

노후학교 건축물의 재난대응을 위한 센서 모니터링 시스템 개발

Development of Sensor Monitoring System for Emergency Response of Old School Buildings

박 춘 욱* 이 경 원** 이 지 수***
Park, Choon-Wook Lee, Gyeong-Won Lee, Ji-Soo

Abstract

Due to the frequent occurrence of large-scale disasters such as recent earthquakes, the problem of the safety of old school buildings has emerged. The need to secure safety management technology through constant monitoring is increasing in an attempt to supplement old school buildings with weak disaster response capabilities. Traditional research is approaching the development of an existing sensor-based risk precursor information monitoring system. However, unlike this, in this study, we will focus on the development of a data analysis platform as part of the development of a continuous monitoring system that can be prepared for earthquakes, collapses, and fires, based on constantly measured data. For this reason, the development of a safety diagnostic algorithm based on the optimal sensor-attached points and sensor data reflecting the fragile characteristics of old school buildings was derived. Utilizing this, a message and action manual system for each management / use entity of school buildings after retirement was constructed.

키워드 : 노후학교 건축물, 재난대응, 실시간안전진단, 센싱 기술, 모니터링 시스템

Keywords : Old school buildings, Emergency response, Real time structural safety inspection, Sensing technologies, Monitoring system

1. 서론

최근 지진, 붕괴, 화재 등으로 인하여 잦은 재난이 발생하고 있어 노후 학교 건축물의 안전 위험성 문제가 발생하고 있으므로 이에 대한 대응 방법의 필요성이 대두되고 있다.¹⁾ 특히 재난 대응력이 취약한 노후 건축물의 재난 대응을 위하여 안전 상태의 상시 모니터링을 통한 안전관

리 기술 확보 필요성이 점차 증가하고 있다.²⁾³⁾ 기존 연구에서는 센서 기반 위험전조정보 감시 시스템개발로 접근하였지만 이 연구는 노후 학교건물에 대한 상시 계측 자료를 이용하여 지진, 붕괴, 화재 재해에 대비 할 수 있는 상시 모니터링 시스템의 개발 과제의 일부분을 구성하는 데이터 분석 플랫폼 개발에 관한 연구이다. 본 연구에서 개발하고자하는 데이터 분석 플랫폼은 계측기를 이용하여 확보된 계측 자료의 관리와 계측 자료를 가공하는 데이터베이스 관리 및 계측 자료를 다양한 방법으로 분석할 수 있는 분석 시스템과 계측 자료, 데이터베이스 및 분석 결과를 가시화 시켜주는 가시화 프로그램으로 구성된다.⁴⁾

* Professor, PhD, Dept. of Research Center for Structure, Kyungpook Univ., Korea
Corresponding Author,

Tel: 82-53-950-7901, e-mail: pcw2379@knu.ac.kr

** Master's course, Dept of Fire Safety, Kyungil Univ., Korea

*** Assistant Professor, Dept. of Fire Safety, Kyungil Univ., Korea

이 논문은 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업의 연구비 지원 (19RDRP-B076268-06)에 의해 수행되었습니다.

1) 이강석, 건축물의 경년열화에 따른 안전성 평가기법 및 센서 모니터링 성능기준 개발, 국립재난안전연구원, 2015.

2) 박기태, 건설 구조물의 안전관리 모니터링을 위한 다중 센서 무선계측시스템 개발, 한국건설기술연구원, 2009.

3) 김선국, 임혜린, 김도형, 스마트 건축물 진단관리와 무선통신, 대한건축학회, 2016.

4) 윤인섭, 재난전조 감시용 센서 및 조기경보 시스템개발”, 소방방재청, 2013.

따라서 본 연구에서는 노후학교 건축물의 유형에 따른 안전취약점을 분석하여 센서를 기반으로 KT의 통신망을 활용하여 학교건축물 재난대응에 대한 실시간 안전관리 시스템을 개발하였으며, 테스트베드 구축을 통해 그 효율성을 검증하였다.

