



인공지능 기반 건설장비 안전 기술

Artificial Intelligence-Based Construction Equipment Safety Technology

이 영 교

부천대학교 정보통신과

Young-Kyo Lee

Information & Telecommunication, Bucheon University, Gyeonggi-do, 14632, Korea

[요 약]

자율운행 기술을 건설 현장에 적용하는 것은 안전 상의 문제로 매우 어렵다. 하지만 카메라, 레이더 등 각종 측위 장치와 센싱 장치의 건설장비에의 적용은 매우 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 기술적 추이를 바탕으로 정부에서는 건설장비 및 산업용 차량으로 인한 사고 발생률을 줄이기 위하여 중대재해처벌법과 산업안전관리비 지원 등 다양한 노력을 하고 있다. 또한 관련 산업체에서는 지난 수년간 다양한 안전장비를 개발하여 현장에 적용하고 있다. 본 논문에서는 건설장비 및 산업 차량에 현재 적용되고 있는 안전 장비 관련 기술 현황을 알아보고, 인공지능을 기반으로 한 건설장비에서의 안전 기술 발전 방향을 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 기술을 기반으로 하는 건설장비의 안전성과 작업 효율성의 제고는 추후 시뮬레이션 등을 통해 검토되어야 할 것이다.

[Abstract]

Applying autonomous driving technology to construction sites is very difficult due to safety issues. However, the application of various positioning and sensing devices, such as cameras and radars, to construction equipment is very active. Based on these technological trends, the government is making various efforts, including the Serious Accident Punishment Act and support for industrial safety management expenses, to reduce the incidence of accidents caused by construction equipment and industrial vehicles. And, related industries have been developing various safety equipment over the past few years and applying them to the field. In this paper, we investigate the current status of safety equipment-related technologies currently applied to construction equipment and industrial vehicles, and propose a direction for the development of safety technology in construction equipment based on artificial intelligence. Improving the safety and work efficiency of construction equipment based on the technology proposed in this paper should be reviewed through simulation in the future.

Key word : Construction instrument, Artificial intelligence, AI-based safety solution, Real-time location systems, Sensor-based safety solution.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.4.566>



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.

Received 5 August 2024; Revised 6 August 2024
Accepted (Publication) 10 August 2024 (30 August 2024)

*Corresponding Author; Young-Kyo Lee

Tel: +82-32-610-3365
E-mail: yklee@bc.ac.kr

I. 서론

건설장비와 산업 차량으로 인한 사고는 대부분 치명적인 사고로 이어진다. 고용노동부의 통계 자료에 따르면 2018년부터 2020년까지 3년간 건설장비로 인한 사고 사망자는 총 259명으로, 이는 건설업 사망자의 20%를 차지하는 매우 심각한 수준이라고 할 수 있다. 건설 장비 별로 살펴보면 굴착기로 인한 사망자가 59명으로 가장 많았고, 고소작업대로 인한 사망자가 47명으로 그다음으로 나타났다 [1]. 산업 차량으로 분류되는 지게차의 경우는 더욱 심각하여 2010년~2019년까지 10년간 총 366건의 사고가 발생하였으며 한 해 평균 36명이 사망한 것으로 나타났다[2].

2021년 안전보건공단의 통계 자료에 따르면 지게차의 사망자가 가장 큰 것으로 조사되었으며, 이는 건설현장과 산업현장을 통합하여 조사한 결과이며, 건설현장으로 국한하는 경우가 가장 많은 사고를 유발하는 장비는 굴착기로 조사되었다. 건설장비로 인한 사망사고의 주요 발생형태는 충돌이 가장 큰 비중을 차지하였으며, 장비에서 추락하거나 장비에 깔리는 사고 역시 큰 비중을 차지하였다.

건설장비 및 산업 차량으로 인한 사고 발생률을 줄이기 위하여 정부에서는 중대재해처벌법과 산업안전관리비 지원 등 다양한 노력을 하고 있고, 관련 산업체에서는 지난 수년간 다양한 안전장비를 개발하여 현장에 적용하고 있다. 본 논문에서는 건설장비 및 산업 차량에 현재 적용되고 있는 안전 장비 관련 기술 현황을 알아보고, 인공지능을 기반으로 한 건설장비에서의 안전 기술 발전 방향을 제안하고자 한다.

