

건설현장의 추락재해 감소를 위한 스마트 안전장비를 활용한 USN 활용 안전관리의 적용에 관한 연구

남옥진*†

The Study on the Application of the Safety Management Utilizing USN Using Smart Safety Equipment to Reduce Falling Accident on Construction Sites

Wook Jin Nam*†

†Corresponding Author

Wook Jin Nam
Tel : +82-55-771-8325
E-mail : nwj0308@kistec.or.kr

Received : September 11, 2020

Revised : October 15, 2020

Accepted : October 21, 2020

Copyright©2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : The domestic construction industry is becoming larger, high-rise and specialized. However, safety consciousness is still staying in low levels and falling accidents are apt to rise compared to other industries. So, the new way of safety management is required for reducing of the construction falling accidents. In this paper, we evaluate appropriateness of safety management on construction sites utilizing USN using smart safety equipment. Thus, we calculate loss costs of falling accidents considering accident rates and costs of the USN using smart safety equipment installation then compare both calculated costs. This research aims to propose the method for reduction of construction accidents in addition to conventional safety control methods by analyzing the propriety of applying USN using smart safety equipment on construction sites.

Key Words : ubiquitous sensor network(USN), falling accident, loss cost of accident

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 건설 산업재해자는 매년 증가하는 추세에 있으며, 2019년 건설업 사고재해자수는 2만 5천 298명으로 모든 산업재해자의 27%에 해당한다¹⁾. 건설재해로 인한 경제적 손실비용도 2009년 기준으로 5조 4천억 원으로 해마다 증가하고 있다²⁾. 건설 산업재해 가운데 추락에 의한 사망 재해자수가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 건설업 전체 사망 사고재해자 428명 중 추락재해 사망 재해자는 265명으로 절반을 차지하고 있다¹⁾. 이는 영국, 싱가포르 등 선진국과 비교할 때, 우리나라 건설 산업의 추락사망률을 비롯한 사망만인율은 5배에서 최대 10배로 상대적으로 높은 것으로 나타났다³⁾.

이에 고용노동부를 비롯한 정부는 안전조치를 소홀히 하여 추락사고가 발생한 현장에 대해서는 산업안전보건법 개정 등을 통해 행정적 제재 강화 등 추락 재해를 감소시키기 위해 노력을 하고 있다⁴⁾. 또한 국토교통부는 2022년 건설현장 추락사고 사망자 50% 감축을 목표로 건설현장 추락 방지 종합대책을 수립하는 등 안전문화 확산 사업을 전개하여 안전의식을 고취시키고 재해로 인한 손실을 줄이기 위해 노력하고 있지만³⁾, 기존의 안전관리 방법만으로는 추락재해를 예방하는데에 한계가 있다.

이처럼 매년 증가추세에 있는 추락재해를 감소시키고 기존 안전관리 방법을 개선하기 위해 건설현장 추락 방지 종합대책 일환으로 제정된 “공공공사 추락사고 방지에 관한 지침”⁵⁾에서 제시한 스마트 안전장비를 활용한 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 건

*경상대학교 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University)

설 분야에 접목하려는 연구가 시도되고 있다. 하지만 스마트 안전장비를 활용한 USN을 통한 건설현장 안전관리는 설치비용 산출에 대한 어려움과 현장 적용 가능한 기술 부족 등으로 인해 현장 적용은 아직 이루어지지 않는 실정이다⁶⁾. 따라서 증가추세에 있는 추락재해를 감소시키기 위한 노력과 더불어 적은 인력으로 현장 안전관리를 수행하는 기존 안전관리 방법을 보완할 수 있는 안전관리가 필요하다. 그리고 스마트 안전장비를 활용한 USN 적용으로 발생할 수 있는 비용적인 부분과 설치 타당성을 파악할 수 있는 방법을 보여줌으로써 기존 연구를 보완하고, 스마트 안전장비를 활용한 USN의 현장 적용 활성화를 위한 연구가 요구된다.

이에 본 연구에서는 증가추세에 있는 추락재해를 감소시키기 위한 스마트 안전장비를 활용한 USN의 현장 적용 시 설치 타당성을 파악할 수 있는 방법을 도출하고, 가상의 현장을 대상으로 USN 현장 구축으로 인한 비용적인 손실/이익에 대한 경제적 타당성을 분석하였다. 이와 같은 방법과 분석결과를 통해 추락재해 감소를 위한 현장 안전관리에 스마트 안전장비를 활용한 USN 적용 고려 시 설치 타당성을 파악하는데 도움을 줄 수 있다. 또한 스마트 안전장비를 활용한 USN을 활용한 안전관리를 통해 작업자가 위험작업 시 위험요소를 실시간 모니터링함으로써 건설현장 작업자의 안전사고를 사전에 예방하고 추락재해자 감소에 기여할 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범의 및 절차

본 연구에서 제안한 스마트 안전장비를 활용한 건설현장 안전관리 방법은 건설 재해의 많은 부분을 차지하는 철근 콘크리트 공사 시 발생하는 추락 사망재해를 대상으로 하였으며, 다음과 같은 절차로 연구를 수행한다.