계측 데이터 분석 플랫폼의 개략적인 구성은 아래의 Fig. 1과 같다.

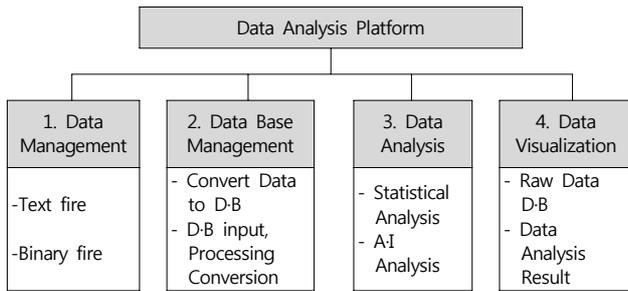


Figure 1. Data Analysis Platform Configuration (데이터 분석 플랫폼의 구성)

2. 노후 학교건축물의 DB 분석

Table 1. Structural Classification of Old School Building (노후 학교건축물의 구조적 분류)

Detail Structure	Composition ratio
Brick structure, Block Structure, Stone Structure, Other Masonry Structure	7.5%
Reinforced Concrete Structure, Precast Concrete Structure, Other Concrete Structure	89.4%
General Steel Structure, Light Steel Structure, Steel Pipe Structure, Single Steel Structure, Truss Structure, Other Steel Structure	2.8%
Steel concrete structure, Steel Reinforced Concrete Structure, Steel Reinforced Concrete Composite Structure, Other Steel Reinforced Concrete Structure	
General wood structure, Log structure, Truss structure	0.3%
Etc.	

Table 2. Classification of Planar Layout of School Buildings (학교건축물의 평면배치 분류)

Type	Conceptual diagram	Case
ㄱ		<ul style="list-style-type: none"> • Most basic layout pattern • Locate south
ㄷ		<ul style="list-style-type: none"> • Various small external spaces • Independent small space difficulty
ㅁ		<ul style="list-style-type: none"> • Locate south

센서기반 스마트 모니터링 시스템의 구축을 위해서는 우선적으로 노후학교건축물의 유형에 따른 안전취약성의 분석이 필요하다. 노후학교건축물내 안전취약성을 분석하기 위해 교육청으로부터 2000년 이전의 노후학교 약 125교 교사동 구조도면과 정밀점검진단보고서를 Fig. 2와 같이 다수의 도면을 원하는 정보를 추출하기 위해 정보를 저장할 수 있는 도면 DB를 개발하였고, Table 1과 Table 2와같이 구조적, 평면배치 분류에 따른 학교건물 유형을 분석하였다.

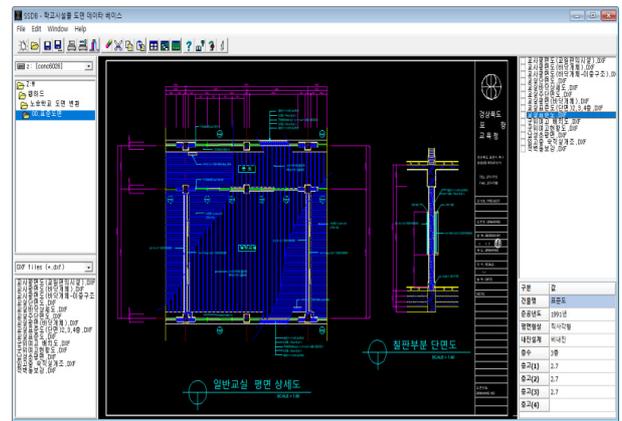


Figure 2. Execution of standard drawing DB program of school building (학교 건축물의 표준도면 DB프로그램 실행)

Table 3. Safety Diagnosis D-B Analysis Result (안전진단 DB 분석 결과)

Division	70's~80's	90's	00's
Characteristic	Standard book	Lateral force resistance	Large, Atypical
Wall	Masonry wall	Shear wall start	Concrete wall
Beam Standard	300×600	400×600	400×700
Pillar Standard	400×450	400×500	400×600

도면 및 안전진단 DB분석에서 적절한 정보를 추출하기 위하여 학교의 특성을 평가할 수 있는 특성 평가 시트를 구성하였으며 특성 평가 시트는 구조물의 형식에 대한 개괄적인 정보를 확인 할 수 있는 형식으로 구조물 준공년도, 층수, 평면의 형식 등으로 구성하였다.

