

노후 건축구조물
재난예측 실시간
안전진단 및 스마트
원격대응 시스템 개발
기획연구보고서

2016. 12

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 경북대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “국토교통기술지역특성화사업“ 과제의 기획연구
보고서로 제출합니다.

2016. 12

주관연구기관명 : 경북대학교

주관연구책임자 : 김 화 중 교수

주관참여연구진 : 천 우 영 박사

: 고 태 용 박사

기획연구책임자 : 경북대학교 홍 원 화 교수

기획참여연구진 : 경북대학교 서 현 철 박사과정

: 경북대학교 손 진 응 박사과정

기획연구자문위원 : 경북대학교 박 춘 욱 연구교수

: 영진사이버대학 전 병 현 교수

: (주)영진이앤씨 박 익 현 대표

: (주)영진이앤씨 김 병 기 실장

: (주)영진이앤씨 김 태 길 과장

기획연구검토위원 : 경북대학교 신 경 재 교수

: 경북대학교 김 홍 진 교수

보고서 요약서

과제고유번호	16RDRP-B0 76268-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2016.11.01~ 2016.12.15	단 계 구 분	1/2
연구사업명	중 사업명	국토교통기술지역특성화사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대 과제명	노후 건축구조물 재난예측 실시간 안전진단 및 스마트 원격대응 시스템 개발 연구기획			
	세부과제명	-			
주 관 연 구 책 임 자	김 화 중	해당단계 참 여 연구원수	총 : 3명 내부 : 3명 외부 : 0명	해당단계 연 구 비	정부 : 7,000천원 계 : 7,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 7명 내부 : 7명 외부 : 0명	총연구비	정부 : 191,000천원 계 : 191,000천원
기 획 연 구 책 임 자	경북대학교 건설환경에너지공학부 홍 원 화			참여 기업명	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	45
- 요약문 참조 -					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	노후 학교 건축물, 재난예측, 원격대응시스템, 실시간 안전진단, 센싱기술			
	영 어	Old school buildings, Deteriorate prediction, Structural safety inspection, Remote management system, Sensing technologies			

요 약 문

I. 과제명

노후 건축구조물의 실시간 안전진단 및 재난 예측 스마트 원격대응 시스템 개발 연구기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

□ 기술의 정의

본 기술은 평상시 교육시설, 재난시 대피소로 지정되어 안전 성능확보의 필요성 및 중요성이 매우 높음에도 불구하고 내진적용률이 현저히 낮은 학교건축물을 대상으로 하는 기술로 재난 대응력이 취약한 노후 건축물의 안전 상태(변위, 균열, 취성과파괴징후)를 원격 모니터링하고 재난예측 및 대응을 수행하기 위한 시스템과 관리·수용 주체별 가이드라인으로 구성된 안전관리 기술임

□ 연구개발 목적

○ 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발

- 노후 학교건축물의 재난 유형을 고려한 계측 포인트 도출 및 데이터 정합성 확보를 위한 시스템 시공 가이드라인 작성
- 노후 건축물 균열의 상태(변위, 균열, 취성과파괴의 징후)를 실시간으로 계측하기 위한 센서 및 송수신 네트워크 구축 기술
- 보급형 상용센서를 활용하여 경제성 및 설치용이성을 갖춘 계측 네트워크를 구축하기 위한 이중센서 통합기술

○ 실시간 재난 예측 및 스마트 원격 대응 시스템 구축

- 개별 건축물로부터 취득한 계측데이터를 바탕으로 건축물의 재난·이상상황을 예측하는 클라우드 기반 안전경보 알고리즘
- 전문인력 및 국가재난관리 시스템과의 연계를 통해 원격 안전점검 및 재난 대응을 수행하는 통합 관리 시스템
- 국가재난관리시스템(NDMS) 및 안전통신망 연계를 위한 데이터 정합성 확보 기술

○ 노후 학교건축물 특성을 고려한 재난 시나리오 작성

- 노후 학교건축물(저층구조물)의 재난·안전취약점 도출
- 학교건축물 이용특성을 고려한 재난 시나리오 작성
- 이용특성 및 재난시나리오를 고려한 관리·수용주체별 (사용자, 관리자, 지자체관리자 등) 대응 매뉴얼 작성

□ 연구 필요성

- 최근 대경권에서 관측치 사상 최대규모 지진이 발생하였으며 (2016년 9월, 경주지역) 활성단층 지진으로 인한 향후의 피해가 증가할 것으로 사료됨
- 학교 건축물의 대다수는 비상시 대피소로 지정되어 건축구조물의 안전성 확보의 필요성 및 시급성이 매우 높으나 경북소재 학교건축물의 내진 적용률은 18.7%으로 최근 대경권에서 발생하고 있는 잦은 지진수준을 고려하면 개선이 시급함
- 지어진지 40년이 지난 노후 학교건축물은 전국 1만동을 넘는 것으로 집계되어 우리나라 학교 건축물의 노후 수준이 매우 높으며, 특히 경북의(529교) 경우 전남(530교)에 이어 전국에서 두 번째로 많은 수준으로 나타나 적절한 안전관리가 필요함
- 경주지진에 따른 학교현장의 대응 상황자료(2016 국정감사)에 따르면 경주 지진사태 발생 후 대피 매뉴얼을 준수하지 않은 학교(85.2%), 아무런 조치를 취하지 않은 학교(39.3%)로 등 문제점이 나타나 재난발생시 대응체계에 대한 기준마련이 요구됨
- 경주지진 발생 이후 내진설계 의무대상확대, 내진보강예산 확보와 같이 정부·지자체의 대응방안이 마련되고 있으나 기존 노후건축물의 안전성확보를 위한 적정수준에 미치지 못하고 있는 실정임
- 학교건축물의 경우 기존건축물 및 노후건축물의 내진성능 확보를 위해 4조 5천억원 가량의 재원과 시간(20년~67년)이 소요 될 것으로 사료됨
- 구조안전성 개선등과 같은 장기적인 보완책을 추진함과 동시에 즉시적용이 가능한 현안 해결형 기술개발과 시스템 도입이 필요함

내진설계 얼마나 되어 있나?



그림 1 우리나라 건축물 내진율 (내진설계 대상건물)

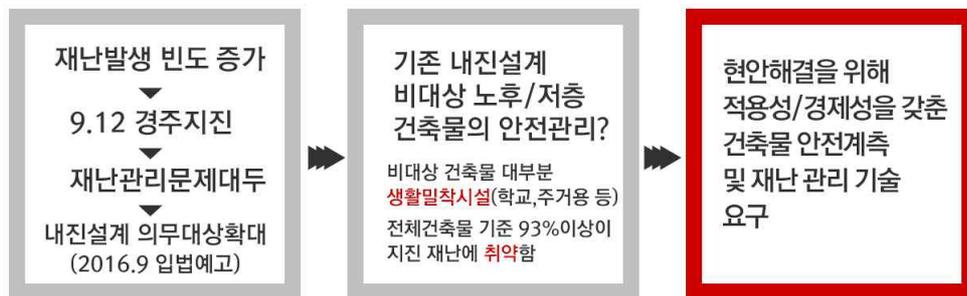


그림 2 노후건축물 안전점검·관리 시스템 보급의 필요성

Ⅲ. 시장동향 및 기술 수준

- 경주 지진사태(2016.09)이후 노후건축물의 안전관리에 대한 정책 및 법규마련이 촉진됨
 - 내진설계 의무대상을 저층 생활밀착시설로 확대하는 법령이 입법 예고되고, 건축물에 대한 정밀 안전진단이 진행되는 등 노후건축물 안전관리에 대한 행정적/법적 대응이 강화되는 추세
 - 경상북도가 지자체로서는 첫 지진대응 5개년 종합대책을 발표하는 등, 경주 지진 발생이후 재난·재해 대응 기술과 인력에 대한 지역사회 수요가 증가하고 있는 추세
 - 경주지진 발생 이후 대경권 및 동남권을 중심으로 한 재난안전 대응 관련 심포지움, 행사 개최빈도가 급격히 증가하는 등 민간부분의 관심증대

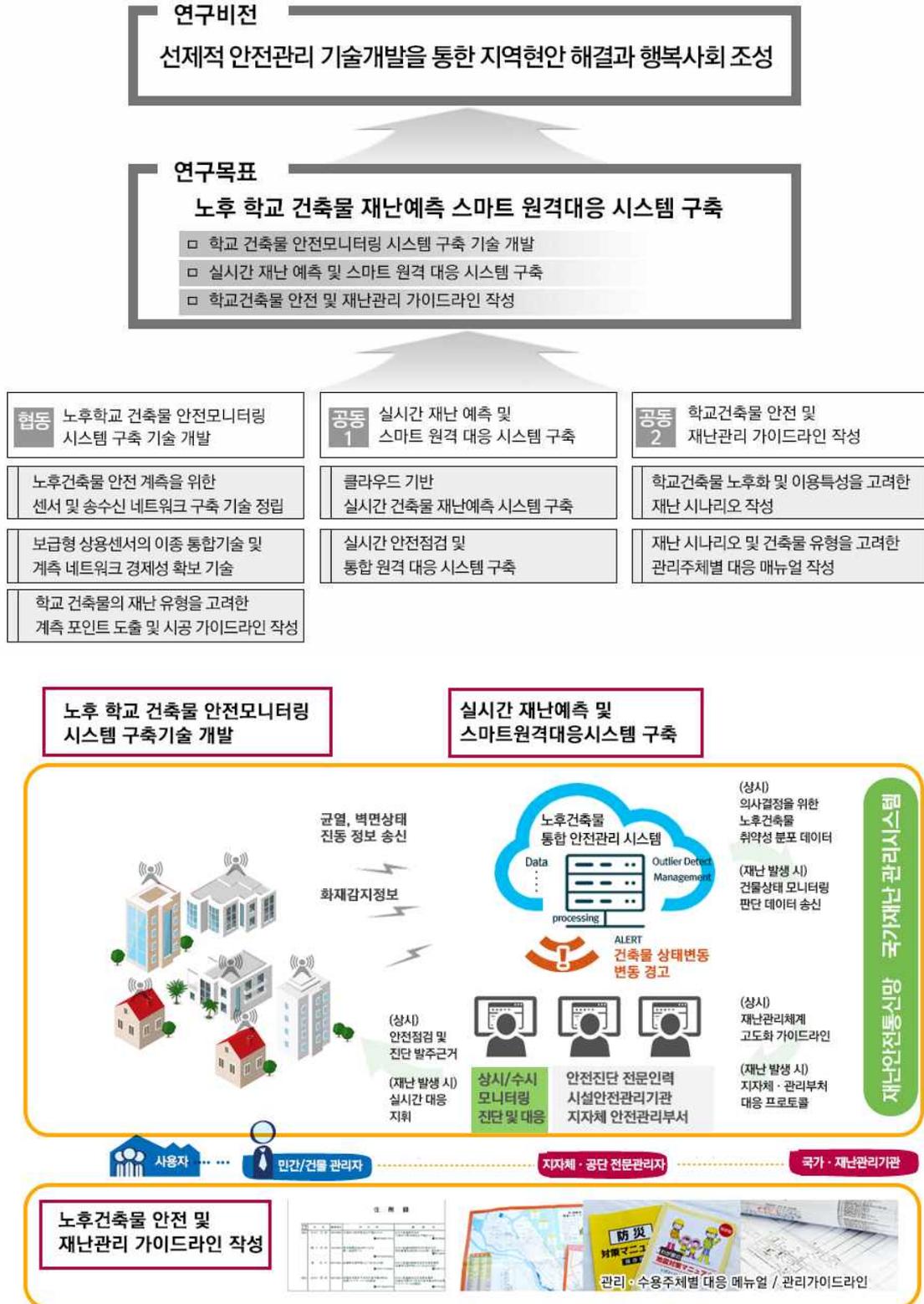
- 노후 학교건축물의 안전관리에 대한 관심 증가로 관련 기술도입 및 투자가 증가 추세에 있음
 - 정부의 안전예산은 2016년 14.6조원으로 17.9%증가하였으며 이 가운데 학교 및 재해 취약시설의 안전점검 후 보수/보강을 위한 예산이 기존 1.4조원규모에서 2조원으로 대폭 확대되었음
 - 경북도교육청은 85억원규모의 추경예산을 긴급 편성해 경주지진피해에 취약한 초등학교 30여곳을 우선대상으로 내진보강을 진행함
 - 교육부는 올해 673억원 수준인 학교건축물 내진보강예산을 2017년 2천억원 수준으로 확대할 계획을 수립함

- 학교 건축물에 대한 재난안전성능 확보율이 선진국에 비해 현저히 낮은 수준으로 향후 관련기술에 대한 수요 및 시장규모가 증가할 것으로 기대
 - 우리나라 학교 건물 중 내진설계 대상건물은 2만131동이며 이중 내진 보강완료 건축물이 4385동으로 21.3%에 불과하여 일본(80%수준)에 비해 현저히 낮은 실정

- IT 및 IoT 기술을 활용한 건축물의 실시간 안전진단 및 유지관리 기술분야 시장규모가 지속적으로 증대 추세이나 선진국에 비해 기술격차가 크편
 - 대경권 시설물 유지관리 시장규모는 약3,000억원으로 10년간 390%증가하여 오고 있으며 IT 및 IoT 기술을 활용한 국가R&D 추진 사례가 증가추세
 - 한국의 지능형 시설물 안전 및 유지관리 기술수준은 선진국 대비 4.3년의 기술격차가 존재하며 원천기술 또한 부족 (한국시설안전관리공단, 제 3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획)

IV. 연구개발의 내용 및 범위

□ 비전 및 목표



□ 연구개발 범위 및 세부 내용

- 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발
 - 노후 학교건축물의 재난 유형을 고려한 계측 포인트 도출 및 데이터 정합성 확보를 위한 시스템 시공 가이드라인 작성
 - 노후 건축물 균열의 상태(변위, 균열, 취성과파괴의 징후)를 실시간으로 계측하기 위한 센서 및 송수신 네트워크 구축 기술
 - 보급형 상용센서를 활용하여 경제성 및 설치용이성을 갖춘 계측 네트워크를 구축하기 위한 이중센서 통합기술

- 재난 예측 및 스마트 원격 대응 시스템 구축
 - 개별 건축물로부터 취득한 계측데이터를 바탕으로 건축물의 재난·이상상황을 예측하는 클라우드 기반 안전경보 알고리즘
 - 전문인력 및 국가재난관리 시스템과의 연계를 통해 원격 안전점검 및 재난 대응을 수행하는 통합 관리 시스템
 - 국가재난관리시스템(NDMS) 및 안전통신망 연계를 위한 데이터 정합성 확보 기술

