HBMA(Highway Bridge Management System) 시스템 등에 대한 클라우드 기술 적용 연구를 진행하고 있음
정부지원 필요성	▪ 향후 IT 기술의 핵심이 될 클라우드 컴퓨팅 기술은 정부에서 관련 법 및 정책을 제정하는 등 활성화하고 있는 기술로 정부 정책에 부합함 ▪ 정부·공공기관에서 생산되는 데이터에 대한 비밀성 등을 보장하기 위하여 민간영역보다는 공공영역에서 개발·운영하는 클라우드 컴퓨팅 환경이 신뢰도가 높을 것으로 보이며 이에 따라 공공영역에서 최신 기술을 추진할 필요가 있음
과제의 개념 및	▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 구조물 검사 데이터에 대한 수집, 저장, 처리를 수행할 수 있는 플랫폼 시작품 개발

범위	
과제목표	▪ **클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 시작품 개발** - 구조물데이터의 수집 처리기능 구현 - 데이터 저장, 처리 기능 구현 - 클라우드 관리 플랫폼 기능 구현
주요내용	▪ 구조물 검사 대용량 데이터 수집, 저장, 처리를 위한 컴퓨팅 요구사항 도출 및 플랫폼 설계 - 구조물 데이터(BIM 데이터, 이미지 및 영상)에 대한 분석 - 구조물 데이터의 규모산정 및 수집, 저장, 처리를 위한 성능 분석 ▪ 구조물 검사 정보 맞춤형 데이터 수집, 저장 모듈 개발 - 구조물의 BIM 기반 3D 객체 정보 처리 - 구조물의 공정, 비용, 품질, 안전, 유지관리 속성이 추가된 n-D의 대용량 비정형 데이터 처리 - 무인체 기반으로 수집된 구조물의 이미지, 영상 등의 대용량 데이터 처리 - 기존 구조물 데이터 수집, 저장 시스템 활용을 위한 클라우드 기반의 가상시스템 구축 ▪ 이미지 모델링, 빅데이터 처리, 가시화 처리, 통합 관리 등 구조물 안전수준 분석·예측 및 관리를 위한 클라우드 기반의 가상시스템 구축 ▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 플랫폼 시작품 제작 및 검증 - 구조물 데이터 처리를 위한 성능분석을 기반으로 클라우드 컴퓨팅 시스템 및 네트워크 설계·구축 - 정보보안 강화를 위한 프라이빗 클라우드 플랫폼 개발 및 유관기관간 안전한 데이터 공유 방안 마련
기술적 위험요인	▪ 구조물검사 데이터 처리를 위한 다양한 프로세서 및 요소기술 분석이 요구됨 ▪ 맞춤형 클라우드 컴퓨팅 플랫폼 구축의 어려움 ▪ 클라우드 컴퓨팅 환경의 정보유출, 시스템 침해 등의 정보보안 위협요소 존재
연구개발 추진전략	▪ 오픈소스 기반의 클라우드 컴퓨팅 인프라 및 플랫폼 관련 기술, 인력의 참여를 통한 독자 기술 확보 ▪ 대용량 데이터 처리를 위한 클라우드 컴퓨팅 인프라 구축 기술은 산·학 등과 연계하여 추진 ▪ 클라우드 컴퓨팅 정보보안 관련 전문인력 참여를 통한 요소기술 개발 및 정보보호 대책 수립, 적용
기대효과 및 파급효과	▪ 컴퓨팅 클라우드를 활용한 개방형 플랫폼 구축으로 건축물 대용량 데이터의 축적 및 다양한 활용 가능 ▪ 클라우드 및 빅데이터 분석 환경의 자체 구축을 통한 구조물 데이터 저장 및 운영관리 소프트웨어 국산화에 기여

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 구조물 검사 대용량 데이터 수집, 저장, 처리를 위한 컴퓨팅 요구사항 도출 및 플랫폼 설계	- 구조물 진단 관련 데이터 체계 분석 - 구조물 진단 데이터 수집, 저장 및 처리를 위한 데이터 체계 분석 - 클라우드 컴퓨팅 기반 플랫폼 설계
2차년도	▪ 구조물 검사 정보 맞춤형 데이터 수집, 저장 모듈 개발	- 구조물 진단 맞춤형 데이터 수집, 저장 모듈 설계, 개발 및 테스트
3차년도	▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 플랫폼 프로토타입 개발	- 클라우드 관리 플랫폼 개발 및 적용 - 데이터 수집, 저장 및 처리 모듈 적용

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 개발	1	구조물 데이터 수집, 처리 기능	수집 기능 여부 확인	가/부	가	0.3	목표 기능이 정상적으로 동작해야 함
	2	데이터 저장, 처리 기능	저장 기능 여부 확인	가/부	가	0.3	
	3	클라우드 관리 플랫폼 기능	플랫폼 기능 여부 확인	가/부	가	0.4	

■ BIM기반 IoT센서 데이터 맵핑 및 가시화 기술

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 대형 구조물의 BIM 도입 의무 확대와 더불어 구조물 안전진단을 위해 IoT 기술 활용이 확산되고 있어 BIM기반 IoT 연동 기술이 요구 됨 ▪ 건설분야의 다양한 BIM 기반 관리 기술과 IoT 기술 융합으로 건설 융합형 신규 서비스 확산이 예상 됨 ▪ ICT기술을 발전에 따라 스마트폰 H/W 및 S/W 분야 기술 개발의 속도가 점차 빨라지고 있으며, 모바일 유지관리 기술에 필요한 클라우드 컴퓨팅, BIM, 3D modeling 기술 개발이 상당부분 진행되고 있음 ▪ 구조물 안전관리를 위해 수집 된 데이터(무인검사장비, 센서, 기존 수집 등)을 효율적으로 통합하여 다양한 서비스와 연동하기 위해서는 IoT기반의 데이터 통합과 BIM기반의 센서 데이터 맵핑 및 표출 연동기술개발이 필요함 ▪ 다양한 대형구조물 형태 및 무인검사 장치 등을 효율적으로 운영하기 위해 통합 된 하나의 IoT 기반 플랫폼이 필요하며, 해당 플랫폼은 다양한 형태의 검사 측정 데이터를 BIM 형태의 데이터 맵핑 기술을 통해 사용자 중심의 인터페이스 제공이 필요함
국내외 기술동향	▪ 건설사에서의 BIM 도구 활용 현황에서 현재는 초기 설계 단계부터 적용되지는 못하고, 2차원 설계 이후의 설계 및 시공성 검토에 BIM 기술이 활용되고 있음 ▪ EGIS에서는 2차원 형태 GIS 공간 데이터의 3차원 공간 데이터 자동 생성 기술을 개발한 바 있음 ▪ ㈜ 석영시스템즈는 BIM 기반 시설물 유지관리 시스템 및 IFC 국제 표준 기반 에너지 모니터링 시스템을 개발한 바 있음 ▪ 디디알소프트는 3차원 객체 CAD기반 제품생산 기술을 개발하였으며 현재 건설통합 솔루션 및 시설물 관리분야 적용을 위한 연구를 진행 중임 ▪ 한국건설기술연구원에서는 BIM/GIS 통합 플랫폼 구축 연구 및 도로, 교량, 터널등에 대한 IFC 국제 표준 수립과 관련된 연구를 수행중임
정부지원 필요성	▪ 다양한 대형 구조물 SOC에 대해 통합 되고 개방된 개발환경 구축을 위해서는 정부지원을 통해 관련 기관 참여를 통한 기술개발이 필요함
과제의 개념 및 범위	▪ IoT 표준 기술과 BIM 데이터 정합을 통해 무인검사장비 측정 정보의 가시화 기술 개발

과제목표	▪ **무인검사장비 측정 데이터 BIM 맵핑 S/W 시작품 개발** - 국내/국제 IoT 표준 기술 적용 - 손상, 진단 위치 맵핑 및 무인체 측정 정보의 연동 구현 ▪ **정보표출을 위한 가시화 S/W 시작품 개발** - 손상, 진단 위치 정보 표출을 위한 API 구현
주요내용	▪ 대형구조물 진단 데이터, BIM 및 IoT 기술 정합 방안 연구 ▪ 대형구조물 진단을 위한 표출 요구사항 조사 및 시나리오 수립 ▪ 표준기술기반(국내/국제 등)을 고려한 BIM기반 가시화 기술 개발 ▪ 모바일 및 웨어러블 기기 연동을 위한 경량화 연동 기술 개발 ▪ 실시간 무인검사장비 측정 데이터와 BIM/IoT 연동기술 개발 ▪ 개발기술의 시작품 제작 및 테스트베드 적용
기술적 위험요인	▪ 대형구조물 측정 데이터의 효율적 통합을 위해 ICT 분야에 진행 되는 다양한 개방형 IoT 기술(LWM2M 등)을 활용을 통한 BIM 정합이 필요하나 개방형 기술의 상용와 추진 시 지적재산권에 대한 문제를 고려해야 함
연구개발 추진전략	▪ 정부 및 관련 기관의 참여/협조를 통한 신뢰성 있는 데이터 수집을 통한 IoT 기반 BIM 정합 기술 개발 ▪ 산학연의 유기적인 협조를 통해 사용자 중심의 맵핑 표출기술 개발 추진 ▪ 개방형 API기반 가시화 기술을 통해 관련 중소기업의 다양한 서비스 사업화 유도
기대효과 및 파급효과	▪ BIM기반의 분석기법과 효율적인 운영관리를 활용한 새로운 건축물/대형시설물 안전 관리 시장 창출 가능성 확보 ▪ 개방형 표출 API 기술을 통해 중소기업의 다양한 디지털 기기와 연동한 서비스 개발을 촉진

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ BIM 기반 손상, 진단 위치 맵핑 및 무인검사장비 측정 정보의 연동 구현	- 대형구조물 진단 데이터 분석 및 IoT기술 연계방안 연구 - BIM 및 IoT 기술 정합 방안 연구 및 구현 - 손상, 진단 위치 맵핑 및 무인검사장비 측정 정보의 연동 구현
2차년도	▪ 손상, 진단 위치 가시화 기술 개발	- 표준기술기반(국내/국제 등)을 고려한 BIM기반 가시화 기술 개발 - 개방형 API를 통한 모바일, 웨어러블 기기 연동 및 표출 기술 개발
3차년도	▪ 시각화 표출기술을 통한 스마트 기기와 연동 기술 개발	- 무인검사장비 측정 데이터와 BIM/IoT 연동기술 개발 (상용화 기술개발) - 테스트베드 적용을 통한 검증 및 보완

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
IoT/BIM 기반 검사 데이터 및 결과 가시화 기술	1	국내/국제 IoT 표준 기술 적용	IoT(국내/국제) 표준기술 적용 여부	유/무	유	0.3	IoT 특성을 위한 표준기술 적용 및 구현
	2	맵핑 데이터 연동확인	손상, 진단 위치 맵핑 및 무인체 측정 정보의 연동 구현	건	1	0.4	
	3	구조물 진단 정보 가시화를 위한 API 구현	진단 위치 정보 표출을 위한 API 구현 여부	건	1	0.3	

3) 무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리기술

■ 무인검사장비 계측 데이터 기반 구조물 성능저하모델 및 건전도 평가 기술

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 콘크리트 구조물의 내구성 저하는 동해, 염해, 탄산화 등의 열화 메카니즘에 의해 시간이 경과함에 따라 서서히 발생하게 됨 ▪ 기존 정밀안전진단에서는 콘크리트 코어를 채취하여 탄산화 깊이, 염화물 침투량 등을 측정하여 내구성 저하에 대한 판단을 하고 있음 ▪ 무인검사장비를 활용하는 경우 코어채취와 같은 파괴적인 진단방법을 적용하기 어려워 기존의 구조물 내구성 평가기술을 동일하게 적용하기 어려움. 따라서 비파괴적인 방법과 영상자료에 의존하는 진단체계를 가진 무인검사장비의 한정된 데이터를 활용하여 건전도를 평가할 수 있는 방안의 모색이 필요함 ▪ 무인검사장비 계측 데이터는 기존 방식으로는 구현이 어려운 3D, 열화상 자료 새로운 형태의 데이터를 확보함에 따라서 이를 활용하여 건전성을 평가할 수 있는 기술이 요구되며, 대상 구조물의 열화환경과 무인검사장비 계측 데이터를 종합적으로 고려한 최적의 성능저하모델을 개발하여 구조물의 건전도를 평가할 수 있는 기술개발의 필요성이 있음
국내외 기술동향	▪ 한국도로공사의 경우 교량 상부 부재에 염해와 동해가 복합적으로 발생하는 열화를 대상으로 최근 제설환경을 고려한 콘크리트 구조물의 염해 내구성 평가에 관한 절차를 마련하고 있음 ▪ 한국건설기술연구원과 일본토목연구소는 해안 인근 구조물들에 염해를 일으키는 주 요인인 비래염분을 실측 자료를 바탕으로 추정하는 모델을 개발함 ▪ 한국수력원자력에서는 원자력발전소 구조물의 주기적인 점검결과를 토대로 현 상태의 건전도을 평가하는 기법과 탄산화 및 염해에 대한 원전 구조물의 수명을 예측하는 기법을 시스템화하여 적용하고 있음 ▪ 한국시설안전공단과 한국건설기술연구원은 구조물 점검 및 진단을 안전성, 내구성 및 서비스 성능을 종합적으로 평가하는 성능중심평가 체계로 전환하는 연구를 진행하고 있음 ▪ 최근에는 점검결과로서 내구성이나 건전도을 평가하는 방법과 더불어 열화를 발생시키는 원인이 되는 열화환경을 평가하여 대상 구조물의 열화발생 가능성과 열화진전 속도를 평가에 반영하려는 경향이 있음 ▪ 현재 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 성능저하모델 개발 및 이를 이용하여 구조물 건전도를 평가하는 기술에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있음
정부지원 필요성	▪ 무인검사장비 기반 진단/평가 체계는 SOC 시설물의 유지관리에 활용될 예정이며, 정부 주도의 지원이 필요함 ▪ 무인검사장비를 활용하는 첨단 점검기법을 선도해 나가기 위해서는 민간차원 추진보다는 국가적 차원에서의 주도가 바람직할 것으로 판단됨 ▪ 무인검사장비를 활용 진단/평가 기법은 새로운 고용 수요를 창출할 수 있는 신수종 분야로 정부의 지원이 필요함
과제의	▪ 무인검사장비 계측 데이터와 열화모델 및 기구축 데이터를 활용하여 구조물

개념 및 범위	의 건전도를 90% 이상의 신뢰성으로 산출하는 기술 개발
과제목표	▪ **무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼** - 무인검사장비 계측데이터 기반 구조물 성능저하모델 개발 - 성능저하모델을 활용한 무인검사장비 기반 구조물 건전성 평가 알고리즘 개발 - 무인검사장비 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼 제시
주요내용	▪ 대상 구조물의 열화환경 조사/분석 및 적용성 검토 ▪ 무인검사장비 계측 데이터 기반 건전성 평가 지표 설정 ▪ 무인검사장비 기반 최적 성능저하모델 개발 ▪ 열화환경/기구축데이터/무인검사장비 기반 통합 데이터 건전도 평가 알고리즘 개발 ▪ 성능저하모델 및 무인검사장비 기반 건전도 평가 매뉴얼 개발 ▪ 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백
기술적 위험요인	▪ 무인검사장비를 활용하는 경우 주로 촬영영상에 의존하고, 정밀점검은 주로 비파괴적 방법에 의존하기 때문에 전문인력에 의해 점검되는 방식에 비하여 촬영영상의 경우 해상력, 정밀점검의 경우 비파괴적 방법의 신뢰도에 따라 제공되는 데이터의 질적 수준이 달라질 수 있음 ▪ 대상 시설물에서 고해상도와 재현성 있는 높은 신뢰성을 바탕으로 점검이 이루어져야 건전도 평가에 신뢰도가 높아짐 ▪ 다양한 현장의 열화환경을 반영하는데 한계가 있을 수 있으며, 이를 극복하기 위하여 현장조사 등을 통한 실용성 있는 데이터의 확보가 필요함
연구개발 추진전략	▪ 신뢰성 높은 평가기법 개발을 위하여 기존의 현장 실측자료 및 열화모델 등과 다양한 비교, 검토 실시 ▪ 연구결과의 실용성을 높이기 위하여 전문점검 기관과의 협업이 필요함 ▪ 기존 정밀안전진단 체계와 연구가 진행 중인 최신 성능평가 방식의 평가체계를 기초로 하여 연구 추진 ▪ 현장 적용성 및 실용성 확보를 위해 구조물 유지관리 및 평가 관련 전문가들의 자문을 통해 연구진행 ▪ 시설물정보관리종합시스템(FMS), 교량관리시스템(BMS) 등의 내구성 데이터 활용방안 검토 및 원전구조물 수명관리시스템(SLMS) 등 현행 시스템의 건전도 평가기법 분석 ▪ 본 연구에서 개발되는 성능저하모델과 건전성 평가기법의 신뢰도 검증을 위한 비교를 위하여 기존 정밀안전진단 기반의 건전도 평가 결과를 활용
기대효과 및 파급효과	▪ 기존에는 접근하기 어려워 점검 및 평가가 어려웠던 부재에 대한 정량적인 건전도 평가가 가능함 ▪ 최적의 성능저하모델 적용으로 무인검사장비 기반 점검의 약점을 보완할 수 있을 것으로 기대함 ▪ 실제 구조물의 성능저하를 이끄는 열화환경을 무인검사장비 기반 구조물 점검 및 평가에 반영함으로서 평가결과의 신뢰도 향상을 기대함 ▪ 본 연구결과는 기존의 재래식 점검기법에도 활용이 가능할 것으로 보이며, 유지관리 수준의 향상을 기대함

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 무인검사장비 기반 건전도 평가 체계 설계	- 무인검사장비 기반 점검에서 산출되는 예상 데이터 분석 및 활용성 검토 - 대상 구조물의 열화환경 조사/분석 및 적용성 검토 - 기구축 데이터 조사 및 활용성 검토 - 무인검사장비 검사 데이터 기반 건전도 평가 지표 설정
2차년도	▪ 무인검사장비 기반 진단/평가를 위한 성능저하모델 개발	- 대상 부재의 열화환경을 반영한 성능저하모델 - 주요 열화메카니즘을 고려한 성능저하모델 - 기구축 데이터와 연계를 통한 성능저하모델 - 성능저하모델을 위한 손상 데이터베이스 구축 - 무인검사장비 기반 진단체계 통합 성능저하모델 개발
3차년도	▪ 성능저하모델을 활용한 무인검사장비 기반 건전도 평가 프로세스 개발	- 열화환경/기구축데이터/무인검사장비/성능저하모델 기반 구조물 건전도 평가 알고리즘 개발 - 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백 - 무인검사장비 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼 작성

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 기술	1	무인검사장비 계측데이터 기반 구조물 성능저하모델	성능저하모델 개발 여부	건	1	0.5	무인검사장비 계측데이터를 활용한 성능저하모델
	2	무인검사장비 기반 구조물 건전성 평가 알고리즘 신뢰도	기존 육안검사 기반 정밀안전진단과 비교	%	90	0.4	현장 적용 가능한 신뢰도 달성
	3	무인검사장비 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼	매뉴얼 작성 유무	건	1	0.1	현장 적용 가능한 매뉴얼 작성

■ 무인검사장비 계측 데이터-BMS DB 연계형 구조물 성능등급 산정 기술

• 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 현행 시설물 성능 등급 산정은 한국시설안전공단의 “안전검검 및 정밀안전진단 세부지침”에서 제시한 방법론에 근거하여 수행되고 있으며, 주요 관리주체별로 교량 유지관리를 위한 BMS가 운용되고 있음(국토교통부, 한국도로공사 등) ▪ 따라서 현재 운용되고 있는 등급화 프로세스, BMS DB 및 무인검사장비를 활용하여 획득된 현장 계측 데이터를 종합적으로 고려하여 해당 시설물의 성능을 평가하는 기술 개발 필요 ▪ 국내 시설물 유지관리 시장의 규모와 업체는 지속적으로 증가하고 있으나, 과학적 유지관리 기법의 적용 등 질적 성장을 위한 노력은 미흡한 상황이므로 위에서 제시한 기술에 대한 필요성이 점차 증대 - 시장규모: (2001) 1.0조 원 → (2010) 2.8조 원 - 업체수: (2001) 1,982 개 → (2010) 4,056 개
국내외 기술동향	▪ 고해상도 카메라 및 영상처리기술 등에 의한 손상 등급 자동화 기술에 대해 일부 존재하나(한국도로공사 영상처리 기반 교량 손상검출장비 등), 무인검사장비로부터 계측된 데이터와 기구축 DB를 연계하여 평가 및 성능등급을 산정하는 기술은 국내외적으로 전무 ▪ 시설물 진단/평가기술 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있으나 성능등급 산정을 위한 연구는 소극적인 수준 - 한국건설기술연구원에서는 교량계측데이터를 이용한 구조물 안전성 평가기법에 관한 연구를 수행하였으며, 처짐, 신축이음, 가속도 등의 통합 성능 평가기술 연구를 수행. 또한, 국토부 BMS 구축 및 관리를 한국시설안전공단과 공동으로 위탁받아 수행 중 - ㈜에이티맥스는 고해상도 이미지를 활용하여 콘크리트 표면의 균열 자동 감지 기술을 개발하였고, 3D 스캐너를 이용한 좌표 데이터와 고해상도 이미지 맵핑 기술 개발 - 한국도로공사에서는 이미지 프로세싱을 이용한 교량 바닥판, 포장부 등에 대한 손상 검출 장치를 개발하고 활용중임 - 미국의 FHWA에서는 RABIT이라는 비파괴검사가 가능한 플랫폼형 장치를 개발하여 현재 활용중임
정부지원 필요성	▪ 2014.11월부터 국토교통부에서는 현행 시설물 유지관리로는 SOC 고령화에 효과적으로 대응하기 어려우며, 향후 SOC 유지관리에 막대한 예산이 소요될 것으로 예상하고 있음 ▪ 무인체 기술을 활용하여 국가 인프라 시설의 유지관리에 활용할 수 있는 분야에 대한 실용화 및 상용화를 유도함으로써 선제적으로 관련 신시장 창출을 추진하여야 함 ▪ 향후 본 기술을 활용한 프로세스는 우선적으로 국내 시설물 점검 시 적극적으로 활용될 예정임
과제의 개념 및 범위	▪ 무인검사장비 계측 데이터와 기구축 BMS DB 연계를 통한 구조물 성능 등급을 90% 이상의 신뢰성으로 산정하는 기술 개발

과제목표	▪ **무인검사장비 계측데이터 기반 성능등급 산정 알고리즘 개발** - 무인검사장비 계측 데이터를 활용한 시설물 성능 등급화 알고리즘 개발 - 성능 등급 평가를 위한 정량적 지표 제시 ▪ **무인검사장비 계측데이터와 BMS DB 연계 성능등급산정 알고리즘, S/W 개발** - 무인검사장비 계측 데이터와 기구축 BMS DB 연계 방법론 개발 - 무인검사장비와 BMS DB 연계형 성능등급 산정 S/W 및 매뉴얼 제시
주요내용	▪ 기구축 BMS DB 분석 및 활용 방안 연구 ▪ 성능 등급화 결과의 신뢰도 향상을 위한 DB 항목 결정 및 적용 방안 연구 ▪ 무인검사장비 계측 데이터를 활용한 시설물 성능 등급화 알고리즘 및 프로세스 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 통합 활용을 통한 구조물 성능등급 산정 프로세스 개발 (기존 정밀안전진단 결과 대비 90% 이상 신뢰도 확보) ▪ 현장 여건을 고려한 최적 활용 프로세스 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계를 통한 구조물 성능평가 매뉴얼(안) 제시 ▪ 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백
기술적 위험요인	▪ 본 연구는 현재 육안점검으로 평가되는 시설물 성능 등급 산정 프로세스를 무인검사장비 계측 데이터를 활용하는 것이 가장 중요한 목적이며, 센싱기법에 의한 점검 결과의 신뢰도 및 정확도가 매우 중요한 관건임 ▪ 무인검사장비에서 계측 데이터와 현재 활용중인 정밀안전진단세부지침의 평가 등급과의 연계 가능성 수준 여부가 실제 성능등급 산정에 활용될 수 있을 것인지가 결정될 것으로 사료됨 ▪ 본 연구의 최종 성과품은 유지관리업체에서 활용되는 것으로써, 현장 작업자 여건을 고려한 최적의 Tool 형태로의 개발 필요
연구개발 추진전략	▪ 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 기술/정보 교류를 통한 관련 분야 기술동향 및 기술수준 조사 및 분석 ▪ 현행 정밀안전진단 세부지침에 근거한 연구 추진 ▪ 국토교통부 BMS DB 활용을 위한 관련 부서 협의 추진 ▪ 실제 시설물 점검 실무자들이 효과적으로 활용할 수 있도록 과제 초기에 관련자들의 의견 청취를 통한 현장 적용성 극대화 도모 ▪ 진단 전문가 자문을 통한 평가/등급화 기술 체계화 및 고도화 도모 ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능 등급 메뉴얼 활용을 위한 시설물 관리주체 및 산업체와의 협업
기대효과 및 파급효과	▪ 인력의 접근이 어려운 시설물 부재 점검결과를 반영한 성능등급 구현(기존 Q등급 또는 인력 접근을 통한 점검 실시) ▪ 현행 점검 체계 선진화 달성 및 점검 결과의 신뢰성 확보 가능 ▪ 산정 등급의 객관성 확보 가능 ▪ 시설물 성능등급 분야의 새로운 기술 도입을 통한 신시장 창출 ▪ 육안점검 결과를 객관화하여 대체할 수 있는 기술을 활용한 유지관리 분야의 새로운 기술 창출 가능 ▪ 시설물 점검 분야의 패러다임 전환(인력 중심→장비 중심)

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 통합 활용을 통한 성능등급 산정 프로세스 개발	- 기구축 BMS DB 분석 및 활용 방안 연구(국토부, 도로공사, 철도공사, 지자체 BMS 등) - 등급화 결과의 신뢰도 향상을 위한 DB 항목 결정 및 적용 방안 연구 - 무인검사장비와 BMS DB 연계 프로세스 프레임워크 설계
2차년도	▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능등급 산정 기술 개발	- 무인검사장비 계측 데이터 포맷 분석 - 무인검사장비 계측 데이터의 등급화 프로세스 개발 - 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 통합 활용을 통한 성능등급 산정 프로세스 개발 - 성능등급 산정 프로그램(안) 개발
3차년도	▪ 등급 산정 기술 현장 적용성 확보	- 성능등급 산정 자동화 및 현장 여건을 고려한 최적 활용 Tool 개발 - 유지관리 실무자를 활용한 만족도 조사 실시 - 현장 적용 및 문제점 도출을 통한 개선 추진 - 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계를 통한 성능평가 매뉴얼(안) 제시

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능등급 기술 개발	1	무인검사장비 기반 시설물 성능 등급화 알고리즘 신뢰도	기존 정밀안전진단 결과와 비교	%	90	0.7	현장 적용 가능한 신뢰도 달성
	2	성능 등급 평가를 위한 정량적 지표	정량적 지표 제시 여부	건	1	0.1	현장 적용 가능한 지표 제시
	3	기구축 BMS-DB 연계 방법론	방법론 제시 여부	건	1	0.1	현장 적용 가능한 방법론 제시
	4	무인검사장비와 BMS DB 연계형 성능 등급 산정 및 매뉴얼	매뉴얼 작성 여부	건	1	0.1	현장 적용 가능한 매뉴얼 작성

4) 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

■ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발

- 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 현재 시설물안전관리에 관한 특별법에 따른 안전점검 및 정밀안전진단 지침에 의거 시설물의 점검/진단이 실시되고 있으나, 대형구조물, 접근이 어렵거나 육안조사가 어려운 점검부위 등에 대한 점검과 자료 축적·관리·운영 등에 효율성을 기하기 위해 무인검사장비를 활용한 점검 필요성이 대두되고 있음 ▪ 현행 지침에는 무인검사장비를 활용한 시설물의 상태 조사와 그 결과를 활용한 평가기법 및 절차가 제시되어 있지 않으므로 현장 적용 이전에 제도화를 위한 지침 개발이 필요함
국내외 기술동향	▪ 국토교통부와 항공안전기술원은 무인비행체 활용을 신산업분야중 한 분야로 선정하고 안전성 검증 시범사업을 진행 중이며 (~2017년 12월) 시범사업 이후 무인체 운영에 관한 각종 법제화 방안이 제시될 것으로 예상됨 ▪ 무인체 운영 법규화 정착의 일환으로 국토교통부에서는 (사)한국드론협회와 함께 스마트폰 어플(Ready to fly)를 개발하여 무인체 운영 전 스마트폰의 GPS를 이용해 현재 위치 또는 비행 장소의 공역정보, 기상정보, 일출·일몰 시각, 비행허가 소관기관(민·군 포함) 등을 한 번에 조회할 수 있도록 하였으며, 비행 중 조종자 준수사항에 대해서도 손쉽게 파악할 수 있도록 하였음 ▪ 교통안전공단에서는 “무인항공기 안전관리제도 구축”에 관한 연구(2009.07 ~ 2009.12)를 수행하였으며, 무인항공기 안전관리제도에 관한 국내외 현황 조사 및 분석을 주 내용으로 하고 있음 ▪ 유럽항공안전청(EASA)는 유럽 전역에 적용되는 무인체 안전 기준을 마련 중에 있으며, 규제안의 주된 내용은 원격조종항공기시스템(RPAS)의 안전을 담보하기 위한 지침과 개인정보 보호 등에 관한 사항임. 이 규제안은 군사용을 제외한 민간용 무인기만을 대상으로 한 것임
정부지원 필요성	▪ 본 연구과제의 최종 목표는 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검에 관한 운영지침을 개발하는 것임. 따라서 현행 지침 대비, 발전된 기술을 접목하는 경우 이에 적응하기 위한 지침 개발이 반드시 필요하며 이러한 일련의 행위는 결국 시설물의 점검/진단의 효율성을 제고함으로써 국민의 안전을 확보하기 위함이므로 정부 차원의 지원이 필요함
과제의 개념 및 범위	▪ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시 검사항목, 검사 위치 또는 범위, 검사 시나리오, 센싱/검사 방법, 검사 주기 설정 등을 통해 안전성 확보 방안 등을 도출할 수 있는 유지관리 지침 제시

과제목표	▪ **무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 운영지침 제시** ▪ **무인검사장비 기반 점검시나리오 실용화 방안 도출**
주요내용	▪ 무인검사장비관련 국내외·운영지침 또는 기준 동향에 대한 조사 분석 ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 기술 동향 조사 및 분석 ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오 조사 및 분석 ▪ Delphi-survey 등을 통한 최적 안전점검 시나리오(검사 위치, 검사항목, 검사 방법, 검사 주기 등) 도출 ▪ AHP 분석을 통한 안전점검 시나리오 단계별(주부재와 붕괴유발부재 점검 단계 또는 도장 열화와 균열 점검 단계 등 비교 항목이 제시 되는 단계) 가중치 적용 효과 분석 연구 ▪ 현장 적용성 검증을 위한 무인검사장비 운영지침(안) 개발(관련 산업분야 규제 및 법과의 상충성 조사 병행) ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오의 현장 적용성 검증을 위한 시범사업 추진(대상 구조물 선정→운영지침(안)에 따른 현장 적용성 검증→시범사업 보고서 작성→공청회를 통한 현장 적용 타당성 검증) ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오 실용화 방안 보고서 작성(유지관리 지침 개발을 위한 공청회 등 피드백을 위한 기본 자료로 활용) ▪ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발
기술적 위험요인	▪ 운영지침 개발 시 무인검사장비 활용 신산업 분야 등 관련 산업분야의 규제 및 법제도와의 상충성을 신중히 고려하여야 함
연구개발 추진전략	▪ 관련 산업분야 규제 및 법제화 진행 과정을 면밀히 조사함으로써 기술적 위험요인에 적극 대응할 수 있도록 함 ▪ 무인검사장비 운영지침의 실효성 검증을 위한 시범사업 실시 ▪ 국내외 안전점검 전문가 및 무인체 전문가 적극 활용
기대효과 및 파급효과	▪ 시설물의 고령화로 안전점검 대상물이 급증하는 시점에서 무인검사장비를 활용한 안전점검 운영에 대한 가이드라인을 제공하는 것은 안전성 측면뿐만 아니라 유지관리 비용 측면에서도 유리할 것으로 사료됨 ▪ 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 시 현장에서 발생 가능한 안전사고를 미연에 방지하고, 인력 접근이 어려워 유인 점검이 제한되는 시설물 부위에 대해서도 원활한 점검이 수행되도록 함

- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 무인검사장비 기반 점검 시나리오 조사	- 관련 운영지침 동향에 대한 국내·외 조사 및 분석 - 무인검사장비 기반 점검 시나리오 조사 및 분석
2차년도	▪ 무인검사장비 기반 안전점검 운영지침(안) 개발	- 무인검사장비 기반 점검 시나리오 조사를 통해 검사 위치, 검사항목, 검사 주기 및 안전성 확보 방안에 대한 연구 - 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침(안) 개발 - 운영지침(안) 개발 시 관련 산업분야 규제 및 법과의 상충성 조사
3차년도	▪ 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 도출	- 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 도출을 위한 시범사업 실시 - 유관기관 의견조회 및 공청회 - 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 도출

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
무인체 기반 안전점검 운영지침 개발	1	무인검사장비 점검시나리오 실용화 방안 보고서	보고서	건	1	0.3	대상시설물 규모
	2	지침화 실적	지침(보고서)	건	1	0.7	대상시설물 규모

■ 무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립

• 연구개발 목표 및 주요 연구 내용

연구개발 필요성	▪ 현재 수행되는 점검 및 진단과업에서 접근에 애로가 있어 시설물의 상태와 건전도, 그리고 안전도를 평가하기 어려운 문제점이 있음 ▪ 조사가 어려운 시설물의 점검 및 진단을 위하여 현장조사작업과 자료 축척, 관리, 운영 등에 효율성을 기하기 위해 무인검사장비를 활용한 방법들이 다양하게 대두되고 있지만, 무인검사장비로부터 획득되는 각종 데이터의 유효성과 이를 검증하기 위한 평가기법 및 절차가 제시되어 있지 않음. 따라서 무인검사장비의 장점을 살리고 효율적으로 실무에 적용할 수 있는 제도적 기반이 필요함 ▪ 무인검사장비에 의해 수집되는 데이터는 용량이 방대하므로 성능평가를 위해 필요한 데이터로 가공하고 분석하는 기술과 분석과정에서의 초기/가공/관리 데이터 등을 체계적으로 저장할 수 없어 이에 상응하는 기술이 없이는 유지관리가 불가능함 ▪ 다양한 무인검사장비(드론, 무인로봇 등)를 기반으로 하는 대형 SOC 시설물의 유지관리를 위해서는 시설물의 유형과 점검환경에 맞는 무인검사장비의 활용계획에서부터 장착된 각종 센서로부터 수집된 데이터의 체계적인 관리와 이로부터의 정량적인 분석과 합리적인 의사결정 과정까지가 포함된 통합유지관리시스템의 개발과 이를 표준코드로 체계화 시키며, 패키지화할 필요 있음 ▪ 국가 시설물 유지관리 시스템(FSM, BMS 등)과의 접목을 위해서, 체계적이고 효율적인 개발 프로세스의 정립과 요구 기술 수준의 성능 표준 제시, 새로운 데이터 취득 방법과 이를 활용한 분석기술 등을 포괄하는 새로운 통합 시스템 개발이 요구됨
국내외 기술동향	▪ 근래 장대교량 및 초고층 건물 등 대형 구조물이 건설되어 각 관리기관이 독자적으로 유지관리 시스템을 갖추고 독립된 형태로 시스템을 운용함으로 인해 획득되는 데이터의 효용성 및 공유체계가 미흡하여 이를 통일하고자 하는 연구가 수행되고 있음 ▪ 국토교통부와 항공안전기술원은 무인비행체 활용을 신산업분야중 한 분야로 선정하고 안전성 검증 시범사업을 진행 중이며 (~2017년 12월) 시범사업 이후 무인체 운영에 관한 각종 법제화 방안이 제시될 것으로 예상됨 ▪ 현재 국내에 무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 수집 데이터의 통합 관리 시스템이 전무한 실정임
정부지원 필요성	▪ 선제적인 유지관리 기법도입과 새로운 유지관리 환경개척을 위한 재정지원 및 제도개선 필요
과제의 개념 및	▪ 무인검사장비로부터 계측된 각종 데이터를 효과적으로 분석 추출하고 유지관리 일선에서 활용할 수 있는 통합 관리 표준코드 체계 정립

범위	
과제목표	▪ **무인검사장비 계측 데이터의 통합관리 표준코드 체계 개발** - 유효 데이터 추출 및 유효성 검증 시스템 - 데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 매뉴얼
주요내용	▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오별 수집 데이터 분석 ▪ 무인검사장비를 활용한 유지관리시스템의 적용 가능한 성능수준 제시 ▪ 확보된 각종 점검 및 진단 정보의 유효성 확인 및 활용방안 검토 ▪ 구조물 성능평가용 유효 데이터 추출기법 개발 및 유효데이터 관리방안 마련 ▪ 데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 수립 ▪ 무인검사장비 수집 데이터 통합관리 표준코드 제시 ▪ 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백을 통한 표준코드 수정보완
기술적 위험요인	▪ 무인체로부터 수집되는 데이터의 신뢰도 검증이 반드시 이루어져야 함 ▪ 기존 유지관리 체계의 틀을 유지과하고 새로운 기법을 통합하여 구조물의 상태와 거동을 판단할 수 있는 융합기술개발이 요구됨
연구개발 추진전략	▪ 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 기술/정보 교류를 통한 관련 분야 기술동향 및 기술수준 조사 및 분석 ▪ 산업체 및 정부(투자)기관 등과의 연계를 통해 기술 모니터링 ▪ 개발된 기술의 본격 적용에 앞서 테스트베드 적용을 통한 기술의 타당성 검증 ▪ 개발 시스템에 대한 국내외 지적 재산권 확보 및 구조물 유지관리 주관기관 또는 유지관리 전문업체로 기술이전을 통한 사업화 추진 ▪ 무인검사장비 운영지침의 실효성 검증을 위한 시범운영 실시
기대효과 및 파급효과	▪ 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 시 현장에서 발생 가능한 안전사고를 미연에 방지하고, 인력 접근이 어려워 유인 점검이 제한되는 시설물 부위에 대해서도 원활한 점검이 수행되도록 함 ▪ 시설물의 고령화로 안전점검 대상물이 급증하는 시점에서 무인검사장비를 활용한 안전점검 운영에 대한 가이드라인을 제공하는 것은 안전성 측면뿐만 아니라 유지관리 비용 측면에서도 유리할 것으로 사료됨 ▪ 장대교량과 같은 대형 사회기반시설물이 초기점검, 외관점검 등에 무인체 기술 적용을 통해 안전한 환경에서 필수 데이터 확보 ▪ 관련 전문업체의 기술력 향상을 통한 글로벌 경쟁력 향상

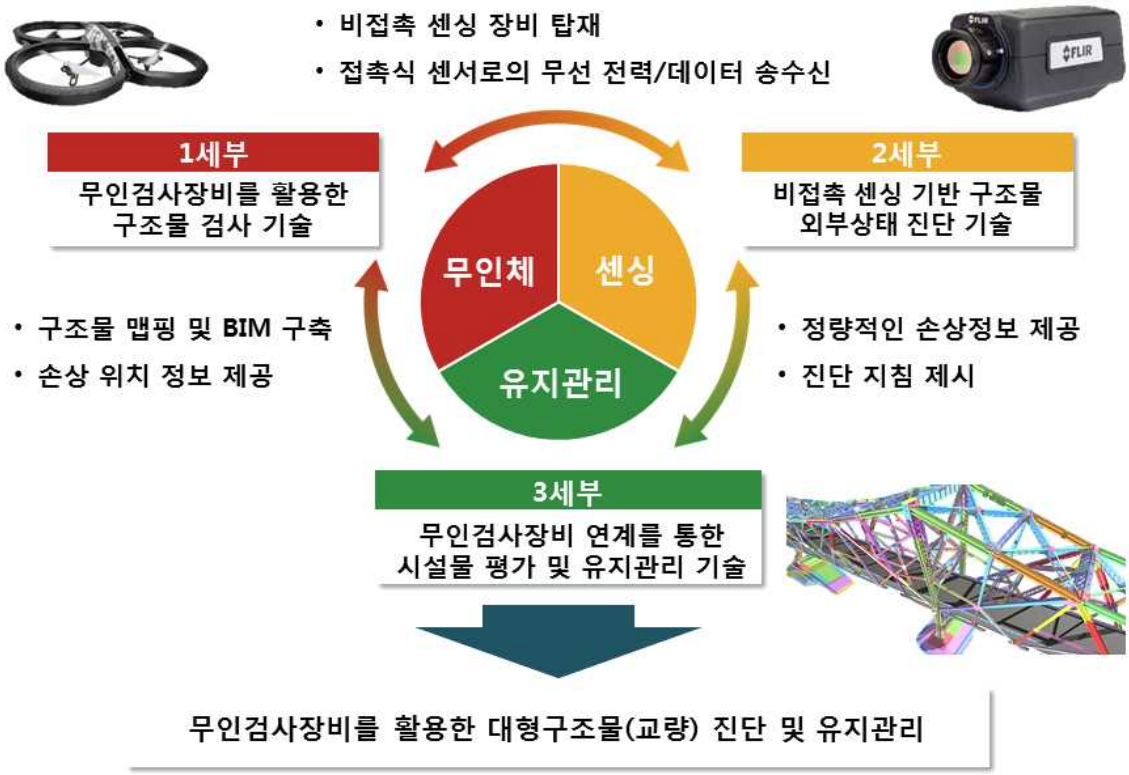
- 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	▪ 무인검사장비의 활용성을 극대화하고 유효한 데이터 수집과 처리를 위한 통합관리 체계정립	-무인검사장비 기반 안전점검 시나리오별 수집 데이터 분석 -무인검사장비를 활용한 유지관리시스템의 적용 가능한 성능수준 제시 -확보된 각종 점검 및 진단 정보의 유효성 확인 및 활용방안 검토
2차년도	▪ 시설물의 점검/진단 시나리오 및 플랫폼 바탕으로 설정단계, 계측단계, 후처리단계 등으로 구분된 무인검사장비 기반 통합유지관리 운영시스템 패키지 정의 및 설계, 구현	- 구조물 성능평가용 유효 데이터 추출기법 개발 및 유효데이터 관리방안 마련 - 무인검사장비 수집 데이터 통합관리 표준코드 제시 - BMS 및 FMS와의 연계 방안 연구 - 무인검사장비 기반 구축 데이터의 공개 서비스를 위한 검색시스템 구축
3차년도	▪ 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침의 검증을 위한 테스트베드 적용	- 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백을 통한 표준코드 수정보완 - 무인검사장비 기반 대형 구조물 안전점검 운영지침 도출을 위한 시범사업 실시 - 유관기관 의견조회 및 공청회

- 최종성과물 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
무인체 기반 안전점검 통합 코드 개발	1	유효 데이터 추출 및 유효성 검증 시스템	시스템 적용 및 검증	회	10	0.4	실제 시설물에 대한 활용 가능 여부 확인
	2	데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 매뉴얼	매뉴얼 작성	건	1	0.6	실제 시설물에 대한 활용 가능 여부 확인

4.2 세부과제 간 연계성



[그림 4.1] 세부과제간 연계성

■ 1세부/2세부 연계

- 2세부에서 개발하는 구조물 진단을 위한 센싱 장비 탑재가 가능하도록 1세부의 무인검사장비 및 2세부의 진단 시스템이 구성될 수 있도록 함
- 2세부에서 개발하는 접촉식 센서와의 무선 전력/데이터 송수신이 가능하도록 1세부의 무인검사장비 및 무선 전력/데이터 송수신 시스템 구성될 수 있도록 함

■ 2세부/3세부 연계

- 3세부에서 신뢰도 높은 시설물 평가 및 유지관리가 가능하도록 2세부에서 정량적인 손상정보들을 제공할 수 있도록 함
- 2세부에서 효율적인 구조물 진단이 가능하도록 3세부에서 시설물 평가 및 유지관리를 위한 진단 지침 및 필요한 정보를 명확히 제시하도록 함

■ 3세부/1세부 연계

- 1세부의 무인검사장비 검사위치 추정을 위한 대상구조물 맵핑 정보를 이용하여 3세부에서 구조물 유지관리를 위한 BIM 구축에 활용할 수 있도록 함. 또한 3세부에서 구축된 BIM 정보를 1세부의 무인검사장비의 위치추정에 활용할 수 있도록 함.
- 1세부의 무인검사장비가 제공한 손상 위치 정보를 바탕으로, 3세부에서 손상정보 가