도면 DB에서 특성 평가 시트에 대한 정보를 추출하여 정보를 수집하여 구조물의 분류 기준으로 사용하였으며 도면에서 구조물의 형식, 구조 부재의 규격, 내진 설계 여부를 확인하여 안전도에 적용할 수 있도록 하였다.

안전진단 DB에서는 구조부재의 규격과 성능을 확인할 수 있었으며 안전진단 성과물을 분석하여 Table 3과 Table 4와 같은 구조물 유형별 안전취약점을 확인할 수 있었다. 위의 DB 분석을 통하여 응력의 집중되는 주요 부

제와 균열과 변형이 발생된 부위 등 학교 건축물 유형별 안전취약점 도출 및 안전순위 기준으로 스마트 모니터링을 위한 센서 부착 위치를 선정하여, 건축물의 안전도를 모니터링하고, 모니터링 된 데이터를 기반으로 건축물의 보수, 보강시점을 관리주체에게 알림으로써 평상시 구조물의 상태를 진단, 유지관리 할 수 있는 시스템을 구축하고자하였다.

Table 4. Safety Vulnerability Analysis by Construction Year and Structure (시공연도, 구조별 안전 취약점분석)

Type	70's~80's	90's	00's
Shear Wall	<ul style="list-style-type: none"> Mostly no Shear wall School side wall are mostly masonry walls 	<ul style="list-style-type: none"> Shear walls begin to be installed in the stairwell section of the school plane. 	<ul style="list-style-type: none"> In addition to staircases, most of the side walls also begin to install concrete walls.
Full feature	<ul style="list-style-type: none"> Structural calculations using standard books show that most sections maintain the same pattern. Most of the horizontally shaped structures. 	<ul style="list-style-type: none"> Structural design is carried out through actual building plans, and various cross-sectional shapes, lateral force resistance systems and shear walls are installed. Start planning atypical structures. 	<ul style="list-style-type: none"> Various structural shapes, shear walls Concrete structures are formed on the waist wall and side walls. Most of them are largely atypical structures connected to schools, gymnasiums and auditoriums.
Security vulnerability	Vulnerability Variants Due to Heterogeneous Materials in Structures and Non-Structure	Vulnerability of pillar pattern zone according to seismic design	Vulnerability of joints due to the increase of atypical structures

3. 센서 기반 스마트 모니터링 시스템

앞장에서 분석한 노후학교건축물의 안전취약점을 모니터링하기 위한 센서의 성능기준에 대한 분석을 실시하였다. 다양한 센서에 의한 스마트 모니터링의 계측요소를 선정하기 위해 한국시설안전공단에서 제공하는 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)의 구조물별 조사항목에 대한 분석을 실시하였다.

구조물별 조사항목 분석결과는 Table 5와 같으며 이중, 센서를 통해 실시간으로 모니터링 가능한 조사항목은 균열, 기울기로 분석되었고, 균열, 기울기의 모니터링 기준은 Table 6, Table 7과 같다.⁵⁾⁶⁾

Table 5. Safety diagnosis data analysis result (안전진단 데이터 분석 결과)

Structural	Item	Contents
Reinforced concrete structure (89.4%)	Concrete strength and specification	Concrete compressive strength and part specification
	Crack	Silica width, Area ratio
	Concrete carbonation	Carbonation depth
	Surface degradation	Peeling, Peeling and layer separation, Leakage and white pollen, Rebar exposure
	Inclination	Architecture
	Subsidence	Slope of structures and members due to floating settlement
Masonry structure (7.5%)	Concrete strength and specification	Concrete compressive strength and part specification
	Masonry Wall Specification	Masonry wall volume and thickness
	Crack	Silica width, Area ratio
	Concrete carbonation	Carbonation depth
	Surface degradation	Peeling, Peeling and layer separation, Leakage and white pollen, Rebar exposure
	Inclination	Architecture
Subsidence	Slope of structures and members due to floating settlement	