- 노후 학교건축물 특성을 고려한 재난 시나리오 작성
 - 노후 학교건축물(저층구조물)의 재난·안전취약점 도출
 - 학교건축물 이용특성을 고려한 재난 시나리오 작성
 - 이용특성 및 재난시나리오를 고려한 관리·수용주체별 (사용자, 관리자, 지자체관리자 등) 대응 매뉴얼 작성

V. 연구개발성과

- 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발
 - 노후건축물 취약특성별 계측포인트 설정 가이드라인
 - 노후건축물 보급형 안전계측 시스템 구축 및 시공 가이드라인

- 실시간 재난예측 및 스마트 원격대응 시스템 구축
 - 노후건축물 원격 안전 모니터링 및 관리시스템
 - 이미지/가속도계측 데이터 기반 재난예측 알고리즘

- 노후 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성
 - 대경권 노후건축물 재난 시나리오
 - 건축물 용도 및 이용유형별 재난관리 매뉴얼(안전관리자, 사용자, 광역관리자용)

Ⅶ. 기대효과

- 대경권 지역 안전진단 및 센서 네트워크 구축기술 관련 기술력의 대외 경쟁력 확보
- 생활 밀착 건축물 및 노후 학교건축물 등 기존 노후건축물에 대한 지역현안 해결 및 행복사회 구성에 기여
- 노후건축물 재난안전에 대한 수동적 점검·대응 체계에서 선제적 대응체계로 안전관리에 대한 패러다임을 변화
- 건축물 안전관리 주체별 역량차로 인한 재난관리 위험 요소의 해결 및 재난시 도시 방재력 향상에 기여
- 건축물 점검 및 안전관리 업무의 비효율성 개선 및 전문성 향상이 가능
- 계측 모니터링을 통한 안전점검의 신뢰성 확보 노후건축물의 사용연한 증대 기대



그림 5 실시간 재난 예측 및 스마트 원격대응 시스템 지향점

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
제 1 절 기술정의 및 분류체계	1
가. 기본개념 및 목적	1
나. 구성기술 정의 및 내용	2
제 2 절 기술개발의 필요성	3
가. 기획의 배경 및 지역 현안과의 연관성	3
나. 기술개발 필요성	6
다. 기획 목적	8
제 2 장 국내외 동향 및 환경분석	9
제 1 절 국내외 정책 동향	6
가. 국내외 법령 및 정책	6
나. 관련기술 동향	12
제 2 절 국내외 시장현황 및 전망	13
가. 건축물 안전 및 유지관리 기술 분야	13
나. 대경권 안전관리 시스템 도입 분야	14
제 3 절 기술동향분석	17
1. 특허 동향	17
2. 논문 동향	21
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	22
제 1 절 비전 및 목표	22
가. 연구개발 비전 및 목표	22
나. 연구개발 세부 내용	25
다. 과제 개발 로드맵	27
제 2 절 추진전략 체계	29

제 3 절 자원 투입계획	31
1. 인력투입 계획	31
2. 소요예산 산정	32
제 4 장 실용화 전략	33
제 1 절 현황분석	33
제 2 절 거점 내 수요처 분석	34
제 3 절 시장진출전략	37
제 4 절 기대효과	37
제 5 장 과제 제안요구서	38
참고문헌	43

표 목 차

[표 1] 시설물 안전관리 주요 법령(건축물 분야)	9
[표 2] '15년 주요 부처 시설물 보수·보강 계획	11
[표 3] 시설물 안전 및 유지관리 분야 지능형 기술수준 비교	13
[표 4] 대경권 특정관리대상시설 건축물부문 현황	15
[표 5] 설립연도별 학교수 현황	16
[표 6] 시설물 안전을 위한 센서 모니터링 기술 관련 국내 논문 동향	21
[표 7] 세세부과제 기술 개요	25
[표 8] 세세부과제별 연구내용 및 최종성과물 예시	26
[표 9] 성과목표에 따른 기술개발 로드맵	27
[표 10] 성과목표별 성과유형 및 정량적 성과 목표	28
[표 11] 연구수행체계 제안도	29
[표 12] 연구 수행 및 기술개발 체계 제안	30
[표 13] 세부 과제별 연차 인력투입 계획	31
[표 14] 연차별 연구개발 소요예산	32
[표 15] 대경권 지자체 학교시설 내진성능확보 현황	34
[표 16] 재난위험시설 해소 계획	35
[표 17] 국내건축물 내진성능 확보율 현황	36

그림 목 차

[그림 1] 대경권 지역 노후 건축물 재난예측 스마트 안전 원격대응 시스템 개발	1
[그림 2] 내륙지역 규모 3.0이상 지진 발생건수	3
[그림 3] 우리나라 건축물 내진율(내진설계 대상건물)	4
[그림 4] 노후건축물 안전점검·관리 시스템 보급의 필요성	5
[그림 5] 국내건축물의 내진설계 확보율	5
[그림 6] 실시간 재난 예측 및 스마트 원격대응 시스템 지향점	7
[그림 7] 제 3차 기본계획 사대 추진 전략	10
[그림 8] 진단 대상별 점검방안	11
[그림 9] 일본의 의사결정지원 시스템 개념도	12
[그림 10] 대경권 시설물 유지관리 공사 규모	13
[그림 11] 국내 RFID/USN 기기 및 서비스 시장 전망	14
[그림 12] 시특법 1·2종 시설물 전망	14
[그림 13] 대경권 경년에 따른 건축물 현황	15
[그림 14] 대경권 40년 이상 노후학교건물	16
[그림 15] 연구개발과제의 비전 및 목표	22

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

가. 기본개념 및 목적

기술의 정의
대경권 지역 현안 해결을 위한 노후 학교 건축물의 재난예측 스마트 원격대응 시스템 및 안전관리기술

- 본 기술은 최근 경주지역 지진피해 등 대경권의 잦은 재난 발생으로 인해 증대되고 있는 노후건축물의 안전 위험성 문제에 대한 선제적 대응을 목적으로 함
- 재난 대응력이 취약한 노후 건축물의 안전 상태(변위, 균열, 취성과파괴징후)를 원격 모니터링하고 재난예측 및 대응을 수행하기 위한 시스템과 관리·수용 주체별 가이드라인으로 구성된 안전관리 기술임
- 평상시 교육시설, 재난시 대피소로 지정되어 안전 성능확보의 필요성 및 중요성이 매우 높음에도 불구하고 내진적용률이 현저히 낮은 학교건축물을 대상으로 하는 기술로 저층 노후건축물의 이용특성 및 재난특성을 고려한 안전관리를 수행하기 위한 기술임

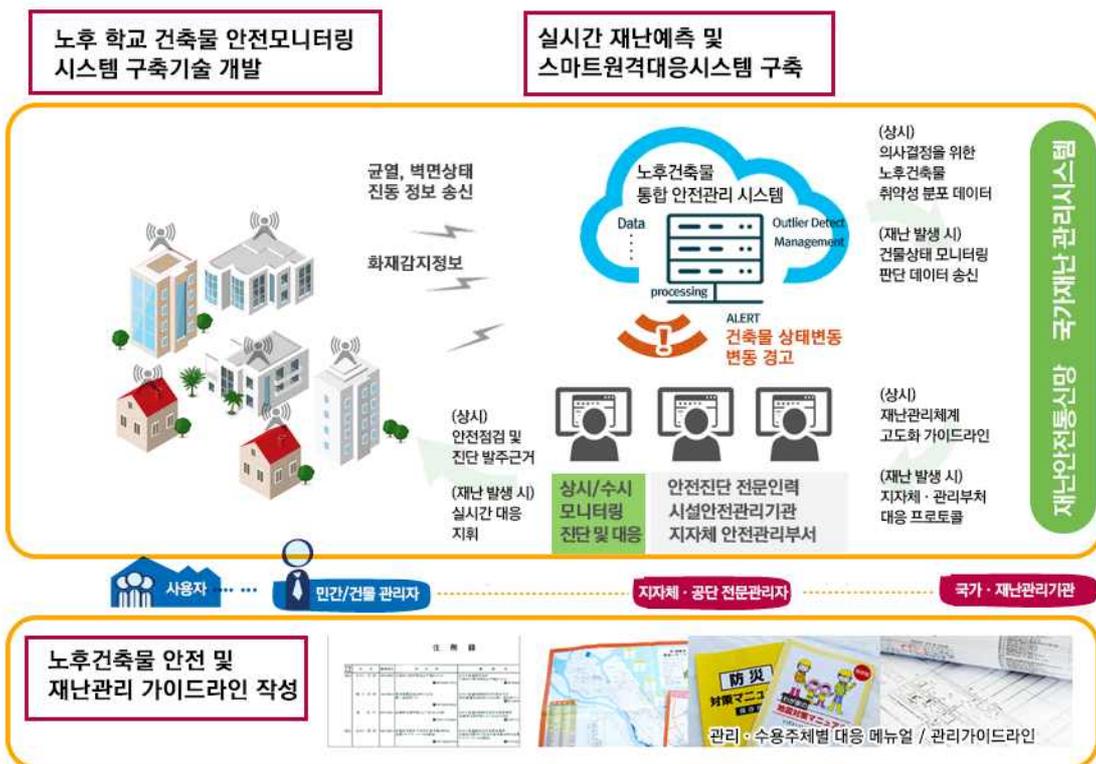


그림 1 대경권 지역 노후 건축물 재난예측 스마트 안전 원격대응 시스템 개발

나. 구성기술 정의 및 내용

□ 노후 학교 건축물 재난예측 스마트 원격대응 시스템 구축개발

○ 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발

- 노후 학교건축물의 재난 유형을 고려한 계측 포인트 도출 및 데이터 정합성 확보를 위한 시스템 시공 가이드라인 작성
- 노후 건축물 균열의 상태(변위, 균열, 취성파괴의 징후)를 실시간으로 계측하기 위한 센서 및 송수신 네트워크 구축 기술
- 보급형 상용센서를 활용하여 경제성 및 설치용이성을 갖춘 계측 네트워크를 구축하기 위한 이중센서 통합기술

○ 실시간 재난 예측 및 스마트 원격 대응 시스템 구축

- 개별 건축물로부터 취득한 계측데이터를 바탕으로 건축물의 재난·이상상황을 예측하는 클라우드 기반 안전경보 알고리즘
- 전문인력 및 국가재난관리 시스템과의 연계를 통해 원격 안전점검 및 재난 대응을 수행하는 통합 관리 시스템
- 국가재난관리시스템(NDMS) 및 안전통신망 연계를 위한 데이터 정합성 확보 기술

○ 노후 학교건축물 특성을 고려한 재난 시나리오 작성

- 노후 학교건축물(저층구조물)의 재난·안전취약점 도출
- 학교건축물 이용특성을 고려한 재난 시나리오 작성
- 이용특성 및 재난시나리오를 고려한 관리·수용주체별 (사용자, 관리자, 지자체관리자 등) 대응 매뉴얼 작성

2절 기술개발의 필요성

가. 기획 배경

□ 대경권 지진 발생빈도가 점점 높아져 지역차원의 기술 수요가 증가

- 최근 대경권에서 관측치 사상 최대규모 지진이 발생하였으며 (2016년 9월, 경주지역) 활성단층 지진으로 인한 향후의 피해가 증가할 것으로 사료됨
 - 대구와 경북 일원에서 발생한 지진은 1978년 관측 이래 한반도 지진발생의 20.8%를 차지하며, 내륙지역 규모 3.0이상 지진 발생의 49%가 대구·경북권에서 발생
 - 우리나라 지진 발생빈도는 1978년 2016년까지 총 1,229회가 발생하여 연평균 32회 정도 발생하였으며 발생빈도가 점진적으로 증가하는 추세
 - 경주지진의 진앙지 아래 11km 지점에서 가로세로 높이 5km에 달하는 활성단층영역이 확인되었으며 이는 경상북도 영덕을 시작으로 대경권 전역에 걸쳐 이어지는 170km구간의 양산단층대에서 또 다른 활성 단층존재 가능성을 시사함
- 경상북도가 지자체로서는 첫 지진대응 5개년 종합대책을 발표하는 등, 지진발생이후 재난·재해 대응을 기술·인력에 대한 지역사회 수요가 증가하고 있는 추세로 지역주도의 기술개발 및 안전체계 구축이 요구됨

내륙지역 규모 3.0이상 지진 발생건수



자료: 기상청, 국내지진목록(<http://www.kma.go.kr>)재구성, 2016.11.28 기준

그림 2 내륙지역 규모 3.0이상 지진 발생건수

□ **대경권 노후 학교 건축물의 재난 안전관리시스템 구축이 시급**

- 학교 건축물의 대다수는 비상시 대피소로 지정되어 건축구조물의 안전성 확보의 필요성 및 시급성이 매우 높으나 경북소재 학교건축물의 내진 적용률은 18.7%으로 최근 대경권에서 발생하고 있는 잦은 지진수준을 고려하면 개선이 시급함
- 지어진지 40년이 지난 노후 학교건축물은 전국 1만동을 넘는 것으로 집계되어 우리나라 학교 건축물의 노후 수준이 매우 높으며, 특히 경북의(529교) 경우 전남(530교)에 이어 전국에서 두 번째로 많은 수준으로 나타나 적절한 안전관리가 필요함
- 경주지진에 따른 학교현장의 대응 상황자료(2016 국정감사)에 따르면 경주 지진사태 발생 후 대피 매뉴얼을 준수하지 않은 학교(85.2%), 아무런 조치를 취하지 않은 학교(39.3%)로 등 문제점이 나타나 재난발생시 대응체계에 대한 명확한 기준마련이 요구됨

내진설계 얼마나 되어 있나?



