

건설장비의 안전 솔루션 기술 동향

Technological Trends in Safety Solutions for Construction Equipment

김용진¹ · 서명국^{2*}

Yong Jin Kim and Myoung Kook Seo

Received: 30 Mar. 2023, Accepted: 15 Apr. 2023

Key Words : Construction Industry(건설 산업), High Accident Rate(높은 사고율), Safety Equipment(안전 장비), Technological Trends(기술 동향)

Abstract: Negative perceptions of the construction industry are prevalent due to the high accident rate at construction sites. Recently, with the gradual change of the perception in industrial safety, the demand for improving the safety level of construction sites has increased. Accordingly, the government is preparing various safety-level measures such as the Serious Disaster Punishment Act and support for industrial safety management costs. In addition, private industries are incorporating various safety equipment in the sites. This paper introduced the current status of safety sensors and solutions currently applied to construction equipment and industrial vehicles. The technology development direction suitable for construction equipment was introduced by comparing the operating environment of automobiles and construction equipment. and the need to develop performance standards to protect and revitalize the market for safety devices for construction equipment was suggested.

1. 서 론

건설장비와 산업 차량으로 인한 사고는 치명적인 사고로 이어지고 있다. 2021년 고용노동부의 통계 자료¹⁾에 따르면 2018년부터 2020년까지 3년간 건설장비로 인한 사고 사망자는 총 259명으로 나타났다. 이는 건설업 사망자의 20%로 매우 심각한 수준이다. 건설장비 별로 살펴보면 굴착기로 인한 사망자가 59명으로 가장 많았고, 그다음으로 고소작업대로 인한 사망자가 47명으로 나타났다.

또한, 2021년 안전보건공단에서 건설현장과 산업

현장을 통합하여 조사한 자료²⁾에서는 지게차의 사망자가 가장 큰 것으로 조사되었고, 건설현장으로 국한하는 경우에는 굴착기가 가장 많은 사고를 유발하는 장비로 조사되었다. 건설장비로 인한 사망사고의 주요 발생형태는 충돌이 24%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 장비에서 추락하거나 깔리는 사고 역시 큰 비중을 차지하였다.

이렇게 건설현장의 높은 사고 발생률로 인하여 건설 산업에 대한 부정적 인식이 만연해져 있는 상황에서, 산업안전에 대한 인식이 점차 전환되면서 건설현장의 안전수준 개선에 대한 요구가 증가하였다. 이에 따라 정부에서는 중대재해처벌법과 산업안전 관리비 지원 등 다양한 안전수준 대책을 마련하고 있고, 민간 산업체에서는 다양한 안전장치를 현장에 적용하고 있다.

본 논문에서는 현재 건설장비 및 산업 차량에 적용되고 있는 안전 센서와 솔루션 현황을 소개한다. 건설장비와 자동차의 동작 환경을 비교분석하여, 건설장비에 적합한 기술 개발 방향을 소개하고, 시장

* Corresponding author: seomk@koceti.re.kr

1 HYUNDAI M SYSTEMS, Suwon-si, Gyeonggi-do 16681, Korea

2 Korea Construction Equipment Technology Institute, Gunsan, Jeollabuk-do 54004, Korea

Copyright © 2023, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

보호 및 활성화를 위한 건설장비용 성능기준 개발 필요성을 제시한다.

2. 건설장비 안전 솔루션의 현황

건설장비의 안전 솔루션은 영상 감시에서 시작되었다. 건설장비에서는 자동차에 후방카메라를 장착하기 이전부터 CRT(cathode ray tube)모니터와 아날로그 카메라를 도입하였다. 이후 자율주행 자동차 연구 분야가 활발히 진행되면서 레이더(radar), 라이더(lidar), 열화상 센서 등 다양한 센서가 화두가 되면서, 건설장비에서도 이러한 센서를 도입한 안전 솔루션이 개발되고 있다.

2.1 영상 기반 안전 솔루션

건설장비 안전 솔루션에서 카메라는 건설장비의 측/후면에 설치되어 건설장비 주변의 영상을 운전자에게 제공한다. 자동차에서 사용하는 카메라와 같은 기능을 제공하지만, 건설장비에서는 높은 내구성이 요구되어 heavy duty camera라는 용어로 통용되고 있다.

