

센서를 이용한 실시간 시설물 안전관리 개선에 대한 사례연구

최수원¹ · 윤유상² · 임수상³ · 박용복⁴ · 서상욱^{5*}

¹가천대학교 건축공학과 석사과정 · ²(주)피엠피엠 연구소장 · ³시설안전교육원 연구소장 · ⁴시설안전교육원 원장 · ⁵가천대학교 건축공학과 교수

A Case Study on the Improvement of Real-Time Facility Safety Management Using Sensor

Choi, Suwon¹, Yoon, Yousang², Lim, Susang³, Park, Yongbok⁴, Suh, Sangwook^{5*}

¹Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Gachon University

²Chief Technology Officer, Crop.PMPgM.

³Chief Technology Officer, Facility Safety Education Institute

⁴Director, Facility Safety Education Institute

⁵Professor, Department of Architectural Engineering, Gachon University

Abstract : Presently, safety management of facilities is conducted as a site-oriented safety inspection, but depending on the facilities, there are difficulties in access to the site, and the cost and time of inspection are inefficient due to excessive reliance on human resources. Therefore, the necessity of sensor-based safety management is being raised to ensure the safety of the facility at all times, and various studies on sensor safety management are being conducted, but the research on verification of practicality is still insufficient. Therefore, the improvement points were presented through analysis of domestic and international studies, and additional processes for setting sensor attachment location and threshold were derived by analyzing the H city sensor safety management process, and practicality of sensor safety management was verified through sensor data measurement values. It is expected that efficient, sensor-based facility safety management will be possible if clear criteria and ongoing practicality verification for the additional processes presented in this study should be carried out in the future.

Keywords : Sensor, Safety Management, Facility, Practically

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1.1.1 연구의 배경

국내 시설물 안전관리는 현재 '시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법'을 통하여 관리하고 있으나, 삼풍백화점 붕괴, 사당종합체육관 붕괴, 용산구 노후건물 붕괴 등 연간 400건 정도의 시설물 붕괴 및 안전사고 등은 지속적으로 발생하고 있다. 국내 시설물 안전진단은 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 면밀한 외관조사 및 관련 장비로 필요한 측정과 시험을 실시하고 있

으나, 주요 구조체의 기울기, 침하, 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 철근 배근 상태 등을 점검하기에는 외부 마감의 문제와 점검하고자하는 시설물에 따라 현장접근의 어려움이 있으며(Yoon et al., 2020), 지나치게 인력에 의존한 점검으로 인명사고 발생 및 점검비용 및 점검시간이 과다하게 발생하고 있다(Lim et al., 2020). 또한, 현재의 시설물 안전점검에 관한 법적 규정은 주기적인 안전진단을 통해 시설물의 안전을 확보하고 있어, 시설물의 상시 안전성 확보의 어려움을 가지고 있다.

시설물의 상시 안전성 확보를 위하여 센서 및 모니터링 기술 개발은 지속적으로 시도되고 있다(Mingyuan Zhang et al., 2017; Lee, 2019; Lim et al., 2020; Park et al., 2020). 그러나 주로 기술에 대한 내용 또는 실험실에서 진행하거나 가상의 테스트베드를 활용하고 있어, 시설물 부착 시 내구성 및 신뢰도의 확인이 어려운 점이 있다(Maeng et al., 2018; Cho et al., 2019; Yeon et al., 2019).

이에 본 연구에서는 실제 사례연구를 통해 기존 연구에서

* **Corresponding author:** Suh, Sangwook, Department of Architectural Engineering, Gachon University, 1342, Seongnam-daero, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
E-mail: kicem@kicem.or.kr
Received July 16, 2020: **revised** -
accepted July 27, 2020

제시한 센서 기반의 시설물 안전관리의 개선방향을 검토하고 실제 적용과정에서 파악된 개선방향을 도출하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 센서 이용시 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 업무개선을 위하여 H시에서 실제 적용한 시설물 안전 점검 및 진단 사례에서 나타난 필요 기준들을 도출하고 개선 방향을 제시하고자 한다.

첫째, 센서기반 시설물 안전관리에 대한 문헌고찰을 실시하여, 기존 문헌에서 제시한 개선방향에 대해 분석한다.

둘째, 실제 H시 적용 사례연구를 통해 현재 안전점검 프로세스와 비교하여, 센서기반 시설물 안전관리 프로세스를 제시한다.

셋째, 센서기반 시설물 안전관리 프로세스 중 명확한 기준이 제시되지 않은 미기준 프로세스를 도출한다.

넷째, 데이터 계측 값 분석을 통하여 실용성 검증을 실시하고, 앞서 제시한 개선방향과 비교하여 앞으로의 개선사항을 제시한다.