그림 3 우리나라 건축물 내진율 (내진설계 대상건물)

□ **기존 노후 건축물 안전성확보(현안해결)을 위한 적정기술이 요구됨**

- 경주지진 발생 이후 내진설계 의무대상확대, 내진보강예산 확보와 같이 정부·지자체의 대응방안이 마련되고 있으나 기존 노후건축물의 안전성확보를 위한 적정수준에 미치지 못하고 있는 실정임
- 학교건축물의 경우 기존건축물 및 노후건축물의 내진성능 확보를 위해 4조 5천억원 가량의 재원과 시간(20년~67년)이 소요 될 것으로 사료됨
 - 우리나라 전국 초·중·고등학교 건물 내진 적용률은 평균 23.8%로 남은 76.2%학교에 내진보강을 모두 완료하기 위해 소요되는 예산은 4조5천억원으로 추정됨 (교육부)
 - 내진보강예산을 2016년 수준으로 유지시 내진보강 완료를 위해 소요되는 시간은 현행 67년으로 추정되며 경주 지진발생후 한시적으로 청구한 추경예산을 고려해도 20년 이상 소요될 것으로 추정됨 (교육부 학교시설 내진설계 현황자료)
- 구조안전성 개선등과 같은 장기적인 보완책을 추진함과 동시에 즉시적용이 가능한 현안 해결형 기술개발과 시스템 도입이 필요함

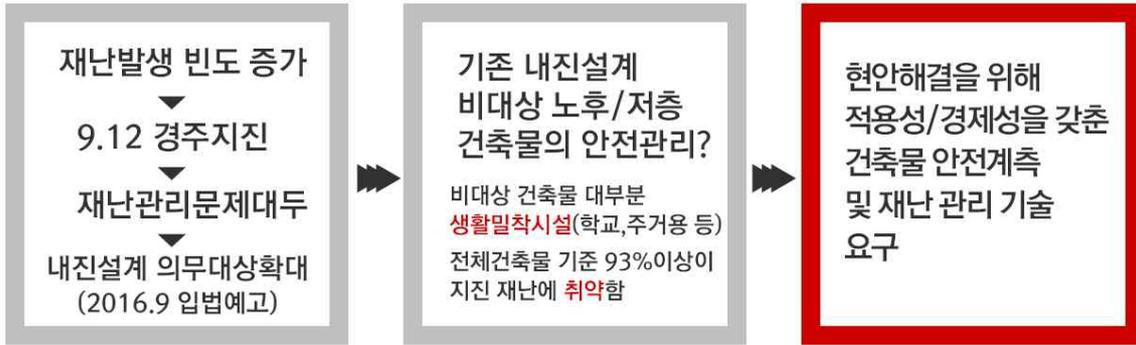


그림 4 노후건축물 안전점검·관리 시스템 보급의 필요성

□ 지진 등 재해 발생 시 대경권 노후 건축물에 의한 피해 극심 우려

- 국내 지반 특성 및 위치 특성상 지진파의 주파수 성분은 0.5초 이하의 단주기 성분이 크기 때문에 저층구조물/ 노후건축물의 피해가 극심할 것으로 사료됨
 - 1999년 타이완 지진당시 피해건물 90%이상이 5층 이하의 저층/노후건축물이었는데 이는 단주기파와 2~4층건물의 흔들림 주기가 맞물리는 “공진현상” 에 기인함.)
- 대경권 내진설계 비대상 건축물 대부분은 노후화 건축물로 지진 등 재난 발생시 건축물에 의한 피해확산이 우려되는 실정임
 - 대구시의 내진 대상 동수 75,121 동중 확보동수는 20,755동으로 내진성능 확보비율은 26.7%에 불과함. 경상북도 내진대상동수는 71,195동 그중 확보동수는 27,223동으로 내진성능 확보비율이 38.2%임
 - 우리나라의 경우 1988년 이후 내진설계를 적용하기 시작하여 점진적으로 그 적용대상 기준을 확대하여 왔으며, 1988년 이전 건축물에는 지진에 대한 근본대책이 수립되어 있지 않음.



그림 5 국내건축물의 내진설계 확보율

나. 기술개발 필요성

과제명 : 노후 학교 건축물 재난예측 스마트 원격대응 시스템 구축

□ 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발의 필요성

○ 대경권 노후 학교건축물의 재난안전관리 시스템 개선 시급

- 비상시 대피시설로도 이용되는 노후 학교건축물에 대한 안전 관리 미흡과 재난시 판단미흡은 대형 참사로 이어질 수 있으므로 정기적인 안전점검 뿐 아니라 상시 모니터링을 통해 상시 안전관리를 필요로 함
- 대경권 내 학교건축물의 노후화 수준이 매우 높으며 건설 당시의 시공품질에 대한 검증이 되지 않았거나 노후화로 인해 구조적기능을 대부분 상실한 상태임

○ 지역현안해결을 위해 경제성/적용성을 갖춘 적정기술이 필요

- 경주지진 발생 이후 내진설계 의무대상확대, 내진보강예산 확보와 같이 정부·지자체의 대응방안이 마련되고 있으나 현행 예산 및 내진보강 진행 속도를 감안하면 4조 5천억원 가량의 재원과 시간(20년~67년)이 소요 될 것으로 추정됨
- 진행중 내진보강사업에서도 노후화된 학교건축물은 예상집행의 효율성 문제로 인해 안전점검 및 정밀 안전진단, 보수·보강을 시트법에서 정한 최소한의 수준으로 이행하고 있는 실정임
- 구조안전성 개선등과 같은 장기적인 보완책을 추진함과 동시에 즉시적용이 가능한 현안 해결형 기술개발과 시스템 도입이 필요함
- 우리나라는 성수대교(1994. 10. 21)와 삼풍백화점(1995. 6. 29) 붕괴사고 등의 대형 재난을 겪음에 따라 상시모니터링시스템을 이용한 안전관리의 자동화 필요성이 제기되었으나 높은 초기설치 비용과 실효성 등의 문제로 인해 일반적으로 사용되지 못하고 있는 실정

○ 계측 모니터링을 통해 안전점검의 신뢰성 확보 및 건축물 사용연한 증대가 가능

- 최근 광주 아파트 지하기둥 균열사고(2014. 7. 24) 및 테크노마트 진동사고(2011. 7. 5) 등과 같이 사고원인이 불분명하거나 노후화된 건축물의 진동사고 발생 시, 신속한 원인규명과 정확한 보수·보강 대책 마련을 위해 안전 모니터링의 필요성이 대두됨.
- 노후건축물에 모니터링을 활용한 건축물 재난안전관리를 실시할 경우 지진재해뿐만 아니라 진동으로 야기되는 건축물의 붕괴를 사전에 감시·예방할 수 있으며 건축물을 안전하게 관리하고 사용연한을 증대시키는데 도움이 될 수 있음.
- 현행 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침은 육안점검에 기반한 상태평가를 수행하고 있으므로 점검자(기술자)의 경험과 기술수준에 따라 상이한 평가가 수행될 수 있는 가능성이 상존하고 있으므로 신속하고 정확한 첨단기법을 이용한 방식으로 전환함으로써 점검·진단 결과의 신뢰도 확보가 필요함

□ 실시간 재난 예측 및 스마트 원격 대응 시스템 구축의 필요성



그림 6 실시간 재난 예측 및 스마트 원격대응 시스템 지향점

○ 수동적 점검·대응체계에서 선제적 대응 체계로 전환을 위한 통합관리시스템 필요

- 기존의 안전점검 및 대응은 법령에 근거해 정기점검(반기에1회) 및 정밀점검(안전분류에 따라 2~4년)의 절차로 진행되고 있으나 재난상황 발생(특히 지진, 여진발생의 경우)후 노후건축물의 위험도가 증대 될 수 있으므로 상시 계측에 근거한 선제적 대응체계 마련이 필요
- 개별 건축물의 계측데이터(이미지, 가속도 등)를 기반으로 한 재난예측 알고리즘과 함께 전문화된 기관에 의한 상시모니터링/대응을 통해 재난에 대한 선제적 대응체계구축이 가능할 것으로 사료
- 통합안전관리시스템은 국가재난관리시스템(NDMS) 및 안전통신망 연계를 통해 재난시 효율적인 컨트롤 타워지원 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대됨

○ 노후 건축물 안전관리 주체의 역량차가 재난 관리위험요소화 되고 있음

- 노후 학교 건축물 등 국민 밀착 시설물의 경우 관리주체의 열악한 재정, 인력 및 인식부족으로 적시에 점검·진단 및 보수·보강 이행이 곤란하여 노후·불량 시설물 누적 및 수명 단축
- 관계 행정기관(시·군·구)의 인력과 전문성 부족으로 민간 관리주체의 안전·유지관리활동에 관한 관리·감독이 미흡해 민간 관리주체의 형식적이고 수동적인 안전관리 초래
- 안전관리 대책, 특히 노후화된 건축물의 붕괴, 파손, 지진피해의 위험성이 증가되어 이들에 대한 안전관리 대책에 대한 법제도를 구축 및 정비하고 있지만, 주로 민간 및 지자체가 관리하고 있는 건축물의 경우에는 관리 부실, 안전관리를 위한 예산 및 전문 인력이 부족한 실정

○ 건축(시설)물 점검 및 안전관리 업무의 비효율성개선 및 전문성 향상이 필요

- 시설물 점검 및 안전관리는 현장조사내용을 야장 및 도면에 기록 하는 조사내용 입력, 보고서 작성등 업무과정에서 지나치게 많은 노력과 시간이 소모.

- 열악한 업무환경 및 업무의 비효율성으로 인해 국내 다수의 건축물 안전 관리·진단·유지관리업체의 전문성이 미흡한 수준으로 평가*되고 있음
- * 한국시설안전공단 조사데이터에 따르면 분야별 기술수준이 보통 이하로 나타남
“시설물 관리주체 안전 및 유지관리 실태조사, 2010년 11월”
- 해당 기술자들의 업무지원을 위한 진단 보조기술 및 장비가 다수 개발되어 적용되고 있으나, 장비사용에 대한 구체적인 기준 부재로 인해, 활용도가 낮음

□ 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성의 필요성

○ 노후 건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성의 필요성

- 경주지진에 따른 학교현장의 대응 상황자료(2016 국정감사)에 따르면 경주 지진사태 발생 후 대피 매뉴얼을 준수하지 않은 학교(85.2%), 아무런 조치를 취하지 않은 학교(39.3%)로 등 문제점이 나타나 재난발생시 대응체계가 부실한 것으로 나타남
- 안전모니터링 및 원격관리 등의 시스템을 적용하여 재난예측과 관리가 가능할 것으로 사료되나 실제 건축물을 이용하는 이용자, 관리자 및 재난발생 이후의 대응·복구를 위한 가이드라인이 부족한 상황
- 사용중인 노후 건축물의 경우 그 용도와 구조적 특성, 재해·재난상황에 따라 재실자 및 관리자가 행하여야 하는 행동이 크게 다름
- 특히 재난시 학교건축물은 비상대피소의 기능을 수행함으로 재난진행상황에 따른 단계적이고 체계적인 대응·관리가 요구됨
- 일본의 경우 재난 상황시 관리 및 수용 주체별로 (사용자, 건물관리자, 지자체 관리자) 대응 매뉴얼이 마련되어 있으나 국내의 건축물(시설물)의 경우 전문가용 관리 매뉴얼 일부 외에는 미비한 실정
- 재난상황 및 관리·수용 주체를 고려한 대응 매뉴얼의 제공과 국가재난관리시스템과 효율적으로 연계하기 위한 관리/대응시스템 마련이 필요함

다. 기획목적 및 내용

- 본 기획연구는 “노후 건축구조물의 실시간 안전진단 및 재난예측 스마트 원격대응 시스템”의 원활한 개발과 실용화가 실현되도록 하는 것을 목적으로 함
- 특히 최근 경주지역에서 발생한 지진피해 및 최근 대경권을 중심으로 증대되고 있는 재난발생과, 건축물 노후화 문제에 대한 지역현안 해결을 위해 경제성 및 적용성을 갖춘 즉시 적용한 기술개발을 지향함
- 이에 예산활용의 효율성 및 해결의 시급성을 고려하여 연구개발기술의 적용범위를 대경권내에서 시급히 해결이 요구되는 노후 학교건축물의 안전대응 시스템 구축을 연구의 범위로 설정하고 본 과제의 연구목표, 내용, 추진체계를 명확히 기획하였음

제 2 장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

가. 국내외 법령 및 정책

○ 국내 건축물 안전 및 유지관리 관련 법령

- 지진재해대책법에서 지진으로 인한 피해가 우려되는 주요 시설물을 대상으로 지진가속도 계측기를 설치 및 운영하여 계측된 자료를 국민안전처로 송신하여 지진재해의 예방 및 대비, 내진 대책 등을 수행할 수 있도록 규정함
 - * 주요 시설물 중 건축물은 중앙행정기관 및 지방자치단체의 청사, 국립대학교, 높이 200m 또는 50층 이상의 공공건축물 등이 해당 됨
 - * 지진가속도계측기 설치 및 운영기준에 따라 330개소의 건축물에 지진가속도계측기 설치를 의무화하고 있으며 건축물의 최하층과 최상층에 설치하도록 규정
- 시설물안전관리에 관한 특별법, 재난 및 안전관리 기본법, 건축법, 재난 및 안전관리기본법 등에서 안전점검 및 정밀안전진단 지침, 평가기준을 비롯한 시설물 안전관리에 관하여 규정함

표 1 시설물 안전관리 주요 법령(건축물 분야)

안전관리 대상	관련법	소관 부처
공공청사	학교시설사업촉진법 국유재산관리법 지방재정법	교육과학기술부 기획재정부 행정안전부
아파트/대형건물	건축법 주택법	국토교통부
백화점/대형판매시설	건축법 유통산업발전법	국토교통부
호텔	건축법 관광진흥법 공중위생관리법	국토교통부 문화체육관광부 보건복지가족부
극장	공연법 건축법	문화체육관광부

* 시설물안전관리에 관한 특별법, 건설기술관리법, 건설산업기본법, 재난 및 안전관리기본법, 소방기본법, 소방시설유지 및 안전관리에 관한 법률, 소방시설공사업법, 위험물안전관리법은 공통적용¹⁾

1) SOC시설물 성능평가기술개발 기획 최종보고서(2014) 재인용

○ 국내 건축물 안전 및 유지관리 관련 정책

- 기존 노후화 건축물의 안전성 평가를 위하여 한국시설안전공단 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 소방방재청의 특정관리대상시설 안전등급 평가 매뉴얼, 한국시설물안전관리공단의 소규모 취약시설 안전점검 매뉴얼 등이 활용되고 있으며 그로인한 안전성 평가 기준에 따라서 최종적으로 안전성 평가를 실시하도록 규정하고 있음
- 국토교통부에서 시특법에 따라 5년 단위로 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립 및 시행하고 있으며 현재 3차 기본계획(2013~2017)이 추진 중
- * 자연재해 종합 대응체계 구축, 능동형 안전관리 강화, 시설물 정보 고도화 및 활용 등에 관한 과제 추진