카메라 시장은 커넥티드 카(connected car), 자율주행차 등의 출현으로 급성장을 하고 있다. Table 1과 같이 차량용 카메라 기술은 초창기 VGA급 카메라에서 시작하여 최근에는 디지털카메라 방식으로 진화하면서 꾸준히 화질이 향상되고 있다.

건설장비에서는 운전자의 사각지대를 최소화하기 위해서는 측면/후면에 다수의 카메라가 장착되어야 한다. 하지만 카메라 수가 늘어나면서 운전자가 동시에 확인해야 하는 영상 수가 증가하는 문제가 발생하였다. 이러한 문제에 대응하기 위해서, 최근 건설장비에서는 주변 360도 영상을 단일 화면에 제공하

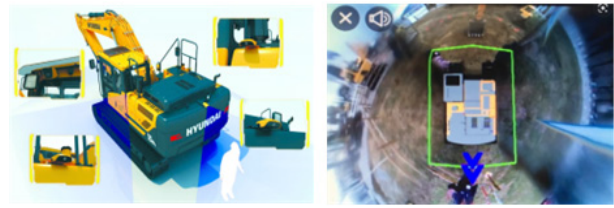


Fig. 1 Around view monitoring system⁵⁾

는 어라운드뷰 모니터링(around view monitoring) 기술^{3,4)}이 도입되었다. Fig. 1은 국내 최초로 이동객체검출(moving object detection) 기능을 지원하는 현대건설기계의 어라운드뷰를 보여준다. 현대건설기계의 어라운드뷰 모니터 시스템은 소형 장비 기준으로 3대의 카메라, 중대형 장비 기준으로 4대의 카메라를 장착하여 360도 전 방위를 감시한다. 카메라 방식은 초창기 VGA급에서 최근에는 HD급으로 화질이 개선되어 출시되었다.

건설장비에 장착되는 어라운드뷰는 기본적으로 자동차의 어라운드뷰와 같지만, 건설장비는 자동차에 비해 크므로 최대 6~8대까지의 카메라를 장착하여 어라운드뷰 영상을 합성하는 기술이 요구된다. 또한, 건설장비는 진동이나 충격에 노출되어 카메라의 광축이 틀어져 어라운드뷰 합성 영상이 왜곡될 가능성이 크다. 따라서 영상에 왜곡이 발생하였을 때 현장에서 왜곡을 개선할 수 있는 자동 보정(auto-calibration, self-calibration) 기술이 요구된다.

한편, 어라운드뷰 시스템은 굴착기와 같이 선회 작업을 수행할 때 접근하는 사람이나 물체를 감지하는데 한계가 있다. 이는 기존 어라운드뷰 시스템에 적용된 이동객체검출 기능은 영상의 프레임의 영상 차이로 물체의 접근 여부를 확인하는 방식이기 때문에 장비가 이동하거나 선회하는 상태에서는 물체를 구분하는 것이 어렵다. 이와 같은 어라운드뷰 솔루션의 한계로 인하여 최근 건설장비용 어라운드뷰 솔루션에서는 인공지능 기법을 도입하거나 레이더 또는 초음파 센서를 융합하는 방식으로 기술 개발이 이루어지고 있다.

2.2 TOF(time of flight) 센서 기반 안전 솔루션

자동차의 후방 감지를 위하여 사용되던 초음파 센서가 일부 건설장비에 도입되었다. 애프터 마켓(after market)에서 자동차 후방 감지용으로 판매되는 초음파 센서를 지게차나 굴착기에 설치하는 것으로, 초음파 센서는 짧은 탐지 거리와 내구성 문제로 인하여 확대 적용에 한계가 있다⁶⁾.