시화 및 이를 통한 구조물 유지관리가 가능할 수 있도록 함

■ 과제별 상세 연계

과제	연계과제(세부)	연계내용
1.1.1	2세부	▪ 2 세부에서 개발하는 구조물 진단을 위한 센싱 연구가 원활히 진행되도록 가반하중 탑재 및 인터페이스 업무연계 및 협조 필요
	1.1.2	▪ 1.1.2 세부에서 개발하는 자율운행 플랫폼과의 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
	1.3.1	▪ 1.3.1 세부에서 개발하는 이동관제센터와의 통신 및 데이터 송수신이 원활할 수 있도록 함
	1.3.2	▪ 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
1.1.2	1.1.1	▪ 1.1.1 세부에서 개발하는 구조물 외부 검사용 무인검사장비와 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
	2세부	▪ 2 세부에서 활용하는 영상/비전장비의 활용 방안 논의 필요
	3.1.2	▪ 거리센서, 비전센서 데이터를 이용하여 생성된 3차원 맵 정보를 3.1.2 세부에 제공하여 계측 데이터의 가시화가 가능하도록 함. 또는 3.1.2 세부에서 구축된 구조물 정보를 이용하여 자율운행에 활용
1.2.1	1.2.2	▪ 1.2.2 세부에서 개발하는 자율운행 플랫폼과의 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
	1.3.1	▪ 1.3.1 세부에서 개발하는 이동관제센터와의 통신 및 데이터 송수신이 원활할 수 있도록 함
	1.3.2	▪ 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
	2세부	▪ 2 세부에서 개발하는 구조물 진단을 위한 센싱 장비 탑재가 가능하도록 무인검사장비 시스템이 구성될 수 있도록 함
1.2.2	1.2.1	▪ 1.2.1 세부에서 개발하는 구조물 내부 검사용 무인검사장비와 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
	3.1.2	▪ 구조물 내부 위치추정을 위한 BIM 정보 활용에 있어 3.1.2 세부와 긴밀한 협조가 필요함. 또한 자율운행 시 공간인지 정보를 BIM 구축에 제공하는 방안 고려 필요
1.3.1	1.1.1, 1.2.1	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 구조물 내/외부 검사를 위한 무인검사장비와의 전력 및 데이터 송수신이 원활할 수 있도록 함
	2세부, 3.1.1	▪ 2 세부에서 계측된 데이터들을 3.1.1세부에서 개발하는 클라우드 컴퓨팅 시스템으로의 대용량 데이터의 전송이 원활할 수 있도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
1.3.2	1.1.1, 1.2.1	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 무선 전력/데이터 송수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
	1.3.1	▪ 1.3.1 세부에서 개발되는 이동관제센터에 무선 전력/데이터 송

		수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
	2.3.1, 2.3.2	▪ 2.3.1, 2.3.2 세부에서 개발되는 내장형/부착형 센서에 무선전력 및 데이터 송수신 모듈이 적용 가능하도록 연계가 필요
2.1.1	1.1.1, 1.2.1	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부와의 지속적인 연계를 통한 통합 영상 시스템의 무인체 탑재 방안 마련
	2.1.2	▪ 2.1.2 세부와의 지속적인 연계를 통해 강구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련
	3세부	▪ 3세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
2.1.2	1.1.1, 1.2.1	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 개발 진단 장비의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계 필요
	2.1.1	▪ 2.1.1 세부와의 지속적인 연계를 통해 강구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련
	3세부	▪ 3세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
2.2.1	1.1.1, 1.2.1	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 개발 진단 장비의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
	2.2.2	▪ 2.2.2 세부와의 지속적인 연계를 통해 콘크리트 구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련
	3세부	▪ 3세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
2.2.2	1.1.1, 1.2.1	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 개발 진단 장비의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
	2.2.1	▪ 2.2.1 세부와의 지속적인 연계를 통해 콘크리트 구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련
	3세부	▪ 3세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
2.3.1	1.3.2	▪ 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈이 적용 가능하도록 함
	3세부	▪ 3세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
2.3.2	1.3.2	▪ 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈이 적용 가능하도록 함
	3세부	▪ 3세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
3.1.1	1.3.1	▪ 1.3.1 세부에서 개발하는 이동관제센터로부터 클라우드 컴퓨팅 시스템으로의 대용량 데이터의 전송, 저장, 처리가 원활히 수행될 수 있도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
	2세부	▪ 2 세부에서 계측되는 다양한 신호, 영상을 처리하고 분석할 수 있도록 연계 필요
	3.1.2	▪ 3.1.2 세부에서 개발하는 진단정보 가시화 시스템과의 연동을 위한 협의 및 연계가 필요
	3.2.1, 3.2.2	▪ 3.2.1과 3.2.2 세부에서 개발하는 성능평가 기술을 위한 데이터

		및 정보의 제공을 위한 협의 필요
3.1.2	1.1.2, 1.2.2	▪ 1.1.2과 1.2.2 세부에서의 대상구조물 맵핑 정보를 이용하여 구조물 유지관리를 위한 BIM 구축에 활용할 수 있도록 함
	1.2.2	▪ 1.2.2 세부의 내부 위치추정을 위한 BIM 정보 제공과 관련한 협의 및 연계 필요
	3.1.1	▪ 3.1.1 세부에서 개발하는 대용량 데이터 수집, 저장 및 처리 시스템과의 연동을 위한 협의 및 연계가 필요
3.2.1	2세부	▪ 효율적인 구조물 건전도 평가가 가능하도록, 2세부에 시설물 평가를 위한 진단 지침 및 측정 데이터에 대한 정보를 명확히 제시하여야 함
	3.1.1	▪ 3.1.1 세부의 연구에서 개발하는 대용량 데이터 수집, 저장 및 처리 시스템과의 연동을 위한 협의 및 연계가 필요
	3.2.2	▪ 3.2.2 세부의 BMS DB 연계형 체계를 활용할 수 있도록 연계
	3.1.1, 3.3.2	▪ 3.3.1, 3.3.2 세부의 연구결과물과 상호간에 호환 및 연계가 될 수 있어야 함
3.2.2	2세부	▪ 효율적인 구조물 성능등급 산정을 위해서 2 세부에 성능등급 산정을 위한 진단 지침 및 측정 데이터에 대한 정보를 명확히 제시하여야 함
	3.2.1	▪ 3.2.1 세부에서 개발되는 성능저하모델의 DB화 결과를 활용한 등급화 방안 마련
	3.3.1, 3.3.2	▪ 3.3.1, 3.3.2 세부의 시스템 운영 체계에 본 세부과제 성과품 관련 내용 반영 가능 여부 검토
3.3.1	1세부	▪ 1 세부에서 해당 시나리오를 기반으로 무인검사장비를 운용할 수 있도록 무인검사장비 운용 지침을 명확히 제시하여야 함
	2세부	▪ 2 세부에서 해당 시나리오를 기반으로 효율적인 구조물 진단이 가능하도록 시설물 평가를 위한 진단 지침 및 필요한 정보를 명확히 제시하여야 함
3.3.2	2세부	▪ 데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 수립과 관련하여 2세부에서 계측되는 데이터들의 분류 및 양식에 대한 협의 필요
	3.1.1	▪ 3.1.1 세부에서 구성된 운영체계로부터 계측 데이터 및 영상데이터 등 데이터의 유효성 기준을 수립 적용하여 유효데이터를 추출함
	3.2.1	▪ 3.2.1 세부에 필요한 유효 데이터를 제공을 위한 협의 필요
	3.2.2	▪ 3.2.2 세부와 BMS 및 FMS와의 연계와 관련하여 협조 필요
	3.3.1	▪ 3.3.1 세부와 관련하여 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오 구성 및 유효 데이터 획득 최적화 등에 상호 협조 필요

4.3 선행 연구과제와의 중복성 검토

유사 과제명	▪ 교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발 (BIRDI)
수행기관/지원기관	▪ 한양대학교/한국건설교통기술평가원
과제기간	▪ 2005-12-01 ~ 2008-12-01
과제금액	▪ 1925.00 백만원
내용 및 주요 기술	▪ **연구내용**: 교량의 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇시스템 개발 - 교량 유지관리 자동화를 위하여 머신 비전 시스템 등 첨단 센서 및 말단장치를 개발하고 첨단 이송기구 및 탐사로봇을 개발하며 이들을 융합하여 작업자의 안전성, 교량검사공정의 효율성, 데이터의 신뢰성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 교량의 통합 유지관리 자동화 시스템을 개발함 ▪ **주요 기술** - 통합 계측 시스템 구축 - 웹기반 신시간 통합 모니터링 프로그램 개발 - 자료관리 표준화 및 기존 BMS와의 연결 기술 개발 - DB구축 - 정보관리 및 지원 시스템 구축 - 레이더와 열화상카메라를 이용한 콘크리트 비파괴 시스템 개발 - 초음파 및 레이더 활용 내부결함 탐사 기술 개발 - 첨단 자동탐사 굴절로봇차 개발 및 실용화 - 보수용 정밀 메카니즘 및 제어기술 개발 - 비행체 및 제어시스템 개발(탐사 비행 시스템 플랫폼 및 제어기 개발) - 보행형 벽면검사 로봇 플랫폼 및 제어시스템 개발
유사 중점 분야	▪ 1세부, 2세부, 3세부
차별성	▪ 본 연구과제에서는 무인검사장비를 활용하여 대형 사회기반시설물의 안전성 진단 및 원격 유지관리 시스템 개발을 목표로 함 ▪ 구조물의 상태 및 안전성 평가를 위한 비접촉 센싱 장비를 탑재한 무인검사장비가 인력의 직접적인 접근이 어려운 위치를 포함한 구조물 내/외부에서 실시간으로 데이터를 계측/수집함 ▪ 무인검사장비를 통해 계측/수집된 데이터는 클라우드 컴퓨팅 플랫폼을 활용하여 수정, 저장, 처리되며 BIM 기술을 기반으로 가시화. 이들 데이터의 분석을 통한 구조물의 성능/상태 예측평가 및 유지/보수 우선순위 도출 등의 구조물 유지관리를 수행함

유사 과제명	▪ 자동항법 무인항공기술과 영상처리기술 기반의 이동식 시설물 안전 점검장비 및 분석 소프트웨어 개발
수행기관/지원기관	▪ ㈜아와소프트/중소기업기술정보진흥원
과제기간	▪ 2015-07-21 ~ 2015-11-20
과제금액	▪ 30.00 백만원
내용 및 주요 기술	▪ **연구내용** - 근거리 위치인식 알고리즘에 대한 기술 확보 및 노드와 드론간 거리 및 좌표계산 알고리즘 기술 검토를 통해 안정된 자동 항법을 위한 기초를 마련 - 시설물 GPS 좌표를 이용한 사용자 지정 경로 자동 비행 기술 확보 - GPS위치측위기술과 실내위치측위기술, 거리센서를 적용한 자동항법 및 시설물 이동식 점검장비의 조명장치와 시설물 촬영 영상 처리기술, 시설물 외관조사망도 프로그램 등 핵심기술 확보를 위한 연구개발 진행 - 확보된 자동비행기술과 무인항공기의 동체를 기반으로 무인항공 촬영장비를 개발하고 시설물 외관조사망동 프로그램을 중심으로 영상분석 프로그램과 유지보수비용산출 프로그램을 연동 개발하여 시설물촬영장비(무인항공, 이동식점검장비)와 연동 테스트를 통한 시설물안전점검 시스템을 완성 ▪ **주요기술** - GPS 미수신지역 위치취득기술 개발 - 자동항법을 적용한 무인항공 촬영장비 개발 - 이동식 점검장비 개발 - 영상처리 프로그램 개발 - 시설물 외관조사망도 프로그램 개발 - 자동항법을 적용한 무인항공 촬영장비 개발 - 이동식 점검장비 개발 - 시설물 외관조사망도 프로그램 개발 - 유지보수비용산출 프로그램 개발
유사 중점 분야	▪ 1세부
차별성	▪ 본 연구과제에서는 무인체를 활용하여 구조물 외부뿐만 아니라 내부 조사를 수행함 ▪ 구조물 외부 및 내부 조사를 위하여 거리센서, 비전 센서 등 다양한 데이터를 활용하여 무인체 자율 주행을 위한 기술 개발을 수행함 ▪ 무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터 저장이 가능한 이동관제센터를 개발하여 효율적인 무인체 운영을 수행함

유사 과제명	▪ 교량 외관조사 자동화 시스템 실용화 연구
수행기관/지원기관	▪ ㈜이제이텍/한국건설교통기술평가원
과제기간	▪ 2001-08-01 ~ 2003-08-01
과제금액	▪ 141.00 백만원
내용 및 주요 기술	▪ **연구내용** - 교량 외관조사 자동화 시스템 실용화를 목적으로 하며, 머신 비전 시스템, 자료관리 프로그램, Linear Motion Control System, 이송기구부 및 PLC 제어반으로 구성 - 교량 하부 외관조사를 위하여 상기의 각 구성요소를 인터페이스화하고, 현장 Pilot 테스트를 수행하여 현장 적용성을 평가 및 실용화함으로써 작업자의 안전성 확보, 균열 및 결함자료의 객관적 산정, 자료관리의 효율성 증진을 목표로 함 - 요소 기술을 개발 및 시제품을 제작하고, 각각의 요소를 통합하고, 현장 Pilot 테스트를 수행함으로써 교량 외관조사 자동화 시스템을 실용화하고자 함 ▪ **주요기술** - 머신 비전시스템 개발 - 머신 비전시스템 현장 적용을 위한 이송기구부 개발 - 전체 이송기구부의 PLC 제어 시스템 - Linear Motion Control System - 외관조사 자동화 시스템을 통합 구축
유사 중점 분야	▪ 1세부, 2세부
차별성	▪ 본 연구과제에서는 무인체를 활용하여 교량의 외관뿐만 아니라 교량의 내부 검사를 수행함 ▪ 무인체를 활용하여 계측된 영상정보와 교량에 매립 및 내장형 센서와 연동을 통하여 검사 시스템의 성능 개선을 수행함 ▪ 강재 및 콘크리트 균열, 볼트풀림, 콘크리트 백태, 교량 세굴 및 국부 손상 감지 등 교량 안전 관리를 위하여 다양한 종류의 계측 및 평가를 수행함 ▪ 각각의 진단 계측 결과의 정량화를 통하여 객관성 있는 진단 결과 확보 가능

유사 과제명	▪ 모바일 클라우드기반 구조물 유지관리계측 통합모니터링시스템 개발
수행기관/지원기관	▪ 목원대학교산학협력단/한국산학연협회
과제기간	▪ 2014-06-01 ~ 2015-05-31
과제금액	▪ 119.00 백만원
내용 및 주요 기술	▪ 연구내용 - 모바일 클라우드 기반으로 Multi-tenant 환경(SaaS 성숙도 레벨3이상)을 지원하는 구조물 거동계측 통합모니터링시스템 개발 - 고효율로 제공하는 이종 데이터 처리 및 데이터베이스 구축을 위한 플랫폼 개발 - 현재, 구조물 거동계측 통합모니터링시스템의 소프트웨어 사용 방식은 클라이언트/서버 및 ASP 방식으로 서비스를 제공함으로써 SW 전반에 걸쳐 관리가 힘들고 고비용의 문제점이 발생하므로, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 모바일 클라우드 요소기술(인프라, 플랫폼, 어플리케이션)을 적용한 구조물 거동계측 통합모니터링시스템 어플리케이션 개발 ▪ 주요기술 - 온라인 SW 서비스를 저비용·고효율로 제공하는 이종 데이터 처리 및 데이터베이스 구축을 위한 플랫폼 개발 - 모바일 클라우드 요소기술(인프라, 플랫폼, 어플리케이션)을 적용한 구조물 거동계측 통합모니터링시스템 어플리케이션 개발 - 데이터 통계처리 응용프로그램 개발 - 계측데이터 성분추출 알고리즘
유사 중점 분야	▪ 3세부
차별성	▪ 매립 및 내장형 센서와 무인체로부터 계측된 데이터를 클라우드 컴퓨팅을 활용하여 수집, 저장 및 관리 할 수 있는 플랫폼을 개발 하고자함 ▪ 무인 검사장비를 다양한 형태의 구조물의 검사에 활용하기 위하여 IoT기술과 BIM 데이터를 활용한 맵핑 및 가시화 기술을 개발 하고자함 ▪ 계측 데이터와 BMS DB를 연동하여 구조물 성능 평가를 수행하고 이를 바탕으로 성능 등급을 산정함 ▪ 무인검사장비를 활용한 구조물 유지관리를 수행하기 위하여 유지관리 지침을 개발하고 계측 시스템의 계측 결과를 활용하기 위하여 표준 코드 체계를 정립함

■ 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술

- 무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술

1.1	유사 과제명	▪ 소형비행체를 이용한 구조물 안전성 검사 시스템 설계 (최성숙 외, 2013) ▪ A UAV for bridge inspection: Visual serving control law with orientation limits (Menti and Hamel, 2007) ▪ 무인항공기의 비행경로 생성 및 유도제어 알고리즘 연구 (백수호 외, 2008) ▪ Control, navigation and collision avoidance for an unmanned aerial vehicle (Chee and Zhong, 2013)
	내용 및 주요 기술	▪ 고층건물이나 구조적으로 접근하기 어려운 구조물을 검사 대상으로 함. 사람이 직접 파악하기 어려운 구조물 내외부 균열과 변형 및 통합 검사를 무인 소형비행체를 활용하여 수행함 ▪ 열화상 카메라를 사용하여 시설물 내/외부의 콘크리트 표면의 열에너지 감지를 통해 내부의 들뜸, 균열 조사 등 다양한 안전 점검 수행이 가능한 시스템 구성 ▪ 기존의 교량 안전성 평가 방식을 벗어나 UAV를 활용하여 안전 진단을 수행하기 위한 연구를 진행함. 교량 안전 진단을 위하여 UAV의 제어 방향 및 한계에 대한 연구를 수행 ▪ 무인항공기의 다양한 비행임무를 효과적으로 수행하기 위하여 비행경로 생성 및 유도에 관한 연구를 수행 ▪ UAV의 효과적인 자율운행을 위하여 GPS기반의 제어, 네비게이션, 충돌 방지에 관한 연구 수행
	중복성 검토 및 차별성	▪ 무인체를 활용하여 구조물의 외부 검사를 수행한 선행 연구를 본 연구 개발 과정에 활용 할 수 있음 ▪ 본 연구에서는 구조물 조사를 위한 무인체 설계뿐만 아니라 무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제 센터 개발을 목표로 함에 있어서 차별성이 있음 ▪ 구조물 검사에 있어서 매립 및 내장형 센서 뿐만 아니라 2D/3D카메라 및 각종 영상 정보를 활용하고자 함 ▪ 무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 및 계측 데이터 송수신을 통해 유기적인 구조물 안전성 검사가 가능한 점에서 차별성이 있음 ▪ 본 연구는 대형 구조물의 외부 검사 및 진단 목적의 무인체 자율운행 기술 개발에 관한 연구로 무인체를 활용하여 계측을 수행하며 구조물에 매립 및 내장된 센서와의 데이터 연계를 수행함에 있어서 선행 연구사례들에 비해 무인체 운영에 특수성이 있음 ▪ 거리센서, 비전센서를 이용한 3차원 맵 매칭, 장애물 인식 및 회피, 실시간 오류 감지 기술 등을 활용하여 구조물 내/외부에 대한 자율 주행이 가능하며 구조물 안전진단을 위한 무인체 운영에 특화되어 있는 기술 개발을 목적으로 하고 있음

- 무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술

1.2	유사 과제명	▪ 소형비행체를 이용한 구조물 안전성 검사 시스템 설계 (최성숙 외, 2013) ▪ Indoor Navigation for Unmanned Aerial Vehicles (Sobers et al., 2009) ▪ Autonomous Multi-Floor Indoor Navigation with a Computationally Constrained MAV (Shen et al., 2011) ▪ Seamless Indoor-Outdoor Navigation for Unmanned Multi-Sensor Aerial Platforms Position (Dill et al., 2014)
	내용 및 주요 기술	▪ 고층건물이나 구조적으로 접근하기 어려운 구조물을 검사 대상으로 함. 사람이 직접 파악하기 어려운 구조물 내외부 균열과 변형 및 통합 검사를 무인 소형비행체를 활용하여 수행함 ▪ 구조물 내부를 조사하기 위한 무인 검사장비의 맵핑 기술에 관한 연구를 수행함. ▪ GPS를 활용한 네비게이션 기술에 관한 연구 수행 ▪ 대상 구조물 내부의 무인 검사장비를 효과적으로 활용하기 위한 연구를 수행함 ▪ 레이저, 카메라, IMU, onboard computation을 활용한 연구를 수행함 ▪ 멀티콥터 운영에 필요한 맵핑기술 및 네비게이션 알고리즘 개발을 수행함
	중복성 검토 및 차별성	▪ 무인체를 활용하여 구조물의 내부 검사를 수행한 선행 연구를 본 연구 개발 과정에 활용 할 수 있음 ▪ 본 연구에서는 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라 장비 등 다양한 장비를 탑재하여 구조물 내부를 이동 및 스캔하면서 조사를 수행하기 위한 무인체 플랫폼 기반을 마련하고자 함 ▪ 다양한 센서를 활용하여 무인체 주행뿐만 아니라 매립 및 내장형 센서와 연동을 통하여 검사 시스템의 성능 개선을 수행하고자 함 ▪ 본 연구에서는 밀폐된 내부 환경에서 무인체의 자율주행을 위한 항법(위치추정, 경로생성, 충돌방지) 알고리즘 개발을 목표로 함 ▪ 밀폐된 내부 환경에서 자율운행이 가능하도록 BIM, 구조물 내장센서, 인공표식 등을 활용함 ▪ 밀폐된 내부 환경이라는 공간적인 특수성이 존재 하며, 하나의 특수한 구조물이 아니라 내장센서, BIM등 다양한 정보를 활용하여 다양한 구조물의 내부 환경에 대해서도 자율 비행이 가능한 기술을 개발하는 점에서 선행 연구들과 차별성이 있음

- 무인검사장비 운영 및 원격통제 기술

1.3	유사 과제명	▪ 유무인 통합운용을 위한 무인항공기 운영개념 발전방향 (정하교 외, 2014) ▪ Integrating critical interface elements for intuitive single-display aviation control of UAV (Cooper and Goodrich, 2009) ▪ 무인항공기 무선충전을 위한 안테나 최적 설계 (이윤성 외, 2014) ▪ 무인항공기 무선통신 체계 연구 (박준한 외, 2003) ▪ Experimental Analysis of a UAV-Based Wireless Power Transfer Localization System (Mittleider et al., 2015) ▪ Analysis, optimization, and implementation of a UAV-based wireless power transfer system (Mittleider, 2014)
	내용 및 주요 기술	▪ 협소한 우리나라 공역 상황에서 각종 무인기 도입 및 운영이 증대됨에 따라 항공기간 충돌 예방 및 통제를 위한 운영개념 및 발전방향에 대한 연구를 수행 ▪ UAV를 운영하는데 있어 필요한 제어, 센서, 카메라 등과 같은 다양한 요소를 통합하고 원격 제어를 위한 인터페이스 개발에 관한 연구 수행 ▪ 소형 무인항공기 베터리의 무선충전을 위해 필요한 안테나 최적설계에 관한 연구 수행 ▪ 무선통신을 통하여 무인항공기의 데이터 송수신에 관한 연구 수행 ▪ 무선전력전송을 이용하여 UAV 전원 공급에 관한 연구 수행
	중복성 검토 및 차별성	▪ 무인체 무선 충전 기술은 현재 기술개발 단계에 속해 있음 ▪ 무인체 무선 충전 기술에 관한 유사 선행 과제들을 개발 초기 단계에 활용 가능할 수 있음 ▪ 본 연구의 개발 목표는 교량 및 사회 기반 시설물 관리를 위해 사용되는 이동관제센터와 교량 외부 검사용 무인체(드론) 및 교량 내부 검사용 무인체(로봇) 간 무선 전력 및 데이터 전송 기술 개발임 ▪ 연구 개발 목표 및 적용 대상을 고려하여 급속 충전, 저전력 영상 데이터 송수신 개발 등 연구개발 목표에 있어서 차별성이 있음 ▪ 무인검사장비의 통합적인 운용, 원격제어 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터의 개발을 통해 무인검사장비의 구조물 진단 효율 향상이 가능하며 이동관제센터에서 무인검사장비의 무선 전력공급 및 데이터 송수신을 통하여 무인검사장비의 운용 제약이 없어짐 ▪ 무인검사장비의 운용 시간을 비약적으로 증가시킬 수 있기 때문에 구조물 진단에 소요되는 시간이 단축되며 이를 통해 구조물의 효율적인 진단이 가능함

■ 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

- 비접촉식 강구조물 상태 진단 기술

2.1	유사 과제명	▪ 선체 도장 균일 도포와 비접촉 도막 두께 측정 장치 및 그 방법 (대우조선해양) ▪ 보안감시용 적외선 열화상 카메라 시스템의 문턱값 능동 설정 장치 및 방법 (한국표준과학연구원) ▪ 강부재의 균열 모니터링에 관한 연구(이재선 외, 2011) ▪ USN 기술을 이용한 볼트-넛트 이음부의 풀림 검출 장치 개발 (유영준 외, 2010) ▪ Ultrasonic multi-layer paint thickness measurement (General Motors Corporation) ▪ Method of detecting defects in materials using infrared thermography (Agency Of Industrial Science & Technology) ▪ Loose Bolt Detection by High Frequency Vibration Measurement with Non-Contact Laser Excitation (Kajiwara et al., 2011)
	내용 및 주요 기술	▪ 스프레이 분사상태를 분석하여 도포된 도장 두께를 추정하는 기술. 직접적인 도장 두께를 측정 할 수 있는 기술이 아님 ▪ 특정 지점의 검사는 가능하나, 넓은 지점의 검사는 표본 검사 수준으로 측정이 불가능함 ▪ Passive 적외선 영상 추적/수동형 열화상 감지 기술로 활용 범위가 보안용으로만 한정 됨 ▪ 재료 표면 결함 및 내부 결함 검출용으로만 사용 가능 하며 손상 크기를 정량화 할 수는 없음 ▪ USN을 사용하여 구조물의 볼트연결부 볼트풀림을 검사하는 기술을 개발함 ▪ 전위차(EPDM)법을 활용하여 강부재의 균열로 인한 전위차를 통해 균열을 검출하는 기술을 개발 ▪ 3D scene reconstruction 기법을 활용하여 영상 기반의 구조물 균열 검출 기술에 관한 연구를 수행함
	중복성 검토 및 차별성	▪ 현재 적외선 열화상을 이용한 도장 두께 추정 기술은 개발 되지 않은 것으로 조사됨. 적외선 열화상 기술과 더불어 가시광선 및 자외선 기술을 접합한 기술 개발에 있어서 선행 연구들과 차별성이 있음 ▪ 비접촉 방식을 통한 가구조물 상태진단에 관한 연구가 수행되고 있지만 무인체와 연계된 기술은 전무함 ▪ 기존의 볼트풀림 정량화 기술은 레이저, PZT, 무선 센서 등 다양한 종류의 센서를 활용하여 수행되어 왔지만 영상 데이터 기반의 기술은 찾아 볼 수 없음 ▪ 본 연구는 영상 정보를 활용한 강구조물의 균열 검사방법으로 기존 방법의 경우 방사선투과법, 초음파 투과법 및 각종 센서 계측을 활용한 방법이 주를 이루고 있으며 현장에서는 육안검사에 의존하고 있음

- 비접촉식 콘크리트 구조물 상태 진단 기술

2.2	유사 과제명	▪ 디지털 영상처리 기술을 활용한 콘크리트 시설물 외관 스캐닝 조사 방법 (㈜케이엠티엘) ▪ UAV기반의 교량 외관 조사 기술 (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussees(프랑스)) ▪ UAV 기반의 CCD 카메라를 활용한 외관 조사 기술 (Drexel University (미국)) ▪ Localization and Quantification of Concrete Spalling Defects Using Terrestrial Laser Scanning (Kim et al., 2015) ▪ Tracking of Defects in Reinforced Concrete Bridges Using Digital Images (Moselhi. et al,. 2016)
	내용 및 주요 기술	▪ 레이저 방식, CCD 라인센서 카메라 방식, 고감도 3CCD 디지털 비디오카메라 방식을 활용하여 콘크리트 외관을 검사하는 기술을 개발 ▪ 영상획득기술과 영상처리기술을 통해 얻어진 구조물의 균열, 누수, 백태, 박락 등의 변상정보를 정량적으로 조사하여 데이터베이스를 구축하고, 2차원, 3차원으로 상태변화 이력을 입력, 조회할 수 있는 기술 ▪ UAV에 CCD를 적용해 콘크리트 균열 탐지를 하는 기술로 균열 폭 0.25mm까지 측정이 가능함 ▪ 유인 헬기에 CCD카메라를 이용하여 콘크리트 균열을 조사하는 기술 ▪ TLS(Terrestrial Laser Scanning)을 활용하여 콘크리트의 박락손상을 위치화 및 정량화 하는 연구를 수행함 ▪ 2D 이미지를 활용한 박락손상 정량화 모델에 관한 연구를 수행
	중복성 검토 및 차별성	▪ 본 연구에서는 CCD 카메라와 적외선 열화상 카메라의 통합 및 동기화를 통한 무인체 탑재용 하이브리드 영상 계측 시스템을 개발하고 이를 통해 콘크리트 표면 균열 감지 및 정량화 기술 개발을 목표로 함 ▪ 개발 시스템은 정밀한 무인체 원격 제어 기술과 접목하여 조도 및 음영, 불균질한 표면상태 등의 예측이 어려운 현장 환경 변인에 민감하지 않으며, 보다 정밀한 균열 정량화가 가능한 원천 신기술로 선행 연구와 차별성이 있음 ▪ 무인체를 이용하여 획득한 2D/3D 영상과 초분광영상을 함께 활용함으로써, 콘크리트 구조물의 외관에서 백태와 박락을 정의하고 이를 정량화하는 기술을 개발하고자 함 ▪ 콘크리트의 백태를 측정하는 영상 및 초분광영상 기반 기술은 국내외 모두에서 개발된 바 없음 ▪ 무인체를 활용한 초분광 영상기반 기술의 원천기술 개발 기대

• 기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술

2.3	유사 과제명	▪ 등표구조물 기초부의 세굴여부 판정방법 (한국해양연구원) ▪ 수중음파장비 (Sonar)를 이용한 첨단 수중점검 장비 (세종대학교) ▪ 초음파 기반 세굴심 측정 (미연방도로국(FHWA)) ▪ 경사계 및 가속도계 기반 세굴심 측정 (동일본여객철도(JR-EAST)) ▪ 진동기반 무선 장력 계측 시스템 (KAIST, UNIST) ▪ 초음파 기반 피로균열 진단 (KAIST, 한국원자력연구소) ▪ 진동기반 무선 장력 계측 시스템 (UIUC)
	내용 및 주요 기술	▪ 실험모드해석기법을 이용하여 고유진동수 및 모드형상을 분석하고 이를 이용하여 기초부의 세굴여부 판정 ▪ 수중음파장비를 이용한 첨단 수중점검 장비 개발, 집중 호우 이후 적용 가능하며 실시간 진단은 어려움 ▪ 초음파를 이용하여 세굴심을 측정하고 3D 이미지로 변환 ▪ 교각에 경사계 및 가속도계를 설치하고 측정데이터를 기반으로 세굴심 측정 ▪ 무선세서를 활용하여 케이블 장력 정량화에 관한 연구를 수행함 ▪ 초음파 기반의 피로균열 진단 기법 개을 수행함. 검사자의 주관에 의존하기 때문에 진단 신뢰도가 저하됨
	중복성 검토 및 차별성	▪ 초음파, 수중음파장비의 경우 집중 호우나 홍수 발생 시에는 급격한 유량 변화로 인하여 세굴 모니터링의 정확성이 떨어지며 실시간으로 교량 세굴을 모니터링을 수행하기가 어려움 ▪ 본 연구에서는 교대 및 교각의 설치된 내장형/부착형 센서와 무인체의 연계를 통해 무선데이터 송수신을 수행하고, 이를 기반으로 교량 세굴심을 효과적으로 모니터링 할 수 있는 기술을 개발하고자 함 ▪ 기존의 부착형 센서의 경우 실시간 세굴 모니터링을 위하여 데이터 전송 및 센서 전원 문제를 해결해야 함 ▪ 무인체 및 내장/부착형 센서와의 연계를 통하여 세굴심을 실시간으로 모니터링 할 수 있으며 무선 전력 공급을 통하여 센서 전원 공급 문제를 해결 할 수 있는 점에서 선행 연구와 차별성이 있음 ▪ 구조물에 설치된 매립형/부착형 무선센서에서 데이터 수집 및 처리를 수행함으로써, 강재의 피로균열 및 PT텐던 장력을 효과적으로 진단하고, 해당 무선센서와 무인체 기술을 상호연계 함으로써 시설물의 생애주기 동안 반영구적으로 운영가능한 점에서 기존기술과 차별성이 있음

■ 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

- 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술

3.1	유사 과제명	▪ 클라우드 인프라 기술 (KT, SKT, LG CNS(민간), KISTI(공공)) ▪ 클라우드 플랫폼 기술 (Google, Microsoft 등) ▪ BIM/GIS 상호운용 개방형 플랫폼 개발 (한국건설기술연구원) ▪ BIM과 GIS의 효율적인 상호운용을 위한 플랫폼 설계에 관한 연구 (한국건설기술연구원) ▪ Automating code checking for building designs (CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology)
	내용 및 주요 기술	▪ Software-defined Infrastructure 서비스 가능 ▪ 웹서비스에 특화된 개발 플랫폼 서비스 제공 ▪ BIM-GIS 상호 운용성 확보를 위해 BIM건설 데이터와 GIS 공간데이터의 연계활용 데이터 모델 개발을 목표로 함 ▪ BIM 과 GIS의 효율적인 상호운용을 시스템적으로 확보하기 위한 BIM과 GIS 상호운용 플랫폼을 설계 및 제시 ▪ 건축과 IT분야 연계용 웹 기반의 건설 행정처리 시스템을 개발. 잠재적 문제를 발견하는데 필요한 자동화 코드 검사 시스템
	중복성 검토 및 차별성	▪ 본 연구는 프라이빗 클라우드 컴퓨팅 기반 구조물 검사 데이터에 대한 수집, 저장, 처리를 수행할 수 있는 플랫폼 프로토타입 개발을 목표로 함 ▪ 구조물 검사 및 유지관리에 최적화 되어 있는 플랫폼 개발에 있어서 선행 연구들과 차별성이 있음 ▪ 본 연구는 표준에 기반하는 IoT 기술과 BIM 데이터 정합을 통한 위치 기반 센서 정보 표출 기술 개발을 목표로 함 ▪ IoT기술, 계측 데이터, 구조물 진단 데이터 등 대형 구조물 관리를 위하여 다양한 종류의 데이터와 IoT기술을 접목시켜 효율적인 구조물 안전진단 운영관리 시스템을 새롭게 개발 하고자 함

• 무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리기술

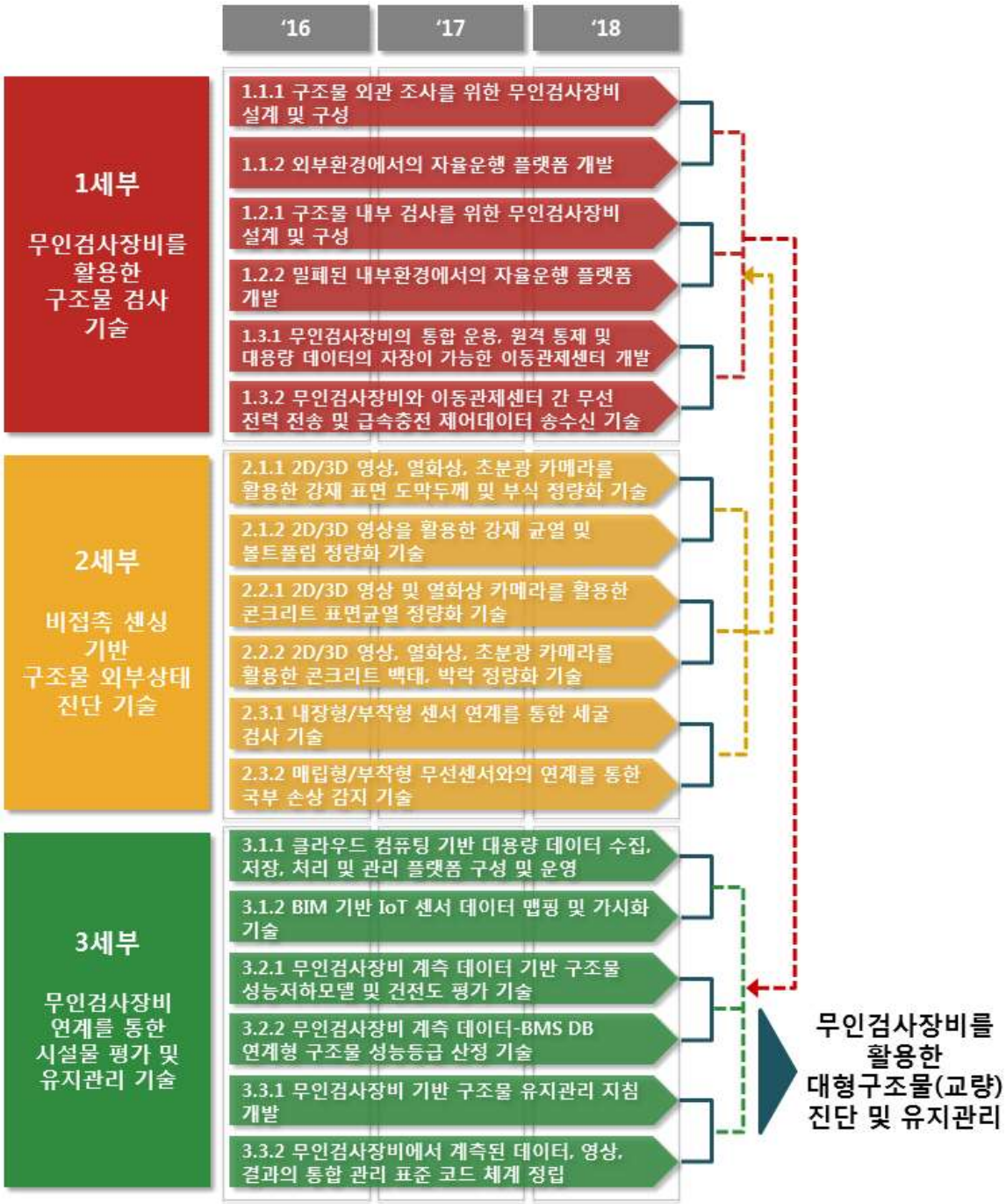
3.2	유사 과제명	▪ 통합형 테스트베드 사업 지원 및 IT기반 유지관리기술(한국도로공사 도로교통연구원) ▪ 비접촉 모니터링 기술과 IFC 표준 모델 기준에 따른 정보체계 구축을 통한 첨단 교량 유지관리 시스템 (성균관대학교) ▪ 교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발 (한양대학교) ▪ 사회기반시설(SOC)의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발 (한국건설기술연구원)
	내용 및 주요 기술	▪ BMS 기반 통합운영시스템 개발 (실교량 3D 모델 기반 전체 구조계 및 구조부재 단위 관리 시스템) ▪ 레이저기반 영상화 기법을 이용한 형상정보 처리 및 객체 지향 모델 구축 알고리즘 개발을 제안하고, BMS 연동 가능한 플랫폼 개발함 ▪ 교량의 균열 탐색용 무인탐사로봇(굴절로봇차) 개발 및 비파괴검사(초음파, 열화상, 영상 등) 기술 개발 ▪ 사회기반시설 회계처리지침에 정의된 8종(도로, 철도, 항만, 댐, 공항, 하천, 상수도, 국가어항) 사회기반시설의 성능중심 관리·운영을 위한 단위 시설물별 성능평가 프로세스 및 전체 시설물별 한국형 성능등급 산정 기술 개발
	중복성 검토 및 차별성	▪ 본 연구는 무인검사장비 계측 데이터 및 기구축 DB를 통합적으로 활용한 시설물 건전도 및 성능 등급화 알고리즘, 프로세스 개발을 목표로 함 ▪ 기존 연구에서는 각 핵심요소기술별로 구조물을 진단하는 연구를 수행 중이고, 부재의 형상을 탐지하거나 관리하는 수준이며, 내구성 및 서비스성능 등의 성능 등급을 산정하는 기준에 대한 연구는 현재 진행 중임 ▪ 기구축 DB 자체만을 이용한 건전도 및 성능 등급 산정이 아닌, 본 연구에서 개발하고자 하는 무인검사장비로부터 계측되는 데이터를 함께 활용함으로써 건전도 및 성능 평가 등급의 신뢰도를 보다 높이고자 하는 점이 차별성이 있음

- 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립

3.3	유사 과제명	▪ 무인항공기 안전관리제도 구축(교통안전공단) ▪ 무인항공기 안전운항기술 개발 및 통합시범운용 공동 기획연구(항공안전기술원)
	내용 및 주요 기술	▪ 무인항공기 안전관리제도에 관한 국내외 현황 조사 및 분석을 주 내용으로 함 ▪ 관련 법령의 정비 및 관련 기술기준의 제정 및 개정 (국내법 상 150kg를 기준으로 구별되는 무인항공기와 무인비행장치 모두 고려한 통합적 접근) ▪ 민간 무인기 인증 방안 연구 ▪ 운항절차 및 기술기준 수립 및 검증위한 민간 무인기 시험운용 수행 ▪ 무인기 시험운용을 위한 인프라 구축 세부 계획 수립 및 시행 ▪ 미래부, 해수부와 협력하여 진행하는 다부처 사업 협력체계에서 국토부 주도로 보안/통신체계 검증 및 무인기/무인선간 시범운용 수행
	중복성 검토 및 차별성	▪ 본 연구는 무인체의 정의를 무인항공기(또는 무인비행장치)에 국한하지 않고 내부검사용 주행로봇, 접촉/비접촉 센서와의 연계 등 광의의 무인검사장비로 정의하였으며, ICT/IoT 등 첨단 과학분야의 기술을 접목한 무인검사장비를 활용한 구조물 유지관리 체계를 정립하고, 도출된 결과의 실용화를 위해 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침을 개발하고자 한 것임 ▪ 기존 연구는 무인항공기의 운항 자체에 관한 운영 지침을 마련하고자 한 것으로 대형 구조물 안전점검 및 유지관리 시 무인체 운영 지침을 제시하고자 한 연구는 이루어지지 않았음 ▪ 군사/방재/농업/물품배송 등의 신산업 적용을 위한 무인항공기 운항 기준을 마련하고자 한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 무인검사장비를 활용한 사회기반시설의 안전점검을 위한 지침에 대한 연구 실적은 극히 저조함. 30년 이상 노후화된 사회기반시설물이 급격히 증가하고 있는 현 시점에서 시설물의 안전점검에 관한 무인검사장비 운영지침 마련과 관련된 연구는 매우 시급한 과제임 ▪ 다양한 무인검사장비 (드론, 무인로봇 등)를 기반으로 하는 대형 사회기반시설물의 유지관리를 위해서는 시설물의 유형과 점검환경에 맞는 무인검사장비의 활용계획에서부터 장착된 각종 센서로부터 수집된 데이터의 체계적인 관리와 이로부터의 정량적인 분석과 합리적인 의사결정 과정까지가 포함된 통합유지관리시스템의 개발과 이를 표준코드로 체계화 시키며, 패키지화할 필요가 있으나 현재 국내에 무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 수집 데이터의 통합 관리 시스템이 전무한 실정임

