

초음파 스캐닝을 활용한 지능형 건설기계 충돌방지 기술

이재훈¹ · 황영서² · 양강혁^{3*}

¹전남대학교 건축공학과 학사과정 · ²전남대학교 건축공학과 학사과정 · ³전남대학교 건축공학과 조교수

Intelligent Collision Prevention Technique for Construction Equipment using Ultrasound Scanning

Lee, Jaehoon¹, Hwang, Yeongseo², Yang, Kanghyeok^{3*}

¹Undergraduate Student, School of Architecture, College of Engineering, Chonnam National University

²Undergraduate Student, School of Architecture, College of Engineering, Chonnam National University

³Assistant Professor, School of Architecture, College of Engineering, Chonnam National University

Abstract : According to the Ministry of Employment and Labor's statistics on occupational fatalities in South Korea, more than half of the fatalities in the past five years have occurred in the construction industry. The stuck-by and caught-in-between accidents associated with construction equipment is the major source of fatalities from construction sites. In order to prevent such accidents in construction sites, the government has spent lots of efforts including proposing the "special law on construction safety" and encouraging the implementation of new technology for accident prevention. However, numerous accidents are still occurred at construction sites and further efforts are still required. In this manner, this study developed a collision prevention technique that can prevent collision between equipment and worker by recognizing location and type of the nearby objects through ultrasound scanning. The study conducted a pilot experiment and the analysis results demonstrate the feasibility of achieving high performance in both object recognition and location estimation. The developed technique will contribute to prevent collision accidents at construction sites and provide the supplemental knowledge on developing automated collision prevention system for construction equipment.

Keywords : Collision Prevention, Construction Equipment, Ultrasound, Construction Safety

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설산업 안전관리에 대한 노력과 관심이 지속해서 증가하고 있지만, 건설 현장은 타 산업 대비 높은 사고율을 보인다. 2020년 산업재해 관련 통계에 따르면 최근 5년간 발생한 업무상 사망 재해 비중의 74% 이상이 건설업과 제조업에서 발생하고 있으며, 이중 건설업에서 전체 사망사고의 절반 이상이(51.9%) 발생하고 있다(Ministry of Employment and Labor, 2020)

건설 현장 발생사고를 막기 위해 정부는 상시 근로자 300명 이상, 공사금액 120억 이상 건설 현장은 안전 관리자를

고용하도록 규제하고 있으며, 다양한 사고 예방 기술의 개발 및 도입을 장려하고 있다. 특히 정부는 "건설안전특별법"을 발의하는 등 안전 역량이 높은 업체에 인센티브 제공, 국민 누구나 건설 현장에서 사고가 발생할 수 있는 위험 상황을 신고할 수 있도록 하는 "아차 사고 신고제도", 스마트 안전기술의 보급을 촉진하기 위한 지원 등 건설 현장 안전사고 예방을 위해 많은 측면에서 노력을 기울이고 있지만, 건설 현장에서는 지속해서 안전사고가 발생하고 있다.

다양한 사고 중 건설기계 관련 사고는 전체 건설 현장에서 발생하는 사망 재해의 29% 이상을 차지하고 있으며(Ministry of Employment and Labor 2015), 건설 현장 내 충돌 관련 재해는 대부분 작업자와 건설기계 간의 충돌 및 협착으로 발생하고 있다(Korea Occupational Safety Health Agency, 2016). 건설기계 관련 사고 예방을 위해 개발된 기술로는 GPS (Global Positioning System), RFID (Radio Frequency Identification) 기술을 활용한 위치추적시스템, 건설기계 주변 사각지대를 탐색하기 위한 어라운드뷰 모니

* **Corresponding author:** Yang, Kanghyeok, School of Architecture, College of Engineering, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, Republic of Korea