Table 1 Features by camera

| Type | Features |
|-----------|---|
| VGA | - Analog type - (weakness) low resolution |
| AHD | - HD resolution - VGA wiring available - (weakness) limited image processing |
| Digital | - Digital transmission(GMSL, FPD-LinkIII etc.) - (weakness) use optical cable |
| IP camera | - Ethernet-based digital transmission - Easy image processing - (weakness) Compatibility problem Between IP Cameras |

라이다는 펄스 레이저 쏘아 주변 사물의 위치, 운동 방향, 속도 등을 측정 가능한 센서로 최근 자율주행 자동차 및 건설기계 분야⁷⁻⁹⁾에서 주목을 받고 있다. 하지만 라이다는 높은 가격과 먼지가 많은 건설 현장에서 광원의 산란 등으로 인한 문제가 있어 보급에 한계가 있다. 최근에는 4D 라이다¹⁰⁾가 개발되면서 먼지 조건에서도 동작할 수 있다고 알려져 있으나 건설장비용으로 상용화되기에는 내구성 등에서 제약이 있다.

레이더는 악조건에서도 안정적인 탐지 성능을 제공할 수 있어 자동차뿐만 아니라 건설현장에서 적합한 센서이다. 초창기에는 미국의 Preview Radar 등을 중심으로 24GHz 대역의 FMCW(frequency modulation continuous wave) 레이더를 건설장비에 적용했다. 초창기 레이더의 문제점은 고비용의 가격 문제로 인하여 확대 보급에 어려움이 있었다. 그러나 ADAS(advanced driver assistance system) 및 자율주행 기술이 발전하면서 자동차에 레이더를 적용하는 사례가 증가하고 이를 기반으로 레이더의 가격이 급격하게 하락하면서 건설장비에도 레이더를 적용하는 추세이다.

건설장비에 레이더를 적용한 대표적인 업체로는 일본의 히타치(Fig. 2)와 미국의 캐터필러(Fig. 3)가 있다. 국내에서는 현대엠시스템즈가 현대건설기계와 협력하여 77GHz FMCW 레이더를 국내 최초로 건설장비에 상용화하였다.



Fig. 2 Hitachi's aerial angle vision display system¹¹⁾



Fig. 3 Caterpillar's object detection system¹²⁾

2.3 RTLS 기반 안전 솔루션

건설장비의 안전 솔루션으로 사용되는 실시간 위치추적 시스템(real time location system; RTLS)은 리더(reader)와 태그(tag)로 구성되며, 일정 범위 내에 태그가 진입하면 리더에서 운전자에게 위험 신호를 제공하는 장치이다.

실시간 위치추적 시스템은 기본적으로 RF-ID, UWB(ultra wide band), WiFi, BLE(bluetooth low energy) 등의 다양한 방식이 존재하고 있다. 건설장비에서는 접근하는 물체를 정밀하게 탐지하기 위하여 능동형 방식인 BLE 와 UWB(ultra wide band)를 이용한 RTLS 방식이 널리 사용되고 있다.

UWB 기술은 초광대역 주파수 대역에 전파를 확산 도약하여 반사되는 반사파와의 지연을 측정하는 방식이며, 초광대역 주파수 대역과 고속의 확산 도약을 이용함으로써 매우 정밀하게 물체의 거리를 측정할 수 있다.

이러한 능동형 RTLS 기반의 안전 솔루션은 탐지 거리가 정밀하며 설치 및 사용이 편리하다는 장점이 있으나, 태그를 소지하지 않은 사람은 탐지할 수 없다는 근본적인 문제점을 가지고 있다. 또한, 주기적으로 태그를 충전해 주어야 한다는 번거로움이 있다¹³⁾. Table 2는 현재 사용되고 있는 실시간 위치추적 시스템을 보여주고 있다^{14,15)}.



Fig. 4 RTLS device

Table 2 Comparison of wireless communication devices

| | RFID | UWB | WiFi | BLE |
|-------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Frequency band | 900 MHz | 3~10 GHz | 2.4 GHz | 2.4 GHz |
| Tag mechanism | passive | active | active | active |
| Tag power | N/A | required | required | required |
| Range(m) | 1-5 | 70-250 | 50-150 | 15-100 |
| Accuracy | cm to 1 m | cm | 5-15 m | 1-5 m |
| Power consumption | N/A | middle | high | low |

3. 건설장비용 안전 솔루션의 최신 기술동향



3.1 인공지능 기반의 안전 솔루션

자동차의 자율주행 기술이 발전하면서 건설장비 안전 분야에서도 인공지능과 센서 융합 기법을 적용하는 기술이 개발되고 있다¹⁶⁾. 하지만 건설장비는 자동차와 운용되는 환경이 상이하므로 인공지능 기술의 접근 방식에도 차이가 있다. 다음의 Table 3에서는 자동차와 건설장비 분야에 적용되는 센서 및 인공지능 개발 관점 차이점을 보여준다.

