

# 소규모 민간 건축물을 위한 최적의 붕괴 위험 감지 모니터링 시스템 설치 방안 연구

## A Study on the Installation of the Optimized Collapse Risk Detection Monitoring System for Small-Scale Private Buildings

김희재<sup>1</sup> · 김근영<sup>2\*</sup>Heejae Kim<sup>1</sup>, Geunyoung Kim<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Research Fellow, Smart City Research Center, Kangnam University, Yongin, Republic of Korea<sup>2</sup>Professor, Department of Real Estate and Construction, Kangnam University, Yongin, Republic of Korea

\*Corresponding author: Geunyoung Kim, gykimusc@naver.com

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study is to analyze the danger signs of buildings and present a plan to install a building monitoring system to develop measurement technology for small private buildings in the blind spot of disaster safety. **Method:** The cause of building risk behavior, components of monitoring measuring equipment, location of measuring equipment installation, management plan, etc. are presented. **Result:** Measuring instruments essentially include acceleration sensors, tilt sensors, gyro sensors, GPS, etc. The measuring instrument should take into account the height and cross-sectional area of the pillar. **Conclusion:** The results of this study can strengthen disaster safety capabilities in preparation for disasters arising from building collapses that may occur in small private buildings.

**Keywords:** Monitoring Systems, Instruments, Buildings, Smart Mobility, Safety

### 요약

**연구목적:** 본 연구는 재난 안전 사각지대에 있는 소규모의 민간 건축물을 대상으로 건축물의 위험징후를 분석하고 계측기술을 개발하기 위한 건축물 모니터링 시스템 설치 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. **연구방법:** 건축물 위험거동의 원인, 모니터링 계측 기기의 구성요소, 계측기기 설치 위치, 관리 방안 등을 제시한다. **연구결과:** 계측기기는 필수적으로 가속도센서, 기울기센서, 자이로센서, GPS 등이 포함된다. 계측장치는 기둥의 높이와 단면적을 고려해야 한다. **결론:** 본 연구의 결과는 소규모 민간 건축물에서 발생할 수 있는 건축물 붕괴로부터 발생하는 재난을 대비하여 재난 안전 역량 강화를 할 수 있다.

**핵심용어:** 모니터링 시스템, 계측기기, 건축물, 스마트모빌리티, 안전

Received | 25 January, 2024

Revised | 23 February, 2024

Accepted | 28 February, 2024

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

### 서론

1960년대 이후 급격한 경제 성장과 산업의 발전을 이루면서 도시화가 진행되었다. 도시를 계획하고 건설하며 다양한 목적의 건축물들과 도시기반시설이 건설되고 설치되었다. 1962년 제1차 경제개발 5개년 계획을 시작으로 도시 개발과 산업의 고도화가 진행되었으며, 1967년 제2차 경제개발 5개년 계획을 통해 경제 성장률이 10%가 넘는 급격한 속도로

도시가 발전되었다.

경제 성장기에 건설되었던 건축물들과 기반시설은 이제 50여년이 지나고 있으며 노후화 문제가 시작되었다. 2021년 기준 국토교통부에서 발표한 건축물 현황 자료에 의하면 우리나라 전체 건축물 수는 약 731여만 동이며, 이 중 건설된 지 30년이 지난 건축물은 290여만 동으로 약 40%의 건축물이 노후화 되어 있다.<sup>1)</sup> 뿐만 아니라 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 의한 1종, 2종, 3종 시설물의 노후도를 살펴보면 약 18.4%의 시설물이 건설된 지 30년 이상의 시설물로 되어 있다. 우리나라 경제성장 시기와 더불어 건설된 건축물과 시설물이 많고, 시간이 갈수록 더욱 급증하여 노후화된 건축물과 시설물의 규모는 더욱 커질 것으로 예상된다. 따라서 이들에 대한 안전 관리 방안이 필요하다.