II. 건설장비 안전 솔루션 기술

건설장비의 안전 솔루션은 카메라를 이용한 영상 감시에서 시작되었다. 자동차에 후방 카메라가 장착되기 이전부터 건설 장비에서는 CRT 모니터와 아날로그 카메라를 이용한 후방 감시가 도입되었다. 이후 자동차의 카메라 기술 및 센서 기술이 발전하면서 건설장비 안전 솔루션도 급격한 기술적 변화가 진행되었고, 특히 자율주행 자동차가 업계의 화두가 되면서 레이다, 라이다, 열화상 센서 등 다양한 센서가 개발되면서, 건설 장비에서도 이러한 센서를 도입하는 안전 솔루션 개발이 진행되고 있다.

2-1 영상 기반 안전 솔루션

건설장비 안전 솔루션의 가장 대표적인 장치는 카메라이다. 카메라는 건설장비의 후방 또는 측면에 설치되어 건설장비 주변의 영상을 운전자에게 제공한다. 자동차에서 사용되는 카메라와 건설장비에서 사용되는 카메라는 본질적으로는 동일한 기능을 하지만, 건설장비에서는 보다 높은 내구성이 요



그림 1. 후방 카메라
Fig. 1. Rear cameras.

표 1. 카메라 기술 비교
Table 1. Camera technology comparison.

Type	Features	Disadvantages
VGA	<ul style="list-style-type: none"> Analog No. of pixels : 480~640p 	<ul style="list-style-type: none"> Low definition
AHD	<ul style="list-style-type: none"> Improved picture quality to HD level Existing VGA wiring can be used No. of pixels : 720~1,080p 	<ul style="list-style-type: none"> Limitations in improving picture quality Limited image processing
Digital	<ul style="list-style-type: none"> Digital GMSL, FPD-LinkIII No. of pixels : >1,080p 	<ul style="list-style-type: none"> Change wiring to optical cable
IP Camera	<ul style="list-style-type: none"> High-definition transmission using IP(Ethernet)-based digital transmission Easy image processing No. of pixels : >2M pixel 	<ul style="list-style-type: none"> Difficulty in ensuring compatibility between IP cameras

구되어 건설장비 시장에서는 heavy duty camera라는 용어로 통용되고 있다.

카메라 시장은 커넥티드 카, 자율주행차 등의 출현으로 급성장을 하고 있다. 차량용 카메라 기술은 초창기 VGA급 카메라에서 시작하여 최근에는 디지털 카메라 방식으로 진화를 거듭하고 있다[3].

일반 건설장비에서는 주로 후방 카메라가 많이 장착되고 있지만, 크기가 큰 건설장비에서는 운전자의 사각지대가 넓어 장비의 후방뿐만 아니라 측면에도 카메라를 추가적으로 장착한다. 늘어나는 카메라 수에 따라 각 카메라의 영상을 제공하는 디스플레이의 수가 증가하면서 운전자가 작업 중 각 영상을 확인하여야 한다는 어려움이 발생하였다. 이러한 문제로 인하여 건설장비 주변 360도 영상을 제공하는 어라운드뷰 모니터링 (around view monitoring) 기술이 도입되었다. 그림 2는 국내 최초로 개발한 MOD (moving object detection) 기능을 지원하는 어라운드 뷰의 예를 보여준 것이다. 어라운드 뷰 모니터링 시스템은 소형 장비 기준으로 3대의 카메라를 장착하고, 중대형 장비 기준으로 4대의 카메라를 장착하여 360도 전방위를 감시할 수 있으며 카메라 방식은 초창기 VGA급에서 최근에는 HD급으로 화질이 개선되어 출시된 것으로 파악되고 있다.

건설장비에 사용되는 어라운드 뷰는 기본적으로 자동차의 어라운드 뷰와 동일한 장치이지만, 건설장비의 경우 일반적인



그림 2. 어라운드 뷰 화면
Fig. 2. Around view screen.