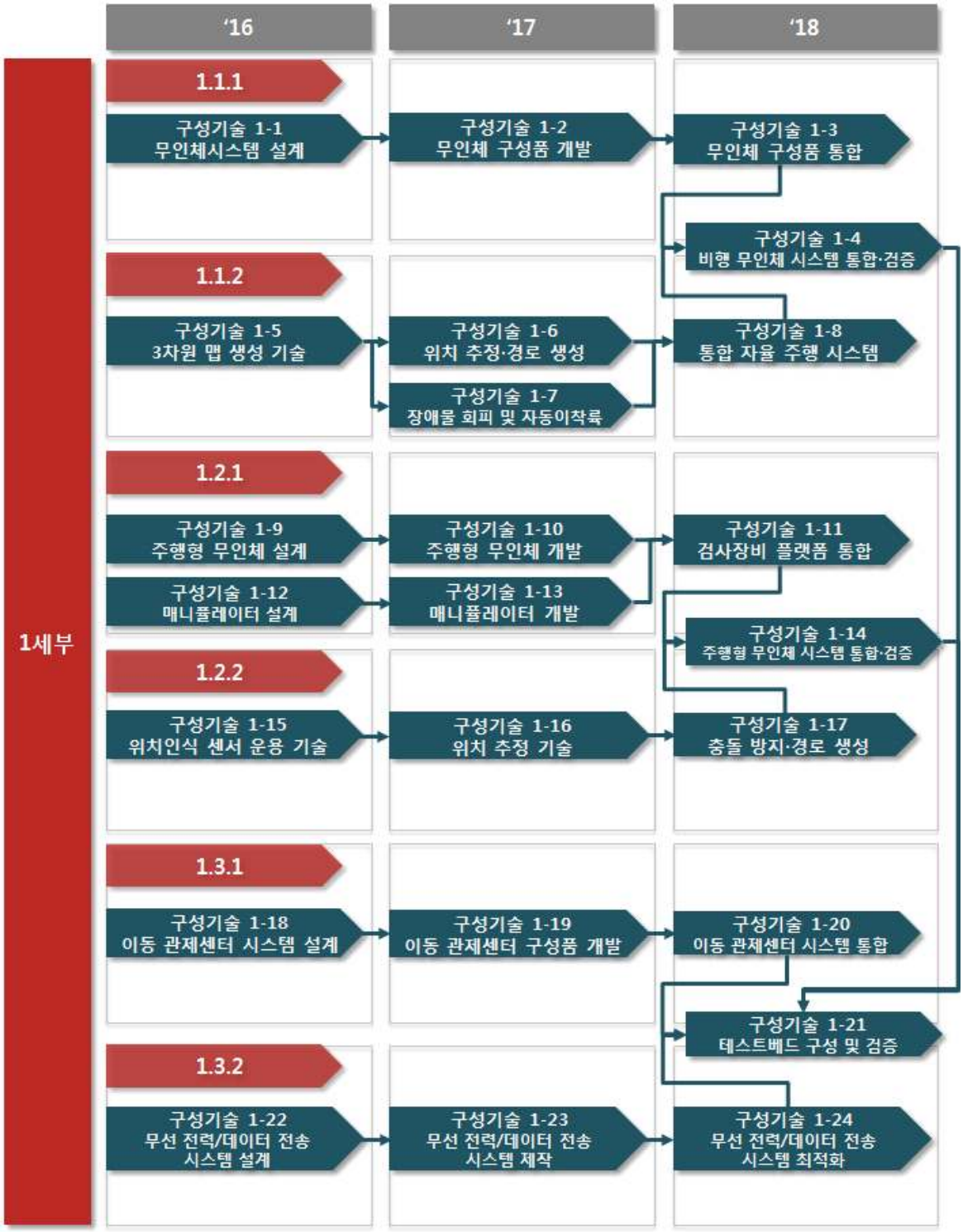
4.4 기술로드맵(TRM)

4.4.1 총괄 TRM



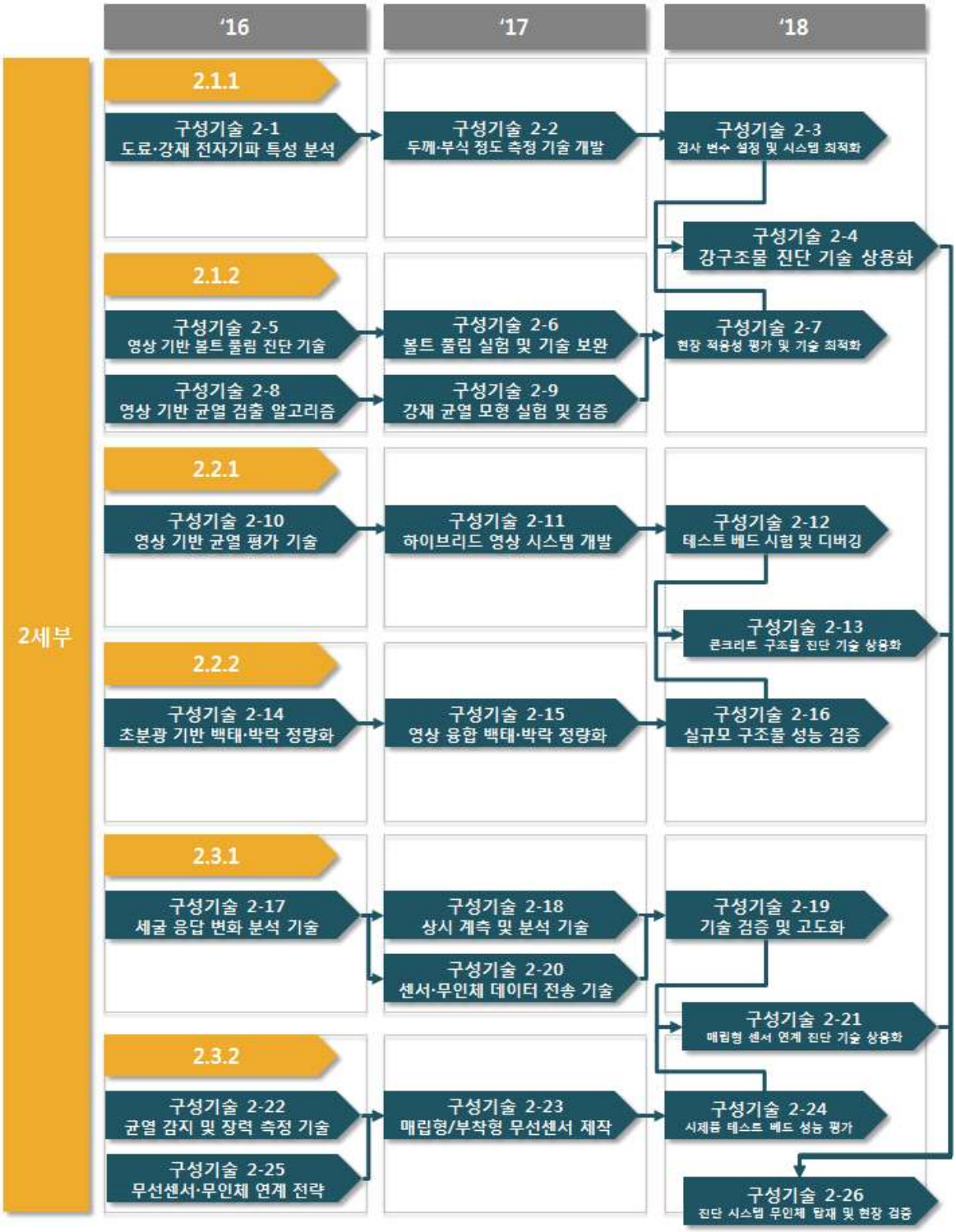
[그림 4.2] 총괄 TRM

4.4.2 1세부 상세 TRM



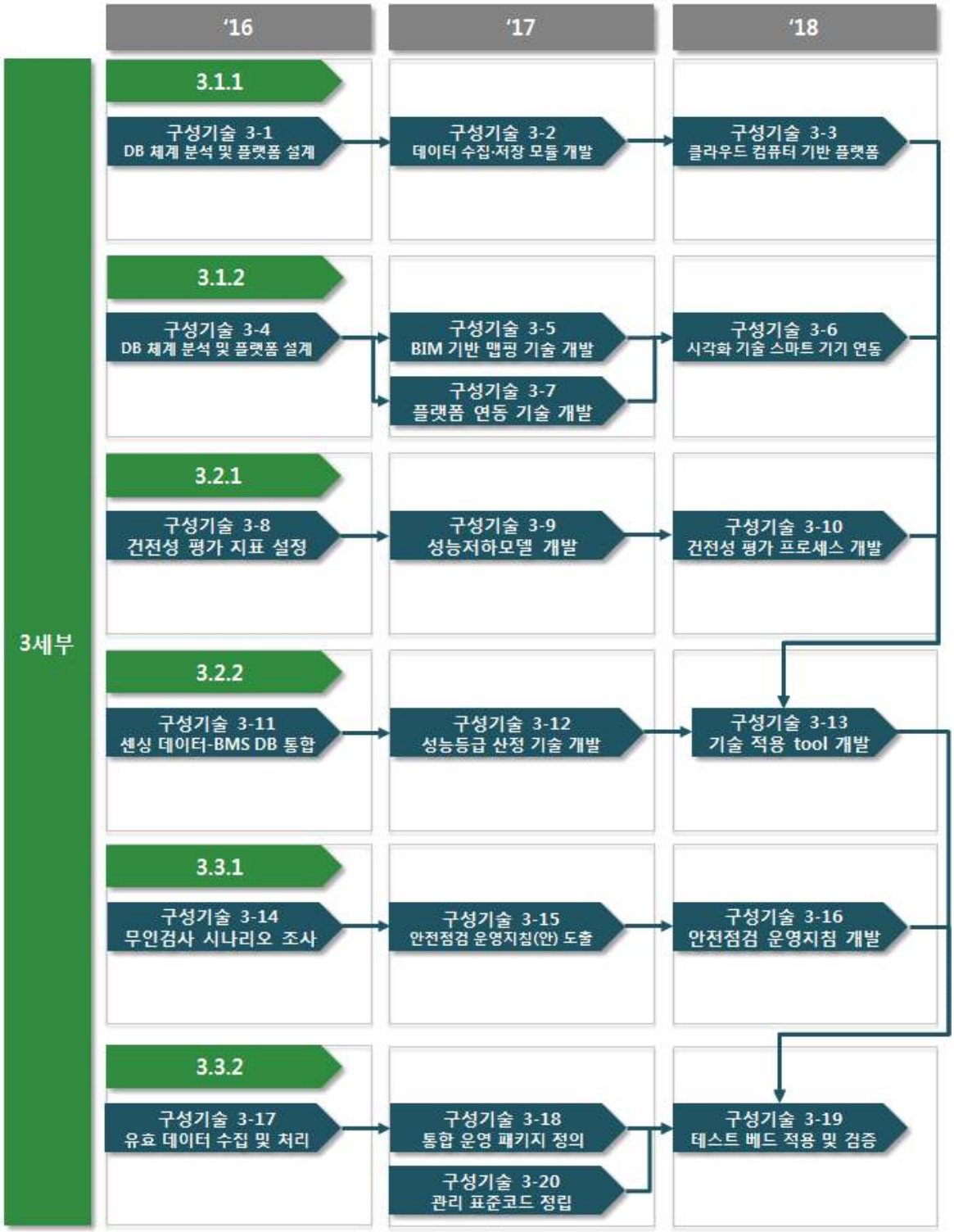
[그림 4.3] 1세부 상세 TRM

4.4.3 2세부 상세 TRM



[그림 4.4] 2세부 상세 TRM

4.4.4 3세부 상세 TRM



[그림 4.5] 3세부 상세 TRM

4.5 성과의 활용 및 실용화 방안

■ 1세부: 구조물 검사를 위한 무인체 기술

과제	목표성과물	기술수요처	활용 및 실용화 방안
1.1.1	구조물 외관 조사용 무인검사장비	구조물 유지관리 업체	▪ 다양한 구조물에 대한 검증 후 국내외 시장 진출
1.1.2	구조물 외부 자율 주행 시스템	구조물 유지관리 업체	▪ 상용화 가능한 형태로 고도화, 최적화
1.2.1	구조물 내부 조사용 무인검사장비	구조물 유지관리 업체	▪ 향후 인력을 대신하여 공동부 내부조사가 가능한 공동구 관리용 로봇으로 확대 적용 가능
1.2.2	구조물 내부 자율운행 시스템	구조물 유지관리 업체, 기타	▪ GPS음영 지역에 적용 가능하여 구조물 유지관리 뿐만 아니라 다양한 분야 적용 추진
1.3.1	이동식 관제센터	구조물 유지관리 업체	▪ 다양한 구조물에 대해 국내 검증 후 해외 시장 개척 및 수출
1.3.2	소형화된 무선 전력 및 데이터 송수신 시스템	무인체 개발 업체	▪ 시스템 모듈화를 통한 다양한 무인체에 적용 가능하도록 하여 상용화 추진

■ 2세부: 무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술

과제	목표성과물	기술수요처	활용 및 실용화 방안
2.1.1	무인검사장비 탑재 가능한 강재 도막두께 및 부식 진단 시스템	교량관리주체, 조선회사	▪ 다수의 테스트베드 적용을 통한 현장 적용성 검증 후 수요기업에 기술이전 진행
2.1.2	영상기반 볼트풀림 및 균열진단 시스템	구조물 유지관리 업체	▪ 개발 기술의 현장 시연을 통한 홍보 ▪ 국내외 지적재산권 확보 및 기술이전
2.2.1	영상기반의 콘크리트 균열 평가 시스템	구조물 유지관리 업체	▪ 시작품 제작 및 파일럿 테스트를 통한 홍보 ▪ 국내외 지적 재산권 확보 ▪ 원전, 화학 플랜트 등의 추가 구조물 적용 추진
2.2.2	콘크리트 백태 및 박락 손상 정량화 기술	구조물 유지관리 업체, 기타	▪ 미디어를 통한 개발 기술의 적극 홍보 ▪ 해외 수요처 모색 및 기술수출 추진 ▪ 개발 기술을 바탕으로 타 분야로의 적용 확대
2.3.1	세굴심 측정 기술	교량관리주체	▪ 시작품제작 및 파일럿 테스트를 통한 홍보
2.3.2	매립형/부착형 센서 연계 국부 손상 감지	구조물 유지관리 업체	▪ 시작품 제작 및 파일럿 테스트를 통한 홍보 ▪ 국내외 지적 재산권 확보 ▪ 수요기업으로의 기술이전 추진

■ 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

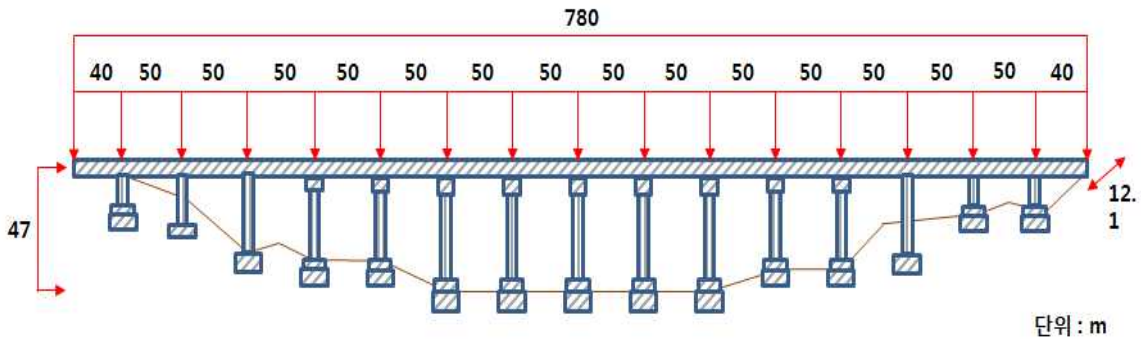
과제	목표성과물	기술수요처	활용 및 실용화 방안
3.1.1	클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 저장, 관리 플랫폼	공공, 민간 영역의 클라우딩 기술 요구처	▪ 구조물 유지관리 분야뿐만 아니라, 고에너지물리, 천문우주 등의 분야에서 대용량 데이터 분석 환경으로 활용
3.1.2	BIM 기반 센서 데이터 맵핑을 위한 미들웨어, 개방형 표출 기술 API	시설안전공단 및 관련기관	▪ 타 기술과 연동하여 실용화 ▪ 실제 구조물 유지관리주체와 업체에 개발 기술을 제공하여 진단 실무에 활용케 함.
3.2.1	무인검사장비 계측데이터 기반 구조물 성능저하모델 및 건전도 평가 기술	시설안전공단, 한국도로공사, 구조물 관리주체	▪ 관련 실무자들의 의견 적극 반영 ▪ 기존 구조물 유지관리 매뉴얼과 호환이 되도록 하여 현장 적용성 향상
3.2.2	무인검사장비 계측데이터-BMS DB연계를 통한 구조물 성능등급 산정 기술	한국도로공사, 시설안전공단, 한국철도공사, 구조물 관리주체	▪ 현장 여건을 고려하여 실무자의 니즈 조기 파악 ▪ 구조물 관리주체와 유지관리 기관에 대한 홍보 ▪ 실무자를 통한 적용성검증 및 만족도 설문
3.3.1	무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침	안전진단전문기관, 구조물 유지관리 업체, 구조물 관리주체	▪ 정부의 무인체 시범사업과 연계하여 제도화 검토 ▪ 실제 구조물 유지관리 주체와 업체에 개발 기술을 제공하여 진단 실무에 활용케 함.
3.3.2	무인검사장비 기반 통합관리 시스템 및 표준코드	구조물 관리주체	▪ 실제 구조물 관리주체에 개발 기술을 제공하여 진단 실무에 활용

4.6 테스트베드 구축

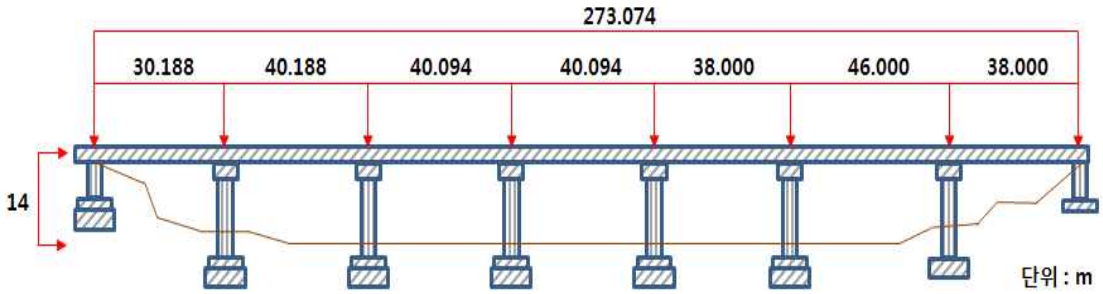
- 개발 기술의 구체화, 검증 및 보완을 위해 테스트베드의 조기 구축이 필요하며, 이를 위해 본 기획과제 전문가로 참여한 한국도로공사와 한국시설안전공단에 후보 테스트베드 교량들을 추천받음. 본과제 진행 시, 해당 기관들을 참여기관으로 참여 추천받은 교량들로 테스트베드 구축 예정

■ Box 거더 교량 (일반교량)

- 국내 전체 교량의 22%에 불과하나, 교량 연장이 길어질수록 그 비율이 높음 (500m 이상의 경우, 약 82% 차지)
- 고교가 높은 교량의 경우, 기존 육안검사로 교량 외부 검사가 힘듦
- 구조물 진단 시, Box 내,외부의 체계적 점검, 관리가 필요하여 타 교량에 비해 점검이 어려움
- 긴 연장의 Box형 교량의 현 상황을 고려하였을 때, 무인검사장비를 활용한 구조물 진단이 필요하며, 선행되지 않았던 무인검사장비를 활용한 구조물 내/외부 통합 진단 시스템을 적용함으로써 연구가치가 높음
- 후보 테스트베드 교량으로 한국도로공사로부터 지정교(길이: 780m, 최대 지고: 47m)와 금당교(길이: 273m, 최대 지고: 14m)를 추천받음



지정교 (PC Box 거더 교량, 영동고속도로)



금당교 (Steel Box 거더 교량, 중부내륙고속도로)

[그림 4.6] Box 거더 교량 후보 테스트베드

■ 장대 케이블 교량 (특수교량)

- 일반 거더교와 같은 교량 형식에 비해 장대 케이블 교량은 안전점검 시 인력이 접근하기 곤란한 점검부위가 많아 실제 현장 점검 시 많은 애로 사항이 발생하고 있으며, 점검비용 또한 기타 형식의 교량에 비해 고가임

- 장대 케이블 교량은 주로 해상이나 대형 하천 등 풍속이 높은 지역에 건설되므로 시설물 점검 시 바람에 의한 위험 요소가 많음. 따라서 바람에 의한 위험요소를 배제할 수 있는 무인검사장비 개발을 해상의 장대 케이블 교량 유지관리에 큰 효율성을 제공할 수 있을 것으로 판단됨

- 특히, 주탑 외부, 현수교의 행어 케이블 및 사장교의 사장재 케이블 등은 인력점검이 매우 어려움

- 해상의 장대 케이블 교량의 현 상황을 고려하였을 때, 무인검사장비를 활용한 구조물 건전성 진단이 필요하며 선행되지 않았던 무인검사장비를 활용한 구조물 내/외부 통합 진단 시스템을 적용함으로써 연구가치가 높음

- 후보 테스트베드 교량으로 한국시설안전공단으로부터 남해대교(주경간: 404m, 주탑높이: 80m)와 거북선대교(주경간: 230m, 주탑높이: 90m)를 추천받음

남해대교 (현수교, 국도 19호선)

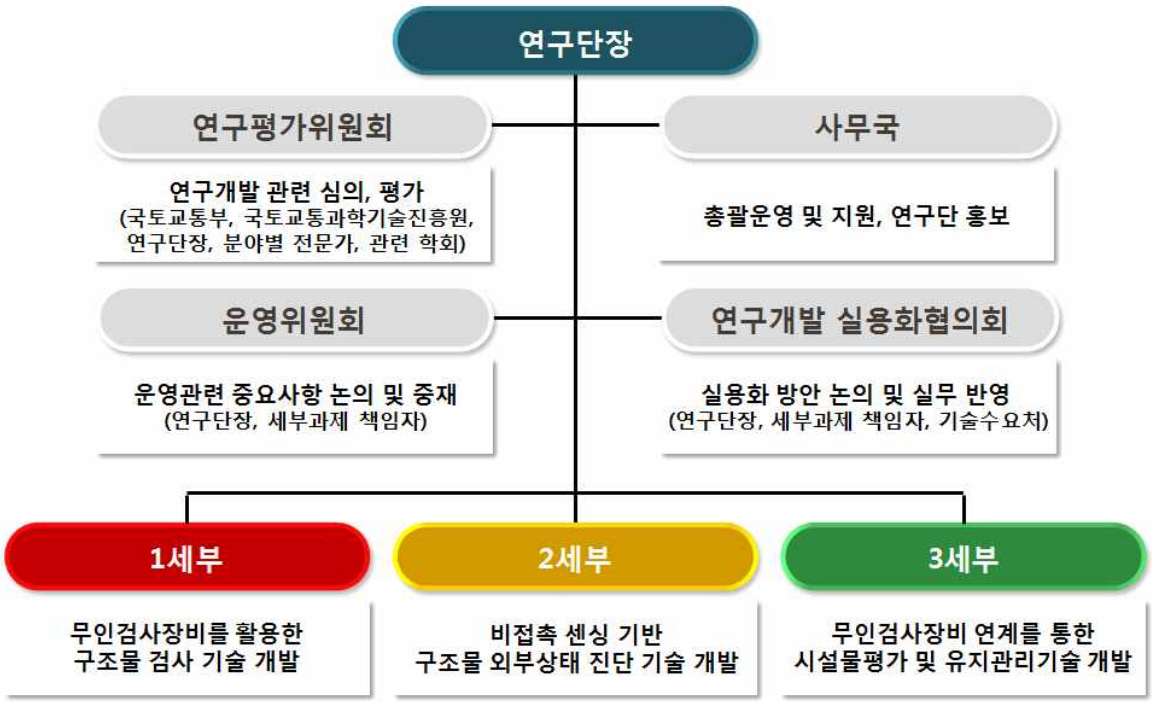
거북선대교 (사장교, 국도 17호선)

[그림 4.7] 장대 케이블 교량 후보 테스트베드

4.7 본과제 연구수행계 제안

4.7.1 연구단 추진조직 제안

- 무인체, 센싱, BIM/클라우딩의 다양한 분야의 융복합 연구를 총괄해야 하므로 각 과제별로 연계되어 상호 보완적으로 연구개발이 이루어지도록 구성
- 연구단의 총괄운영 및 지원, 홍보를 위한 사무국을 구성하고 연구단 운영관련 중요사항 심의를 위한 운영위원회 구성
- 과제의 객관적인 평가를 위해 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원, 연구단장 및 분야별 전문가, 관련 학회들로 구성된 연구평가위원회 구성
- 연구개발 실용화협의회를 구성하여 연구개발 성과의 실용화, 기술이전을 적극 유도하고 기술수요처의 요구사항 및 개선항목을 파악, 이를 실무에 반영하여 실용화 방안을 적극적으로 유도함



[그림 4.8] 무인검사장비 기반 대형구조물(교량) 유지관리 연구단 조직 체계

4.7.2 연구단 추진전략 제안

■ 과제간 연계성 고려

- 융복합연구의 진행 중 과제들 사이의 연계과정에서 발생할 수 있는 문제들에 대해서는 운영위원회 개최를 통해 이를 논의, 중재하여 연구진행 방향을 제시할 수 있도록 함
- 과제간 긴밀한 기술교류 및 연구진행 상황 공유를 통해 참여 연구진 및 과제간 연계성 강화

■ 테스트베드의 조기 구축

- 개발 기술의 구체화, 검증 및 보완을 위해 테스트베드의 조기 구축
- 주요 사회기반 시설물의 유지관리를 담당하는 한국시설안전공단, 한국도로공사, 지방자치단체를 연구기관으로 참여시켜 테스트베드 조기 구축이 용이하도록 함
- 연구개발 실용화협의회와 연구평가위원회를 소집하여 구축된 테스트베드에서 개발 기술의 시연 및 평가 수행

■ 실용화 방안 고려

- 연구개발 실용화협의회를 구성하여 효과적인 연구개발성과의 실용화, 기술이전 방안을 논의하고, 기술수요처의 요구사항 및 개선항목을 파악하여 이를 과제진행에 적극 반영함
- 기술수요처와 해당 기술개발기관의 매칭을 통해 향후 기술이전 및 상용화가 용이하도록 함
- 주요 성과지표에 특허출원, 기술이전을 포함시켜 특허출원 및 기술이전의 촉진
- 과제 중에 개발된 기술의 국내외 특허출원과 관련된 비용을 연구단에서 지원할 수 있도록 함

4.7.3 연구단 운영전략 제안

■ 참여 연구진간 유기적인 협력체계 구축

- 과제간 정기적 기술 교류 및 연구진행상황 공유를 통한 과제간의 긴밀한 연계성 확보 (세부별 정기회의, 연구단 정기 워크숍 개최)

■ 목표달성 수준에 대한 평가를 통한 과제 관리 체계 구축

- 세부과제 구성 및 진도 점검 등의 권한과 연구자간 네트워크 구축을 위하여 연구단장의 권한을 강화하고, 연구단의 정기 및 특별 회계감사를 통해 예산 집행 및 배분의 적정성 등에 대한 검증 절차 확립

■ 성과위주의 연구추진 체계

- 통합적인 성과관리를 위해 인력, 예산 등 자원 투입부터 성과물 도출과정, 산출물, 최종성과까지 이르는 연구단의 전반적인 활동에 걸친 성과지표를 설정
- 연구평가위원회를 통해 최종목표 달성에 필수적인 핵심요인과 성과지표에 대해서 성공여부를 측정 및 평가
- 연구단 운영에 있어 관성에 의한 연구진행을 방지하기 위해 2차년도 종료 후 중간평가를 통해 실적이 미비할 경우, 제재 및 보충을 실시
- 연차별 성과목표 설정을 통해 계획 대비 목표달성 정도를 파악하는 자료로 활용함
- 연차평가는 매년 1회 실시하는 것을 원칙으로 한, 특수한 상황의 경우 1년에 2회 평가도 가능하도록 함용하고 미흡한 부분을 보완, 개선하는데 활용함

■ 성과지표별 목표치를 평가하여 등급을 설정하며 등급설정의 기준 및 등급별 조치사항(안)은 아래와 같음

등급	기준	등급별 조치사항
상	목표치 80% 이상 달성	- 연구단 우수연구성과로 언론등 홍보 - 필요 시, 연구비 추가 지원
중	목표치 60%~80% 달성	- 계획대로 연구 진행
하	목표치 60% 미만 달성	- 차년도 달성목표에 누적 적용 - 연구비 삭감 등의 불이익

■ 1세부과제 최종 평가 기준(안)

구분	성과지표	단위	목표치	결과치	평가등급		
					상	중	하
자원 및 사업관리	예산 집행의 적절성	%	100				
	연구인력 투입의 적절성	%	100				
연구성과 확산노력	홍보 건수	건	3				
상용화	특허 출원/등록 건수	건	6				
	현장 적용 건수	건	6				
	기술이전 건수	건	3				
외관조사용 무인체 개발	제어정밀도	cm	10				
	비행시간	분	60				
	실시간 통신거리	km	3				
	가반하중	kg	2				
	운용풍속	m/s	10				
외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발	위치 오차 및 접근 거리	m	0.5				
	3차원 최단 경로오차	%	5				
	시스템 신뢰도	%	95				
	자율운행 가능 환경	m/s	10				
내부조사용 무인체 개발	최대 주행속도	m/s	1				
	통과가능 격벽	폭 cm	70				
		높이 cm	100				
	매니퓰레이터 자유도	D. O. F.	6				
	매니퓰레이터 최대 확장 길이	m	1.8				
	매니퓰레이터 가반하중	kg	4.5				
내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발	위치추정 오차	cm	10				
	경로생성 실시간성	Hz	10				
	충돌회피 실시간성	Hz	10				
이동식 관제센터 개발	데이터 갱신주기	Hz	10				
	무인검사장비 위치감지 정밀도	cm	10				
	저장용량	TB	1				
무선 전력 및 데이터 송수신 기술 개발	이동관제센터 전력 송신출력	W	200				
	콘크리트 투과충전거리	m	0.5				
	무인검사장비 탑재 수신기 충전 배터리 용량	W	50				
	무인검사장비 탑재 수신모듈 무게	kg	0.5				

■ 2세부과제 최종 평가 기준(안)

구분	성과지표	단위	목표치	결과치	평가등급		
					상	중	하
자원 및 사업관리	예산 집행의 적절성	%	100				
	연구인력 투입의 적절성	%	100				
연구성과 확산노력	홍보 건수	건	3				
상용화	특허 출원/등록 건수	건	6				
	현장 적용 건수	건	6				
	기술이전 건수	건	3				
비접촉식 강재 도막두께 및 부식손상 정량화	도막두께 정량화 단위	μm	100				
	강재부식 정량화 정도	%	90				
	통합 시스템 무게	kg	3				
비접촉식 강재 균열 및 볼트풀림 정량화	검출가능 강재 균열 폭	μm	100				
	감지가능 볼트풀림 각도	°	45				
	통합 시스템 무게	kg	2				
비접촉식 콘크리트 표면 균열 정량화	균열폭 정량화	mm	0.3				
	오보율	%	3				
	측정면적	cm^2	2500				
	통합 시스템 무게	kg	3				
비접촉식 콘크리트 백태, 박락 정량화	백태 발생 면적	%	30				
	박락 존재 구분	%	5				
	박락 발생 면적	%	15				
	통합시스템 무게	kg	3				
	측정면적	m^2	25				
세굴심 측정	세굴심 추정 오차	cm	10				
매립형/내장형 센서 연계 국부손상진단	진단가능 균열 폭	μm	100				
	PT 텐던 긴장력 저하량	%	30				
	소비전력	W	3				

■ 3세부과제 최종 평가 기준(안)

구분	성과지표	단위	목표치	결과치	평가등급		
					상	중	하
자원 및 사업관리	예산 집행의 적절성	%	100				
	연구인력 투입의 적절성	%	100				
연구성과 확산노력	홍보 건수	건	3				
상용화	특허 출원/등록 건수	건	2				
	현장 적용 건수	건	6				
	기술이전 건수	건	2				
클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 개발	구조물 데이터 수집, 처리기능	가/부	가				
	데이터 저장, 처리 기능	가/부	가				
	클라우드 관리 플랫폼 기능	가/부	가				
IoT/BIM 기반 검사 데이터 및 결과 가시화 기술	국내/국제 IoT 표준 기술 적용	유/무	유				
	맵핑 데이터 연동확인	건	1				
	진단 정보 가시화를 위한 API 구현	건	1				
무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 기술	무인검사장비 계측데이터 기반 구조물 성능저하모델	건	1				
	건전도 산출 신뢰도	%	90				
	성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼	건	1				
무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능등급 기술 개발	무인검사장비 기반 시설물 성능 등급 산정 신뢰도	%	90				
	성능 등급 평가를 위한 정량적 지표	건	1				
	기구축 BMS-DB 연계 방법론	건	1				
	무인검사장비와 BMS DB 연계형 성능등급 산정 및 매뉴얼	건	1				
무인검사장비 기반 안전점검 운영지침 개발	무인검사장비 점검시나리오 실용화 방안 보고서	건	1				
	지침화 실적	건	1				
무인검사장비 기반 안전점검 통합 코드 개발	유효 데이터 추출 및 유효성 검증	회	10				
	데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 매뉴얼	건	1				

5. 인력투입계획 및 소요예산 산정

5.1 연구일정에 따른 인력계획

5.1.1 전체사업 인력투입계획

1) 연차별 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)				비고
	1차년도	2차년도	3차년도	계	
내부	23.5	29.8	26.9	80.2	
외부	3.6	7.4	6.9	17.9	
학생	14.3	28.5	22.9	65.7	
합계	**41.4**	**65.7**	**56.7**	**163.8**	

2) 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)				비고
		1차년도	2차년도	3차년도	계	
총 합계		**41.4**	**65.7**	**56.7**	**163.8**	
1세부	내부	9.2	9.2	9.2	27.6	
	외부	1	1	1	3	
	학생	7	11.3	9.3	27.6	
합계		17.2	21.5	19.5	58.2	
2세부	내부	3.8	5.6	4.7	14.1	
	외부	1	2	2	5	
	학생	7.3	17.2	13.6	38.1	
합계		12.1	24.8	20.3	57.2	
3세부	내부	10.5	15	13	38.5	
	외부	1.6	4.4	3.9	9.9	
	학생	0	0	0	0	
합계		12.1	19.4	16.9	48.4	

5.1.2 세부별 인력투입계획

1) 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)				비고
		1차년도	2차년도	3차년도	계	
내부		9.2	9.2	9.2	27.6	
외부		1	1	1	3	
학생		7	11.3	9.3	27.6	
1세부 합계		**17.2**	**21.5**	**19.5**	**58.2**	
1.1.1	내부	5	5	5	15	
	외부	0	0	0	0	
	학생	0	0	0	0	
합계		5	5	5	15	
1.1.2	내부	0.2	0.2	0.2	0.6	
	외부	0	0	0	0	
	학생	0.8	1.3	1.3	3.4	
합계		1	1.5	1.5	4	
1.2.1	내부	0	0	0	0	
	외부	0	0	0	0	
	학생	1.2	3	2	6.2	
합계		1.2	3	2	6.2	
1.2.2	내부	1	1	1	3	
	외부	1	1	1	3	
	학생	4	4	4	12	
합계		6	6	6	18	
1.3.1	내부	3	3	3	9	
	외부	0	0	0	0	
	학생	0	0	0	0	
합계		3	3	3	9	
1.3.2	내부	0	0	0	0	
	외부	0	0	0	0	
	학생	1	3	2	6	
합계		1	3	2	6	

2) 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)				비고
		1차년도	2차년도	3차년도	계	
내부		3.8	5.6	4.7	14.1	
외부		1	2	2	5	
학생		7.3	17.2	13.6	38.1	
2세부 합계		**12.1**	**24.8**	**20.3**	**57.2**	
2.1.1	내부	1	1	1	3	
	외부					
	학생	2	3	3	8	
합계		3	4	4	11	
2.1.2	내부	0.3	1.1	0.7	2.1	
	외부					
	학생	0.9	3.6	2.3	6.8	
합계		1.2	4.7	3	8.9	
2.2.1	내부	1	1	1	3	
	외부	1	1	1	3	
	학생	1	2	2	5	
합계		3	4	4	11	
2.2.2	내부	0.2	0.4	0.3	0.9	
	외부	0	1	1	2	
	학생	0.5	2	1	3.5	
합계		0.7	3.4	2.3	6.4	
2.3.1	내부	0.3	1.1	0.7	2.1	
	외부					
	학생	0.9	3.6	2.3	6.8	
합계		1.2	4.7	3	8.9	
2.3.2	내부	1	1	1	3	
	외부					
	학생	2	3	3	8	
합계		3	4	4	11	

3) 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)				비고
		1차년도	2차년도	3차년도	계	
내부		10.5	15	13	38.5	
외부		1.6	4.4	3.9	9.9	
학생		0	0	0	0	
3세부 합계		**12.1**	**19.4**	**16.9**	**48.4**	
3.1.1	내부	0.5	1	0.5	2	
	외부	0	1	0.5	1.5	
	학생					
합계		0.5	2	1	3.5	
3.1.2	내부	2	3	3	8	
	외부	0	0	1	1	
	학생					
합계		2	3	4	9	
3.2.1	내부	0.3	1.4	0.9	2.6	
	외부	0.3	1.1	0.6	2	
	학생					
합계		0.6	2.5	1.5	4.6	
3.2.2	내부	0.2	1.1	0.6	1.9	
	외부	0.3	1.3	0.8	2.4	
	학생					
합계		0.5	2.4	1.4	4.3	
3.3.1	내부	0.5	1.5	1	3	
	외부					
	학생					
합계		0.5	1.5	1	3	
3.3.2	내부	7	7	7	21	
	외부	1	1	1	3	
	학생					
합계		8	8	8	24	

5.2 소요예산 산정

5.2.1 예산 산정방법

- 예산 산정방법과제수행에 직접적으로 소요되는 직접비내의 각 세목 비용을 산정하고 기관별 간접비를 계상함
- 세목별 연구비는 “국가연구사업 연구비관리 표준매뉴얼 (2015. 8. 25. 미래창조과학부)의 연구개발비 비목별 계상기준 (공동관리규정 제 12조 제 5항 관련)을 따름
- 민간부담금 (현금+ 현물)은 “국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 (시행 2015. 12. 22.)”의 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연 및 부담기준에 따름

5.2.2 전체사업 소요예산

1) 총괄 소요예산

(단위 : 억원)

분류	1차년		2차년		3차년		합계	
	정부	민간 (현금+ 현물)	정부	민간 (현금+ 현물)	정부	민간 (현금+ 현물)	정부	민간 (현금+ 현물)
연구단 (총괄)	10	3.34	40	13.35	25	8.31	75	25
1세부	3	1	12	4	7.5	2.5	22.5	7.5
1.1.1	0.5	0.5	2	1.5	1.25	1.25	3.75	3.25
1.1.2	0.5		1.5		1		3	
1.2.1	0.5		2		1.25		3.75	
1.2.2	0.5		1.5		1		3	
1.3.1	0.5	0.5	3.5	2.5	2	1.25	6	4.25
1.3.2	0.5		1.5		1		3	
2세부	3	1	12	4	7.5	2.5	22.5	7.5
2.1.1	0.5	0.3	2	1	1.25	0.6	3.75	1.9
2.1.2	0.5	0.2	2	1	1.25	0.6	3.75	1.8
2.2.1	0.5		2		1.25		3.75	
2.2.2	0.5	0.2	2	1	1.25	0.6	3.75	1.8
2.3.1	0.5		2		1.25		3.75	
2.3.2	0.5	0.3	2	1	1.25	0.7	3.75	2
3세부	3	1	12	4	7.5	2.5	22.5	7.5
3.1.1	0.5	0.3	2	1	1	0.7	3.5	2
3.1.2	0.5	0.2	2	1	1.5	0.8	4	2
3.2.1	0.5	0.3	2.5	1	1.5	0.5	4.5	1.8
3.2.2	0.5	0.2	2.5	1	1.5	0.5	4.5	1.7
3.3.1	0.5		1.5		1		3	
3.3.2	0.5		1.5		1		3	
연구단 운영(총괄)	1	0.34	4	1.35	2.5	0.81	7.5	2.5

2) 예산 항목별 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		89.3	336	200.9	626.2	8.3%
	외부인건비		55.9	324	200.7	580.6	7.7%
	학생인건비		179.9	567.9	401.9	1,149.7	15.3%
소계			**325.1**	**1,227.9**	**803.5**	**2,356.5**	**31.4%**
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	62.8	468	242.8	773.6	10.3%
		시작품제작비	64	627.5	323.05	1,014.55	13.5%
		재료비	149.5	561.9	397.3	1,108.7	14.8%
	연구활동비		109.25	192.6	138.75	440.6	5.9%
	연구과제추진비		73.45	168	114.9	356.35	4.8%
	연구수당		50	131.9	88.4	270.3	3.6%
소계			**509**	**2,149.9**	**1,305.2**	**3,964.1**	**52.9%**
간접비			165.9	622.2	391.3	1,179.4	15.7%
합계			**1,000**	**4,000**	**2,500**	**7,500**	**100%**

5.2.3 세부별 소요예산

1) 1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술

■ 1세부 총괄 소요예산 (정부출연금)

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		2	6	4	12	0.5%
	외부인건비		2.1	6.2	4.1	12.4	0.6%
	학생인건비		84.8	183.6	134.7	403.1	17.9%
소계			**88.9**	**195.8**	**142.8**	**427.5**	**19%**
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	5	113	83.8	201.8	9.0%
		시작품제작비	45	410.5	187	642.5	28.6%
		재료비	50.3	218.3	147.9	416.5	18.5%
	연구활동비		35	47	37	119	5.3%
	연구과제추진비		24.9	41.9	34.9	101.7	4.5%
	연구수당		10.2	32.4	22.2	64.8	2.9%
소계			**170.4**	**863.1**	**512.8**	**1,546.3**	**68.7%**
간접비			40.7	141.1	94.4	276.2	12.3%
합계			**300**	**1,200**	**750**	**2,250**	**100%**

■ 1.1.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		0	0	0	0	0%
	외부인건비		0	0	0	0	0%
	학생인건비		0	0	0	0	0%
소계			0	0	0	0	0%
직접비	연구장비/ 재료비	연구기자재 및 시설비	0	20	25	45	12%
		시작품제작비	15	126	52	193	51.5%
		재료비	15	33	30	78	20.8%
	연구활동비		10	6	6	22	5.9%
	연구과제추진비		10	8	6	24	6.4%
	연구수당		0	3	2	5	1.3%
소계			50	196	121	367	97.9%
간접비			0	4	4	8	2.1%
합계			50	200	125	375	100%

■ 1.1.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		2	6	4	12	4%
	외부인건비						
	학생인건비		19	33	25	77	25.7%
소계			21	39	29	89	29.7%
직접비	연구장비/ 재료비	연구기자재 및 시설비	5	13	8	26	8.7%
		시작품제작비	-	20	10	30	10%
		재료비	5	30	20	55	18.3%
	연구활동비		3	4	3	10	3.3%
	연구과제추진비		3	5	4	12	4%
	연구수당		3	8	5	16	5.3%
소계			19	80	50	149	49.6%
간접비			10	31	21	62	20.7%
합계			50	150	100	300	100%

■ 1.2.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		0	0	0	0	0%
	외부인건비		0	0	0	0	0%
	학생인건비		26	73	52	151	40.3%
소계			**26**	**73**	**52**	**151**	**40.3%**
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	0	0	0	0%
		시작품제작비	0	30	10	40	10.7%
		재료비	5	31	20	56	14.9%
	연구활동비		2	8	5	15	4%
	연구과제추진비		2	4	3	9	2.4%
	연구수당		5	14	10	29	7.7%
소계			**14**	**87**	**48**	**149**	**39.7%**
간접비			10	40	25	75	20%
합계			**50**	**200**	**125**	**375**	**100%**

■ 1.2.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		0	0	0	0	0%
	외부인건비		2.1	6.2	4.1	12.4	4.1%
	학생인건비		20	18	18	56	18.7%
소계			**22.1**	**24.2**	**22.1**	**68.4**	**22.8%**
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	50	18.8	68.8	22.9%
		시작품제작비	0	0	0	0	0%
		재료비	4.3	36.1	30	70.4	23.5%
	연구활동비		10	5	5	20	6.7%
	연구과제추진비		1	1	1	3	1%
	연구수당		2.2	2.4	2.2	6.8	2.3%
소계			**17.5**	**94.5**	**57**	**169**	**56.3%**
간접비			10.4	31.3	20.9	62.6	20.9%
합계			**50**	**150**	**100**	**300**	**100%**

■ 1.3.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		0	0	0	0	0%
	외부인건비		0	0	0	0	0%
	학생인건비		0	0	0	0	0%
소계			0	0	0	0	0%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	30	32	62	10.3%
		시작품제작비	30	227	110	367	61.2%
		재료비	10	60	29	99	16.5%
	연구활동비		5	12	10	27	4.5%
	연구과제추진비		5	12	13	30	5.0%
	연구수당		0	5	3	8	1.3%
소계			50	346	197	593	98.8%
간접비			0	4	3	7	1.2%
합계			50	350	200	600	100%

■ 1.3.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		0	0	0	0	0%
	외부인건비		0	0	0	0	0%
	학생인건비		19.8	59.6	39.7	119.1	39.7%
소계			19.8	59.6	39.7	119.1	39.7%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	0	0	0	0%
		시작품제작비	0	7.5	5	12.5	4.2%
		재료비	11	28.2	18.9	58.1	19.4%
	연구활동비		5	12	8	25	8.3%
	연구과제추진비		3.9	11.9	7.9	23.7	7.9%
	연구수당		0	0	0	0	0%
소계			19.9	59.6	39.8	119.3	39.8%
간접비			10.3	30.8	20.5	61.6	20.5%
합계			50	150	100	300	100%

2) 2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술

■ 2세부 총괄 소요예산 (정부출연금)

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		8.6	34.4	21.4	64.4	2.9%
	외부인건비		12	48	48	108	4.8%
	학생인건비		76.6	288.8	191.2	556.6	24.7%
소계			97.2	371.2	260.6	729	32.4%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	33.8	226	91	350.8	15.6%
		시작품제작비	6	87	74.05	167.05	7.4%
		재료비	35	122.2	69.5	226.7	10.1%
	연구활동비		23.2	52.8	35.65	111.65	5%
	연구과제추진비		19.1	47.6	32.5	99.2	4.4%
	연구수당		20.8	38.6	29	88.4	3.9%
소계			137.9	574.2	331.7	1,043.8	46.4%
간접비			64.9	254.6	157.7	477.2	21.2%
합계			300	1,200	750	2,250	100%