건축물은 사용 목적 및 용도에 따라 크게 주거용 건축물과 비 주거용 건축물로 나뉜다. 2022년 기준 주거용 건축물은 전체 건축물의 약 62.2%에 해당하며 상업·공업·교육 등 비주거용 건축물은 37.8%를 차지하고 있다.<sup>2)</sup> 건축물 관련 주요 재난 사고는 건축물 화재와 붕괴가 있다. 이 중 건축물 붕괴에는 다양한 원인이 있지만 시공부실, 자연재해, 지반약화, 유지 관리 소홀 등이 원인이다. 2022년 기준 지난 10년간 다중밀집 건축물 붕괴사고로 발생한 인명피해는 총 134명으로 이 중 사망사고가 19명에 이르렀다(Ministry of the Interior and Safety, 2022). 최근 노후화된 건물이 증가하고 노후화에 따른 붕괴 우려 건축물이 증가함에 따라서 안전진단 등 사전 대비를 철저히 하고 있다. 그러나 건축물 붕괴사고는 예고없이 찾아오기 때문에 이에 대한 대처가 필요하다. 신축 건축물이나 대형 건축물 들은 붕괴나 화재 위험 등에 재난에 대해 재난안전 모니터링 시스템이 구축되어 있지만, 현행 제도를 소급 적용받지 못해 재난 안전 사각지대에 놓인 소규모의 민간 노후 건축물들은 그렇지 않은 경우가 대부분이다.

따라서 본 연구는 재난안전 사각지대에 놓인 건축물들이 위험 징후 상황시 신속한 대피를 할 수 있도록 시설물 센서 모니터링을 위한 최적의 센서위치와 분석을 위한 신호 처리 기술을 확보할 수 있는 최적의 위험징후 감지장치를 구성할 수 있는 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구의 결과는 건축물 위험징후를 분석하고 예측기술을 개발하는데 활용이 가능하다. 특히 재난안전 사각지대에 놓인 소규모 민간 노후 건축물을 대상으로 보급형 위험징후 감지장치 개발의 기반을 구축하는 것은 건축물의 구조적 결함에 의한 붕괴 및 파손과 대설과 같은 자연재해로부터의 붕괴 등 다양한 재난으로부터 실시간으로 위험 거동 징후를 파악하여 재산피해와 인명피해를 최소화 하고 안전관리 역량을 강화할 수 있다.

## 이론적 논의

### 건축 구조물 모니터링 시스템의 개념

건축물은 완성 이후 지속적인 자연환경에 노출되고 지진하중, 적재하중, 고정하중, 풍하중, 설하중, 설하중 등과 같은 다양한 하중에 의해 내력이 점점 저하된다. 이 때 건축물 일부가 훼손되거나 파괴되고 건축물로서 기능을 발휘하지 못하는 경우가 발생하며, 심한 경우 건축물이 붕괴에 이르러 인명 및 재산에 피해를 주는 경우도 발생된다. 시간이 경과될수록 건축물의 내력저하 현상은 증가하므로 보수작업이나 보강작업 등의 적절한 조치를 취해야 한다. 대부분의 건축물들은 안전한 사용을 위해 정기적으로 안전점검을 실시하도록 제도화 되어 있다.

건축물들은 내력 저하나 기타 특별한 경우를 제외하고는 평상시 안전한 상태를 유지한다. 그러나 시간이 경과됨에 따라 재

1) 국토교통부, 2021년 기준 건축물 현황 통계 자료

2) 통계청, 건축물 통계 - 용도별 건축물 현황 (2022년 기준)

료의 노후화 현상과 함께 반복하중과 물리적 화학적 반응으로 내력 저하가 발생한다. 따라서 여기에 대응하여 건축물 상태를 판단하여 사고를 미연에 방지하는 건축물 모니터링 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 건축 분야에서 모니터링은 구조물 진단과 유사 의미로 사용되는 경우가 많다. ISO 2394와 ISO 13822 규정<sup>3)</sup>에 의하면 모니터링은 구조물의 상태와 동작에 대한 순간적이고 연속적이며 장기적으로 측정과 관찰로 정의된다. 건축물 모니터링의 목적은 실시간으로 건축물의 상태를 측정하고 관찰하여 건축물 안전성을 수시로 확인하고 위험으로부터 사고를 미연에 방지하기 위해서다. 건축물 모니터링은 시공 목적의 모니터링과 유지 관리 목적의 모니터링으로 나뉘는데 이 중 본 연구와 관련된 유지 관리 목적의 모니터링은 시공된 건축물의 전체적 변형, 휘어짐, 균열, 부식 등 다양한 요소들을 계측기기를 이용하여 측정하고 그 결과로 건축물의 수명을 예측한다.