자동차에 비해 장비가 크므로 최대 6~8대까지의 카메라를 장착하여 어라운드 뷰 영상을 합성하는 기술이 요구된다. 또한 건설장비는 진동이나 충격에 노출되어 있으므로 카메라의 각도가 변화하여 광축이 틀어져 어라운드 뷰 합성 영상에 왜곡이 발생할 가능성이 높다. 따라서 어라운드 뷰 합성 영상에 왜곡이 발생하였을 때 현장에서 간단하게 왜곡을 개선할 수 있는 자동 보정 (auto-calibration, self-calibration) 기술이 요구된다.

한편, 어라운드뷰 시스템은 건설장비 최적의 안전 장비이지만, 굴착기와 같이 선회 작업을 수행할 때 접근하는 사람이나 물체를 탐지하는데 한계가 있다. 이는 기존 어라운드뷰 시스템에 적용된 MOD 기능은 영상의 프레임의 영상 차이로 물체의 접근 여부를 확인하는 방식이기 때문에 장비가 이동하거나 선회하는 상황에서는 물체를 구분하는 것이 현실적으로 어렵다[4]. 이와 같은 어라운드 뷰 솔루션의 한계로 인하여 최근 건설장비용 어라운드뷰 솔루션에서는 인공지능 기법을 도입하거나 레이더 또는 초음파 센서를 결합하는 방식으로 기술 개발이 이루어지고 있다.

2-2 센서 기반 안전 솔루션

자동차의 후방 감지를 위하여 사용되던 초음파 센서가 일부 건설장비에 도입되었다. 애프터 마켓에서 자동차 후방 감지용으로 판매되는 초음파 센서를 지게차나 굴착기에 설치하는 것으로, 이러한 초음파 센서는 짧은 탐지 거리와 내구성 문제로 인하여 확대 적용에 한계가 있는 것으로 파악되었다[5].

라이다 (LiDAR; light detection and ranging)는 펄스 레이저 조사 주변 사물의 위치, 운동 방향, 속도 등을 측정 가능한 센서로 최근 자율주행 자동차 분야에서 주목을 받고 있다. 하지만 라이다는 높은 가격적인 문제, 먼지가 많은 건설 현장에서 광원의 산란 등으로 인한 문제가 있어 보급에 한계가 있다[6]. 최근에는 4D 라이다와 같은 기술이 개발되면서 먼지 조건하에서도 동작을 할 수 있다고 알려져 있으나 건설장비에 상용화되기에는 많은 제약조건이 있을 것으로 예상된다.

레이더는 악조건하에서도 안정적인 탐지 성능을 제공할 수 있어 자동차 뿐만 아니라 건설 현장에서 적합한 센서이다. 초창기에는 미국의 Preview Radar 등을 중심으로 24 GHz 대역

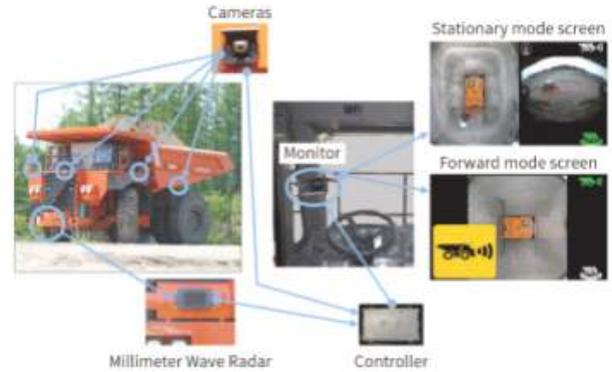


그림 3. 후방 카메라 건설장비의 레이더 설치 사례
Fig. 3. Example of radar installation on construction equipment.

표 2. 건설장비용 센서
Table 2. Sensors for construction equipment.