인공지능 기반의 건설장비 안전 솔루션을 선도하고 있는 국가는 중국이다. 중국에서는 국가적 차원에서 인공지능 기술을 개발하고 있으며 몇몇 중국 업체들이 애프터마켓 시장을 장악하고 있다¹⁷⁾. 건설장비 강국인 일본에서는 건설장비 제조사를 중심으로 인공지능 기반의 안전 솔루션을 개발하고 있다. 대표적인 기업은 Komatsu이며, 미국의 NVIDIA와 공동으로 인공지능을 이용하여 건설장비 주변에 접근하는 사람을 탐지하는 기술을 상용화하고 있다¹⁸⁾.

미국의 경우는 세계적인 건설장비 업체인 Caterpillar(CAT)와 John Deere 등을 중심으로 인공지능을 이용한 자율작업 솔루션을 개발하고 있다^{19,20)}. 유럽에서는 볼보건설기계가 가장 선도적인 인공지능 안전 솔루션을 개발하고 있으며, 2022년 10월 독일 마우마 전시회에서 최신 인공지능기반의 안전 솔루션을 공개하였다.

Table 3 Comparison of AI development points for automobiles and construction equipment

| | Vehicles | Construction equipment |
|-------------------|--|---|
| Sensors | Camera, radar, lidar | Camera, radar |
| Usage environment | Road | Mountain, jungle, desert, snow fields etc. |
| POV of camera | Similar to driver's POV  | Higher than driver's POV  |
| Learning target | People, cars, bicycles etc. on the road | People, construction equipment, personal protection tools, and geographical factors on the construction site |

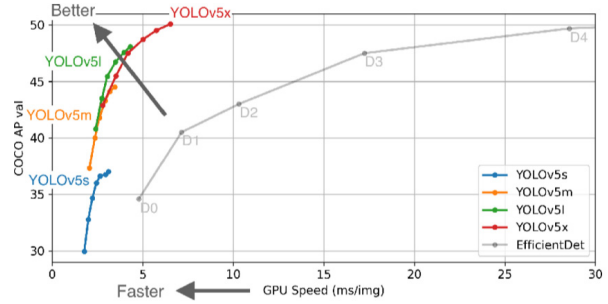


Fig. 5 Evolution of Yolo model²²⁾

건설장비 인공지능 안전 솔루션에는 기본적인 R-CNN 알고리즘이 사용되고 있다. 지역화(localization)를 수행한 후 분류(classification)가 진행되는 2단계 방식의 R-CNN 알고리즘은 높은 정확도의 검출 결과를 제공하며, Fast R-CNN, Faster R-CNN, Mask R-CNN이 같은 다양한 알고리즘이 제시되고 있다.

한편 최근 빠른 물체 인식이 요구되면서 Yolo 알고리즘을 이용하는 사례가 증가하고 있다²¹⁾. Yolo 알고리즘은 한번의 수행으로 지역화와 분류가 같이 진행되는 1 단계 방식이며, 2단계 방식보다 빠른 검출 결과를 제공한다.

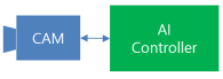

Fig. 5처럼 Yolo 알고리즘은 조금씩 성능이 향상되면서 여러 가지 형태로 제시되었다. 국내 현대엠시스템즈에서는 임베디드 시스템에 적용 및 최적화에 가장 알맞은 기반 알고리즘으로 YOLOv5를 적용하였고, 자체적인 보안을 통하여 차량, 사람, 비행기, 동물 등을 포함하여 최대 80가지 종류를 프레임마다 인식하도록 개발하였다.