2. 센서기반 시설물 안전관리 현황

2.1 제도 현황

2.1.1 안전점검 및 정밀안전진단

국내 시설물 안전관리는 ‘시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법’(이하, 시설물안전법)을 통해 관리하고 있으며, 시설물은 제7조 각호에 따른 제1종시설물, 제2종시설물, 제3종 시설물로 구분하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하고 있으며, 안전관리 업무는 다음 <Fig. 1>과 같다.

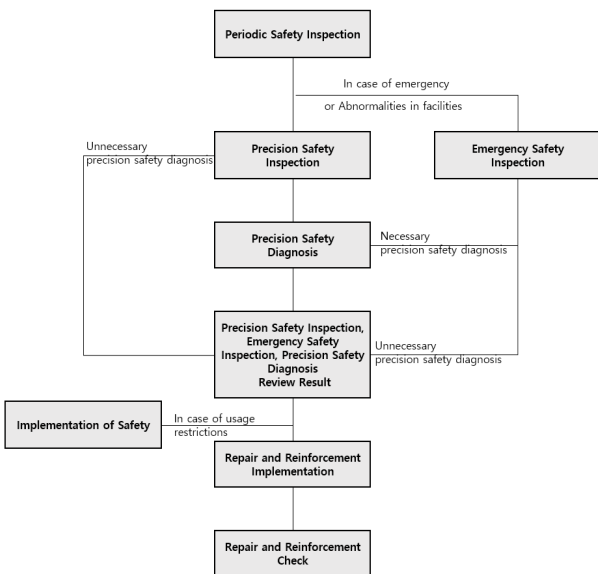


Fig. 1. Safety Management Flow Chart

안전점검은 경험과 기술을 갖춘 전문가가 육안이나 점검 기구 등으로 검사하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위를 말하며, 점검목적 및 점검수준을 고려하여 정기안전점검, 정밀안전점검 및 긴급안전점검으로 구분하며, 정밀안전진단은 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하고 그에 대한 적절한 조치를 위해 구조적 안전성과 결함의 원인 등을 조사·측정·평가하여 보수·보강 등의 방법을 제시하는 행위를 말한다. 안전점검 시기는 초기 시설물에 따라 안전등급을 매긴 후 실시하며, 내용은 다음 <Table 1>과 같다.

Table 1. Safety Inspection and Precision Safety Diagnosis

Safety Grade		A Grade	B-C Grade	D-E Grade
Periodic Safety Inspection		more than once a half-year		more than three times a year
Precision Safety Inspection	Building	more than once in four years	more than once in three years	more than once in two years
	Building Exterior	more than once in three years	more than once in two years	more than once a year
Precision Safety Diagnosis		more than once in six years	more than once in five years	more than once in four years
Performance Evaluation		more than once in five years		

시설물의 안전등급은 시설물의 상태에 따라 문제가 없는 시설물을 A, 보조부재 또는 주요부재의 경미함 결함이 있거나 간단한 보강을 요구하는 상태를 B·C, 주요부재에 결함으로 긴급하게 보수·보강을 하거나 개축이 필요한 시설물을 D·E로 등급을 나누어 안전점검을 실시하고 있다.

2.1.2 센서기반 시설물 안전관리 제도

최근 시설물이 복잡화, 대형화됨에 따라 단위시설의 사고가 지역의 대형재난으로 확산될 가능성이 있어 철저한 사전 예방 및 관리를 위해 국내 대형 시설물을 대상으로 다양한 센서 계측 및 모니터링을 수행하고 있으며(NDMI, 2015), 국외의 경우 최근 들어 시설물 관리 시 센서를 활용하는 방안 에 대한 연구들(Mingyuan Zhang et al., 2017; Zhen Liu et al., 2017; Amin Asadzadeh et al., 2020)이 증가하고 있지만, 국내와 마찬가지로 대형 시설물, 교량, 항만 등에 적용되고 있다. 그러나 다른 일반 시설물에 대해서는 아직 현장점검을 통한 육안검사 또는 현장에서 진단측정장비를 통해서 주기적으로 시설물의 안전 점검 및 정밀안전진단을 시행하고 있으며, 진단측정장비에 경우 ‘시설물안전법 시행규칙’ 「별표 5로」 정리하고 있지만, 센서와 관련된 내용은 없으며, 실제 활용시의 대한 적용 기준 및 관련 제도 또한 미흡한 실정이다.

2.2 연구현황

본 연구에서는 센서 활용시 시설물의 안전 점검 및 정밀 안전진단 업무개선을 위하여 현재 안전점검제도 및 시설물 안전관리시 센서적용에 대한 국내외의 관련 연구들에 대해 정리 및 센서기반의 안전관리 업무에 대한 한계점을 분석하였다<Table 2>.