E-mail: Kyang@jnu.ac.kr

Received July 2, 2021; revised -

accepted August 11, 2021

터링(Around View Monitoring; AVI) 시스템이 있다. 하지만 위치추적 시스템의 경우 위치정보 획득을 위해 건설 현장 내 다수의 장치가 필요해 적용이 제한적인 단점이 있으며, AVI 시스템은 사각지대에 해당하는 영상 정보를 제공하지만, 실시간 충돌위험 상황 인식은 어려운 단점이 있다. 건설기계 충돌사고 예방을 위해서는 다수의 장치가 필요하지 않고, 주변의 충돌사고 위험을 인식할 수 있는 기술이 필요하다. 또한, 단순 충돌위험 상황 인식에서 더 나아가 충돌 위험 대상물이 사물인지 작업자인지 판단할 수 있는 지능형 충돌방지 기술의 개발은 사고위험 상황을 상세히 분석할 수 있는 장점이 있어 효과적인 건설기계 사고방지에 필수적이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 초음파 기술을 활용해 건설기계 주변 대상의 위치를 파악할 수 있고, 충돌위험 대상을 구별할 수 있는 기술을 고안하였으며, 이를 통해 다양한 장치의 설치가 필요하거나 단편적인 정보만을 얻을 수 있었던 기존 건설기계 충돌방지 성능을 보완할 수 있는 지능형 충돌방지 기술을 개발하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 앞서 언급한 것처럼 건설업에서 발생하는 다양한 충돌사고 중 건설기계와 작업자가 충돌하는 사고를 예방할 수 있는 지능형 충돌방지 기술을 개발하는 것을 연구범위로 하며, 이를 위한 절차는 다음과 같다.

- 1) 건설기계 충돌방지 기술에 대한 고찰
- 2) 초음파 스캐닝 기반 충돌상황 인식 장치 개발
- 3) 충돌위험 대상 인식 및 위치 추정 알고리즘 개발
- 4) 파일럿 실험 수행 및 성능 분석

2. 이론적 고찰

건설 현장에서 발생하는 많은 수의 충돌사고를 예방하기 위한 기존에 다양한 충돌방지 기술이 연구되어왔다. Oloufa et al. (2003)은 건설기계의 GPS 정보를 중앙 서버로 전달하여 다른 건설기계와의 충돌 시나리오를 평가하는 기술을 개발하였지만, GPS의 낮은 위치 추정 정확도 및 다른 신호와의 간섭 발생으로 인해 근접 거리에서의 충돌사고를 방지하기에는 신뢰성이 낮은 한계점이 있다. Soh et al. (2008)은 레이저를 주사하여 레이저광이 반사되어 돌아오는 시간을 통해 물체와의 거리를 계산하는 장애물 탐지 기술을 개발하였으나 장애물이 스캔 지점을 통과하지 않는 경우 기술이 작동하지 않는다는 한계점이 있다. Chae and Yoshida (2010)은 AVI를 활용해 건설기계 주변 모니터링 시 작업자의 부주의로 놓칠 수 있는 위험 상황을 RFID를 통해 자동으로 인

식할 수 있는 기술을 개발하였으나 건설 현장 내 다른 전파의 간섭이 발생할 수 있어 이를 처리할 수 있는 기술이 필요하다라는 단점이 있다. Ishimoto and Tsubouchi (2013)은 Stereo Vision Camera를 사용해 획득한 영상 데이터를 이미지 프로세싱하여 건설기계 주변 작업자를 인식하는 기술을 개발하였으나 기술이 작동하는 반경 외에 작업자가 위치한 경우는(2m 미만, 4m 초과) 인식 정확도가 저하된다는 단점이 있다.

