

ICT 기술을 이용한 스마트 시설물 안전 관리

Smart Facility Safety Management Using ICT Technology



이 승 준*
Lee, SeoungJun

1. 스마트 시설물 안전관리의 개요

대한민국은 경제 및 산업의 발전으로 인하여 건축물과 시설물이 급속히 증가하였다. 최근 기존에 시공된 시설물에 대한 유지관리 및 안전성 문제가 대두되면서 시설물 안전진단이 수행되고 있다. 안전진단을 통해 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하고, 그에 대해 신속하고 적절하게 대응하기 위하여 구조적 안전성과 결함의 원인 등을 조사·측정·평가하여 보수·보강 등의 방법을 제시하게 된다. 그러나 현재 안전진단은 사전 조사, 외관 조사, 비파괴시험, 상태 평가, 안전성 평가, 종합평가, 보고서 작성 등 대부분의 과정이 수작업으로 이루어지고 있다.

1990년대에 도입된 시설물의 안전관리 체계에 대한 재검토와 전문화가 필요해짐에 따라 시설물 안전관리의 새로운 방향성이 제시되고 있다. 생애주기(Life-cycle) 통합관리체계를 통해 시설물 관리의 패러다임이 시설물 유지·보수 중심으로 변하면서 단계별 관리체계를 구축하게 되었다⁶⁾.

* (주)에이툼엔지니어링 기업부설연구소 이사
Atom Engineering Co., Ltd.

‘시설물 안전관리에 관한 특별법(시특법)’에서 규정하는 시설물은 교량, 터널, 항만, 댐, 건축물 등 공중의 이용 편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있는 1종 시설물과 대통령령으로 정하는 2종 시설물이 있다. 이러한 시설물에 대한 안전관리와 유지관리 실태 정보를 체계적으로 관리하기 위하여 한국시설안전공단에서는 ‘시설물정보관리종합시스템(FMS)’을 구축하여 운영하고 있다.

준공 이후 시설물을 정기적으로 점검하고 진단하는 것이 법제화 되어 점검 및 진단 결과에 따른 안전조치가 의무화 되었다. ‘시설물정보관리종합시스템(FMS)’은 시설물의 생애주기 정보와 안전진단 및 유지관리 정보를 수집·관리하는 안전정보 관리를 체계적이고 과학적으로 데이터베이스화할 수 있도록 개발되었다.

시특법 적용 대상 시설물의 경우 안전점검을 통해 사전관리하여 안전등급 향상, 사고 발생률 감소의 효과가 있다. 그러나 시설물의 노후화를 비롯하여 법적 점검 대상이 3종 시설물까지 확대됨에 따라 안전사고의 위험성이 높아지고 있다. 시설물 붕괴 등의 사고가 잇따라 발생하며 노후 시설물 안전관리에 대한 관심이 높아지고 있으며, 안전관리 체계의 패러다임이 건

설(공급) 중심에서 유지보수(관리) 중심으로 전환되는 것이 요구되고 있다. 최근 행정 관리 체계의 개선과 더불어 지능정보기술이 도입된 스마트 빌딩, 스마트 건축이 등장하고 있어 위험관리 체계가 미래지향적 방향으로 한 단계씩 발전해가고 있다.

기존의 막대한 인력과 예산, 기간이 소요되는 현장 중심의 시설물 조사·점검·진단 체계를 ICT 기술 기반으로 시스템화 하여 적용하면 센서, 통신장비, 영상 정보, 인공지능 기술을 활용한 시설물 유지관리를 위한 스마트 의사결정 시스템으로 활용할 수 있다.

시설물 점검·조사 기법을 자동화 하기 위해 공간 정보 영상 인식 기반의 시설물 관리 이력 정보를 디지털화하여 빅데이터를 구축하고, 이를 기반으로 인공지능 학습을 통해 시설물의 관리 상태를 판단할 수 있다. 또한 사후 대응 관리를 위해 신속하고 정확한 사전 예측 및 예방 관리를 수행할 수 있다.