다음의 연구현황을 분석한 결과 대부분의 연구에서 기존의 주기적인 점검보다는 센서를 이용한 실시간 안전점검의 필요성을 제안하고 있으며, Yoon et al., Park et al., Jo et al., Maeng et al. 의 경우 기존 현장점검 중심의 제도적 문제점과 앞으로의 제도 개선의 필요성을 제시하고 있으며, Lim et al., Kim et al., Lee., Yeon et al., Mingyuan Zang et al., Amin Asadzadeh et al.의 경우 시설물의 구조검사를 위한 센서의 성능개선 및 새로운 센서를 제시하였지만, 연구의 대부분이 가상의 시뮬레이션이나 연구실에서의 실험 등 실용성 검증을 위한 사례에 부족함을 나타내고 있으므로, 실제 적용한 사례를 통해 센서기반 안전점검에 대한 실용성 검증

이 필요하다.

이에, 실제 H시 사례를 통해 센서기반 시설물 안전점검 프로세스를 분석하고, 센서기반 시설물의 안전 점검 시 필요한 기준들을 도출하며, 현장점검 데이터와 센서 점검 데이터를 비교하여, 센서기반 안전점검에 대한 실용성을 검증하고 필요한 기준들을 제시하고자 한다.

3. H시 사례 검증

3.1 H시 사례 개요

본 연구에서 제시하는 센서를 활용한 안전 점검 및 정밀 안전진단 업무 개선을 위하여 2019년 진행한 H시 현장 센서 설치 사례를 통해 센서기반 안전관리 업무의 필요성과 실용성을 검증하였다.

다음 <Table 3>은 H시에서 진행한 12개 조사시설물과 각각의 센서 종류 및 수량에 대한 내용이다.

Table 2. Research Status and Review

Research title	Content	Review	Direction of Improvement
Maeng et al. (2018)	Proposing a USN-based structure safety management system and conducting experiments to review site applicability	The threshold has been set and data received in case of an abnormality in intensity, but the actual case review is insufficient	System Improvement
Jo et al. (2018)	Based on the comparative analysis of the case data of the precision safety inspection and precision safety diagnosis report issued by the Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, the improvement plan is derived through a survey of experts	Proposed improvements related to the system and law and required development of appropriate technological developments	
Park et al. (2019)	In order to ensure the safety of the building safety management system, the relevant statutes, building designation status, and disaster accident status are analyzed, focusing on inspection targets, inspection timing, and rating assessment	A study that analyzes the overall safety management system and presents problems and improvement measures to the current system, focusing on the system rather than sensors	
Yoon et al. (2020)	Analysis and improvement of problems in field measurement from a practical point of view of precision safety inspection and precision safety diagnosis through interviews and surveys	Although improvement measures are proposed for areas lacking during on-site inspection, they are dealing with on-site equipment	
Mingyuan Zang et al. (2017)	Analyzing the results of sensor-related research so far and discussing the future direction of sensor-based safety management development	Still, the development of sensor-based construction safety management lacks from theoretical research to practical use	Verification of Sensor Practicality
Lee (2019)	A Basic Study on the Safety Evaluation through Real-Time Measurement by attaching FGB Sensors to Underwater Parts for Damage Detection of Structures in Port Facilities	Threshold values have been set according to safety assessment grade for sensor reference, but lack of actual case review through virtual simulation in the laboratory	
Yeon et al. (2019)	Although various measurement equipment are used for safety inspection of medium and large bridge structures, most of them are inspected at a certain interval, and it is difficult to conduct continuous safety inspection, suggesting real-time safety inspection measures through sensors and drones	Presenting a displacement measurement sensor suggests the need for real-time measurement through sensors, but lacks consideration of actual application and institutional aspects	
Amin Asadzadeh et al. (2020)	Link sensor-based safety management system to BIM program for improvement of Australian safety management process	It presents the development direction of sensor-based safety management in conjunction with BIM, but further research on practical use is required	
Lim et al. (2020)	Using real-time sensing information for structures with heavy casualties and losses in the event of an accident, a variety of decision support models are presented through a pre-predictive service system rather than a post-accident response	Research aimed at developing sensing systems requires a review of institutional aspects and practical applications	
Kim et al. (2020)	Propose a new wireless measurement sensor network method and provide measurement sensor installation and maintenance plan	A case study of wireless instrumentation sensors has drawn up practical application measures, but actual application and verification are required	