Table 6 Crack Monitoring Criteria(균열 모니터링 기준)

Type of steel		Environmental Conditions for Corrosion of Steel			
		Dry environment	Wet environment	Corrosive environment	High Corrosive Environment
Steel	Building	0.4mm	0.3mm	0.004tc	0.0035tc
	Etc.	0.006tc	0.005tc		

1) where tc is the minimum coating thickness (cm) between the surface of the outermost reinforcing bar and the concrete

Table 7. Monitoring Criteria of Building Slope (건축물 기울기 모니터링 기준)

Inclination (Angular displacement)	Contents
1/750 Within	Dangerous settlement limits for sensitive mechanical foundations
1/500 Within	Crack initiation limit of the structure
1/250 Within	Detect Slope of Structure
1/150 Within	Limitations where structural damage to the structure is expected
Over 1/150	The risk of the structure

- 최준성, 이규완, 강태원, 박기태, 산업기간시설물의 모니터링을 위한 FBG 광섬유센서 기반 철근거동 계측 장치의 설계, 대한토목학회, 2006.
- 이경미, 최성록, 제4차 산업혁명시대의 ICT 융합형 재난안전 R&D발전방향, 한국과학기술기획평가원, 2016.

본 연구의 재난 범위인 화재와 지진을 모니터링하기 위해 「지진·화산재해대책법」에서 규정하고 있는 지진가속도계 규정과 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」을 검토하였다. 「지진가속도계설치 및 운영기준」에



Figure 3. Safety Monitoring System of Old School Building (노후학교 건축물의 안전모니터링 시스템)

Table 8. Acceleration Monitoring Criteria(가속도 모니터링 기준)

Type	Standard specification	Contents
Frequency domain	· Minimum frequency is 0.1Hz or less, maximum frequency 50Hz or more Detects ground motion within 3 dB of accuracy in a given frequency band	Must maintain a smooth frequency response from 0.1Hz to 50Hz
Dynamic range	· 120 dB or more - Selection should be made taking into account the natural frequency (or inherent frequency) of the facility - Maximum measured seismic acceleration 2.0g	
Output voltage linear ratio (linearity)	· 1% Within	Prevent distortion of ground motion size
Sensitivity Error Between Components	· 2% Within	Accurate vector components must be inferred
Attenuation rate	· 60~70%	
Output voltage	Within the maximum input oltage of the seismic accelerometer	Prevent distortion of measured data
Output method	· Differential output method when the distance from earthquake accelerometer is more than 50m	Signal distortion caused by noise

Table 9. Smart Monitoring Criteria (스마트 모니터링 기준)

Clack	Measuring range : 0~0.5mm or more Measuring interval : 0.01mm or less
Inclination	Measuring range : 0~1/150(mm/m) or more Measuring interval : 1/50(0.02mm/m) or less
Acceleration	Measuring range : 0.1~50Hz Dynamic range : 120dB or more Sensitivity Error Between Components : 2%

서는 지진가속도설치 대상시설물, 지진가속도계의 설치위치, 지진가속도계의 성능에 대해 규정 하고 있다. 관련기준분석을 통해 도출된 스마트 모니터링을 위한 각 계측요소는 Table 9와 같다. 또한, Table 8과 같이 건축물의 가속도 측정을 위해서는 0.1Hz에서 50Hz의 주파수를 감지가능 하여야하며, 동적범위는 120dB이상, 성분 간 감도오차는 2% 미만으로 하여야한다.

따라서 위의 다양한 센서를 기반으로 노후 학교건물에 대한 평상시 구조물의 유지관리를 통해 지진, 붕괴 등 재난 시 대응할 수 있는 구조물의 건전성을 확보하기 위한 스마트 안전 모니터링 시스템은 Fig. 3과같이 구성할 수 있다.