4대 전략	중점과제	세부 추진과제
1 선진적 안전관리체계 확립	1-1 시특법 체계의 선진화	1-1-1 시설물 안전관리 내실화 1-1-2 시설물 실태조사 체계 구축
	1-2 시장친화형 안전·유지 관리 활성화 및 미래지향적 우수인력 양성	1-2-1 안전진단 해외시장 진출 지원 및 전문 기관 육성 1-2-2 기술자 역량강화 및 전문인력 육성
2 국민과 함께 하는 안전관리 실현	2-1 대국민 안전 서비스 확대	2-1-1 국민이 참여하는 시설물 안전문화 확산 2-1-2 소규모 취약시설 안전관리 지원 확대
	2-2 능동형 안전관리 강화	2-2-1 관리주체의 자발적 안전관리 유도 및 기반 구축 2-2-2 민간 시설물의 안전관리 시스템 강화
3 환경변화 선제대응형 안전관리로 전환	3-1 자연재해 종합 대응체계 구축	3-1-1 지진재해 대응능력 및 실행력 제고 3-1-2 이상기후 대응 안전관리 강화
	3-2 사용자 친화형 유지관리체계 구축	3-2-1 시설물 성능평가 개선을 통한 이용자 만족도 증진 3-2-2 유지관리 취약요소 발굴 및 Feedback
4 지능형 기술 촉진 및 효율화	4-1 융·복합형 진단 및 유지 관리 핵심기술 개발	4-1-1 ICT 기반 시설물 첨단 진단기술 확보 4-1-2 보수·보강 등 유지관리 기술 선진화
	4-2 시설물 정보 고도화 및 활용 증진	4-2-1 FMS 성능개선 및 활용 확대 4-2-2 유지관리 분야 BIM 도입 기반 마련

그림 7 제3차 기본계획 4대 추진 전략

○ 국가안전대진단 추진

- 국민안전처를 중심으로 국가전체의 안전점검 대상에 대하여 민관합동 점검 및 국민 참여를 통한 사회전반의 안전사고와 대규모 재난 예방을 목표로 함
- 시설물 관리 주체가 자체 또는 위탁 점검(점검주기 평균 1년) 및 위험시설의 경우 전수 민관합동점검 실시
- 진단 결과를 기록 및 분석할 수 있는 안전점검 관리 시스템 구축 추진(진단 주체의 직접입력 방식)



그림 8 진단 대상별 점검방안

○ 안전 대진단 연계 안전투자 확대

- 진단 결과를 토대로 노후 시설물 등의 보수·보강 투자 확대 및 예산 집행
- * 학교시설의 경우 ‘15년 기준 전년 대비 4.5% 증가
- 재해위험 개선 사업 조기 추진을 통한 침수·붕괴 등 취약지구 피해 예방
- * ‘14년 1.1조원 -> ‘15년 1.2조원으로 6% 증가

표 2 ‘15년 주요 부처 시설물 보수·보강 계획

(단위 : 개소/억원)

구분	대상시설	‘14년 예산	‘15년 예산	증감액
국 토 부	도로 교량	1,948	4,459	2,505
	철도 교량	979	973	6
교 육 부	학교시설	6,048	6,319	271
안 전 처	급경사지	379	983	604

○ 국외 건축물 안전 및 유지관리 관련 법·정책 동향

- 미국은 연방재난관리청에서 점검, 등급결정, 유지관리 등에 대한 전반적인 매뉴얼을 규정하고 광역 지역사무소에서 각 주의 유지관리에 대한 세부지침을 수립하고 있음. 파괴 유발 시설물에 대해서는 특별한 점검조건을 채택하여 National Inspection Standard로 규정하고 있으며 파괴유발부재에 적합한 점검주기와 방법을 수립해야 하며 매년 유지관리계획서를 수립 후 연방의회에 제출하도록 규정하고 있음
- 미국 지질조사국에서는 지진이 구조물에 미치는 영향을 연구하기 위해 100여개 이상의 건축물에 지진계측기를 설치하여 모니터링을 수행하고 있음
- 뉴질랜드는 지진 취약 건물, 위험한 건물, ‘비위생적인 건물에 대한 오클랜드 시의회의 정책 2011-2016’ 을 통해 지진 취약 건물의 식별방안, 국가 건물 표준 요건, 보강 우선 순위, 건물의 관리 방안에 대한 정책을 수립하고 있음

- * 상가 건물 또는 3세대 이상이 살고 있는 2층 이상의 주거 건물 대상
- 일본은 ‘지진피해를 받은 건축물의 지진피해도 구분판정 및 복구기술지침’을 통해 중·저층 RC 건축물의 지진을 통한 피해정도에 따른 건축물의 복구 여부에 관한 의사결정을 돕기 위한 기법을 규정함

나. 관련기술동향

○ 국내 재난 및 유지관리를 위한 안전관리시스템

- 재난의 체계적 예방·대비·대응·복구를 위한 국가재난관리정보시스템(NDMS)를 구축 및 운영하고 있으며 이를 통한 현장 밀착형 대응체계 장착, 거버넌스형 재난정보 공동활용기반 조성 등을 목적으로 하며 소방민원정보시스템, 국가재난정보센터, 지진재해대응시스템, CCTV 통합연계시스템 등으로 구성됨
- 시설물의 준공 이후 유지관리상의 안전관리체도로써 안전점검 및 유지관리에 관한 업무를 체계화하기 위해 시특법에 따른 공공 시설물의 생애주기 동안에 발생하는 이력을 데이터베이스화하는 시설물관리종합시스템(FMS)구축

○ 국외 재난 및 유지관리를 위한 안전관리시스템

- 일본은 재해발생 시 신속한 초동체계 구축을 위한 재해대책매뉴얼을 구축하고 있으며 각 지방의 실정에 최적화된 별도의 정보시스템을 도입하여 재난에 대응²⁾
- 미국은 국토안보부와 연방재난관리청에서 시설물의 재난 예방·대비·대응·복구 활동을 관리하고 있으며 신속한 대응을 위한 의사결정을 지원하기 위해 다양한 ICT 기술을 활용하고 있음. 또한 이를 통합하기 위하여 국가긴급관리정보시스템(NEMIS)를 구축·운영하고 있음

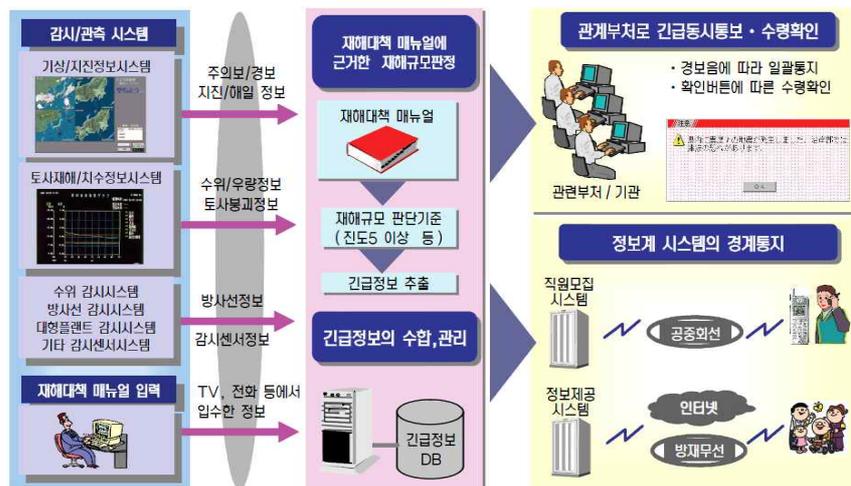


그림 9 일본의 의사결정지원시스템 개념도

2) KISTEP Issue paper - ‘해외 주요국의 재난관리 ICT 동향과 시사점’

2절 국내외 시장현황 및 전망

가. 건축물 안전 및 유지관리 기술 분야 시장동향

○ 시설물 유지관리 시장현황

- 국내 안전점검 및 정밀안전진단 시장은 성장이 멈춘 반면 시설물 유지관리 시장 규모는 지속적으로 증가 추세
 - * 안전점검 및 정밀안전진단 시장 : '08(1,200억원) -> '11(996억원)
 - * 시설물 유지관리 시장 : '01(1조원) -> '10(2.8조원)
- 정부의 안전 예산은 2016년 14.6조원으로 17.9% 증가하였으며 특히 학교 및 재해 취약시설의 안전점검 후 보수/보강을 위한 예산이 기존 1.4조원에서 2조원으로 대폭 확대
- 대경권 유지관리 시장규모는 약 3,000억으로 10년간 약 390% 증가



그림 10 대경권 시설물 유지관리 공사 규모(계약금액, 건수)
출처 : 대한전문건설협회, 전문건설업 통계연보, 각년도

○ ICT 융합 건축물 안전 및 유지관리 시장현황

- 한국의 지능형 시설물 안전 및 유지관리 기술 수준은 선진국 대비 4.3년의 기술격차가 존재하며 원천기술 또한 부족

표 3 시설물 안전 및 유지관리 분야 지능형 기술수준 비교

국가	미국	EU	일본	한국	중국	세계 최고국 기술격차
기술수준	100.0%	99.7%	95.9%	76.2%	63.8%	4.3년

출처 : 제 3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획

- 국내 RFID/USN 시장은 2008년 9,400억원 시장에서 2018년까지 25조 4,700억원으로 성장할 것으로 전망되나 원천기술 부족으로 저가형 센서 시장이 중심

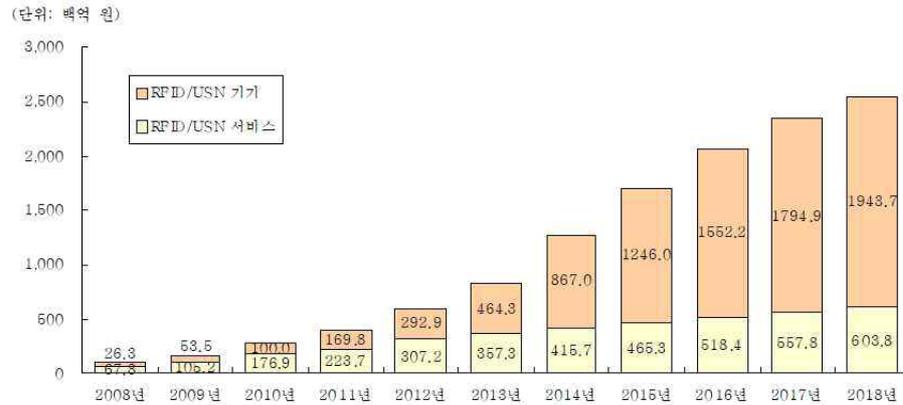


그림 11 국내 RFID/USN 기기 및 서비스 시장 전망

나. 대경권 안전관리 시스템 도입 분야

○ 대경권 노후 및 취약 건축물 현황

- 한국은 경제성장을 바탕으로 한 압축 건설로 인하여 당시 건설된 시설물의 고령화가 급속도로 진행 중에 있으며 14년 기준 30년 이상 시설물은 전체의 9.6%의 수준이며 10년 후 21.5%로 크게 증가하는 것으로 나타남
- 대구의 준공 이후 30년 이상 경과된 노후 건축물은 95,360동으로 전체 건축물 중 37.8%를 차지하며 경북 역시 338,495동으로 전체의 44%를 차지하고 있으며 이러한 노후 건축물은 지속적으로 증가할 것으로 전망됨



그림 12 시특법 1·2종 시설물 전망



그림 13 대경권 경년에 따른 건축물 현황

- 정기적으로 안전관리를 필요로 하는 특정관리대상 건축물은 대구 5,079동, 경북 6,162동으로 높은 수준이며 2010년 이후 지정 건물 수가 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있으며 경북의 경우 증가폭 역시 늘어나고 있음³⁾. 따라서 현재 대경권의 지진발생 현황을 고려할 때 이러한 취약 건물을 대상으로한 안전 진단의 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망됨

표 4 대경권 특정관리대상시설 건축물부문 현황

(단위 : 동수)

	대구				경북			
	중점관리시설	재난위험시설	소계	증감	중점관리시설	재난위험시설	소계	증감
2010	5,097	0	5,097	-	5,375	8	5,383	-
2011	5,159	0	5,159	62	5,458	6	5,464	81
2012	5,295	0	5,295	136	5,637	6	5,643	179
2013	5,334	72	5,406	111	5,838	5	5,843	200
2014	5,071	8	5,079	-327	6,157	5	6,162	319

3) 국민안전처 통계연보(2015) 일부 재인용.

○ 노후 학교시설 현황

- 전국 초중등학교 재난위험시설(D, E급) 21개 중 대구 3개, 경북 1개 시설을 보유 중이며 보수를 위하여 총 446억원을 필요로 함
- 대경권의 40년 이상 노후화 된 학교 건물은 1,071동으로 전국(6,294동) 대비 17%를 차지
- 2004년까지 건립된 약 87%의 학교가 내진설계가 이루어지지 않았으며 2014년 기준 약 23.5%가 내진보강공사를 통한 내진성능 확보
- 대경권의 지자체의 내진성능 확보율은 대부분 30% 미만이었으며 경북은 22개 지자체 중 학교의 내진성능이 20% 미만인 지자체가 19개로 내진 성능 확보가 전국에서 가장 열악한 수준



그림 14 대경권 40년 이상 노후학교건물

표 5 설립연도별 학교수 현황

건축년도	초등학교	중학교	고등학교	합 계	비율(%)
~1982년	4,194	2,030	1,392	7,616	64.79
1983년~1992년	572	378	300	1,250	10.63
1993년~2002년	812	384	284	1,480	12.59
2002년~2008년	496	300	209	1,005	8.55
2009년~2012년	173	112	119	404	3.44
합 계	6,247	3,204	2,304	11,755	100.00

출처 : 교육부, 2013, 2014년도 국가 안전관리 집행계획

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

가. 특허 동향

(1) 국내 특허 분석

○ 하중 센서를 이용한 건축구조물의 변형 모니터링 장치 및 모니터링 방법

· 출원번호 : 10-2012-0128750

· 출원인 : 한국에너지기술연구원

· 내용

- 본 발명은 건축구조물의 변형 모니터링 장치 및 모니터링 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 건축물의 변형에 대하여 신뢰성 있는 모니터링이 가능하고, 간단한 구성으로 제작가능하여 측정 장비의 제작 단가를 줄일 수 있으며, 나아가 일정 수준 이상의 변형이 발생할 경우 이를 고지하여 안전성을 확보할 수 있는 하중 센서를 이용한 건축 구조물의 변형 모니터링 장치 및 모니터링 방법을 제공하는데 그 목적이 있다. 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은 건축물의 가로 또는 세로 부재에 밀착 고정되는 밀착 지지대; 상기 밀착 지지대에 직교되게 고정되는 둘 이상의 직교 지지대; 상기 직교 지지대에 밀착 지지대를 고정하기 위한 고정 부재; 상기 밀착 지지대와 상기 직교 지지대 간의 밀착 면에 설치되는 변형 검출 센서; 상기 변형 검출 센서에서 검출된 신호를 전달하는 전달 수단; 및 상기 전달 수단으로부터 전달된 신호에 근거하여 모니터링 하는 모니터링 수단을 포함하는 건축물의 변형 모니터링 장치를 제공하며, 변형이 예상되는 건축물의 면에 밀착 고정되는 지지 부재에 매설된 하중 센서를 통해 변형을 검출하는 단계; 변형이 검출된 데이터를 전송하는 단계; 및 전송된 데이터에 근거하여 건축물의 변형을 모니터링하는 단계를 포함하는 건축물의 변형 모니터링 방법을 제공한다.