Table 3. Survey Facilities and Sensor Amount







Facilities	Survey Facilities	Facilities Type	Senser Type	Amount	Sum
Building	A	Apartment	one-axis acceleration	1	9
			strain sensor X, Y	2	
			crack sensor	2	
			inclinometer sensor X, Y	1	
	B	Apartment	strain sensor X, Y	2	10
			crack sensor	3	
			inclinometer sensor X, Y	1	
			temperature sensor	1	
	C	School	inclinometer sensor X, Y	3	10
			wire displacement	3	
			temperature sensor	1	
	D	School	Inclinometer sensor X	4	9
Inclinometer sensor Y			3		
crack sensor			2		
E	Traditional House	inclinometer sensor X, Y	2	9	
		crack sensor	4		
		temperature sensor	1		
Civil Structure	F	Water Purification Plant	inclinometer sensor X, Y	2	5
			temperature sensor	1	
G	Water Purification Plant	inclinometer sensor X, Y	3	7	
		temperature sensor	1		
Bridge	H	Tunnel	inclinometer sensor X, Y	2	8
			crack sensor	2	
			strain sensor	2	
	I	Bridge	strain sensor	4	6
			temperature sensor	1	
			crack sensor	1	
	J	Bridge	strain sensor	6	8
			temperature sensor	1	
			one-axis X acceleration	6	
	K	Bridge	strain sensor	6	8
			temperature sensor	1	
			one-axis X acceleration	1	
L	Bridge	strain sensor	8	12	
		crack sensor	1		
		temperature sensor	2		
		one-axis X acceleration	1		

건축물과 상수도 및 교량에 해당되는 12개의 시설물에 설치하였으며, 다음 <Table 4>는 각각의 센서에 대한 설명을 나타내고 있다.

센서는 가속도센서, 경사계, 균열센서, 와이어 변위계, 변형률계를 사용하였으며, 가속도계는 물리적 변화에 따른 외부 진동을 측정하였고, 균열센서를 통해 시설물의 균열 정도를 파악하며, 변형을 관측하기 위해 경사계, 와이어 변위계, 변형률계를 사용하여 측정하였다.

센서의 설치장소는 현장실사를 통해 균열 및 변형 등 시설물의 안정 상태가 취약한 곳에 설치하였으며, 무선센서 및 광센서를 통해 시설물의 계측을 진행하였다.

Table 4. Sensor Type and Characteristic

Sensor Type	Sensor Shape	Characteristic
acceleration sensor		<ul style="list-style-type: none"> Detection of physical changes in a structure Converts vibrations to electrical signals
inclinometer sensor		<ul style="list-style-type: none"> Installation on structures, retaining walls, piers, etc. Measure the slope due to unequal subsidence
crack sensor		<ul style="list-style-type: none"> Static and dynamic measurements can be used simultaneously Measurement of cracks on concrete surface or displacement of structure
wire displacement		<ul style="list-style-type: none"> Small and lightweight, convenient installation Measurement of the length displacement of a structure or slope
strain sensor		<ul style="list-style-type: none"> Not only cured condition but also strain can be measured during curing process Strain measurement is possible at high altitude
temperature sensor		<ul style="list-style-type: none"> measure the temperature change inside and outside of a structure Long-term temperature changes and both concrete structures can be measured

3.2 H시 시설물 안전 점검 및 정밀안전진단 업무 프로세스 분석

현재 국내 안전관리는 국토교통부와 한국시설안전공단에서 제공한 '시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침'에 따라 안전관리 업무를 진행하고 있으며, 안전관리 방법에 대한 업무 프로세스를 분석한 결과 각각의 안전점검은 세부적인 내용에서는 약간의 차이를 나타내고 있지만, 크게 사전검사, 현장조사, 시설물평가, 결과보고의 형식으로 이루어져 있다.

사전검사는 시설물에 대한 도면검토, 과거 진단 결과 등 사전조사를 실시하며, 현장조사의 경우 우선적으로 육안으로 실시하며, 정기안전점검은 구조물의 외관에 한해서 조사하지만, 정밀안전점검은 육안과 진단측정장비를 통해 외관 및 현장에서 간단한 재료시험을 동시에 실시한다. 시설물 평가의 경우 정밀안전점검은 상태평가까지 실시하며, 정밀안전진단은 상태평가 및 안전성평가를 동시에 진행하며, 센서의 상태평가는 경우평가 결과보고에 따라 보수 및 보강, 유지관리 방안 등을 제시하고 있지만, 현재의 안점 점검 및 정밀안전진단은 우선적으로 주기적으로 이루어지기 때문에 점검이 필요하지 않을 시 불필요하게 인력이 투입되어야 하며, 육안과 현장에서 사용하는 진단측정장비로는 균열 및 변위 등에 대한 발생원인 파악이 어렵다는 단점이 있다.

불필요한 인력의 투입 문제 및 상시에 안전상태 파악을 통한 센서기반 안전관리 프로세스 제시를 위하여, H시에서

진행한 센서기반 안전점검 사례를 분석하였고, 이를 통해 새로 제시된 업무 프로세스 및 아직 기준이 정해지지 않은 미기준 사항을 도출하였다(Table 5).