2. 스마트 시설물 안전관리의 구성

2.1 기존의 구조 건전성 모니터링

구조 건전성 모니터링은 구조물에 센서를 부착하여 구조 응답을 계측하고, 이를 이용하여 구조물의 손상 위치 파악 및 손상에 따른 구조물의 상태를 평가하는 것을 말한다. 1970년대부터 다양한 구조 건전성 모니터링 기법이 개발되어 주요 구조물에 꾸준히 적용되어 왔다. 근래에는 빌딩, 교각, 체육관 등 크고 작은 구조물 붕괴 사고가 발생하면서 구조 건전성 모니터링의 중요성을 더욱 부각시키는 계기가 되었다.

초고층 빌딩이나 장대 교량에도 구조 건전성 모니터링 시스템이 설치 및 운용되고 있다. 구조 건전성 모니터링 시스템은 수많은 센서와 신호 취득 장비, 계측 데이터를 전송하는 케이블 및 데이터 저장 서버로 구성된다. 기존의 유선 케이블 방식을 무선 방식으로 변경한 것만으로도 구조 건전성 모니터링의 활용도가 매우 높아졌다. 이는 비용 절감 효과가 매우 크지만, 기존 방식에 비해 데이터 전송 방식 외에는 기능적으로 큰 차이가 없어 확장성의 문제가 제기되어 왔다.

IT 기술이 발전하면서 무선 기반 센서 디바이스에 신호 처리 및 해석 기능이 추가되어 스마트 센서로 발전하고 있다. 이와 더불어 스마트 무선 센서를 활용한 구조 건전성 모니터링과 응용 기술도 발전하고 있다. 현장에서 일반 모니터링을 하는 것이 아니라 원격지에서 실시간 모니터링을 수행하면서 구조 건전성 모니터링 활용에 대한 확장성이 더욱 커지고 있다⁷⁾.

구조 건전성 모니터링은 신호 취득, 손상 경보, 손상 검색, 손상 평가의 4가지 단계로 구분된다. 그리고 사용되는 구조 응답에 따라 크게 전역적인 구조 건전성 모니터링 기법과 국부적인 구조 건전성 모니터링 기법으로 나눌 수 있다. 전역적인 기법은 구조물의 변위나 가속도, 진동 등 소수의 센서로부터 전체 시설물의 상태를 모니터링 하는 기법이다. 국부적인 기법은 변형률이나 전기 역학적 임피던스 및 파형 전달 특성 등을 이용하여 국부 구조계나 특정 부재를 모니터링 하는 기법이다¹⁾.

국내의 경우 교량, 터널, 하천, 사면 등 개별 시설물에 대한 모니터링은 시행하고 있으나 일본 동경처럼 교량, 터널, 사면, 철도, 도로, 낙석 등 모든 시설물을 종합하여 관리하는 체계는 미비한 편이다. 현재 국내의 시설물 모니터링 체계는 대형 시설물을 중심으로 제한적으로 활용되고 있으나 최근 센서, 센서 네트워크, 무선통신, 드론, 인공지능(AI) 등 ICT 관련 기술의 급속한 발전으로 인하여 이를 건설 분야에 적용하고자 하는 노력이 증가하고 있는 추세이다⁸⁾.

2.2 스마트 시설물 안전관리에 적용되는 기술

ICT(Information & Communication Technology)란 정보 통신 기술의 약자로서 흔히 알고 있는 정보 기술(Information Technology, IT)에 첨단 기술이 더해진 패러다임의 변화를 반영한 명칭이다. IT가 인터넷, 무선통신, 휴대전화 등의 기술이나 프로그램 등을 총칭하였다면 ICT는 기존의 정보 기술인 IT와 Communication이 결합한 융복합 컨버전스 산업과 기술을 뜻한다.

‘시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침’, ‘안전점

검 및 정밀안전진단 세부지침'을 준수한 정밀점검 또는 안전진단 관리가 될 수 있도록 하기 위한 구조물의 건전도 모니터링(Health Monitoring System, HMS)을 위하여 필요한 정보를 다양한 ICT 기술을 통하여 수집해야 한다. 기술이 발전함에 따라 기존의 구조 건전성 모니터링 기술²⁾도 스마트 시설물 안전관리로 발전해간다고 할 수 있다.