	LiDAR	Ultrasonic	Radar
Shape			
Features	<ul style="list-style-type: none"> - Obtain precise location and distance information - Decreased distance perception during strong sunlight and bad weather - Vulnerable to shock/vibration, dust, etc. - Relatively expensive 	<ul style="list-style-type: none"> - Inexpensive and easy to develop - Short measurement distance - Unrecognition of shape and environmental impact 	<ul style="list-style-type: none"> - Distance and speed detection - Operates in harsh environments - Unrecognition of shape - Resolution is poor - Difficulty in mounting
Detection distance	Up to 200 m (based on vehicles)	Under 6 m	Up to 100 m (based on vehicles)
Evolution to	Evolving into 4D LiDAR	Developed with increasing measurement distances	Shape recognition possible through 4D image radar

의 FMCW 레이더를 건설장비에 적용하여 왔다. 초창기 레이더의 문제점은 가격적인 문제로 인하여 확대 보급에 어려움이 있었다. 그러나 ADAS 및 자율주행 기술이 발전하면서 자동차에 레이더를 적용하는 사례가 증가하고 이를 기반으로 레이더의 가격이 급격하게 하락하면서 건설장비에도 레이더를 적용하는 추세이다. 건설장비에 레이더를 적용한 대표적인 업체로

표 3. RTLS 방식 비교

Table 3. Comparison of RTLS specifications.

Item	RFID	UWB	WiFi	BLE
Frequency	900 MHz	3~10 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Tag type	Passive	Active	Active	Active
Tag source	Unnecessary	Necessary	Necessary	Necessary
Detection distance	Within a few meters	Within tens of meters	Within tens of meters	Within tens of meters
Precision	≥ 10 cm	≥ 30 cm	≥ a few meters	≥ a few meters
Battery usage	X	Normal	High	Low

는 일본의 히타치와 미국의 캐터필러가 있다. 국내에서는 현대엔시스템즈가 현대건설기계와 협력하여 77 GHz FMCW 레이더를 국내 최초로 건설장비에 상용화하였다.

2-3 RTLS 기반 안전 솔루션

RTLS 시스템은 기본적으로 RF-ID, UWB (ultra wide band), WiFi, BLE (Bluetooth low energy) 등의 다양한 방식이 존재하고 있다. 건설장비에서는 건설장비에 접근하는 물체를 정밀하게 탐지하기 위하여 능동형 방식인 BLE와 UWB를 이용한 RTLS 방식이 널리 사용되고 있다. BLE 방식은 BLE4.0 표준 이상에서는 RTLS를 지원하고 있다. UWB 기술은 초광대역 주파수 대역에 전파를 확산 도약하여 반사되는 반사파와의 지연

표 4. 자동차와 건설장비의 인공지능 기술 비교

Table 4. Comparison of artificial intelligence technologies in automobiles and construction equipment.

	Representative product	Sensor used	Environmental factors	Driver's view	AI point
Automotive field	ADAS (self-driving car)	Camera, LiDAR, radar	Road environments around the world are similar	Driver's perspective and camera perspective are the same	Learning with a focus on people/cars/bicycles, etc. that can be encountered on the road
Construction equipment field	Object Detection / Classification	Difficult to apply LIDAR due to the poor environment of construction sites	Various construction site environments such as mountains/jungles/deserts/snow fields	There is a large difference between the driver and camera perspectives. Difficulty learning through AI	Requires intensive learning about various types of people and seasonal factors that can appear at construction sites + geographical factors + equipment/surrounding objects that reflect the uniqueness of the site.

을 측정하는 방식이며, 초광대역 주파수 대역과 고속의 확산 도약을 이용하므로 매우 정밀하게 물체의 거리를 측정할 수 있다.

이러한 능동형 RTLS 기반의 안전 솔루션은 탐지 거리가 정밀하며 설치 및 사용이 편리하다는 장점이 있으나, Tag를 소지하지 않은 사람은 탐지할 수 없다는 근본적인 문제점을 가지고 있다. 또한, 주기적으로 Tag를 충전해 주어야 한다는 번거로움이 있다[7]. 표 3은 현재 사용되고 있는 RTLS 방식을 보여주고 있다.

III. 건설장비 안전 솔루션의 제안

3-1 인공지능 기반의 안전 솔루션

자동차의 자율주행 기술이 발전하면서 건설장비 안전 분야에서도 영상과 센서를 융합하여 인공지능 기법을 적용하는 기술이 개발되고 있다. 근본적으로 자동차와 건설장비는 운용되는 환경이 상이하므로 인공지능 기술의 접근 방식에도 차이가 있다. 표 4에 자동차 분야에 적용되는 인공지능 기법과 건설장비에 적용되는 인공지능 기법의 차이점을 요약하였다.