Table 5. Analysis of Sensor Safety Inspection Process through H-Case

Task	Contents	Before attaching a sensor	After attaching a sensor
Pre-Survey	Facility drawing review	0	-
	Review existing checks	0	-
	Review of inspection items of major components	0	-
	Review of diagnostic inspection data	0	-
Field Survey	Exterior inspection of facilities	0	-
	Exterior inspection of major components	0	-
	Field material test	0	-
	Locate the sensor	-	0
	Threshold reference setting	-	0
Facility Evaluation	Analysis of appearance survey results	0	-
	Analysis of field material test results	0	-
	Sensor instrumentation data analysis	-	0
	Facility condition and safety assessment	0	0
Report	Repair and reinforcement plan	0	0
	Facility maintenance plan	0	0
	Preparation of an on-site inspection result report	0	-
	Completing the sensor inspection results report	-	0
	Judgment of prohibition of use	0	0

분석결과 우선 센서부착 전에는 사전조사와 현장조사의 과업이 많은 부분 차지하지만 센서부착 후 안전점검을 할 경우 사전조사와 현장조사의 과업이 줄어드는 것을 확인하였으며, 기존의 업무 프로세스에서 현장조사시 균열 및 변위가 발생하거나, 발생 가능성이 높은 곳을 조사하여 센서의 부착위치를 파악하고, 시설물의 평가를 위하여 임계치 값을 선정하여 시설물의 안전성을 평가하는 센서설치 업무 프로세스가 추가됨에 따라, 센서 부착위치 파악 및 임계치 설정 2가지의 미기준 사항이 도출되었다.

H시 사례에서 센서의 부착위치의 경우 사전점검시 도면에 대한 파악 및 현장조사시의 육안점검을 통하여 구조적으로 취약하거나 균열 및 변위가 많이 발생한 주변으로 센서를 부착하였으며, 경사계, 균열계, 가속도계 각각의 임계치 기준 값은 국토교통부 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침

을 통해 임계치 값을 설정하였다(Table 6).

Table 6. Set Standard Value by Sensor Type

Sensor Type	Standard Value	Detailed Guideline
strain sensor	1/300 (0.191)	<ul style="list-style-type: none"> Limit that the partition wall is expected to crack for the first time Limits of expected difficulty in working on high-priced cranes
crack sensor	0.1~0.3mm (B Grade)	<ul style="list-style-type: none"> Surface damage area of less than 2% such as stripping, stripping, material separation, and white coating
acceleration sensor	1/500	<ul style="list-style-type: none"> Data standards for accelerometers are discussed by agencies Apply 1/500 at H.

센서별 임계치 기준에 따라 센서 계측 결과치를 관심, 주의, 경계, 심각 4단계로 나누고, 2곳 이상의 계측기에서 경계, 심각한 경우 경고 알림을 통해 담당자에게 보고하여 위험관리를 진행하였다.

3.3 H시 센서 데이터 점검 결과

H시 센서 데이터는 2019년 9월부터 측정하여 현재까지 시설물들의 계측 값을 측정하였으며, 다음 <Fig. 2>는 시설물 종류별 등급 발생 현황을 나타낸 그래프이다.



Fig. 2. Class Statistics by Facility Type

현재까지 총38,339건의 이벤트가 발생하였으며, 시설물 현황별로 건축물은 38,148건이 발생하였으며, 교량은 187건, 상수도는 4건이 발생하였다. 건축물에서 가장 많은 이벤트가 발생하였으며, 담당자에게 경고알림이 가는 경계 및 심각 등급의 이벤트가 다른 시설물에 비하여 많이 발생하였으며, 2020년 5월, 6월에 집중적으로 이벤트가 나타남을 확인했으며, 이에 총 12개의 시설물 중 이벤트의 빈도수가 높은 건축물인 A와 D의 데이터를 이벤트가 집중적으로 발생한 2020년 5월 데이터를 기반으로 분석하였다.

3.3.1 A Facility

A의 경우 2019년 6월 24일 현장점검 및 평가를 실시하여

시설물 상태평가에서 A등급의 안전등급을 맞았으며, 다음 <Fig. 3>은 현장조사에 따른 A의 센서 부착위치를 나타낸 도면이다.



Fig. 3. A Facility Sensor Location

A는 현장조사에서 1축가속도 1개, 변형률센서 X, Y 2개소, 균열센서 2개소, 경사계센서 X, Y 1개소 총 9개의 센서를 부착하여 안전점검을 실시하였다.

점검결과 모든 이벤트들이 5월에 집중적으로 발생하였으며, 5월에 발생한 5,446건의 이벤트 중 균열센서에서 5,429건이 발생하였고, 1축가속도계에서 17건의 이벤트가 발생하였으며, 2개의 균열계에서 관심 및 주의단계가 29건, 경계단계가 2,327건, 심각단계가 3,070건이 발생했고, 가속도계에서는 관심 및 주의가 13건 경계 2건, 심각 2건이 발생하였다. 다음 <Table 7>과 <Fig. 4>는 균열계 및 가속도계의 임계치 단계 및 기준 값과 경고알람이 발생한 경계, 심각 단계의 발생량과 각각의 데이터 값이다.