스마트폰의 보급과 활성화를 통해 콘텐츠, 디바이스, 네트워크, 플랫폼으로 ICT 생태계가 형성되기 시작하면서 기술이 발전해나갔고, 이후 빅데이터, 인공지능, 지능형 로봇 등 첨단 기술로 범위가 확장되고 있다. ICT로 일컬어지는 기술을 통해 지능형 시스템을 구성하기 위한 핵심기술에는 IoT, 빅데이터, 인공지능, 지능형 CCTV, 드론, 로봇이 있다.

안전 및 위험 관리를 수행하는 산업 분야에서는 개별 기술을 활용하거나 융복합된 형태의 기술을 적용하여 각종 재난, 위험, 안전에 대한 인적·물적 피해를 최소화할 수 있는 ICT 기반의 지능형 안전관리 시스템을 구현할 수 있다. 시설물 안전을 위한 구조 건전성 모니터링에도 ICT 기술을 융합하여 지능형 스마트 안전관리를 수행할 수 있다.

ICT 기술의 비약적인 발전으로 IoT 기술뿐만 아니라 빅데이터, 인공지능, 지능형 CCTV, 재난 구조 로봇, 드론 등 다양한 첨단 기술을 시설물 안전진단을 수행하기 위한 효율적인 도구로 활용할 수 있게 되었다. 기존의 구조 건전성 모니터링 방식은 일반적인 센서 모니터링 기술과 단순한 데이터 분석 기술만 적용되어 왔다. 그러나 앞으로는 훨씬 더 많은 수집 정보와 계측 정보를 기반으로 빅데이터 분석과 인공지능 알고리즘 분석을 통해 시설물의 안전 위험을 예측하고 예방할 수 있다⁵⁾.

스마트 시설물 안전관리는 인력 위주의 시설물 유지관리가 지닌 문제점을 개선하기 위해 IT 기술을 활용하여 유지관리의 효율성을 높이고, 궁극적으로는 유지관리 비용을 절감하기 위해 도입되었다. 이는 ICT 기반 첨단 융합기술을 활용한 스마트(지능형) 시설물 유지관리체계를 의미한다.

〈Table 1〉 ICT convergence technology terms and concepts⁴⁾

용어 구분	개념
1. IoT (Internet of Things)	사람, 사물, 공간, 데이터 등 모든 것이 인터넷으로 연결되어 정보가 생성·수집·공유·활용되는 초연결 인터넷
2. 빅데이터	대용량 데이터의 수집, 저장, 분석, 체계화를 위한 도구, 플랫폼, 분석 기법을 포괄하는 개념
3. 인공지능 (AI, Artificial Intelligence)	인간의 지각, 추론, 학습 능력 등을 컴퓨터 기술을 이용하여 구현하는 것으로 다양한 산업에의 활용성이 높음
4. 드론	무인 항공기를 통칭하는 뜻으로 조종사가 비행체에 탑승하지 않고 지상에서 원격 조정이 가능한 비행기

스마트 시설물 안전관리 체계는 크게 센서(Sensor), 인터넷융합기술(ICT, IoT 등), 빅데이터를 기반으로 구성된다. 원격 센서 기반의 실시간 정보 수집, 수집된 정보를 전달 및 저장하는 인터넷융합기술, 정보를 분석하여 상황을 판단하고 적절한 대응조치와 연계하는 빅데이터 기술이 총체적으로 결합한 것이 스마트 유지관리 기술이라 할 수 있다¹¹⁾.

3. 스마트 시설물 안전관리 시스템의 적용 방안

스마트 시설물 유지관리는 ICT 기술을 적용하여 기존의 시설물 안전관리 방식을 전산화·자동화하고 효율을 극대화하는데 목적을 두고 있다.