■ 2.1.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		2	8.2	5.1	15.3	4.1%
	외부인건비						0%
	학생인건비		7.7	23.2	19.4	50.3	13.4%
소계			9.7	31.4	24.5	65.6	17.5%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	8.4	62	26	96.4	25.7%
		시작품제작비	3	13	12.5	28.5	5.6%
		재료비	7	30.6	20	57.6	15.4%
	연구활동비		6	8	5.5	19.5	5.2%
	연구과제추진비		3.5	7	5.5	16	4.3%
	연구수당		1.9	6.2	4.9	13	3.5%
소계			29.8	126.8	74.4	231	61.6%
간접비			10.5	41.8	26.1	78.4	20.9%
합계			50	200	125	375	100%

■ 2.1.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		2.3	9	5.6	16.9	4.5%
	외부인건비		0	0	0	0	0%
	학생인건비		22.8	91.2	57	171	45.6%
소계			25.1	100.2	62.6	187.9	50.1%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	1	10	10	21	5.6%
		시작품제작비	0	20	9.3	29.3	7.8%
		재료비	6	14	4	24	6.4%
	연구활동비		2	5	5	12	3.2%
	연구과제추진비		1.7	4.8	4.5	11	2.9%
	연구수당		4	5	4	13	3.5%
소계			14.7	58.8	36.8	110.3	29.4%
간접비			10.2	41	25.6	76.8	20.5%
합계			50	200	125	375	100%

■ 2.2.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		(18)	(18)	(18)	(54)	0%
	외부인건비		12	18	18	48	12.8%
	학생인건비		4.8	16.8	16.8	38.4	10.2%
소계			16.8	34.8	34.8	86.4	23%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	5	60	15	80	21.3%
		시작품제작비	0	15	23	38	10.1%
		재료비	3	26	10	39	10.4%
	연구활동비		4.2	8	6	18.2	4.9%
	연구과제추진비		4	10	8	22	5.9%
	연구수당		6	7.2	5.2	18.4	4.9%
소계			22.2	126.2	67.2	215.6	57.5%
간접비			11	39	23	73	19.5%
합계			50	200	125	375	100%

■ 2.2.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		(10)	(10)	(10)	(30)	0%
	외부인건비		0	30	30	60	16%
	학생인건비		10.8	43.2	21.6	75.6	20.2%
소계			10.8	73.2	51.6	135.6	36.2%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	10	22	4	36	8.8%
		시작품제작비		9	15	24	4%
		재료비	6	13	9.5	28.5	3.7%
	연구활동비		3	14.8	4.15	21.95	7.5%
	연구과제추진비		4.7	12	4.5	21.2	7.4%
	연구수당		3	6	5	14	7.5%
소계			26.7	76.8	42.15	145.65	38.8%
간접비			12.5	50	31.25	93.75	25%
합계			50	200	125	375	100%

■ 2.3.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		2.3	9	5.6	16.9	4.5%
	외부인건비					0	0%
	학생인건비		22.8	91.2	57	171	45.6%
소계			25.1	100.2	62.6	187.9	50.1
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	1	10	10	21	5.6%
		시작품제작비		20	6.25	26.25	7.0%
		재료비	6	8	6	20	5.3%
	연구활동비		2	6	5	13	3.5%
	연구과제추진비		1.7	6.8	4.5	13	3.5%
	연구수당		4	8	5	17	4.5%
소계			14.7	58.8	36.75	110.25	29.4%
간접비			10.2	41	25.65	76.85	20.5%
합계			50	200	125	375	100%

■ 2.3.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		2	8.2	5.1	15.3	4.1%
	외부인건비						
	학생인건비		7.7	23.2	19.4	50.3	13.4%
소계			9.7	31.4	24.5	65.6	17.5%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	8.4	62	26	96.4	25.7%
		시작품제작비	3	10	8	21	5.6%
		재료비	7	30.6	20	57.6	15.4%
	연구활동비		6	11	10	27	7.2%
	연구과제추진비		3.5	7	5.5	16	4.3%
	연구수당		1.9	6.2	4.9	13	3.5%
소계			29.8	126.8	74.4	231	61.6%
간접비			10.5	41.8	26.1	78.4	20.9%
합계			50	200	125	375	100%

3) 3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술

■ 3세부 총괄 소요예산 (정부출연금)

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		74.2	282.6	167.3	524.1	23.3%
	외부인건비		41.8	171.8	113.1	326.7	14.5%
	학생인건비						0%
소계			116	454.4	280.4	850.8	37.8%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	24	129	68	221	9.8%
		시작품제작비	13	130	62	205	9.1%
		재료비	56.2	183.9	150.9	391	17.4%
	연구활동비		21.05	54.3	34.1	109.45	4.9%
	연구과제추진비		20.45	59	38.2	117.65	5.2%
	연구수당		19	60.9	37.2	117.1	5.2%
소계			153.7	617.1	390.4	1,161.2	51.6%
간접비			30.3	128.5	79.2	238	10.6%
합계			300	1,200	750	2,250	100%

■ 3.1.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		25	60	30	115	32.9%
	외부인건비		0	40	20	60	17.1%
	학생인건비		0			0	0%
소계			25	100	50	175	50%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	40	14	54	15.4%
		시작품제작비	0	0	0	0	0%
		재료비	8	20	15	43	12.3%
	연구활동비		3.95	12.2	3.5	19.65	5.6%
	연구과제추진비		6.15	8.1	6.6	20.85	6.0%
	연구수당		4	8	5.1	17.1	4.9%
소계			22.1	88.3	44.2	154.6	44.2%
간접비			2.9	11.7	5.8	20.4	5.8%
합계			50	200	100	350	100%

■ 3.1.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		(17)	(67)	(50)	(134)	0%
	외부인건비		0	0	0	0	0%
	학생인건비		0	0	0	0	0%
소계			0	0	0	0	0%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	20	60	30	110	27.5%
		시작품제작비	0	25	20	45	11.3%
		재료비	28	100	90	218	54.5%
	연구활동비		2	3	2	7	1.8%
	연구과제추진비		0	2	1	3	0.8%
	연구수당		0	10	7	17	4.3%
소계			50	200	150	400	100%
간접비			0	0	0	0	0%
합계			50	200	150	400	100%

■ 3.2.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		16.2	93.6	56.3	166.1	36.9%
	외부인건비		11.8	41.8	23.1	76.7	17.1%
	학생인건비						
소계			28	135.4	79.4	242.8	54%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	23	18	41	9.1%
		시작품제작비	0	0	0	0	0%
		재료비	3.5	18.4	6.4	28.3	6.3%
	연구활동비		2.6	14.6	8.6	25.8	5.7%
	연구과제추진비		3.7	9.4	8.1	21.2	4.7%
	연구수당		4	8.1	4.9	17	3.8%
소계			13.8	73.5	46	133.3	29.6%
간접비			8.2	41.1	24.6	73.9	16.4%
합계			50	250	150	450	100%

■ 3.2.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		15	75	45	135	30%
	외부인건비		10	50	30	90	20%
	학생인건비		0	0	0	0	0%
소계			25	125	75	225	50%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	0	0	0	0%
		시작품제작비	3	30	17	50	11.1%
		재료비	0	0	0	0	0%
	연구활동비		4	3	6	13	2.9%
	연구과제추진비		3	20	12	35	7.8%
	연구수당		5	22	10	37	8.2%
소계			15	75	45	135	30%
간접비			10	50	30	90	20%
합계			50	250	150	450	100%

■ 3.3.1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		18	54	36	108	36%
	외부인건비		0	0	0	0	0%
	학생인건비		0	0	0	0	0%
소계			18	54	36	108	36%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	0	0	0	0	0%
		시작품제작비	0	0	0	0	0%
		재료비	14	32.5	26.5	73	24.3%
	연구활동비		3.5	17.5	10	31	10.3%
	연구과제추진비		3.6	16.5	7.5	27.6	9.2%
	연구수당		4	8.8	6.2	19	6.3%
소계			25.1	75.3	50.2	150.6	50.1%
간접비			6.9	20.7	13.8	41.4	13.8%
합계			50	150	100	300	100%

■ 3.3.2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		(49)	(49)	(49)	(147)	0%
	외부인건비		20	40	40	100	33.3%
	학생인건비		0	0	0	0	0%
소계			69	89	89	247	33.3%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비	4	6	6	16	5.3%
		시작품제작비	10	75	25	110	36.7%
		재료비	2.7	13	13	28.7	9.6%
	연구활동비		5	4	4	13	4.3%
	연구과제추진비		4	3	3	10	3.3%
	연구수당		2	4	4	10	3.3%
소계			27.7	105	55	187.7	62.5%
간접비			2.3	5	5	12.3	4.1%
합계			50	150	100	300	100%

4) 주관연구기관 운영비

■ (주관)세부 소요예산 (정부출연금)

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목		구분			소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도		
인건비	내부인건비		4.5	13	8.2	25.7	3.4%
	외부인건비		0	98	35.5	133.5	17.8%
	학생인건비		18.5	95.5	76	190	25.3%
소계			23	206.5	119.7	349.2	46.5%
직접비	연구장비/재료비	연구기자재 및 시설비				0	0%
		시작품제작비				0	0%
		재료비	8	37.5	29	74.5	9.9%
	연구활동비		30	38.5	32	100.5	13.4%
	연구과제추진비		9	19.5	9.3	37.8	5%
	연구수당						0%
소계			47	95.5	70.3	212.8	28.4%
간접비			30	98	60	188	25.1%
합계			100	400	250	750	100%

6. 사전타당성 검토

6.1 정책적 타당성

■ 분석 목적

- 정책적 타당성 분석은 해당 연구의 국가 전략적 측면에서의 중요성을 분석하고 현재 추진 중이거나 계획 중인 R&D 상위계획과의 부합성을 검토함과 동시에 연구추진체계의 적절성을 종합적으로 분석/검토하는 것이 목적임

■ 분석 방법

- 정책적 타당성 분석은 국가 전략적 중요성, 상위계획과의 부합성, 연구추진체계의 적절성 등과 같은 3가지 항목으로 구분하여 분석하며 각 항목은 다음과 같이 각각 2개의 세부 항목으로 이루어져 있고, 이를 바탕으로 종합 분석 결과를 도출함

국가 전략적 중요성	국가/부처 차원의 지원 필요성 및 타당성
	추진시기의 적절성
상위계획과의 부합성	국가 차원 계획과의 부합성
	부처 고유 업무 및 자체 계획과의 일관성
연구추진체계의 적절성	연구추진의지
	관련 기관 및 부처의 협조체계

1) 국가 전략적 중요성

■ 국가/부처 차원의 지원 필요성 및 타당성

- 최근 연이은 안전사고로 인해 사회기반시설물 안전에 대한 국민들의 요구가 증대되고 있으며, 전 세계적으로 노후화 구조물이 급격히 증가하고 있어 향후 노후화 구조물 증가 및 성능 저하로 인해 발생할 수 있는 대형 인명사고를 예방하고 효과적인 유지관리를 수행할 수 있는 기술개발의 필요성이 대두됨

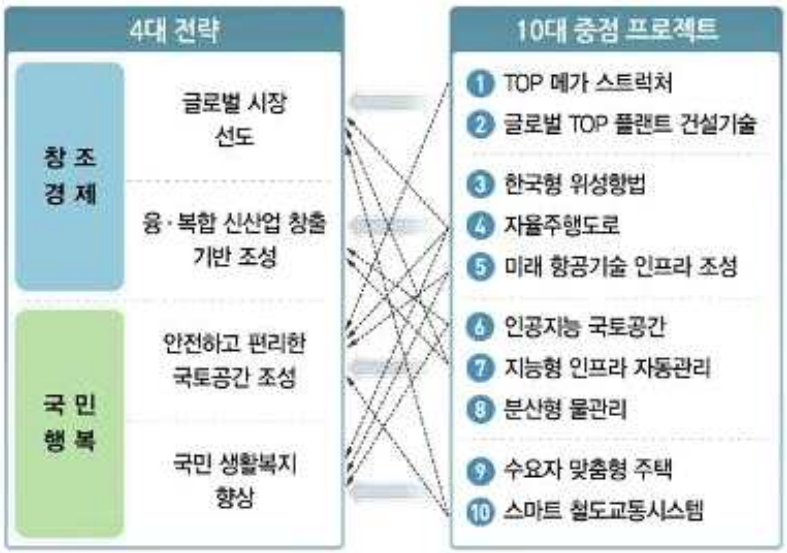
- 3D 직종이라는 인식으로 인한 구조물 유지관리 분야 인력의 높은 이직률, 평균 연령 및 인력 부족 등의 문제 해결이 매우 시급한 상황임. 30년 이상 노후화된 국내 사회기반시설물은 2014년 239개소에서 2025년에는 지금보다 7배 증가한 1,681개소가 될 것으로 예상되고 있으나, 유지관리 분야 종사자 입사 1년 내 이직률 41.9%, 평균 연령 43.8세, 1인당 관리 교량 수 25.1개소에 달하는 등 점검 소홀이 우려됨. [한국도로공사 구조물처 내부보고서 (2014)]

- 건설기술개발사업의 경우 공공성과 공익성, 기술개발 기간의 장기성 및 요소기술의 종합성 등 고유의 특성으로 민간 자본의 활용이 상대적으로 어렵기 때문에, 해당 문

제를 해결하기 위해선 안정적인 지원이 수반된 정부 주도의 연구개발 사업 추진이 필요함

■ 추진시기의 적절성

- 2015년 국토교통부 주택법이 일부 개정됨에 따라 의무적으로 안전관리를 받아야 하는 구조물의 범위가 늘어나는 등 구조물 유지관리를 위한 제도적 장치가 확대되고 있음
- 2015년 국토교통부 건축투자활성화 대책에 따라 노후 건축물의 안전진단 강화 및 건축관련 안전산업 육성을 위해 시설안전공단이 전담하여 유지관리하는 시설물을 축소하는 등 민간기업의 참여확대와 기술발전을 유도하고 있음
- '15층 이하 공동주택에 대한 안전점검 강화 대상 요건'을 정하면서 의무 안전관리 대상인 15층 이하 공동주택으로서 사용검사일이 30년이 경과되었거나, '시설물의 안전관리에 관한 특별법'상 안전등급이 C등급 이하에 해당하는 경우에도 16층 이상의 경우와 같이 전문기관 등의 안전점검 대상에 포함시킴 [국토교통부 주택법 시행령·규칙 개정안 (2015)]
- 노후 건축물 등 안전진단 강화 및 건축관련 안전산업 육성을 위해 시설안전공단이 전담하여 유지관리하는 시설물을 현 191개소에서 152개소로 축소하여 민간기업의 참여확대와 유지관리 기술발전을 유도할 계획임 [국토교통부 건축투자활성화 대책 (2015)]
- 노후화 구조물의 급격한 증가 및 성능 저하로 인해 발생할 수 있는 대형 인명사고를 예방하고, 최근 증대되고 있는 국민들의 시설물 안전에 대한 요구를 충족시키기 위해서 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 및 유지관리 기술의 개발이 시급함



[그림 6.1] 국토교통 R&D 중장기전략(안) 4대 전략 및 10대 중점 프로젝트

2) 상위계획과의 부합성

■ 국가 차원 계획과의 부합성

- 국가 상위 계획과의 부합성을 검토하기 위해 국토교통 분야 연구개발 최상위 계획인 '국토교통 R&D 중장기전략(안)'과 본 연구개발 사업과의 부합성을 분석함

- 국가과학기술심의회는 국토교통 미래 여건변화에 대응하고 일자리·성장엔진 창출 등 창조경제 국정시조 실현에 적극 기여하고자 국토교통 연구개발에 관한 10년 단위 중장기 목표, 추진전략 및 중점 프로젝트를 주요 내용으로 하는 국토교통 R&D 중장기 전략(안)을 수립

- '국토교통 기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치 창조'를 비전으로 2023년까지 7만 5천개 일자리 창출, 11개 세계 선도기술 및 8개 글로벌 기업 육성 및 재해/사고 20% 저감 등을 목표로 하고 있으며, 목표 실현을 위해 국토교통 기술 4대 전략 및 10대 중점 프로젝트를 발굴하여 집중 지원함

- 사회기반시설물의 장수명화 및 진단·보수의 무인화를 주 내용으로 하는 지능형 인프라 자동관리 (안전하고 편리한 국토공간 조성 분야)가 10대 중점 프로젝트로 선정됨

안전하고 편리한 국토공간 조성	⑥	인공지능 국토공간	스마트 친환경 도시 건설·운영관리 및 재생 등 국민체감형 서비스기술 개발 및 다차원 공간정보체계를 활용한 국토 공간정보 서비스 강화로 국민안전과 편의 제고
	⑦	지능형 인프라 자동관리	SOC 시설물의 장수명화 및 관리 효율화를 위해 진단, 보수·보강 장비를 자동화·무인화하고, 선제적 사고 예방·관리 구현
	⑧	분산형 물관리	도서·해안 및 산간 등에서도 가용 수자원을 안정적으로 확보하고, 도시 내 물순환을 통해 물관리를 효율화·지능화하는 한편, 하천유역 관리 고도화를 통해 수재해 저감

- 해당 연구는 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 및 유지관리 기술이라는 관점에서 국가 차원 계획과 직접적으로 부합하며, 해당 연구를 통해 국민의 안전요구 충족, 글로벌 시장 개척 및 선점, 양질의 직종 창출 등이 가능하다는 측면에서 높은 부합성을 나타내는 것으로 분석됨

■ 부처별 고유 업무 및 자체 계획과의 일관성

- 2014년부터 향후 10년간 추진될 국토교통 R&D 중장기전략(안)의 10대 중점 프로젝트 중 하나로 '지능형 인프라 자동관리'가 선정됨으로써 향후 국토교통부의 연구개발 계획과 일관성이 높은 것으로 분석됨

- 이외에도 아래와 같은 산업통상자원부 '센서산업 발전전략 및 무인기 산업생태계 분야별 추진계획', 미래창조과학부 '무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략' 등 부처 고유 업무 및 자체 계획이 본 연구의 기술개발 내용 및 목표와 일관성을 지니는 것으로 조사됨

- 세계 4대 센서산업 강국 도약을 비전으로 세계 수준의 센서 중견기업 20개 육성, 센서산업 매출 100억 달러 달성, 일자리 2.5만개 창출, 스마트센서 관련 산·학·연 네트워크 강화를 목표로 2019년까지 총 3,338억원 규모의 투자를 할 계획[산업통상자원부 센서산업 발전전략 (2013)]

- 무인기 산업 매출을 현재 165만 달러 (세계 30위권)에서 2023년 5.1억 달러 (세계 4위) 수준으로 끌어올리고, 기술 수준 역시 세계 7위 (2012년 기준)에서 2023년 세계 3위 수준까지 끌어 올리는 것을 목표로 4대 전략 및 10대 추진과제를 설정하여 지원할 예정[산업통상자원부 무인기 산업생태계 분야별 추진계획 (2015)]

- 무인이동체에 각기 적용가능한 공통기술 개발 및 확산을 통해, 무인이동체 관련 기술 경쟁력 강화 및 신규기업의 기술 진입장벽을 완화하는 방안을 추진하고, 무인이동체 발전협의회 설치, 협력사업 발굴, 법제도 정비, 인프라 확충 등의 추진전략을 수립할 계획[미래창조과학부 무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략 (2015)]

3) 연구추진체계의 적절성

■ 연구추진의지

건설·교통 분야	⑤	슈퍼 건설재료 및 자재기술	▪ 세계 선도형 (초)고성능 콘크리트 ▪ 미래 선도형 슈퍼 콘크리트 ▪ CO2 흡수를 통한 장수명, 불투수성 콘크리트 ▪ 자기 손상 감지 및 자가 치유 시멘트 복합체 ▪ 극한환경 대응 건설재료 및 자재
	⑥	지능형 인프라 자동관리	▪ 자율작업/제어시스템이 결합된 자동화 로봇시공 ▪ 증강현실기술을 활용한 건설자동화 로봇 ▪ 인간, 로봇, 환경의 인터렉션을 위한 센싱, 제어, 시스템 및 인터페이스 ▪ **고층 구조물 외벽, 전차선로 등 난접근 및 협소/위험지역 유지관리/보수를 위한 로봇** ▪ 원거리 작업자 모션 리모트에 의해 조정되는 건설기계/로봇
	⑦	미래첨단 도시건설 기술	▪ 생태조경을 위한 에코시티 조성 ▪ 에너지 자립형 도시구축 ▪ 온실가스를 배출하지 않는 탄소제로도시 ▪ 기존 도시 거주성 및 기능성 향상 ▪ 스마트 도시공간 계획 및 조성

- 사업추진의지를 분석하기 위해 관련 부처 및 기관의 기술개발 계획 및 동향을 분석한 결과, 국가과학기술심의회는 중점 추진 5대 분야 30개 기술에 서비스 로봇 (건설분야)을 포함시키는 등 기술개발 계획 추진 의지가 높은 것으로 조사됨

- 국가과학기술심의회 국가중점과학기술 전략로드맵 (2014), 신성장동력 창출, 삶의 질 향상 등에 필요한 국가중점과학기술의 효과적 확보를 위해 국가 과학기술 최상위 계획인 '제3차 과학기술기본계획'이 범부처 간의 논의를 통해 수립되었으며 10대 분야 120개 국가전략기술에 서비스 로봇기술 (건설분야) 포함

- 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 및 유지관리 기술개발은 최근 침체되고 있는 건설 분야의 신성장 동력 창출 측면에서 새로운 패러다임으로 자리매김할 수 있으므로 관련 기관의 사업추진 의지는 매우 높은 것으로 판단됨

■ 관련 기관 및 부처의 협조체계

- 본 연구는 국내 기술개발 역량 및 전문 인력 분포 등을 고려할 경우 무인검사장비 활용, 스마트 센싱, 클라우드 컴퓨팅 기반 구조물 유지관리 측면에서 산·학·연·관의 연계를 통한 연구개발 추진이 중요함

- 본 연구는 기획과정의 연구진 구성에서부터 장기적인 관점에서 관련 기관 특성을 고려하여 역할 분담 및 연계 체계를 구축함으로써 지속적이고 효율적인 협조체계 구축이 가능할 것으로 판단됨

- 향후 산업통상자원부 센서산업 발전전략 및 미래창조과학부 빅데이터 산업 발전전략 등과 연계하여 기술개발 협조가 이루어질 경우 높은 시너지 효과가 발생할 것으로 예상됨

- 빅데이터 산업 기술경쟁력 확보 및 분석역량을 제고하고 빅데이터 전문인력 5,000여명 양성을 위해 2017년까지 총 5,000억원 규모의 투자를 할 계획 [미래창조과학부 빅데이터 산업 발전전략 (2013)]

4) 정책적 타당성 소결

- 본 연구의 정책적 타당성 분석 결과 구조물 노후화가 가속되고 구조물 유지관리 전문 인력이 부족한 현재 상황을 고려하였을 때, 국가 전략적으로 본 연구개발 추진이 매우 필요하고 추진시기 역시 타당한 것으로 판단됨

- '지능형 인프라 자동관리 분야'가 2014년 국가과학기술심의회에서 결정한 '국토교통 R&D 중장기전략(안)'의 10대 중점 프로젝트 중 하나로 선정되는 등 본 연구는 국가 상위계획과도 매우 부합하는 것으로 나타남

- 미래창조과학부, 산업통상자원부 등 관련 부처에서 무인이동체, 센서, 빅데이터 기술 경쟁력 확보를 위해 예산을 투자하며 적극적인 연구추진의지를 보이고 있으며, 연구진 구성에서부터 관련 기관 특성을 고려하여 역할분담 및 연계 체계를 구축하는 등 연구추진체계가 적절하게 기획됨

6.2 기술적 타당성

■ 분석 목적

- 기술적 타당성 분석은 R&D 사업 대상기술의 적정성 및 우수성, 기술 개발 역량 및 잠재력, 여타 기술개발사업과의 관계 및 연계방안 등을 종합적으로 조사·분석하는 것을 목적으로 함

■ 분석 방법 및 내용

- 기술적 타당성 분석은 기술개발의 우수성, 성공가능성, 기존 사업과의 중복성 분석 등 3가지 항목으로 구분하여 분석하며 각 항목은 다음과 같이 각각 2개의 세부 항목으로 이루어져 있고, 이를 바탕으로 종합 분석 결과를 도출함

기술개발 계획의 우수성	연구개발 계획의 완성도 및 적절성
	기술로드맵의 완성도
기술개발 계획의 중복성 검토 (타 과제와의 중복성 검토)	기존 연구개발 사업과의 중복성 검토
	기존 결과의 중복성 검토 결과
기술적 측면에서의 성공가능성	핵심기술 수준 및 기술격차
	기술경쟁력

1) 기술개발 계획의 우수성

■ 연구개발 계획의 완성도 및 적절성

- 국내외 동향 및 환경 분석을 바탕으로 R&D Needs를 도출하고, 이를 바탕으로 기술분류체계에 대한 전문가들의 기술수요를 접수받았으며, 외부기관을 활용하여 기술별 최고기술 보유국 대비 국내 기술수준, 기술격차, 기술성숙도, 기술실현시기 등에 대한 설문조사 및 분석을 실시함

- 관련 전문가들이 초청된 워크숍을 통하여 후보과제 우선순위 평가 및 최종과제 선정에 대한 논의를 진행하여 최종 3개의 세부과제와 총 18개 세세부과제를 도출함

- 본 기획에서는 기술개발 방향 설정하고자 STEEP분석 및 SWOT 분석을 실시하고 국내외 동향 및 환경 분석 결과를 기반으로 Issue-Tree를 작성하였으며, 이를 통해 연구개발 방향, 비전 및 목표를 설정하였음

- 세부과제 구성, 진도 점검 및 연구자간 네트워크 구축 등을 위하여 연구단장의 권한

을 강화하였고, 통합 성과관리를 위해 인력, 예산 등 자원 투입부터 성과물 도출과정, 산출물, 최종성과까지 이르는 성과지표를 설정함

- 본 연구를 통해 도출된 결과는 무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 측면에서 계획의 완성도가 높은 것으로 판단되며, 기술개발 전략 분석 결과 국내 기술 수준을 고려하여 적절한 연구개발 계획을 수립한 것으로 판단됨

■ 기술로드맵의 완성도

- 기술개발 기획 결과의 완성도를 분석하기 위해 핵심기술과 연구 목표와의 관계 및 시간적인 연구 활동 등 도식화한 기술개발 기술로드맵 작성 결과를 분석함.
- 그 결과 본 기획에서는 세부과제별로 연구 개발과제 TRM을 세부과제 목표 및 개발 기술들 간의 연계성을 고려하여 연구내용이 한눈에 보일 수 있도록 체계적으로 작성함.
- 특히, 세세부과제 기술개발 내용에 대해서는 기술개발 시점을 기준으로 각 연도별 목표를 명확하게 제시하여 향후 기술개발 결과물에 대한 구체적인 평가가 가능하도록 작성함.

2) 기술개발 계획의 중복성 검토

■ 기존 R&D 사업과의 중복성 검토

- 기존 R&D 사업과의 중복성 검토를 위해 본 연구와 유사한 내용의 기존 유사 R&D과제를 조사하였으며, 해당하는 R&D과제 목록은 다음과 같음
- 무인체를 활용한다는 점에서 기존 R&D 과제와의 유사성이 있으나, 다양한 센서와 검사 장비를 포함하고 응용된 무인체 기술과 새롭게 개발되는 원천 기술들을 통합하는 포괄적인 개념의 대형 연구개발 프로젝트는 없는 것으로 조사됨
- 연구개발 결과의 실용화 측면에서 기존 R&D 과제와는 차별화되는 것으로 조사되었으며, 일부 세세부과제에서는 기존 R&D 과제 결과물을 활용하여 개발 시간 절감을 통한 실용화 및 상용화 추진이라는 구체적인 방안을 제시하고 있음
- 기획 과정에서 구체적인 중복성 검토 및 차별화 방안을 분석한 결과 후보과제 도출 과정에서 기존 R&D 과제와의 중복성을 검토한 후 중복되는 과제는 기술개발 기획에서 제외함
- 개발이 필요한 기술 분야에 대해서는 기존 유사 R&D 과제와의 차별화 및 구체적인 활용방안을 수립함

[표 6.1] 1세부 중복성 검토 과제 목록

1세부 검토 과제명
▪ 교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발
▪ 자동항법 무인항공기술과 영상처리기술 기반의 이동식 시설물 안전점검장비 및 분석 소프트웨어 개발
▪ 교량 외관조사 자동화 시스템 실용화 연구
▪ 소형비행체를 이용한 구조물 안전성 검사 시스템 설계
▪ A UAV for bridge inspection: Visual serving control law with orientation limits
▪ 무인항공기의 비행경로 생성 및 유도제어 알고리즘 연구
▪ Control, navigation and collision avoidance for an unmanned aerial vehicle
▪ Indoor Navigation for Unmanned Aerial Vehicles
▪ Autonomous Multi-Floor Indoor Navigation with a Computationally Constrained MAV
▪ Seamless Indoor-Outdoor Navigation for Unmanned Multi-Sensor Aerial Platforms Position
▪ 유무인 통합운용을 위한 무인항공기 운영개념 발전방향
▪ Integrating critical interface elements for intuitive single-display aviation control of UAV
▪ 무인항공기 무선충전을 위한 안테나 최적 설계
▪ 무인항공기 무선통신 체계 연구
▪ Experimental Analysis of a UAV-Based Wireless Power Transfer Localization System
▪ Analysis, optimization, and implementation of a UAV-based wireless power transfer system

[표 6.2] 2세부 중복성 검토 과제 목록

2세부 검토 과제명
▪ 교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발
▪ 교량 외관조사 자동화 시스템 실용화 연구
▪ 선체 도장 균일 도포와 비접촉 도막 두께 측정 장치 및 그 방법
▪ 보안감시용 적외선 열화상 카메라 시스템의 문턱값 능동 설정 장치 및 방법
▪ 강부재의 균열 모니터링에 관한 연구
▪ USN 기술을 이용한 볼트-넛트 이음부의 풀림 검출 장치 개발
▪ Ultrasonic multi-layer paint thickness measurement
▪ Method of detecting defects in materials using infrared thermography
▪ Loose Bolt Detection by High Frequency Vibration Measurement with Non-Contact Laser Excitation
▪ 디지털 영상처리 기술을 활용한 콘크리트 시설물 외관 스캐닝 조사 방법
▪ UAV기반의 교량 외관 조사 기술 (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussees)
▪ UAV 기반의 CCD 카메라를 활용한 외관 조사 기술 (Drexel University)
▪ Localization and Quantification of Concrete Spalling Defects Using Terrestrial Laser Scanning
▪ Tracking of Defects in Reinforced Concrete Bridges Using Digital Images
▪ 등표구조물 기초부의 세굴여부 판정방법
▪ 수중음파장비 (Sonar)를 이용한 첨단 수중점검 장비
▪ 초음파 기반 세굴심 측정 (미연방도로국(FHWA))
▪ 경사계 및 가속도계 기반 세굴심 측정 (동일본여객철도(JR-EAST))
▪ 진동기반 무선 장력 계측 시스템
▪ 초음파 기반 피로균열 진단
▪ 진동기반 무선 장력 계측 시스템 (UIUC)

[표 6.3] 3세부 중복성 검토 과제 목록

3세부 검토 과제명
▪ 교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발
▪ 모바일 클라우드기반 구조물 유지관리계측 통합모니터링시스템 개발
▪ 클라우드 인프라 기술
▪ 클라우드 플랫폼 기술 (Google, Microsoft)
▪ BIM/GIS 상호운용 개방형 플랫폼 개발
▪ BIM과 GIS의 효율적인 상호운용을 위한 플랫폼 설계에 관한 연구
▪ Automating code checking for building designs
▪ 통합형 테스트베드 사업 지원 및 IT기반 유지관리기술
▪ 비접촉 모니터링 기술과 IFC 표준 모델 기준에 따른 정보체계 구축을 통한 첨단 교량 유지관리 시스템
▪ 사회기반시설(SOC)의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발
▪ 무인항공기 안전관리제도 구축
▪ 무인항공기 안전운항기술 개발 및 통합시범운용 공동 기획연구

3) 기술적 측면에서의 성공가능성

■ 핵심기술 수준 및 기술격차

- 본 연구 분야의 핵심기술 수준 및 기술격차를 조사하기 위해 산·학·연 전문가들을 대상으로 관련 기술의 실현시기, 기술수준, 기술성숙도 (TRL) 단계, 중요도 등을 조사함 (**'3.4 기술 수준 · 예측 조사' 참고**)

- 1세부 '구조물 검사를 위한 무인체 기술' 분야에서는 최고기술보유국 대비 71.8%의 기술수준을 가진 것으로 나타났고, 2세부 '무인체 연계를 통한 구조물 진단 기술' 분야에서는 68.0%의 기술수준을 가진 것으로 나타났으며, 3세부 '무인체 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술' 분야에서는 65.3%의 기술수준을 가진 것으로 조사됨

- 1, 2, 3세부 전체 기술수준의 평균은 68.4%로, 이는 120개 국가전략기술 전체를 종합한 우리나라의 전반적인 기술수준인 78.4%에 비하여 약 10% 가량 낮은 것으로 조사됨

- 최고기술보유국을 조사한 결과 미국 (58.7%)이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타났으며, 그 이외에 독일 (18.3%), 스위스 (9.2%)순으로 조사됨. 최고기술보유국국 대비 기술격차는 1세부 4.1년, 2세부 5.3년, 3세부 4.9년으로 (평균 4.8년) 우리나라 전 분야 기술격차 평균인 4.4년 대비 약 0.4년 정도 더 차이가 나는 것으로 조사됨

■ 기술경쟁력

- 동 사업의 기술은 핵심기술 수준 및 기술격차에서 살펴 본 바와 같이 선진국 대비 4.8년의 기술격차를 보이고 있으나 본 기획 결과를 기반으로 선제적 연구를 추진할 경우 대형 연구 과제라는 점과 실용화 및 상용화가 가능한 기술을 목표로 한다는 점에서 국내외적으로 기존 사례가 없는 기술개발이라는 경쟁력을 가질 것으로 판단됨

- 무인검사장비를 활용한 대형 사회기반시설물 안전성 진단 및 원격 유지관리 시스템 개발이라는 연구목표를 달성할 경우 최근 이슈로 대두되고 있는 구조물 붕괴로 인한 사고와 구조물 유지관리 비용 문제 등을 해결함으로써 대내외적으로 기술경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단됨

4) 기술적 타당성 소결

- 본 기획 결과는 기술개발 기획에 있어 각 세부과제별 연구목적 및 배경, 연구개발 목표, 기술개발 및 산업시장 동향, 기존 기술 활용방안, 선행 연구와의 차별성 등이 구체적으로 제시되는 등 연구 개발 계획의 완성도 및 적절성이 우수한 것으로 판단됨

- 기술로드맵 수립에 있어서도 연구단 목표, 세부과제 목표와 세세부과제 기술개발 내용간의 연계성, 최종성과물과의 연계성 등이 종합적으로 고려되어 세부과제별 TRM이 작성됨

- 타 과제와의 중복성에 있어서도 동 사업의 경우 기존의 무인체 기술을 응용하여 여러 시스템이 융합된 포괄적인 개념의 사회기반시설물의 안전성 진단 및 유지관리 기술개발 기획이 이루어지는 등 타 과제와 차별화된 기술을 개발하는 것으로 분석됨

6.3 경제적 타당성

■ 분석 목적

- 경제성 타당성 분석은 본 사업의 경제성, 경제적 파급효과, 과학기술적 파급효과 등을 종합적으로 조사·분석하는 것을 목적으로 하며, 주요 조사 항목은 다음과 같음.

예산의 적절성	예산 산정 근거의 타당성
	예산 규모의 적절성
경제성	비용분석
	편익추정
	비용-편익분석 (B/C 분석)
파급효과	과학기술적 파급효과
	경제사회적 파급효과

■ 분석 방법 및 내용

- 경제성 분석을 위해서는 사업 추진에 따른 편익, 그리고 편익 창출을 위해 투입된 사업비 및 운영비에 대한 구체적인 분석이 필요하며, 이는 세부적인 사업계획이 확정되고 해당 계획을 수행하기 위해 소요되는 비용과 계획이 성공적으로 종료되었을 때 얻을 수 있는 결과물이 가져오는 편익이 명확한 경우에 한하여 가능함

- 본 연구의 경우 공공시설 개선을 위한 기술개발사업이라는 특수성으로 인해 명확한 편익 추산에 한계가 발생함으로써 경제성 분석에 있어 몇 가지 가정을 설정하여 분석을 실시함

- 비용 및 편익 산정을 위해 기본 가정을 수립하여 정량적인 데이터를 산출하였으며, 비용편익분석에 있어서도 특정 가정을 수립하여 이를 바탕으로 분석을 실시함

1) 예산의 적절성

■ 예산 산정근거의 타당성

- 본 사업의 예산 산정은 기획위원회를 통해 각 세부과제별 최종 성과물의 특성 및 타 사업의 연구비 등을 종합적으로 고려하여 소요예산(안)을 확정하였으며, 이후 연구단 가용 예산을 고려하여 재조정 작업을 거쳐 최종 소요예산(안)을 확정함

- 성과물에 따른 Bottom-up 방식의 예산 산정과 Top-down 방식의 예산 조정 작업을 통해 예산을 산정함으로써 향후 연구 추진과정에서 발생 가능한 연구비 운영 위험요인을 사전에 대응함

- 각 과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 기술개발 주체에 따른

정부지원금 대비 민간부담금 규모를 산정하였으므로 현실성 있는 예산 산정이 이루어진 것으로 판단됨

■ 예산 규모의 적절성

- 본사업의 전체 소요 예산 규모의 적절성을 분석하기 위하여 기획 연구단에서 산정한 총 소요예산인 97.5억원 (**자세한 항목은 '5. 인력투입계획 및 소요예산 산정' 참고**)을 관련 유사 사업과 비교 분석을 실시함

- 비용 분석 대상으로 동 기술개발과 유사한 목표를 추구하고, 관련 주무부처가 일치하여 자금 지원의 일관성을 평가할 수 있는 '예방적 유지관리를 위한 지능형 친환경 통합 관리 기술 개발' 사업의 3년간 (2013, 2014, 2015년) 소요예산을 비교대상으로 선정하였으며, 분석에 있어 관련 기술 연계성은 본 보고서의 기술 분석 내용을 고려하여 판단함

- 그 결과 '예방적 유지관리를 위한 지능형 친환경 통합 관리 기술 개발' 의 사업비가 본격적으로 추진되는 3년간 (2013, 2014, 2015) 정부지원금이 132.24억원으로 조사되었으며, 이는 '무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발' 연구비의 3년간 정부지원금 75억원의 1.7632배 수준인 것으로 조사됨

- 이는 '예방적 유지관리를 위한 지능형 친환경 통합 관리 기술 개발' 사업과 '무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발' 사업의 연구범위의 차이 때문임

- 공통 연구범위로 유지관리 측면의 기술개발이 있으나 '예방적 유지관리를 위한 지능형 친환경 통합 관리 기술 개발' 사업은 시공 및 소재 측면에서의 기술개발을 연구범위에 포함하는 반면, '무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발' 사업은 무인체 측면에서의 기술 개발을 연구범위에 포함하기에 연구범위 차이 발생

- 이에 본 분석에서는 공통 연구범위에 해당되는 '세부과제 3'을 서로 비교한 결과, '무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관린 시스템 개발' 의 경우 연 평균 정부지원금이 7.5억 원으로 유사 사업인 '지능형 친환경 교량 기술개발'의 경우 연 평균 정부지원금의 16.588억원보다 9.355억원 낮은 것으로 조사되어 본 연구의 예산 규모 및 편성이 적절한 것으로 판단됨

2) 경제성

■ 비용분석

- 본 조사에 있어 비용 산출은 본 사업에서 개발하고자 하는 기술의 개발에 소요되는 비용으로, 기획연구를 통해 산정된 연구비 소요예산(안)만을 고려하며, 이 경우 연구비 소요예산(안)을 2016년 기준으로 할인율에 따라 현재가치화 하여 산출함

- 연구개발 비용 산정을 위해 먼저 본 기획연구를 통해 산정된 연구비 소요예산(안)을 조사한 결과 3년 동안 총 97.5억원의 비용이 산정됨

- 이에 2016년을 사업초기 년도로 하여 연차별 소요예산을 2016년 기준으로 3.45% (3년 만기 국고금 할인율)와 6.50% (한국개발연구원 지정 사회적 할인율) 할인율을 적용하여 연구개발을 위한 소요비용을 산정함

- 그 결과 다음과 같이 '무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발' 에 소요되는 총 비용은 할인율 3.45%인 경우 93.6343억원, 할인율 6.5%인 경우는 90.4802억원으로 산출됨

(단위: 억원)

총 연구비	할인율	
	3.45%	6.50%
97.5	93.6343	90.4802

■ 편익 추정

- 본 국가연구개발사업은 SOC사업이라는 특수성과 수요자가 불특정 다수라는 특성으로 인해 정량적인 편익 산정에 한계가 있음. 이에, 본 사업의 편익추정에 있어 다음과 같은 절차에 따라 일부 가정을 수립하여 편익을 추정함

■ 1차 편익 추정

- 본 조사의 경제성 분석은 연구개발 추진을 통해 연구목표인 인력을 대체하는 무인검사 장비를 활용한 대형구조물(교량) 진단 및 유지관리기술 개발하는 것으로 이에 따른 기존 소요 비용을 산정함

- 기존 소요 비용 산정에 있어서, 안전 진단 요구 인력은 국토교통부가 고시한 '안전점검 및 정밀안전진단 대가(비용산정) 기준'으로 산정함

- 시장에 따른 임금 성장의 가능성을 고려하면서, 2016년에 한국엔지니어링협회에서 공고한 기술자의 인건비 213,071원보다 상향 조정된 230,725원을 평균적 인건비로 사용함 (매년 1%의 인건비 상승을 고려하여 2024년의 예상 인건비를 추정함)

- 인건비뿐만 아니라 점검 및 진단업무의 수행에 필요한 직접경비(여비 및 체제비, 위험수당)는 2013년도의 110,000원을 고려하여, 122,724원으로 추정함. (매년 1%의 인건비 상승을 고려하여 2024년의 예상 직접경비를 추정함)

- 마지막으로 본 연구의 경우 기술개발 결과를 기반으로 테스트베드를 실시하는 점을 고려하여 최소한의 기준으로 최종 편익은 Licensing Executives Society에서 제시한 이익의 25%~33% rule의 기술기여도를 적용하여 산정함.

- 편익 추정에 본 사업의 목표인 기대효과인 교량 진단 및 점검에 있어서 무인 장비로 인한 인건비 절감을 조사함. (1km 1개 교량 기준)

- 추가적으로, 분석의 신뢰성을 높이기 위하여, 실제의 일반교량(지당교, 금당교)과 특수교량(남해대교, 거북선대교)의 기존의 유지관리비용을 할인하여 산정하고 무인검사장비를 이용한 유지관리비용을 할인하여 산정해서, 할인율을 적용한 비용절감액을 산정함.