건축물 모니터링 시스템은 건축물 상태를 실시간 계측 가능한 다양한 센서를 설치하고, 그 센서들로부터 수집되는 데이터를 서버에 저장하여 직접 관찰하지 않고도 모니터로 확인이 가능하다. 그러나 본 모니터링 시스템은 실시간 입력 데이터를 관찰하고 분석하는 상시 인력이 필요하고 데이터 수집에 많은 시간과 비용이 들어 경제적으로 효율성이 떨어진다. 따라서 모든 건축물에 모니터링을 하기 보다 국가안전 주요 시설이나 붕괴 가능성이 높아 인명 피해가 예상되는 건축물들을 선택하여 모니터링을 실시한다. 최근에는 국가의 주요 사회기반 시설물의 건전성을 모니터링(Structural Health Monitoring : SHM) 하여 구조적 이상 상태를 조기 검진하고 대처하는 것이 재난 대응에 필수적 요소로 포함된다(한국구조물진단유지관리공학회, 2016).

건축물을 모니터링 하기 위한 센서는 건축물에 직접 부착되거나 설치되기 때문에 작업성을 고려해 소형 제작되며, 하나의 건축물에 다수의 센서가 설치되기 때문에 경제적인 요소가 필수적이다. 건축물 모니터링에 사용되는 센서 종류는 대표적으로 변형 및 변형률 센서, 하중 센서, 가속도 센서, 환경 내구성 센서, 스마트 센서로 크게 구분할 수 있으며 이를 세분화하면 경사계, 침하계, 측지계, 하중계, 압전센서, 온도 측정계, 부식 측정계 등 Fig. 1과 같이 다양한 센서가 사용된다.<sup>4)</sup>

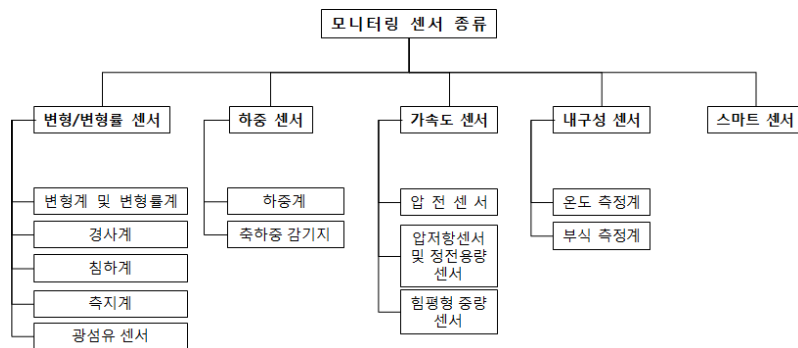


Fig. 1. Monitoring sensor type

### 건축물 구조거동 계측기기 기술 동향

콘크리트 건축물의 비파괴 시험기법이 1960년대 개발되어 시작되었으며, 70년대에 미국과 유럽에서 표준인 BS 1881과

3) ISO 2394 : General principles on reliability for structures, ISO 13822 : Bases for design of structures-Assessment of existing structures

4) (사)한국구조물진단유지관리공학회, 콘크리트 구조물의 지속가능 보수보강기술, pp.194~205

ACI Committee 228이 제정되었다. 건축물 구조 거중 모니터링에 대해 기술개발이 본격적으로 이루어진 것은 2000년대 이후다. 이때부터 다양한 종류의 센서를 활용한 구조물 안전도 평가 기술이 개발되기 시작했다. 먼저 유선 기반의 계측 방식에서 무선 형식의 스마트 센서를 이용한 계측 방식으로 바뀌었다. 유선기반의 계측 방식은 경제성 문제와 케이블 작업의 한계로 데이터 전송 선로의 복잡성, 고비용, 잡음처리, 다량의 센서 개수에 의한 복잡성 문제가 대두되었다. 이에 유선 전송의 단점을 보완한 무선 스마트 센서를 개발하였다.