첫째, 스마트 안전장비를 활용한 USN에 대한 개념을 파악하고, 이를 활용한 건설현장 안전관리에 대한 관련문헌 조사 및 문제점을 분석하여 이를 해결하기 위한 방법을 도출한다.

둘째, 추락재해 손실비용을 분석하고, 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장적용 비용에 관련된 자료는 시장조사와 전문가 자문을 통해 관련 자료를 파악한다.

셋째, 스마트 안전장비를 활용한 USN을 활용한 안전관리를 가상의 현장에 적용한다고 가정하고, 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 적용 고려 시 설치 타당성을 분석하기 위한 방법을 도출하고, 선정된 가상의 현장을 대상으로 설치 타당성을 파악한다.

2. 기존 문헌 고찰

국가 전 산업에 걸쳐 많은 분야에서 활용되고 있는 유비쿼터스는 건설 산업에도 현장관리 측면에서 기존 관리방식에 많은 변화를 가져오고 있다⁷⁾. 스마트 안전장비를 활용한 USN을 활용한 현장 관리는 자재관리, 품질관리, 계측관리 등 생산성향상 및 프로젝트 비용 절감을 위한 적용 및 연구 측면에서 활발히 진행되고 있다. 하지만 적은 인력으로 현장 안전관리를 수행하는 기존 안전관리의 어려움을 보완하고 건설재해 감소를 위한 스마트 안전장비를 활용한 USN의 현장적용에 대한 연구 및 적용은 아직 미비한 실정이다.

Table 1에서 보는 바와 같이 김군태⁸⁾는 건설재해 유형파악을 통해 스마트 안전장비를 활용한 USN 적용 방안을 도출하였고, 이재현⁷⁾과 권순욱⁹⁾은 건설재해 최

Table 1. Preceding research analysis

Author (Year)	Content
J.H.Lee. (2006)	Proposal to use advanced RFID/USN technology to identify the seriousness of construction disasters and reduce construction accidents that occur during large-scale construction in urban areas
S.W.Kwon. (2006)	Proposed wireless sensor network technology as a major technology that can be used for on-site material, personnel, and safety management
J.H.Kim. (2007)	Apply the prototype of the existing safety management equipment to prevent fall accidents on the actual site to understand the applicability and propose the optimal sensor for falling accident prevention through experiments
K.T.Kim. (2009)	Analyzes the factors for the occurrence of construction accidents, and proposes on-site application plans of USN technology through review of the possibility of grafting existing safety management methods and USN technology
Y.B.Sa. (2011)	Through the analysis of the cost of fall accidents in the domestic construction industry, the cost and effect of the fall disaster prevention measures are expressed in monetary values, focusing on how much the newly introduced preventive measures can be reduced.
T.Y.Lee. (2011)	In the event of a disaster, the cost of loss is quantitatively calculated in advance and compared with the cost of safety investment to reduce the loss, and the proposed method is used as basic data for decision-making of safety investment.
Y.I.Jeon. (2018)	Proposes the criteria for calculating the cost of disaster loss due to a major accident, and proposes a method for estimating the cost of disaster loss by reviewing the validity of these items.
Huang and Hinze (2003)	Proposed measures for effective safety management and reducing falling accidents through analysis of major factors that cause falling accidents
Abderraghim (2005)	Developing a system to manage access to dangerous areas by regularly checking the location and ID of each worker by attaching RFID tags and speakers to the helmet

소화를 위해 스마트 안전장비를 활용한 USN을 통한 안전관리 방법을 제시하였다. 김주현¹⁰⁾과 Abderraghim¹¹⁾과 같이 현장 적용이 가능한 센서를 제시하는 연구가 진행되었지만, 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 적용 부재 및 관련 비용 파악의 어려움 등으로 스마트 안전장비를 활용한 현장적용 타당성을 파악하기에는 부족한 면이 있으며, 이로 인해 스마트 안전장비를 활용한 USN을 통한 안전관리에 관한 연구는 미비한 실정이다. 그리고 사영재¹²⁾과 이태영¹³⁾은 건설재해 손실비용을 다양한 관점에서 파악하고 있지만, 실제 건설재해 발생 시 소요되는 경제적 손실액에는 산재보험에서 지급하는 보상비 외에 회사에서 지급하는 합의금과 현장 복구비 등이 포함되어 있지 않기 때문에 정확한 재해 손실 비용을 파악하기에는 어려움이 있다.