○ 기울기 센서를 이용한 구조물 안전 모니터링 시스템 및 모니터링 방법

· 출원번호 : 10-2008-0112233

· 특허권자 : 국민대학교 산학협력단

· 내용

- 본 발명은 기울기 센서를 이용한 구조물 안전 모니터링 시스템 및 모니터링 방법에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 구조물에 부착되고, 부착된 위치에서의 기울기를 측정할 수 있는 둘 이상의 기울기 센서들 및 상기 기울기 센서들로 측정된 기울기들로부터 상기 구조물의 상기 기울기 센서들이 부착된 각 위치에서의 응력을 계산할 수 있는 계산 수단을 포함하는 구조물 안전 모니터링 시스템 및 이를 이용한 모니터링 방법에 관한 것이다. 본 발명의 구조물 안전 모니터링 시스템 및 모니터링 방법을 이용하면, 부착 위치에 제한이 거의 없고 가격이 저렴하기 때문에 안전 여부를 실시간으로 충분히 감시할 수 있는 효과가 있다.

○ 무선센서네트워크를 이용한 구조물 관리시스템 및 구조물 관리방법

· 출원번호 : 10-2009-0009800

· 출원인 : 주식회사 휴텍이일, 한국철도기술연구원

· 내용

- 무선센서네트워크를 이용한 구조물 관리시스템 및 구조물 관리방법이 개시된다. 본 발명에 따른 무선센서네트워크를 이용한 구조물 관리시스템은 구조물에 부착되어 구조물의 안전진단을 위한 센싱정보를 수집하기 위한 USN 센서노드와, USN 센서노드에 연결된 IEEE 802.15.4 지그비 기반의 무선센서네트워크를 통해, USN 센서노드로부터 센싱정보를 수신하며, 이기종망과의 연동을 위해 수신된 센싱정보를 상위연동신호로 변환하여 전송하기 위한 게이트웨이와, 게이트웨이로부터 전송받은 상위연동신호의 센싱정보를 복원하여 전송하기 위한 기지국과, 기지국으로부터 전송받은 센싱정보에 기초하여, 구조물의 안전을 모니터링하기 위한 구조물관리서버를 포함함으로써, 하나의 구조물 관리서버에서 각 노후 구조물을 효율적으로 유지관리할 수 있다.

○ 구조물의 이상거동 검출 및 안전성 평가 시스템과 그 방법

· 출원번호 : 10-2014-0022037

· 출원인 : 한국건설기술연구원

· 내용

- 대형 사회기반시설물인 구조물의 고주파 진동 응답신호로부터 시간영역 및 주파수영역을 조합 분석하고, 자가학습 및 패턴인식 기반의 알고리즘에 따라 구조물의 비정상 거동 평가를 수행함으로써 구조물의 연속적 이상거동시점을 용이하게 추정할 수 있고, 또한, 구조물의 이상거동이 감지될 때마다 감지된 이상거동의 진위를 판별할 수 있고, 센서노드를 중심으로 하여 손상 영역을 용이하게 추정할 수 있는, 구조물의 이상거동 검출 및 안전성평가 시스템과 그 방법이 제공된다.

○ 능동형 센서 모듈을 활용한 미진동 구조물의 무선 계측 시스템

· 출원번호 : 10-2010-0014445

· 출원인 : 한국유지관리 주식회사

· 내용

- 본 발명은 능동형 센서 모듈을 이용해 구조물의 미진동을 계측하고 구조물의 고유 모드 형상을 추출해 구조물의 노후화 및 변형을 평가하기 위한 능동형 센서 모듈을 활용한 미진동 구조물의 무선 계측 시스템에 있어서, 상기 구조물의 특정 위치 및 동일 평면상에 층별 또는 위치별로 다중 설치하여 2개의 가속도 센서에서 계측한 가속도 데이터를 분석하고 회귀신경망 기법을 통해 근사화 모델링으로 자체회환루프를 형성해 미진동을 계측하는 다수의 능동형 센서 모듈과, 상기 다수의 능동형 센서 모듈에서 계측한 데이터를 무선으로 전송하는 다수의 무선 데이터로거와, 상기 무선 데이터 로거를 통해 전송한 데이터를 수신하는 무선 데이터 수신부와, 상기 무선 데이터 수신부를 통해 수신한 데이터를 분석하여 고유치 및 고유모드를 추출하고 상기 추출한 고유치 및 고유모드를 기존 고유치 및 고유모드와 비교하여 상기 구조물의 노후화 및 변형을 평가하는 데이터 분석부로 이루어지는 것을 특징으로 하는 능동형 센서 모듈을 활용한 미진동 구조물의 무선 계측 시스템을 제공한다.

○ 센서 네트워크의 열화 손상 판단 제어 시스템 및 제어 방법

- 출원번호 : 10-2014-0162539
- 특허권자 : 대진대학교 산학협력단, (주)에스알파트너즈
- 내용
 - 본 발명은 센서 네트워크의 열화 손상 판단 제어 시스템 및 제어 방법에 관한 것으로, 제어 시스템은, 계측대상물을 계측하는 복수개의 센서부 상기 센서부에서 계측한 센서출력값을 분석하는 분석부; 상기 분석부의 결과를 이용하여 상기 센서부의 열화 손상 여부를 판단하는 오류 판단부; 상기 센서부 및 상기 오류판단부와 연동하여 상기 센서부의 작동 상태를 제어하는 제어부; 및 상기 제어부와 연동하여 상기 센서부 중 열화 손상으로 판단된 센서부의 제외 여부를 결정하는 관리부;를 포함할 수 있다.

○ 구조물 건전성 모니터링을 위한 개방형 중간 데이터 처리 장치 및 방법

- 출원번호 : 10-2015-0005469
- 출원인 : 주식회사 심플비트
- 내용
 - 구조물 건전성 모니터링을 위한 개방형 중간 데이터 처리 장치가 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링을 위한 개방형 중간 데이터 처리 장치는, 이종의 데이터 로거(data logger)에서 1차 취합한 센서 데이터를 수집하는 데이터 수집부-상기 데이터 로거는 구조물에 설치된 복수의 계측센서에서 측정된 계측값을 취합하여 상기 센서 데이터를 생성함-; 상기 데이터 수집부에서 수집한 센서 데이터를 미리 정의된 데이터 모델에 맞춰 데이터베이스에 저장하고, 쿼리(query)에 의해 활용 가능하게 하는 데이터베이스 관리시스템; 및 상기 데이터베이스에 저장된 센서 데이터를 요청하는 외부망의 데이터 사용단말에 웹 서비스를 통해 상기 데이터베이스에서 쿼리를 통해 획득한 센서 데이터를 제공하는 데이터 제공부를 포함할 수 있다.

○ 구조물 변위 측정 시스템 및 방법

- 출원번호 : 10-2011-0122761
- 출원인 : 한국과학기술원
- 내용
 - 간단한 구조로 이루어지며 대형 구조물의 변위를 정확하게 측정하는 것이 가능하도록, 구조물의 한쪽에 배치되어 설치되는 스크린과, 구조물의 다른 쪽에 배치되어 설치되고 스크린을 향하여 레이저 빔을 조사하며 스크린과의 거리를 측정하는 3개 이상의 레이저거리측정센서와, 스크린을 촬영하여 측정 이미지를 생성하는 카메라와, 레이저거리측정센서를 제어하며 카메라로부터 입력되는 측정 이미지를 분석하여 구조물의 변위를 추정하는 제어부를 포함하는 구조물 변위 측정 시스템을 제공한다.

○ 카메라 이미지를 이용한 진동변위 측정방법

- 출원번호 : 10-2014-0078067
- 출원인 : 세안기술 주식회사
- 내용
 - 본 발명은 카메라 이미지를 이용한 진동변위 측정방법에 관한 것으로, 그 목적은

측정대상체의 이미지에 에지 값(대표값)을 실수형 좌표값으로 산출하여 진동변위를 산출함으로써, 오차범위를 현저히 낮출 수 있는 카메라 이미지를 이용한 진동 변위 측정방법을 제공하는 것이며, 그 구성은 대푯값 산출단계가 발취된 관심영역의 이미지로부터 다중간격 2차 미분함수를 산출하는 다중간격 2차 미분함수 산출단계와; 상기 다중간격 2차 미분함수 산출단계에서 산출된 다중간격 2차 미분함수로부터 부호변환점(zero-crossing)을 사이에 갖는 두개의 기준좌표점을 검색하는 기준좌표점 검색단계와; 상기 기준좌표점 검색단계에서 검색된 두개의 기준좌표점을 활용하여 대표값을 산출하는 대푯값 결정단계로 구성되는 것을 특징으로 한다.

○ 구조물 안전 진단 방법

- 출원번호 : 10-2013-065324
- 출원인 : 한국생산기술연구원
- 내용

- 본 발명은 구조물 안전 진단 방법을 공개한다. 이 방법은 (a) 진동 및 평형감지 모듈이 구조물의 충격 세기 및 기울어진 정도를 감지하여 충격 강도 데이터 및 변위 데이터를 연산하고 출력하는 단계; (b) 카메라가 상기 구조물을 촬영하여 이미지 데이터를 획득하고 출력하는 단계; (c) 안전 진단 제어부가 상기 충격 강도 데이터, 상기 변위 데이터 및 상기 이미지 데이터를 처리하여 제1 내지 제3 플래그를 출력하는 단계; (d) 제어부가 상기 제1 내지 제3 플래그를 인가받아 셋팅 여부 및 데이터 전송 인터럽트 요청 여부를 판단하는 단계; 및 (e) 상기 제1 내지 제3 플래그 셋팅 여부에 따라 제1 내지 제3 경고 메시지를 표시하고, 상기 데이터 전송 인터럽트 요청 여부에 따라 상기 처리된 충격 강도 데이터, 상기 변위 데이터 및 상기 이미지 데이터를 전송하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의할 경우, 구조물 관리자가 사전에 구조물의 안전상태를 판단할 수 있고, 실시간으로 감시 모니터링하여 안전이 우려되는 구조물의 사용을 통제하는 등 각각의 상황에 맞는 대책을 강구하여 재산 손실 및 인명 사고의 발생을 미연에 방지함으로써 구조물의 안전성을 극대화하고 향상시킬 수 있다.

나. 논문 동향

(1) 국내 논문 분석

표 6 시설물 안전을 위한 센서 모니터링 기술 관련 국내 논문 동향

제목	키워드	내용
센서네트워크 기반 다중이용시설의 붕괴안전 모니터링 시스템 개발	Monitoring system, Sensor Network Application	안전 기준에 따른 정성적인 안전 지표를 적용하여 실제 안전 유무 판단 및 위험 메시지 송출이 가능한 USN 기반의 실시간 모니터링 시스템 설계 및 구현
센서 네트워크 기반 실시간 교량 안전관리를 위한 지능형 구조 건전성 모니터링 시스템 개발	구조, 안전, 지능형 교량 모니터링 시스템, 무선, 센서	무선계측센서를 이용한 교량의 정적·동적 데이터분석을 통하여 교량의 거동상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 USN 기반 시스템 개발 및 현장 적용성 검증
영상처리기법을 이용한 구조물 동특성 분석 시스템 프로토타입 개발	건설구조물, 안전관리, 영상, 동특성, 정규상호상관기법	디지털 카메라를 비롯한 영상장치를 이용하여 NCC 연산을 통한 변위 및 고유진동수 분석, 손상전후의 주파수 응답비를 통한 손상도 판별 및 비상시 경보 시스템 개발
고층빌딩의 동적응답 모니터링을 위한 센서 개수 및 최적 위치 개발	센서 최적 위치, 최적 센서 개수, 모드, 유효영향법, 보간법	고층빌딩 모니터링을 위하여 유효영향법을 이용한 센서의 최적 개수 및 최적 위치 결정을 위한 알고리즘 개발 및 사례 연구
Georeferencing 동영상 정보를 이용한 건축물 안전관리	GPS 기반의 비디오시스템, 건물안전진단, 도시건축물관리, Georeferencing 비디오자료,	GPS가 연계된 Georeferencing 자료를 이용한 건축물의 위치 추적 및 안전진단을 위한 균열정보를 제공하는 기법을 개발하였으며 균열정보는 연속영상의 특징점 추적과 영상모자이크 기술이 융합된 방법에 의해 측정
Zigbee 무선통신 네트워크 기반 변형측정 시스템 설계 및 개발	진동현방식, 변형 센서, 주파수 카운터, Zigbee	진동현방식 센서와 가속도 센서를 이용하여 구조물의 변형과 변형 진행 방향을 측정할 수 있는 변형 측정기와 모니터링 프로그램 개발
도시인프라 구조물 건전성 통합 모니터링 시스템	Health of structure, Monitoring, Emergency	광센서를 부착한 구조물의 실시간 모니터링을 통하여 이상 징후 발생 시 관리자에게 경보하고 PC와 모바일 기기를 통하여 센서 계측정보를 실시간으로 조회하는 통합 시스템 개발

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

가. 연구개발 비전 및 목표

(1) 연구개발 비전

본 기획과제는 재난 발생으로 인해 증대되는 노후건축물의 안전위험성으로부터 피해확대를 경감시키기 위한 “선제적 안전관리 기술개발을 통한 지역현안 해결과 행복사회* 조성” 을 비전으로 삼음