본 연구에서 위의 관련기준 규정을 검토하여 Table 9와 같이 계측 측정 범위를 선정하였다.

4. 노후학교 건축물 스마트 모니터링 시스템

본 연구의 스마트 모니터링 시스템은 Fig. 4와 같이 센서를 통해 계측된 데이터는 전처리, 통계분석을 통해 안전도평가를 실시하고 그 결과를 출력하는 시스템이다. 안전모니터링 및 안전도 평가를 위해 원시자료는 계측데이터를 획득 및 유지 관리하는 KT 서버에서 확보하며, 원시자료의 전처리, 통계분석 및 안전도 평가는 관리주체의 서

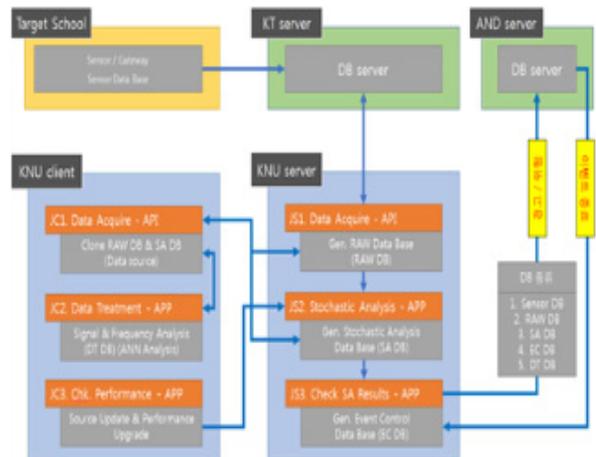


Figure 4. Data flow chart for safety monitoring (안전모니터링의 데이터 흐름도)

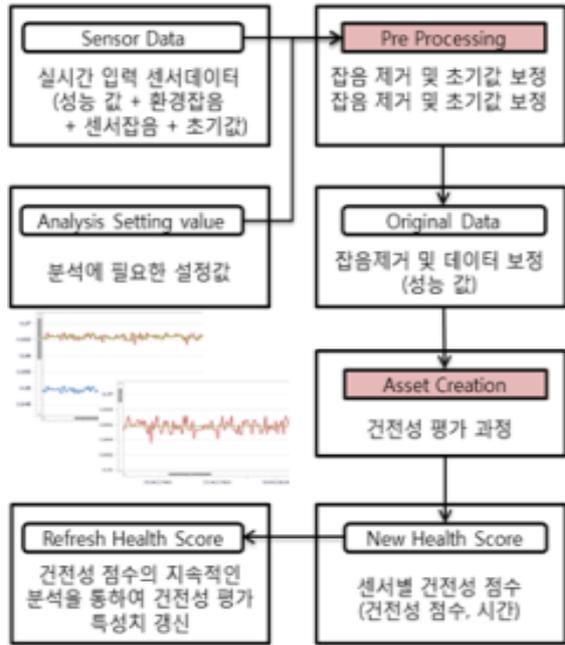


Figure 5. Structural health assessment and data collection (구조물 건전성 평가 및 데이터 수집)

버에서 수행한다. 전처리, 통계분석 및 안전도 평가 결과는 관리자 개인 컴퓨터에서 수행하며, 안전도 평가 결과에 따른 경보 이벤트는 관리주체서버에서 경보전달전문 서버로 전달한다.