표 4와 같이 건설장비에 인공지능을 도입하기 위해서는 다양한 환경적 변수를 고려한 학습이 요구되며, 특히 건설장비의 경우 자동차에 비해 높은 위치에 카메라가 위치하므로 이러한 조건에 부합하는 학습 영상을 확보하여 학습시키는 것이 중요하다고 할 수 있다.

인공지능 기반의 건설장비 안전 솔루션을 선두하고 있는

국가는 중국이다. 중국에서는 국가적 차원에서 인공지능 기술을 개발하고 있으며 몇몇 중국 업체들이 애프터마켓 시장을 장악하고 있다[8]. 세계적인 건설장비 강국인 일본에서는 건설장비 제조사를 중심으로 인공지능 기반의 안전 솔루션이 개발되고 있다. 대표적인 기업이 일본의 코마츠이며 엔비디아와 공동으로 인공지능을 이용하여 건설장비 주변에 접근하는 사람을 탐지하는 기술을 상용화하고 있다[9]. 미국의 경우는 세계적인 건설장비 업체인 CAT과 John Deere 등을 중심으로 인공지능을 이용한 자율작업 솔루션을 개발하고 있는 것으로 파악되고 있다[10]. 유럽에서는 볼보건설기계가 가장 선도적인 인공지능 안전 솔루션을 개발하고 있는 것으로 파악되고 있으며, 2022년 10월 독일 바우마 전시회에서 인공지능 안전 솔루션을 공개하였다.

건설장비 인공지능 안전 솔루션에 적용되는 알고리즘으로는 주로 기본적인 R-CNN 알고리즘이 사용되고 있다 R-CNN을 이용하는 대표적인 알고리즘으로는 Fast R-CNN, Faster R-CNN, Mask R-CNN이 있다. 빠른 물체 인식이 요구되는 경우 Yolo 알고리즘을 이용하는 사례가 증가하고 있다[12]. Yolo는 하나의 합성곱 신경망이 동시에 여러 개의 경계 상자 (bounding box)를 예측하고 각 경계 상자에 대하여 분류 확률 (class probability)을 예측하는 알고리즘이다. 이때 사용되는 합성곱 신경망은 특징 지도를 생성하는 용도로 활용되는데 알고리즘의 중추를 담당한다고 하여 backbone network라고 부른다. 이 특징 지도는 여러 개의 grid cell로 구성되는데, 각 cell마다 score 방식을 적용하여 대상 객체의 종류와 위치를 동시에 결정하는 알고리즘이다.

2019년 건설기술연구원에서 건설장비 안전 장비로 Yolov3 알고리즘을 이용하여 구현한 연구 논문이 보고되어 있다[12]. Yolo 알고리즘은 조금씩 수정되고 발전해 오면서 여러가지 형태로 존재하지만 현대엔시스템즈는 임베디드 적용 및 최적화에 가장 알맞은 기반 알고리즘으로 Yolov5를 선정하였다. 이 알고리즘은 임베디드 환경에서 현대엔시스템즈의 자체적인 수정을 통하여 차량, 사람, 비행기, 동물 등을 포함하여 최대 80가지 종류를 프레임마다 인식하도록 개발되었다.

국내에서는 Yolov5 알고리즘을 임베디드화 적용 및 양자화 과정에서 최적의 인식률 및 추론 속도를 위하여 activation function

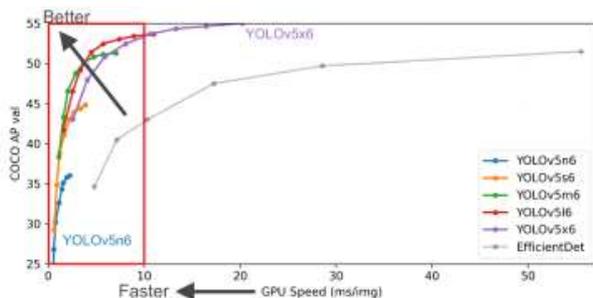


그림 3. Yolo 계열 알고리즘의 성능 비교
 Fig. 3. Performance comparison of Yolo series algorithms.