*‘행복사회’는 시설물의 안전·사용성능이 확보되어 국민이 안심하고 유익한 삶을 누리는 복지·안전사회가 결합된 사회를 말함

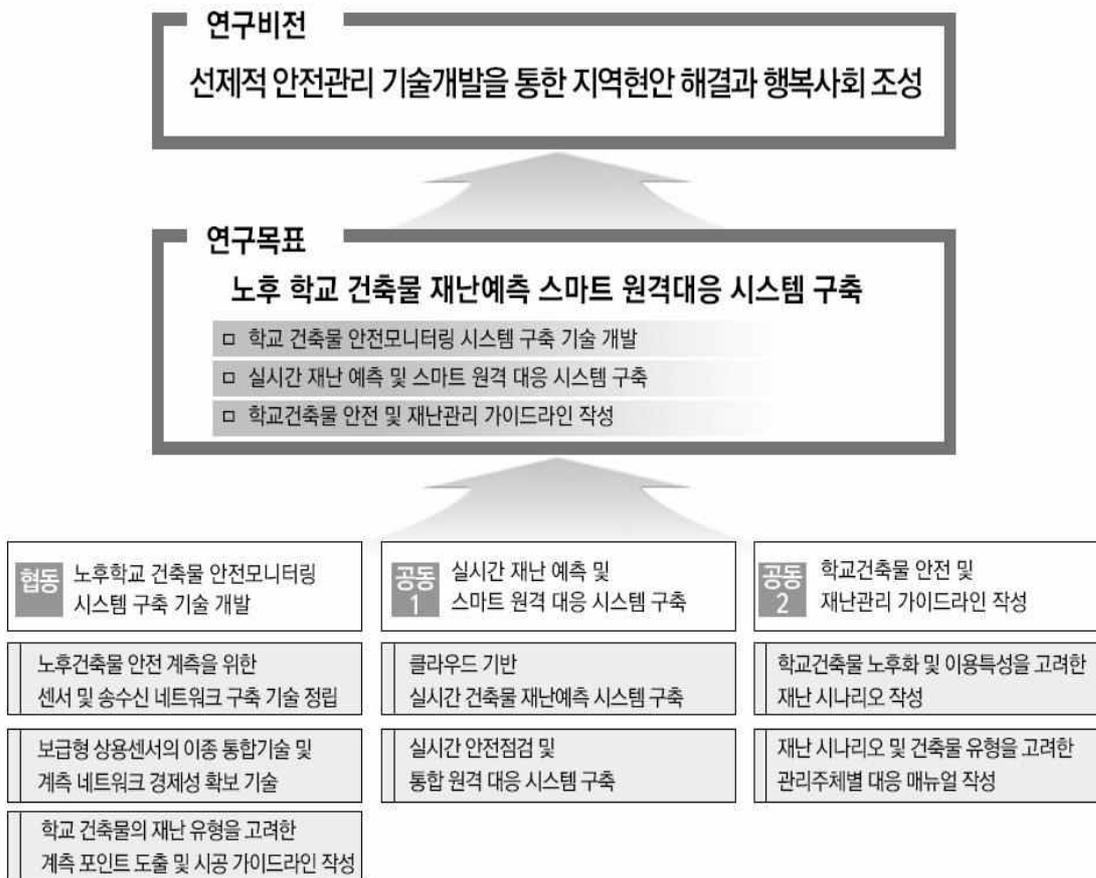


그림 15 연구개발과제의 비전 및 목표

(2) 목표

본 기획과제는 “ 노후 건축구조물의 실시간 안전진단 및 재난 예측 스마트 원격대응 시스템 개발” 과제의 구성 및 추진전략 수립을 목표로 하며 대상으로 하는 연구개발 과제의 목표는 아래와 같음. 또한 예산활용의 효율성 및 해결의 시급성을 고려하여 연구개발기술의 적용범위를 대경권내에서 시급히 해결이 요구되는 노후 학교건축물의 안전대응 시스템 구축을 연구의 범위로 설정하고 본 과제의 연구목표 및 내용을 아래와 같이 구성하였음.

□ 노후 학교 건축물 재난예측 스마트 안전 원격대응 시스템 구축개발

○ 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발

- 노후 학교건축물의 재난 유형을 고려한 계측 포인트 도출 및 데이터 정합성 확보를 위한 시스템 시공 가이드라인 작성
- 노후 건축물 균열의 상태(변위, 균열, 취성파괴의 징후)를 실시간으로 계측하기 위한 센서 및 송수신 네트워크 구축 기술
- 보급형 상용센서를 활용하여 경제성 및 설치용이성을 갖춘 계측 네트워크를 구축하기 위한 이중센서 통합기술

□ 실시간 재난예측 및 스마트 원격대응 시스템 구축

○ 재난 예측 및 스마트 원격 대응 시스템 구축

- 개별 건축물로부터 취득한 계측데이터를 바탕으로 건축물의 재난·이상상황을 예측하는 클라우드 기반 안전경보 알고리즘
- 전문 인력 및 국가재난관리 시스템과의 연계를 통해 원격 안전점검 및 재난 대응을 수행하는 통합 관리 시스템
- 국가재난관리시스템(NDMS) 및 안전통신망 연계를 위한 데이터 정합성 확보 기술

□ 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성

○ 노후 학교건축물 특성을 고려한 재난 시나리오 작성

- 노후 학교건축물(저층구조물)의 재난·안전취약점 도출
- 학교건축물 이용특성을 고려한 재난 시나리오 작성
- 이용특성 및 재난시나리오를 고려한 관리·수용주체별 (사용자, 관리자, 지자체관리자 등) 대응 매뉴얼 작성

(3) 연구개발 추진 전략

- 본 기획과제는 2016년 9월12일 경주에서 발생한 관측사상 최대 규모의 지진과 활성단층 인지로 인해 해결의 중요성과 시급성이 커진 대구·경북권의 ‘재난대비 노후 건축물 안전관리 및 지역 방재성 확보’ 라는 현안해결을 목표로 하고 있으므로 총 연구기간 2차년도 내 수행을 목표로 함
- 안전모니터링 시스템 개발을 담당하는 세부의 경우 기존 상용 보급형 센서를 활용한 시스템통합을 통해 노후 건축물 안전 모니터링 시스템을 구현하기 때문에 관련 시스템 구현 기관 주도로 연구가 수행되나, 지역현안 해결을 위한 보급성(설치용이성, 경제성)을 고려해 센싱 포인트를 최소화 하는 구성·설치기술이 타 유사과제 과제의 차별성이므로 구조안전진단 전문기관(업체)의 참여를 필수로 함
- 재난 시나리오 및 관리·수용 주체별 대응 매뉴얼 작성을 수행하는 세부의 경우 재난대응을 위한 여러 주체들의 공동대응 요소를 고려해야 함으로 지역대학 및 산업체와의 유기적 연계와 지자체·안전관리기관, 시설안전관리 주체의 직간접 참여를 적극적으로 유도함.

나. 연구개발 세부내용

○ 연구목표 달성을 위한 개발 기술의 세부 개요는 다음과 같음

표 7 세세부과제 기술 개요

과제명	세세부 과제 기술개요
<p>[협동] 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 재난 대응력이 취약한 개별 노후건축물을 대상으로 균열의 상태(변위, 위험도, 취성파괴의 징후), 화재감지정보를 실시간으로 계측하기 위한 센서 및 송수신 네트워크 구축 기술 • 기존 보급형 상용센서를 활용하여 경제성 및 설치용이성을 갖춘 계측 네트워크를 구축하기 위한 이중센서 통합기술 • 노후 건축물의 재난 유형을 고려한 계측 포인트 도출 및 데이터 정합성 확보를 위한 시스템 시공 가이드라인을 제시
<p>[공동1] 실시간 재난예측 및 스마트 원격대응 시스템 구축</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 개별 건축물로부터 취득한 계측데이터를 바탕으로 건축물의 재난·이상상황을 예측하는 클라우드 기반 안전경보 알고리즘 • 전문인력 및 국가재난관리 시스템과의 연계를 통해 원격 안전점검 및 재난 대응을 수행하는 통합 관리 시스템 • 국가재난관리시스템(NDMS) 및 안전통신망 연계를 위한 데이터 정합성 확보 기술
<p>[공동2] 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 노후 건축물 유형별 특성을 고려해 발생가능한 재난 유형 시나리오를 작성 • 재난 시나리오 및 건축물 유형을 고려한 관리·수용주체별 (사용자, 건물관리자, 지자체 관리자) 대응 매뉴얼 작성 • 연구개발성과 확산을 통한 지역현안 해결방안 제시

○ 세세부과제 별 주요 연구내용 및 목표성과물은 아래와 같음

□ 노후 학교 건축물 재난예측 스마트 안전 원격대응 시스템 구축개발

표 8 세세부과제별 연구내용 및 최종성과물 예시

구분	세부목표	주요내용	목표성과물
[협동] 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발			
	<ul style="list-style-type: none"> 노후 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 노후 건축물 안전도 계측을 위한 보급형 상용 센서 성능 검증 노후 학교건축물의 재난 유형을 고려한 계측 포인트 도출 및 데이터 정합성 확보를 위한 시스템 시공 가이드라인 작성 노후건축물 안전 모니터링 시스템 구성기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 노후건축물 보급형 안전계측 시스템 노후건축물 취약특성별 계측포인트 설정 가이드라인 노후건축물 보급형 안전계측 시스템 구축 및 시공 가이드라인
[공동1] 실시간 재난예측 및 스마트 원격대응 시스템 구축			
	<ul style="list-style-type: none"> 노후건축물 통합 안전관리 플랫폼 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 계측 데이터 기반 건축물 재난 예측 알고리즘 개발 노후건축물 스마트원격 대응 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 노후건축물 원격 안전 모니터링 및 관리시스템 이미지/가속도계측 데이터 기반 재난예측 알고리즘
[공동2] 노후 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성			
	<ul style="list-style-type: none"> 노후 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 노후 건축물 특성에 따른 재난 가이드라인 작성 재난시 민간관리 건물 피해 최소화를 위한 관리주체별 대응 매뉴얼 수립 	<ul style="list-style-type: none"> 대경권 노후건축물 재난 시나리오 건축물 용도 및 이용유형별 재난관리 매뉴얼(안전관리자, 사용자, 광역관리자용)

다. 과제개발 로드맵

- 성과목표에 따른 기술개발 로드맵은 아래와 같음
- 본 기술개발은 2016년 9월12일 경주에서 발생한 관측사상 최대 규모의 지진과 활성단층 인지로 인해 해결의 중요성과 시급성이 커진 대구·경북권의 빠른 현안해결을 목표로 하고 있음
- 2년간의 연구개발 수행기간 동안 기술개발 체계를 성과목표 대분류별로 3개의 세세부 과제로 구분하여 기술개발을 하며 실증함

표 9 성과목표에 따른 기술개발 로드맵

성과목표		1차년도	2차년도	3차년도 (수요처와의 후속연구)
[협동] 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 노후 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발 • 노후 학교 건축물을 위한 시스템 시공 가이드라인 작성 	노후 건축물 특성을 고려한 시스템 구성·설치기술 개발 및 보완	보급형 센서네트워크 검증 및 모니터링 시스템 구축	
[공동1] 실시간 재난예측 및 스마트원격대 응시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 노후건축물 실시간 재난예측 알고리즘 개발 • 노후건축물 통합 스마트 원격 대응 시스템 개발 	계측데이터 기반 건축물 재난 예측 알고리즘개발	스마트 원격대응 시스템/통합 및 구현	현장적용 / 시스템 평가
[공동2] 노후건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성	<ul style="list-style-type: none"> • 노후 건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성 	우리나라 재난유형 특성 및 노후건축물 취약유형 분석	노후건축물 재난유형 및 관리주체별 대응가이드라인 작성	관리·수용주체별 관리가이드 제공방안(형태) 도출 및 제품화

○ TRL 기준 연차별 목표는 아래와 같음

표 10 성과목표별 성과유형 및 정량적 성과 목표

성과목표		성과유형 (TRL)	TRL			정량적성과
			현재	목표		
				1차년	2차년	
[협동] 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 노후 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발 노후 학교 건축물을 위한 시스템 시공 가이드라인 작성 	시스템	TRL4	TRL5	TRL6	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 SOA 논문 3건 특허 2건 시스템 시작품
[공동1] 실시간 재난예측 및 스마트원격대 응시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 노후건축물 실시간 재난예측 알고리즘 개발 노후건축물 통합 스마트 원격 대응 시스템 개발 	SW	TRL3	TRL5	TRL6	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 시작품 프로그램 등록 1건 사업화 1건 논문 2건 기술이전 2건
[공동2] 노후건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성	<ul style="list-style-type: none"> 노후 건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성 	SW	-	TRL4	TRL5	<ul style="list-style-type: none"> 보고서 1건 논문 3건 가이드라인 1건

2절 추진전략 체계

○ 연구수행체계 제안

표 11 연구수행체계 제안도

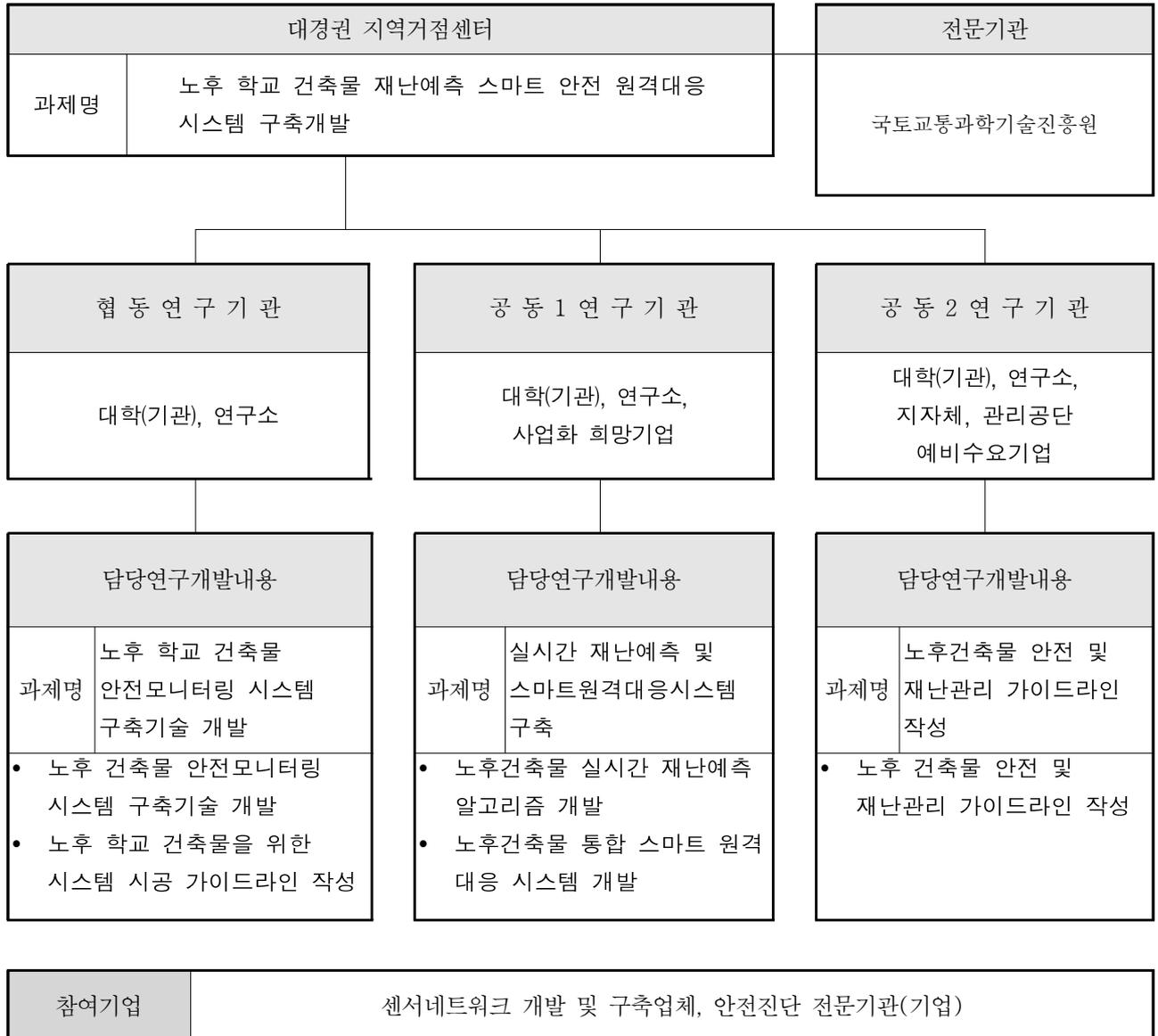


표 12 연구 수행 및 기술개발 체계 제안

세부	개발내용	목표 기술의 경쟁력	과제수행주체 (연구 및 참여기업)	기술획득 방안
협동	노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발	중	[학,연,산업체] 센서 네트워크 개발 및 구축 기업체 참여 필수	기존기술 활용 및 보완
	노후 학교 건축물을 위한 시스템 시공 가이드라인 작성	중	[학,연,산업체] 지역 구조 진단 전문기업(학계) 참여 필수	자체개발 기존기술 응용
공동1	노후건축물 실시간 재난예측 알고리즘 개발	중	[학,연, 산업체] 지역 구조 진단 전문기업(학계) 참여 권장	자체개발 기존기술 개선
	노후건축물 통합 스마트 원격 대응 시스템 개발	중	[학,연,산업체] 원격 FMS 구축 지역 SI업체 참여 권장	자체개발 기존기술 활용
공동2	노후 건축물 유형별 특성을 고려한 재난 시나리오 작성	중	[학,연]	자체개발
	재난상황시 피해최소화를 위한 관리주체별 대응 매뉴얼 작성	중	[학,연,산업체] 지자체, 관리공단(시설 관리공단 등) 실수요 기관의 직간접 참여 독려	기존기술 응용, 자체 개발