- 실제 사례 분석에 대해서는, 저성장 경제의 특성을 현실적으로 반영하여, 앞서 사용한 할인율보다 낮은 3%의 할인율로 가정함. 그리고 분석기간은 기술발전에 따른 교량 수명의 연장을 고려하여 50년으로 적용함

점검 및 진단	시행 주기 (년)	10년간 시행 (회)	1회당 기술자 (명)	1년 절감비용 (원)	총 절감비용 (원)
정기점검	0.5	20	17	6,008,633	60,086,330
정밀점검	2	5	67	23,681,083	236,810,830
정밀안전진단	5	2	241	85,181,209	851,812,090
계	7.5	27	325	114,870,925	1,148,709,250

- 그 결과, 다음 표와 같이 각 목표 달성에 따른 절감 비용이 2012년도 가격기준으로 할인율이 3.45%일 경우 990,790,609원, 할인율이 6.50%일 경우 879,463,770원으로 조사됨

(단위: 원)

	할인율 3.45%	할인율 6.50%
사용자 총 비용 절감	990,790,609	879,463,770

- 이를 기반으로 1개 교량 점검 및 진단에 따른 편익을 기술기여도(비용절감액의 25%~33%)를 고려하여 산정한 결과 다음과 같이 기여도 및 사용자 비용, 할인율에

따라 4가지 결과 값으로 추정됨

(단위: 원)

	할인율 3.45%		할인율 6.50%	
기술기여도	25%	33%	25%	33%
사용자 비용	247,697,652	326,960,901	219,865,943	290,223,044

- 실제 일반교량인 지정교와 금당교를 테스트베드로 정하여, 유지관리비용절감액을 할인율(3%)를 적용하여 산정한 결과, 총 7.5억 원의 비용절감액이 산정됨. 이어서, 특수교량인 남해대교와 거북선대교를 테스트베드로 정하여, 유지관리비용절감액을 할인율(3%)를 적용하여 산정한 결과, 총 11.82억원의 비용절감액이 산정됨

대상교량	기존의 유지관리	무인검사장비를 이용한 유지관리	절감액 (절감율)
일반교량 (지정교 / 금당교)	41.3억원	33.8억원	7.5억원 (18.2%)
특수교량 (남해대교 / 거북선대교)	57.1억원	45.3억원	11.82억원 (20.7%)

- 위의 실제 교량에 대한 세부적인 비용분석 내용 및 결과는 '별첨2. 경제적 파급효과 분석 결과' 에서 상세히 기술됨

■ 2차 편익 추정

- 2차 편익은 '시설물 안전점검 및 정밀안전진단 관련 시장규모 및 시장점유율' 등을 고려하여 기술개발 완료 후 10년 동안 (2020년~2029년)의 편익을 산정함

(단위 : 억원, %)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	종합
시설물 안전점검 및 정밀안전진단 기술에 따른 건설 산업 경제적 효과											
시장 규모	1,000	1,010	1,020	1,041	1,061	1,072	1,083	1,093	1,104	1,115	10,599
시장 점유율	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	43.2
시장 점유규모 (A)	340	364	388	416	446	472	498	525	552	580	4,580
무인체 관련 기술에 따른 건설 산업 경제적 효과											
시장 규모	6,000	6,060	6,121	6,182	6,243	6,306	6,369	6,433	6,497	6,562	62,773
시장 점유율	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	18.7
시장 점유규모 (B)	300	485	673	866	1,061	1,261	1,465	1,673	1,884	2,100	11,780
종합 (A+B)	640	848	1,061	1,282	1,507	1,733	1,963	2,197	2,436	2,680	16,347

- 건설기술의 성숙도가 성장기임을 고려할 때 특허 수명 주기 및 기존 연구과제의 편익 산정 기간 등을 종합적으로 고려할 경우 기술개발 완료 후 편익 도출 기간을 10년으로 산정함

- 2차 편익 또한 본 연구가 기술개발 결과를 기반으로 테스트베드를 실시하는 점을 고려하여 최소한의 기준으로 이익의 25%~33% rule의 기술기여도를 적용하여 산정함

- 본 시장 규모는 시장 규모 상승률이 선형 증가한다고 가정 하에 건설 IT 융합산업 시장 규모와 무인체 시장 규모 등의 자료를 활용하여 산정함

- 장기간 정체되어 있는 국내 건설시장 규모를 반영하여, 시설물 안전점검 및 정밀안전진단 시장의 규모의 1000억원 대에서의 정체를 가정함. (국내 경제의 저 성장세를 반영하여, 매년 시장 성장률을 1%로 가정함)

- 2022년까지 무인체 시장의 규모가 총 6000억원에 도달할 것이라는 산업통상자원부의 조사결과를 반영하여, 6000억원대의 시장규모를 가정함. (국내 경제의 저 성장세를 반영하여, 매년 시장 성장률을 1%로 가정함)

- 도출된 결과를 2016년도 가격기준으로 할인율이 3.45%일 경우와 할인율이 6.50%일 경우로 세분화하여 분석한 결과 각각 13,554억원, 11,621억원의 편익이 추정됨. 이를 기반으로 기술기여도(이익의 25%~33%)를 고려하여 편익을 산정한 결과 다음과

같이 기여도 및 할인율에 따라 다음과 같은 결과가 추정됨.

(단위: 억원)

		할인율 3.45%	할인율 6.50%
기술기여도	25%	3,388.5	2,905.2
	33%	4,472.8	3,834.9

■ 1차 비용-편익분석

- 앞서 도출된 비용분석 결과와 편익 분석 결과를 이용해 비용편익분석 (B/C비율)을 수행한 결과 본 연구개발과제가 성공하여 연구 목표를 달성하여 1개 교량에 개발된 기술을 적용할 경우 정부지원금 1억 원당 최소 0.0293억원에서 최대 0.0436억원의 경제적 효과가 발생할 것으로 판단됨.

- 본 사업의 경우 세부과제간 연계성이 높은 특성으로 인해 세부과제 성공에 따른 편익 산출의 한계가 발생하여 과제별 성공에 따른 B/C 값을 산정하지 않음.

- 이는 최소 35개 이상의 교량에 본 연구 결과를 적용시킬 경우 1.03~1.53배의 경제적 효과가 발생되어 경제적으로 타당하다고 볼 수 있음.

- 2020년부터 본격적으로 노후화되어 점검 및 안전진단이 필요한 교량의 수가 크게 급증하므로 최소 35개 이상의 교량을 점검함에 있어서 경제성이 있다는 결론은 합리적임. (2013년 기준으로 30년 이상 경과된 교량은 242개교 이며 20년~30년 경과된 교량은 628개, 10년~20년 경과된 교량은 3028개, 10년 미만 경과된 교량은 7249개)

(단위: 편익/정부지원금 1억원당)

	기술기여도 25%		기술기여도 33%	
할인율	3.45%	6.50%	3.45%	6.50%
사용자 비용	1.156	1.526	1.026	1.354

■ 2차 비용-편익분석

- 비용분석 결과와 2차 편익 분석 결과를 이용해 비용편익분석 (B/C비율)을 수행한 결과 본 연구개발과제가 성공하여 연구 목표를 달성하였을 경우 기술개발 완료 후 10년 동안 (2020년~2029년)의 편익은 38.7~59.6배의 경제적 효과가 발생할 것으로 판단됨

- 본 사업의 경우 세부과제간 연계성이 높은 특성으로 인해 세부과제 성공에 따른 편익 산출의 한계가 발생하여 과제별 성공에 따른 B/C 값을 산정하지 않음

(단위: 편익/정부지원금 1억원당)

		할인율 3.45%	할인율 6.50%
기술기여도	25%	45.2	38.7
	33%	59.6	51.1

3) 파급효과

■ 과학기술적 파급효과

- ‘무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발’이 현 기획된 목표로 추진될 경우 현재 건설투자 총액 대비 SOC 유지관리 투자율인 14.6% (2012년 기준)에 불과한 상황에서도 인건비절감으로 인한 경제성 증대로 투자비율 격차를 줄이면서, 자체 기술을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단됨 (서유럽의 경우 이미 2008년 30% 이상의 투자율 확보)

- 특허 분석 결과에서 알 수 있듯이 동 분야의 경우 출원인과 출원건수가 모두 증가하는 성장기로 향후 지속적인 연구개발을 통해 특허 출원의 질 향상이 이루어지면 관련 분야의 특허 선점 효과를 이룰 수 있을 것으로 판단됨

- 과제 최종성과물의 지적재산권 성과, 인증, 정책 반영 뿐 아니라 연구성과 확산 노력을 위한 홍보를 강화함으로써 기술개발에 따른 과학기술적 파급효과는 높게 창출될 것으로 예상됨

- 이외에도 관련 분야 연구 인력의 양적 증가 외에 박사 및 석사 등의 전문인력 양성에도 기여할 것으로 판단되며, 대형 프로젝트 추진으로 인해 연구 성과와 노하우 축적에도 많은 도움이 될 것으로 판단됨

■ 사회경제적 파급효과

- ‘무인검사장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템’ 기획연구의 경제사회적 파급효과 분석을 위해 연구개발 추진으로 인한 산업연관분석을 총 연구비 기준으로 수행함. (단, 총괄(연구단운영)에 대해서는 분석 대상 항목에서 제외함)

- 2007년 한국은행이 산정한 기준에 따라서, 건설업의 생산유발계수는 2.055, 부가가치유발계수는 0.789 로 산정함

- 본 연구의 파급효과로 ‘구조물의 점검 및 안전진단의 무인화’는 현장에서 직접 일하는 인력을 줄이고, 연구 및 개발에 종사하는 인력을 늘리는 효과 때문에, 취업유발계수는 기존의 유발계수의 10.7의 절반인 5.35로 평가하여 산정함

- 파급효과 분석을 통해 189억원의 생산유발효과와 72.6억원의 부가가치유발효과, 49명의 취업유발효과가 발생할 것으로 예상됨

- 우리나라와 OECD 회원국과 개발도상국의 경우에 있어서, 구조물 유지관리에 대한 GDP의 투자 비율이 각각 0.26%, 1.8%, 0.3%인 상황임을 고려한다면, 예상되는 생산유발효과와 부가가치유발효과 및 취업유발효과는 더욱 증가 할 수 있을 것으로 예상됨

	연구비 (억원)	파급효과 종합		
		생산유발효과 (억원)	부가가치 유발효과(억원)	취업유발효과(명)
연구단	100	189.0	72.6	49
1세부	30	61.8	23.8	17
1.1.1	7	14.4	5.5	4
1.1.2	3	6.2	2.4	2
1.2.1	4	8.2	3.2	2
1.2.2	3	6.2	2.4	2
1.3.1	10	20.6	7.9	5
1.3.2	3	6.2	2.4	2
2세부	30	65.6	25.2	16
2.1.1	6	12.3	4.7	3
2.1.2	6	12.3	4.7	3
2.2.1	4	8.2	3.2	2
2.2.2	6	12.3	4.7	3
2.3.1	4	8.2	3.2	2
2.3.2	6	12.3	4.7	3
3세부	30	61.6	23.6	16
3.1.1	6	12.3	4.7	3
3.1.2	6	12.3	4.7	3
3.2.1	6	12.3	4.7	3
3.2.2	6	12.3	4.7	3
3.3.1	3	6.2	2.4	2
3.3.2	3	6.2	2.4	2
총괄 (연구단운영)	10	-	-	-

4) 경제적 타당성 소결

- 무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 기획연구 소요예산의 경우 각 세세부과제의 연구비를 취합하는 과정에서 연구단 가용 예산 등을 종합적으로 고려하는 등 성과물에 따른 Bottom-up 방식의 예산 산정과 Top-down 방식의 예산 조정 작업을 통해 예산이 산정됨

- 예산 규모에 있어서도 유사 연구과제인 '지능형 친환경 교량기술 개발'대비 연평균 17.044억 원의 적은 정부지원 예산을 산정한 것으로 조사됨

- 비용-편익 분석을 통한 경제성 분석에서도 교량 1개 건설에 따른 경제성 분석 결과와 시장규모를 고려한 경제성 분석 결과 모두 본 기술 개발이 성공할 경우 최소한 1.026~1.354 배의 경제적 성과가 창출될 것으로 나타남

- 실제 일반교량인 지정교와 금당교를 테스트베드로 정하여, 유지관리비용절감액을 할인율(3%)를 적용하여 산정한 결과, 총 7.5억 원의 비용절감액이 산정되었으며, 특수교량인 남해대교와 거북선대교를 테스트베드로 정하여, 유지관리비용절감액을 할인율(3%)를 적용하여 산정한 결과, 총 11.82억원의 비용절감액이 산정됨

- 이외에 과학기술적 파급효과 측면에서 동 사업은 관련 기술개발 역량 향상 뿐 아니라 관련 분야의 특허 선점 효과에도 기여할 것으로 판단되며, 경제사회적으로는 본 연구개발을 통해 177.3억 원의 생산유발효과와 71.6억 원의 부가가치 유발효과, 49명의 취업유발효과가 발생될 것으로 분석됨

7. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

7.1 과제 제안요구서 (RFP)

7.1.1 연구단 RFP

과제명	무인검사장비 기반 대형구조물(교량) 유지관리 연구단
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비를 활용한 대형구조물(교량) 진단 및 유지관리기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ **'안전제일'로의 국정 패러다임 변경** - 연이은 구조물 사고 발생으로 인해 국민들의 부정적 시각과 불신이 팽배 - 국민 안전 의식도가 과거에 비해 향상되었으나 개선 여지가 많음 - 시설물 안전 및 유지관리 기술 수준이 최고기술보유국 대비 79.2% - 이를 개선하기 위해 국민안전처가 설립되는 등 국정에서 안전이 우선 고려 됨 ▪ **구조물 수량의 급격한 증가** - 국내 전체 구조물 수량이 향후 10년간 현재보다 40% 증가할 것으로 전망 - 늘어나는 구조물 수에 비해 관리 인력이 부족하고 향후 대규모 보수가 필요하여 경제적 부담 증가 예상 ▪ **30년 이상 노후화 구조물 급증** - 노후화 구조물이 향후 10년간 현재보다 7배 증가할 것으로 전망 - 높은 관심이 요구되는 B, C 등급 구조물의 수가 큰 폭으로 증가 예상 ▪ **유지관리 비용 증가** - 유지관리 비용이 연평균 14% 증가 전망 - 점검 및 진단에 소요되는 비용의 경우, 향후 5년간 3배 증가 예상 ▪ **구조물 유지관리 인력의 감소 및 기피** - 국내 검사인력 1인당 25개 구조물 담당, 평균연령 44세 - 유지관리 업종이 3D 업종으로 인식되면서 젊은층의 기피 심각 - 향후 숙련된 전문 인력들이 대거 은퇴 시, 구조물 유지관리 산업의 공백 우려
□ 기술동향	▪ **무인체 기술** - 2000년대 후반부터 전세계적인 개발이 진행되고 있으며 연구는 미국,

특허는 일본이 주도하고 있는 경향을 보임
- 한국은 논문수에서 세계4위를 차지하고 있으며, 특허에서도 빠르게 성장하고 있음
- 경로계획, 영상처리, 협동제어, 충돌회피 등 무인체 제어 및 조정에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있음
- 활발히 진행되고 있는 무인체 분야의 연구 결과를 구조물 유지관리 시스템 개발에 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 위해 구조물 유지관리 및 안전진단에 최적화되어 작업을 수행할 수 있도록 다용도 정밀 매니퓰레이션, 구조물 맵핑 기술, 자동 탐색 경로 계획 기술, 무인체 시스템 운영체계 등의 기술 개발이 필요함

▪ 구조물 진단 기술
- 비파괴 검사 기술은 기계, 항공, 조선, 건설 등의 산업 전반에서 활용이 가능하기에 활발히 연구되고 있으며 인력 기반 점검을 대체하기 위한 자동 검사 기술 연구가 활발함
- 해외의 경우 타 산업에 비해 건설 분야에 대한 적용은 초기 단계임
- 기존 육안검사 및 외부 손상점검의 한계를 극복하기 위한 영상 방식의 진단기술이 비약적으로 발전중임
- 센싱 결과를 사용자가 직관적으로 파악할 수 있는 결과로 제공하는 기술에 대한 수요가 높아지면서 영상처리 관련 연구가 폭발적으로 성장하고 있음
- 비접촉식 센싱 방식에 대한 관심이 높아지면서 비접촉식 센싱 기술인 열화상 기술, 레이저 진동계 기술 관련 논문 수가 증가하는 추세임
- 접촉식 내장형 센서에 관한 연구도 꾸준히 진행되고 있으며 특히 유도초음파 기반의 내장형 센서에 대한 연구가 활발함
- 영상처리 및 비접촉 센싱을 통한 외부상태 평가 기술, 비접촉 센싱 데이터와 내장형 센서 데이터의 연계를 통한 국부손상 감지 기술, 기존 상시 계측 데이터 연계를 통한 구조물 안정성 평가 기술 등의 기술 개발이 필요함

▪ 시설물 평가 및 유지관리 기술
- 연구와 특허 모두 미국이 주도하고 있으며, 일본의 경우 낮은 논문비율에도 불구하고 높은 특허비율을 갖고 있음
- 2000년대 초반까지만 해도 구조물 유지관리와 관련하여 비파괴검사 관련 논문의 수가 압도적이었으나 2000년대 후반에 들어서 모니터링 분야의 논문이 비파괴검사 관련 논문을 앞지름. 이는 구조물 유지관리 방식이 기존의 비파괴 검사에서 구조물 모니터링으로 전환되고 있다는 점을 보여줌
- 유지관리 수행의 자동화와 시스템 안정성 향상을 위해 기존의 접촉식 센서 네트워크 기반의 유지관리 시스템이 아닌 무인체를 활용한 비접촉식 센싱 기반의 모니터링 시스템 등의 기술 개발이 필요함
- 사회 정보화와 함께 데이터의 양이 기하급수적으로 늘어나면서 수집한 데이터를 효과적으로 저장 및 관리하는 클라우드 기술에 대한 관심이

높아지고 있음
- 대용량 데이터를 처리하는 과정에서 부하를 막기 위한 메모리관리 및 최적화 기술, 사용자의 판단 없이 방대한 데이터를 컴퓨터가 자동으로 처리할 수 있는 기계학습 기술 역시 활발히 개발되고 있음
- 무인검사장비를 활용하여 막대한 양의 데이터를 수집할 수 있기에, 수집한 데이터를 효과적으로 가공하여 신뢰도 높은 구조물 상태/성능 데이터를 얻고 유지보수 우선순위 도출이 가능하도록 유지관리 기술을 개발할 필요가 있음

3. 연구개발 내용	

1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술 개발

▪ **무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술**
- 구조물 외관 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
- 외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발

▪ **무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술**
- 구조물 내부 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
- 밀폐된 내부에서의 무인검사장비 자율운행 플랫폼 개발

▪ **무인검사장비 운영 및 원격통제 기술**
- 무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발
- 무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 전송 및 급속충전 제어 데이터 송수신 기술

2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술 개발

▪ **비접촉식 강구조물 상태 진단 기술**
- 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술개발
- 2D/3D 영상을 활용한 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 기술개발

▪ **비접촉식 콘크리트 구조물 상태 진단 기술**
- 2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술 개발
- 2D/3D 영상 및 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술 개발

▪ **기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술**
- 내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 세굴 검사 기술 개발
- 매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부손상 감지 기술 개발 (피로균열, PT텐던 장력측정)

3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 개발

▪ **무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술**

- 클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영 기술 개발
- 무인검사장비 계측 데이터 맵핑 및 가시화 기술 개발

▪ **무인검사장비 계측 데이터와 기구축 DB연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술**

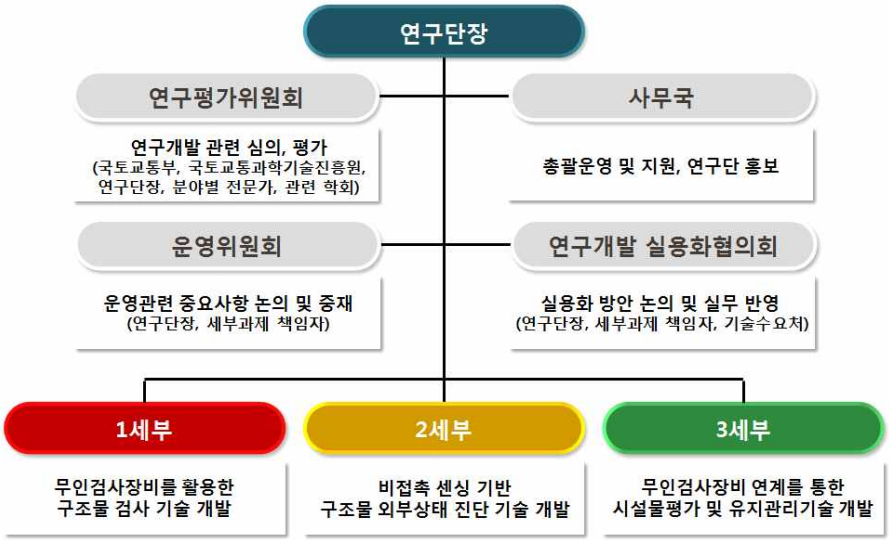
- 무인검사장비 계측 데이터기반 성능저하모델 및 건전도평가 기술 개발
- 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계형 성능등급산정 기술 개발

▪ **무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립**

- 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발
- 무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립

4. 연구개발 추진방법

□ 추진체계



▪ 무인체, 센싱, BIM/클라우딩의 다양한 분야의 융복합 연구를 총괄해야 하므로 각 과제별로 연계되어 상호 보완적으로 연구개발이 이루어지도록 구성

▪ 연구단의 총괄운영 및 지원, 홍보를 위한 사무국을 구성하고 연구단 운영관련 중요사항 심의를 위한 운영위원회 구성

▪ 과제의 객관적인 평가를 위해 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원, 연구단장 및 분야별 전문가, 관련 학회들로 구성된 연구평가위원회 구성

▪ 연구개발 실용화협의회를 구성하여 연구개발 성과의 실용화, 기술이전을 적극 유도하고 기술수요처의 요구사항 및 개선항목을 파악, 이를 실무에 반영하여 실용화 방안을 적극적으로 유도함

□ 추진전략

▪ **과제간 연계성 강화**

- 융복합연구의 진행 중 과제들 사이의 연계과정에서 발생할 수 있는 문

제들에 대해서는 운영위원회 개최를 통해 이를 논의, 중재하여 연구진행 방향을 제시할 수 있도록 함
- 과제간 긴밀한 기술교류 및 연구진행 상황 공유를 통해 참여 연구진 및 과제간 연계성 강화

▪ **테스트베드의 조기 구축**
- 개발 기술의 구체화, 검증 및 보완을 위해 테스트베드의 조기 구축
- 주요 사회기반 시설물의 유지관리를 담당하는 한국시설안전공단, 한국도로공사, 지방자치단체 등을 과제에 참여시켜 테스트베드 조기 구축이 용이하도록 함
- 연구개발 실용화협의회와 연구평가위원회를 소집하여 구축된 테스트베드에서 개발 기술의 시연 및 평가 수행

▪ **개발 기술의 실용화 및 기술이전 추진**
- 연구개발 실용화협의회를 구성하여 효과적인 연구개발성과의 실용화, 기술이전 방안을 논의하고, 기술수요처의 요구사항 및 개선항목을 파악하여 이를 과제진행에 적극 반영함
- 기술수요처와 해당 기술개발기관의 매칭을 통해 향후 기술이전 및 상용화가 용이하도록 함
- 주요 성과지표에 특허출원, 기술이전을 포함시켜 특허출원 및 기술이전의 촉진
- 과제 중에 개발된 기술의 국내외 특허출원과 관련된 비용을 연구단에서 지원할 수 있도록 함

□ 운영전략

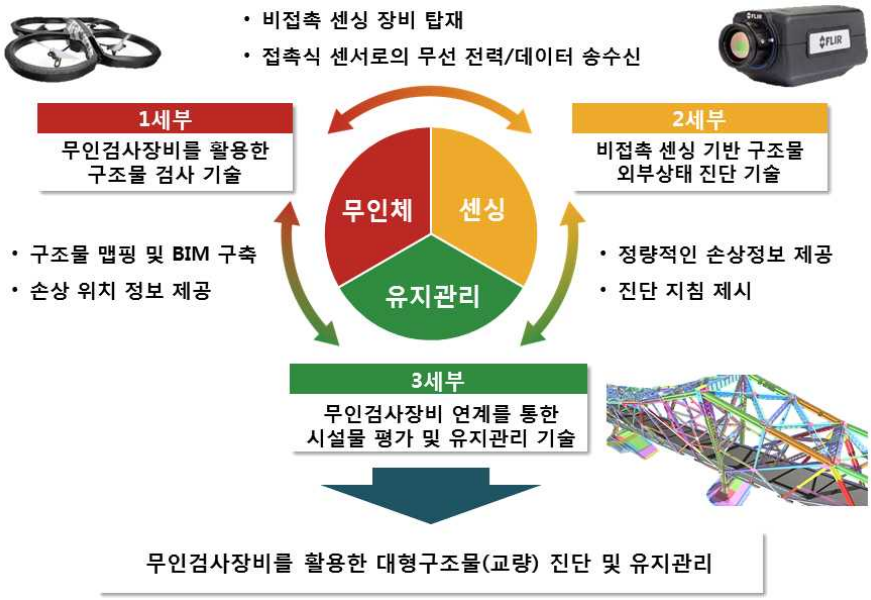
▪ **과제간 연계성 강화를 위한 연구진간 유기적인 협력체계 구축**
- 과제간 정기적 기술 교류 및 연구진행상황 공유를 통한 과제간의 긴밀한 연계성 확보 (세부별 정기회의, 연구단 정기 워크숍 개최)

▪ **목표달성 수준에 대한 평가를 통한 과제 관리 체계 구축**
- 세부과제 구성 및 진도 점검 등의 권한과 연구자간 네트워크 구축을 위하여 연구단장의 권한을 강화하고, 연구단의 정기 및 특별 회계감사를 통해 예산 집행 및 배분의 적정성 등에 대한 검증 절차 확립

▪ **성과위주의 연구추진 체계 구축**
- 통합적인 성과관리를 위해 인력, 예산 등 자원 투입부터 성과물 도출과정, 산출물, 최종성과까지 이르는 연구단의 전반적인 활동에 걸친 성과지표를 설정
- 연구평가위원회를 통해 최종목표 달성에 필수적인 핵심요인과 성과지표에 대해서 성공여부를 측정 및 평가
- 연구단 운영에 있어 관성에 의한 연구진행을 방지하기 위해 2차년도 종료 후 중간 평가를 통해 실적이 미비할 경우, 제재 및 보충을 실시.
- 연차별 성과목표 설정을 통해 계획 대비 목표달성 정도를 파악하는 자료로 활용함

- 연차평가는 매년 1회 실시하는 것을 원칙으로 한, 특수한 상황의 경우 1년에 2회 평가도 가능하도록 함용하고 미흡한 부분을 보완, 개선하는데 활용함

□ 세부과제간 연계



▪ 1세부/2세부 연계

- 2세부에서 개발하는 구조물 진단을 위한 센싱 장비 탑재가 가능하도록 1세부의 무인검사장비 및 2세부의 진단 시스템이 구성될 수 있도록 함
- 2세부에서 개발하는 접촉식 센서와의 무선 전력/데이터 송수신이 가능하도록 1세부의 무인검사장비 및 무선 전력/데이터 송수신 시스템 구성될 수 있도록 함

▪ 2세부/3세부 연계

- 3세부에서 신뢰도 높은 시설물 평가 및 유지관리가 가능하도록 2세부에서 정량적인 손상정보들을 제공할 수 있도록 함
- 2세부에서 효율적인 구조물 진단이 가능하도록 3세부에서 시설물 평가 및 유지관리를 위한 진단 지침 및 필요한 정보를 명확히 제시하도록 함

▪ 3세부/1세부 연계

- 1세부의 무인검사장비 검사위치 추정을 위한 대상구조물 맵핑 정보를 3세부에서 구조물 유지관리를 위한 BIM 구축에 활용할 수 있도록 함. 또한 3세부에서 구축된 BIM 정보를 1세부의 무인검사장비의 위치추정에 활용할 수 있도록 함
- 1세부의 무인검사장비가 제공한 손상 위치 정보를 바탕으로, 3세부에서 손상정보 가시화 및 이를 통한 구조물 유지관리가 가능할 수 있도록 함

5. 최종성과물	
	▪ 1세부 성과물 - 구조물 외관 조사용 무인검사장비 시작품 - 외부환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품 - 구조물 내부 조사용 무인검사장비 시작품 - 밀폐된 내부 환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품 - 무인검사장비의 운영 및 원격통제가 가능한 이동관제센터 시작품 - 무선 전력 및 급속충전 제어 데이터 송수신 모듈 시작품 ▪ 2세부 성과물 - 비접촉식 강재 도막두께 및 부식손상 정량화 장비 시작품 - 비접촉식 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 장비 시작품 - 비접촉식 콘크리트 표면 균열 정량화 장비 시작품 - 비접촉식 콘크리트 백태, 박락 정량화 장비 시작품 - 세굴 모니터링 시스템 시작품 - 무인검사장비 연계 피로균열, PT텐던 장력 측정 센서 시작품 ▪ 3세부 성과물 - 클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 시작품 - 무인검사장비 계측 데이터 맵핑 및 가시화 S/W 시작품 - 무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼 - 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능 등급화 매뉴얼 - 무인검사장비 기반 안점점검 운영지침 매뉴얼 - 무인검사장비 기반 획득 데이터의 통합관리 표준코드 체계 매뉴얼
6. 연구기간 및 지원예산	
□ 전 체	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 100억원(정부출연금 : 75억원 이내) ▪ 세부별 및 과제별 예산은 연구신청자가 제안 시 배분하여 산정 가능
7. 기 타	
	▪ 성과물별 상세 성과목표(지표)별 달성 목표치 및 가중치, 실용화 방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제안하여야 하며, 이는 과제 선정평가 뿐만 아니라 선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검, 관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨 ▪ 연구신청자는 RFP 및 사전기획연구에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발계획서를 작성하되, 과제의 목적 달성에 반드시 필요한 경우, 연구 내용의 일부를 수정하여 제안할 수 있음

7.1.2 1세부 RFP

과제명	1세부: 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 구조물 외부 검사가 가능한 무인검사장비 개발 ▪ 구조물 내부 검사가 가능한 무인검사장비 개발 ▪ 무인검사장비의 운영 및 원격통제가 가능한 이동관제센터 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 구조물 외관 조사에 적용할 수 있는 무인체로서 무인기(드론) 기술이 가장 유망하며 구조물 검사 및 유지보수 업무의 안정성과 효율화에 기여할 수 있으며, 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 기술에 대한 국산화 전무, 세계적으로 실용화된 기술이 개발된 사례 거의 없음 ▪ 무인체 기반 구조물 유지관리 기술에 대한 국산화가 전무하며, 세계적으로 실용화된 기술이 개발된 사례 거의 없음. 무인체 자동 항법 운행 요소 기술들의 국내외 기술격차 (4.3년)가 점차 확대 중. 기술 선점을 통해 세계 시장 주도 및 고부가가치 산업으로 발전 가능 ▪ 인프라 시설물의 내부 조사에 있어서는 협소한 공간적 제약으로 인하여 비행체 운영 보다는 주행 기반의 무인체 운영이 효과적임. 또한 구조물 내부환경에서 장애물을 극복할 수 있는 주행형 무인체에 넓은 작업반경을 갖는 매니퓰레이터를 결합하여 기술 구현 필요 ▪ 밀폐된 구조물 내부 환경에서 GPS 기반 항법 불가. GPS 음영지역에서의 항법은 구조물에 설치된 센서의 인식에 의한 추정 위치를 사용 ▪ 접근이 용이하지 않은 구조물의 내/외부검사를 위한 무인검사장비로의 무선 전력공급 및 급속 충전, 데이터 전송기술에 대한 연구 필요 ▪ 구조물 진단환경을 정의하고 운용시 발생할 수 있는 위험요인을 사전에 점검하며 안전성을 확보하기 위해 무인체 원격통제기술이 필요함
□ 기술동향	▪ 구조물 진단 목적의 무인기와 관련하여 해외에서는 TRL6단계의 기술성숙도로 파일럿 규모 시작품 제작 및 성능평가가 수행되고 있으나, 국내는 무인기 제조 및 기술력 면에서 열세로 부품 대부분 해외 의존, 실험실 규모의 성능 평가 수준 ▪ 한국도로공사에서 PSC Box 교량 내부 점검을 위한 주행 로봇이 개발이 되었으나, 매니퓰레이터가 존재하지 않아 작업이 필요한 경우에는 로봇 이외의 추가의 인력이 요구됨. 미국의 I-robot 사에서 소형 정찰감시 로봇으로 510 PackBot이 개발되었으며, 8 자유도, 길이 187cm의 로봇 매니퓰레이터가 장착이 가능하나, 고가이며 군사용으로 특화되어있음 ▪ 한국생산기술연구소의 경우 상하수도 관내의 모니터링을 위하여 비전 기반 기법을 개발. 이때 표면에 아무 정보가 없는 시설물 내의 효과적 맵핑을 위하여 이동시 페인트를 인위적으로 분사하여 길을 기억하

고 환경 맵핑을 효과적으로 진행

- KAIST에서는 'TERA-DRONE1'이라는 무선충전 스테이션을 통한 드론 무선 충전 기술을 개발하였고 미국 WiTricity 에서는 무선 충전 패드를 통한 드론 무선 충전 기술 개발 및 드론에 부착된 무선 충전 패드를 통해 모바일 기기 및 센서 무선 충전 기술 개발
- 이동관제센터는 국내에서 대한항공, 퍼스텍, 유콘시스템에서 다년간 무인체 체계개발을 통하여 핵심기술을 보유하고 있음

3. 연구개발 내용

- **무인검사장비를 활용한 구조물 외부 검사 기술**

- 구조물 외관 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
- 외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발

- **무인검사장비를 활용한 구조물 내부 검사 기술**

- 구조물 내부 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
- 밀폐된 내부에서의 무인검사장비 자율운행 플랫폼 개발

- **무인검사장비 운영 및 원격통제 기술**

- 무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발
- 무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 및 계측 데이터(영상 등) 송수신 기술 개발

- **개발 기술의 테스트베드 적용 및 검증**

4. 연구개발 추진전략

□ 추진전략

- 설계 단계에서 검증된 부품을 적용할 수 있도록 하며, 하위 모듈 단계에서부터 단계별 철저한 기술검증을 실시하는 등, 개발 품질을 확보하여 기술적 위험요인에 대한 관리체계를 구축함
- 검사 플랫폼을 중심으로 하드웨어, 소프트웨어, 통신부 등에 대한 인터페이스 및 프로토콜을 사전에 조율하여 시스템 통합 시 시행착오 과정을 최소화
- 무인체를 안전하고 효율적으로 운용할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어가 융합된 시스템을 개발하여야 하므로 수요현장 운용환경 및 조건이 명확히 정의되도록 함

□ 타 세부와의 연계

- 2세부에서 개발하는 구조물 진단을 위한 센싱 장비 탑재가 가능하도록 1세부의 무인검사장비 시스템이 구성될 수 있도록 함
- 2세부에서 개발하는 접촉식 센서와의 무선 전력/데이터 송수신이 가능하도록 1세부의 무인검사장비 및 무선 전력/데이터 송수신 시스템 구성될 수 있도록 함
- 1세부의 무인검사장비 검사위치 추정을 위한 대상구조물 맵핑 정보를 이용하여 3세부에서 구조물 유지관리를 위한 BIM 구축에 활용할 수 있도록 함

5. 최종성과물	
	▪ **구조물 외관 조사용 무인검사장비 시작품** - 제어정밀도 10cm, 가반하중 2kg 이상 - 체공시간 1시간, 실시간 통신거리 3km - 풍속 10m/s 에서 안정적 운용 가능 ▪ **외부환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품** - 무인검사장비의 위치오차 및 접근거리 0.5m - 구조물 검사를 위한 3차원 최단경로 오차율 5% - 주행 시스템 구동에 의한 작업성공률 95%이상 - 3g(g:중력가속도) RMS, 50Hz 이하의 진동 및 풍속 10m/s 이하의 환경에서 안정적 센서데이터 획득 ▪ **교량내부조사용 무인검사장비 시작품** - 최대 주행속도 1m/sec - 교량내부 격벽 통과 능력 (폭 70cm x 높이 100cm) - 6자유도, 작업반경 1.8m, 무게 15kg 이하의 매니퓰레이터 - 매니퓰레이터의 가반하중 4.5 kg ▪ **내부환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품** - 위치추정 모듈 위치 정확도 오차 10cm - 10Hz의 경로생성 실시간성 - 10Hz의 충돌회피 실시간성 ▪ **무인검사장비의 운영 및 원격통제가 가능한 이동관제센터 시작품** - 데이터 갱신주기 10Hz - 무인검사장비 위치감지 정밀도 10cm - 실시간 감시제어 및 1 TB급 저장 ▪ **이동관제 센터용 무선전력 송신기 및 급속 충전 데이터 송수신기 시작품** - 송신출력 ~200W - 근거리/원거리 충전: 무인검사장비 (~5cm), 콘크리트투과 (~0.5m) ▪ **무인검사장비 탑재용 무선전력 수신기 및 급속충전 데이터 송수신기 시작품** - 충전 배터리용량 ~50W (12V-4A) - 수신모듈무게: 0.5kg 이하
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 30 억원 (정부출연금 : 22.5억원 이내)

과제명	1.1.1 : 구조물 외관 조사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 구조물 외관 검사가 가능한 무인검사장비 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 교량과 같은 구조물은 수직형, 절곡형, 경사형 등 규모나 형상이 다양할 뿐만 아니라, 외부나 내부를 검사하는 경우, 협소하거나 위험한 경우가 많아서 무인 검사장비를 채용하는 것이 바람직 함 ▪ 구조물 검사 및 유지보수 분야에서 무인체의 필요성이 큰 것에 비해, 실용화 개발은 부족한 현실이어서 현장 수요에 적극 대응하지 못하고 있음 ▪ 구조물 외관 조사에 적용할 수 있는 무인체로서 무인기(드론) 기술이 가장 유망하며 첨단 ICT 기술과의 융합을 통해 구조물 검사 및 유지보수 업무의 안정성과 효율화에 기여할 수 있음 ▪ 세계 무인기 시장은 2003년부터 2012년까지 21.8%의 성장률로 빠르게 성장하고 있으며 상업용 드론 시장의 경우 2014년 6천만 달러에서 2023년까지 8억 8천만 달러 규모로 확대될 것으로 전망됨. 이는 민간용 중소형 드론의 기술개발과 다양한 아이디어 드론이 개발되면서 민간 분야로의 활용이 확대되기 때문으로 분석됨 ▪ 아시아-태평양에서의 급속한 발전은 중국의 급성장 에서 기인하는 것으로 중국은 이미 민수용으로 소형 무인기를 제작 중이며, 내수 시장을 기반으로 투자를 확대 중에 있음 ▪ 민수용 무인기 시장에서는 향후 10년간 공공분야 수요를 중심으로 발전될 것으로 전망되며, 활용도 여하에 따라 확대될 것으로 전망되고 있음
□ 기술동향	▪ 미국 Autel Robotics사의 X-Star Premium은 항공 사진 촬영용 쿼드콥터 드론이며, 4K 카메라, 3축 짐벌 탑재하고 Ultra HD 비디오, 스마트폰 연동 기능이 있음 ▪ 프랑스 Novadem 사의 NX110은 군용으로 개발된 쿼드콥터 드론으로서 작전 반경 1km, 20분 비행 가능, 주야간 360° 전방위 정찰 가능하며, U130은 구조물의 주기적 검사 및 정밀진단을 위한 드론이며, 무게 2.5Kg, 길이 130Cm, 상승속도 4m/s, 풍속 12m/s, 검사 고도 245m, 운용시간 20~30분으로서 100m^{2}를 검사할 수 있음 ▪ 벨기에 FLEYE사의 Personal Flying Robo은 프로펠러를 케이스 안쪽에 장착한 드론으로서, 1080 HD 카메라, 500만 화소 영상 촬영, 비행시간 10분, 100m 내에서 조종 가능하며, 512MB 듀얼코어 컴퓨터, 자이로센서, 자기센서, 광학흐름센서, 고도계, GPS 등 7개 등의 센서를 장착하고 있음 ▪ 중국 DJI사 팬텀3 4K는 4K(4096×2160p) 카메라 탑재, 영상 480p,

	비행시간 25분, 인식 거리 500m(CE) 임. 하지만 중국은 미국, 유럽에 비해 항공전자/통신, 그리고 항법시스템 관련 기술력은 높지 않다고 알려지고 있음
3. 연구개발 내용	
	▪ 자동수직이착륙 제어 및 1시간이상 비행이 가능한 비행체 설계, 제작 ▪ 풍속 10m/s에서 위치 및 자세유지 가능한 구조물 외관 조사용 무인기의 구조, 전원 및 동력계통 설계, 제작 ▪ 실시간 데이터 처리하며 정밀비행제어를 위한 탑재 장비류(비행제어 컴퓨터와 항법장비, 3km 이상 통신 가능한 통신장비 등) 설계, 제작 ▪ 이동관제센터와 제어/상태 데이터, 영상/센서 송수신 ▪ 가반하중 2kg 이상의 임무장비 인터페이스 설계, 제작 ▪ 통합시스템 구성 및 테스트베드 적용
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 최근 무인기 개발동향을 분석하고 기 확보한 무인기 기술을 최대한 활용하여 중복 개발을 지양하고 첨단 ICT 기술과 융합하여 특화 기술의 완성도를 높일 수 있도록 함 ▪ GPS, 레이저 센서 등 두가지 이상의 센서 융합을 통한 충돌방지 등 안전기능의 이중화가 이루어지도록 함 ▪ 설계 단계에서 검증된 부품을 적용할 수 있도록 하며, 하위 모듈 단계에서부터 단계별 철저한 기술검증을 실시하는 등, 개발 품질을 확보하여 기술적 위험요인에 대한 관리체계를 구축함
□ 타과제와의 연계	▪ 2 세부에서 개발하는 구조물 진단을 위한 센싱 연구가 원활히 진행되도록 가반하중 및 인터페이스 업무연계 및 협조 필요 ▪ 1.1.2 세부에서 개발하는 자율운행 플랫폼과의 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요 ▪ 1.3.1 세부에서 개발하는 이동관제센터와의 통신 및 데이터 송수신이 원활할 수 있도록 함 ▪ 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
5. 최종성과물	
	▪ **구조물 외관 조사용 무인검사장비 시작품** - 무인검사장비 제어정밀도 10cm - 무인검사장비 체공시간 1시간 - 무인검사장비 실시간 통신거리 3km - 가반하중 2kg 이상 - 풍속 10m/s 에서 안정적 운용이 가능한 무인검사장비
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 5억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

과제명	1.1.2 : 외부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 구조물 진단 목적의 위치 오차 0.5m 이내, 신뢰도 95% 이상의 무인 검사장비 자율운행 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 대형 구조물 안전사고(창선대교, 성수대교 붕괴) 발생으로 안전 관리 정책 강화 및 노후 구조물 증가로 고효율성 자동화 관리 시스템 이슈화. 사회기반시설 유지관리 예산 감소 및 비효율적 점검 방식 개선을 위한 경제적 무인체 안전 진단 기술 필요성 증대 (한국시설안전공단) ▪ 교량 바닥판 하면 점검을 위해 크레인에 카메라를 부착한 모니터링 시스템 및 교량의 박스 내부 점검용 이동 로봇이 개발되었으나 특정 구조물에 제한적이고 실용화되지 못한 한계성. 무인체를 활용하면, 보다 범용적이고 효율적인 기술 개발 가능 (한국도로공사) ▪ 무인체 관련 시장은 2013년 66억 달러(약 7조원)에서 2022년 114억 달러(약 12조원)로 급성장할 것으로 전망 (미국 틸 그룹 보고서) ▪ 무인체 기반 구조물 유지관리 기술에 대한 국산화가 전무하며, 세계적으로 실용화된 기술이 개발된 사례 거의 없음. 무인체 자동 항법 운행 요소 기술들의 국내외 기술격차 (4.3년)가 점차 확대 중. 기술 선점을 통해 세계 시장 주도 및 고부가가치 산업으로 발전 가능
□ 기술동향	▪ **위치 인식 기술** - 독일 TUM의 LSD(large scale direct) SLAM은 GPS 인식이 불가한 음영 지역, feature 추출이 어려운 환경에 강인한 위치 인식 기술이나, 기술에서 사용하는 monocular 이미지는 정확한 거리 정보를 알 수 없어 카메라 위치 추정의 한계가 존재. 대규모 영상을 기반으로 한 알고리즘으로 긴 연산 시간이 소요되어 실시간성의 한계 ▪ **3D mapping 기술** - 미국 MIT의 Kintinuous는 RGB-D 센서를 이용한 3D 맵핑 기술로 대규모 공간에 대한 맵 생성에 유용. 맵을 구성하는 데이터 간 정합 알고리즘을 추가하여 명확한 맵을 생성할 수 있어야 하고 자율 운행을 위한 SLAM으로의 확장도 필요 ▪ **경로 생성, 자동 이착륙 기술** - 3차원 공간에서의 경로 설계는 환경을 고려한 실시간 변경 및 최적화를 수행하여야 함. 이를 위한 기법으로 최적화 기법, 적응 기법, 예측 기법, 모델 역변환 기법 등이 활용되고 있음. 최근에는 무인기 스스로 학습을 통해 경로를 재설정하는 알고리즘도 연구 중 - 적외선 센서 또는 카메라 이미지(마커) 기반의 자동 이착륙 기술이 개발되어 있으며, 무인기 상용품에 적용 중

▪ **구조물 진단 목적의 무인기 자율 운행 기술 수준**

- (해외) TRL6단계의 기술 성숙도로 파일럿 규모 시작품 제작 및 성능 평가가 수행되고 있으며, 시설감시, 지형탐사 등 상업적 활용 확대
- (국내) 무인기 제조 및 기술력 면에서 열세로 부품 대부분 해외 의존, 실험실 규모의 성능 평가 수준

3. 연구개발 내용

▪ 거리센서, 비전센서를 이용한 구조물 3차원 맵 생성 알고리즘 개발
▪ 센서 데이터와 3차원 맵 매칭을 통한 정밀 위치 추정 알고리즘 개발
▪ 3차원 최단 경로 생성 및 경로 추종 기술 개발
▪ 거리센서 및 비전센서 기반 장애물 인식 및 회피 기술 개발
▪ 비전센서를 이용한 착륙 지점 탐지 및 자동 이/착륙 기술 개발
▪ 3차원 맵 생성 및 정밀 위치 추정 알고리즘, 경로 생성 및 추종, 장애물 인식 및 회피, 착륙 지점 탐지 및 자동 이/착륙 기술을 통합한 외부환경 자율 주행 시스템 개발 및 최적화
▪ 센서 데이터 기반 실시간 시스템 오류 감지와 추락 방지 시스템 개발
▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증