Jo et al. (2016)은 AVI와 초음파 센서로 구성된 접근 감지 센서 모듈을 통해 영상 데이터와 거리 데이터를 융합하여 건설기계의 작업반경 내 접근 감지 기술을 개발하였으나 사용한 카메라에 비해 초음파 센서의 탐지 반경이 짧아 이를 보완하기 위해서는 다수의 초음파 센서가 필요하다는 한계점이 있다. 이를 보완하기 위해 Jo et al. (2017)은 Camera와 RFID 기술을 통해 RFID 태그를 소지하고 있는 작업자가 건설기계의 작업반경 내에 접근할 시 이를 실시간으로 모니터링하고 충돌 상황이 우려될 시에는 작업 중인 건설기계를 통제할 수 있는 기술을 개발하였으나 현장의 모든 작업자가 RFID 태그를 소유해야 한다는 단점이 있다.

Kim et al. (2018)은 레이저 센서를 통해 굴삭기의 회전 관성과 상대 속도를 실시간으로 계산하여 스윙 모션의 정확한 제동 시간을 결정함으로써 버킷의 과도한 회전에서 발생하는 충돌사고를 예방하는 기술을 개발하였으나 센서가 장착된 높이 미만에서는 기술이 제대로 작동하지 않는다는 한계점이 있다. Son and Kim (2021)은 작업공간을 실시간으로 모니터링하고 이미지 센서를 통해 얻은 데이터를 학습하여 작업자를 감지하고, 추적하는 기술을 개발하였으나 기술의 신뢰성 향상을 위해서는 다수의 데이터 확보 및 추가 학습이 필요하다는 한계점이 있다. 앞서 언급한 기존 건설기계 사고방지 기술의 요약은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Summary of the Previous Related Research

Previous Study	Technology	Summary
Oloufa, 2003	GPS	The low accuracy of GPS and signal interference reduce the reliability of the system
Soh, 2008	Laser Sensor	The system may not work when the obstacles located near the scanning point
Chae, 2010	RFID	Other signals could influence to the performance of the location tracking system
Ishimoto, 2013	Camera	Tracking accuracy could vary depending on the distance of the tracking object
Jo, 2016	Camera, Ultrasound	The system requires multiple ultrasound sensors due to the short detection range.
Jo, 2017	Camera, RFID	A RFID tag must be owned by all workers for location tracking
Kim, 2018	Laser Sensor	The technology will not function within the range below the height of the laser sensor
Son, 2021	Image Sensor	The system requires more data sets and training to improve the reliability

현재 건설 현장에서 발생하는 건설기계 관련 충돌사고를 예방하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으나 적용된 기술에 따라 다양한 단점이 있음을 확인할 수 있으며, 더욱 효과적인 충돌방지를 위해서는 단순히 위치 데이터와 같은 단편적인 정보를 획득하는 것이 아닌 위험대상의 인식(Jo et al., 2017; Son & Kim, 2021)과 같은 충돌 상황에 대한 다양한 정보의 획득이 필요하다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구는 기술 구현에 다양한 장치가 필요하지 않으며 현재 활용되고 있는 초음파 센서와 데이터 분석 기술을 활용해 사물과 사람이 가지고 있는 주요 특징을 도출하고 이를 기반으로 충돌 위험대상의 위치 및 위험대상을 인식할 수 있는 기술을 고안하고 이를 입증하기 위한 실험 및 분석을 수행하였다.

3. 지능형 건설기계 충돌방지 기술 개발

3.1 초음파 스캐닝 장치 개발 및 예비 실험

초음파 스캐닝 기반 지능형 충돌방지 기술을 구현하기 위해 아두이노 보드(UNO-R3), 초음파 센서(Max Sonar EZ-01), 서보 모터(SG-90)를 활용하여 건설기계 주변의 충돌 위험 대상 관련 데이터를 얻을 수 있는 장치를 개발하였다(Fig. 1).