기존의 인력 기반 안전진단 및 유지관리 체계를 보완하기 위해 센서를 활용한 스마트 유지관리가 도입되었으나, 검사 영역이 센서 주변 지역으로 국한되고, 설치된 센서의 추가적 유지보수가 필요하기 때문에 기술적·비용적 단점이 있어 쉽게 적용되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 단점을 극복하기 위해 제안된 방법 중 하나가 드론을 활용한 스마트 유지관리 방법이다¹⁰⁾.

최근 드론의 활용이 보편화됨에 따라 교통 관리, 재해 관리, 시설 관리, 안전 관리 등 다양한 산업 분야에

서 활용되고 있다. 이러한 사회적 추세와 더불어 관련 시장의 활성화를 위해 규제 완화 및 사업 확대가 진행되고 있다.

국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서는 「무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획(‘15.10~’16.04)」을 수행하였다. 이 기획을 기반으로 한 「무인 검사장비 기반 교량 외관상태 신속진단, 평가, 관리 기술개발(‘16~’19)」 과제를 진행하기도 하였다. <Fig. 1>의 개념을 수행한 과제를 통해 교량을 대상으로 드론 및 IoT 센서 기반의 무인 검사 장비가 개발되었다. 또한 무인 검사 장비의 원격 제어 기술과 영상 데이터 기반 비접촉 외관 상태 검사 기술 등을 적용하여 수집된 데이터를 활용해 교량 상태를 신속하게 진단하는 기술을 개발 및 적용하였다. 이 연구의 성공적으로 수행으로 교량의 외관 상태 정보를 무인 및 자동으로 수집하고 상태 등급을 빠르게 산정하여 효율적이고 신뢰성 있는 교량 유지관리를 수행할 수 있게 되었다. 개발된 기술은 교량 외 댐, 제방, 터널, 하구 독 등의 유지관리에 확대 적용될 예정이다³⁾.

드론을 이용한 시설물 안전관리의 필요성은 이전부터 제기되었다. 사람이 육안으로 점검해야 하는 시설물에서 접근이 어려운 위험지역이나 사각지대의 외관 조사를 드론을 이용하여 수행하고, 더욱 안전하고 효율적으로 영상 정보를 수집해 시설물을 점검할 수 있



<Fig. 1> Rapid diagnosis and evaluation of bridges using unmanned vehicles (MOLIT, 2016)

기 때문이다. 사진과 동영상을 촬영하여 분석하는 기존의 일반적인 시설물 점검 방식에서 시설물 영상 정보를 3D 모델링 하여 공간 정보를 활용해 입체적으로 점검하는 방식으로 기법이 고도화 되어가고 있다. <Fig. 2>와 같이 항공사진을 이용한 영상지도를 3D 모델링 한 데이터로 공간 정보 데이터베이스를 구축하여 도시 및 시설물 관리시스템으로 사용할 수도 있다.

<Fig. 3>과 같이 드론을 이용한 시설물 영상수집, 3D 모델링을 통한 디지털트윈 기술을 활용한 3차원 가시화 서비스 및 활용 시스템을 개발하여 사용할 수 있다. 드론을 활용하여 영상 정보를 수집한 후 이를 3D 디지털 정보화 하여 대형 구조물, 교량, 문화재 등 의미 있는 여러 시설물을 관리할 수도 있다.

드론을 활용한 시설물 점검뿐만 아니라 IoT 센서 모니터링을 기술을 이용하여 시설물의 진동, 기울기 등 상태 정보를 원격 모니터링 하여 시스템 기반으로 장기적이면서도 주기적인 관리를 할 수 있다.