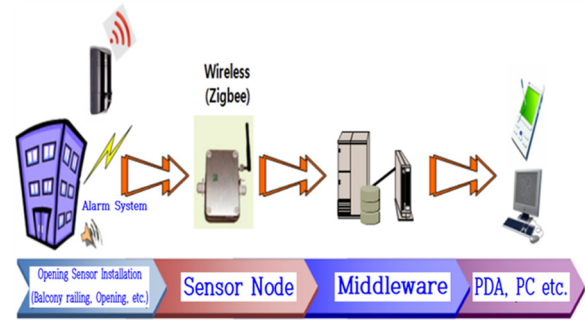
3. 추락재해 손실비용과 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축비용의 분석

3.1 개념 파악 및 분석절차

재해손실비용이란 인적상해를 수반하는 재해에 의해서 생기는 여러 가지의 손실비용을 말한다¹⁴⁾. 비용평가 방식에는 여러 가지 방식이 있으나, 건설현장 특성상 사고로 인한 물적 손실 및 생산 손실 등 재해로 인한 손실비용에 대한 체계적인 산정기준이 없어 고용노동부를 포함하여 대부분의 기관에서는 간접비용 산정시 하인리히방식을 채택하여 직접비의 4배를 적용하여 간접비를 산정하고 있다¹⁵⁾. 이에 안전보건공단은 재해로 인한 손실비용을 중심으로 재해손실비용 항목을 직접·보험비용과 간접·비보험비용으로 구분하고 회사손실비용에 사회와 개인의 손실비용항목을 추가한 재해손실비용 산출기준을 제시하였다¹⁶⁾.

USN이란 유비쿼터스(Ubiquitous)와 무선센서네트워크를 융합한 개념으로, 센서를 이용하여 사물 및 환경 정보 등과 네트워크를 구성하고, 실시간으로 사물의 정보를 획득하고 통제할 수 있는 환경을 구축하는 것을 말한다¹⁷⁾. 이것은 사람의 접근이 불가능한 취약지구에서 센서 네트워크 노드를 설치하여 사람이 감시하는 것과 마찬가지로의 역할을 한다¹⁸⁾.

이와 같은 스마트 안전장비를 활용한 USN 기술을 본 연구에서 선정된 가상의 현장에 적용하기 위해서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 발코니 난간, 개구부 등 위험지역을 선정하여 적정 위치에 센서를 설치한다. 설치된 센서를 통해 작업자가 위험지역을 일정거리 이상으로 접근 할 경우 경고음이 발생하여 작업자에게 위험성을 인지시키고, 동시에 수집된 정보를 무선



* Zigbee : As one of the IEEE 802.15.4 standards supporting short-range communication, it is used for short-range communication of about 10 to 30m, and is a technology for realizing low speed, low price, and low power consumption based on a low data rate.

Fig. 1. Network architecture.

센서 네트워크 기능을 가진 Zigbee를 통해 센서노드로 전달된다¹⁹⁾.

센서노드는 각각의 사물정보 및 환경정보 등 필요한 데이터를 수집하고 이렇게 수집된 데이터를 처리하여 서로간의 무선통신을 통해 미들웨어에 전송하게 되고 최종적으로 사용자의 PC, PDA 등의 단말장치를 통해 작업자의 위험지역 접근을 관리할 수 있는 모니터링이 가능하다²⁰⁾. 이렇게 수집된 정보를 관리자가 확인하여, 작업자의 위험지역 접근을 파악할 수 있으며, 적은 인력으로 현장을 관리하는 기존 현장 안전관리 방법의 어려움을 일부 해결할 수 있다. 위험지역에서 작업이 필요할 경우 센서를 부분적으로 차단하고, 충분한 안전조치 후 작업이 이루어 질 수 있도록 관리할 수 있으므로 스마트 안전장비를 활용한 USN을 통한 안전관리로 추락재해를 감소시킬 수 있을 것이다.

추락재해 손실비용과 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축비용의 산출을 위해 Table 2에서 보는 바와 같은 절차로 분석하였다.

먼저, STEP 1-3은 재해율을 고려한 추락재해로 손실되는 비용을 산출하는 과정으로, STEP 1에서는 직접 손실비용과 간접손실비용을 이용하여 1인당 평균 건설재해 손실비용을 산출한다. STEP 2는 현장별 상시근로자 수를 산출하는 과정으로 상시근로자수는 사업장에서 사용하는 근로자가 적용 사유 발생일 전 1개월 동안 사용한 근로자가 몇 명인지를 의미한다²¹⁾. STEP 3은 STEP 1, STEP 2에서 분석된 자료를 바탕으로 해당년도 재해율과 건설재해 중 추락재해가 차지하는 비율을 고려하여 재해율을 고려한 추락재해로 손실되는 비용을 산출한다.