기존 유선 방식의 센서들은 데이터 취득 기능만 존재했다. 그러나 스마트 센서는 계측 관련 소프트웨어를 자체적으로 탑재하였고 측정 결과들을 자체적으로 처리 하여 유효 데이터들을 전송하는 기능이 있다. 기존 센서들은 유선기반으로 데이터를 계측하고 전력을 전송하는 방식을 사용하였지만, 스마트 센서는 무선 센서화와 전력 자가 생성 등의 기술이 적용되었다. 전자 분야의 기술 발전에 따라 무선 센서 네트워크로 계측된 후 전자적 데이터들은 물리적 데이터 방식으로 변환되어 위험징후 감지의 기능을 수행하게 된다.

현재 건축물 구조거중 계측을 위한 기술들은 레이저 센싱, 무선통신, 맴스(Micro Electro Mechanical System), 음향센싱, 배터리 기반 자체 전력, 데이터 계측 및 내장 처리, 내구성, 경제적 가격 등과 관련된 기술이 존재하며, 우수한 성능의 스마트 센서 개발을 위한 노력을 하고 있다(National Disaster Management Research Institute, 2016). 건축물 거중 감지 계측값들은 가속도, 온습도, 변형과 변위, 경사도, 하중 등이 있다. 건축물 구조 거중 계측 센서는 소형으로 구성되며 가격에 경제성이 있어야 한다. 따라서 기존센서의 소형화와 네트워크 구성이 필수적이며, 리튬-이온배터리 등을 사용하여 장시간 작동이 가능해야 한다. 또한 기지국 100m 이내에서 무선 송신이 가능해야 한다.

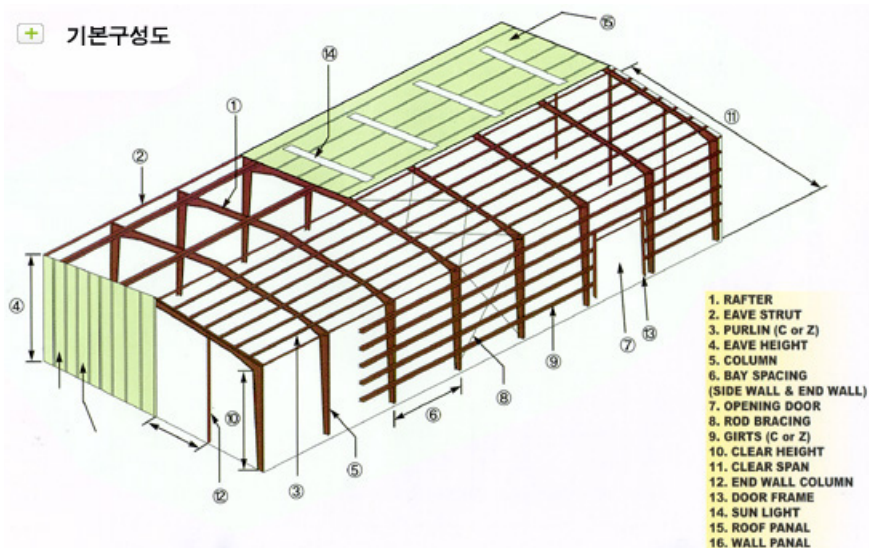
1998년 건축물 구조거중 계측을 위한 스마트 센서가 Straser et al.(1998)에 의해 최초 도입된 이후, 다양한 스마트 센서의 하드웨어와 소프트웨어가 개발되어 활용되었다. 스마트 센서 개발과 관련하여 초기의 주요 연구방향은 개발된 모니터링 센서 시스템 성능확인을 위한 실험과 단기적으로 모니터링 성과를 보고하는 형식으로 진행되었다. Swartz et al.(2005)는 복잡한 구조계산이 가능하며, 효율적 전력 시스템으로 넓은 전송범위를 갖는 나라다(Narada)센서를 개발하였으며, Rice et al.(2008)은 내장된 소프트웨어에 의해 계산된 결과 값과 현 상태 값과의 비교가 가능하고, 통신 성능을 강화하여 손상 추정 모니터링 기능이 탑재된 이모트(Imote) 센서를 개발하였다.