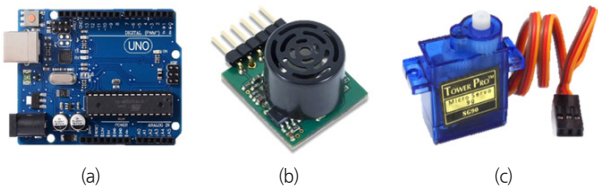


Fig. 1. Components of the Developed Collision Prevention System : (a) Arduino Board (UNO-R3), (b) Ultrasound Sensor (EZ-01), (c) Servo Motor (SG-90)

해당 장치는 건설기계의 후면 상단부에 설치되어 기계의 후방 0°~180°를 초음파 스캐닝하며, 스캐닝 시 모터는 1°씩 회전하고, 각도별로 1개의 거리 데이터를 획득하도록 개발되었다.

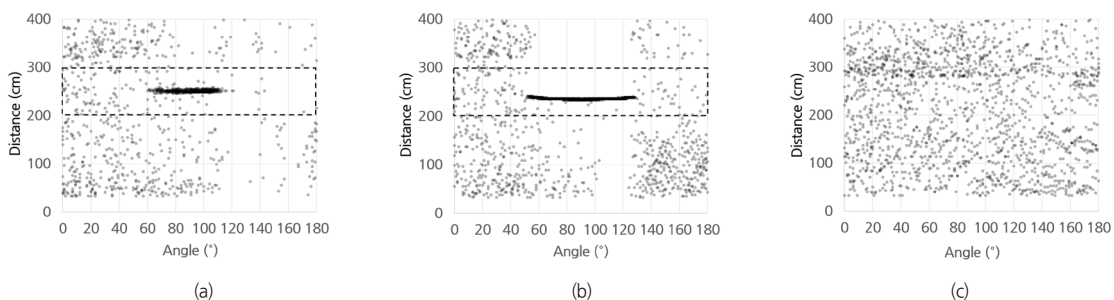


Fig. 2. Data Visualization of Preliminary Experiment: (a) Worker (2.5m), (b) Object (2.5m), (c) Empty

본 연구에서는 지능형 충돌방지 기술을 고안하기 위해 예비 실험을 수행하였다. 건설기계 중 굴삭기의 위험반경이 1.7m~3.4m인 점을 고려하여 2.5m, 3.5m에 대상을 배치한 실험을 수행하였으며, 다음의 3가지 다른 상황(① 사람을 배치한 경우, ② 사물(사람 너비의 2배)을 배치한 경우, ③ 대상을 배치하지 않은 경우)에서의 데이터를 획득하고 상황별 데이터 특성을 분석하였다. 분석 결과 스캐닝 범위 내 대상이 존재할 시 해당 대상의 위치에서(Fig. 2) (a),(b)와 같은 선형의 데이터 군집이 발생하고 스캐닝 대상의 종류에 따라 선형 군집의 구간 길이가 차이가 있음을 확인하였다. 또한, 스캐닝 범위 내 대상이 존재하지 않을 시(Fig. 2) (c)와 같이 선형의 군집이 발생하지 않고 무작위의 데이터가 발생함을 확인하였다.

이와 같은 결과는 대상의 면적에 따른 유효 스캐닝 범위의 차이에 의해 발생한 것으로 본 연구에서는 이를 활용해 반경 내에 대상이 존재하는지 파악하고 대상이 존재한다면 대상의 위치를 추정하는 것과 더불어 스캔하고 있는 대상이 사람인지, 사물인지 인식할 수 있는 충돌위험 인식 기술을 개발하고 검증하였다(Fig. 3).

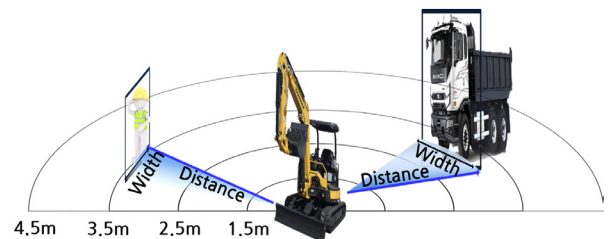


Fig. 3. Concept of the Developed Intelligent Collision Prevention System

3.2 지능형 충돌방지 기술 개발

지능형 충돌방지 기술은 스캐닝 반경 내 대상이 있을 때 대상의 위치 주변에 선형의 군집이 발생한다는 것에 착안하여 군집의 발생 여부를 판단하고 군집 발생 시의 선형 길이를 측정하는 방식으로 개발되었다(Fig. 4).