STEP 4와 STEP 5는 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용을 산출하는 과정으로, STEP4에서는 현장별 추락재해가 발생할 위험이 많은

Table 2. Procedure for analyzing the adequacy of the cost of the fall disaster and the cost of building the USN

	STEP	Content
Fall accident loss cost considering accident rate	STEP1	· Average construction accident loss cost per person = Direct loss cost + Indirect loss cost --(1)
	STEP2	· Number of regular workers by site = (Estimated construction performance amount for the year × Labor ratio for the year) / (Monthly average wage for the construction industry in the year × Number of operating months) --(2) * Estimated construction performance for the year : : Estimated construction performance for the year by site * Labor ratio, Monthly average wage for the construction industry : Notification by the Ministry of Employment and Labor(MOEL) every year * Number of operating months : Number of operating months per site
	STEP3	· Falling accident loss cost considering accident rate = Average construction accident loss cost per person × Accident rate × Number of regular workers by site × Ratio of falling accidents among construction accidents --(3)
Cost required when applying USN site	STEP4	· Identifying the location and number of sensor installations by site (Balcony railing, Elevator openings, etc. Excluding small openings such as kitchens and dressing rooms)
	STEP5	· USN building cost per site = Sensor cost + Monitoring system development cost + Field facility, network installation cost + Relocation and installation cost --(4)
Judging the feasibility of installation	STEP6	Determining the appropriateness of the USN application using smart safety equipment by comparing the cost of a falling accident and the cost of building the USN considering the accident rate of the year

위치를 중심으로 센서 설치 위치 파악 및 개소를 분석한다. STEP 5에서는 STEP 4를 바탕으로 현장별 USN 구축 시 발생하는 비용을 분석한다.

마지막으로, STEP 6에서는 해당년도 재해율을 고려한 추락재해로 손실되는 비용과 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용의 비교를 통한 스마트 안전장비를 활용한 USN 적용의 타당성을 판단한다.

위와 같은 절차를 거쳐, 향후 스마트 안전장비를 활용한 USN을 활용한 안전관리를 적용할 건설현장에서 추락재해로 손실되는 비용과 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용의 경제적 타당성을 분석할 때 활용할 수 있다.

3.2 재해율을 고려한 추락재해 손실비용 산출

먼저 추락재해로 인한 손실비용과 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 적용 시 소요되는 예상 비용을

파악하기 위해 표 3에서 보는 바와 같이 “공공공사 추락사고 방지에 관한 지침”에 따라 300억 이상인 청년주택 등 공공공사 현장을 A~I현장까지 규모별 9개 현장을 선정하여 스마트 안전장비를 활용한 USN을 적용한다고 가정하였다. 또한 기준세대 개구부를 중심으로 스마트 안전장비를 활용한 USN을 설치하는 것으로 가정하였다.

재해율을 고려한 추락재해로 손실되는 비용을 산출하기 위해서는 Table 2에서 제시된 바와 같이 STEP1~3의 과정을 통해 Table 4와 같은 값을 산출할 수 있다. 선정된 9곳의 현장은 2019년도 한 해 동안 철근콘크리트 공사가 동시에 진행된다는 가정 하에 예제 현장에 적용하였다.

먼저, STEP 1의 1인당 평균 건설재해 손실비용은 2019년도 1인당 건설공사 사망재해로 손실되는 직·간접비용으로 직접손실비용 264,129,197원, 간접손실비용 398,800,000원으로 파악하였다. 해당 비용은 안전보건

Table 3. Selection of example sites

Item \ Site	A site	B site	C site	D site	E site	F site	G site	H site	I site
Construction period	23 months	21 months	26 months	26 months	38 months	37 months	31 months	33 months	31 months
Cost of construction	458 Billion	470 Billion	478 Billion	541 Billion	850 Billion	969 Billion	1,179 Billion	1,215 Billion	13,43 Billion
Number of households	862 households	99 households	280 households	331 households	752 households	900 households	651 households	977 households	961 households
Number of building	4 EA	1 EA	1 EA	4 EA	1 EA	1 EA	4 EA	4 EA	6 EA
Shape	"_“ Type 4EA	"_“ Type 1EA	"_“ Type 1EA	"_“ Type 3EA "L“ Type 1EA	"_“ Type 1EA	"□“ Type 1EA	"L“ Type 4EA	"_“ Type 2EA "□“ Type 2EA	"L“ Type 6EA

공단 연구사업을 통해 산출된 직·간접비용으로 기업의 안전보건 공시제도 도입을 위해 문헌고찰과 사례조사 및 실태조사를 통해 도출된 결과를 전문가의 의견 수렴과정을 통해 산출한 비용이다¹⁶⁾. 산출된 금액을 바탕으로 Table 2의 (1)식을 이용하여, 선정된 9개의 현장을 대상으로 1인당 평균 건설재해로 발생할 수 있는 손실 비용을 산출하였다. 이것은 선정된 9개의 현장 외에도 일반적인 현장에서 공통적으로 발생하는 금액으로 가정하였다.

