

# 건설현장의 추락 및 접촉사고 방지를 위한 스마트 세이프티 센서 개발

이주희<sup>1</sup> · 안요섭<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>호서대학교 건축토목공학부 학사과정 · <sup>2</sup>호서대학교 건축토목공학부 조교수

## Development of Smart Safety Sensors to Prevent Falling and Contact Accidents at Construction Sites

Lee, Juhee<sup>1</sup>, Ahn, Joseph<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Student, Department of Architectural and Civil Engineering, Hoseo University

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Architectural and Civil Engineering, Hoseo University

**Abstract :** According to the Korea Occupational Safety and Health Agency's (KOSHA) report on industrial accident statistics over the past four years, the number of casualties at construction sites from 2017 to June 2020 was about 93,158 and the number of deaths was about 1,977, showing a high trend of safety accidents among the eight major occupational groups, with the construction industry ranking third in total and the death rate being the highest in total. Among them, the number of deaths caused by falls in the entire occupational category is about 1,267, the highest rate of deaths due to contact is about 522, which is a frequent safety accident among the top three accident types. This paper aims to help reduce the overall proportion of construction safety accidents by developing smart safety sensing devices using ultrasonic sensors to prevent two types of safety accidents, which have the highest rate of occurrence among various types of safety accidents occurring at construction sites.

**Keywords :** Safety Accident, Construction Sites, Ultrasonic Sensor, Arduino

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현재 다수의 건설현장에서는 조희 시간을 활용한 안전교육, 자료 배부, 관리자의 주의 등의 방법으로 안전사고를 예방하고자 하나, 교육 시간 또는 감독관의 관리 범위 이외의 상황에서는 작업자 개인의 위험을 바로 감지하고 주의를 주기 어려우므로, 작업자 스스로가 작업 활동 중에도 자신의 위험 상황을 바로 인지하고 행동을 취할 수 있는 장치를 도입할 필요가 있다. 이는 관리자를 통한 안전관리의 방식에서 작업에 실제 참여하고 있는 작업자에게로 안전관리의 주체가 바뀌어야한다는 것이다. 한국산업안전보건공단의 산업재해통계 보고서<sup>1)</sup>에 의하면 2017년부터 2020년도 하반기까지

의 대표적인 8개 유형의 안전사고 자료를 분석한 결과, 추락 사고가 1위, 접촉사고는 2위로 높은 사고율을 유지하고 있어 건설현장의 안전사고에 대한 효과적인 관리가 필요하다.

〈Fig. 1〉을 통해 기타 직업 2개를 제외한 총 6개의 직업군 중에서 제조업과 건설업이 재해자 및 사망자 수 총 합계가 가장 높은 것으로 나타났다. 건설업을 기준으로 2017년부터 2019년까지의 재해 및 사망자 수는 연평균 27,404명을 유지했으나 최근 건설 안전법의 강화, 안전교육의 다양화 등으로 2020년 6월 12,923명으로 앞선 3년의 상반기 재해 및 사망자 수 평균 13,702명에서 약 779명 정도로 과거에 비해 그 수가 감소하였다. 하지만 건설업 안전사고 비율은 타 직업군에 비해 여전히 상위권을 차지하고 있다.

유형별 사망자 발생 현황 자료인 〈Fig. 2〉에서는 추락사고로 인한 사망자 수가 2017년부터 2020년 상반기까지의 4년 총 1,267명으로 1위 접촉사고로 인한 사망자수는 총 522명으로 2위로 8개의 대표 직업군 중에서 추락 및 접촉사고로 인한 사고 비율은 전체 유형별 사고 순위에서 상위권을 차지

\* **Corresponding author:** Ahn, Joseph, Department of Architectural and Civil Engineering, Hoseo University, 20, Hoseo-ro79beon-gil, Asan, 31499, Republic of Korea

**E-mail:** josephahn@hoseo.edu

**Received** October 30, 2020; **revised** December 1, 2020

**accepted** December 4, 2020

1) 산업재해현황분석(한국산업안전보건공단, 2017-2020.06).

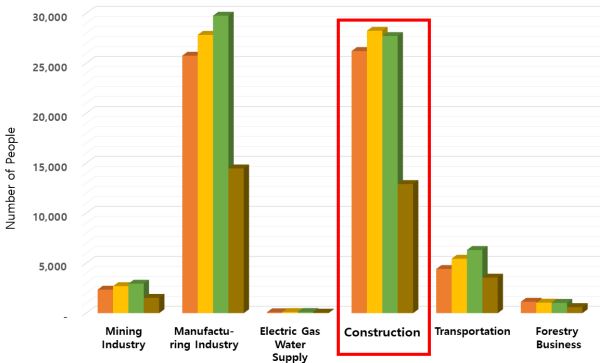


Fig. 1. Status of Industrial Casualties and Deaths

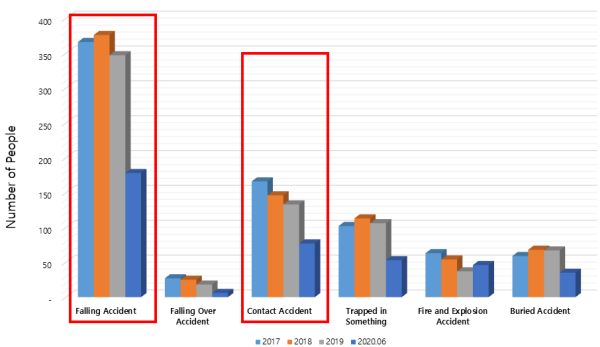


Fig. 2. Status of Deaths by Types

지하고 있다. 이 중 2020년 자료는 상반기 결산으로 2021년 2월에 총합이 발표 될 예정이며 그래프의 치수보다 2배가량 늘어날 것으로 예상된다.