이를 살펴보면 우선 고안된 초음파 스캐닝 장치를 통해 건설기계와 주변 대상 간의 각도 및 거리 데이터를 획득한다. 이후 일정한 크기(각도 10° , 거리 10cm)의 정사각형의 클러스터를 형성하고 해당 클러스터에 포함되는 데이터의 개수 (N)를 계산한다. 예를 들어 건설장비가 있는 위치에서는 선형의 군집이 발생하고, 이때 군집 안의 데이터 수는 20으로 클러스터가 가질 수 있는 최대 데이터 수(N_c)가 된다. 이를 활용해 클러스터의 N 값이 N_c 의 50% 미만(10개 미만)일 시 반경 내에 대상이 존재하지 않는 경우로 분류하며, N 값이 N_c 의 50% 이상일 경우 대상이 존재한다고 분류한다.

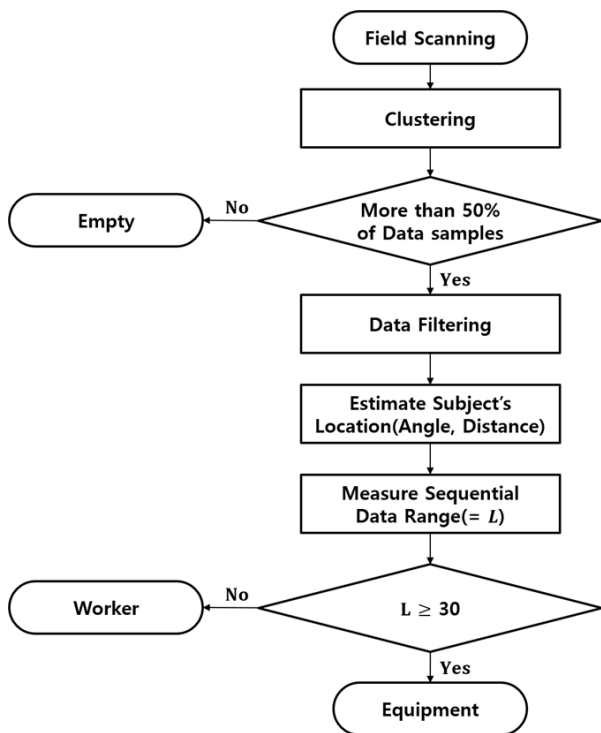


Fig. 4. Details of the Intelligent Collision Prevention System

반경 내에 대상이 존재하는 것으로 판단될 경우에는 다음과 같은 데이터 필터링 프로세스가 수행된다. 선형의 군집을 분석하기 위해 스캐닝 횟수별로 계산한 N 값의 최댓값 (N_{max})을 계산하고, $N_{max} - 0.25N_c$ 이상의 데이터 수를 가지는 클러스터를 1차 도출한다. 이후 도출된 클러스터의 중심점 정보를 활용해 1차 도출 클러스터들의 거리 중간값을 계산하고 해당 중간값의 $\pm 30\text{cm}$ 범위에 포함되는 2차 클러스터를 도출한다.

이후 2차 클러스터 안에 포함된 모든 데이터의 거리와 각도의 평균을 계산하여 이를 물체가 있는 거리 및 각도로 추정한다. 작업자 인식의 경우 2차 클러스터 안의 데이터 중 각도의 최댓값과 최솟값의 차이를 선형의 군집 길이(L)로 간주하고 해당 L 이 30보다 크거나 같으면 반경 내에 측정하

고 있는 대상을 사물로 판단하며, L 이 30보다 작으면 대상을 사람으로 판단한다.