현대엠시스템즈에서는 YOLOv5 알고리즘을 임베디드 시스템에 적용 및 양자화 과정에서 최적의 인식을 및 추론 속도를 위하여 활성화 함수(activation function)를 보안 적용하였다. 기본적인 시험 평가의 조건은 같은 하드웨어 플랫폼에 같은 학습 이미지(약 2,700장)에 대하여 감지 스크립트의 출력을 데이터 마이닝을 통하여 추론된 시간의 결과를 비교하였다. 시험결과 기존 YOLOv3 알고리즘과 비교하면 추가 연구를 통하여 수정한 YOLOv5 모델이 30% 이상 향상된 속도로 프레임 처리가 가능한 것으로 나타났다.

3.2 센서 융합 기반의 안전 솔루션

근본적으로 영상을 이용한 인공지능 솔루션은 먼지가 심하거나 광산이나 악천후 환경 등 악조건에서 동작의 한계가 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 영상과 레이더를 결합한 센서 융합 기술이 제시되고 있다(Table 4).

Table 4 Comparison of safety solutions in construction equipment

| | Existing technology | Sensor fusion technology |
|----------------------|--|--|
| System configuration |  Camera + AI |  Camera + radar + AI |
| Features | - Recognition of people/objects in a normal environment - Reduced detection rate under night, bad weather, fog conditions | - Recognition of people/objects in a normal environment - Detectable under night, bad weather, fog conditions |
| Technical status | - Rely on camera | - Use both camera and radar sensors |

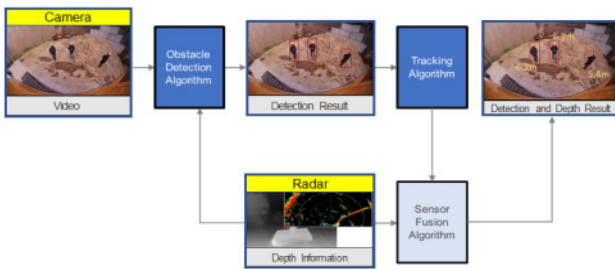


Fig. 6 Concept of sensor fusion

기본적인 센서 융합의 개념은 카메라로의 영상 정보에 레이더의 거리, 좌표, 속도 정보를 맵핑(mapping)하여 이에 대한 학습을 수행하는 것이다 (Fig. 6).

자동차와 건설장비에서의 센서 융합 기술이 차이는 자동차의 경우는 카메라와 레이더가 같은 방향성을 가지고 있지만, 건설장비의 경우는 카메라와 레이더가 검지하는 방향성에 차이가 있다(Fig. 7). 건설장비의 카메라는 높은 위치에 설치되어 있지만, 레이더는 약 1.5m 위치에서 수평 방향으로 설치가 되어 있다. 이는 경사면에서 주로 작업을 하는 건설장비의 경우 레이더를 낮은 위치에 설치하면 지면 반사로 인한 오 탐지가 빈번하기 때문이다. 이러한 이유로 건설장비의 경우는 카메라는 높은 위치에서 하향 각도를 가지고 검지하고, 레이더는 수평 위치에서 수평 각도로 감지를 하므로 감지 영역에서 차이가 발생하여 센서 융합을 수행하기에 상대적으로 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