따라서 본 연구는 건설현장의 안전사고 유형 중 발생 비율이 상위권인 추락과 접촉 사고의 예방에 실질적인 도움을 목적으로 스마트 감지 센서 및 알람 기능이 있는 장치의 기초 모델을 제작하여 실제 건설현장의 작업자가 경험하게 하고 장치가 실제 현장에 도입이 되었을 때의 적용성을 검증하고자 한다. 본 연구의 장치는 경제적이고 작은 규격으로 이동성이 편리하여 실용적이므로 작업에 방해되지 않는다. 또한 경고음을 통한 청각적 효과와 LED 불빛을 통해 시각적 효과를 이용하여 작업자에게 최소한의 기능으로 최대의 경고 효과를 줄 수 있을 것으로 기대된다. 또한 초음파 센서를 활용한 시스템이 건설현장 적용된다면 작업 환경에서 작업자 스스로가 위험을 감지하고 보호할 수 있게 되며, 건설사 또한 위험 상황에 대한 데이터를 수집하고 안전사고를 예방하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 초음파 센싱 기술 중 초음파 센서 장치를 이용하여 사전에 설정된 거리 데이터를 기반으로 사고 발생 예측 지점과 작업자의 거리를 감지하고 상황에 맞는 LED 불빛

과 경고음이 함께 출력되는 장치의 모델을 만들고 이 장치를 중소규모 건설현장의 실제 작업자들에게 적용하여 장치의 신뢰성을 검증하는 것으로 연구의 범위를 한정하였다.

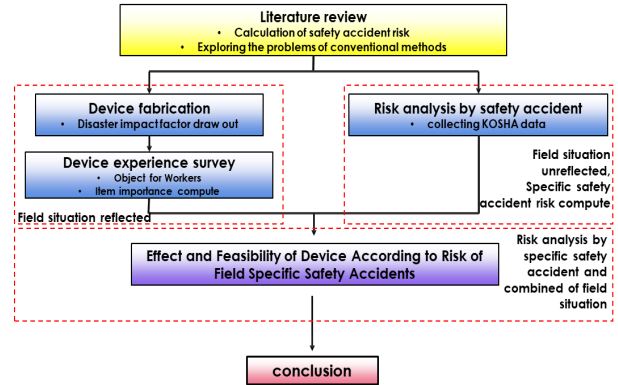


Fig. 3. Research Process

① 문헌 고찰을 통한 선행연구를 파악하여 기존 안전사고 대처 방안의 문제점을 탐색하고 비교 분석한다. ② 본 연구에서 개발하고자 하는 스마트 센서 장치를 국내 중소규모 건설현장 작업자에게 일정기간 적용한다. ③ 장치 유무에 따른 안전사고 인식의 변화를 토대로 장치의 효과 및 현장 적용성을 검증한다. 현재 국내 중소규모 건설현장의 안전관리 여건상 최첨단 장비를 사용하여 교육, 관리하는 사례는 제한적이기 때문에 본 연구에서 개발하고자 하는 장치를 적용하여 대규모 건설현장 보다 사고 비율이 높은 중소규모 건설현장을 본 연구의 범위로 한정하고 연구 대상 건설현장의 작업자를 대상으로 장치 사용유무에 따라 설문지를 작성하고 자료를 분석하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 센싱 기술 선행연구 고찰

건설현장의 안전사고를 감소시키기 위해 스마트 기술을 도입하고자한 기존 문헌을 분석하면 다음의 <Table 1>과 같다.

신한우 외(2010)에서는 센서를 활용한 건설현장 감성안전의 효용성에 관한 연구는 인체 감지 센서와 음성안내센서가 결합된 감성안전 시스템을 구축하여 인체감지센서로 작업자를 인식하고 상황에 맞는 음성안내가 출력되게 함으로서 음성안내의 멘트가 작업자에게 어떤 영향을 주는지에 대해 연구하였다.

그 결과, 건설현장의 실제 작업자들이 공사 중 위험에 대해 미리 인지를 할 수 있게 되면서 음성안내시스템으로 인해 감성적으로 인지를 한 비율이 증가했음을 검증하였다.

또한 음성안내센서를 경험한 작업자를 중심으로 설문조

사를 진행한 데이터에서 공사현장의 환경 특성상 음성출력 소리가 작거나 반복적인 음성 멘트의 출력으로 작업자가 지루하다고 답변했음을 확인할 수 있었다.