전 처리된 계측 데이터를 기반으로 통계 및 빅데이터 분석에 대한 시설물의 건전성 평가 흐름도는 Fig. 5와 같다. 또한 Fig. 6과 같이 분석 시스템은 현재의 임계치 도달 여부와 장래의 임계치 도달 여부에 대한 분석을 수행한다. 분석 시스템은 계측된 자료에 대한 다양한 방법의 파형분석으로 임계치 도달 여부를 평가하며 인공지능 분석을 통하여 장래 거동에 대한 예측을 평가하며 예상된

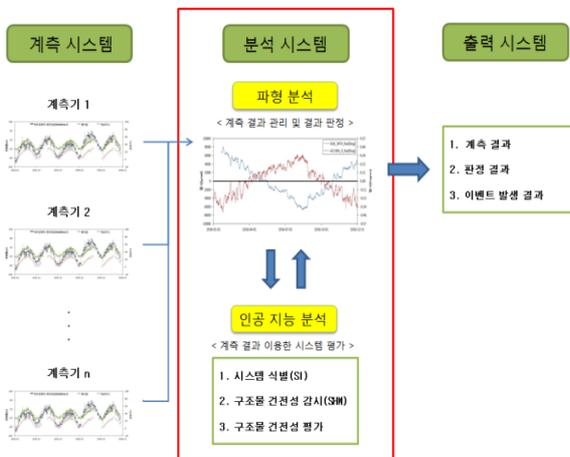


Figure 6. Composition of Analysis System (분석시스템의 구성)

결과를 기반으로 관계 시스템에 현재 구조물의 상태 또는 예상 결과를 통보해 준다.

센서데이터 기반의 건축물 위험단계판단 알고리즘은 Fig. 7과 같다.⁷⁾



Figure 7. Hazard Level Judgment Algorithm (위험단계 판단알고리즘)

5. 노후학교 건축물 안전모니터링 스마트 시스템 테스트베드

앞서 분석된 센서 성능기준과 노후학교건축물 스마트 모니터링시스템의 검증을 위해 테스트베드를 구축하였다. 대구 및 경북 관내 노후 학교 시설물 대상 균열, 가속도, 변형 광센서/무선센서 설치 후 KT의 통신망을 기반으로, 계측센서 데이터 수집 및 분석, 시설물 관제/모니터링, 위험 및 유지관리 등 상시 시설물 안전관리를 진행하였다. 테스트베드 기간 중 각 시설물 계측데이터 수집 후 데이터의 특이사항, 데이터 패턴, 데이터 변화추이를 분석하여 시설물 안전관리에 필요한 유의미한 데이터 분석기반을 통하여 관리주체에게 정보를 제공하며, 센싱 데이터 분석을 통해 시설물 종류별 특성에 기반 한 시설물 점검, 보수, 보강, 임계 시점 도출하는 실증작업을 수행하였다. Fig. 8은 노후학교 건축물 상용 센서기반 통합안전관리시스템을 통하여 이벤트발생시 관리주체에게 구조물 유지관

7) 국립방재교육연구원, “비보강 조적조 건축물의 지진취약 도출수 개발”, 방재연구소, 2008.

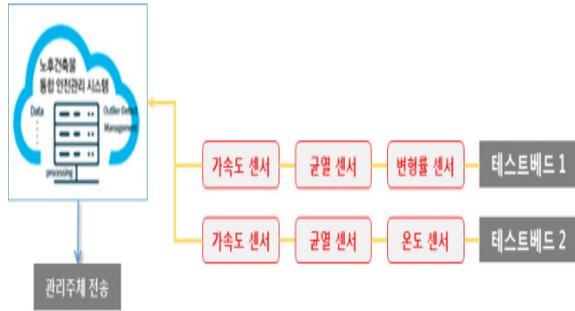


Figure 8. Sensor-based integrated safety management system (센서 기반 통합안전관리시스템)

리에 대한 정보를 전송하는 개념도이다.

안전모니터링을 위한 센서 부차위치를 KT와 협력하여 접근하기 곤란한 구조적으로 취약한 부재 및 구조해석결과에 따른 응력이 집중 되는 부위, 균열 등 열화현상이 존재하는 부재를 선정하여 설치하였으며 Fig. 9는 안전모니터링하기 위한 테스트베드구축 시스템도이다.8)9)

본 테스트베드를 수행하기 위해 KT의 통신망을 활용하여 데이터분석의 관제는 경북대학교에서 주관하였으며, 테스트베드의 센서 기반의 안전 모니터링 시스템 플랫폼 개요는 Fig. 10과 같다.