STEP 2는 상시근로자 수를 산출하는 과정으로 재해율을 고려한 추락재해 손실비용을 산출하기 위해서는 현장별 상시근로자수가 필요하며, Table 2의 (2)식을 이용하여 산출할 수 있다. 상시근로자 수를 산출하기 위해서는 해당년도의 예상 공사 실적액, 건설공사 노무비율, 건설업 월평균 임금 및 조업월수가 필요하다. 먼저, 해당년도 예상 공사 실적액은 해당 현장에서 해당년도에 발생하는 예상 공사 실적액으로 본 연구에서는 전체 공사기간 대비 해당년도의 공사 비율을 고려하여 총공사비에 해당 비율을 적용하여 산출하였다. 그리고 2019년도 건설공사 노무비율²²⁾ 및 건설업 월평균 임금²³⁾은 각각 27%, 3,906,885원으로 조사되었다. 마지막으로 조업월수는 2019년 한 해 동안 철근콘크리트 공사에서 발생할 수 있는 추락 사망재해를 대상으로 실시했으므로 12개월을 산정하였다. 앞서 분석된

자료를 바탕으로, 예제 현장의 상시근로자 수는 Table 4에서 보는 바와 같이 산출하였다.

STEP3은 지금까지 산출된 자료를 바탕으로, Table 2의 (3)식을 이용하여 선정된 9개의 예제현장에 각각 적용하였다.

2019년의 재해율은 0.58이고, 건설재해 중 추락재해(사망재해포함) 비율은 32.6%으로 파악되었다⁴⁾. 본 연구에서는 현장별 추락재해 손실비용을 파악하기 위해 건설재해 중 추락재해가 차지하는 비율에 의한 값을 사용한다고 가정하였다. 이를 이용하여 선정된 예제현장의 2019년도 재해율을 고려한 추락재해로 손실되는 비용을 Table 4에서 보는 바와 같이 산출하였다.

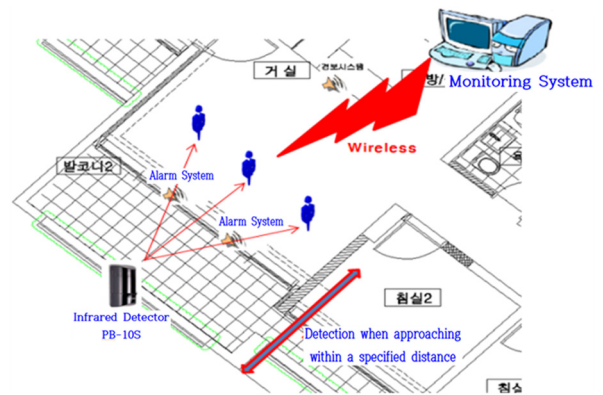
3.3 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축시 소요되는 비용 산출

스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용을 산출하기 위해서는 Table 2에서 제시된 바와 같이 STEP 4-5의 과정을 통해 산출할 수 있다. 먼저, STEP4의 과정을 수행하기 위해서는, Fig. 2에서 보는 바와 같이 선정된 현장에서 추락 재해율이 높은 발코니 및 E/V개구부를 중심으로 추락위험이 있는 모든 위치에 센서 설치를 고려하였다. 또한, 현장 철근콘크리트 작업 시 거푸집 존치 및 탈형 기간과 작업 진행 흐름을 고려하여 4개 층 단위로 단위세대 층을 기준으로 Zoning하여 설치/재사용 것으로 설정하였으며, 대피공간, 실외기실, 주방 개구부 등 추락위험이 적은 구간은 제외하였다.

위험지역에 사용한 센서는 적외선 감지기(PB-10S)로 본 연구에서 필요한 기능을 가지면서 비용적인 측면에서도 경제적인 센서이기 때문에 선택되었다. Fig. 2에

Table 4. Calculation of the loss cost of a fall accident considering the accident rate

STEP	Item	Contents								
		A site	B site	C site	D site	E site	F site	G site	H site	I site
STEP 1	Average construction accident loss cost per person	Average construction accident loss cost per person(Criteria for fatal accidents) = Direct loss cost+Indirect loss cost = 264,129,197 won+ 398,800,000 won ≒ 66,292 Ten thousand won								
STEP 2	Number of regular workers by site	Number of regular workers by site = (Estimated construction performance amount for the year × Labor ratio for the year) / (Monthly average wage for the construction industry in the year × Number of operating months)								
		138 People	155 People	127 People	144 People	155 People	181 People	263 People	254 People	300 People
STEP 3	Fall Accident loss cost considering accident rate	Falling Accident loss cost considering accident rate = Average construction accident loss cost per person × Accident rate × Number of regular workers by site × Ratio of falling accidents among construction accidents								
		17,297 Ten thousand won	19,428 Ten thousand won	15,919 Ten thousand won	18,049 Ten thousand won	19,428 Ten thousand won	22,687 Ten thousand won	32,966 Ten thousand won	31,838 Ten thousand won	37,603 Ten thousand won



* PB-10S: High reliability and countermeasure against external light, minimizes misinformation, has a wide adjustment range of up to ±90°, and a boundary distance of up to 20M.

Fig. 2. Sensor installation location and network.