4. 파일럿 실험 및 인식 성능 분석

지능형 충돌방지 기술의 성능을 분석하기 위해 실험을 수행하였으며, 해당 실험은 건설 현장과 유사한 바닥에 모래가 깔린 대형 운동장에서 진행하였다. 실험 대상으로는 건설 현장에서 사용되는 장비 중 지게차와 크기가 비슷한 승용차와 안전 장비를 착용한 사람을 사용하였다. 실험은 2.5m, 3.5m에 자동차와 안전 장비를 착용한 사람을 배치한 경우와 대상을 배치하지 않은 경우로 나누어 진행하였다(Fig. 5).



Fig. 5. Data Collection Environment: (a) Worker, (b) Vehicle

파일럿 실험을 통해 조건별로 3,240개의 데이터를 획득하였으며, 총 16,200개의 거리 및 각도 데이터를 수집하였다. 분석에 앞서 데이터의 시각화를 수행하였다. 이를 살펴보면 예비 실험과 동일하게 대상이 위치한 곳에서 선형의 군집이 발생함을 확인하였다. 다만 면적이 큰 자동차를 대상으로 실험하여 (Fig. 6) (a),(b)와 같이 구간의 길이가 긴 군집이 형성되었으며, 대상이 없을 시에는 예비 실험 결과와 같이 무작위의 데이터가 발생하였다 (Fig. 6) (c). 초음파 스캐닝 횟수에 따른 데이터 특성을 알아보기 위해 스캐닝 횟수를 1회, 2회, 3회로 변화시켰으며, 스캐닝 횟수에 맞춰 데이터의 수를 180, 360, 540으로 샘플링 하였다. 단일 스캐닝의 경우 (Fig. 6) (d)와 같이 명확한 선형 군집이 형성되는 것을 확인하였으며, (Fig. 6) (e),(f)와 같이 데이터의 수의 증가에 따라 선형 군집이 더욱 뚜렷해지는 것을 확인하였다.

지능형 충돌방지 기술의 성능 평가를 위해 파일럿 실험에서 획득한 데이터를 스캐닝 횟수에 따라 우선 분류하고 이를 활용해 위치 추정 및 작업자 인식의 정확도를 평가하였다. 위치 추정 성능은 개발한 기술을 통해 추정한 위치값과 실제 대상의 위치의 차이를 통해 측정하였으며, 이를 위해 식 (1)을 통한 평균 절대오차와 오차의 최대·최솟값, 표준 편차를 사용하였다.