## 건축물 위험 판단 주요거중 원인

### 경제적 구조 시스템의 증가

건축물의 수는 매년 증가하며, 건축 구조 기술도 함께 발전하고 있다. 구조 설계의 목적은 안정성 확보와 경제성을 추구하는 것인데, 과도한 경제적 구조를 사용할 경우 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 최근 과도한 경제적 목적으로 건축물 붕괴사고를 일으키는 대표적 사례가 Fig. 2와 같은 PEB(Pre-Engineered Building)공법이다. PEB 철골 구조물에 샌드위치 패널로 외벽을 마감하는 공법으로 내부 기둥이 필요가 없어 넓은 공간이 필요한 건축물을 지을 때 사용한다. 건축 방법은 철골 구조물을 먼저 세우고 그 외벽에 샌드위치 패널로 마감하는 방법 자체를 절약할 수 있어 시공비용이 적게 들어 경제적이다. 또한 공사기간도 단축할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 하중에 취약한 단점이 있다.

건축물의 형태가 공장이나 창고같이 50m 이상 장스팬화 되는 경우, 보통의 철골공사와는 다르게 공사기간이 단축되고, 품질 활용이 용이한 장점을 갖고 있다. PEB 공법은 최초 미국과 영국 등의 군사용 적납고 및 창고로 사용되었던 철골 공법이



\*Source: [www.ilho-tech.co.kr](http://www.ilho-tech.co.kr)

Fig. 2. Basic configuration diagram of PEB structure

다. 신속하고 견고한 구조물 설치에 초점을 두었으나 이후 민간 및 산업용 건축물로 확대되었고, 재료비와 인건비 절약, 구조물 경량화, 공사기간 단축, 시공 편리성의 장점으로 국내에서도 많이 사용하게 되었다. 그러나 몇가지 문제가 PEB 공법에 지적되었다. 미국에서 사용되던 PEB 전용 설계 프로그램이 국내에서 사용하기에 적합한지에 대한 논란과 국내 PEB 공법 전문가들이 부족한 문제가 있다. 또한 국내 하중기준을 적용할 때 수반되는 문제점이 발생하였으며, 저가의 중국산 강재의 품질 관리문제, 웨브재 초기결함, 돌발하중 등의 문제가 발생하였다. 이 문제들은 Fig. 3과 같이 2014년 2월 경주 마우나오션리조트 체육관이 지붕에 쌓인 대설로 무게를 이기지 못해 붕괴해 신입생 오리엔테이션을 받던 부산외대 학생 10명이 숨지고 204명이 다치는 사고가 발생했다.



\*Source: <https://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20140218500163>

Fig. 3. The collapse of Mauna resort in Gyeongju

## 건축물 부실 설계 및 시공

건축물의 안정성을 위해 건축법은 설계와 시공 관련 자격을 엄격하게 관리한다. 그러나 2014년 까지만 해도 대부분의 건축물에 해당하는 소규모 건축물들의 구조 안전확인을 요구하지 않았다(Presidential Commission on Architecture Policy, 2015). 시공 감리 또한 대부분 소규모 건축물의 경우 시행되고 않았다. 심지어 건축물 인허가에 제출하는 설계도서와 구조안전확인서 위조 사례도 종종 발생했다. 건축물 안전에 대한 정부와 지방자치단체의 관리 감독이 매우 중요한 것을 보여준다. 건축물 부실 설계와 부실 시공의 원인의 대부분은 자격이 없는 비전문가에 의해 설계와 시공이 이루어져서다. 건축물 설계는 건축사만이 수행할 수 있지만, 건축사는 구조안전 전문가가 아니므로 건축사가 직접 구조 설계를 실시하는 것보다는 구조 전문가가 이를 수행해야 한다.

## 기존 건축물 내구성 저하 및 비구조재 피해 증가

건축물은 시간이 지날수록 안전도가 감소한다. 현재 우리나라에 건설된 건축물들은 사용기간이 길지 않아 내구성 저하로 피해를 입는 경우는 적지만, 향후 시간이 지나 기존 건축물들이 자연재해 등에 노출되어 피해가 증가할 것으로 예상된다. 또한 건축물의 주요 구조 안전성은 확보되어도 비구조재 탈락과 손실로 인해 유지 관리에 경제적 손실이 발생하며, 심지어 인명피해까지 발생시킬 수 있다. 비구조재는 건물의 외장재에 포함되지만 간판, 철탑등 대형 구조물에도 포함되며, 이러한 대형 비구조재의 붕괴는 많은 재산피해와 인명피해를 발생시킬 수 있다.