4. 연구개발 추진전략

□ 추진전략

▪ 실험실 규모의 기술을 시제품 화하고 신기술로 표준화할 수 있도록 대학-기업-수요처 간 연계 프로그램 마련
▪ 위치 인식용 GPS 신호 유실시 대응 알고리즘 설계
▪ 센서 데이터를 이용한 추락 및 제어 오류 감지, 대처 시스템 개발
▪ 비전 및 거리 센서를 이용한 동적 장애물 탐지 및 회피 기술 개발

□ 타과제와의 연계

▪ 1.1.1 세부에서 개발하는 구조물 외부 검사용 무인검사장비와 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
▪ 2 세부에서 활용하는 영상/비전장비의 활용 방안 논의 필요
▪ 거리센서, 비전센서 데이터를 이용하여 생성된 3차원 맵 정보를 3.1.2 세부에 제공하여 계측 데이터의 가시화가 가능하도록 함. 또는 3.1.2 세부에서 구축된 구조물 정보를 이용하여 자율운행에 활용

5. 최종성과물

▪ **외부환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품**

- 무인검사장비의 위치오차 및 접근거리 0.5m
- 구조물 검사를 위한 3차원 최단경로 오차율 5%
- 주행 시스템 구동에 의한 작업성공률 95%이상
- 3g(g:중력가속도) RMS, 50Hz 이하의 진동 및 풍속 10m/s 이하의 환경에서 안정적 센서데이터 획득 기술

6. 연구기간 및 지원예산

▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년)
▪ 연구비 예산 : 3억원 (정부출연금 : 3억원 이내)

과제명	1.2.1 : 구조물 내부 검사를 위한 무인검사장비 설계 및 구성
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 내부조사를 위한 무인검사장비 이동부 플랫폼 설계 ▪ 내부조사를 위한 무인검사장비 매니퓰레이터 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 사회인프라 시설 유지관리의 신뢰성 및 안전도를 높이기 위해서는 기존의 인력 검사에 의존하는 유지관리방식에서 탈피하여 시설물 건전도 정보 수집을 자동화하고, 정량화된 계측 데이터베이스 기반의 시설물 관리를 수행하는 것이 필수적임 ▪ 인프라 시설물의 내부 조사에 있어서는 협소한 공간적 제약으로 인하여 비행체 운영 보다는 주행 기반의 무인체 운영이 효과적임. 또한 주행 기술만으로는 검사대상물과의 접근거리 한계로 인하여 고품질의 2D/3D 영상 정보 취득이 불가하므로 구조물 내부환경에서 장애물을 극복할 수 있는 주행형 무인체에 넓은 작업반경을 갖는 매니퓰레이터를 결합하여 기술을 구현하는 것이 필요함 ▪ 검사용 모바일 매니퓰레이터로 사용할 수 있는 인접 기술로는 미국의 i-Robot사 Packbot 계열의 로봇이며, 전장이나 원전과 같은 위험지역에서 사용되고 있음. 대당 24만달러의 가격에, 년평균 1,000대 생산 가정시(2010년기준) 연 매출액은 최소 2880억원이며, 최근 매출 증가 추세가 가속화 되고 있음. 국내기술수준은 군사 분야에서의 시장경쟁력은 부족하나 시설물 유지관리라는 특수한 검사로봇 분야에서는 기술경쟁력이 있으므로 특수 환경이 고려된 모바일 매니퓰레이터 개발이 필요함
□ 기술동향	▪ 한국도로공사에서 PSC Box 교량 내부 점검을 위한 주행 로봇이 개발이 되었으나, 매니퓰레이터가 존재하지 않아 근접 정밀촬영이 불가하며, 센서 설치 등의 작업이 필요한 경우에는 로봇 이외의 추가의 인력이 요구됨 ▪ 미국의 I-robot 사에서 소형 정찰감시 로봇으로 510 PackBot이 개발되었으며, 8 자유도, 길이 187cm의 로봇 매니퓰레이터가 장착이 가능하나, 고가이며 군사용으로 특화되어있음. ▪ 국내 매니퓰레이터 기술에 있어서는 전자부품연구소에서 7자유도 고출력/경량/중공형 매니퓰레이터가 개발된 바 있음. (자유도 7 D.O.F, 최대길이 70cm, 무게 14kg)
3. 연구개발 내용	
	▪ 내부조사를 위한 주행형 무인체의 이동부 플랫폼 설계 - 작업시간 단축을 위한 교량 내부 환경 정형화 (격벽에 범용적으로 적

	용가능한 간이 구조물을 도입) - 교량 내부 환경의 주행과 격벽 통과 가능 ▪ 주행형 무인체 플랫폼에 장착되는 매니퓰레이터 개발 - 6자유도, 1.8m 작업반경 ▪ 시스템 통합, 구조물 내부 조사시연 및 성능개선 - 건전도 검사장비를 탑재하고, 자율주행 알고리즘과 통합
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 1차년도 연구에서 구조물 내부환경에 대한 분석을 무인체를 비롯한 검사장비, 유지관리 운영 차원에서 다각도로 검토하여 무인검사장비의 설계와 운영 시나리오 개발에 반영함. 해당 기술을 단순히 로봇 기술 관점에서 접근하기 보다는 구조물 진단 및 유지관리라는 최종적 임무를 목적에 두고 수요자와 운영자 측면에서 개발을 수행 ▪ 검사 플랫폼을 중심으로 하드웨어, 소프트웨어, 통신부 등에 대한 인터페이스 및 프로토콜을 사전에 조율하여 시스템 통합시 시행착오 과정을 최소화 ▪ 매니퓰레이팅 무인체 기술은 현재 국내 업체의 기반이 마련되지 않은 상황이므로, 학/연을 중심으로 개발을 추진하고, 통합 시스템 구현에 있어서는 업체와 긴밀할 협조를 통해 전체 시스템으로서의 완성도를 높이는 방향으로 기술 개발
□ 타과제와의 연계	▪ 1.2.2 세부에서 개발하는 자율운행 플랫폼과의 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요 ▪ 1.3.1 세부에서 개발하는 이동관제센터와의 통신 및 데이터 송수신이 원활할 수 있도록 함 ▪ 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요 ▪ 2 세부에서 개발하는 구조물 진단을 위한 센싱 장비 탑재가 가능하도록 무인검사장비 시스템이 구성될 수 있도록 함
5. 최종성과물	
	▪ **교량내부조사용 무인검사장비 시작품** - 최대 주행속도 1m/sec - 교량내부 격벽 통과 능력 (폭 70cm x 높이 100cm) - 6자유도, 작업반경 1.8m, 무게 15kg 이하의 매니퓰레이터 개발 - 매니퓰레이터의 가반하중 4.5 kg
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 3.75억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

과제명	1.2.2 : 밀폐된 내부환경에서의 자율운행 플랫폼 개발
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 10cm위치 추정 오차 및 10Hz의 실시간성을 보장하는 밀폐된 구조물 내부조사를 위한 자동운행 플랫폼 요소 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 밀폐된 구조물 내부 환경에서 필요한 항법은 GPS 기반 불가. GPS 음영지역에서의 항법은 구조물에 설치된 센서의 인식에 의존하여 이루어지며, GPS등에 의한 절대 위치보다는 센서 위치에 의한 추정 위치를 사용. 동시에 인식된 주변 환경 정보에 기반한 궤적 생성과 물체 탐지를 통한 충돌 회피는 자동 운행을 위한 요소 기술로 판단됨 ▪ 안전과 고령화 등으로 구조물 진단의 무인화 필요성은 증대. 작업의 위험성 및 작업 인력의 고령화로 인하여 무인화가 시급. 작업 환경은 비좁은 내부나 외부의 위험한 환경의 가능성이 높음. 고령화로 인하여 무인화 설비 도입으로 안정적이고 정량적인 조사 가능 ▪ 특히 내부 환경의 경우 환경의 복잡도가 증가하고 운용 가능한 영역이 극도로 제한되어 있어 내부 위치 추정 오차에 영향이 크게 받음. 주변 환경 중 충돌 회피로 이동 가능한 범위의 정확한 추정을 위하여 로봇의 위치와 환경에 대한 정밀 지도가 필요. ▪ 정량적인 검사의 필요. 인력에 의존하는 검사의 경우 장비를 이용한다 하더라도 많은 부분에서 직관적인 부분이 존재하며, 정성적 평가와 조사가 존재. 무인체를 통한 조사는 정량적이고 반복 적인 조사가 가능하여 조사의 신뢰도를 향상 시킬 수 있음 ▪ 위치 추정, 궤적 생성, 충돌 회피의 요소 기술에 대한 개발 필요. 위치 추정의 오차율은 내부 문제 요인 조사의 정확도에 직접적 영향. 특히 실내의 고도의 복잡한 환경에서 개발 적용되어 다른 시설물의 관리에도 확장 적용 가능
□ 기술동향	▪ **BIM 기반 항법** - 일리노이대학의 Mani 교수팀은 BIM 정보와 센서 정보를 융합하여 정보화하는 기술 및 환경 맵핑 기술을 보유. 센서 정보의 융합을 통하여 현재 센서 정보가 획득된 시점을 추정하고 정보를 융합하여 전체 환경을 맵핑하는 기술을 개발. 정량적인 정확도에 집중하기보다 시공 프로세스 모니터링에 활용 ▪ **인공표식물** - 한국시설안전공단, 한국도로공사에서는 인공표식물을 통한 시설물 안전 관리에 대한 기술을 개발. 한국생산기술연구소의 경우 상하수도 관내의 모니터링을 위하여 비전 기반 기법을 개발. 이때 표면에 아무 정보가 없는 시설물 내의 효과적 맵핑을 위하여 이동시 페인트를 인위적으로 분사하여 길을 기억하고 환경 맵핑을 효과적으로 진행

	▪ **시설물 관제 적용** - 미국 해군의 선박 조사 과제와 스페인의 댐 조사 과제 및 프랑스의 교량 조사 과제 등에서 이미 세계의 유수 대학과 연구 기관들이 시설물 안전 점검 무인화에 참가하고 있음. 상기 기술된 과제에서 위치 추정, 궤적 생성, 충돌 회피는 주요 요소 기술로 지목되어 개발이 진행.
3. 연구개발 내용	
	▪ 시설물 내 밀폐공간을 인지할 수 있는 센서 처리 기법 연구. 광조건과 제한된 환경에서 적용가능한 센서 종류를 선정하고 노이즈 등 센서 처리 기법 연구. ▪ 기존 인식 센서 데이터의 보완 및 보강 기술. 제한된 광조건과 평이한 환경에서 센서 정보 취득을 위하여 보강 및 보완 기술 연구 ▪ 시설물에 적합한 BIM, 내장센서, 인공표식의 적용 방법 연구. 인공 표식물을 만들어 환경에 표식물 설치. 능동적인 지도 생성 기법 연구. 내부 환경은 외부와 달리 제한된 공간에 대부분 특이점이 없는 센서 데이터로 구성. ▪ 위치추정 및 시설물 주변 인식을 통한 환경 맵핑. 정확도 10cm 이내의 위치 추정 오차 ▪ 10Hz의 처리속도를 보장하는 실시간 충돌감지 및 충돌회피 경로 생성. 획득한 10cm 정확도의 지도에 대해 충돌 감지 및 회피를 위한 경로 생성 기술 개발. 10Hz 의 속도로 실시간성 보장 필요
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 시뮬레이션을 통한 고도의 복잡도를 가진 환경에서의 항법 기술과 경로 생성 기술 개발 ▪ 실효성 있는 연구 성과 도출을 위하여 시나리오 기반의 실제 환경에서의 적용 및 개발 기술의 실질적 검증 ▪ 개발 모듈의 실시간성 확보를 위하여 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 협력 추구
□ 과제와의 연계	▪ 1.2.1 세부에서 개발하는 구조물 내부 검사용 무인검사장비와 호환 및 탑재가 가능하도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요 ▪ 구조물 내부 위치추정을 위한 BIM 정보 활용에 있어 3.1.2 세부와 긴밀한 협조가 필요함. 또한 자율운행 시 공간인지 정보를 BIM 구축에 제공하는 방안 고려 필요
5. 최종성과물	
□ 주요 성과물	▪ **내부환경에서의 자율운행 플랫폼 시작품** - 위치추정 모듈 위치 정확도 오차 10cm - 10Hz의 경로생성 실시간성 - 10Hz의 충돌회피 실시간성
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 3억원 (정부출연금 : 3억원 이내)

과제명	1.3.1 : 무인검사장비의 통합 운용, 원격 통제 및 대용량 데이터의 저장이 가능한 이동관제센터 개발
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비의 위치정보를 비롯한 상태정보를 감시 및 디스플레이 하면서 실시간 제어 가능한 이동관제시스템 개발 ▪ 임무수행 후 무인검사장비의 안전한 복귀 및 착륙을 위한 착륙 유도 시스템과 보관시스템 개발 ▪ 무인검사장비의 임무계획수립, 경로설정, 수동/자동 운용모드 선택이 가능하며, 통신두절에 대비하여 안전하게 회수할 수 있는 임무계획 및 통제시스템 개발 ▪ 무인검사장비로부터 획득되는 데이터의 처리, 저장, 전송을 위한 대용량 데이터 처리 및 저장시스템 개발 및 상위 관제센터와의 통신 인터페이스 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 구조물 진단환경을 정의하고 운용시 발생할 수 있는 위험요인을 사전에 점검하며 안전성을 확보하기 위해 무인체 원격통제기술이 필요함 ▪ 무인검사장비 운용에 따르는 대용량 데이터 저장기술에 대한 실용화 개발은 부족한 현실이어서 현장 수요에 적극 대응하지 못하고 있음 ▪ 기존의 무인항공기 또는 지상 이동 로봇의 원격통제장치는 오픈된 영역의 2차원 수치지도 또는 위성지도를 기반으로 설계되어 교량 검사에 적용하는데 어려움이 있음 ▪ 교량 진단을 위한 무인검사장비의 임무계획 기능 및 관련 기술은 전 세계적으로 출시된 제품이 없어 기술 개발 시 조기 시장 선점이 가능. ▪ 장애물을 극복할 수 있으며, 매니퓰레이터를 장착한 기존의 필드로봇 플랫폼에 임무장비 기술을 응용하여 교량 내부 구조물 진단이 가능함.
□ 기술동향	▪ 국내뿐만 아니라 세계적으로 무인체 자동 운용을 위한 자동착륙 유도 기술 연구개발이 진행 중에 있음 ▪ 이동관제센터는 차량에 탑재된 통제장치와 유도장치를 기반으로 무인체 및 검사장비를 조종하는 역할로서 하드웨어 및 소프트웨어 기술발전에 따라 성능이 향상되고 있음 ▪ 이동관제센터는 무인체 제어에 필요한 각종 계기와 영상 모니터 조종장치, 통신장비, 컴퓨터 등이 갖추어져 있음. 이동관제센터는 대한항공, 퍼스텍, 유콘시스템에서 다년간 무인체 체계개발을 통하여 핵심기술을 보유하고 있음
3. 연구개발 내용	
	▪ 영상/상태/제어 데이터 갱신주기 10Hz 이상의 기술개발 ▪ 무인체의 안전한 유도를 위한 위치감지 정밀도 10cm 이내 기술 개발 ▪ 구조물 내/외부 검사용 무인체용 도킹 및 보관장치 기술개발

	▪ 산업용 컴퓨터 기반의 데이터 처리 및 저장 시스템 기술개발 ▪ 구조물 내/외부 검사용 무인검사장비의 임무계획수립, 경로설정, 수동/자동 운용모드 선택이 가능하며, 장비 운용시 통신두절에 대비하여 안전하게 회수할 수 있는 임무계획 및 이중화 통제시스템 개발 ▪ 데이터의 처리, 저장, 전송을 위한 대용량 데이터 처리 및 저장시스템 개발 (표준메모리 4GB 이상, 최대128GB RAM, 1TB 이상 스토리지) ▪ 구조물 내/외부 조사를 위한 무인검사장비, 지상관제시스템, 착륙유도장비 등을 보관 및 이동(운반)할 수 있으며, 이동 중에도 통신이 가능한 이동 관제센터 기술개발 및 통합시스템 구성 ▪ 밀폐된 곳에서 운용되는 무인검사장비와 이동관제센터가 통신하기 위해서는 중계기를 사용하거나 부분적으로 유선통신을 채용할 수 있음
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 해당 기술은 실제 무인검사장비를 운용할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어가 융합된 시스템을 개발하여야 하므로 유사장비 개발경험이 있는 업체 역할 중요 ▪ 이동관제시스템 소프트웨어에 통합되는 영상처리 소프트웨어, 경로계획 소프트웨어 등은 산학 협력개발 가능 ▪ 무인검사장비를 안전하고 효율적으로 운용할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어가 융합된 시스템을 개발하여야 하므로 수요현장, 운용환경 및 조건이 명확히 정의 되도록 해야 함 ▪ 무인검사장비 보관 및 운용이 가능한 모바일 장치와 실시간 통신, 소프트웨어 및 하드웨어가 유기적으로 인터페이스 되어야 하므로, 감시장치, 유도장치, 통신지원장치 개발과 관련하여 수요관계처 및 관계 전문가들과 긴밀한 협력 필요 ▪ 본 과제의 결과물은 실제 운용 가능한 소프트웨어를 포함하는 이동식 원격통제장비로, 과제 총괄기관에서 통합하여 수요처를 통하여 최종점검 및 활용될 수 있도록 함
□ 타과제와의 연계	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 구조물 내/외부 검사를 위한 무인검사장비와의 전력 및 데이터 송수신이 원활할 수 있도록 함 ▪ 2 세부에서 계측된 데이터들을 3.1.1세부에서 개발하는 클라우드 컴퓨팅 시스템으로의 대용량 데이터의 전송이 원활할 수 있도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요
5. 최종성과물	
	▪ **무인검사장비의 운영 및 원격통제가 가능한 이동관제센터 시작품** - 데이터 갱신주기 10Hz - 무인검사장비 위치감지 정밀도 10cm - 실시간 감시제어 및 1 TB급 저장 기능
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 10.25억원 (정부출연금 : 6억원 이내)

과제명	1.3.2 : 무인검사장비와 이동관제센터 간 무선 전력 전송 및 급속 충전 제어 데이터 송수신 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 이동관제센터의 무선충전 스테이션과 교량 외부 검사용 무인검사장비 탑재용 소형/경량 무선충전모듈 개발, 급속무선충전 방식 구현 및 급속 충전 제어 데이터 송수신 기술 개발 ▪ 이동관제센터와 교량 내부 검사용 무인검사장비 탑재용 소형/경량 무선충전모듈 간 콘크리트 투과가 가능한 고효율 급속무선전력전송 및 급속 충전 제어 데이터 송수신 기술 개발 ▪ 이동관제센터와 강 Box내 센서모듈 간의 무선 전력전송 및 급속 충전 제어 데이터 송수신 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 스마트폰, 태블릿 PC, Smart Watch 등의 IT 디바이스의 무선 충전이 상용화가 본격적으로 진행되어 전 세계적으로 시장 확대가 진행되고 있음 ▪ 드론, 무인 로봇을 포함한 무인체 무선 충전 시장은 현재 활성화 되지 않은 상태이므로 새로운 시장 형성이 가능함 ▪ 무인체에 무선 충전 기술을 적용하는 것은 현재 기술 개발 단계에 속해 있으며 상용화를 위해서는 현실적이고, 실용적인 관점의 연구 개발이 필요 ▪ 접근이 용이하지 않은 구조물의 내/외부검사를 위한 무인검사장비로의 무선 전력공급 및 급속 충전, 데이터 전송기술에 대한 연구가 필요
□ 기술동향	▪ 국내 KAIST - 2015년 7월, 'TERA-DRONE1'이라는 무선충전 스테이션을 통한 드론 무선 충전 기술을 개발 ▪ 미국 WiTricity - 2015년 7월, 무선 충전 패드를 통한 드론 무선 충전 기술 개발 및 드론에 부착된 무선 충전 패드를 통해 모바일 기기 및 센서 무선 충전 기술 개발
3. 연구개발 내용	
	▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 고효율 전력 증폭기 및 공진기 설계 및 최적화 ▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 고효율 전기 변환 회로 및 전력 제어 시스템 개발 ▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 고출력 고효율 급속 충전 알고리즘 개발 및 구현 ▪ 근거리/원거리용 자기공진 방식의 코일 간 공간 변화에 따른 효율 저하를 극복하는 무선 전력 전송 기술 연구 ▪ 콘크리트투과 무선 전력 전송 환경에 대한 분석 및 효율의 최적화 기법 연구

	▪ 강 Box의 전력전송 환경에 대한 분석 및 무선전력전송효율의 최적화 기법 연구 ▪ 무인검사장비 탑재 가능한 소형 경량 무선 전력/급속 충전 데이터 전송 모듈 및 시스템 개발
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 무인체 관련 업체과의 전력충전부/통신제어부의 협력 연구를 통한 탑재 가능한 무선전력 및 급속충전통신모듈 경량화 성과물 확보 ▪ 무인검사장비에 허용 가능한 수준 및 무인검사장비에서 요구하는 상세 조건을 토대로 제한된 상황에서 최적의 무선 전력전송 및 급속충전 데이터 전송 도출을 위한 심층 연구 ▪ 이동 관제 센터와 무인체간 다양한 환경에서의 무선전송채널 및 급속충전 데이터전송채널의 전파예측 모델을 통한 최적 시스템 링크 연구 ▪ 무인검사장비 및 센서모듈에 탑재 시 무선 전력 전송 및 급속 충전 데이터 전송시 무선채널 상황인지 및 적응기술 도입 ▪ 이동 관제 센터와 무인체간의 고효율 전력전송 및 과충전/과부하 방지등 안정성 확보 기술 도입 ▪ 전자파 인체 보호 기준을 만족하는 전력 전송 환경(수리적 모델 및 안정성 검증) 제시
□ 타과제와의 연계	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 무선 전력/데이터 송수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요 ▪ 1.3.1 세부에서 개발되는 이동관제센터에 무선 전력/데이터 송수신 모듈의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요 ▪ 2.3.1, 2.3.2 세부에서 개발되는 내장형/부착형 센서에 무선전력 및 데이터 송수신 모듈이 적용 가능하도록 연계가 필요
5. 최종성과물	
	▪ **자기공진 방식 이동관제 센터용 무선전력 송신기 및 급속 충전 데이터 송수신기 시작품** - 송신출력 ~200W - 근거리/원거리 충전: 무인검사장비 (~5cm), 콘크리트투과 (~0.5m) - 급속충전기능(Quick Charge 2.0이상) - 급속 충전 데이터통신 주파수: ISM대역 ▪ **자기공진 방식 무인체 탑재용 무선전력 수신기 및 급속충전 데이터 송수신기 시작품** - 충전 배터리용량 ~50W (12V-4A) - 수신모듈무게: 0.5kg 이하 - 급속충전 데이터통신 주파수: ISM대역
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 3억원 (정부출연금 : 3억원 이내)

7.1.3 2세부 RFP

과제명	2세부: 비접촉 센싱 기반 구조물 외부상태 진단 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 비접촉식 강구조물 상태 진단 기술개발 (도막두께, 부식, 미세균열, 볼트풀림) ▪ 비접촉식 콘크리트 구조물 상태 진단 기술개발 (균열, 백태, 박락) ▪ 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 국부손상 진단 기술개발 (세굴진단, 피로균열, PT 텐던 장력측정)
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 강재는 우수한 경제성과 물리적 특성에도 불구하고, 원천적으로 부식이 발생됨. 부식 속도는 보통 연간 0.02mm 정도지만, 구조물 관리 수준에 따라 연간 0.3mm 이상까지 진전됨. 전체 강재 부피 1%의 부식은 5~10%의 강도 하락을 초래함 (교량 점검 핸드북, 국토교통부) ▪ 강구조물의 경우, 붕괴원인의 90% 이상이 피로균열 발생이며, 일반 강교량 (4차로 1000 m) 기준 정밀안전진단 1회당 약 1.76 억원의 예산이 소요됨 (시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대가표, (사)한국시설물안전진단협회, 2014년). 그러나 피로균열의 폭은 수 ㎛ 수준으로, 일반적인 육안 검사를 통한 조기 감지가 불가능함 ▪ 볼트접합부에서 볼트풀림 교량에 심각한 내하력 저하를 야기하고, 위험부재로써 관리되고 있으나 특별한 대체 기술이 없어 종래의 기술들이 현재까지 이용되고 있음 ▪ 현재 개발된 콘크리트 표면 진단 기술들은 실구조물의 현장 상황, 예컨대 현장 조도 및 음영의 영향 혹은 표면불균질 상태의 영향으로 정밀한 계측이 용이치 않거나, 분석이 어려우며, 그 신뢰도가 높지 않음 ▪ 콘크리트의 손상을 정량화하고 적절한 유지관리 계획을 세우기 위하여, 최신의 영상 기반의 장치를 이용하여 백태와 박락을 정량화하는 기술 개발이 필수적임 ▪ 매년 우리나라에서 세굴로 붕괴되는 교량의 수는 평균 100개가 넘는 것으로 조사 되었으며 (재해연보, 한국건설기술연구원) 이를 방지하기 위해서는 홍수 시, 세굴심을 정확하게 측정할 수 있는 기술이 필요함 ▪ PT텐던은 장대교량, 원전구조물 등 대형 콘크리트구조물을 구성하는 주요 부재로써, PT텐던의 잔여장력은 구조적 안전성과 밀접한 연관이 있음. 그럼에도 불구하고, 콘크리트에 매립되는 PT텐던의 설계구조상 접근 및 센서부착이 불가능하여 현재 장력측정 기술이 없음
3. 연구개발 내용	

	▪ **비접촉식 강구조물 상태 진단 기술** -2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술개발 -2D/3D 영상을 활용한 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 기술개발 ▪ **비접촉식 콘크리트 구조물 상태 진단 기술** -2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술 개발 -2D/3D 영상 및 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술 개발 ▪ **기존 매립형/부착형 센서와의 연계를 통한 구조물 진단 기술** -내장형/부착형 센서와의 연계를 통한 세굴 검사 기술 개발 -매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부손상 감지 기술 개발 (피로균열, PT텐던 장력측정) ▪ **개발 기술의 테스트베드 적용 및 검증**
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 촬영 영상에서 발생 할 수 있는 왜국 문제를 해결하기 위하여 영상처리를 연구하는 대학 및 연구소들과 공동 연구를 수행 ▪ 연구단 내 무인체 개발 연구팀과의 유기적인 협동 연구를 통해 적정 탑재하중 및 공간, 나아가 운용 중 안정화 변수 등에 대한 정보 교환 ▪ 동일한 센싱 기법(영상)의 경우, 세세부간 긴밀한 연계를 통해 단일 하드웨어 시스템으로 다양한 손상진단이 가능한 시스템 개발 진행 추진 ▪ 개발 시스템의 실용화 및 사업화를 위한 국내외 지식 재산권 확보 ▪ 충분한 문헌연구를 통하여 기술 개발 시간을 절감하고, 기술의 최적화 및 경쟁력확보에 주력 ▪ 내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 및 위험도 평가 기술 개발을 위해서는 IT, 센서, 통신 기술, 기계 등 다양한 분야의 기술이 복합적으로 필요하기 때문에 산학연 공동 연구 체계를 구축함 ▪ 테스트베드에서의 성능 검증을 최종 목표로 연구함으로써, 실용화 및 상용화가 가능한 기술 확보
□ 타 세부와의 연계	▪ 1세부에서 개발하는 무인검사장비에 구조물 진단을 위한 센싱 장비기 탑재 및 운용될 수 있도록 진단 시스템 구성 필요 ▪ 1세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 기법이 내장형/접촉식 센서에도 적용이 될 수 있도록 1세부의 해당 연구진과 긴밀한 협조 필요 ▪ 3세부에서 신뢰도 높은 시설물평가 및 유지관리가 가능하도록 3세부에서 진단 지침 및 시설물 평가에 필요한 데이터 항목에 대한 논의가

필요하며 정량적이고 신뢰도 높은 진단정보를 3세부에 제공해야 함

5. 최종성과물	
	▪ **비접촉식 강재 도막두께 및 부식손상 정량화 시스템 시작품** - 통합 장비 무게 3kg이하 및 부피 30x30x10cm^3 이내 - 5x5m^2 영역을 5m 이내의 거리에서 3분 이내에 계측 - 100μm 단위의 도막 두께 정량화 - 1cm^3 단위의 부식 부피 정량화 ▪ **비접촉식 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 장비 시작품** - 100μm 단위의 강재 균열 폭, 45° 단위의 볼트풀림 각도 검출 - 무인체 탑재가 가능하도록 2kg 내외로 장비 구성 - 측정 및 검출시간 1분 이내 ▪ **비접촉식 콘크리트 표면 균열 정량화 장비 시작품** - 부피 30x30x30cm^3, 무게 3kg 이내의 하이브리드 영상 시스템 - 0.3mm 폭의 균열 검출 및 정량화, 97% 의 검출 신뢰도 - 1회 측정면적 50x50cm^2 이상 - 측정 및 검출시간 1분 이내 ▪ **비접촉식 콘크리트 백태, 박락 정량화 장비 시작품** - 통합 장비 무게 3kg 이하 및 부피 30x30x10cm^3 이내 - 5x5m^2 영역을 5m 이내의 거리에서 5분 이내에 분석 및 정량화 - 백태 진단 20%, 면적 30% 측정오차 - 박락 진단 5%, 면적 15% 측정 오차 ▪ **세굴심 모니터링 시스템 시작품** - 내장형/부착형 센서와 무인검사장비의 연계를 통해 세굴심 실시간 모니터링이 가능한 시작품 개발 - 세굴심 최대 추정 오차 ±10cm 이내 ▪ **무인검사장비 연계 피로균열, PT텐던 장력 측정 센서 시작품** - 길이 20 mm, 100 μm 폭의 강재 균열 검출 - 초기 긴장력 대비 30 % 이상 긴장력 저하 감지 - 측정시간 약 5분 내외 및 소비전력 3W 이내
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 30 억원 (정부출연금 : 22.5억원 이내)

과제명	2.1.1 : 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 강재 표면 도막두께 및 부식 정량화 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라 기반 통합 영상 시스템 개발을 통한 100μm 단위의 도막두께 및 1cm^3 단위의 부식 부피 정량화
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 강재는 우수한 경제성과 물리적 특성에도 불구하고, 원천적으로 부식이 발생됨. 부식 속도는 보통 연간 0.02mm 정도지만, 구조물 관리 수준에 따라 연간 0.3mm 이상까지 진전됨. 전체 강재 부피 1%의 부식은 5~10%의 강도 하락을 초래함. (교량 점검 핸드북, 국토교통부) ▪ 강재의 부식 속도를 늦추기 위해 강재 표면에 보호 도장을 도포 하지만 오히려 부적절한 두께의 도장은 보호 도장 내부에 부식을 진전시키며, 이는 조기에 검출 해 내지 못하는 실정임 ▪ 경간 680m의 steel box 교량의 경우, 100년 보호도장 관련하여 유지관리에 소요되는 비용이 157억원 가량 산정되는데, 설계 기준에 준하는 도장 두께가 적절히 유지 되는지 여부에 따라 유지관리 비용은 전체 비용의 40% 편차가 발생 됨. (안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서, 국토교통부) ▪ 강재 표면 및 내부의 전수적인 도장 두께 및 부식 부피 측정이 필요하나, 현재 표면 검사만이 수행되는 수준이며 강재 내부의 부식은 구조물 평가에 반영되지 못함. 정밀 검사 시, 초음파 탐사법 등이 이용되지만, 이는 표본 검사 수준으로 일부 영역만 검사되고 있는 실태임 ▪ 2D/3D 영상, 열화상 및 초분광 카메라를 활용하여 강재의 도막 두께 및 부식 부피를 측정 할 경우, 넓은 면적에 대한 도막 두께 측정 및 표면과 내부 부식 부피 측정이 단시간에 가능하며, 이로써 구조물 마감 처리 및 유지관리에 대한 시간 및 비용을 단축킬 수 있음
□ 기술동향	▪ **도막 두께 측정 기술** - 일본 Nippon paint사에서 도포 된 도막 두께에 따라 색상이 변하는 도료를 개발 하였으나, 도막 색상 선정에 한계가 있을 뿐 아니라, 적용 가능 범위가 450μm 이하의 도막 두께에 한정 됨 ▪ **부식 측정 기술** - 미국 George Washington University에서 강재 내부에서의 전기적 특성 분석을 통한 부식 진행 정도를 평가할 수 있는 기술을 개발 중에 있으나, 해당 기술은 부식이 진행되는 위치를 알려주지는 못함 ▪ **도막 두께 및 부식 측정 기술** - 미국 National Technical Information Service사에서 레이저 분광기법을 이용하여 도료가 도포된 강재의 도막 두께 및 부식 정도를 측정하는 기술이 개발 중에 있으나, 해당 기술은 파괴검사에 해당되며 손

	상 이전 초기 계측데이터의 수집이 필수적임
3. 연구개발 내용	
	▪ 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 이용한 강재 부식 부피 및 표면 두께 측정 시스템 개발 ▪ 무인체에 탑재 가능한 형태의 검사 하드웨어 개발 (부피 30x30x10cm^3, 무게 3kg 이내) ▪ 영상처리 기법의 접목을 통한 도막 두께 및 부식 정량화 알고리즘 및 구조물의 열 투과성에 따른 광학 조사기법 개발 (측정거리 5m 이내에서 100μm 단위의 도막두께 및 1cm^3 단위의 부식 부피 정량화) ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증 (1차년도: 실험실 규모 검증, 2차년도: 고정식 통합 영상 시스템을 이용한 실 구조물 검증, 3차년도: 무인 검사장비 탑제를 통한 실 구조물 검증)
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 기술/정보 교류를 통한 관련 분야 기술동향 및 기술수준 조사 및 분석 ▪ 통합 영상시스템 개발 시, 소형화 및 경량화를 위한 산업체와의 협업 ▪ 개발 시스템에 대한 국내외 지적 재산권 확보와 해당 지적 재산권을 구조물 안전진단 전문 업체로 기술이전을 통한 사업화 추진 ▪ 국제 공동연구 진행을 통한 해외 실구조물 현장실험 수행 및 이를 통한 해외 시장 개척 ▪ 기존의 육안검사, 정밀 안전진단 결과와의 비교분석을 통한 개발 기술의 우수성 검증
□ 타과제와의 연계	▪ 1.1 세부 및 1.2 세부와의 지속적인 연계를 통한 통합 영상 시스템의 무인체 탑재 방안 마련 ▪ 2.1.2 세부와의 지속적인 연계를 통해 강구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련 ▪ 3 세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
5. 최종성과물	
	▪ **비접촉식 강재 도막두께 및 부식손상 부피 정량화 시스템 시작품** - 통합 장비 무게 3kg이하 및 부피 30x30x10cm^3 이내 - 5x5m^2 영역을 5m 이내의 거리에서 3분 이내에 계측 ▪ **강재 도막 두께 및 부식손상 부피 정량화 알고리즘** - 100μm 단위의 도막 두께 정량화 - 1cm^3 단위의 부식 부피 정량화
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 5.65억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

과제명	2.1.2 : 2D/3D 영상을 활용한 강재균열 및 볼트풀림 정량화 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인체로부터 촬영된 영상 정보를 통한 100μm 단위의 강재의 균열 및 45° 단위의 볼트풀림 진단 및 정량화
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 강교량은 공용기간 중 외부 하중에 의하여 반복적인 응력 변동이 발생하고 이로 인한 피로손상은 시간이 흐름에 따라 함께 진행해가는 성질이 있으며 강교의 수명을 지배하는 중요한 요인임 ▪ 강재균열은 대다수가 강재의 피로손상으로 인해 발생하고 있으며 피로에 의한 부재의 파손 사고는 전체 파손사고 중에서 약 59%를 차지하고 있음 ▪ 강재 피로손상으로 인한 부재 파손을 예방하기 위해서는 피로손상의 진행 상태를 알 수 있는 강재균열의 진행을 모니터링 하는 기술이 필요하지만 현재 강재 균열을 효율적으로 모니터링 할 수 있는 기술이 부족함 ▪ 볼트접합부에서 볼트풀림 교량에 심각한 내하력 저하를 야기하고, 위험부재로써 관리되고 있으나 특별한 대체 기술이 없어 종래의 기술들이 현재까지 이용되고 있음 ▪ 2012년 기준 국내 전체 교량의 유지관리비용은 약 1,820억원이며, 강교량이 약 15%를 차지하고, 1개 교량 당 볼트풀림 진단 비용이 약 5% 수준으로 가정하였을 때, 연간 볼트풀림 진단에 사용되는 비용은 약 13.7억원으로 예상됨 ▪ 본 기술은 짧은 시간 안에 강교의 볼트접합부와 강재 접합부를 촬영하고 해당 촬영 영상으로부터 모든 볼트들에 대한 풀림여부를 감지하고 강재 균열을 평가하는 기술로, 기존의 볼트풀림 점검 및 강재 균열 모니터링 기술들에 비해 점검시간이 짧으며, 경제적임 ▪ 해외 선진국의 경우 유지관리비용이 국내에 비해 높고, 국내와 달리 볼트풀림 사례가 많이 나타남에 따라 본 기술이 성공적으로 개발되어 상용화 될 경우 연간 수백 억원 이상의 시장규모가 될 것으로 판단됨
□ 기술동향	▪ 교량 구조물의 강부재 균열 검출을 위하여 PZT, 광섬유센서, 변형률계 등 다양한 종류의 센서를 활용하여 비파괴 검사가 수행되고 있으나 센서 설치 시간 및 균열 검출 효율이 육안검사에 비해 떨어짐 ▪ 볼트풀림을 진단하기 위한 국내외 기술들은 많으나, 대부분 부착식 센서를 활용한 기술들이 대부분임 (볼트풀림 검출각 10° ~ 12°) ▪ 영상을 활용한 기술은 부경대학교 산학협력단에서 기술을 개발한 바 있고 해외에서는 미국 Perdue University에서 개발한 바 있음 ▪ 접촉식 압전센서를 이용한 피로균열 진단과 관련해서는 Hong Kong Polytechnic University에서는 운행중인 베이징-상해 고속철도차량

	보기 구조물에 시험 적용한 바 있음 ▪ KAIST에서는 압전센서를 이용한 피로균열 진단이 가능한 무선센서 노드를 개발하고 이를 영종대교에 현장 적용함. 또한 비접촉 가진과 레이저 스캐닝을 통해 균열을 영상화 할 수 있는 기법을 개발함
3. 연구개발 내용	
	▪ 강재균열 및 볼트풀림 영상정보 획득을 위한 영상 처리 기술 선정 및 개발 ▪ 강재균열 및 볼트풀림 검출에 영향을 미칠 수 있는 왜곡 요소 검토 및 보정기술 개발 ▪ 강교 강재 균열 영상기반 진단 요소기술 및 알고리즘 개발 (100μm 단위의 강재 균열 정량화) ▪ 강교 볼트접합부 영상기반 볼트풀림 진단 요소기술 및 알고리즘 개발 (45° 단위의 볼트풀림 정량화) ▪ 모형실험을 통한 영상기반 강재균열 및 볼트풀림 진단기술의 검증 및 보완 ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 영상처리, 무인체 제어 기술 등 관련 기술을 보유한 산업체 및 연구기관 등과의 협업을 통해 공동연구 수행 ▪ 촬영 영상에서 발생 가능한 왜곡 문제 해결을 위해 영상처리 연구 대학 및 연구소들과 공동 연구 수행 ▪ 한국시설안전공단 및 한국도로공사와 같은 실질적인 강교량 관리주체와의 협의를 통한 테스트베드 구축 필요
□ 타과제와의 연계	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 개발 진단 장비의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계 필요 ▪ 2.1.1 세부와의 지속적인 연계를 통해 강구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련 ▪ 3 세부에서 필요로 하는 정보 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
5. 최종성과물	
	▪ **비접촉식 강재 균열 및 볼트풀림 정량화 장비 시작품** - 100μm 단위의 강재 균열 폭 검출 - 45° 단위의 볼트풀림 각도 검출 - 무인체 탑재가 가능하도록 2kg 내외로 장비 구성 - 측정 및 검출시간 1분 이내
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 5.55억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

과제명	2.2.1 : 2D/3D 영상 및 열화상 카메라를 활용한 콘크리트 표면균열 정량화 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비 탑재용 CCD 영상 및 적외선 열화상 기반의 콘크리트 표면 균열 정량화 시스템 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 무인체 기반의 구조물 모니터링 기술의 국내외 기술수요가 급증하고 있음에도 불구하고 최근까지의 국내외 모니터링 기술은 유인 검측, 정적 상태 계측, 혹은 상용 UAV에 CCD 카메라를 접목한 초기단계의 이미지 프로세싱 기술들이 주를 이루고 있음 ▪ 현재 개발된 기술들은 실구조물의 현장 상황, 예컨대 현장 조도 및 음영의 영향 혹은 표면 불균질 상태의 영향으로 정밀한 계측이 용이치 않거나, 분석이 어려우며, 그 신뢰도가 높지 않음 ▪ 무인검사장비에 탑재가 가능하며, 기존의 CCD 카메라에만 의존했던 영상 분석을 뛰어넘는 CCD/적외선 하이브리드 영상 기반의 콘크리트 균열 계측 및 자동화 평가 시스템 개발이 필요함 ▪ 개발 시스템은 정밀한 무인검사장비 원격 제어 기술과 접목하여 조도 및 음영, 그리고 불균질한 표면상태 등의 예측이 어려운 현장 환경 변인에 민감하지 않으며, 보다 정밀한 균열 정량화가 가능한 원천 신기술임 ▪ 즉시적 균열 평가 알고리즘을 개발하고 무인검사장비에 탑재하여 사용자에게 실시간 안전진단 정보를 제공할 수 있으므로, 기존의 기술적 한계점을 뛰어넘는 원천 기술 개발 확보의 의미를 지님은 물론이고, 향후 다양한 대상 구조물의 손상진단 및 재난요소 모니터링 등의 타분야 확장성도 매우 높음 ▪ 현재 구조물 건전성 모니터링 분야에서 사용되는 센서 및 계측장비는 대부분 해외 기술에 의존하고 있어, 이 분야의 국내 원천 기술 개발이 절실한 상황. 본 원천 기술의 개발은 국가 경쟁력을 강화할 수 있는 계기로 개발 기술의 해외 이전 가능성 또한 매우 클 것으로 예측
□ 기술동향	▪ ㈜쓰리텍에서는 고정된 상태의 CCD 카메라를 이용하여 20m 의 거리에서 0.1mm 균열을 측정한 바 있음 ▪ UNIST 에서는 UAV에 CCD 카메라를 적용해 콘크리트 균열 폭 0.25mm 까지 측정한 바 있음 ▪ 프랑스 Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussees 에서는 UAV에 CCD 카메라를 탑재해 mm 단위의 교량 표면 균열 탐지를 위한 적용가능성 실험을 수행한 바 있음 ▪ 독일의 Fraunhofer Institute for NDT 에서는 UAV에 CCD 적용해 건물 3D스캔 후 점검하는 기술을 개발하였고, 1mm 균열을 탐지를 위

한 파일럿 테스트를 수행한 바 있음

- 국내외 대부분의 기술들은 고정형태 또는 주변풍속 1~2m/s 이내의 안정적 환경 조건에서 적용이 가능하며, 공통적으로 표면 불균질에 의한 오보 가능성이 높고 진단 시 조도 및 음영에 많은 영향을 받는다는 문제점을 가지고 있음

3. 연구개발 내용

- CCD/적외선 하이브리드 영상 기반의 균열평가 요소기술 개발
- 무인체 탑재용 하이브리드 영상 시스템 개발: 부피 30x30x30cm^3, 무게 3kg 이내
- 무인검사장비 탑재로 유발되는 동적 불안정 이미지 처리를 위한 영상 보정 알고리즘 개발 (측정거리 2m 이내에서 300μm 균열 폭 정량화)
- 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증

4. 연구개발 추진전략

□ 추진전략

- 상용 CCD 카메라, 적외선 카메라 및 원격 열원 가진 시스템의 콘크리트 균열 정량화를 위한 충분한 성능 검토를 통해 요구되는 최소사양의 경량 시스템을 구축
- 연구단 내 무인검사장비 개발 연구팀과의 유기적인 협력을 통해 적정 탑재 하중 및 공간, 나아가 운용 중 안정화 변수 등에 대한 정보교환
- 대상 테스트베드의 비행거리, 풍속 및 조도 등의 현장 요건에 대한 선수 조사는 현장 시험의 성공을 답보
- 국내외 협력 연구기관 및 전문가와의 긴밀한 협조체제를 구축하여 핵심 원천기술을 확보하고 최신 기술동향 파악 및 향후 발전방향 모색
- 개발 시스템의 향후 실용화 및 사업화를 위한 국내외 지적 재산권 확보 및 기술이전 추진

□ 타과제와의 연계

- 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 개발 진단 장비의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요
- 2.2.2 세부와의 지속적인 연계를 통해 콘크리트 구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련
- 3 세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요