Table 1. Literature review

Author	Research Summary
Shin Han-Woo et al. (2010)	The Effectiveness of Emotional Safety Using PIR Sensor in Building Construction Site
Kim Kyong-Hoon et al. (2014)	Study on the Research Trends and Prospects about Construction Safety & Disaster
Lee Dong-Gun et al. (2019)	Smart Safety Helmet Using Arduino
Moon Sung-Woo et al.	Safety Management of the Retaining Wall Using USN Sonar Sensors
Kim Cahng-Sub et al. (2006)	The Improvement Program for the Shedding of Analysis and a Prevention of Construction Accident

현재 4차 산업혁명에 포함되는 분야는 기업의 제품, 의료 산업, 건설사업 등이 있다.

여기서 건설 분야엔 ‘스마트 빌딩(Smart Building)’사업을 추진하여 거주 공간 외에도 건물 착공 시 안전사고를 예방하기 위해서 인력만으로 해결할 수 없는 광범위한 공사현장에 센서 기계를 적용함으로써 인사사고 및 사망사고의 비율 감소와 안전사고 데이터 수집이 용이하다는 이점이 있다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 선행연구가 검증하고자 한 작업자의 능동적인 안전인식 개선과 마찬가지로 스마트 센서 장치를 추락 및 접촉 안전사고가 발생할 수 있는 예상 구역에 설치함으로써 특정 안전사고의 비율 감소에 효과를 입증할 수 있는지 그 효용성을 검증할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 음성출력시스템이 아닌 단일 경고음으로 적절한 횟수의 소리 출력을 통해 작업자의 작업을 방해하지 않으면서 위험 범위에 대한 최소한의 필요한 정보를 줄 수 있으므로 차별성을 두었다.

### 3. 스마트 세이프티 센서 제작

#### 3.1 센싱 기술의 개념

본 연구에서는 센서, 네트워크, 데이터, 서비스를 통합한 사물 인터넷이라는 광범위한 개념에서도 대표적인 개방형 센서 디바이스 플랫폼 중 하나인 Arduino(이하 아두이노) 스마트 센서 장치를 제작하였다.

아두이노는 구조, 값(변수, 상수), 함수 3개의 프로그래밍 언어를 사용하여 아두이노 보드를 코딩하고 제어하는 프로그램이다.

아두이노 프로그램은 프로그래밍을 처음 경험하는 초보자 또는 전문가 구분이 없이 누구나 쉽게 배우고 접근하여 다양한 부품을 원하는 대로 구상하고 개발할 수 있다. 본 연

구에서는 아두이노 호환제품 중 주요 모델인 Arduino UNO R3 Board를 사용하였다(Fig. 4).

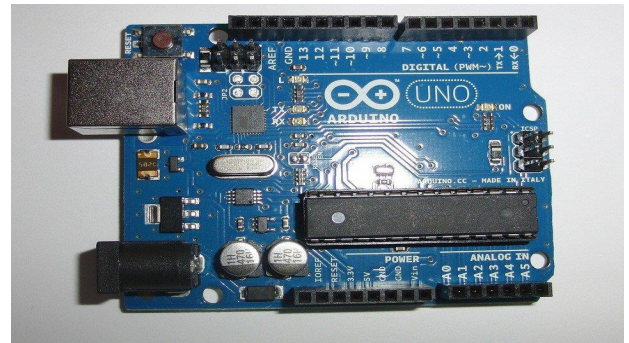


Fig. 4. Main Model of Arduino Board

〈Table 2〉<sup>3)</sup>에서는 개방형 센서 디바이스 플랫폼을 분류하였다.

Table 2. Open Sensor Device Platform

Name of Sensor	Corporation	Feature
Arduino	Atmel	1. Provide an integrated development environment for Arduino and develop a C++ language-based. 2. Windows, Linux, Mac OS X Cross platform support.
Raspberry Pi	Broadcom	Linux OS platform center, Python language based development available.
BeagleBone	TI	Linux, Android OS platform support.
Galileo	Intel	Windows, Linux, Mac OS X platform support.

#### 3.2 스마트 세이프티 센서 모델 개발

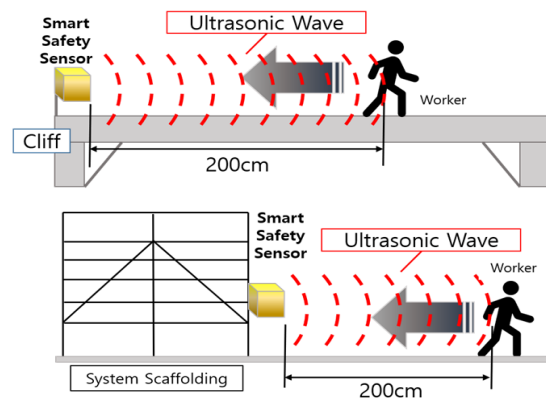


Fig. 5. Principle of Operation of Smart Safety Sensor

본 연구에서 구현하고자 하는 스마트 세이프티 센서는 초음파 센서가 메인 장치로서 활용되었다. 초음파 센서는 Trig

2) 센서 산업 동향과 현황분석, 5p(허신, 2018).