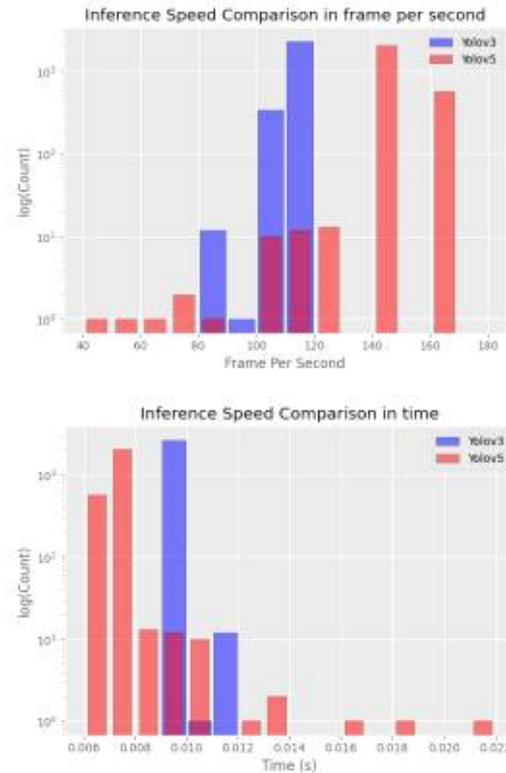


그림 4. Yolo3와 수정된 Yolo5 계열 알고리즘의 성능 비교
 Fig. 4. Performance comparison of Yolo3 and modified Yolo5 series algorithms.

을 수정 적용하였다. 기본적인 평가 시험의 조건은 동일한 하드웨어 플랫폼 상황에서 동일한 학습 이미지(약 2,700장)에 대하여 감지 스크립트의 출력을 데이터 마이닝을 통하여 추론된 시간의 결과를 비교하였다. 시험결과 기존 Yolov3 알고리즘에 비해서 자체적인 연구를 통하여 수정한 Yolov5 모델은 30% 이상 향상된 속도로 프레임 처리가 가능한 것으로 나타났다.

3-2 센서 융합 기반의 안전 솔루션

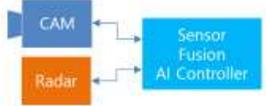
근본적으로 영상을 이용한 인공 지능 솔루션은 먼지가 심각한 광산이나 악천후 환경 등 악조건하에서 동작의 한계가 있다. 이러한 문제점을 보완하는 방법은 영상과 레이더를 결합한 센서 융합 기술이라고 할 수 있다.

기본적인 센서 융합의 개념은 자동차와 건설장비 모두 동일하게 카메라로부터의 영상 정보와 레이더로부터의 거리/좌표/속도 정보를 매핑하여 이에 대한 학습을 수행하는 것이다.

자동차의 센서 퓨전 기술과 건설장비에서의 센서 퓨전 기술이 차이는 자동차의 경우는 카메라와 레이더가 동일한 방향성을 가지고 있는 반면 건설장비의 경우는 카메라와 레이더가 검지하는 방향성에 차이가 있다. 건설장비의 경우 카메라는 높은 위치에 설치되어 있는 반면 레이더는 약 1.5 m 위치에서 수평 방향으로 설치가 되어 있다. 이는 경사면에서 주로 작업을 하는 건설장비의 경우 레이더를 낮은 위치에 설치하면 지

표 5. 기존 인공지능 기술과 센서 융합 기술 비교

Table 5. Comparison of existing artificial intelligence technology and sensor fusion technology.

	System configuration	Technical configuration	Operating characteristics	Company status
Existing construction equipment AI technology		Video + Artificial Intelligence	<ul style="list-style-type: none"> Person/object recognition in normal daytime environment Detection rate decreases in night/bad weather/fog conditions 	<ul style="list-style-type: none"> Most construction equipment safety solutions released at home and abroad rely only on video.
Safety solution based on sensor fusion		Video + Radar + Artificial Intelligence (Sensor fusion)	<ul style="list-style-type: none"> Person/object recognition in normal daytime environment Detectable even in night/bad weather/fog conditions 	<ul style="list-style-type: none"> Hyundai M Systems is the only company in Korea that combines video and radar sensors.