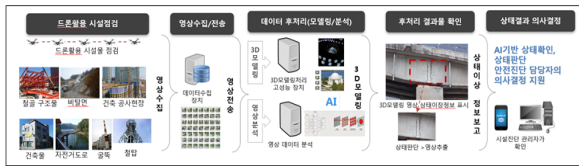
<Fig. 2> High-precision survey information and spatial information technology building a database using (DS information technology proposal)



<Fig. 3> 3D modeling visualization and digital twin utilization system (Geoint proposal)



〈Fig. 4〉 Smart safety diagnosis based on ICT technique (Atom Engineering proposal)



〈Fig. 6〉 ICT-based smart safety diagnosis technique (Atom Engineering proposal)

〈Fig. 4〉와 같이 현장에서의 시설물 안전진단도 수기로 진단 정보를 관리하는 방식에서 드론이나 센서 정보를 활용하여 시설물 정보를 수집하고, 모바일 기반의 스마트 안전진단 방식을 활용하여 현장 정보를 실시간으로 데이터화·전산화 하는 효율적인 방식으로 수행되고 있다.

〈Fig. 5〉와 같이 시설물의 외부는 드론, 내부는 360도 카메라를 이용하여 영상 정보를 수집하고 내·외부 3D 공간 정보 모델링을 수행하여 디지털트윈 기반의 시설물 정밀안전점검을 수행할 수 있다.

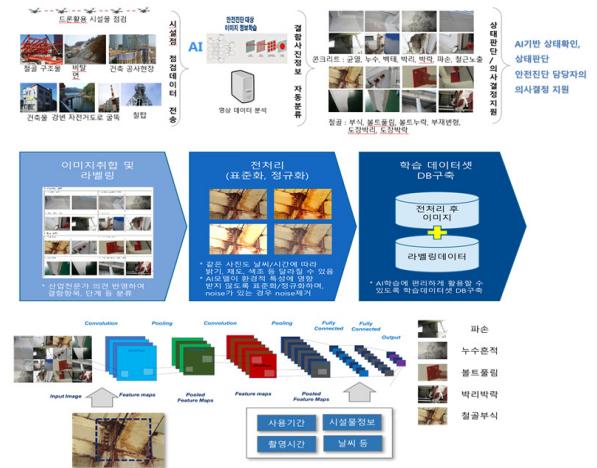
고도화된 첨단 기술을 적용하여 시설물 안전진단을 수행할 경우 3D 모형화로 디지털화 된 공간 정보 영상에 영상 분석 AI 알고리즘을 적용하는 등 시설물의 상태 정보를 사람이 직접 판단하지 않고 자동으로 점검 대상을 판별하는 영상 기반의 시설 자동점검 시스템으로 발전시켜 적용할 수 있다.

〈Fig. 6〉과 같이 드론으로 수집한 영상 정보로 제작한 3D 모델링을 통한 공간 정보를 자동으로 구성하거나 인공지능(AI) 영상 분석을 통해 시설물의 상태 정보를 판단하고 분석하는 의사결정 시스템을 구현할 수 있다.

인공지능(AI) 기반 시설물 상태 점검은 시설물 안



〈Fig. 5〉 Safety inspection of digital twin-based facilities method (Atom Engineering proposal)



〈Fig. 7〉 Artificial intelligence (AI)-based smart safety diagnosis technique (Atom Engineering proposal)

전진단을 위해 수집된 이미지 데이터를 영상 기반 인공지능 엔진에 적용하여 균열, 균열 수 및 표면 노후 상태를 판단할 수 있다. 뿐만 아니라 외관의 파손 종류와 상태를 분석할 수 있으며, 시설물 안전진단에 대한 담당자의 의사결정을 도울 수 있다.

인공지능(AI)을 이용한 시설점검 관리 프로세스는 ‘영상 정보 수집 > 3D 모델링을 통한 영상데이터 가시화 > 손상 형상, 위치, 규모 확인 > 안전진단 자료 축적 및 지속 관리 > 데이터 정보화 > AI 추론 > 경시 변화(Creep/Stress relaxation) 상태 파악 > 대응 조치’로 구성할 수 있다.

〈Fig. 7〉과 같이 3차원 공간 정보화 한 시설물 영상 정보의 딥러닝(Deep learning) 학습을 통하여 이상 현상을 자동 인식하고 빠른 대응·조치·관리를 가능하게 하는 SW를 개발할 수 있다. AI 모델을 활용한 시설물 및 철근 구조물의 결함 분석은 사람이 육안으로 확인하고 판단해 온 시설 점검을 반자동화 또는 자

동화할 수 있어 빠르고 정확한 시설물 안전관리를 수행할 수 있다.