3) 사물인터넷 기술과 미래 서비스 방향에 대한 이해, 정보통신진흥센터, 13p(김민수, 2015.8).

부분에서 초음파를 발사하면 물체에 맞고 다시 Eco 부분으로 돌아오는 센서 장치로서 초음파가 물체에 맞고 반사되어 다시 돌아오는 시간, 즉 사물간의 거리를 계산하여 반응하는 시스템이다. 작업자(Object)를 인식하면 사전에 코딩된 거리 범위에 따라 1번 경고부터 3번 경고까지 소리와 불빛으로 작업자에게 위험 상황을 전달하여 스스로 인지할 수 있도록 하였다.

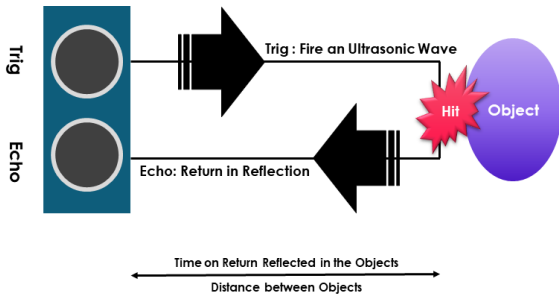


Fig. 6. Operation Principle of Ultrasonic Sensor

### 3.3 아두이노 코딩 설계

개방형 센서 디바이스 플랫폼 중 하나인 아두이노를 사용하여 본 연구에서 제안하고자 하는 스마트 센서 장치 제작에 적용하였다. 초음파 센서를 활용하여 거리에 따라 작업자를 인식하여 건설현장의 작업자가 추락 및 접촉사고 상황에 놓여있을 경우 위험 범위에 들어오면 거리에 따른 3번의 경고 소리가 출력되므로 작업자 스스로 자신의 위험 상황을 인지하고 먼저 조치를 취할 수 있도록 코딩하였다.

또한 LED 불빛이 3번의 경고와 함께 각각 초록, 파랑, 빨강으로 표시되어 소리를 듣지 못하더라도 작업 파트너가 대신 확인하고 위험 범위에 있는 작업자에게 주의를 줄 수 있으므로 청각, 시각적 효과를 동시에 주어 경고를 인지하지 못하는 경우가 적어지도록 하였다.

이는 반복된 음성 녹음의 출력으로 불필요한 경고음을 듣게 되는 작업자를 배려하여, 센서 범위에 작업자가 들어왔을 때만 1-2초의 경고음이 작동하고 범위에서 벗어나면 즉시 소리 출력을 멈출 수 있게 하였다.

반복된 음성 문장이 아닌, 단일 소리 출력으로 작업자가 느끼기에 부담이 없도록 하였다.

코딩 도입부에 Trig 핀과 Eco 핀을 설정하고 한번 인식 한 후 다시 거리 값이 초기화가 되도록 초음파 센서 초기화 코드를 입력하였다.

if문을 사용하여 ① 거리 범위가 200cm 이상이면 장애물이 감지되어도 “장애물이 없습니다.” 라는 메시지가 시리얼 프린트에 출력되도록 하였고, ② 거리 범위가 150cm에서 141cm 사이에 장애물이 감지되면 “150cm 내에 장애물이 있습니다.”는 1번 경고 메시지가 시리얼 프린트에 출력되도록 하였다.

```

void loop() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = duration*0.034/2;

  analogWrite(redLED, 0);
  analogWrite(greenLED, 0);
  analogWrite(blueLED, 0);

  if (distance >= 200 || distance <= 0) {
    tone(piezo, 100, 10);
    Serial.println("장애물이 없습니다.");
  }
  else if (distance <= 150 && distance >= 141) {
    tone(piezo, 1000, 100);
    digitalWrite(blueLED, 255);
    Serial.println("150cm내에 장애물이 있습니다.");
  }
  else if (distance <= 100 && distance >= 91) {
    tone(piezo, 2500, 600);
    digitalWrite(greenLED, 255);
    Serial.println("100cm내에 장애물이 있습니다.");
  }
  else if (distance <= 40 && distance >= 31) {
    tone(piezo, 3000, 1000);
    digitalWrite(redLED, 255);
    Serial.println("조심하세요!!");
  }
}
    
```