Fig. 11과 같이 메인화면으로 “실시간 모니터링” 현황이 지도 기반의 시설물 위치, 사진, 상태, 센서 상태 및 국내외 지진, 태풍, 홍수 정보를 기상청과 SNS으로부터 수집하여 표출하고 있다. 대시보드는 실시간 모니터링, 이벤트



Figure 9. Test bed System(테스트베드 시스템)

- 8) 서울종합방재센터, “재난유형별 대응매뉴얼”, <http://119.seoul.go.kr:9119/>
- 9) 한국개발연구원 공공투자관리센터, “재난대응 통합지휘 무선통신망 구축사업”, 한국개발연구원, 2004.

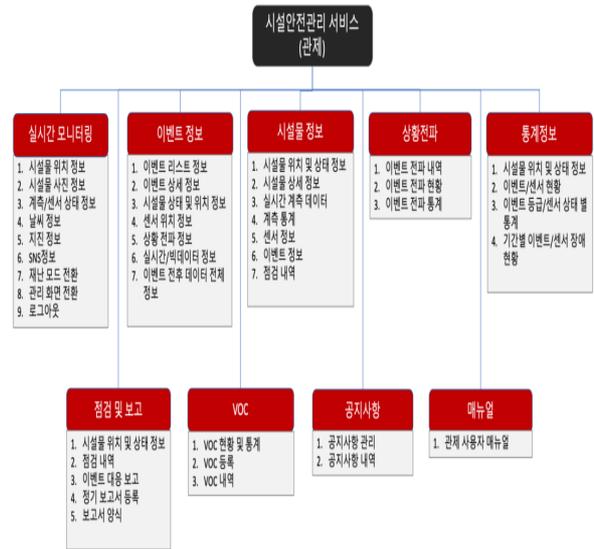


Figure 10. Facility Safety Monitoring System Platform Overview (시설 안전모니터링 시스템 플랫폼 개요)

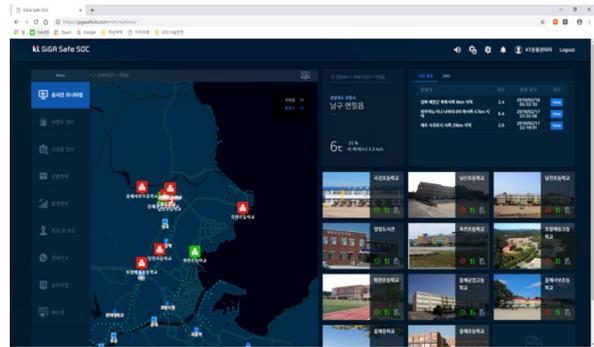


Figure 11. Real-Time Monitoring Main Screen (실시간 모니터링 메인화면)

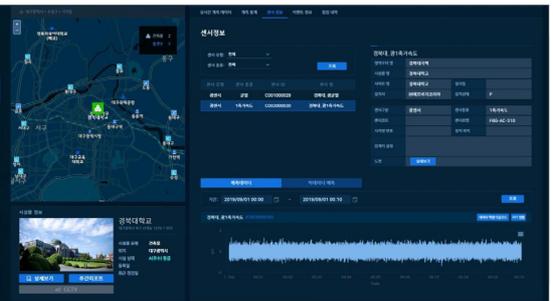
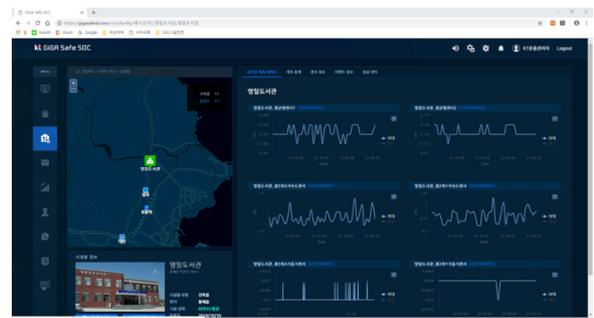