4. 결론

첨단 ICT(IoT, 빅데이터, 드론, 인공지능) 기술을 시설물 유지관리에 결합한 스마트 유지관리 기술 개발은 IT 강국인 한국의 기술적인 장점을 활용하여 국내 건설 업계에 다방면으로 적용 가능할 것으로 보인다.

ICT 기술을 활용한 지능정보기술 기반 시설물 안전관리를 일반적으로 활용하기 위해서는 소위 레거시(Legacy) 산업계인 건설 및 시설물 안전관리 업체가 기술에 대한 이해를 높이고 필요성을 제고해야 한다. 또한 다른 산업 분야에 적용된 신기술들의 활용 방안을 적극적으로 고려해야만 산업의 패러다임이 변화할 수 있다. 아무리 좋고 편리한 기술이라도 이해하고 받아들이지 않는다면 그저 어렵고 값비싸 진입 장벽이 높은 기술이나 다른 산업에서만 활용되는 ‘남의 기술’이 되어버리고 만다.

4차 산업혁명까지 가지 않더라도 18세기 말이 끄는 수레에서 증기기관을 이용한 기차로 운송하는 시대가 되면서 산업의 비약적인 발전이 이루어졌음을 기억해 보아야 할 것이다. 19세기에 전기의 발명으로 세상이 새롭게 바뀌었고, 20세기에는 컴퓨터와 인터넷의 발명으로 비약적으로 발전하는 시대를 살아가고 있다. 손으로 도면을 그리고 종이로 문서를 처리하던 시대를 살아왔지만 이제는 인터넷과 컴퓨터, 스마트 기기를 아주 당연하고 자연스럽게 사용하고 있다. 종이와 펜이 아니라 컴퓨터가 업무의 주된 도구로 사용되고 있는 것을 돌아켜보면 이러한 변화가 그리 오래되지 않았다는 것을 실감할 수 있다.

이렇듯 기술의 발전은 새로운 산업의 발전을 가져온다. 도구의 발전으로 기술이 발전된 대표적인 사례 중 하나는 전화기이다. 다이얼 전화기에서 버튼식 전화기를 사용하다가 어느덧 벽돌만 한 무선 손전화기를 사용하면서 기술의 혁명이 시작되었다. 기술이 발전함에 따라 손전화기는 점점 작아지고 기술의 집약

체가 되어가면서 어느 순간 당연하다는 듯이 손안의 작은 컴퓨터인 스마트폰이 우리의 일상이 되었다.

기술은 삶과 산업에 자연스럽게 스며들면서 발전해 나가고 있으나 이를 인지하고 따라가지 못한다면 도태될 수 있다. 이곳저곳에서 4차산업과 ICT 기술, 인공지능, 빅데이터, 드론 등 어려운 이야기가 언급되고 느껴질 수 있다. 그러나 과거에는 상상도 하지 못한 스마트폰이 오늘날 주력 산업군이 된 것처럼 첨단이라고 일컬어지는 ICT 기술도 곧 당연하고 편리한 도구로 사용되고 있을 것이다.

기존의 시설물 안전진단 및 안전관리는 단계별 자료 처리 및 다양한 형식으로 요구되는 보고서 작성과 제출을 위해 중복 작업이 많아 매우 비효율적이다. 앞으로는 인력에 의해 시설물을 관리하는 시설물 유지방식이 기술과 시스템으로 관리하는 방식으로 발전되어 갈 것이다.

시설물에 대한 과학적인 관리 기법으로 건전성모니터링(Structural Health Monitoring, SHM)에 대하여 관심을 가지고 시범 연구가 이루어지기도 하였다. 하지만 ICT 기술을 활용하는 모니터링 기법을 건설 분야에 적용하기에는 운영 기술의 보편성과 전문 운용 인력 배치, 유지관리 방법의 어려움 등의 이유로 활성화 되지 못하였다⁹⁾.