3절 자원 투입계획

가. 인력투입계획

(1) 연차별/세세부과제별 인력투입 계획

- 연구목표 달성을 위한 연차별 인력투입계획은 아래와 같음

표 13 세부 과제별 연차 인력투입 계획

세부 과제명	연 차	연차별 투입 인원(명)		
		1차년	2차년	합계
노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발		8	6	14
실시간 재난예측 및 스마트원격대응시스템 구축		4	9	13
노후건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성		3	7	10
합 계		15	22	37

(2) 투입인력의 활용계획

- 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 및 시공가이드라인 개발을 추진하는 세부는 건축물 안전진단 및 관리에 대한 건축분야 전문인력과 센서 네트워크 구축 노하우를 가진 IT전문 인력으로 구성되어 국내 노후건축물에 즉시 적용 가능한 보급형 계측·관리 시스템 개발을 추진함.
- 노후건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성을 추진하는 세부는 재난안전관리 기관·부처간 협업을 통해 원활히 연구개발을 수행할 수 있는 건축 방재분야 전문인력으로 구성되며, 노후건축물의 재난 유형을 고려해 관리주체별 대응·관리 가이드라인을 제시함.
- 건축물(시설물)안전관리 업무에 있는 전문기관 및 업체, 지자체의 직접참여를 독려하여 지역현안 해결을 위한 교두보를 구축함.

나. 소요예산 산정

(1) 예산산정방법

- 국토교통부 소관 연구개발 사업 운영규정, 연구개발비 비목별 계상기준에 따라 아래와 같이 산정함
 - 소요예산은 기술개발 추진계획과 성과목표 달성을 위한 연구개발 인력 투입계획등을 고려하여 년차별 예산을 차등 편성하였음
 - 테스트베드 실증세부의 경우 실제 건축물 안전관리를 수행하는 기업·지자체·관리공단의 참여를 독려하여 예산 집행의 효율성을 확보한다는 전제에서 산출된 예산임

(2) 전체 소요예산

- 산정된 총 연구개발 소요예산은 14.1억원 (국비 10억원, 기업·지자체 4.1억원) 내외 임

표 14 연차별 연구개발 소요예산

구 분		연차별 예산 (억원)		
세세부	세세부 목표	1차년	2차년	합계
[협동] 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발	① 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발 ② 노후 학교 건축물을 위한 안전모니터링 시스템 시공 가이드라인 작성	3.6 (2.6)	2.25 (1.7)	5.85 (4.3)
[공동1] 실시간 재난예측 및 스마트원격대응시스템 구축	① 노후건축물 실시간 재난예측 알고리즘 개발 ② 노후건축물 통합 스마트 원격 대응 시스템 개발	1.8 (1.2)	2.85 (2.1)	4.65 (2.7)
[공동2] 노후 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성	① 노후 건축물 유형별 특성을 고려한 재난 시나리오 작성 ② 재난상황시 피해최소화를 위한 관리주체별 대응 매뉴얼 작성	1.8 (1.2)	1.8 (1.2)	3.6 (2.4)
합 계		7.2 (5)	6.9 (5)	14.1 (10)

* ()는 민간부담금을 제외한 정부출연금 규모

제 4 장 실용화 전략

1절 현황 분석

□ 정책 및 기술 수요 동향

- 경주 지진사태(2016.09)이후 노후건축물의 안전관리에 대한 정책 및 법규마련이 촉진됨
 - 내진설계 의무대상을 저층 생활밀착시설로 확대하는 법령이 입법 예고되고, 건축물에 대한 정밀 안전진단이 진행되는 등 노후건축물 안전관리에 대한 행정적/법적 대응이 강화되는 추세
 - 경상북도가 지자체로서는 첫 지진대응 5개년 종합대책을 발표하는 등, 경주 지진 발생이후 재난·재해 대응 기술과 인력에 대한 지역사회 수요가 증가하고 있는 추세
 - 경주지진 발생 이후 대경권 및 동남권을 중심으로 한 재난안전 대응 관련 심포지움, 행사 개최빈도가 급격히 증가하는 등 민간부분의 관심증대

- 노후 학교건축물의 안전관리에 대한 관심환기로 관련 기술도입 및 투자가 증가 추세에 있음
 - 정부의 안전예산은 2016년 14.6조원으로 17.9%증가하였으며 이 가운데 학교 및 재해 취약시설의 안전점검 후 보수/보강을 위한 예산이 기존 1.4조원규모에서 2조원으로 대폭 확대되었음
 - 경북도교육청은 85억원규모의 추경예산을 긴급 편성해 경주지진피해에 취약한 초등학교 30여곳을 우선대상으로 내진보강을 진행함
 - 교육부는 올해 673억원 수준인 학교건축물 내진보강예산을 2017년 2천억원 수준으로 확대할 계획을 수립함

- 학교 건축물에 대한 재난안전성능 확보율이 선진국에 비해 현저히 낮은 수준으로 향후 관련기술에 대한 수요 및 시장규모가 증가할 것으로 기대
 - 우리나라 학교 건물 중 내진설계 대상건물은 2만131동이며 이중 내진 보강완료 건축물이 4385동으로 21.3%에 불과하여 일본(80%수준)에 비해 현저히 낮은 실정

- IT 및 IoT 기술을 활용한 건축물의 실시간 안전진단 및 유지관리 기술분야 시장규모가 지속적으로 증대 추세이나 선진국에 비해 기술격차가 크편
 - 대경권 시설물 유지관리 시장규모는 약3,000억원으로 10년간 390%증가하여 오고 있으며 IT 및 IoT 기술을 활용한 국가R&D 추진 사례가 증가추세
 - 한국의 지능형 시설물 안전 및 유지관리 기술수준은 선진국 대비 4.3년의 기술격차가 존재하며 원천기술 또한 부족 (한국시설안전관리공단, 제 3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획)

2절 거점 내 수요처 분석

□ 대경권 거점 내 노후 학교건축물

- 본 연구제안 기술은 “재난에 대비한 학교건축물의 안전성능 확보” 를 위해 재난예측 모니터링 및 원격대응을 수행하는 기술로 대경권 내 재난에 취약한 노후 학교 건축물 전체를 잠재적 수요처로 볼 수 있음
- 대경권 40년이상 노후화된 건축물은 1,071동으로 전국(6,294)동 대비 17%를 차지하고 있으며 전국 초·중·고등학교 재난 위험시설(D,E)급 가운데 대구3개, 경북1개 시설을 보유해 보수를 위해 총 446억원 규모의 예산이 요구되고 있는 상태
- 특히 경북권의 노후 학교건축물의 내진성능 확보율 20%미만으로 인력부족·시설노후화 등으로 인한 연구 제안기술 도입이 시급한 실정임

표 15 대경권 지자체 학교시설 내진성능확보 현황

내진성능확보 비율	기초자치단체		
	기관수	지역	기관명
50%미만 ~ 40%이상	1	대구(1)	북구
40%미만 ~ 30%이상	3	대구(2)	서구, 달서구
		경북(1)	칠곡군
30%미만 ~ 20%이상	7	대구(5)	중구, 남구, 수성구, 동구, 달성구
		경북(2)	포항시, 김천시
20%미만	19	경북(19)	울릉군, 예천군, 의성군, 군위군, 청도군, 영천시, 성주군, 울진군, 상주시, 청송군, 영주시, 고령군, 영덕군, 안동시, 영양군, 경주시, 봉화군, 경산시, 문경시
계	30		

출처 : 교육부 내부자료 (2015. 12. 31 기준)

□ 노후 학교건축물 중 재난위험/관리 시설

- “교육부 재난위험시설 해결방안”에 따르면 교육청 관할 재난위험시설 105동을 전부해결하기 위해서는 아래 표와 같이 4,299억원이 필요한 것으로 추정되었으나, 이중 2,227억여원만 확보된 상황으로 해당 재난위험시설 해소시간이 장기화 될 것으로 추정됨
- 본 제안 기술은 설치기간 및 도입비용 측면에서 매우 합리적이므로 시설물 안전 근치(보강)완료 전 재난위험 시설의 안전관리 및 향후 유지관리 시스템으로써의 활용성이 충분할 것으로 사료됨
- 학교건축물은 비상시 임시대피처의 역할을 수행하고 있는 경우가 많으므로 내진성능보강과 함께 원격대응시스템 등 재난관리 기술의 도입이 필요함

표 16 재난위험시설 해소 계획(2014년 6월 말 기준)

(단위 : 동, 억원)

구분	재난위험시설			투자계획(2014~2016년)		
	D등급	E등급	계	기 예산확보	향후계획	계
보수보강	30	-	30	163	6	169
개축철거	73	2	75	2,064	2,066	4,130
계	103	2	105	2,227	2,072	4,299

출처 : 교육부 자료 재구성

□ 대경권 내 시설안전 관리 주체 (관리공단, 지자체)

- 시설물에 대한 원격계측 및 통합 대응 시스템은 저층건축물 및 노후화 학교건축물에 대한 안전관리를 수행하는 관리주체에서 효율적으로 사용되어 질 수 있을 것으로 사료
- 잠재적 기술수요처와 연구개발을 추진하는 “재난상황시 피해최소화를 위한 관리주체별 대응 매뉴얼 작성” 과 대응시스템을 통해 관리대상 건축물의 시설관리 및 유지관리, 재난대응을 수행할 수 있음

□ 대경권 및 국내 민간관리 노후 건축물

- 본 제안대상 기술은 학교건축물뿐 아니라 일반 저층 노후건축물에도 활용 가능함으로 연구개발 이후 개선 및 추가연구를 통해 민간 관리주체 노후 건축물에 까지 그 적용처를 확대 시킬 수 있음
- 준공이후 20년 이상 민간관리 노후 건축물 중 대다수가 당시의 시공품질이 검증되지 않았거나 사용 중 안전점검을 의무적으로 실시하지 않아도 되는 건축물이 대부분인 반면 민간관리 노후 건축물에 적용 가능한 경제성 및 적용성을 갖춘 기술이 없는 상태
 - 내진설계 미적용 건축물 대부분이 노후화된 단독주택, 업무 및 근린생활시설, 교육 및 연구 시설 등 생활 밀착 시설로 재난 발생 시 국민 체감 피해도가 높음.
 - * 최근 지진이 자주 발생하고 있는 경주시의 경우, 특정관리대상 시설물로 지정된 건축물 527개동 중 510개동(97%)이 민간에서 관리하고 있는 것으로 나타남
 - 민간 시설물 시스템 도입 확산*을 위해 경제성 및 설치 용이성을 갖춘 보급형 안전관리 시스템 개발 및 보급이 시급
 - * 시특법 관리대상 1:2종 시설물(59,559개) 중 민간 시설물(41,984개, 70.5%)의 비중이 매우 크며, 공동주택, 다중이용 건축물 등 국민 밀착 시설물이 대부분이나 기준부재 및 비용문제로 인한 안전모니터링 시스템 도입은 난해한 실정

표 17 국내건축물 내진성능 확보율 현황

구분	전체 건축물	내진대상 건축물	내진 확보 건축물	내진율		
				내진대상 건축물 기준	전체 건축물 기준	
총계	6,947,349	1,297,878	449,091	34.6%	6.5%	
주택	소계	4,554,994	782,509	296,168	37.8%	6.5%
	단독주택	4,161,389	432,544	132,952	30.9%	3.2%
	공동주택	393,605	349,965	163,216	46.6%	41.5%
주택이외	소계	2,392,355	515,369	152,923	29.7%	6.4%
	학교	46,190	26,980	7,118	26.4%	15.4%
	의료시설	6,168	4,722	2,497	52.3%	40.5%
	공공업무시설	42,006	11,765	2,531	21.5%	6.0%
	기타	2,297,991	471,852	140,777	29.8%	6.1%

3절 시장진출전략

- 시장지향 현안해결형 연구개발
 - 연구개발 대상 기술의 성능목표 설정에 있어 잠재적수요처 (전문기관 및 업체, 지자체)와 면밀히 협의하여 시장성을 고려한 성능목표 설정을 수행
 - 기술개발 시 상용센서를 활용한 시스템 구성을 위한 이중센서 활용 기술을 제시하여 지역 업체의 매출증진에 실질적인 기여를 지향하고, 개발 시스템의 공동 브랜딩화 및 패키징(상품화)를 진행
 - 2차년도 1/2분기까지 연구개발 및 시스템 구현을 완료하고 대구경북 지역의 실제 노후 학교건축물을 대상으로 관리주체·잠재수요처와의 공동 Pilot Test를 실행하여 시스템의 효용성을 검증함
 - 개발 기술의 획득 및 국내 노후 학교건축물에 대한 적용기술개발에 초점을 맞추어 대내외 지식재산권(IP) 확보에 대한 전략을 수립
- IP 활용장려 및 노하우기반 컨설팅 수행
 - “재난 상황시 피해최소화를 위한 관리주체별 대응 가이드라인” 을 배포하며 노하우기반 재난안전성능확보 컨설팅을 수행
 - 시스템의 상품화 및 상품화 후 활용법 등 연구개발 성과 확산 전략 수립