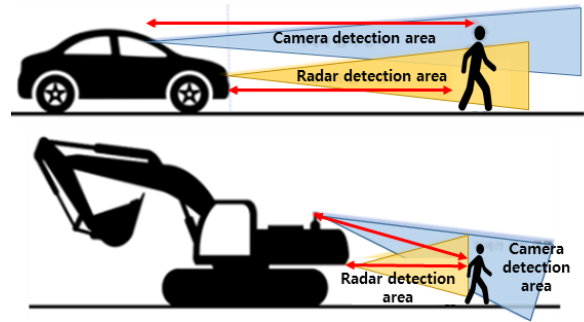


Fig. 7 Sensing angle of automobiles and construction machinery

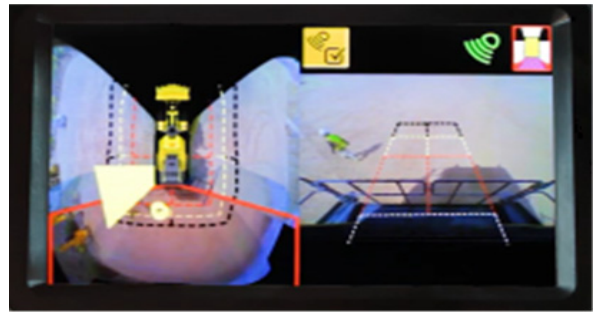


Fig. 8 Safety solution of Komatsu²³⁾

건설장비에서 영상과 레이더 센서를 각각 사용하여 안전 솔루션을 구현한 사례는 국내외에 많이 보고되고 있다⁶⁾. 일본의 Komatsu에서는 영상에만 의존하는 인공지능 안전 솔루션인 Komvision과 함께 영상과 레이더를 결합한 안전 솔루션을 출시하였다 (Fig. 8).

국내 현대엠시스템즈는 건설장비를 대상으로 센서 융합 기술을 개발하고 있다(Fig. 9). 먼저 레이더 센서에서 입력된 다양한 반사파 정보에 대해서 탐지 영역을 설정하여 해당 영역 내의 정보만 입력되도록 처리한다. 레이더의 반사파 정보에는 물체에 대한 반사 성분 외에 불필요한 반사 성분도 포함되어 있는데 이를 클러터(clutter)라 하며 레이더에서는 이와 같은 클러터 성분을 잡음 성분으로 간주하여 제거한 후 관심 물체에 대한 X-Y 좌표를 추출한다. 영상에 대해서는 카메라를 통하여 획득된 영상에 대해서 관심영역(region of interesting)을 설정하여 모니터링하는 영역을 제한한다. 관심영역 내의 영상에서 Yolo5 알고리즘을 이용하여 영상 내의 물체를 구분하고 이를

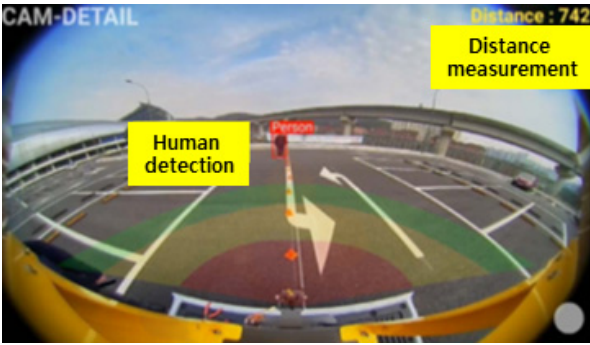


Fig. 9 Safety solution of Hyundai M Systems

레이더로부터의 X-Y 좌표 정보와 맵핑한다. 맵핑된 정보는 영상과 물체의 종류/거리/좌표 정보를 가지고 있으며 이를 운전자 및 주변 작업자에게 제공한다.

4. 국내 건설장비 안전 솔루션의 성능 인증 현황

건설장비의 열악한 작업 현장을 고려할 때 현장 조건에서 안전 솔루션의 성능 평가는 중요한 요소라고 할 수 있다. 자율주행 자동차 등의 경우에는 “자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙”을 통하여 부분 자율주행 시스템의 안전 기준을 규정하고 있다. 반면에 건설장비 안전에 대한 표준안으로는 2012년 12월 “KS B ISO16001 토공기계-위험감지 시스템과 시각보조장치 - 성능요구사항 및 시험”이 제정되어 있으며 토공기계에 적용되는 카메라, 모니터, 초음파 센서, 레이더 센서의 기본적인 성능 평가 기준이 되고 있다. ISO16001에 대한 국제 표준은 2022년 현재 “ISO16001:2017 - Earth-moving machinery—Object detection systems and visibility aids—Performance requirements and tests”가 제정되어 있는 상태이다. 이외에 자율주행 건설장비에 대한 안전 표준으로는 “ISO21815-1:2022 Earth-moving machinery—Collision warning and avoidance”가 제정 중에 있다.