Fig. 7. Arduino Coding Program

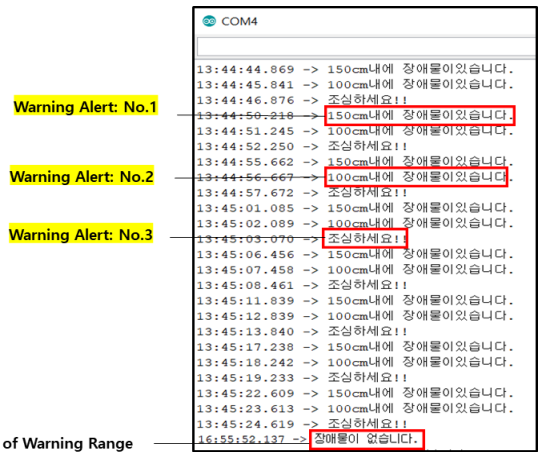


Fig. 8. Serial Print Screen

록 하였다. ③ 거리 범위 100cm에서 91cm 사이의 범위에서는 2번 경고인 “100cm 내에 장애물이 있습니다.”는 메시지가 시리얼 프린트에 출력되고 ④ 마지막 3번 경고는 거리 범위 40cm에서 31cm 이내의 범위로 위험 구역과 작업자가 가장 밀착되어 있을 때 “조심하세요.” 라는 메시지 출력과 마지막으로 경고가 울릴 수 있도록 설정하였다.

거리 범위 코딩에 따른 LED 출력 및 음성 출력 또한 ① 경고 1부터 피에조 부저(스피커)에서 파란 LED, ② 경고 2에서 초록 LED, ③ 경고 3의 피에조 부저에서는 빨간 LED로 설정하여 음성 출력은 1번 경고에서 3번 경고로 넘어갈수록 “삐”음이 더 높아지고 횟수가 증가하도록 하였다.

Table 3. Arduino Distance and Effect

Warning	Warning Range	Effect
No Range	Over 200cm	None
Warning No.1	150cm to 141cm	'Beep' Sound, Blue LED
Warning No.2	100cm to 91cm	'Beep*2' Sound, Green LED
Warning No.3	40cm to 31cm	'Beep*3' Sound, Red LED

대한보건협회<sup>4)</sup>에서는 운동 시 성인 남성 기준으로 평균 보폭을 70cm로 규정했는데, 본 연구에서 지정한 거리 범위 시작 200cm는 성인 남성 보폭을 고려하여 약 4번 정도 이동할 수 있다.

이는 작업자가 작업을 진행할 때 뒤를 확인하지 못하고 뒷걸음질하며 위험 구역과 가까워진다고 가정하면 경고 범위 1, 2, 3번에 순차적으로 감지될 수 있다.

### 3.4 스마트 세이프티 센서 구현

본 연구에서 제안하는 스마트 세이프티 센서 장치는 초음파 센서를 사용하여 위험 구역과 작업자간의 거리를 인지하고 LED와 피에조 부저를 통해 각각 시각, 청각적 경고를 주도록 했다.

장치 제작에 사용된 아두이노 호환 부품인 UNO R3 보드, 초음파와 스피커(폭 4.3cm), 피에조 부저, 삼색 LED, 브레드 보드와 연결 케이블을 이용하여 코딩하고 장치에 업로드 했다.

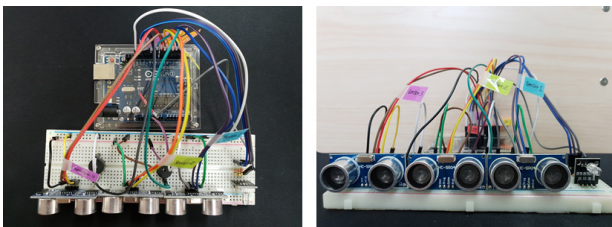


Fig. 9. Smart Safety Sensor Model

## 4. 센서 장치 모의실험 및 결과의 고찰

### 4.1 모의실험 진행

건설현장에 적용될 적합한 스마트 세이프티 센서 모델 장치를 제작하고 모의실험을 진행하였으며, 너비 150cm, 길이 200cm의 인위로 꾸며진 실험 환경에서 추락과 접촉사고와 유사하도록 하였다.

이어 실험에서는 추락과 접촉사고로 꾸며진 두 상황을 통해 장치가 코딩된 내용대로 작동되는지 확인하였다.

실험에 사용된 장치는 단일 초음파 센서의 범위를 확인해

4) 靑松 건강칼럼(658)에 따르면 보행속도는 평균 시속 4km보다 조금 빠른 시속 4.5km가 적당하며, 성인 평균 보폭 기준 (운동 시)은 약 70cm로 1분당 약 95걸음 수준이다(대한보건협회, 박명윤 보건학 박사, 2018. 09).

보기 위해 초음파 센서 1개를 사용하였다. 또한 삼색 LED가 제대로 작동되는지 확인하기 위해서 LED도 후면에 배치하였다. 모의실험에 사용된 스마트 세이프티 센서는 초음파 센서의 작동을 알아보고 실험값을 도출하여 현장 적용성을 검증하기 위해서 제작하였으며 단일 초음파의 감지 폭은 약 4.3cm 이었다.