Table 7. A Facility Threshold Steps and Standard Value by Sensor

Sensor Type	Threshold Steps	Standard Value	Amount
crack sensor 1	interest	0.013 ~ 0.027	-
	warning	0.027 ~ 0.054	-
	Danger	0.054 ~ 0.082	2,327
	Serious	more than 0.082	3,070
crack sensor 2	interest	0.139 ~ 0.167	-
	warning	0.167 ~ 0.22	-
	Danger	0.22 ~ 0.279	-
	Serious	more than 0.279	-
one-axis acceleration sensor	interest	0.0088 ~ 0.01	-
	warning	0.01 ~ 0.014	-
	Danger	0.014 ~ 0.017	2
	Serious	more than 0.017	2

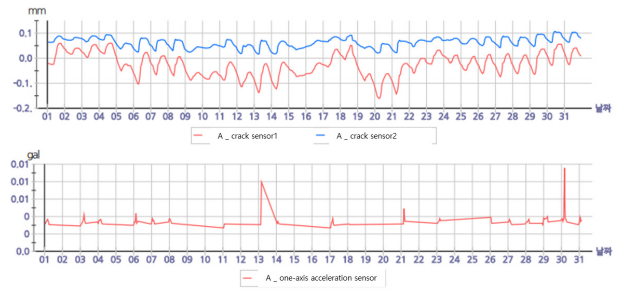


Fig. 4. Crack Sensor and One-Axis Acceleration Sensor Measurement Value

<Fig. 4>와 같이 센서 계측 값은 균열센서1의 경우 0.05~0.05를 넘어가는 데이터 값이 많이 발생하여 경계 및 심각 단계 수준이 많이 발생하였으며, 균열센서2는 0.1의 값을 넘는 데이터 값이 30, 31 주변에 많이 발생하여 관심 수준에 단계에 계측 값이 발견되었다. 가속도계의 경우는 13~14일, 30~31일 사이에 경계 및 심각 단계 수준의 데이터 값이 계측되었다.

3.3.2 D Facility

D의 경우 2019년 6월 24일 현장점검 및 평가를 실시하여 시설물 상태평가에서 A등급의 안전등급을 맞았으며, 다음 <Fig. 5>는 현장조사에 따른 D의 센서 부착위치를 나타낸 도면이다.

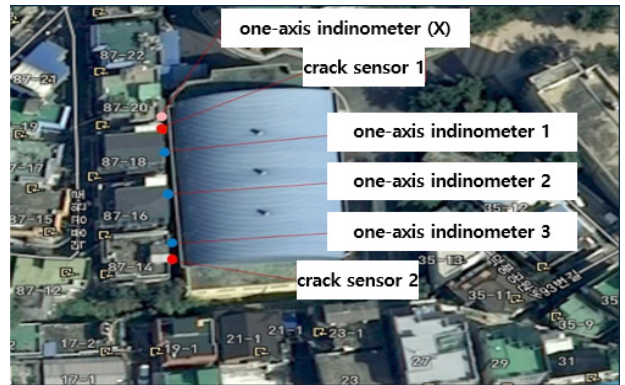


Fig. 5. D Facility Sensor Location Measurement Value

D는 1축 경사계센서 X 1개소, 2축 경사계센서 X, Y 3개소, 균열센서 2개소 총 9개의 센서를 설치하였다.

점검결과 A와 동일하게 5월에 이벤트들이 집중되었으며, 총 3,455건이 발생하였으며, 2축 경사계 Y축-3 1개소에서 관심 및 주의 단계가 4건 경계단계가 68건 심각단계가 3,383건이 발생하였다. 다음 <Table 8>은 2축 경사계 Y축-3의 임계치 단계 및 기준 값과 경고알람이 발생한 경계, 심각 단계의 발생량을 나타내고 있다.

Table 8. D Facility Threshold Steps and Standard Value by Sensor

Sensor Type	Threshold Steps	Standard Value	Amount
two-axis inclinometer Y-axis(3)	interest	0.0175 ~ 0.035	-
	warning	0.035 ~ 0.07	-
	Danger	0.07 ~ 0.105	68
	Serious	More than 0.105	3,383