5. 최종성과물

- **비접촉식 콘크리트 표면 균열 정량화 장비 시작품**

- 부피 30x30x30cm^3, 무게 3kg 이내의 하이브리드 영상 시스템
- 0.3mm 폭의 균열 검출 및 정량화
- 97% 의 검출 신뢰도
- 1회 측정면적 50x50cm^2 이상
- 측정 및 검출시간 1분 이내

6. 연구기간 및 지원예산

- 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년)
- 연구비 예산 : 3.75억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

과제명	2.2.2 : 2D/3D 영상, 열화상, 초분광 카메라를 활용한 콘크리트 백태, 박락 정량화 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 2D/3D 영상 및 초분광 영상으로부터 콘크리트 표면과 백태와 박락에 해당하는 부분을 분리, 분석하여 백태와 박락을 정량화하는 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 공용 중인 도로교의 37.4%(6,763개소)가 1986~1996년에 가설된 교량으로 교량의 보강주기(15-20년)을 감안할 때, 조만간 유지보수 수요의 급격한 증가가 예상됨 ▪ 교량의 유지관리는 현재 안전성 중심에서 성능 중심으로 전환되고 있으며, 내구성 평가의 중요성이 점차 부각되고 있음 ▪ 콘크리트 구조물의 내구성 평가는 균열, 백태, 박락과 같은 외부손상과 중성화, 철근부식, 박리와 같은 내부 손상을 모두 고려하여야 함 ▪ 무인체와 영상 장치를 함께 이용할 경우, 대형 토목구조물에서 콘크리트 외부손상에 대한 정보를 경제적이고 수월하게 획득하고 데이터베이스화하여 구조물의 유지관리 비용을 크게 절감할 수 있음 ▪ 콘크리트의 손상을 정량화하고 적절한 유지관리 계획을 세우기 위하여, 최신의 영상 기반의 장치를 이용하여 백태와 박락을 정량화하는 기술 개발이 필수적임 ▪ 백태는 콘크리트 표면에 흰색으로 나타나 시각적 탐지가 가능하지만, 회색의 콘크리트의 색상과 대비가 크지 않아 영상 기반의 탐지 및 정량화에 관한 연구가 미흡한 실정임 ▪ 박락은 외관상으로 뚜렷하게 드러나지만, 영상 기반의 정량화에 관한 연구는 미흡함 ▪ 영상장비를 탑재한 무인검사장비를 이용할 경우, 국내외 토목구조물 유지관리 시장에서의 활용도가 매우 높을 것으로 예상됨 ▪ 현재 매우 고가인 초분광 카메라는 조만간 가격이 하락하여 활용도가 매우 높아질 것으로 예상되어, 적극적 연구를 통해 원천기술을 선점하는 것이 필수적임
□ 기술동향	▪ **백태 탐지 및 정량화 기술** - 콘크리트의 백태를 측정하는 영상 및 초분광 영상 기반 기술은 국내외 모두에서 개발된 바 없음 ▪ **박락 탐지 및 정량화 기술** - 2012년 미국 조지아텍 연구팀(German, Brilakis, and DesRoches; 2012)은 문헌연구를 통해 영상 기반으로 콘크리트의 박락을 정량화하는 기술이 개발된 바 없다고 밝힘. - 2D 영상을 이용하여 지진 후 구조물 상태 평가를 위한 박락 정량화 연구를 수행하였으나, 노출된 철근과 골재를 이용한 박락 진단을 수행

	하여 정확도가 높지 않음
3. 연구개발 내용	
	▪ 초분광 영상을 이용한 백태 및 박락의 스펙트럼 분석 및 특성 추출 ▪ 2D/3D 영상 및 초분광 영상을 결합한 백태 및 박락 진단 및 정량화 기술 개발 ▪ 영상처리 기법의 접목을 통한 개발 기술의 정밀도 및 신뢰도 향상 (측정거리 5m 이내에서 5분 이내에 백태 및 박락 면적 정량화). ▪ 정량화 소프트웨어 및 GUI 개발 ▪ 시작품 제작 및 테스트베드 적용을 통한 검증
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 초분광 영상 관련 기술에 대한 충분한 문헌연구를 통하여, 백태 및 박락 정량화 기술 개발 시간을 절감하고, 기술의 최적화 및 경쟁력확보에 주력 ▪ 테스트베드에서의 성능 검증을 최종 목표로 연구함으로써, 실용화 및 상용화가 가능한 기술 확보 ▪ 기술의 소비자인 대형구조물 관리주체(국가기관 및 유관 공공기관), 관련 연구소, 산업계의 공통 추진체계를 갖추어 핵심·원천기술 개발 ▪ 타 분야(원격탐사, 전자, 국방 등)에서 초분광 영상 관련 연구를 수행한 적이 있는 연구기관과의 협력 및 관련 기술 도입을 통해, 초분광 영상 관련 기술적 위험요인 최소화 ▪ 도면 형상을 기준으로 박락의 정량화를 수행함으로써 객관적인 정량화 수행
□ 타과제와의 연계	▪ 1.1.1, 1.2.1 세부에서 개발하는 무인검사장비에 개발 진단 장비의 탑재 및 운용이 가능하도록 협조 및 연계가 필요 ▪ 2.2.1 세부와의 지속적인 연계를 통해 콘크리트 구조물 진단을 위한 통합 영상 시스템을 공동으로 운용할 수 있는 방안 마련 ▪ 3 세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요
5. 최종성과물	
	▪ **비접촉식 콘크리트 백태, 박락 정량화 장비 시작품** - 통합 장비 무게 3kg 이하 및 부피 30x30x10cm^3 이내 - 5x5m^2 영역을 5m 이내의 거리에서 5분 이내에 분석 및 정량화 ▪ **콘크리트 백태 및 박락 유무 진단 및 정량화 알고리즘** - 백태 진단 20%, 면적 30% 측정오차 - 박락 진단 5%, 면적 15% 측정 오차
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 5.55억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

과제명	2.3.1 : 내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 교대 및 교각에 설치된 내장형/부착형 센서와 무인검사장비의 연계를 통해 무선 전력/데이터 송수신을 수행하고, 교량 세굴심을 효과적으로 모니터링 할 수 있는 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 우리나라는 산이 많은 지형으로 하상경사가 크고 강수량이 하절기에 집중되어 있어서 홍수 시 세굴의 가능성이 매우 높으며, 특히 지난 2002년에는 집중호우 및 태풍 '루사'로 인해 226개의 교량이 붕괴된 바 있음 (재해연보) ▪ 매년 우리나라에서 세굴로 붕괴되는 교량의 수는 평균 100개가 넘는 것으로 조사 되었으며 (재해연보, 한국건설기술연구원) 이를 방지하기 위해서는 홍수 시, 세굴심을 정확하게 측정할 수 있는 기술이 필요함 ▪ 교량의 효율적 유지관리 및 재난대응 시스템을 구축하기 위해서, 세굴심을 정확하게 측정 할 수 있는 기술이 필요함 ▪ 기존의 세굴심 계측 관련 기술은 대체로 실험실 규모의 성능평가에서 성공적이었으나 실제 적용 시 센서/전원공급/데이터관리 등의 문제점이 있어 광범위하게 확산되지 못함 ▪ 내장형/부착형 센서와 무인체 기술을 연계하여, 무선데이터 전송과 전력공급을 통해 효율적인 세굴심 모니터링을 실현할 수 있어, 이에 기술 개발이 필요함 ▪ 사회기반시설물에 대하여 유지관리투자의 경우 시설물 자산 가치대비 0.3%, 신규 건설 대비 8% 정도로 선진국 1/3 가량으로 유지관리 및 안전관리에 대한 투자가 필요함 ▪ 건설시장의 투자액 중 안전관리분야가 차지하는 비중이 점차 증가하는 추세이며 향후 시설물 안전관리 기술이 차세대 건설 산업을 선도할 것으로 예상됨
□ 기술동향	▪ 한국건설기술연구원에서는 일정한 간격으로 부착된 온도 센서를 활용하여 매질 경계면에서의 온도변화를 이용하여 세굴심을 측정하는 연구를 수행함 ▪ 세종대학교에서는 세굴심 측정을 위해 수중음파장비(Sonar)를 이용한 첨단 수중점검 장비를 개발한 바 있음 ▪ 삼성물산에서는 회전가능한 초음파 탐지기를 이용하여 세굴 진단 시스템을 개발, 검증한 바 있음 ▪ 미 연방도로국에서는 초음파를 이용하여 세굴심을 측정하고 이를 3D 이미지로 변환하는 기술을 개발한 바 있음 ▪ 동일본여객철도에서는 교각에 경사계 및 가속도계를 설치하고 측정데

이터들을 기반으로 세굴심을 측정하는 기술을 개발한 바 있음
- 국내외 대부분의 기술들은 공통적으로 상시 모니터링이 힘들다는 문제점을 가지고 있음

3. 연구개발 내용

- 세굴심 모니터링을 위한 최적 기술 선정 및 타당성 조사
- 세굴 진행 정도에 따른 해석 응답 변화 분석 수행
- 수치해석을 통하여 교량 세굴 평가를 위한 최적 센서 및 계측 물리량(센서) 분석 수행
- 내장형/부착형 센서와 무인검사장비 간 데이터 전송 및 연계 기술 개발(내장형/부착형 센서와 시스템 구성, 무인검사장비와 내장형/부착형 센서 데이터 전송 및 무선통신 시스템 구성, 내장형/부착형 센서 전원 공급 시스템 구성)
- 내장형/부착형 센서로부터 계측된 상시계측 데이터에 기반한 세굴심 모니터링 알고리즘 개발(세굴심 최대 추정 오차 ±10cm 이내)
- 무인체와 내장형/부착형 센서가 연계된 세굴심 모니터링 기술 실험실 규모 검증 수행
- 실험실 및 테스트베드에서 개발 기술의 적용 및 검증

4. 연구개발 추진전략

□ 추진전략
- 저전력 또는 무전원 센서 기술을 바탕으로 세굴 모니터링에 적합한 무선센서 개발 및 적용 필요
- 내장형/부착형 센서 연계를 통한 세굴 검사 및 위험도 평가 기술 개발을 위해서는 IT, 센서, 통신 기술, 기계 등 다양한 분야의 기술이 복합적으로 필요하기 때문에 산학연 공동 연구 체계 구축
- 우리나라의 재해대응 기술 수준은 선진국 대비 59.4%로 상대적으로 낮기 때문에 외국 사례 분석 및 국내외 전문가들과의 기술 교류를 통하여 연구 체계 구축

□ 타과제와의 연계
- 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈이 적용 가능하도록 연계 필요
- 3 세부에서 필요로 하는 정보의 파악 및 이들의 정량적이고 신뢰도 높은 정보 제공 필요

5. 최종성과물

- **세굴심 모니터링 시스템 시작품**

-내장형/부착형 센서와 무인검사장비의 연계를 통해 세굴심 실시간 모니터링이 가능한 시작품 개발
-세굴심 최대 추정 오차 ±10cm 이내

6. 연구기간 및 지원예산

- 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년)
- 연구비 예산 : 3.75억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

과제명	2.3.2: 매립형/부착형 무선센서와의 연계를 통한 국부손상감지기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 구조물에 설치된 매립형/부착형 무선센서를 통해 강재의 피로균열 및 PT텐던 장력을 효과적으로 진단하고, 무인체와 상호연계함으로써, 구조물 생애주기동안 반영구적 운영이 가능한 국부손상감지 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 강구조물의 경우, 붕괴원인의 90% 이상이 피로균열 발생이며, 일반 강교량 (4차로 1000 m) 기준 정밀안전진단 1회당 약 1.76 억원의 예산이 소요됨 (시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대가표, (사)한국시설물안전진단협회, 2014년). 그러나 피로균열의 폭은 수 ㎛ 수준으로, 일반적인 육안 검사를 통한 조기 감지가 불가능함. ▪ PT텐던은 장대교량, 원전구조물 등 대형 콘크리트구조물을 구성하는 주요 부재로써, PT텐던의 잔여장력은 구조적 안전성과 밀접한 연관이 있음. 그럼에도 불구하고, 콘크리트에 매립되는 PT텐던의 설계구조상 인력 접근 및 센서부착이 불가능하여 현재 장력측정 기술이 없음. ▪ 최근 (2016.2.21.) 서울 내부순환로 일부 교량에서 텐던의 부분절단, 부식이 발견됨으로써 한 달 동안 긴급 폐쇄되었으며, 이로 인하여 극심한 교통 정체, 보수·보강 등 막대한 사회적·경제적 비용이 발생함. ▪ 기존 검사인력 기반의 구조물 안전진단을 실시하는 경우, 인력의 안전문제로 접근이 불가능한 지역과 콘크리트에 매립된 부재(ex. PT텐던)에 대한 안전진단 정보를 획득할 수 없음. 해당 위치에 구조물 매립형/부착형 무선센서를 설치하고 무인검사장비에 의하여 주기적으로 운영(전력수급 및 진단데이터 수집)함으로써, 손상을 조기에 발견하고, 이로인해 발생가능한 사회적·경제적피해를 최소화할수있을 것으로 기대.
□ 기술동향	▪ **강재 피로균열 감지 기술** - 2000년대 초반 KAIST, Georgia 공과대학 등 다수의 연구기관에서 선형 초음파 기반 강재 균열감지 기술을 개발하였음. 해당기법은 균열폭 mm 수준의 균열에는 높은 민감도를 보여주는 반면, 실 구조물에서 발생되는 수 um 수준의 피로균열은 감지에 한계가 있음. - 일본 Tohoku 대학교에서는 와전류 탐상법을 이용한 강재 균열감지 및 정량화 기술을 개발하였음. 그러나 와전류 탐상은 대상 물체와의 거리 및 주변환경에 민감하여, 충분한 진단신뢰도 확보를 위해서는 철저히 제어된 진단환경이 요구됨. ▪ **PT텐던 장력 측정 기술** - 한국건설기술연구원(KICT)에서는 강연선 중앙에 광섬유와 FBG센서가 삽입된 스마트 강연선을 개발하여, 강연선 길이방향의 장력을 계측함. 해당 기법은 광계측장비, 스마트 강연선 특수제작공정 (강연선 내부에 광섬유 삽입) 에 과도한 초기비용이 발생함.

- 미국 Northeastern 대학교에서는 PT텐던 장력 정량화를 위한 전자기 센서를 개발하였음. 해당기법의 적용을 위해서는 순간적으로 수백W의 전력이 요구되어 상시적 진단에 활용될 수 없고, 구조물 매립이 불가.

3. 연구개발 내용

- 매립형/부착형 무선센서 기반 피로균열 (길이 20 mm, 폭 100 μm) 진단 및 PT텐던 장력측정 (초기긴장력 대비 30% 저하감지) 시스템개발
- 저전력(<3W) 으로 구동 가능한 무선센서 기반 손상진단 기술을 개발·검증함으로써, 무인검사장비로부터 수급 받아야하는 전력량 최소화 (무선센서 전력소모량 < 10 W, 콘크리트 매립두께 포함 무선센서와 무인검사장비 사이의 거리 > 500 mm)
- 실험실 환경에서 무인검사장비로 운영되는 매립형/부착형 무선센서의 성능평가·검증 (유선 전력 기반 운영결과와 비교) 및 시스템 보완
- 현장 환경에서 무인검사장비로 운영되는 매립형/부착형 무선센서의 성능평가·검증 (실험실 환경의 결과와 비교) 및 시스템보완

4. 연구개발 추진전략

□ 추진전략

- 피로균열감지 기술은 시설물 유지관리주체와의 연계를 통하여, 실제 현장시설물에서 발생한 피로균열을 대상으로 현장적용성 검증함
- PT텐던 장력 측정 기술은 국내 PT텐던 시공업체 및 유지관리 업체를 후보기업을 설정하고, 연구기간 내에 기술이전계약 달성을 목표함
- 강재/텐던 제작 및 시공업체와의 공동연구를 통하여, 개발초기부터 시공 및 유지관리 현장에서의 제한점·요구사항 등을 파악하고 해결함으로써, 기술의 실용화·상용화 가능성 증대

□ 타과제와의 연계

- 1.3.2 세부에서 개발하는 무선 전력/데이터 송수신 모듈로부터 무선센서 구동에 필요한 전력을 공급받고, 수집된 진단데이터를 무인체로 전달함. 단, 지원가능한 전력수급량, 데이터전송량 등을 파악하고, 개발된 무선센서hd가 해당 사양 이내에서 운영가능하도록 설계되어야 함
- 수집된 시설물 국부손상감지 정보를 3.2.1 세부의 성능저하모델 구축을 위한 자료로 제공함으로써, 보다 정확한 시설물 건전도 평가 수행

5. 최종성과물

- **무인검사장비 연계 피로균열 감지 무선센서 시작품**

- 길이 20 mm, 100 μm 폭의 강재 균열 검출
- 측정시간 약 5분 내외 및 소비전력 3W 이내

- **무인검사장비 연계 PT텐던 장력 측정 센서 시작품**

- 초기 긴장력 대비 30 % 이상 긴장력 저하 감지
- PT텐던 정착부 당, 측정시간 약 5분 내외 및 소비전력 3W 이내

6. 연구기간 및 지원예산

- 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년)
- 연구비 예산 : 5.75억원 (정부출연금 : 3.75억원 이내)

7.1.3 3세부 RFP

과제명	3세부: 무인검사장비 연계를 통한 시설물평가 및 유지관리 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술 개발 ▪ 무인검사 데이터와 기구축 DB 연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술 개발 ▪ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ BIM 기반의 대용량 구조물 진단 데이터를 수집, 저장, 처리하기 위해서는 사용자 맞춤 및 유연한 구축·운영이 가능하고 비용 효과가 좋은 클라우드 컴퓨팅 기술이 필요 ▪ 구조물 안전관리를 위해 수집된 데이터를 효율적으로 통합하여 다양한 서비스와 연동하기 위해서는 IoT기반의 데이터 통합과 BIM기반의 센서 데이터 맵핑 및 표출 연동기술개발이 필요함 ▪ 무인검사장비 계측 데이터는 기존 방식으로는 구현이 어려운 3D, 열화상 자료 새로운 형태의 데이터를 확보함에 대상 구조물의 열화환경과 무인검사장비 계측 데이터를 종합적으로 고려한 최적의 성능저하모델을 개발하여 구조물의 건전도를 평가할 수 있는 기술개발이 필요 ▪ 현행 시설물 성능 등급 산정은 한국시설안전공단의 “안전검검 및 정밀안전진단 세부지침”에서 제시한 방법론에 근거하여 수행되고 있으며, 주요 관리주체별로 교량 유지관리를 위한 BMS가 운용되고 있으나, BMS DB 및 무인검사장비를 활용하여 획득된 현장 계측 데이터를 종합적으로 고려하여 시설물의 성능를 평가하는 기술 개발 필요 ▪ 현행 구조물 안전진단 지침에는 무인검사장비를 활용한 시설물의 상태조사와 그 결과를 활용한 평가기법 및 절차가 제시되어 있지 않으므로 현장 적용 이전에 제도화를 위한 지침 개발이 필요함 ▪ 무인검사장비 기반 대형 SOC 시설물의 유지관리를 위해서는 시설물의 유형과 점검환경에 맞는 무인검사장비의 활용계획에서부터 장착된 각종 센서로부터 수집된 데이터의 체계적인 관리와 이로부터의 정량적인 분석과 합리적인 의사결정 과정까지가 포함된 통합유지관리시스템의 개발과 이를 표준코드로 체계화 시키며, 패키지화할 필요 있음
□ 기술동향	▪ 구조물의 상태 정보(BIM 데이터, 이미지, 영상 등)를 기반으로 구조물 안전 수준의 모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구가 진행되고 있으나 대용량 데이터 처리 및 공동활용을 위한 시스템 인프라는 전무하나, 한국도로공사에서는 시설물관리 업무의 효율성을 높이기 위해 고속도로 교량관리를 위한 HBMA 시스템 등에 대한 클라우드 기술 적용연구를 진행하고 있음

▪ 최근에는 점검결과로서 내구성이나 건전성을 평가하는 방법과 더불어 열화를 발생시키는 원인이 되는 열화환경을 평가하여 대상 구조물의 열화발생 가능성과 열화진전 속도를 평가에 반영하려는 경향이 있으나, 현재 무인검사장비 계측 데이터와 성능저하모델을 활용하여 건전성을 평가하는 기술에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있음

▪ 영상처리기술 등에 의한 성능등급평가 자동화 기술에 대해 일부 존재하나, 무인검사장비를 기반으로 한 데이터와 기구축 DB를 연계하여 평가 및 성능등급을 산정하는 기술은 국내외적으로 전무함

▪ 국토교통부와 항공안전기술원은 무인비행체 활용을 신산업분야중 한 분야로 선정하고 안전성 검증 시범사업을 진행 중임(~2017년 12월)

▪ 구조물 유지관리기관마다 독자적으로 운영되는 유지관리시스템을 통일하고자 하는 연구가 수행되고 있으나 현재 국내에 무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 수집 데이터의 통합 관리 시스템은 전무함

3. 연구개발 내용

▪ **무인검사장비 계측 데이터를 이용한 BIM 기반 IoT 플랫폼, 데이터 맵핑 및 가시화 기술**

- 클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영 기술 개발
- 무인검사장비 계측 데이터 맵핑 및 가시화 기술 개발

▪ **무인검사 데이터와 기구축 DB연계를 통한 구조물 평가 및 유지관리 기술**

- 무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 기술 개발
- 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계형 성능등급 산정 기술 개발

▪ **무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시스템 운영체계 정립**

- 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발
- 무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립

4. 연구개발 추진전략

□ 추진전략

▪ 오픈소스 기반의 클라우드 컴퓨팅 인프라 및 플랫폼 관련 기술, 인력의 참여를 통한 독자 기술 확보하며, 대용량 데이터 처리를 위한 클라우드 컴퓨팅 인프라 구축 기술은 산·학 등과 연계하여 추진

▪ 산학연의 유기적인 협조를 통해 사용자 중심의 맵핑 표출기술 개발 추진하며, 개방형 API기반 가시화 기술을 통해 관련 중소기업의 다양한 서비스 사업화 유도

▪ 기존 정밀안전진단 체계와 연구가 진행 중인 최신 성능평가 방식의 평가체계를 기초로 하여 연구 추진하며, 본 연구에서 개발되는 성능저하모델과 건전성 평가기법의 신뢰도 검증을 위한 비교를 위하여 기존 정밀안전진단 기반의 건전도 평가 결과를 활용

	▪ 국토교통부 BMS, FMS DB 활용을 위한 관련 부서와의 협의를 추진하며, 무인검사장비 계측 데이터와 기 구축 DB 연계 성능 등급 메뉴얼 활용을 위한 시설물 관리주체 및 산업체와의 협업
□ 타 세부와의 연계	▪ 2세부에서 효율적인 구조물 진단이 가능하도록 시설물 평가 및 유지관리를 위한 진단 지침 및 필요한 정보를 명확히 제시하여야 함 ▪ 1세부의 무인검사장비 검사위치 추정을 위한 대상구조물 맵핑 정보를 이용하여 구조물 유지관리를 위한 BIM 구축에 활용할 수 있도록 함
5. 최종성과물	
	▪ **클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 시작품** - 구조물데이터의 수집 처리기능 구현 - 데이터 저장, 처리 기능 구현 - 클라우드 관리 플랫폼 기능 구현 ▪ **무인검사장비 계측 데이터의 BIM 맵핑 및 가시화 S/W 시작품** - 국내/국제 IoT 표준 기술 적용 - 진단 위치 맵핑 및 무인검사장비 측정 정보의 연동 구현 - 구조물 진단 정보 가시화를 위한 API 구현 ▪ **무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도평가 매뉴얼** - 무인검사장비 계측데이터 기반 구조물 성능저하모델 - 성능저하모델을 활용한 무인검사장비 기반 구조물 건전성평가 알고리즘 - 무인검사장비 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼 ▪ **무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능등급평가 매뉴얼** - 무인검사장비 계측 데이터 기반 시설물 성능 등급화 알고리즘 - 성능 등급 평가를 위한 정량적 지표 - 무인검사장비 계측 데이터와 기구축 BMS DB 연계 방법론 - 무인검사장비와 BMS DB 연계형 성능등급 산정 S/W 및 매뉴얼 ▪ **무인검사장비 기반 안점점검 운영지침 보고서** - 무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 운영지침 - 무인검사장비 기반 점검시나리오 실용화 방안 보고서 ▪ **무인검사장비 계측 데이터의 통합관리 표준코드 체계 매뉴얼** - 유효 데이터 추출 및 유효성 검증 시스템 - 데이터 종류별 안전성 및 내구성 평가 등 분류체계 매뉴얼
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 30 억원 (정부출연금 : 22.5억원 이내)

과제명	3.1.1: 클라우드 컴퓨팅 기반 대용량 데이터 수집, 저장, 처리 및 관리 플랫폼 구성 및 운영
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 구조물 검사 데이터에 대한 수집, 저장, 처리를 수행할 수 있는 플랫폼 시작품 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 최근 공공 발주 프로젝트의 BIM (Building Information Modeling) 적용 의무화 등의 영향으로 적용확대가 예상됨에 따라 BIM 인프라 구축, 정보 공유 및 관리를 위한 데이터 규격화, BIM 대용량 데이터를 수집, 저장, 관리, 처리할 수 있는 효율적인 시스템 및 공공 서비스 개발 구축이 필요함 ▪ BIM 기반의 대용량 구조물 진단 데이터를 수집, 저장, 처리하기 위해서는 사용자 맞춤 및 유연한 구축·운영이 가능하고 비용 효과가 좋은 클라우드 컴퓨팅 기술이 필요 ▪ 클라우드 컴퓨팅 시장규모는 지속적으로 성장하고 있으나 국내 공공부문의 클라우드의 외산 점유율이 매누 높은 상황으로 자체 기술 확보가 시급함 ▪ 정보보안 강화가 필요한 공공데이터에 대한 보호를 위하여 프라이빗 클라우드 기술 개발이 요구됨
□ 기술동향	▪ 클라우드 인프라 기술은 아마존 컴퓨터 서비스인 EC2, EMR, 스토리지 서비스인 S3, EBS, 그리고 데이터베이스 서비스인 DynamoDB, RDS가 대표적이며, 국내에서는 KT, SKT, LGCNS, 틸론, KISTI 등을 중심으로 서비스를 확대 중임 ▪ 클라우드 플랫폼 기술은 구글, 마이크로소프트 등의 클라우드 제공자를 중심으로 앱엔진, 에저 등의 범용 플랫폼 연구 개발이 진행되고 있으며, 다양한 웹 서비스 적용을 위해 통합개발환경 및 SDK가 제공됨 ▪ 최근 클라우드 기반 BIM 서비스 관련 연구가 활성화되고 있으며, Graphisoft 등과 같은 산업계를 중심으로「Open BIM Clouding」기술 등이 활성화되고 있음 ▪ 구조물의 상태 정보(BIM 데이터, 이미지, 영상 등)를 기반으로 구조물 안전 수준의 모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구가 진행되고 있으나 대용량 데이터 처리 및 공동활용을 위한 시스템 인프라는 전무함 ▪ 한국도로공사에서는 시설물관리 업무의 효율성을 높이기 위해 고속도로 교량 관리를 위한 HBMA(Highway Bridge Management System) 시스템 등에 대한 클라우드 기술 적용 연구를 진행하고 있음
3. 연구개발 내용	
	▪ 구조물 검사 대용량 데이터 수집, 저장, 처리를 위한 컴퓨팅 요구사항 도출 및 플랫폼 설계

	- 구조물 데이터(BIM 데이터, 이미지 및 영상)에 대한 분석 - 구조물 데이터의 규모산정 및 수집, 저장, 처리를 위한 성능 분석 ▪ 구조물 검사 정보 맞춤형 데이터 수집, 저장 모듈 개발 - 구조물의 BIM 기반 3D 객체 정보 처리 - 구조물의 공정, 비용, 품질, 안전, 유지관리 속성이 추가된 대용량 비정형 데이터 처리 - 무인체 기반으로 수집된 구조물의 이미지, 영상 등의 대용량 데이터 처리 - 기존 구조물 데이터 수집, 저장 시스템 활용을 위한 클라우드 기반의 가상시스템 구축 ▪ 이미지 모델링, 빅데이터 처리, 가시화 처리, 통합 관리 등 구조물 안전 수준 분석·예측 및 관리를 위한 클라우드 기반의 가상시스템 구축 ▪ 클라우드 컴퓨팅 기반 플랫폼 시작품 제작 및 검증 - 구조물 데이터 처리를 위한 성능분석을 기반으로 클라우드 컴퓨팅 시스템 및 네트워크 설계·구축 - 정보보안 강화를 위한 프라이빗 클라우드 플랫폼 개발 및 유관기관간 안전한 데이터 공유 방안 마련
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 오픈소스 기반의 클라우드 컴퓨팅 인프라 및 플랫폼 관련 기술, 인력의 참여를 통한 독자 기술 확보 ▪ 대용량 데이터 처리를 위한 클라우드 컴퓨팅 인프라 구축 기술은 산·학 등과 연계하여 추진 ▪ 클라우드 컴퓨팅 정보보안 관련 전문인력 참여를 통한 요소기술 개발 및 정보보호 대책 수립, 적용
□ 타과제와의 연계성	▪ 1.3.1 세부에서 개발하는 이동관제센터로부터 클라우드 컴퓨팅 시스템으로의 대용량 데이터의 전송, 저장, 처리가 원활히 수행될 수 있도록 긴밀한 협조 및 연계가 필요 ▪ 2 세부에서 계측되는 다양한 신호, 영상을 처리하고 분석할 수 있도록 연계 필요 ▪ 3.1.2 세부에서 개발하는 진단정보 가시화 시스템과의 연동을 위한 협의 및 연계가 필요 ▪ 3.2.1과 3.2.2 세부에서 개발하는 성능평가 기술을 위한 데이터 및 정보의 제공을 위한 협의 필요
5. 최종성과물	
	▪ **클라우드 컴퓨팅 기반 데이터 수집, 처리, 관리 플랫폼 시작품** - 구조물데이터의 수집 처리기능 구현 - 데이터 저장, 처리 기능 구현 - 클라우드 관리 플랫폼 기능 구현
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 5.5억원 (정부출연금 : 3.5억원 이내)

과제명	3.1.2 BIM 기반 IoT 센서 데이터 맵핑 및 가시화 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	• IoT 표준 기술과 BIM 데이터 정합을 통해 무인검사장비 측정 정보의 가시화 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 대형 구조물의 BIM 도입 의무 확대와 더불어 구조물 안전진단을 위해 IoT 기술 활용이 확산되고 있어 BIM기반 IoT 연동 기술이 요구됨 ▪ 건설분야의 다양한 BIM 기반 관리 기술과 IoT 기술 융합으로 건설 융합형 신규 서비스 확산이 예상 됨 ▪ ICT기술을 발전에 따라 스마트폰 H/W 및 S/W 분야 기술 개발의 속도가 점차 빨라지고 있으며, 모바일 유지관리 기술에 필요한 클라우드 컴퓨팅, BIM, 3D modeling 기술 개발이 상당부분 진행되고 있음 ▪ 구조물 안전관리를 위해 수집 된 데이터(무인검사장비, 센서, 기존 수집 등)을 효율적으로 통합하여 다양한 서비스와 연동하기 위해서는 IoT기반의 데이터 통합과 BIM기반의 센서 데이터 맵핑 및 표출 연동 기술개발이 필요함 ▪ 다양한 대형구조물 형태 및 무인검사 장치 등을 효율적으로 운영하기 위해 통합 된 하나의 IoT 기반 플랫폼이 필요하며, 해당 플랫폼은 다양한 형태의 검사 측정 데이터를 BIM 형태의 데이터 맵핑 기술을 통해 사용자 중심의 인터페이스 제공이 필요함
□ 기술동향	▪ 건설사에서의 BIM 도구 활용 현황에서 현재는 초기 설계 단계부터 적용되지는 못하고, 2차원 설계 이후의 설계 및 시공성 검토에 BIM 기술이 활용되고 있음 ▪ EGIS에서는 2차원 형태 GIS 공간 데이터의 3차원 공간 데이터 자동 생성 기술을 개발한 바 있음 ▪ ㈜ 석영시스템즈는 BIM 기반 시설물 유지관리 시스템 및 IFC 국제 표준 기반 에너지 모니터링 시스템을 개발한 바 있음 ▪ 디디알소프트는 3차원 객체 CAD기반 제품생산 기술을 개발하였으며 현재 건설통합 솔루션 및 시설물 관리분야 적용을 위한 연구를 진행 중임 ▪ 한국건설기술연구원에서는 BIM/GIS 통합 플랫폼 구축 연구 및 도로, 교량, 터널등에 대한 IFC 국제 표준 수립과 관련된 연구를 수행중임
3. 연구개발 내용	
	• 대형구조물 진단 데이터, BIM 및 IoT 기술 정합 방안 연구

	• 대형구조물 진단을 위한 표출 요구사항 조사 및 시나리오 수립 • 국내/국제 표준기술을 고려한 BIM기반 가시화 기술 개발 • 모바일 및 웨어러블 기기 연동을 위한 경량화 연동 기술 개발 • 실시간 무인검사장비 측정 데이터와 BIM/IoT 연동기술 개발 • 개발기술의 시작품 제작 및 테스트베드 적용
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	• 정부 및 관련 기관의 참여/협조를 통한 신뢰성 있는 데이터 수집을 통한 IoT기반 BIM 정합 기술 개발 • 산학연의 유기적인 협조를 통해 사용자 중심의 맵핑 표출기술 개발 추진 • 개방형 API기반 가시화 기술을 통해 관련 중소기업의 다양한 서비스 사업화 유도
□ 타과제와의 연계성	▪ 1.1.2과 1.2.2 세부에서의 대상구조물 맵핑 정보를 이용하여 구조물 유지관리를 위한 BIM 구축에 활용할 수 있도록 함 ▪ 1.2.2 세부의 내부 위치추정을 위한 BIM 정보 제공과 관련한 협의 및 연계 필요 ▪ 3.1.1 세부에서 개발하는 클라우딩 플랫폼에 저장된 데이터를 이용하여 BIM 기반 맵핑 및 가시화 할 수 있도록 함
5. 최종성과물	
	▪ **무인검사장비 계측 데이터의 BIM 맵핑 S/W 시작품** - 국내/국제 IoT 표준 기술 적용 - 진단 위치 맵핑 및 무인검사장비 측정 정보의 연동 구현 ▪ **정보표출을 위한 가시화 S/W 시작품** - 구조물 진단 정보 가시화를 위한 API 구현
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 6억원 (정부출연금 : 4억원 이내)

과제명	3.2.1 : 무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비 계측 데이터와 성능저하모델 및 기구축 데이터를 활용하여 구조물의 건전도를 90% 이상의 신뢰성으로 산출하는 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 콘크리트 구조물의 내구성 저하는 동해, 염해, 탄산화 등의 열화 메카니즘에 의해 시간이 경과함에 따라 서서히 발생하게 됨 ▪ 기존 정밀안전진단에서는 콘크리트 코어를 채취하여 탄산화 깊이, 염화물 침투량 등을 측정하여 내구성 저하에 대한 판단을 하고 있음 ▪ 무인검사장비를 활용하는 경우 코어채취와 같은 파괴적인 진단방법을 적용하기 어려워 기존의 구조물 내구성 평가기술을 동일하게 적용하기 어려움. 따라서 비파괴적인 방법과 영상자료에 의존하는 진단체계를 가진 무인검사장비의 한정된 데이터를 활용하여 건전도를 평가할 수 있는 방안의 모색이 필요함 ▪ 무인검사장비 계측 데이터는 기존 방식으로는 구현이 어려운 3D, 열화상 자료 새로운 형태의 데이터를 확보함에 따라서 이를 활용하여 건전성을 평가할 수 있는 기술이 요구되며, 대상 구조물의 열화환경과 무인검사장비 계측 데이터를 종합적으로 고려한 최적의 성능저하모델을 개발하여 구조물의 건전도를 평가할 수 있는 기술개발의 필요성이 있음
□ 기술동향	▪ 한국도로공사의 경우 교량 상부 부재에 염해와 동해가 복합적으로 발생하는 열화를 대상으로 최근 제설환경을 고려한 콘크리트 구조물의 염해 내구성 평가에 관한 절차를 마련하고 있음 ▪ 한국건설기술연구원과 일본토목연구소는 해안 인근 구조물들에 염해를 일으키는 주 요인인 비래염분을 실측 자료를 바탕으로 추정하는 모델을 개발함 ▪ 한국수력원자력에서는 원자력발전소 구조물의 주기적인 점검결과를 토대로 현상태의 건전성을 평가하는 기법과 탄산화 및 염해에 대한 원전 구조물의 수명을 예측하는 기법을 시스템화하여 적용하고 있음 ▪ 한국시설안전공단과 한국건설기술연구원은 구조물 점검 및 진단을 안전성, 내구성 및 서비스 성능을 종합적으로 평가하는 성능중심평가 체계로 전환하는 연구를 진행하고 있음 ▪ 최근에는 점검결과로서 내구성이나 건전도을 평가하는 방법과 더불어 열화를 발생시키는 원인이 되는 열화환경을 평가하여 대상 구조물의 열화발생 가능성과 열화진전 속도를 평가에 반영하려는 경향이 있음 ▪ 현재 무인검사장비 계측 데이터를 이용한 성능저하모델 개발 및 이를 이용하여 구조물 건전도를 평가하는 기술에 대한 연구는 거의 이루어

	지지 않고 있음
3. 연구개발 내용	
	▪ 대상 구조물의 열화환경 조사/분석 및 적용성 검토 ▪ 무인검사장비 계측 데이터 기반 건전성 평가 지표 설정 ▪ 무인검사장비 기반 최적 성능저하모델 개발 ▪ 열화환경/성능저하모델/기구축데이터/무인검사장비 기반 건전도 평가 알고리즘 개발 ▪ 무인검사장비 기반 건전도 평가 매뉴얼 개발 ▪ 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 신뢰성 높은 평가기법 개발을 위하여 기존의 현장 실측자료 및 열화모델 등과 다양한 비교, 검토 실시 ▪ 연구결과의 실용성을 높이기 위하여 전문 점검 기관과의 협업이 필요함 ▪ 기존 정밀안전진단 체계와 연구가 진행 중인 최신 성능평가 방식의 평가체계를 기초로 하여 연구 추진 ▪ 현장 적용성 및 실용성 확보를 위해 구조물 유지관리 및 평가 관련 전문가들의 자문을 통해 연구진행 ▪ 시설물정보관리종합시스템(FMS), 교량관리시스템(BMS) 등의 내구성 데이터 활용방안 검토 및 원전구조물 수명관리시스템(SLMS) 등 현행 시스템의 건전도 평가기법 분석 ▪ 본 연구에서 개발되는 성능저하모델과 건전도 평가기법의 신뢰도 검증을 위하여 기존 정밀안전진단 기반의 건전도 평가 결과와의 비교분석 수행
□ 타과제와의 연계	▪ 효율적인 구조물 건전도 평가가 가능하도록, 2세부에 시설물 평가를 위한 진단 지침 및 측정 데이터에 대한 정보를 명확히 제시하여야 함 ▪ 3.1.1 세부의 연구에서 개발하는 대용량 데이터 수집, 저장 및 처리 시스템과의 연동을 위한 협의 및 연계가 필요 ▪ 3.2.2 세부의 BMS DB 연계형 체계를 활용할 수 있도록 연계 ▪ 3.3.1, 3.3.2 세부의 연구결과물과 상호간에 호환 및 연계가 될 수 있어야 함
5. 최종성과물	
	▪ **무인검사장비 계측 데이터 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼** - 무인검사장비 계측데이터 기반 구조물 성능저하모델 - 성능저하모델을 활용한 무인검사장비 기반 구조물 건전성 평가 알고리즘 (기존 육안검사 기반 정밀안전진단 대비 90% 이상 신뢰도 확보) - 무인검사장비 기반 성능저하모델 및 건전도 평가 매뉴얼
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 9월 ~ 2019년 8월(3년) ▪ 연구비 예산 : 6.3억원 (정부출연금 : 4.5억원 이내)

과제명	3.2.2 무인검사장비 계측 데이터-BMS DB 연계형 구조물 성능등급 산정 기술
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비 계측 데이터와 기구축 BMS DB 연계를 통한 구조물 성능 등급을 90% 이상의 신뢰성으로 산정하는 기술 개발
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 현행 시설물 성능 등급 산정은 한국시설안전공단의 “안전검검 및 정밀안전진단 세부지침”에서 제시한 방법론에 근거하여 수행되고 있으며, 주요 관리주체별로 교량 유지관리를 위한 BMS가 운용되고 있음 (국토교통부, 한국도로공사 등) ▪ 따라서 현재 운용되고 있는 등급화 프로세스, BMS DB 및 무인검사장비를 활용하여 획득된 현장 계측 데이터를 종합적으로 고려하여 해당 시설물의 성능을 평가하는 기술 개발 필요 ▪ 국내 시설물 유지관리 시장의 규모와 업체는 지속적으로 증가하고 있으나, 과학적 유지관리 기법의 적용 등 질적 성장을 위한 노력은 미흡한 상황이므로 위에서 제시한 기술에 대한 필요성이 점차 증대 - 시장규모: (2001) 1.0조 원 → (2010) 2.8조 원 - 업체수: (2001) 1,982 개 → (2010) 4,056 개
□ 기술동향	▪ 고해상도 카메라 및 영상처리기술 등에 의한 성능 등급 자동화 기술에 대해 일부 존재하나 (한국도로공사 영상처리 기반 교량 손상검출장비 등), 무인검사장비를 기반으로 한 데이터와 기구축 DB를 연계하여 평가 및 성능등급을 산정하는 기술은 국내외적으로 전무 ▪ 시설물 진단/평가기술 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있으나 성능등급 산정을 위한 연구는 소극적인 수준 - 한국건설기술연구원에서는 교량계측데이터를 이용한 구조물 안전성 평가기법에 관한 연구를 수행하였으며, 처짐, 신축이음, 가속도 등의 통합 상태평가 기술 연구를 수행. 또한, 국토부 BMS 구축 및 관리를 한국시설안전공단과 공동으로 위탁받아 수행 중 - ㈜에이티맥스는 고해상도 이미지를 활용하여 콘크리트 표면의 균열 자동 감지기술을 개발하였고, 3D 스캐너를 이용한 좌표 데이터와 고해상도 이미지 맵핑 기술 개발 - 한국도로공사에서는 이미지 프로세싱을 이용한 교량 바닥판, 포장부 등에 대한 손상 검출 장치를 개발하고 활용중임 - 미국의 FHWA에서는 RABIT이라는 비파괴검사가 가능한 플랫폼형 장치를 개발하여 현재 활용중임
3. 연구개발 내용	
	▪ 기구축 BMS DB 분석 및 활용 방안 연구

	▪ 등급화 결과의 신뢰도 향상을 위한 DB 항목 결정 및 적용 방안 연구 ▪ 무인검사장비 계측 데이터를 활용한 시설물 상태 등급화 알고리즘 및 프로세스 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 통합 활용을 통한 구조물 성능 등급 산정 프로세스 개발 (신뢰도 90% 이상 확보 목표, 기존 정밀안전진단 결과와 비교를 통한 검증) ▪ 현장 여건을 고려한 최적 활용 프로세스 개발 ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계를 통한 구조물 성능평가 매뉴얼(안) 제시 ▪ 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 기술/정보 교류를 통한 관련 분야 기술동향 및 기술수준 조사 및 분석 ▪ 현행 정밀안전진단 세부지침에 근거한 연구 추진 ▪ 국토교통부 BMS DB 활용을 위한 관련 부서 협의 추진 ▪ 실제 시설물 점검 실무자들이 효과적으로 활용할 수 있도록 과제 초기에 관련자들의 의견 청취를 통한 현장 적용성 극대화 도모 ▪ 진단 전문가 자문을 통한 평가/등급화 기술 체계화 및 고도화 도모 ▪ 무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능 등급 메뉴얼 활용을 위한 시설물 관리주체 및 산업체와의 협업
□ 타과제와의 연계성	▪ 효율적인 구조물 성능등급 산정을 위해서 2 세부에 성능등급 산정을 위한 진단 지침 및 측정 데이터에 대한 정보를 명확히 제시하여야 함 ▪ 3.2.1 세부에서 개발되는 성능저하모델의 DB화 결과를 활용한 등급화 방안 마련 ▪ 3.3.1, 3.3.2 세부의 시스템 운영 체계에 본 세부과제 성과품 관련 내용 반영 가능 여부 검토
5. 최종성과물	
	▪ **무인검사장비 계측 데이터를 기반 시설물 등급 산정 알고리즘** - 무인검사장비 계측 데이터를 활용한 시설물 성능 등급화 알고리즘 - 성능 등급 평가를 위한 정량적 지표 제시 ▪ **무인검사장비 계측 데이터와 BMS DB 연계 성능 등급 산정 알고리즘 및 S/W 매뉴얼** - 무인검사장비 계측 데이터와 기구축 BMS DB 연계 방법론 - 무인검사장비와 BMS DB 연계형 성능등급 산정 S/W 및 매뉴얼 (등급산정 신뢰도 90% 이상)
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 9월 ~ 2019년 8월(3년) ▪ 연구비 예산 : 6.2억원 (정부출연금 : 4.5억원 이내)