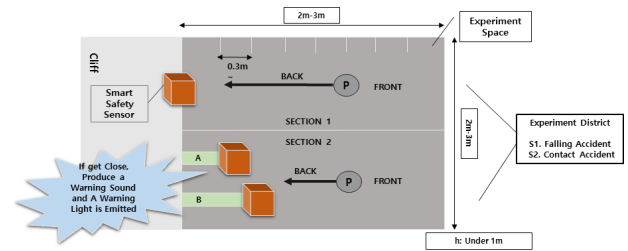


Fig. 10. Simulated Experiment Plan

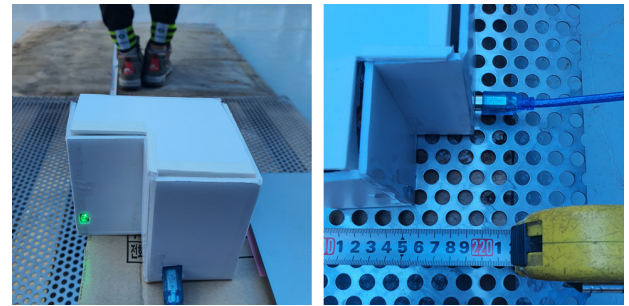


Fig. 11. Simulated Experiment

모의실험의 설정 조건은 220cm의 강판에서 시작 지점을 20cm로 하고 150cm에서 141cm 사이에서 1번 경고, 100cm에서 2번 경고, 마지막으로 40cm에서 사이에서 3번 경고 효과가 나오도록 하였다.

총 15번의 실험을 진행한 데이터에서 5번과 8번이 정확한 범위에서 작동하였다. 평균값은 1번 경고의 평균 감지거리 148.01cm로 오류횟수 5번, 2번 경고의 평균 감지거리 94.29cm로 오류횟수 1번, 3번 경고의 평균 감지거리 32.91cm로 오류횟수 3번의 실험 결과를 보여주었다.

또한 실험자의 보폭을 실험 1에서 실험 10까지는 130mm씩 이동하였고, 실험 11에서 실험 15까지는 260mm씩 움직여 보폭을 달리해도 실험 결과에 영향이 있는지 알아보았으나 급작스러운 방향의 전환이나 센서 거리 범위에 머무르는 시간이 약 1초 미만인 경우를 제외하면 센서 인식에 큰 차이점은 없는 것으로 나타났다.

Table 6. Simulated Experiment Result

Number	Detection Distance	Effect	
1	Warning 1	150cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	100cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
2	Warning 1	150cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	90cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
3	Warning 1	-	-
	Warning 2	90cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	35cm	No.3 Alert, RED LED
4	Warning 1	-	-
	Warning 2	95cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
5	Warning 1	150cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	100cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	40cm	No.3 Alert, RED LED
6	Warning 1	-	-
	Warning 2	95cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
7	Warning 1	150cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	100cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	-	-
8	Warning 1	150cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	100cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	40cm	No.3 Alert, RED LED
9	Warning 1	160cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	90cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
10	Warning 1	140cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	100cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
11	Warning 1	-	-
	Warning 2	90cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
12	Warning 1	140cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	-	-
	Warning 3	40cm	No.3 Alert, RED LED
13	Warning 1	-	-
	Warning 2	100cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
14	Warning 1	-	-
	Warning 2	100cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	30cm	No.3 Alert, RED LED
15	Warning 1	140cm	No.1 Alert, BLUE LED
	Warning 2	70cm	No.2 Alert, GREEN LED
	Warning 3	-	-

#### 4.2 스마트 세이프티 장치 경험자 설문조사 결과

국내 중소규모 건설현장 두 곳에 스마트 세이프티 센서 초기 모델을 작업자가 직접 경험하게 하고 해당 설문지를 작성하도록 했다.

Table 7. Survey of Smart Safety Sensor

Type	Survey Contents	Survey Results (Number of People)				
		Strongly Disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly Agree
Safety Improvement	Effect of Improving Safety Awareness	1	2	3	4	5
	Effect of Reducing Safety Accident Rate	-	1	4	15	2
Economic Efficiency	Efficient Use of Construction Site Safety Management Costs	-	-	5	15	2
Risk Detection	Risk Detection Effect	-	1	5	13	3
	Accident Prevention Effect	-	-	5	11	6
Suitability	Appropriateness of Device Size	-	-	15	5	2

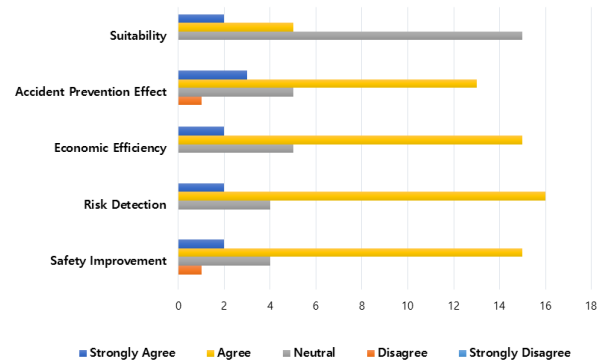


Fig. 12. Survey Results

각각의 문항에 1번 ‘전혀 그렇지 않다.’ 부터 5번 ‘매우 그렇다’ 까지 5개의 객관식 문항으로 구성하여 작업자가 설문지를 작성하는데 불필요한 시간을 소요하지 않도록 하였다.