기술이 발전하면서 ICT 기술을 통해 실시간 상황 인식이 상시적으로 가능해짐에 따라 적시에 위험을 감지하고 지능적으로 대처·관리할 수 있게 되어 안전관리에 효과적으로 사용될 수 있다. 그러나 현행 건축 및 시설물의 안전관리 체계는 IoT, AI, 빅데이터 등을 활용하는 새로운 지능정보기술에 대한 준비가 거의 이루어지고 있지 않다. 4차 산업혁명 시대가 도래하였지만 여전히 주먹구구식 안전관리 체계에 익숙해져 있기 때문이다.

건설 및 시설안전 분야에서 ICT 기술을 너무 높은 진입장벽으로 여기고 색안경을 끼고 바라보는 것보다 산업 분야와 업무가 얼마나 편리하고 효율적으로 발전할 수 있을지 생각해보면서 단계별로 하나씩 접근하며 기술을 도입한다면 기술 경쟁력을 가지고 훨씬

앞서 나갈 수 있는 계기가 될 것이다. 건설 및 안전 분야는 IT 기술을 받아들이는 속도가 느리고 어떤 면에서는 IT 불모지나 다름 없으므로 블루오션(Blue ocean)으로서의 기회를 선점하게 될 것이라 기대한다.

References

1. Kim, J. T., & Park, J. H., “스마트 무선센서를 이용한 대형 구조물의 구조 건전성 모니터링”, *Journal of Korean Society for Noise and Vibration Engineering(KSNVE)*, Vol.20, No.1, pp.7~13, 2010
2. Kim, E. J., Cho, S. J., & Sim, S. H., “A Recent Research Summary on Smart Sensors for Structural Health Monitoring”, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.19, No.3, pp.10~21, 2015, doi: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2015.19.3.010>
3. Son, H., Myung, H., Jeong, H. J., Lim, H. J., & Jeong, H. Y. (2016). Large structure diagnosis and remote management system development planning using unmanned inspection equipment (Report No. TRKO201600016821). Republic of Korea: Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201600016821&dbt=TRKO&rn=>
4. Kim, M. K., “지능형 사회안전 시스템의 사회적 영향 분석”, *ETRI Insight Report*, 2016, doi: 10.22648/ETRI.2016.B.000030
5. Kim, S. K. (2015). A study on the development of multi-sensing monitoring system for environmental surveillance of smart buildings (Doctoral dissertation). Seoul National University of Science and Technology, Republic of Korea.
6. Son, S. J. (2006). A Development of Work Process Model for Efficient Safety Diagnosis of Buildings (Doctoral dissertation). Mokwon University, Republic of Korea.
7. Shin, Y. A., Choi, S. W., Kim, Y. S., & Park, H. S. (2012). A fundamental Study on Wireless Sensor Network System for Structural Health Monitoring of Building Structures during Construction. *Proceedings of the Architectural Institute of Korea Spring Conference*, Republic of Korea, Vol.32, No.1, pp.13~14
8. Jeon, K. H., Lee, J. S., Sung, J. H., Lee, Y. H., & Kim, Y. M. (2005). 인터넷기반 구조 건전도 모니터링 시스템 개발 (Report No. TS-05-R3-016). Republic of Korea: Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201800018183&dbt=TRKO&rn=>
9. Lee, S. J. (2017). Plans for Applying ICT on Structural Health Monitoring (Master's thesis). Chung-Ang University, Republic of Korea, Retrieved from https://dcollection.cau.ac.kr/public_resource/pdf/000000213910_20201213013715.pdf
10. Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement. (2016). 건축물 실시간 안전진단을 위한 ICT기반 핵심기술개발 기획연구 최종보고서 (Report No. R&D-15RDPP-C102368-01). Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201700007089&dbt=TRKO&rn=>
11. Software Policy & Research Institute. (2017). A Research on Remodeling of Safety Management System for Intelligent Information Society - Focused on Administrative Management (Report No. 2017-010). Retrieved from <https://spri.kr/download/21853>