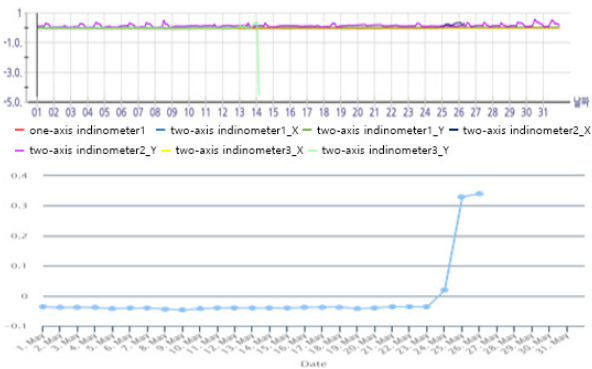


Fig. 6. Total Inclinometer Sensor and Two-Axis Inclinometer Sensor Y-Axis(3) Measurement Value

위에 <Fig. 6>는 전체 경사계의 계측 값과 경계 및 심각 단계가 발생한 2축 경사계 X축-2의 그래프를 나타내고 있다. 그림과 같이 25일, 26일 사이에 계측 값이 경계 및 심각단계의 임계치 기준 값을 넘어서는 데이터의 값이 계측되었다.

3.3.3 A와 D 센서 데이터 분석

A와 D 시설물에 5월 발생한 센서 데이터에 대한 분석 결과 A에서는 5,446 건이 발생하였고 그 중 5,401건의 경고알림이 발행하였으며, D에서는 3,455건이 발생하였고 그 중 3,451건의 경고알림이 발생하였다.

경고알림이 발생하는 경우는 센서의 변위 및 균열 등으로 발생하거나, 기계의 오작동일 경우 주로 발생하게 된다. A와 D에 대한 경고알람 발생시 출동결과 시설물의 변위와 균열에 대한 센서 알람은 발생하지 않았으며, 기계의 오작동으로만 경고알람이 발생하였다. 기계의 오작동으로 경고알람이 발생한 원인은 기계 내부의 고장이 발생하거나 센서가 부착된 주변 주민들이 건드리거나, 기상상황 등 외부적인 요인들에 인하여 발생하였다. 그러므로, 센서 성능 및 내구성 개발과 지속적인 실용성 검증을 통해 내·외부에서 발생하는 요인들에 대한 피해를 줄여줄 수 있는 연구와 균열 및 변위의 심각성을 정확하게 판단 가능한 임계치 기준이 필요하다.

3.4 시설물 안전관리 개선방향 도출

기존 연구문헌에서 시설물 안전관리 개선방향으로 도출된 제도개선과 센서의 실용성 검증과 관련하여 H시 사례를 기반으로 확인된 내용은 다음과 같다.

현재 주기적인 인력투입과 현장점검 중심의 시설물 안전관리 방식에서 센서 기반의 안전점검을 통한 실시간 안전점검의 실용가능성을 H시 사례를 통해 확인하였다. 또한 센서에서 계측된 값을 통해 균열 및 변위의 원인에 대한 파악이 가능하여 향후 시설물 안전관리에 요구되는 현장업무를 대폭 감소할 수 있음을 확인하였다.

시설물 안전관리를 위한 센서의 성능개선과 관련된 연구에서 대부분 제시한 실용성 문제는 본 논문에서 제시한 사례 외에 다수의 지자체에서 현재 적용을 논의 중인 것으로 확인되어 개선될 수 있을 것으로 판단된다. 단, 센서의 외부적인 요인들에 인한 고장을 최대한으로 줄이기 위하여 센서의 부착위치와 명확한 임계치 기준 설정을 위한 지속적인 연구가 필요하다.

4. 결론

국내 시설물에 대한 안전관리의 중요성이 점차 커지고 있으며, 그에 따라 현재의 주기적으로 인력을 투입하고 있는 방법에서 실시간으로 상시 안전점검이 가능한 센서를 활용한 안전관리에 대한 연구들이 진행되고 있지만, 실용성에 대한 검증이 부족한 경우가 많았다.

본 연구에서는 센서기반 안전점검시 실용성의 검증을 위하여 H시에서 활용한 센서기반 안전점검 사례를 통하여 센서기반 안전점검 프로세스를 분석하여 명확한 기준이 필요한 미기준 프로세스를 도출하고, 현장 적용시에 실용성에 대한 검증을 진행하였다. 이상의 연구에 따른 결론은 다음과 같다.

첫째, 센서기반 시설물 안전관리에 대한 문헌고찰을 분석한 결과 센서의 기능, 센서를 활용한 안전점검의 필요성에 대한 연구는 진행되고 있지만, 실제 사례를 통한 실용성에 검증이 필요하다고 분석되었다.

둘째, 실제 H시 적용 사례연구를 통해 센서기반 안전점검 프로세스를 분석한 결과, 사전조사와 현장조사 시의 구조물의 현장에서 실행하는 현장점검 부분과 재료시험 등의 부분이 축소되고, 센서 부착위치 및 임계치 설정에 대한 프로세스가 추가되었다.

셋째, 센서 점검에 대한 데이터 분석을 통하여 센서의 수치변화는 발생하였으나, 출동 결과 기계의 오작동으로 인한 경우가 전부였다.