Figure 12. Measurement Data Query by Real-Time Sensor (실시간 센서종류 별로 계속데이터 조회)

센서에서 얻은 값을 분석한 결과가 심각단계에 해당되는 경우에는 학생은 시스템 상에서 위험지역을 인지할 수 있기 때문에 우회경로의 선택이 가능하게 된다. 한편, 학생들의 피난 과정에서 교직원들은 시스템을 이용하여 위험지역을 우회하여 학생들은 인솔하는 것 외에도 고위험지역에 대한 예측과 이에 따른 피난로 확보 등의 역할도 수행하게 된다. 반면 관리자는 시스템을 통해 수신하는 다량의 정보를 통해 2차 붕괴 위험지역을 통제하는 조치 등이 가능해 질 수 있다.

6. 결론

본 연구에서 노후학교 건축물 안전모니터링 시스템 구축을 위한 구조물 유형에 따른 안전 취약지점을 분석하고 관련 기준 분석을 통한 센서 성능 기준을 제시하였다. 이를 기반으로 노후학교 건축물 스마트 모니터링 시스템과 이를 활용한 단계별 행동매뉴얼체계를 구성하였다. 또한 대구 경북의 노후학교 건축물을 대상으로 KT와 공동으로 구축한 테스트베드를 통해 시스템 성능을 검증하였다. 이는 향후 전국의 노후학교 건축물의 실시간 통합안전관리 시스템 플랫폼 및 위험단계별 피난가이드라인을 구축하기 위한 기초연구로 활용될 수 있을 것이다. 특히 이러한 시스템이 노후학교 건축물의 정착과 동시에 기존에 학교시설에 대한 점검 및 피난 관련 매뉴얼의 정비가 가능할 것이다. 개발된 가이드라인의 경우 노후학교건축물의 구조적 취약성을 반영하지 못하고 있고 사용주체별 명확한 역할 지정 및 취약지점에 대한 사전인식이 불확실한 실정이기 때문에 시스템과 앱을 통한 행동요령 지시 및 붕괴위험 지역 안내는 피난시간과 안정성을 확보하는데 있어 큰 기여를 할 것이라고 사료된다. 다만 테스트베드를 구축한 기간이 길지 않아 구조물의 다양한 붕괴현상에 대해 충분한 데이터의 수집이 부족하여 향후 장기적인 데이터 확보와 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

1. National Disaster Management Institute, Development of integrated capacity evaluation technique of building considering their age-related deterioration and performance standards for monitoring sensors, 2015.
2. Korea Institute Of Construction Technology, Development of a wireless multiple-sensing system for safety monitoring of civil infrastructures, 2009.

3. Kim, Sunkook and Im, Hea Lin and Kim, Do Hyeong, Smart Buildings Diagnosis Management and Radio Communications, Architectural Institute of Korea, 60(11), pp.39-42, 2016.
4. Han, Min-Cheol, Trends in IT Convergence Technology for Safety Management of Buildings, KEIT PD Issue report, 13(2), pp.132-148, 2013.
5. Meteorological Administration, Standard Specification for Automatic Meteorological Observation Equipment, 2007.
6. National Emergency Management Agency, Standard for Installation and Operation of Earthquake Acceleration Measuring Instruments, 2013.
7. Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, Special Bridge Measurement System Installation and Operation Tips, 2016.
8. Song, Jin-Kyu and Hwang, Jae-Seung and Kim, Geon-Woo, and Song, Ho-Beom and Lee, Jae-Hyeok, Seismic Performance Evaluation and Seismic Retrofit of School Building Considering Deterioration, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 26(08), pp.3-10, 2010.
9. University of Seoul, Development of socio-economic seismic loss prediction models, Ministry of Public Safety and Security, 2015.
10. Choi, Se Hyu, Establishment of Smart Monitoring and Evacuation Guidance System, 2018.

접수 2019. 11. 22
 1차 심사완료 2019. 11. 26
 2차 심사완료 2019. 12. 10
 게재확정 2019. 12. 30