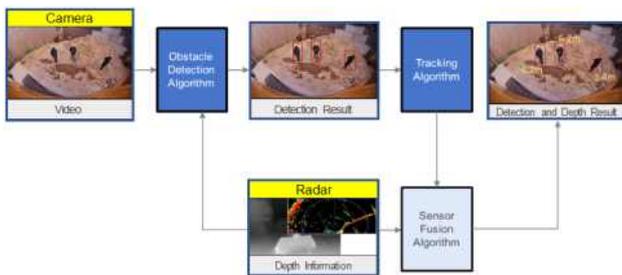


그림 5. Yolo 계열 알고리즘의 성능 비교
Fig. 5. Performance comparison of Yolo series algorithms.

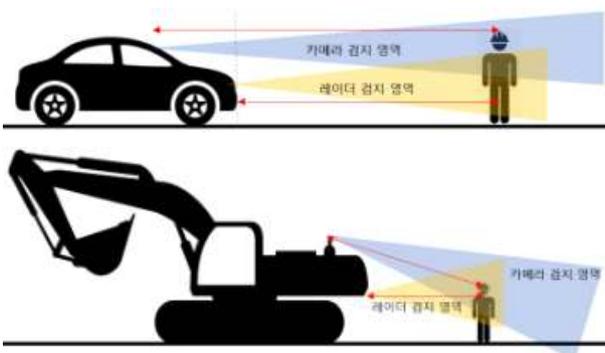


그림 6. Yolo 계열 알고리즘의 성능 비교
Fig. 6. Performance comparison of Yolo series algorithms.

면 반사로 인한 오탐지가 빈번하기 때문이다. 이러한 이유로 건설장비의 경우는 카메라는 높은 위치에서 하향 각도를 가지고 감지하고, 레이더는 수평 위치에서 수평 각도로 감지를 하므로 감지 영역에서 차이가 발생하여 센서 퓨전을 수행하기에 상대적으로 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

건설장비에서 영상과 센서를 각각 사용하여 안전 솔루션을 구현한 사례는 국내외에 많이 보고되고 있으나, 대부분 영상과 센서를 단순히 물리적으로 결합하여 사용한 사례이다[5].

일본의 Komatsu에서는 영상에만 의존하는 인공지능 안전

솔루션인 Komvision과 일반 영상과 레이더를 결합한 솔루션을 출시된 사례가 보고되어 있다.

국내 기업에서는 건설장비를 대상으로 센서 융합 기술을 개발하고 있다. 센서 융합의 세부 과정은 그림 7과 같다.

먼저 레이더 센서에서 입력된 다양한 반사와 정보에 대해서 탐지 영역을 설정하여 해당된 영역 내의 정보만 입력되도록 처리한다. 레이더의 반사와 정보에는 물체에 대한 반사 성분 외에 불필요한 반사 성분도 포함되어 있는데 이를 클러터 (clutter)라고 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 ROI (region of interesting)을 설정하여 모니터링하고자 하는 영역을 제한한다. ROI 내의 영상에서 Yolo5 알고리즘을 이용하여 영상 내의 물체를 구분하고 이를 레이더로부터의 X-Y 좌표 정보와 매핑한다. 매핑된 정보는 영상과 물체의 종류/거리/좌표 정보를 가지고 있으며 이를 운전자 및 주변 작업자에게 제공한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 건설장비의 안전 솔루션의 과거와 현재의 기술적인 현황 및 제도적인 문제점에 대하여 알아보았다. 자동차와 건설장비의 동작 현상이 다르므로 건설장비에 최적화된 기술이 개발되어야 한다. 국내에서는 국토교통부 주관으로 2020년부터 스마트 건설기술 개발사업을 진행하고 있다. 이러한 스마트 건설기술의 핵심은 건설장비의 무인화 및 자동화이며 이를 실현하기 위해서는 확실한 안전 솔루션이 기반이 되어야 한다. 현재 개발되고 있는 영상과 레이더를 이용한 인공지능 안전 솔루션에 부가적으로 라이다 및 초정밀 GPS 등의 센서가 추가된다면 안전 솔루션뿐만 아니라 자율작업 건설장비의 핵심 기술로 발전할 수 있을 것으로 예상된다.