설문은 코로나로 인한 외부인의 출입통제 문제 때문에 비대면으로 진행하기 위해 설문지와 작동 영상, 방법 등을 2개의 대상 현장(경상도 봉화, 경기도 화성)의 관리자에게 메일로 발송하고, 설문내용을 스캔하여 받는 방식과 전화를 통한 전문가 인터뷰를 하는 총 2가지 방식으로 진행되었다. 설문지를 작성하는 현장에는 장치도 함께 보내어 작업자들이 경험할 수 있게 하였다. 설문에는 작업자 17명, 관리자 4명, 현장 대리인 1명으로 2개의 대상 현장을 합해서 총 22명의 현장 관계자가 참여하였으며 건축경력은 평균 19.5년으로 최소 10년 이상 근무하였음을 확인하였다.

설문조사 결과는 <Table 6>와 <Fig. 12>와 같다. 다수의 작업자들이 각각 안전인식 개선, 경제성, 위험성 감지, 적합성 5개의 분야에서 4번 ‘그렇다’의 답을 선택했으며 실제로 장치를 직접 사용해보니 경량 소재를 사용하여 가벼웠고 경고음이 3번에 걸쳐서 짧게 알려줌으로써 근처에서 작업할

때에는 소리 범위 안에 들어가지 않게 주변을 살필 수 있게 됐다고 하였다.

전화 인터뷰 설문 내용에서 관리자는 장치의 크기가 작고 가벼워서 어디든지 간편하게 탈부착이 가능함으로써 중소 규모 현장의 적용성을 높인 것이 큰 장점이라고 하였다.

그 중에서도 안전인식 개선 분야와 위험성 감지 두 분야에서 2번 ‘그렇지 않다’를 선택한 작업자는 7번의 기타 문항에서 경량 소재로 제작했기 때문에 현장의 특성상 버티지 못할 것 같다, 경고음이 울릴까봐 신경 쓰게 됨으로 작업에 대한 집중도가 떨어질 수 있다는 점을 지적하였다.

또한 유선 장치가 아닌, WIFI 등의 무선 인터넷 기술로 제작을 한다면 공사 예산이 넉넉하지 않은 중소규모 현장이 자주 사용할 것 같으며 향후 연구에 관련하여 긍정적인 답변을 얻을 수 있었다.

또한 전화 인터뷰를 진행했던 경기도 화성시의 창호 공사 중소규모 업체 대표는 높은 곳에서 작업을 하는 직업 특성상 추락에 대한 위험이 가장 큰데 본 연구에서 제안하는 장치가 가볍고 어디에든 설치하기에 부담스럽지 않은 기능과 크기라고 하면서도, 초기 모델이라 유선 연결하여 프로그래밍을 진행한 부분을 무선 연결인 WIFI, 5G 등의 통신망 연결 시스템을 사용하면 더 효율적으로 쓰일 것이며 LED 센서의 작은 크기로 인해 놓치기 쉬우므로 크기를 키우는 것이 좋을 것 같다는 의견을 받을 수 있었다.

### 4.3 스마트 세이프티 센서의 원가 분석

2020년 국내 건설업계는 4차 산업혁명의 흐름을 따라 기존의 전통적인 시공방식에서 첨단기술을 사용한 시공 장비, 안전 장비 등의 사용 범위를 점차 늘려가고 있으나, 이러한 첨단 기술을 탑재한 신(新) 장비들이 중소규모 시장까지 닿기에는 비용, 기술적인 부분에서 한계를 보일 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 장치인 스마트 세이프티 센서 메인 시스템의 단가가 24,560원으로 3만원 내에서 해결할 수 있으며 걸은 감사는 강화 필라멘트를 사용한 3D 프린터 제작 케이스를 부착한다고 해도 실제 총 금액은 5만원 내외일 것으로 보인다.

Table 8. The Cost Used to Fabricate the Device

Product Name	Quantity	Amount (Won)
USB Arduino Cable	1	6,560
Jumper Cable for Arduino	1	2,500
Ultrasonic Wave Sensor	4	4,400
Piezo Buzzer	2	1,100
Trichromatic LED for Arduino	1	2,900
Arduino UNO R3 Board	1	7,100

스마트 세이프티 센서를 사용했을 시에 경제적인 부분과 기능적인 부분을 저렴하고 쉽게 해결할 수 있다는 큰 장점이 있다.

또한 스마트 세이프티 센서를 경험한 작업자들에게 자신이 위험 범위에 들어왔음을 확인하고 위험에서 떨어질 수 있게 대처할 수 있도록 인지시켜주는 과정은 기존에 진행된 기본적인 안전교육을 통해 습득하고 있었으나 작업자가 센서를 통해 실제 작업현장에서 한 번 더 각인할 수 있게 함으로, 작업의 능동적인 안전인식 개선에 효과가 있었음을 알 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 건설현장에서 일어나는 다양한 안전사고 유형 중에서도 1, 2위 순위를 차지하는 추락사고, 접촉사고를 예방하기 위해 초음파 센서를 이용한 물체 감지 시스템 및 경고 알람 기능을 탑재한 스마트 세이프티 센서를 개발하고 그 적용성을 중소규모 현장을 대상으로 평가하였다.