국내에서는 중대재해처벌법이 2022년 1월부터 시행되었으며, 전체 건설현장 사업비의 최대 3%까지를 안전 관리비로 사용할 수 있도록 규정(산업안전보건법 제 72조/2022년 6월시행)하고 있다. 또한, 2022년 현재 지게차 안전 장비 장착 지원비로 지게차 1대당 최대 200만 원(최대 70%)까지 정부에서 보조금을 지원(고용노동부 2021년 1월 시행)하고 있다. 그러나 지게차 안전 장비에 대한 기술 기준이나 인증이 없는 실정이므로 성능이 검증되지 않은 안전 장비가 장착되어 심각한 문제가 발생하고 있다. 고용노동부

에서는 건설업에 대해 산업안전보건관리비 계상 및 사용기준안을 공고하고 있으나, 구체적인 성능 기준이 없이 업체의 홍보자료 및 사용설명서를 관리비 사용의 근거로 채택하고 있다.

선진국을 중심으로 안전에 대한 기준이 강화되고 있고, 자국산 장비에 대한 무역 장벽으로 작용할 가능성이 큰 상황으로, 국내 건설장비 제조사 및 안전장비 제조업체에서도 이에 대한 대비가 필요하다. 따라서 국내에서도 적합한 인증 기준의 제정 및 공인인증 절차가 준비되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 건설장비의 안전도 향상을 위해 활용되는 다양한 센서와 솔루션의 기술 현황을 다루었다. 건설장비용 안전 센서와 솔루션은 자동차용과 유사한 기능을 제공하지만, 건설장비의 크기, 시점, 진동 및 충격 등 동작 환경이 고려되어 개발되었다.

국내에서는 국토교통부 주관으로 2020년부터 스마트 건설기술 개발 사업을 진행하고 있다. 이러한 스마트 건설기술의 핵심은 건설장비의 무인화 및 자동화이며 이를 실현하기 위해서는 확실한 안전 솔루션이 기반이 되어야 한다. 현재 무인자동차 기술로 개발되고 있는 영상, 레이더를 이용한 인공지능 안전 솔루션과 라이다 및 초정밀 GPS 등의 센서가 추가된다면 안전 솔루션뿐만 아니라 자율작업 건설장비의 핵심 기술로 발전할 수 있을 것으로 예상된다.

또한, 기술 발전 및 시장 변화에 대응하고 국내 건설장비 안전산업 시장 보호 및 활성화를 위해서 건설장비용 안전 솔루션에 대한 명확한 기술과 성능 기준 개발이 필요하며, 이를 수행할 수 있는 공인인증기관의 확보도 시급하다고 할 수 있다.

후 기

이 보고서는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 제작되었습니다. (과제번호 20SMIP-A157130-01)