과제명	3.3.1 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 시 검사항목, 검사 위치 또는 범위, 검사 시나리오, 센싱/검사 방법, 검사 주기 설정 등을 통해 안전성 확보 방안 등을 도출할 수 있는 유지관리 지침 제시
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 현재 시설물안전관리에 관한 특별법에 따른 안전점검 및 정밀안전진단 지침에 의거 시설물의 점검/진단이 실시되고 있으나, 대형구조물, 접근이 어렵거나 육안조사가 어려운 점검부위 등에 대한 점검과 자료 축적·관리·운영 등에 효율성을 기하기 위해 무인검사장비를 활용한 점검 필요성이 대두되고 있음 ▪ 현행 지침에는 무인검사장비를 활용한 시설물의 상태 조사와 그 결과를 활용한 평가기법 및 절차가 제시되어 있지 않으므로 현장 적용 이전에 제도화를 위한 지침 개발이 필요함
□ 기술동향	▪ 국토교통부와 항공안전기술원은 무인비행체 활용을 신산업분야중 한 분야로 선정하고 안전성 검증 시범사업을 진행 중이며 (~2017년 12월) 시범사업 이후 무인체 운영에 관한 각종 법제화 방안이 제시될 것으로 예상됨 ▪ 무인체 운영 법규화 정착의 일환으로 국토교통부에서는 (사)한국드론협회와 함께 스마트폰 어플(Ready to fly)를 개발하여 무인체 운영 전 스마트폰의 GPS를 이용해 현재 위치 또는 비행 장소의 공역정보, 기상정보, 일출·일몰 시각, 비행허가 소관기관(민·군 포함) 등을 한 번에 조회할 수 있도록 하였으며, 비행 중 조종자 준수사항에 대해서도 손쉽게 파악할 수 있도록 하였음 ▪ 교통안전공단에서는 “무인항공기 안전관리제도 구축”에 관한 연구(2009.07~2009.12)를 수행하였으며, 무인항공기 안전관리제도에 관한 국내외 현황 조사 및 분석을 주 내용으로 하고 있음 ▪ 유럽항공안전청(EASA)는 유럽 전역에 적용되는 무인체 안전 기준을 마련 중에 있으며, 규제안의 주된 내용은 원격조종항공기시스템(RPAS)의 안전을 담보하기 위한 지침과 개인정보 보호 등에 관한 사항임. 이 규제안은 군사용을 제외한 민간용 무인기만을 대상으로 한 것임
3. 연구개발 내용	
	▪ 무인검사장비관련 국내외·운영지침 또는 기준 동향에 대한 조사 분

	석 ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 기술 동향 조사 및 분석 ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오 조사 및 분석 ▪ Delphi-survey 등을 통한 최적 안전점검 시나리오(검사 위치, 검사 항목, 검사 방법, 검사 주기 등) 도출 ▪ AHP 분석을 통한 안전점검 시나리오 단계별(주부재와 붕괴유발부재 점검 단계 또는 도장 열화와 균열 점검 단계 등 비교 항목이 제시 되는 단계) 가중치 적용 효과 분석 연구 ▪ 현장 적용성 검증을 위한 무인검사장비 운영지침(안) 개발(관련 산업분야 규제 및 법과의 상충성 조사 병행) ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오의 현장 적용성 검증을 위한 시범사업 추진(대상 구조물 선정→운영지침(안)에 따른 현장 적용성 검증→시범사업 보고서 작성→공청회를 통한 현장 적용 타당성 검증) ▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오 실용화 방안 보고서 작성(유지관리 지침 개발을 위한 공청회 등 피드백을 위한 기본 자료로 활용) ▪ 무인검사장비 기반 구조물 유지관리 지침 개발
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 관련 산업분야 규제 및 법제화 진행 과정을 면밀히 조사함으로써 기술적 위험요인에 적극 대응할 수 있도록 함 ▪ 무인검사장비 운영지침의 실효성 검증을 위한 시범사업 실시 ▪ 국내외 안전점검 전문가 및 무인체 전문가 적극 활용
□ 타과제와의 연계성	▪ 1 세부에서 해당 시나리오를 기반으로 무인검사장비를 운용할 수 있도록 무인검사장비 운용 지침을 명확히 제시하여야 함 ▪ 2 세부에서 해당 시나리오를 기반으로 효율적인 구조물 진단이 가능하도록 시설물 평가를 위한 진단 지침 및 필요한 정보를 명확히 제시하여야 함
5. 최종성과물	
	▪ **무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 운영지침 매뉴얼** ▪ **무인검사장비 기반 점검시나리오 실용화 방안 보고서**
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 9월 ~ 2019년 8월(3년) ▪ 연구비 예산 : 3억원 (정부출연금 : 3억원 이내)

과제명	3.3.2 무인검사장비에서 계측된 데이터, 영상, 결과의 통합 관리 표준 코드 체계 정립
1. 연구개발 목표	
□ 연구목표	▪ 무인검사장비로부터 계측된 각종 데이터를 효과적으로 분석 추출하고 유지관리 일선에서 활용할 수 있는 통합 관리 표준코드 체계 정립
□ 목표 기술성숙도 (TRL)	▪ TRL 6~7 단계
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	▪ 현재 수행되는 점검 및 진단과업에서 진단위치 접근에 애로가 있어 시설물의 상태와 건전도, 그리고 안전도를 평가하기 어려운 문제점이 있음 ▪ 조사가 어려운 시설물의 점검 및 진단을 위하여 현장 조사 작업과 자료 축척, 관리, 운영 등에 효율성을 기하기 위해 무인검사장비를 활용한 방법들이 다양하게 대두되고 있지만, 무인검사장비로부터 획득되는 각종 데이터의 유효성과 이를 검증하기 위한 평가기법 및 절차가 제시되어 있지 않음. 따라서 무인검사장비의 장점을 살리고 효율적으로 실무에 적용할 수 있는 제도적 기반이 필요함 ▪ 무인검사장비에 의해 수집되는 데이터는 용량이 방대하므로 성능평가를 위해 필요한 데이터로 가공하고 분석하는 기술과 분석과정에서의 초기/가공/관리 데이터 등을 체계적으로 저장할 수 없어 이에 상응하는 기술이 없이는 유지관리가 불가능함 ▪ 다양한 무인검사장비(드론, 무인로봇 등)를 기반으로 하는 대형 SOC 시설물의 유지관리를 위해서는 시설물의 유형과 점검환경에 맞는 무인검사장비의 활용계획에서부터 장착된 각종 센서로부터 수집된 데이터의 체계적인 관리와 이로부터의 정량적인 분석과 합리적인 의사결정 과정까지가 포함된 통합유지관리시스템의 개발과 이를 표준코드로 체계화 시키며, 패키지화할 필요 있음 ▪ 국가 시설물 유지관리 시스템(FSM, BMS 등)과의 접목을 위해서, 체계적이고 효율적인 개발 프로세스의 정립과 요구 기술 수준의 성능 표준 제시, 새로운 데이터 취득 방법과 이를 활용한 분석기술 등을 포괄하는 새로운 통합시스템 개발이 요구됨
□ 기술동향	▪ 근래 장대교량 및 초고층 건물 등 대형 구조물이 건설되어 각 관리기관이 독자적으로 유지관리 시스템을 갖추고 독립된 형태로 시스템을 운용함으로 인해 획득되는 데이터의 효용성 및 공유체계가 미흡하여 이를 통일하고자 하는 연구가 수행되고 있음 ▪ 국토교통부와 항공안전기술원은 무인비행체 활용을 신산업분야중 한 분야로 선정하고 안전성 검증 시범사업을 진행 중이며 (~2017년 12월) 시범사업 이후 무인체 운영에 관한 각종 법제화 방안이 제시될 것으로 예상됨

	▪ 현재 국내에 무인검사장비 기반 대형구조물 안전점검 수집 데이터의 통합 관리 시스템이 전무한 실정임
3. 연구개발 내용	
	▪ 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오별 수집 데이터 분석 ▪ 무인검사장비를 활용한 유지관리시스템의 적용 가능한 성능수준 제시 ▪ 확보된 각종 점검 및 진단 정보의 유효성 확인 및 활용방안 검토 ▪ 구조물 성능평가용 유효 데이터 추출기법 개발 및 유효데이터 관리방안 마련 ▪ 데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 수립 ▪ 무인검사장비 수집 데이터 통합관리 표준코드 제시 ▪ 현장 적용을 통한 실용성 확보 및 피드백을 통한 표준코드 수정보완
4. 연구개발 추진전략	
□ 추진전략	▪ 국내외 연구기관 및 산업체와의 유기적인 기술/정보 교류를 통한 관련 분야 기술동향 및 기술수준 조사 및 분석 ▪ 산업체 및 정부(투자)기관 등과의 연계를 통해 기술 모니터링 ▪ 개발된 기술의 본격 적용에 앞서 테스트베드 적용을 통한 기술의 타당성 검증 ▪ 개발 시스템에 대한 국내외 지적 재산권 확보 및 구조물 유지관리 주관기관 또는 유지관리 전문업체로 기술이전을 통한 사업화 추진 ▪ 무인검사장비 운영지침의 실효성 검증을 위한 시범운영 실시
□ 타과제와의 연계성	▪ 데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 수립과 관련하여 2세부에 계측되는 데이터들의 분류 및 양식에 대한 협의 필요 ▪ 3.1.1 세부에서 구성된 운영체계로부터 계측 데이터 및 영상데이터 등 데이터의 유효성 기준을 수립 적용하여 유효데이터를 추출함 ▪ 3.2.1 세부에 필요한 유효 데이터를 제공을 위한 협의 필요 ▪ 3.2.2 세부와 BMS 및 FMS와의 연계와 관련하여 협조 필요 ▪ 3.3.1 세부와 관련하여 무인검사장비 기반 안전점검 시나리오 구성 및 유효 데이터 획득 최적화 등에 상호 협조 필요
5. 최종성과물	
	▪ **무인검사장비 계측 데이터의 통합관리 표준코드 체계 메뉴얼** - 유효 데이터 추출 및 유효성 검증 시스템 - 데이터 종류별 표준양식 및 분류체계 매뉴얼
6. 연구기간 및 지원예산	
	▪ 총 연구기간 : 2016년 6월 ~ 2019년 5월(3년) ▪ 연구비 예산 : 3억원 (정부출연금 : 3억원 이내)

7.2 선정평가 기준 설정

- 선정평가는 다음 기준을 적용하여 평가하는 것으로 함.

■ 연구개발 목표

- 기술개발의 최종목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 구체적으로 설정하여 제시하여야 함
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위해 명확한 성과지표와 평가기준을 제시하여야 함

■ 연구개발 내용

- 기술개발 최종목표의 실현을 위해 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함
- 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술 개발 요청 사항에 대해 제안과제가 적정하게 제시되었는지, 상향된 목표를 제시하였는지 평가
- 최종 목표 달성을 위해 각 과제간 연계성이 명확하고 체계적으로 설정되어 있는지, 연계방안의 구체성에 대한 평가

■ 추진체계 및 전략

- 기술개발의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관이 적정하게 구성되고 연계되어야 하며, 그 방안에 대해 명시가 되어야 함
- 테스트베드의 조기구축 방안이 구체적으로 명시되어야 함
- 과제의 단계별 연구목표가 타당하고 연구개발 사항과 이를 위한 구체적 추진방안이 수립되어야 함
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간 단계설정과 연구개발비가 적정하게 편성되어야 함

■ 연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성 가능성

- 연구개발을 통한 성과물의 달성 가능한 실용화 및 활용 방안이 구체적으로 제시되어야 함
- 연구단 차원에서 개발기술의 실용화를 촉진시키기 위한 방안 및 장치를 구체적으로 제시하여야 함

■ 연구진 구성의 전문성

- 연구책임자는 과제 내의 세부과제 간에 유기적인 연계가 이루어지도록 할 필요가 있음

- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제 구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함
- 참여연구진은 해당분야의 전문성을 확보하고, 관련분야의 국가개발사업을 수행한 경험이 풍부한 적임자로 구성하여야 함
- 지원한 기관 및 연구진은 실용화 및 상용화를 주목적으로 하는 본과제의 성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진이어야 함

■ 평가항목별 배점기준(안)

기준항목		세부항목
연구개발 목표 (10점)		최종목표 및 연차별 목표의 명확성, 타당성 (5점)
		성과지표와 평가기준의 명확성, 적정성 (5점)
연구개발 내용 (25점)		연구개발 최종목표와의 부합성 (5점)
		과제구성의 체계성, 실현가능성 (5점)
		세부과제간의 상호연계성, 연계방안의 구체성 (10점)
		연구개발내용의 차별성 및 독창성 (5점)
추진체계 및 전략 (25점)		연구추진 체계 및 전략의 구체성, 타당성 (5점)
		연구단계별 추진방안의 구체성 (5점)
		연구기간 및 연구비 편성의 적절성 (5점)
		테스트베드 조기 구축 방안의 구체성, 타당성 (10점)
연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성 가능성 (25점)		성과물 활용 및 실용화 방안의 구체성, 적절성 (10점)
		성과물의 실용화 가능성 (10점)
		연구단 차원의 실용화 촉진 방안의 구체성 (5점)
연구진 구성의 전문성 (15점)		연구책임자의 전문성 및 해당분야 실적 (10점)
		연구진 전문성 및 구성의 적정성 (5점)
기타	부합성	평가위원 과반수이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정 시 탈락조치
	중복성	평가위원 과반수이상이 기 수행되었거나 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정 시 탈락조치

※ 총점은 100점이며, 60점 미만인 경우에는 탈락조치

참고문헌

1. 최성숙, 반경진, 박경욱, 김응곤, “소형비행체를 이용한 구조물 안전성 검사 시스템 설계”, 한국전자통신학회 추계학술지, 2013, pp. 466-469
2. Metni N and Hamel T, “A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits”, Automation in Construction, 2007, pp. 3-10
3. 백수호, 홍성경, “무인항공기의 비행경로 생성 및 유도제어 알고리즘 연구”, 제어로봇시스템학회 학술지, 2008, pp. 1238-1243
4. Tomic T, Schmid K., Lutz P, Domel A, Kassecker M, Mair E, Grixa I L, Ruess F, Suppa M, and Burschka D, “Toward a Fully Autonomous UAV: Research Platform for Indoor and Outdoor Urban Search and Rescue”, Robotics & Automation Magazine, 2012, pp. 46 - 56
5. Chowdhary G, Johnson E N, Magree D and Wu A, “GPS-denied Indoor and Outdoor Monocular Vision Aided Navigation and Control of Unmanned Aircraft”, Journal of Field Robotics, 2013, pp. 415-438
6. Chee K Y and Zhong Z W, “Control, navigation and collision avoidance for an unmanned aerial vehicle”, Sensors and Actuators, 2013, pp. 66-76
7. 최성숙, 반경진, 박경욱, 김응곤, “소형비행체를 이용한 구조물 안전성 검사 시스템 설계”, 한국전자통신학회 추계학술지, 2013, pp. 466-469
8. Sobers D, Chowdhary G, and Johnson E, “Indoor Navigation for Unmanned Aerial Vehicles”, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2009, pp. 10-13
9. Shen S, Michael N and Kumar V, “Autonomous Multi-Floor Indoor Navigation with a Computationally Constrained MAV”, Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference, 2011, pp. 20-25
10. Dill E, Haag M U, Duan P, “Seamless Indoor-Outdoor Navigation for Unmanned Multi-Sensor Aerial Platforms”, Proceedings of IEEE/ION PLANS, 2014, pp. 1174-1182
11. 윤부열, 이재원, “무인항공기(UAV)의 공간정보 통합운영을 위한 국내적용 방안”, 한국지형공간정보학회지, 2014, pp. 3-9
12. 정하교, 김성배, “유무인 통합운용을 위한 무인항공기 운영개념 발전방향”, 한국항공우주학회 춘계학술대회, 2014, pp. 703-706
13. Cooper J L and Goodrich M A, “Integrating critical interface elements for intuitive single-display aviation control of UAVs”, Proc. SPIE 6226, Enhanced and Synthetic Vision, 2006
14. Weiss L, "Intelligent Collaborative Control for UAVs”, Aerospace Conferences, 2005
15. 이윤성, 김윤수, “무인항공기 무선충전을 위한 안테나 최적 설계”, 한국항공우주학회 추계학술대회, 2014, pp. 757-760
16. 최재원, 김지훈, “무인항공기 가시선 데이터링크 Ku 대역 RF 송수신 시스템 설계”, 전자공학회논문지, 2014, pp. 46-53
17. 박준한, 김성환, 박춘배, 한동훈, 강민성, “무인항공기 무선통신 체계 연구”, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 2003, pp. 350-353
18. Binhua W, Minbiao X, Yonghong H and Tongchuan L, “UAV Wireless Data Link

Automatic Test System Project Design", Computer Automated Measurement & Control, 2005
19. Mittleider A, "Analysis, optimization, and implementation of a uav-based wireless power transfer system", Computer Science and Engineering: Theses, Dissertations, and Student Research, 2014, pp. 73
20. Mascareñas D, Flynn E and Todd M, "Wireless Sensor Technologies for Monitoring Civil Structures", International Modal Analysis Conference, 2008
21. Mittleider A, Griffin B and Detweiler C, "Experimental Analysis of a UAV-Based Wireless Power Transfer Localization System", Experimental Robotics, 2015, pp. 357-371
22. 권구락, 이원일, 박종안, '부식된 도장의 진단 시스템을 이용한 영상 처리 기술', 한국정보기술학회, 2011, pp. 400-403
23. Shepard S M, Hou Y L, Lhota J R, Wang D and Ahmed T, "Thermographic measurement of thermal barrier coating thickness", Proc. SPIE 5782, 2005
24. Maier F and Zagar B G, "Measurement of Paint Coating Thickness by Thermal Transient Method", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, 2009 pp. 1958 - 1966
25. Honnerová P, Martan J, Kučera M, Honner M and Hameury J, "New experimental device for high-temperature normal spectral emissivity measurements of coatings", Measurement Science and Technology, 2014
26. Mustapha S, Huynh C P, Runcie P, Porikli F , "Paint condition assessment of civil structures using hyper-spectral imaging" , 7th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, 2015.
27. 유영준, 박기태, 이우상, 한성호, "USN 기술을 이용한 볼트-넛트 이음부의 풀림 검출 장치 개발", 제36회 대한토목학회 정기 학술대회, 2010, pp. 1361-1364
28. 장하주, 김태헌, 이창길, 박승희, "압전 센서를 이용한 볼트 풀림 손상 정량화 알고리즘 개발을 위한 실험 및 해석 연구", 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 2635
29. 이준호, 박찬배, 이병송, 이수길, 김재희, 정신명, 유기석, 이철우, "볼트너트 체결체 풀림 상태에 대한 스마트 검지 기술연구", 한국철도학회 춘계학술대회, 2013.5, pp. 3-8
30. Park S H, Yun C B, Roh Y R and Lee J J, "PZT-based active damage detection techniques for steel bridge components", Smart Mater. Struct, 2006, pp. 957-966
31. Bao P Y, Yuan M, Fu Z, "Research on Monitoring Technology of Bolt Tightness Degree Based on Wavelet Analysis", The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments 2009
32. Kawajira I, Miyamoto D, Hosoya N and Nishidome C, "Loose Bolt Detection by High Frequency Vibration Measurement with Non-Contact Laser Excitation", Journal of System Design and Dynamics, 2011
33. Jahanshahi M R and Masri S F, "Adaptive vision-based crack detection using 3D scene reconstruction for condition assessment of structures", Automation in Construction, 2012, pp. 567-576
34. Prasanna P, Dana K, Gucunski N and Rutgers B, "Computer Vision Based Crack Detection and Analysis", Proc. SPIE 8345, Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems, 2012

35. Kim M K, Sohn H and Chang C C, “Localization and Quantification of Concrete Spalling Defects Using Terrestrial Laser Scanning” , Journal of Computing in Civil Engineering, 2015
36. Adhikari R., Moselhi O and Rahmatian B, “Tracking of Defects in Reinforced Concrete Bridges Using Digital Images”, Journal of Computing in Civil Engineering, 2016
37. 주봉철, 박기태, 유영준, 황윤국, “매질 경계면의 온도 변화를 이용한 교량 세굴 및 수위 측정방법 개발”, 한국구조물진단유지관리공학회, 2014. 03, pp. 126-138
38. 신종현, 박경수, 석정우, 김정환, 황대진, “프로파일링 초음파탐지기를 이용한 세굴 모니터링 시스템 개발 및 검증”, 대한토목학회 학술대회, 2007
39. 박병철, 장성희, 심재현, “동적 특성기반 교량 기초 세굴 건전성 평가 및 모니터링 시스템 개발”, 국립방재교육연구원 방재연구소 간행물, pp. 76 - 88
40. 김주원, 남민준, 박승희, “Elasto-Magnetic 센서를 이용한 강재 케이블 국부 단면 감소 손상 탐지”,비파괴검사학회지, 2011, pp. 360-366
41. 정운, 서주원, 임진석, “EM센서를 이용한 사장교 케이블의 장력 측정”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, 2010, pp. 365-366
42. 김성호, 김도균, 박대용, “FBG 센서를 이용한 사장교 케이블의 장력 측정 연구”, 한국콘크리트학회 2011년도 봄 학술대회 논문집, 2011., pp. 771-772
43. 신현섭, 박기태, 전진택, “비부착식 진동측정장치를 활용한 케이블 장력 측정 및 적용성 분석”, 대한설비관리학회지, pp.25-33
44. Gao J, Shi B, Zhang W and Zhu H, “Monitoring the stress of the post-tensioning cable using fiber optic distributed strain sensor”, Measurement, 2006, pp. 420–428
45. 황정래, 강혜영, 홍창희, “BIM과 GIS의 효율적인 상호운용을 위한 플랫폼 설계에 관한 연구”, 한국공간정보학회지, pp. 99-107
46. 박경훈, 선종완, “교량관리시스템과 연계된 실시간 교량 현장조사 프로그램 개발” - Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 2015, pp. 7893-7901
47. Li L, Sun L and Ning G, “Deterioration Prediction of Urban Bridges on Network Level Using Markov-Chain Model”, Mathematical Problems in Engineering, 2014

별첨1. 기획과제 참여 전문가 리스트

연번	성명	직급	소속	전공(학위)	연락처
1	손훈	교수	한국과학기술원	구조공학(박사)	
2	명현	부교수	한국과학기술원	전기전자공학(박사)	
3	정형조	교수	한국과학기술원	구조공학(박사)	
4	이석태	부장	㈜퍼스텍	정보제어(박사)	
5	정기문	선임연구원	한국과학정보기술연구원	정보보안(박사)	
6	임형진	연수연구원	한국과학기술원	구조공학(박사)	
7	김아영	조교수	한국과학기술원	기계공학(박사)	
8	장두현	전문위원	대한항공기술연구원	정치학	
9	문형필	부교수	성균관대학교	로봇공학(박사)	
10	문정호	과장	대한항공	항공우주(석사)	
11	이윤생	연구소장	유콘시스템	물리학	
12	이동준	부교수	서울대학교	기계공학(박사)	
13	김정훈	부교수	연세대학교	로보틱스(박사)	
14	서동우	연구위원	한국건설기술연구원	구조공학(박사)	
15	배인환	팀장	신공항하이웨이㈜	구조공학(박사)	
16	이영규	상무	비티컨설턴트	해양공학(석사)	
17	장정환	대표이사	㈜티엠이앤씨	토목(박사)	
18	조윤호	교수	부산대학교	기계공학(박사)	
19	김훈	부교수	한국과학기술원	전자공학(박사)	
20	김민혁	조교수	한국과학기술원	컴퓨터(박사)	
21	유종원	교수	한국과학기술원	전자공학(박사)	
22	심성한	교수	울산과학기술대학교	구조공학(박사)	
23	안윤규	조교수	세종대학교	구조공학(박사)	
24	김원태	교수	공주대학교	기계공학(박사)	
25	조수진	연구조교수	울산과학기술대학교	구조공학(박사)	
26	서대철	연구원	한국표준과학연구원		
27	권일범	센터장	한국표준과학연구원		

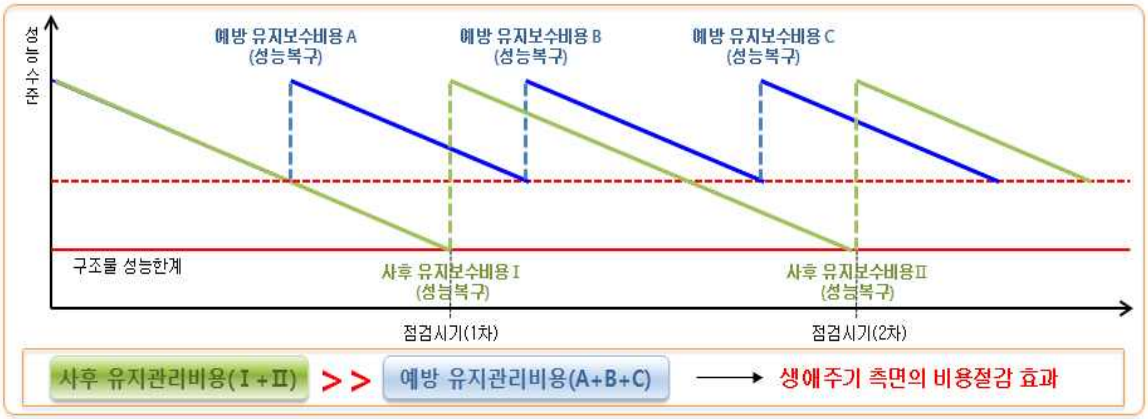
28	민대홍	대표이사	㈜다음이앤씨	구조공학(박사)	
29	김정태	교수	부경대학교	구조공학(박사)	
30	이강문	전무	㈜이제이텍		
31	박기태	연구위원	한국건설기술연구원	구조공학(박사)	
32	박재봉	선임연구원	한국시설안전공단	토목공학(박사)	
33	장봉석	연구원	한국수자원공사		
34	길흥배	수석연구원	한국도로공사	토목공학(박사)	
35	심창수	교수	중앙대학교	구조공학(박사)	
36	김준모	조교수	한국과학기술원	전기공학(박사)	
37	조두용	조교수	충남대학교	토목구조(박사)	
38	이병주	수석연구원	한국도로공사	토목구조(박사)	
39	신수봉	교수	인하대학교	토목환경공학	
40	김용한	사장	㈜아이디엠이엔씨	구조해석(박사)	
41	김대영	교수	한국과학기술원	컴퓨터공학(박사)	
42	이태진	대표	브로드웨이브	전자공학(석사)	
43	이우상	대표	스마트제어계측	구조공학(박사)	
44	장선재	부장	스마트제어계측		
45	김창윤	전임연구원	한국건설기술연구원	건설IT(박사)	
46	김병철	전임연구원	한국건설기술연구원	공학박사	
47	박순응	팀장	한국철도공사		
48	지기환	이사	KMTL		
49	최재혁	CEO	니어스 랩		
50	김종우	CEO	바이텍코리아		
51	이종석	연구위원	한국건설기술연구원	구조공학(박사)	
52	한민석	연구부교수	한국과학기술원	전자공학(박사)	
53	오경섭	수석연구원	감마누		
54	공정식	교수	고려대학교	구조공학(박사)	
55	이규완	대표이사	㈜카이셴		
56	민지영	전임연구원	한국건설기술연구원	구조공학(박사)	

별첨2. 경제적 파급효과 분석 결과

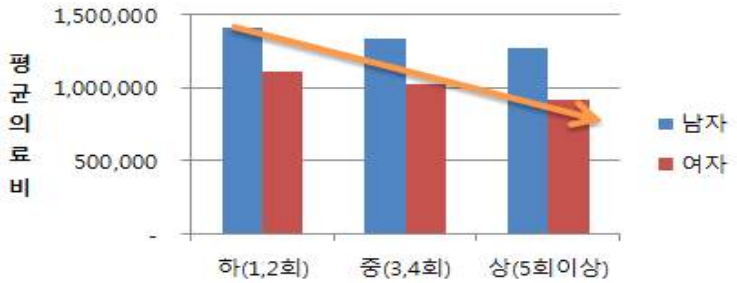
1. 무인검사장비를 이용한 교량 유지관리비용 절감

1.1 개요

- 교량 유지관리비용의 비용 구성요소는 일반적으로 일상점검 비용, 정밀점검/정밀안전진단 비용, 구조물 유지보수 비용, 재해위험도 비용 등으로 나누어 볼 수 있음
- 무인검사장비를 이용한 교량의 유지관리 시 비용 절감 내용은 각 비용 구성요소별로 점검원 인력 감소, 점검 장비 효율화, 실시간 예측을 통해 사후 유지보수가 아닌 예방유지보수 적용 등으로 볼 수 있음
- 특히, 인력점검 시 인력에 대한 비용절감과 구조물의 변상을 정확히 예측하여 과다한 보수비용이 발생되기 이전에 예방적 차원에서 보수비용을 투입하여 구조물의 안전 성능을 높은 수준에서 관리할 수 있음
- 그림 2와 같이 건강검진 회수 증가에 따라 의료비 지출이 감소(국가 일반건강검진의 사망률과 의료보험 지출에 대한 영향평가(2014, 한국보건의료연구원))되는 경향은 구조물에서도 마찬가지이며, 구조물의 예방유지보수를 통한 비용 절감은 사후유지보수보다 경제적임을 확인 할 수 있음



[그림 1] 무인검사장비를 이용한 예방유지관리 시스템의 효과



[그림 2] 건강검진횟수에 따른 의료비 지출 영향 분석

1.2 유지관리비용 절감 방향 및 산정 방법

- 무인검사장비를 이용한 대형구조물의 상태 진단 및 BIM/클라우딩 기술을 이용한 구조물 관리 시스템 개발의 유지관리비용 절감 요인에 대한 상세 내용은 아래와 같음

[표 1] 유지관리비용 항목별 비용 절감 방향

비용 항목	As-Is	To-Be	적용 기술
일상점검 비용	▪ 일상 점검을 위한 점검 인력 및 장비 (고성능 카메라 및 점검 대차)	▪ 무인검사장비를 이용한 점검 인력 감소 및 점검 장비 효율화(형하고가 높은 교량 및 케이블 교량 점검 효율성)	1~3 세부
정밀점검 및 정밀안전진단비용	▪ '시설물관리에 관한 특별법'에서 정한 비용 ▪ 점검/진단을 위한 교통토제 시간의 간접비용(도로이용자비용)	▪ 점검/진단시 무인체를 이용하여 점검인력 및 시간 단축(거더 변상, 세굴 등) ▪ 무인검사장비를 이용하여 교통통제시간 절감 ▪ 무인검사장비를 이용한 특수교 케이블 점검	1~3 세부
구조물 유지보수 비용	▪ D등급의 사후 유지보수 공법 비용 (면 보수, 거더보강공법, 전면재도장, 강판접착보강 등)	▪ B등급의 예방 유지보수 공법 비용 (균열 보수, 부분 재도장, 강재균열, 볼트 보수 등)	2~3 세부
재해위험도 비용	▪ 구조물 손상에 대한 전면적 긴급 복구비용	▪ 구조물 손상에 대한 국부적 긴급 복구비용	3 세부

- 일상점검 비용은 관리 교량 구조물 관리 지사별 인건비, 장비비, 경비로 산정됨
- 정밀점검 및 정밀안전진단은 '시설물관리에 관한 특별법'에서 제정한 구조물 규모에 대한 노무비, 경비, 자비비 등으로 산정되고, 교통 통제조건에 따른 간접비용 차원의 도로이용자비용은 교통량에 따른 차량구성비의 차량승차인원 당 손실비용으로 산정함
- 구조물 보수/보강/교체 비용은 한국도로공사의 LCC 관련 연구(2011, 2015)에서 도출된 사후 유지보수와 예방 유지보수 공법별 비용차이로 산정함
- 재해위험도 비용은 구조물 공용 중 재해 및 위험도가 발생할 확률에 복구비용을 곱하여 산정하고, 재해 위험도에 대한 확률은 신뢰성 지수(구조물 붕괴 확률)에 기반을 두어 안전도가 높은 확률과 낮은 확률로 구분하여 산정함
- To-Be의 비용 산정시 무인검사장비 시스템 적용 비용을 고려하였음

1.3 비용 분석 결과

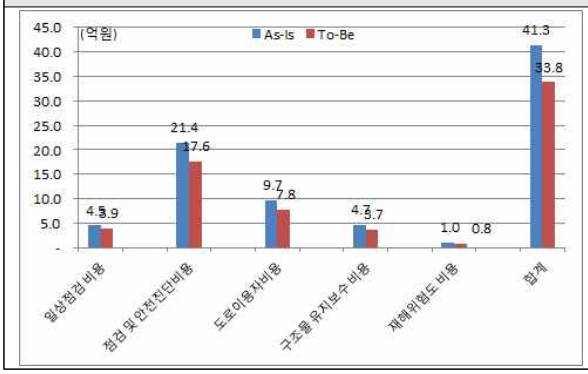
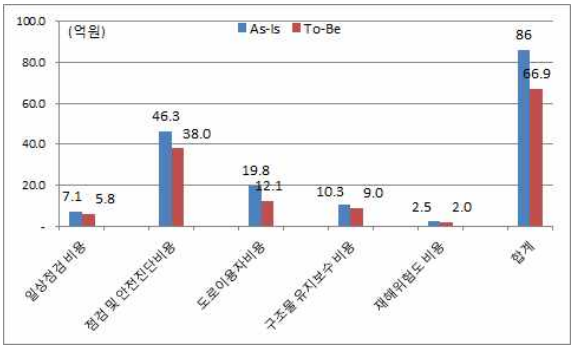
- 유지관리비용 분석은 일반교량과 특수교량을 대상으로 기존 유지관리체계 대비 무인검사장비를 이용한 구조물 유지관리 기술을 적용하였을 때의 결과를 비교 분석하였음
- 생애주기비용 분석에 대한 분석기간은 50년, 할인율 3%를 적용하였음
- 본문에서 테스트베드 후보 교량으로 추천받은 일반교량인 지정교(PC 박스 거더 교량, 영동고속도로), 금당교(강 박스 거더 교량, 중부내륙고속도로), 특수교량인 남해대교(현수교, 국도 19호선), 거북선대교(사장교, 국도17호선)를 분석 대상으로 함
- 일반교량과 특수교량의 무인검사장비 시스템 적용 비용은 2억 원, 기존 점검방식을 위한 굴절식 점검차량 비용은 5억 원으로 가정, 무인검사장비를 이용한 정밀점검과 정밀안전진단은 기존 방식 대비 20% 인력 절감 효과를 적용하였음
- 구조물 보수/보강/교체에 대한 사후 및 예방 유지보수비용은 기존 방식과 무인검사장비 적용 시스템의 차이점이 나타나는 상부 거더, 하부구조, 교량받침에 대해서만 비용을 산정하였음
- 케이블에 대해서는 점검비용 차이만 고려하고, 케이블 유지보수비용은 케이블 보호공법 및 초기형식에 따라 차이점이 많고, 변상에 대한 보수비용은 동일한 비용항목이므로 본 분석에서는 케이블 보수비용은 고려하지 않았음

[표 2] 일반교량 (지정교, 금당교) 유지관리비용 분석 결과

비용 항목		As-Is		To-Be		절감액 (절감율)	
		할인율 적용	할인율 미적용	할인율 적용	할인율 미적용	할인율 적용	할인율 미적용
지정교/금당교	일상점검 비용	4.5억원	7.1억원	3.9억원	5.8억원	0.6억원 (11.6%)	1.3억원 (18.3%)
	점검 및 안전진단비용	21.4억원	46.3억원	17.6억원	38.0억원	3.8억원 (17.7%)	8.3억원 (17.9%)
	도로이용자 비용	9.7억원	19.8억원	7.8억원	12.1억원	1.9억원 (19.6%)	7.7억원 (38.9%)
	구조물 유지보수 비용	4.7억원	10.3억원	3.7억원	9.0억원	1.0억원 (20.3%)	1.3억원 (12.7%)
	재해위험도 비용	1.0억원	2.5억원	0.8억원	2.0억원	0.5억원 (19.4%)	0.2억원 (19.4%)
합 계		41.3억원	86.0억원	33.8억원	66.9억원	7.5억원 (18.2%)	19.1억원 (22.2%)

- 지정교 및 금당교에 무인검사장비를 이용한 유지관리 시스템을 적용하였을 때, 약 7.5억 원(할인율 고려)의 유지관리비용이 절감되는 것으로 분석되었음

[표 3] 일반교량 (지정교, 금당교) 비용분석 결과

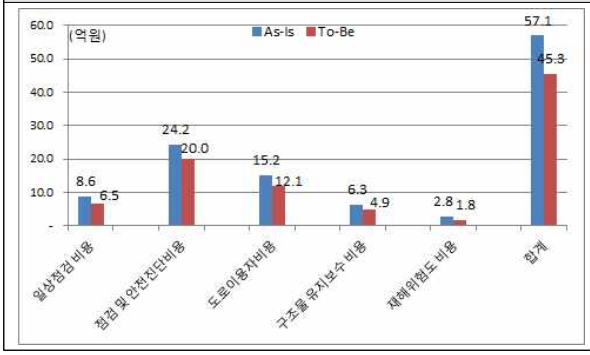
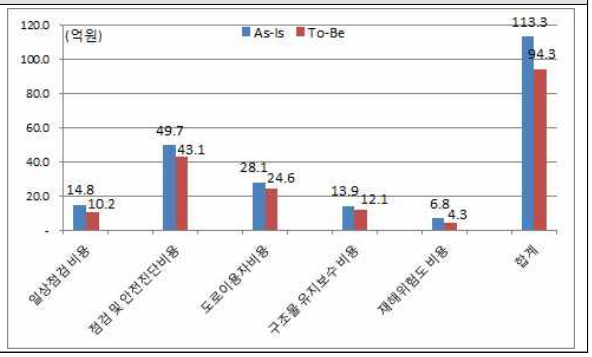
할인율 적용	할인율 미적용
	

[표 4] 특수교량 (남해대교, 거북선대교) 유지관리비용 분석 결과

비용 항목		As-Is		To-Be		절감액(절감율)	
		할인율 적용	할인율 미적용	할인율 적용	할인율 미적용	할인율 적용	할인율 미적용
남해대교/거북선대교	일상점검 비용	8.6억원	14.8억원	6.5억원	10.2억원	2.13억원 (24.9%)	4.6억원 (31.1%)
	점검 및 안전진단비용	24.2억원	49.7억원	20.0억원	43.1억원	4.19억원 (17.3%)	6.56억원 (13.2%)
	구조물 유지보수 비용	6.3억원	13.9억원	4.9억원	12.1억원	1.4억원 (21.7%)	1.8억원 (12.8%)
	도로이용자 비용	15.2억원	28.1억원	12.1억원	24.6억원	3.1억원 (20.4%)	3.5억원 (12.5%)
	재해위험도 비용	2.8억원	6.8억원	1.8억원	4.3억원	1.0억원 (36.8%)	2.5억원 (3.68%)
합 계		**57.1억원**	**113.3억원**	**45.3억원**	**94.3억원**	**11.82억원 (20.7%)**	**18.96억원 (16.8%)**

- 남해대교 및 거북선대교에 무인체를 이용한 유지관리 시스템을 적용하였을 때, 약 11.82억 원(할인율 고려)의 유지관리비용이 절감되는 것으로 분석되었음

[표 5] 특수교량 (남해대교, 거북선대교) 비용분석 결과

할인율 적용	할인율 미적용
	

- 무인검사장비를 이용한 대형구조물의 상태 진단 및 BIM/클라우딩 기술을 이용한 구조물 관리 시스템 적용 시 상기 분석 결과에 따라 경제성이 타당한 것으로 예상됨
- 비용 절감은 주로 점검 및 진단비용에서 크게 나타났으며, 이를 통한 예방유지보수와 재해위험도에 대한 비용도 절감되는 것으로 나타났음
- 결론적으로, 시스템 적용 시 구조물의 상태 평가를 위한 점검비용의 효율화 뿐만 아니라 구조물의 상태 저하를 사전에 예측하여 예방유지보수를 실시함에 따라 비용 효과를 극대화 할 수 있는 것으로 판단됨

2. 해외시장 진출에 따른 경제적 효과

2.1 SOC사업 투자 현황에 따른 시장성

- 무인검사장비를 이용한 시설물 평가 및 유지관리 기술의 해외시장 진출에 따른 경제적 효과는 시스템 개발 결과물의 해외 교량 유지관리 시장에 기술을 판매하는 방향으로 분석할 수 있음

- 해외시장은 이미 많은 수의 교량이 가설되어 법령이나 유지관리 시스템이 구축되어진 선진국형 시장과 향후 많은 수의 교량이 가설되어지고, 유지관리에 대한 시스템이 필요한 개발도상국형 시장으로 구분하여 볼 수 있음

- 개발 기술의 해외 진출은 신규 가설되는 교량에 연구 개발될 무인검사장비 시스템을 적용하는 방법과 기존 공용중인 교량에 무인검사장비 시스템을 적용하는 두 가지 형태로 시장을 판단할 수 있음

- OECD회원국은 GDP의 1%를 SOC사업(교통분야)에 투자하고 있으며, 신규 건설 시장은 0.7%, 유지관리 시장은 0.3%를 지출하고 있는 추세임 (2012년 OECD 국가 교통 포럼)

- 개발도상국의 경우 GDP의 2.3%를 SOC사업(교통분야)에 투자하고 있으며, 신규건설 0.5%, 유지관리를 위해 1.8%를 투자하고 있는 것으로 추정되어짐 (2010년 유럽투자은행의 개발도상국의 인프라 파이넨싱)

- 국내의 경우, GDP의 1.11%를 SOC사업(교통분야)에 투자하고 있으며, 0.85%를 신규건설 시장에 투자하고, 0.26%를 SOC사업 교통분야에 유지보수 비용으로 투자하고 있는 추세 (2010년 국회예산정책처) 이므로, 해외의 교량관련 유지관리 시장은 국내보다 비교적 큰 시장을 형상하고 있는 것으로 나타남

- 따라서 국내보다 비교적 큰 시장을 형성하고 있는 OECD회원국(유지보수 시장)과 개발도상국(신규건설 시장)으로의 기술 개발에 따른 해외시장 진출의 경제적 효과가 있을 것으로 판단되어 짐

[표 5] 국가별 SOC 투자(교통부분)의 GDP 비율

구분	SOC투자(GDP의 %)	형태별 SOC 투자(GDP의 %)	
		신규 건설	유지보수
OECD 회원국	1.00	0.70	0.30
개발도상국	2.30	0.50	1.80
대한민국	1.11	0.85	0.26

2.2 기술 개발에 따른 해외시장 경제성

- 국가별 점검/진단 기술적 측면으로 해외의 점검현황은 환경이나 법 정비가 다르기 때문에 일괄적으로 단순비교는 할 수 없지만, 각국의 주요 점검 관련법은 '외관검사'로, 기본적인 점검방법에는 차이가 없음

- 따라서 외관검사에 대한 본 연구에서의 신규 기술 개발은 해외 시장으로의 진출에 대한 시장의 경제성이 확보되어 있는 것으로 판단됨

- 해외 진단 시장의 선진국과 개발도상국으로 분류하여 해외 시장 대표 지역 및 안전진단관련 법령, 교량 시장에 대한 분석은 아래 표와 같음

[표 6] 시설물 안전 및 유지관리 분야 해외시장 현황

구분	지역	법령	교량 현황
선진국	미국, EU, 일본	점검에 대한 법령이 있음	최소 60만개이상
개발도상국	중국, 동아시아, 동유럽 등	시설물 안전 점검에 대한 법령이 미비함	최소 10만개 이상

- 개발도상국의 경우, 최소 10만개 이상의 교량 안전진단 시장이 형성되어 있고, 관계 법령이 미비하므로, 본 연구에서 개발하고자 하는 기술이 상용화되어 해외 진출시 상당한 시장이 형성될 것으로 판단되어짐.

- 하지만 선진국의 경우, 국가 R&D 기술산업정보서비스에 의하면 아래 표7 과 같이 국내의 시설물 안전 및 유지관리 기술수준이 선진국에 비해 기술 수준이 낮은 것으로 평가되어져, 그동안 선진국형 유지관리 기술의 해외 진출이 어려움이 있음

[표 7] 주요 선진국의 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술수준 비교

국가	미국	EU	일본	한국	중국
기술수준	100.0%	99.7%	95.9%	76.2%	63.8%

- 본 연구를 통한 기술개발을 통해 구조물 안전진단 기술이 개발되어 진다면 해외 진출에 대한 활로가 모색될 것으로 판단되며, 개발도상국에 비해 많은 시장을 형성하고 있는 선진국으로의 해외 시장도 진출이 가능할 것으로 판단됨

- 결론적으로 현재 공용중인 해외 교량 진단 및 유지관리시장에 0.5%의 시장 진출에 근거하더라도 최소 1,000억 원 이상의 시장이 형성될 것으로 판단됨

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.