서 보는 바와 같이 적외선 감지기(PB-10S)는 건설 현장에서 추락재해가 빈번하게 발생하는 엘리베이터 개구부 및 발코니 난간 등의 가설 난간의 중앙에 설치하였으며, 현장여건에 따른 센서설치 위치 조정은 가능하다고 가정하였다.

이를 바탕으로, Table 3과 Fig. 2를 기초로 하여 예제 현장의 센서 설치 위치 및 개소를 Table 5에서 보는 바와 같이 파악하였다.

STEP5는 앞서 파악된 센서 위치 및 개소 파악을 바탕으로 선정된 예제현장에서 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용을 산출하는 과정이다.

스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용은 센서비용, 모니터링 시스템 개발 비용, 현장설비, 네트워크 공사비용 및 이전비용으로 구분하여 예제 현장 9곳을 대상으로 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용을 Table 5에서 보는 바와 같이 산출하였다.

USN 현장 구축 시 사용할 적외선 센서 PB-10S는 개당 6만원 내외의 비용이 발생하는 것으로 시장조사를 통해 파악하였다. 그리고, 모니터링 시스템 개발로 소

요되는 비용은 현장별로 2,200만원 내외의 비용이 발생하고, 현장설비, 네트워크 공사비용은 센서 당 5만원 내외의 비용이 발생한다. 또한, 이전설치비용은 Zoning 당 40만원 내외의 금액이 발생하는 것으로 관련업계 종사자의 자문을 통해 파악하였다.

3.4 추락재해로 손실되는 비용과 스마트 장비를 활용한 USN 구축 시 소요되는 비용의 비교를 통한 적용 타당성 분석

STEP 6은 추락재해로 인해 손실되는 비용과 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 발생하는 비용을 비교/분석하여 스마트 안전장비를 활용한 USN 설치 타당성을 파악하는 과정이다. Table 6에서 보는 바와 같이 예제 현장 9곳을 대상으로 지금까지 파악된 자료를 바탕으로 추락재해로 손실되는 비용과 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용을 비교/분석하여 설치 타당성을 파악하였다. 분석결과 C현장 규모 이하의 현장의 경우, $a \geq b$ 로 경제적인 비용으로 추락재해 감소를 위한 복합적인 안전관리가 가능한 것으로 파악되었다. 하지만, D현장 규모 이상의 현장일 경우, $a \leq b$ 로 C현장 이하의 현장에 비해 USN 현장 구축 시 소요되는 비용을 추락재해로 손실되는 비용과 비교했을 경우, 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용이 추락재해로 인해 손실비용보다 더 많은 비용이 발생하는 것으로 파악되었다.

결과적으로, 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축 시 소요되는 비용이 특정규모 이하의 현장에서는 추락재해로 인해 예상되는 손실비용보다 더 많은 비용이 발생하는 것으로 분석되었다.

하지만 고용노동부의 자료에 따르면 건설업에서 사망재해 1건당 우리 경제에 미치는 손실 추정액은 직접 손실비용의 5배 수준으로 분석하였다²⁾. 또한 추락재해 등 중대사고 발생 시 복구비용, 휴업, 기업 이미지 저하 등으로 인해 실제로 손실되는 비용을 감안한다면, 스마트 안전장비를 활용한 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축으로 인한 작업자 안전사고 예방으로 얻을 수 있는 경제적인 가치는 크다고 할 수 있다.

Table 5. Cost of building a USN site

Unit : Ten thousand won

Item	Scale	A site	B site	C site	D site	E site	F site	G site	H site	I site
Sensor	EA	1,884	113	328	1,372	1,712	1,020	2,685	1,027	2,995
	Cost	11,304	678	1,968	8,232	10,272	6,120	16,110	6,162	17,970
Monitoring system development, etc.					2,200					
site facilities, network construction cost		56,520	3,390	9,840	41,160	51,360	30,600	80,550	30,810	89,850
Transfer	Number	16 times (Four-Building)	4 times (One-Building)	3 times (One-Building)	24 times (Four-Building)	7 times (One-Building)	8 times (One-Building)	28 times (Four-Building)	28 times (One-Building)	42 times (Six-Building)
	Cost	640	160	120	960	280	320	1,120	1,120	1,680
Installation cost		70,664	6,428	14,128	52,552	64,112	39,240	99,980	40,292	111,700

Table 6. Economic feasibility analysis of USN site construction

Unit : Ten thousand won

Loss Cost	Site	A site	B site	C site	D site	E site	F site	G site	H site	I site
Fall accident loss cost considering accident rate (a)		17,297	19,428	15,919	18,049	19,428	22,687	32,966	31,838	37,603
Comparison		$a \geq b$	$a \geq b$	$a \geq b$	$a \leq b$	$a \leq b$	$a \leq b$	$a \leq b$	$a \leq b$	$a \leq b$
Cost Required When Applying USN site (b)		70,664	6,428	14,128	52,552	64,112	39,240	99,980	40,292	111,700
Judging the feasibility of installation		Feasibility	Feasibility	Feasibility	Consideration	Consideration	Consideration	Consideration	Consideration	Consideration