## 건축물 거동 분석에 적합한 모니터링 기술안

최근 전 세계적으로 지진으로 인한 많은 경제적 피해와 인명 피해가 발생하여 지진에 대한 관심이 증가하고 있다. 건축물 거동에 하나의 원인으로 뽑히는 지진은 건축물의 붕괴 뿐만 아니라 화재와 폭발 등과 같은 2차 사고를 동반한다. 따라서 건축물의 내진설계가 필수적이지만 내진설계만으로 건축물 붕괴를 막기에는 한계가 있다. 건축물의 붕괴 위험 유발 요인은 지진 뿐만 아니다. 국토교통부와 한국시설안전공단의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서에 따르면, 평가항목 중 강구조의 정밀점검 평가항목에 강제 규격, 용접 및 볼트접합 상태, 강제 부식도, 내화피복, 기울기, 기초 침하 등이 포함되어 있으며, 정밀안전진단 항목은 부재별 내력비, 접합부 내력비 등이 추가로 포함되어 있다. 이러한 항목들이 안전도를 평가하고 관리하는 중요 요소라 할 수 있으며 건축물 거동 분석을 위하여 필요한 요소들이다.

## 건축물 거동 분석에 적합한 계측 센서

건축물 안전을 위한 모니터링 시스템은 건축물 거동에 따른 위험 요인들을 변이 감지장치 계측기로 위험거동 데이터를 수집하고 전송하며 경보하는 시스템이다. 대규모 주요 건축물들인 이러한 시스템이 잘 구축되어 있지만 건축물의 대부분을 차지하는 소규모 민간 건축물은 비용과 관리의 부담으로 설치되어 있지 않는 경우가 대부분이다. 따라서 개발기준은 유의미한 수준의 진동 레벨을 상시적으로 측정 가능하고, 노이즈 플로어  $15 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  이내로 3축 성분 모두 측정 가능한 센서와 연산장치가 내장된 단일 제품 형태이다. 무엇보다 저렴한 비용으로 공급 가능한 경제적이면서 설치와 유지 관리가 쉬운 무선 데이터 전송 방식의 계측기로 제작된다.

먼저 변이 감지장치의 구성요소는 Fig. 4와 같이 건축물의 변이 여부를 파악할 수 있는 각종 센서와 전압, 펄스, 데이터를

전송받을 수 있는 통합 데이터 수집기, 통신모듈, 전원 공급장치 등으로 구성할 수 있다. Table 1과 같이 메인보드의 역할은 건축물의 변이 감지 장치의 프로그램 연산을 수행하며, 입출력보드는 감지 장치의 외부 전원과 데이터를 수신 받을 수 있는 USB, RJ45, 전원장치, GPS등으로 구성한다. LCD보드는 동작상태를 보여줄 수 있으며, 가속도 센서는 속도 3축과 자이로 3축으로 하여 지진과 방향을 각각 측정할 수 있다. 기울기 센서는 2축으로 되어 건축물의 기울기를 감지해준다. 배선을 최소화 하기 위해 통신은 유선과 무선 wifi방식을 모두 사용하며, GPS는 위치확인과 시간감지를 위해 사용하며 실내에서는 RTC로 대체한다.



(a) Internal components

(b) The external appearance

\*Source: National Disaster Management Research Institute(2016)

Fig. 4. Internal and external configurations of the instrument

Table 1. Types and details of sensors

항목	세부내용
가속도	설치 위치의 진동 측정, (3축)
기울기	구조의 기울기 측정 (2축)
자이로	운동의 방향각 측정(3축)
GPS센서	실시간 시각

메인보드는 건축물의 구조물 변이를 감지하는데 필수적인 하드웨어로 프로그램 연산과 데이터 저장 및 처리를 담당한다. 입력과 출력을 담당하는 보드는 USB, 랜포트, 전원, GPS등의 외부 입출력을 할 수 있도록 부착한다. 장치의 동작상태 확인을 위해 LCD를 부착하여 가속도 센서와 자이로 센서의 감지 결과를 출력한다. 데이터를 전송하는 역할을 하는 통신보드는 수집된 데이터를 유선 또는 무선으로 전송하며, GPS는 위치확인 기능과 정확한 시간을 측정하는 기능을 수행한다.