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) K. J. Kim, "One in five deaths in the construction industry is the cause of construction machinery and equipment," Korea specialty contractors association, Dec. 21, 2021, <https://www.koscaj.com/news/articleView.html?idxno=223733>.
- 2) S. G. Jeong, "Case Study of Construction Equipment Death Accident and Countermeasures," Critical Incident Issue Report, Korea Occupational Safety and Health Agency, Dec. 1, 2021.
- 3) G. S. Gwak, D. G. Kim and S. H. Hwang, "Precision Localization of Vehicle using AVM Image and RTK GPS for Urban Driving," Journal of Drive and Control, Vol.17 No.4 pp.72-79, 2020.
- 4) D. J. Yeom, J. H. Seo, H. S. Yeom, H. S. Yoo and Y. S. Kim, "The development of around view monitoring system pilot type for construction equipment," Korean journal of construction engineering and management, Vol.17, No.3, pp.143-155, 2016.
- 5) "AI-based next-generation Smart Excavator," HD Hyundai Construction Equipment Press Release, 2020, <https://www.hyundai-ce.com/ko/innovation/ai>.
- 6) B. W. Jo, Y. S. Lee, D. K. Kim, J. H. Kim, and P. H. Choi, "Image-based proximity warning system for excavator of construction sites," The journal of the korea contents association, Vol.16, No.10. pp.588-597, 2016.
- 7) M. K. Seo, B. J. Yoon, H. Y. Shin and K. J. Lee, "Development of an Integrated Sensor Module for Terrain Recognition at Disaster Sites," Journal of Drive and Control, Vol.17 No.3 pp.9-14, 2020.
- 8) J. C. Kim, Y. J Kim, M. G. Kim and H. M. Lee, "Collision Avoidance Sensor System for Mobile Crane," Journal of Drive and Control, Vol.19 No.4 pp.62-69, 2022.
- 9) J. I. Lee, G.S. Gwak, K. S. Kim, W.Y. Kang D. Y. Shin and S. H. Hwang, "Development of Virtual Simulator and Database for Deep Learning-based Object Detection," Journal of Drive and Control, Vol.18, No.4, pp.9-18, 2021.
- 10) "Improved Detection Capabilities Create Safer Vehicles, News, Nov. 29, 2016, <https://www.oemoffhighway.com/electronics/sensors/proximity-detection-safety-systems/article/20841041/object-detection-article>.
- 11) H. Y. Jeong, "INFOWORKS-Vixen, 4D LIDA New Product Launch," News, etnews, Nov. 8, 2022, <https://www.etnews.com/20221108000156>
- 12) "Cat® Rear Object Detection", Product catalog, 2022, <https://www.cat.com>.
- 13) M. Todd and P. E. Ruff, "Mining Publication: Monitoring Blind Spots: A Major Concern for Haul Trucks", Centers for disease control and prevention, 2001.
- 14) "Comparison of Bluetooth RTLS with other RTLS technologies such as RFID and UWB," News, People&Technology, Jan. 1, 2018, <https://pntbiz.co.kr/index.php/2018/01/16/023/>.
- 15) D. R. Kishore, "Comparing RTLS Tags: RFID vs BLE vs UWB vs Wi-Fi," News, Syook, 2022, <https://www.syook.com/post/comparing-rtls-tags-rfid-vs-ble-vs-uwv-vs-wi-fi>.
- 16) K. S. Kim, S. H Hwang, J. I, Lee, S. W. Gwak, W. Y. Kang and D. Y Shin, "Construction of Database for Deep Learning-based Occlusion Area Detection in the Virtual Environment", Journal of Drive and Control, Vol.19, No.3, pp.9-15, 2022.
- 17) B. H. Jeon, "Trends and Implications of China's Artificial Intelligence Industry: China's AI Rise and Success Strategy", Trade Focus, Institute for international trade, Vol.23, 2021.
- 18) K. Uchiyama, "Japan's Komatsu Selects NVIDIA as Partner for Deploying AI to Create Safer, More Efficient Construction Sites", NVIDIA Press Release, Dec. 12, 2017, <https://nvidianews.nvidia.com/news/japans-komatsu-selects-nvidia-as-partner-for-deploying-ai-to-create-safer-more-efficient-construction-sites>.
- 19) "The Amazing Ways John Deere Uses AI And Machine Vision To Help Feed 10 Billion People", News, Mar. 15, 2019, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/03/15/the-amazing-ways-john-deere-uses-ai-and-machine-vision-to-help-feed-10-billion-people/?sh=48b963812ae9>.
- 20) J. H. Won, J. T. Jeon, Y. K. Hong, C. J. Yang, K. C. Kim, K. D. Kwon and G. H. Kim, "Study on

- Traveling Characteristics of Straight Automatic Steering Devices for Drivable Agricultural Machinery", *Journal of Drive and Control*, Vol.19, No.4, pp.19-28, 2022.
- 21) S. B. Shim and S. I. Choi, "Development on identification algorithm of risk situation around construction vehicle using YOLO-v3", *Journal of the Korea academia-industrial cooperation society*, Vol.20, No.7, pp.622-629, 2019.
- 22) M. Choinski, M. Rogowski, P. Tynecki, P. J. Kuijper, M. Churski and J. W. Bubnicki, "A first step towards automated species recognition from camera trap images of mammals using AI in a european temperate forest," *CISIM 2021, LNCS 12883*, pp. 299-310, 2021.
- 23) K. Nakazawa, T. Eguchi and M. Machida, "KomVision Human Detection and Collision Mitigation System PC200-11, Komatsu Technical Report, Vol.67, No.174, 2021.