4절 기대효과

- 대경권 지역 안전진단 및 센서 네트워크 구축기술 관련 기술력의 대외 경쟁력 확보
- 생활 밀착 건축물 및 노후 학교건축물 등 기존 노후건축물에 대한 지역현안 해결 및 행복사회 조성에 기여
- 노후건축물 재난안전에 대한 수동적 점검·대응 체계에서 선제적 대응체계로 안전관리에 대한 패러다임을 변화
- 건축물 안전관리 주체별 역량차로 인한 재난관리 위험 요소의 해결 및 재난시 도시 방재력 향상에 기여
- 건축물 점검 및 안전관리 업무의 비효율성 개선 및 전문성 향상이 가능
- 계측 모니터링을 통한 안전점검의 신뢰성 확보 노후건축물의 사용연한 증대 기대

제 5 장 과제 제안요구서(RFP)

과제명	노후 학교 건축물 재난예측 스마트 안전 원격대응 시스템 구축개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대경권 지역 현안 해결을 위한 노후 학교 건축물의 재난예측 스마트 원격대응 시스템 및 안전관리기술개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축 기술 개발 ▪ 실시간 재난 예측 및 스마트 원격 대응 시스템 구축 ▪ 노후 건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성 ○ 연구개발성과 확산을 통한 지역현안 해결방안 제시
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	<p><input type="checkbox"/> 지역현안 해결의 시급성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대경권 노후 학교 건축물의 재난 안전관리시스템 구축이 시급 <ul style="list-style-type: none"> • 학교 건축물의 대다수는 비상시 대피소로 지정되어 건축구조물의 안전성 확보의 필요성 및 시급성이 매우 높으나 경북소재 학교건축물의 내진 적용률은 18.7%으로 최근 대경권에서 발생하고 있는 잦은 지진수준을 고려하면 개선이 시급함 • 지어진지 40년이 지난 노후 학교건축물은 전국 1만동을 넘는 것으로 집계되어 우리나라 학교 건축물의 노후 수준이 매우 높으며, 특히 경북의(529교) 경우 전남(530교)에 이어 전국에서 두 번째로 많은 수준으로 나타나 적절한 안전관리가 필요함 • 경주지진에 따른 학교현장의 대응 상황자료(2016 국정감사)에 따르면 경주 지진사태 발생 후 대피 매뉴얼을 준수하지 않은 학교(85.2%), 아무런 조치를 취하지 않은 학교(39.3%)로 등 문제점이 나타나 재난발생시 대응체계에 대한 명확한 기준마련이 요구됨 ○ 기존 노후 건축물 안전성확보(현안해결)을 위한 적정기술이 요구됨 <ul style="list-style-type: none"> • 경주지진 발생 이후 내진설계 의무대상확대, 내진보강예산 확보와 같이 정부·지자체의 대응방안이 마련되고 있으나 기존 노후건축물의 안전성확보를 위한 적정수준에 미치지 못함 • 학교건축물의 경우 기존건축물 및 노후건축물의 내진성능 확보를 위해 4조 5천억원 가량의 재원과 시간(20년~67년)이 소요 될

것으로 사료됨

- 구조안전성 개선등과 같은 장기적인 보완책을 추진함과 동시에 즉시적용이 가능한 현안 해결형 기술개발과 시스템 도입이 필요함

○ 지진 등 재해 발생 시 대경권 노후 건축물에 의한 피해 극심 우려

- 국내 지반 특성 및 위치 특성상 지진파의 주파수 성분은 0.5초 이하의 단주기 성분이 크기 때문에 저층구조물/ 노후건축물의 피해가 극심할 것으로 사료됨
- 대경권 내진설계 비대상 건축물 대부분은 노후화 건축물로 지진 등 재난 발생시 건축물에 의한 피해확산이 우려되는 실정임

□ 기술개발의 필요성

○ 대경권 노후 학교건축물의 재난안전관리 시스템 개선 시급

- 비상시 대피시설로도 이용되는 노후 학교건축물에 대한 안전 관리 미흡과 재난시 판단미흡은 대형 참사로 이어질 수 있으므로 상시 모니터링을 통해 상시 안전관리를 필요로 함
- 대경권 내 학교건축물의 노후화 수준이 매우 높으며 건설 당시의 시공품질에 대한 검증이 되지 않았거나 노후화로 인해 구조적 안전성을 상실한 상태임

○ 지역현안해결을 위해 경제성/적용성을 갖춘 적정기술이 필요

- 경주지진 발생 이후 내진설계 의무대상확대, 내진보강예산 확보와 같이 정부·지자체의 대응방안이 마련되고 있으나 현행 예산 및 내진보강 진행 속도를 감안하면 4조 5천억원 가량의 재원과 시간(20년~67년)이 소요 될 것으로 추정됨
- 진행중 내진보강사업에서도 노후화된 학교건축물은 예상집행의 효율성 문제로 인해 안전점검 및 정밀 안전진단, 보수·보강을 시특법에서 정한 최소한의 수준으로 이행하고 있는 실정임
- 구조안전성 개선등과 같은 장기적인 보완책을 추진함과 동시에 즉시적용이 가능한 현안 해결형 기술개발과 시스템 도입이 필요함

- **계측 모니터링을 통해 안전점검의 신뢰성 확보 및 건축물 사용연한 증대가 가능**
 - 사고원인이 불분명하거나 노후화된 건축물의 진동사고 발생 시, 신속한 원인규명과 정확한 보수·보강 대책 마련을 위해 안전 모니터링의 필요성이 대두됨.
 - 노후건축물에 모니터링을 활용한 건축물 재난안전관리를 실시할 경우 지진재해뿐만 아니라 진동으로 야기되는 건축물의 붕괴를 사전에 감시·예방할 수 있으며 건축물을 안전하게 관리하고 사용연한을 증대시키는데 도움이 될 수 있음.
 - 현행 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침은 육안점검에 기반한 상태평가를 수행하고 있으므로 점검·진단 결과의 신뢰도 확보가 필요함

- **수동적 점검·대응체계에서 선제적 대응 체계로 전환을 위한 통합관리시스템 필요**
 - 재난상황 발생(특히 지진, 여진발생의 경우)후 노후건축물의 위험도가 증대 될 수 있으므로 기존 수동적점검 체계 개선필요
 - 개별 건축물의 계측데이터(이미지, 가속도 등)를 기반으로 한 재난예측 알고리즘과 함께 전문화된 기관에 의한 상시모니터링/대응을 통해 재난에 대한 선제적 대응체계구축이 가능할 것으로 사료
 - 통합안전관리시스템은 국가재난관리시스템(NDMS) 및 안전통신망 연계를 통해 재난시 효율적인 컨트롤 타워지원 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대됨

- **노후 건축물 안전관리 주체의 역량차가 재난 관리위험요소화 되고 있음**
 - 노후 학교 건축물 등 국민 밀착 시설물의 경우 관리주체의 열악한 재정, 인력 및 인식부족으로 적시 점검·진단 및 보수·보강 이행이 곤란하여 노후·불량 시설물 수명 단축
 - 관계 행정기관(시·군·구)의 인력과 전문성 부족으로 민간 관리주체의 안전·유지관리활동에 관한 관리·감독이 미흡해 민간 관리주체의 형식적이고 수동적인 안전관리 초래
 - 안전관리 대책, 특히 노후화된 건축물의 붕괴, 파손, 지진피해의 위험성이 증가되어 이들에 대한 안전관리 대책에 대한 법제도를

구축 및 정비하고 있지만, 주로 민간 및 지자체가 관리하고 있는 건축물의 경우에는 관리 부실, 안전관리를 위한 예산 및 전문 인력이 부족한 실정

○ 노후 건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성의 필요성

- 재난시 학교건축물은 비상대피소의 기능을 수행함으로 재난진행상황에 따른 단계적이고 체계적인 대응·관리가 요구됨
- 경주지진에 따른 학교현장의 대응 상황자료(2016 국정감사)에 따르면 경주 지진사태 발생 후 대피 매뉴얼을 준수하지 않은 학교(85.2%), 아무런 조치를 취하지 않은 학교(39.3%)로 등 문제점이 나타나 재난발생시 대응체계가 부실한 것으로 나타남
- 재난상황 및 관리·수용 주체를 고려한 대응 매뉴얼의 제공과 국가재난관리시스템과 효율적으로 연계하기 위한 관리/대응시스템 마련이 필요함

3. 연구개발 내용

□ 세부과제
별 연구
내용

- [협동] 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발
 - 노후 건축물 안전도 계측을 위한 보급형 상용 센서 성능 검증
 - 노후 학교건축물의 재난 유형을 고려한 계측 포인트 도출 및 데이터 정합성 확보를 위한 시스템 시공 가이드라인 작성
 - 노후건축물 안전 모니터링 시스템 구성기술 개발
- [공동1] 실시간 재난예측 및 스마트 원격대응 시스템 구축
 - 계측 데이터 기반 건축물 재난 예측 알고리즘 개발
 - 노후건축물 스마트원격 대응 시스템 구축
- [공동2] 노후 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성
 - 노후 건축물 특성에 따른 재난 가이드라인 작성
 - 재난시 민간관리 건물 피해 최소화를 위한 관리주체별 대응 매뉴얼 수립

4. 최종성과물

주요

최종성과
물

- 노후 학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축기술 개발
 - 노후건축물 보급형 안전계측 시스템
 - 노후건축물 취약특성별 계측포인트 설정 가이드라인
 - 노후건축물 보급형 안전계측 시스템 구축 및 시공 가이드라인

- 실시간 재난예측 및 스마트 원격대응 시스템 구축
 - 노후건축물 원격 안전 모니터링 및 관리시스템
 - 이미지/가속도계측 데이터 기반 재난예측 알고리즘

- 노후 학교건축물 안전 및 재난관리 가이드라인 작성
 - 대경권 노후건축물 재난 시나리오
 - 건축물 용도 및 이용유형별 재난관리 매뉴얼(안전관리자, 사용자, 광역관리자용)

5. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간: 2 년
- 총 연구비: 14.1억원(정부 10억원, 민간 4.1억원)

6. 기 타

참 고 문 헌

1. 국토교통부, 건축물 실시간 안전진단을 위한 ICT기반 핵심기술개발 기획연구 최종보고서, 2016
2. 국립재난안전연구원, 건축물의 경년열화에 따른 안전성 평가기법 및 센서모니터링 성능기준 개발(2) -건축물 센서 모니터링 성능기준 개발-, 2015
3. 국립재난안전연구원, 건축물의 경년열화에 따른 안전성 평가기법 및 센서 모니터링 성능기준 개발 -건축물 경년열화에 따른 안전성 평가기법-, 2015
4. 한국법제연구원, 영국의 건축안전 법제에 관한 비교법적 연구, 2015
5. 서울연구원, 서울특별시 안전관리 기본계획 -재난 및 안전사고 종합대책-, 2014
6. 국립재난안전연구원, 진동자료기반 시설물 재난대비 기반기술 개발(1-1), 2014
7. 국립재난안전연구원, 진동자료기반 시설물 재난대비 기반기술 개발(1-3), 2014
8. 국토교통부, SOC시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서, 2014
9. 국민안전처, 시설물 안전관리 실태조사 및 개선방안 연구, 2011
10. 한국건설기술연구원, 건설 구조물 안전관리 모니터링을 위한 다중 센싱 무선계측 시스템 개발, 2009
11. 행정안전부, 재난대응 매뉴얼 작성 및 운영지침 연구, 2008
12. 국민안전처, 초고층건축물 안전관리 표준매뉴얼 개발 연구, 2007
13. 국민안전처, 특정관리대상시설등 지정·관리 지침, 2015
14. 한국시설안전공단, 재난대응 지원 매뉴얼, 2014
15. 국민안전처, 특정관리대상시설 안전등급 평가 매뉴얼, 2013
16. 김선국 외 2인, 스마트 건축물 진단관리와 무선통신, 건축, 60(11), 2016, pp.2-5
17. 김천규 외 2인, 건축물 유지관리점검 제도의 효율성 제고에 관한 연구, 한국부동산학회저널, 64, 2016, pp.5-17
18. 송창영 외 1인, 국내 시설물 안전관리체계 일원화 방안 연구, 한국방재학회논문집, 16(5), 2016, pp.1-9
19. 김은진 외 2인, 구조물 건전성 모니터링을 위한 스마트 센서 관련 최근 연구동향, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 19(3), 2015, pp.10-21
20. 박병철 외 2인, 지진가속도계측기를 활용한 건축물 재난안전관리, 건축, 58(10), 2014, pp.36-40
21. 박원전 외 2인, 건축분야에서의 무선센서 네트워크 기술현황과 활용, 콘크리트학회지, 24(3), 2012, pp.27-40
22. 윤희진, 국내외 건축물의 유지관리 운영실태의 비교분석에 의한 건축물 유지관리 제도화 방안 연구, 대한토목학회논문집, 31(6), 2011, pp.857-865
23. 권동찬 외 2인, 노후 건축물의 안전성능 평가항목, 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, 2004, pp.296-300
24. 이주석, 지진으로부터 안전한 지역을 만들자, 대경 CEO BRIEFING, 482, 2016, pp.1-14
25. 김예성 외 2인, 우리나라 건축물 내진설계 현황과 개선과제, 국회입법조사처 이슈와 논점, 1216, 2016
26. 이영환, 한국 노후 인프라 시설의 실태와 당면과제 -서울시 노후 인프라 사례를 중심으로-, 한국건설산업연구원, 2016

27. 한민철 외 3인, 건축물의 안전관리를 위한 IT융합 기술동향, KEIT PD Issue report, 13(2), 2013, pp.132-148
28. 홍동숙, MEMS 센서 시장동향-모바일 디바이스 시장에서의 시장 기회분석을 중심으로-, KISTI MARKET REPORT, 3(4), 2013, pp.7-10
29. 국토교통부, 건축물현황 통계자료, 2015
30. 경주시 특정관리대상시설 하반기 정기점검 결과자료, 2015
31. 국민안전처, 국민안전처 통계연보, 2015
32. 이재연, 진화하는 재난안전 기술, 특허청 보도자료, 2014. 9. 24
33. 김병석, Safety Korea를 위한 과학기술의 역할과 과제, 한국건설기술연구원, 2014
34. Auckland Council, Earthquake-prone, dangerous & insanitary building policy(2011-2016)
35. 국토교통부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017), 2012
36. 대한전문건설협회, 전문건설업 통계연보, 2005-2014

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.