4. 연구의 효용성 평가

본 연구에서 제안하는 USN을 통한 안전관리의 적용 여부 및 효용성 등을 검증하기 위한 설문조사는 2019년 12월 2일부터 4주 동안 예제현장으로 선정된 현장 기술자를 대상으로 전자우편을 통해 실시되었다. 현장 관리자급 50명을 대상으로 설문을 배포하였으며, 이 중 47명이 설문조사에 응답하였다. USN의 인지도에 대한 설문조사에서는 응답자 47명 중 약 70%가 “전혀 모른다”고 응답해 USN에 대한 적극적인 홍보와 교육이 필요한 것으로 파악되었다. 현실성에 대한 항목에서는 “어느정도 있다”가 약 55%로 안전관리 측면, 관리적인 측면, 시공관리 측면에서 연구의 현실성에 대해 긍정적으로 응답했다.

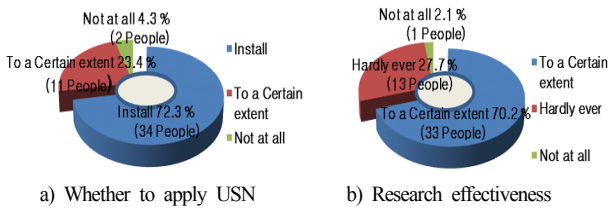


Fig. 3. Application and effectiveness of safety management through USN.

USN을 통한 현장안전관리의 실제 현장 적용여부를 묻는 설문조사에서는 응답자 47명 중 약 95.7%가 효율적 안전관리와 안전사고 감소의 이유로 Fig. 3에서 보는 바와 같이 현장 적용에 대해 긍정적으로 응답하였다. 연구의 효용성에 대한 설문조사에서도 “어느정도 있다”가 70.2%로 연구에 대한 효용성에도 긍정적으로 응답하였다.

설문조사를 종합해보면, USN을 통한 안전관리의 인지도 향상을 위한 홍보 및 교육이 필요한 것으로 파악되었다. 현장적용이나 현실성, 효용성 등의 설문조사에서는 전반적으로 긍정적인 평가를 하였지만, 기기 고장 시 식별을 할 수 있는 장치 및 통합관리를 위한 별도의 시설, 설치 비용의 현실화 등의 보완이 필요하다는 소수 의견도 있었다. 또한 USN 활성화를 위해서는 USN 인지도 향상 및 설치비용을 감소시킬 수 있는 연구 및 기술개발에 대한 선행적인 연구가 필요한 것으로 파악되었다.

5. 결론 및 고찰

건설 산업은 기술적, 공간적 특성과 기후 및 지형조건 등의 특수한 요인으로 기계화, 자동화 등이 어려워

다른 산업에 비해 추락 재해자수는 매년 증가하고 있는 실정이다. 공사현장에 미치는 위험의 요소들이 가변적이고 다양하다는 점도 추락재해가 줄지 않는 이유가 되고 있다. 이에 노동부를 비롯한 정부는 추락재해 감소를 위해 안전문화를 확산, 행정적 제재 등으로 추락재해를 감소시키기 위해 노력하고 있지만 기존의 안전관리 방법만으로는 추락재해를 예방하는 데에 한계가 있다.

본 연구에서는 증가추세에 있는 추락재해를 감소시키기 위해 기존 안전관리 방법에 스마트 안전장비를 활용한 USN을 구축하는 것을 고려하였다. 그리고 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 적용 시 설치 타당성을 파악할 수 있는 방법을 도출하고, 예제 현장을 대상으로 스마트 안전장비를 활용한 USN 현장 구축으로 인한 비용적인 손실/이익에 대한 설치 타당성을 분석하였다.

이와 같은 방법과 분석결과를 통해 설치비용 분석방법과 경제적 타당성을 파악할 수 있는 정보를 제공함으로써 추락재해 감소를 위한 현장 안전관리에 스마트 안전장비를 활용한 USN 적용 고려 시 설치 타당성을 보다 쉽게 파악할 수 있도록 도움을 줄 수 있다. 또한 스마트 안전장비를 활용한 USN을 활용한 안전관리를 통해 작업자가 위험작업 시 위험요소를 실시간으로 모니터링함으로써 건설현장 작업자의 안전사고를 사전에 예방하고 추락재해 감소에 기여할 것으로 기대된다.

세대수, 층수 등 현장별 특수성에 따라 스마트 안전장비를 활용한 USN을 통한 안전관리 방법의 적용이 경제적인 측면에서는 어려운 것으로 나타났으나, 연구에 사용된 센서의 성능 및 비용적인 측면을 해결할 수 있는 기술 연구와 센서 및 기타 시설물을 재사용이 일반화 된다면 안전사고 예방 및 비용적인 부담은 일부 해결될 수 있을 것으로 기대된다. 더불어 관련 연구 및 활발한 현장적용을 통해 스마트 안전장비를 활용한 USN에 대한 인지도 상승 및 관련 기술의 일반화로 추락재해로 발생하는 기업의 인적, 물적 피해는 물론 기업이미지 저하 등 건설재해 발생으로 인한 손실을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

References

- 1) Ministry of Employment and Labor, Status of Industrial Accidents in 2019, 2020.
- 2) Ministry of Employment and Labor, Safety and Health Guidelines for Construction Sites in Summer and Rainy Season, 2011.