### 계측 장치의 설치 위치

건축물 변이 감지장치는 설하중이나 풍하중, 침하 등과 같은 비 정상적 외부하중이 예상되는 취약 부재로 선정한다. 변위나 변형률이 크게 작용하는 기둥 부재는 기둥의 하부와상부 모두 설치하고, 보 부재의 경우 경간이 큰 부분의 중앙 부분에 설치한다. 모든 부재마다 장치들을 설치하는 것은 한계가 있으므로 위험성이 가장 높을 것으로 판단되는 기둥과 보 부재를 선정하여 이를 설치한다.

기동 부재를 선정할 때 고려해야 할 부분이 있다. 바로 기동의 높이와 기동 단면적이다. 또한 비 정상적으로 예상치 못했던 하중이나 설계에 반영되지 않았던 하중 발생 가능성도 고려해야 한다. 보 부재는 보의 유형이 대들보인지 빔인지 고려해야 하며 재료와 구조형태가 고려되어야 한다. 그리고 건축물에서 적재 하중이 특히 많이 작용되는 위치를 고려하며, 예상치 못한 하중 발생도 고려한다.

이 외에도 감지장치는 계측 방향과 부재 거동방향이 일치하도록 설치하며, 진동데이터 및 정적데이터의 활용성, 구조물 사용에 영향을 주는 진동과 처짐, 변형등의 기준을 설정하여 경보가 작동할 수 있도록 해야 한다. 보는 초기 처짐에 대한 값을 고려해 이를 반영한 계측 결과값을 받을 수 있도록 해야 하며, 정적 데이터와 동적 데이터 결과의 데이터 샘플수, 저장 용량 등을 고려 한다.

## 경보기준

경보를 발령 기준이 되는 항목은 가속도와 변위, 변형률이다. 가속도는 1년 이상의 데이터를 수집하여 건축물 붕괴와 관련된 이벤트에 대해 가속도 데이터를 분석한 후 경보 기준을 설정한다. 변위는 기동의 수평이동과 보의 수직 처짐을 기울기로 변환하여 변위를 측정하여 평균 이상의 변위를 추출하여 경보기준으로 설정한다. 변형률의 경우 붕괴 징후가 발생하는 평균 데이터 값을 측정하여 이를 기준으로 선정한다. 경보의 발령은 1단계, 2단계 등과 같이 구분하지 않고 바로 한 가지로 통일하여 즉시 경보발령이 이루어 질 수 있도록 한다.

## 관리방안

최초 모니터링 시스템과 계측기를 설치 한 후 최소 4주 이상의 일주일 단위로 계측값을 측정하여 평균값을 도출하고, 분기 별 계측 평균값을 산정한다. 유지 관리는 건축 관리장이 관리 대장을 작성하여 관리한다. 관리주체는 계측자료를 주기적으로 수집하여 관련 위탁업체를 통해 데이터베이스 화 한다. 또한 모니터링 시스템의 정상 작동 여부를 상시적으로 점검하고 각 설치 위치별 계측기의 정기 점검을 연중 2회 실시한다. 전체 시스템의 교체는 3년을 기준으로 작동 여부를 체크하여 실시한다. 수집된 계측 자료의 활용도를 높이기 위해 데이터의 가공과 공유, 전문가의 분석 등 다양한 시각적 활용과 기술개발 지원을 할 수 있도록 한다. 스마트 모빌리티 중 하나인 드론이나 범용 자율 로봇 등을 활용하여 관리자가 주기적으로 계측기 부 착위치를 확인하여 오작동이나 이탈착이 되었는지 확인할 수 있다.

## 결론 및 기대효과

본 연구는 재난안전 사각지대에 놓인 민간 소규모 건축물에서 건축물 위험 징후 상황시 신속한 대피를 할 수 있는 최적의 센서 모니터링 구축 방안을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 건축물 위험 판단 주요거동 원인을 파악하여 거동 분석에 적합한 모니터링 구축 방안과 계측 장치의 최적 설치 위치를 제시하였다.