넷째, 기존 연구에서 제시된 개선방향 분석 결과 현재의 현장점검 중심의 안전점검 방법에서 센서를 통한 상시 안전점검의 개선 가능성을 확인하였으며, 센서의 성능점검과 실용성 검증에 대하여 H시 사례를 통하여 검증에 대한 부분은 만족하였으나, 명확한 센서 부착위치 기준 및 임계치 기준은

지속적인 연구가 필요하다는 결과를 제시하였다.

본 연구에서는 센서를 활용한 안전점검시 실용성 검증을 실시하여 현재의 현장중심의 안전점검에서 센서기반의 상시 안전점검에 가능성을 제시하였으나, 아직 센서를 이용한 안전점검시 기준이 정해지지 않은 부분들에 대하여 제도적인 기준 수립이 필요하며, 기계의 오작동을 최소화 할 수 있는 센서의 부착위치와 균열 및 변위의 심각성을 명확하게 확인할 수 있는 임계치 기준에 대하여 지속적인 연구가 진행된다면, 주기적으로 불필요하게 인력을 투입해야 하는 현재의 안전점검 방법에 대하여 상시점검을 통한 필요시에 인력투입을 통하여, 효율적인 안전점검이 가능할 것으로 판단된다.

References

- Amin Asadzadeh., Mehrdad Arashpour., Heng Li., Tuan Ngo., Alireza Bab-Hadiashar., and Ali Rashid. (2020). "Sensor based safety management." *Automation in Construction.*, 113, pp. 1-16.
- Kim, J.H., Park, W.J., Park, J.O., and Park, S.H. (2020). "LoRa LPWAN-based Wireless Measurement Sensor Installation and Maintenance Plan." *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea.*, 33(1), pp. 55-61.
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) (2016). Structural safety inspection, Structural maintenance, ICT technologies, Sensing technologies, Test beds. Infrastructure R&D Report, 2016-04.
- Maeng, J.S., and Kim, I.H. (2018). "Wireless Sensor Network for Health & Safety Monitoring of Small Sized Structures." *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 67(8), pp. 1099-1105.
- Mingyuan Zhang., Tianzhuo Cao., and Xuefeng Zhao. (2017). "Applying Sensor-Based Technology to Improve Construction Safety Management." *Sensors (Basel).*, 17(8), pp. 1-24.
- Park, H.Y., and Yi, W.H. (2019). "Proposed Improvements to the Safety Inspection System : An Analysis of the Current Status of Building Disaster Accidents and Safety Inspection Systems." *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 19(5), pp. 11-21.
- Yeon, S.H., Kim, J.S., and Yeon, C.H. (2019). "A Study on the Safety Monitoring of Bridge Facilities based on Smart Sensors." *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 22(2), pp. 97-106.
- Yoon, J.H., Keong, W.N., and Jang, M.H. (2020). "Improvement of Incomplete Full Safety Inspection and Precise Safety Examination for Buildings." *J. of Advanced Engineering and Technology*, 13(1), pp. 7-14.
- Lee, H.S. (2019). "A Study on the Safety Evaluation of the Landing Pier Structure Using FBG Sensor." *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 23(2), pp. 44-50.
- Lim, J.S, You, S.B., Cho, S.J., Park, B.H., Kim, Y.S., and Jang, J.W. (2020). "Based on Intelligent Wireless Sensing System for Safety of Urban Facilities." *Journal of KIIT*, 18(1), pp. 143-156.
- Jo, W.R., Yoon, M.H., and Cho, B.H. (2018). "A Study on the Improvement of Techniques and Institutions according to Case-study of Building Safety Inspection and Detailed Safety Diagnosis." *J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc.*, 9(4), pp. 80-94.

요약 : 현재 국내 시설물 안전관리는 현장 중심의 안전점검으로 실시되고 있으나, 시설물에 따라 현장접근의 어려움이 있으며, 지나치게 인력에 의존하고 있어 인명사고 발생 및 점검비용과 시간이 많이 들고 있다. 이에 시설물 상시 안전성 확보를 위하여 센서기반의 안전관리의 필요성들이 제기되고 있으며, 센서 안전관리에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있으나, 실용성 검증에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국내외 연구들에 대한 분석을 통해 개선점을 제시하였고, H시 센서 안전관리 프로세스를 분석하여 센서부착 위치 및 임계치 설정에 대한 추가 프로세스를 도출하였으며, 센서 데이터 계측 값을 통하여 센서 안전관리의 실용성 검증을 실시하였다. 향후 본 연구에서 제시한 추가 프로세스에 대한 명확한 기준 및 지속적인 실용성 검증을 실시한다면, 센서기반의 효율적인 시설물 안전관리를 실시할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 센서, 안전관리, 시설물, 실용성