- 3) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Construction Safety Innovation Plan for 3 Major Projects to Protect National Life, 2020.
- 4) Ministry of Employment and Labor, Press Release, The Minister of Employment and Labor Urges Efforts to Settle the Site of the Revised Occupational Safety and Health Act and Reduce Deaths in the Construction Industry”, 2020.
- 5) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Guidelines on the Prevention of Fall Accidents for Public Works in accordance with the Comprehensive Measures (4.11) for Fall Prevention at Construction Sites, 2019.
- 6) S. W. Jung, S. W. Kwon and C. H. Cho, “A Priority Analysis of Work Items in High-rise Construction for Adoption of USN Technology”, Journal of the Architectural Institute of Korea(Structural System), Vol. 26. No. 5, pp. 117-124, 2010.
- 7) J. H. Lee, K. H. Park, S. H. Yun and J. H. Paek, “A Study the Reduction Plan of Construction Disaster Using RFID/USN Technology”, Academic Conference Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 26. No. 1, pp. 605-608, 2006.
- 8) K. T. Kim, “A Study on the Implementation of USN Technologies for Safety Management Monitoring of Architectural Construction Sites”, Journal of the Korean Institute of Architectural Construction, Vol. 9. No. 4, pp. 103-109, 2009.
- 9) S. W. Kwon, “Ubiquitous Sensor Networks and RFID Technology in Construction Industry”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 50. No. 10, pp. 37-41, 2006.
- 10) J. H. Kim, W. K. Lee, H. H. Jo and K. I. Kang, “The Utility Test of the Device based on Hybrid Sensors Preventing Fall Accidents”, Journal of the Architectural Institute of Korea(Structural System), Vol. 27. No. 1, pp. 753-756, 2007.
- 11) M.Adberrahim, E. Garcia, R. Diez and C. Balguer, “A Mechatronics Security System for the Construction Site”, Automation in Construction, Vol. 14, No. 4, pp. 460-466, 2005.
- 12) Y. B. Sa, “Analysis of the Cost of a Crash in the Domestic Construction Industry”, Master’s Thesis, Yonsei University, 2011.
- 13) T. Y. Lee, “An Assessment Method of Costs caused by Industrial Accidents”, Ph.D. Thesis, Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 2011.
- 14) G. W. Kim, “A Study on Development and Application of the Model to Calculate Costs of Loss due to Industrial Accidents”, Ph. D. Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2018.
- 15) K. T. Kim, “A Fundamental Study on the Construction Safety Monitoring System Based on Ubiquitous Technology”, Journal of the Architectural Institute of Korea(Structural system), Vol. 29. No. 1, pp. 681-684, 2009.
- 16) Y. I. Jeon, D. H. Kin, M. C. Lee, H. J. Baek and S.Y. Ko, The Introduction of the OSH Corporate Disclosure System - With the Focus on how to Estimating the Direct and Indirect Costs of Work Injuries, Safety and Health Agency Research Report, 2018.
- 17) Y. M. Kim, N. K. Choi and S. Y. Kim, “USN Service Revelation and Implementation based on Radio Frequency IDentification(REID)”, Journal of the Korea Computer Science Conference, Vol. 32, No. 1(A), pp. 517-519, 2005.
- 18) S. W. Moon, B. Y. Choi, Y. E. Ji and K. J. Seo, “Application of Ubiquitous Sensor Network at Construction Sites”, Korean Society for Construction Management Conference, pp. 905-908, 2007.
- 19) D. E. Kim, S. C. Lee and C. S. Kim, “Implementation of Underground space Monitoring System for Safety based on USN”, Korean Multimedia Society Spring Conference, pp. 731-734, 2008.
- 20) W. Y. Son, National Technology Commercialization Information Network, Technology Marketing Report, 2010.
- 21) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Construction Technology Service and Construction Evaluation Guidelines, Notification No. 2019-636 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Attached Table 7, 2019.
- 22) Ministry of Employment and Labor, Construction labor ratio in 2019, Ministry of Employment and Labor Notification No. 2018-83, 2018.
- 23) Ministry of Employment and Labor, “Monthly Average Remuneration for the Construction Industry in 2019”, Ministry of Employment and Labor Notification No. 2018-82, 2018.
- 24) X. Huang and J. Hinze, “Analysis of Construction Worker Fall Accidents”, Journal of Construction Engineering and Management, M.ASCE, Vol. 129 No. 3, pp. 262-272, 2003.