최근 노후 건축물이 증가하고 각종 재해로부터 건축 구조물이 위협에 노출되어 있는 상황에서 민간 소규모 건축물들의 대부분은 이를 감지하는 시스템이 구축되어 있지 않다. 특히 PEB공법과 같이 경제적으로 건설된 하중에 취약한 건축물이나 건축물 부실 설계와 시공, 내구성 저하는 건축물의 위험 거동을 높이고 있다. 따라서 경제적이고 관리가 용이한 건축물 위험 거동 모니터링 시스템 구축이 필요하다.



모니터링은 계측장비의 안정성이 중요하다. 계측장비가 환경적 요인 변화에 따라 온도와 습도 내구성, 센서의 측정범위, 분해능력, 기본 노이즈 특성 등 다양한 요소들을 포함되어야 한다. 계측기기에는 필수적으로 가속도센서, 기울기센서, 자이로센서, GPS 등이 포함된다. 계측장치는 기둥의 높이와 단면적을 고려해야 한다. 예상치 못한 하중이나 설계에 반영되지 못한 하중도 고려하여 설치한다. 또한 계측 방향과 부재 거동방향이 일치하도록 해야 한다. 경보는 위급 단계를 나누지 않고 즉시 대피발령이 이루어 질 수 있도록 한다.

그동안 우리나라의 건축물 안전에 관한 연구는 위험도의 평가와 판단, 예측과 예경보 연구가 주로 진행되었다. 그러나 스마트 센서를 활용한 안전성과 관련된 연구는 부족한 실정이다. 그동안의 건축물 위험은 육안에 의존한 건축물 손상과 지반 위험, 구조 부재 및 낙하물, 위험물질 누출과 석면 등이 위험으로 판단되었다. 이에 대한 추가적인 연구들이 필요하다.

본 연구를 활용성으로 민간 소규모 건축물에서 위험 징후를 파악하고, 이를 분석하여 경제적이고 간단한 계측 기술을 개발할 수 있다. 모든 건축물에 모니터링 시스템을 설치하여 건축물 붕괴 등에서 발생하는 인명피해를 최소화 할 수 있다. 또한 스마트 모빌리티 기술을 활용하여 드론이나 범용 자율 로봇등을 활용하여 최소화된 관리 인원으로 이들을 쉽게 모니터링하고 위험징후를 파악할 수 있다. 건축물의 구조적 결함이나 각종 자연 재해로부터 발생할 수 있는 건축물 붕괴를 사전에 대비하여 안전관리 역량 강화를 기대한다. 본 연구는 소규모 민간 건축물의 최적 감지 모니터링 시스템 구축 방안으로 향후 일반 건축물과의 위험 판단 주요거동의 차이점, 기존 보편화된 계측기와와의 차이 등과 관련된 후속 연구가 필요하다.

## References

- [1] Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection (2016). Sustainable Repair and Reinforcement Technique for Concrete Structures, Kimoon dang, Seoul.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021). Statistics on the Status of Buildings.
- [3] Ministry of the Interior and Safety (2022). Disaster Yearbook 2021 (Social disaster).
- [4] National Disaster Management Research Institute (2016). Actual Measurement Analysis for Hazardous Movements of Facilities Based on Sensor Monitoring, National Disaster Management Research Institute.
- [5] Presidential Commission on Architecture Policy (2015). Emergency Management for Building Public Safety Against Earthquake and Climate Change Hazards.
- [6] Rice, J.A., Spencer Jr, B.F. (2008). "Structural health monitoring sensor development for the Imote2 platform." Proceedings of In The 15th International Symposium on: Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, International Society for Optics and Photonics, Urbana, IL USA, pp. 1-12.
- [7] Straser, E.G., Kiremidjian, A.S. (1998). A Modular, Wireless Damage Monitoring System for Structures. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, CA, USA.
- [8] Swartz, R.A., Jung, D., Lynch, J.P., Wang, Y., Shi, D., Flynn, M.P. (2005). "Design of a wireless sensor for scalable distributed in-network computation in a structural health monitoring system." Proceedings of 5th International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford, CA, USA, pp. 1570-1577.
- [9] [www.ilho-tech.co.kr](http://www.ilho-tech.co.kr)
- [10] [www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20140218500163](http://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20140218500163)