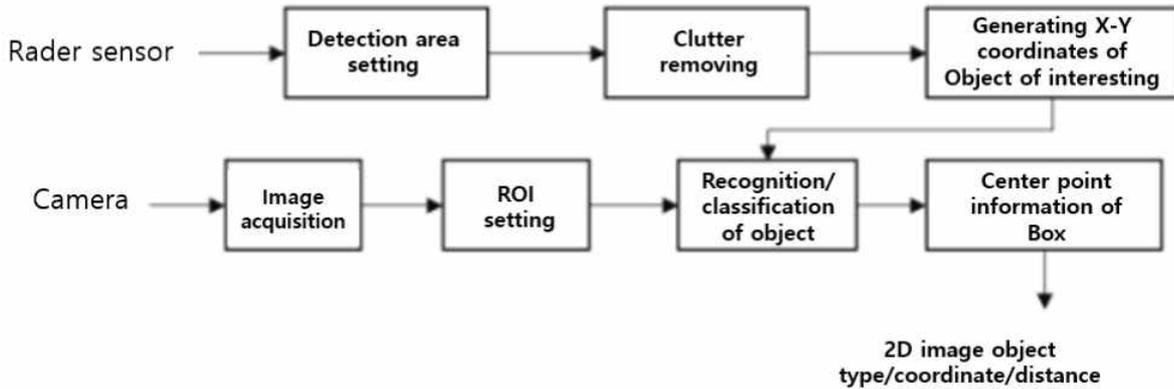


그림 7. 건설장비 안전 솔루션의 센서 융합 알고리즘

Fig. 7. Sensor fusion algorithm for construction equipment safety solutions.



그림 8. 센서 융합을 통한 사람의 식별

Fig. 8. Person identification through sensor fusion.

또한 기술 발전 및 시장 변화에 대응하고 국내 건설장비 안전 산업 시장의 보호 및 활성화를 위해서 안전 솔루션에 대한 명확한 기술 기준과 성능 기준의 개발이 필요하며, 이를 수행할 수 있는 공인인증 기관의 확보도 시급하다고 할 수 있다.

Acknowledgments

이 논문은 2024년도 부천대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구임.

References

[1] Beware of fatal accidents involving machinery and equipment at large-scale construction sites. [Internet]. Available: https://www.moel.go.kr/news/enews/report/enewsView.do?news_seq=13791

[2] [Internet]. Available: <https://www.labortoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=215415>

[3] Innopolis, “Automotive camera market,” Deajeon, Korea,

2020, Retrieved from <https://www.innopolis.or.kr/aivorySearch?menuId=MENU00707&schType01=basic>

[4] D. J. Yeom, J. H. Seo, H. Jung, 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. DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2016.17.3.143>

[5] 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.10.588>

[6] [Internet]. Available: http://www.lumisol.co.kr/sub/reference/lidar.asp?mode=view&bid=4&s_type=&s_keyword=&s_cate=&idx=161&page=1

[7] T. M. Ruff, “Monitoring blind spots: A major concern for haul trucks – Introduction,” Dec. 2021. Retrieved from <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/9080>

[8] B. H. Jeon, *Trade Focus*, Vol. 23, 2021, Retrieved from https://kita.net/pdf/iit/TF23_AI_industry_in_China/index.html#p=1

[9] [Internet]. Available: <https://blogs.nvidia.co.kr/2017/12/13/partnership-with-komatsu/>

[10] [Internet]. Available: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/03/15/the-amazing-ways-john-deere-use-s-ai-and-machine-vision-to-help-feed-10-billion-people/?sh=48b963812ae9>

[11] S. 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. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.7.622>

[12] K. Nakazawa, *KomVision human detection and collision*

mitigation system PC200-11," *Komatsu Technical Report*, Vol. 67, No. 174. 2021. Retrieved from <https://www.komatsu.jp/en/-/media/home/aboutus/innovation/technology>

[/techreport/2021/en/174e10.pdf?rev=-1&hash=1759A79634515C0C8FE0E594A53CB1F6](#).



이 영 교 (Young-Kyo Lee)

1992년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사),
1995년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)
2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)
2001년 8월~현재 : 부천대학교 정보통신과 교수
※관심분야 : WDM 전송 시스템, TCP/IP, IoT