장치를 통해 위험범위에 들어온 작업자가 사전에 위험요소에 대해 인지하고 추락과 접촉 안전사고를 예방하는 것을 목표로 그 효과를 검증하기 위해 연구를 진행하였다.

본 연구에서 개발한 스마트 세이프티 센서 장치를 통해 작업자 스스로가 위험을 감지하고 주의할 수 있다는 효과를 설문문을 통해, 작업자가 실제 작업을 할 때 경고음이 울리면 주변을 살피는 습관을 가지게 되었다고 하였다. 이는 작업자의 능동적인 안전인식 개선이 효과적으로 이루어졌음을 알 수 있었다. 본 장치를 통해 작업자의 능동적인 안전인식 개선, 안전관리에 필요한 인력비용 절감의 효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서 개발한 장치는 초음파 센서를 사용하여 물체(작업자)를 인식하고 경고를 알리는 방식으로써 범위 안에 작업자가 들어오면 작동되지만 작업자가 아니라 물체도 인식할 수 있으며 유선 연결 방식으로 노트북 또는 컴퓨터가 장치와 연결이 되어야한다는 한계점이 있었다.

향후 연구에서는 다음 사항을 보완하고자 개발한 장치에서 WIFI 등의 무선 통신 기능을 추가로 탑재하고, 물체를 인식하는 광범위의 초음파 센서에서 사람인 작업자만 인식할 수 있는 인체 감지 적외선 센서로 교체하여 해당 내용이 보완된다면 건설현장에서의 사용 범위가 더욱 증가할 것이며 건설안전의 첨단화에 기초적인 자료로서 충분히 활용 가능할 것으로 사료된다.

또한 여러 개의 장치를 설치하여 컴퓨터에 입력된 경고 인식 횟수 및 시간을 분석하면, 작업자들의 안전에 취약한 부분을 통계적으로 나타내어 안전 관리비의 효율적인 사용이 가능할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 성과는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1058866).

## References

- Kim, C.S., and Yun, S.H. (2006). "The Improvement Program for the Shedding of Analysis and a Prevention of Construction Accident." *College Student's Academic Conference*, KICEM, pp. 199-202.
- Kim, H.J., Jin, H.B., Youm, W.S., Kim, Y.G., and Park, K.H. (2019). "Intelligent Sensor Technology Trend for Smart IT Convergence Platform." *ETRI Journal*, p. 12.
- Kim, K.H., and Jang, H.M. (2014). "Study on the Reaserch Trends and Prospects about Construction Saferty & Disaster." *Journal of the Korea Saf. Manag. Sci*, 16(4), p. 9.
- Kim, M.S. (2015). *Understanding IoT and Technology and Future Service Directions*, IITP, p. 13.
- Lee, C.Y., Suh J.W., Baek J.E., and Choi, Y.S. (2017). "Review of Collision Systems for Mine Safety management: Development Status and Applications." *Korean Society for Rock Mechanics, TUNNEL & UNDERGROUND SPACE*, 27(5), pp. 282-294.
- Lee, D.G., Kim, W.B., Kim, Lim, S.K., and Komg, K.S. (2019). "Smart Safety Helmet Using Arduino." *The Journal of The Institute of Internet Broadcasting and Communication*, 19(1), pp. 77-83.
- Moon, S.W, Choi, E.G., and Hyun, J.H. (2011). "Safety Management of the Retaining Wall Using USN Sonar Sensor." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 12(6), pp. 22-30.
- Shin, H.W., Kim G.H., Kim T.H., Kim, T.H., and Choi, E.K. (2010). "The Effectiveness of Emotional Safety Using PIR Sensors in Building Construction Site." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 10(4), pp. 59-65.

---

**요약** : 한국산업안전보건공단의 산업재해통계 보고서 최근 4년 동안의 자료를 확인하면 2017년부터 2020년 6월까지 건설현장의 재해자 수가 약 93,158명, 사망자 수가 약 1,977명으로 건설업이 재해율 총 3위, 사망률 총 1위로 높은 안전사고 추이를 보이고 있다. 그 중에서도 전체 직업군에서 추락으로 인한 사망사고 및 접촉으로 인한 사망사고는 전체 사고 유형 중 3위 안으로 빈번하게 발생하는 안전사고이다. 본 논문은 건설현장의 다양한 유형의 안전사고 중 발생 비율이 가장 높은 추락과 접촉 사고 두 유형의 안전사고를 예방하기 위해 초음파 센서를 이용한 스마트 감지 장치를 개발하여 직접 현장 작업자가 경험하게 한 결과, 설문참여 작업자의 69.5%이상이 센서의 현장 적용성에 대해 긍정적으로 평가하였으며, 이를 토대로 건설업 안전사고의 전체 비율을 감소하는데 일조 하고자 한다.

**키워드** : 안전사고, 건설현장, 초음파 센서, 아두이노

---