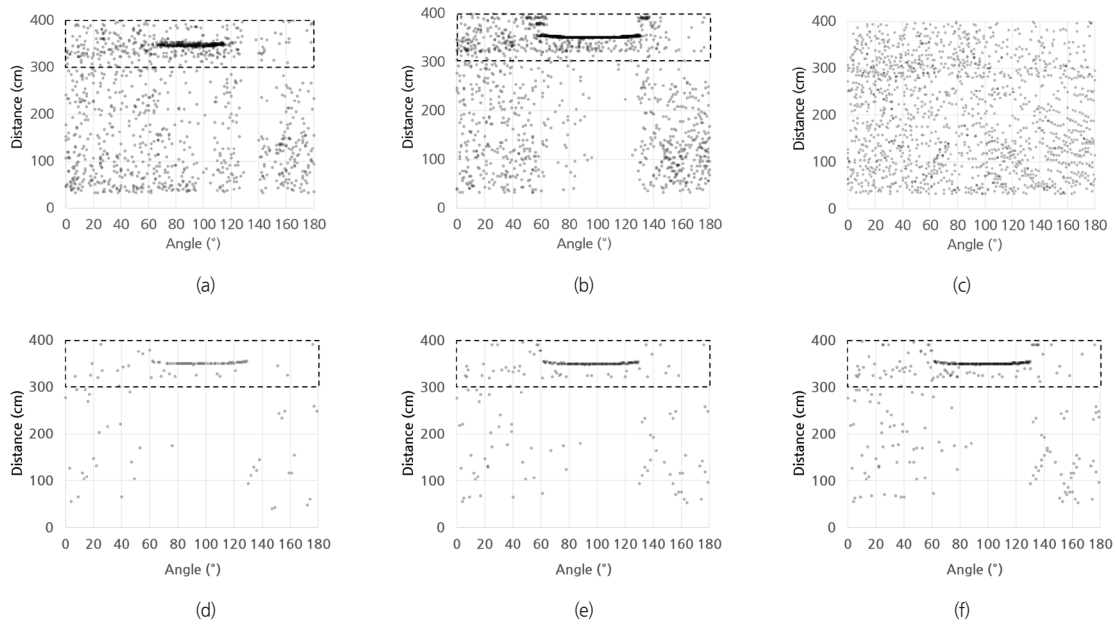


Fig. 6. Scatter Plot of Experiment Data: (a) Worker (3.5m), (b) Vehicle(3.5m), (c) Empty, (d) Single Scanning, (e) Double Scanning, (f) Triple Scanning

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (1)$$

MAE : Mean Absolute Error
 y_i : Prediction
 x_i : True Value
 n : Total Number of Data Set

스캐닝 횟수가 1회일 때 거리 추정 성능의 경우 MAE 값은 대상이 사람일 경우 9.96cm, 사물일 경우 4.30cm로 나타났으며, 최대오차는 사람일 경우 15.97cm, 사물일 경우 8.70cm

로 나타났다. 스캐닝 횟수 증가에 따른 거리 추정 성능의 향상은 나타나지 않았다. 각도 추정 성능의 경우 MAE 값은 대상이 사람일 경우 10.82°, 사물일 경우 10.25°로 나타났으며, 최대오차는 사람일 경우 21.67°, 사물일 경우 21.96°로 나타났다. 스캐닝 횟수에 따른 성능은 MAE의 경우 별다른 변화가 없었으나, 최대오차의 경우 스캐닝 횟수가 2회일 때 사람은 19.48°, 사물은 21.37°, 3회일 때 사람은 15.43°, 사물은 17.36°로 스캐닝 횟수가 증가함에 따라 최대오차가 감소하는 것으로 나타났다.

Table 2. Location Estimation Performance

		Estimation Error								
		Distance(cm)				Angle(°)				
		Average	Maximum	Minimum	Standard Deviation	Average	Maximum	Minimum	Standard Deviation	
Single Scanning	Worker	2.5m	7.56	15.72	4.00	2.76	10.59	21.00	2.00	4.87
		3.5m	13.28	15.97	9.83	2.17	11.14	21.67	2.60	5.49
	Vehicle	2.5m	8.36	8.70	7.55	0.37	8.32	19.82	0.36	5.45
		3.5m	0.70	1.06	0.46	0.16	11.97	21.96	4.00	4.82
Double Scanning	Worker	2.5m	7.25	9.55	4.74	1.48	9.95	19.48	0.63	5.46
		3.5m	13.17	15.98	11.49	1.40	11.03	17.20	4.86	3.55
	Vehicle	2.5m	8.51	8.70	7.92	0.26	8.72	21.37	2.08	6.50
		3.5m	0.66	0.88	0.52	0.13	12.26	19.64	7.58	3.63
Triple Scanning	Worker	2.5m	7.05	9.18	5.18	1.30	10.31	15.43	3.57	4.17
		3.5m	13.00	14.42	11.85	0.98	10.96	13.59	6.54	2.60
	Vehicle	2.5m	8.48	8.57	8.34	0.09	5.60	10.38	1.52	3.86
		3.5m	0.70	0.84	0.56	0.09	11.48	17.36	8.84	2.92

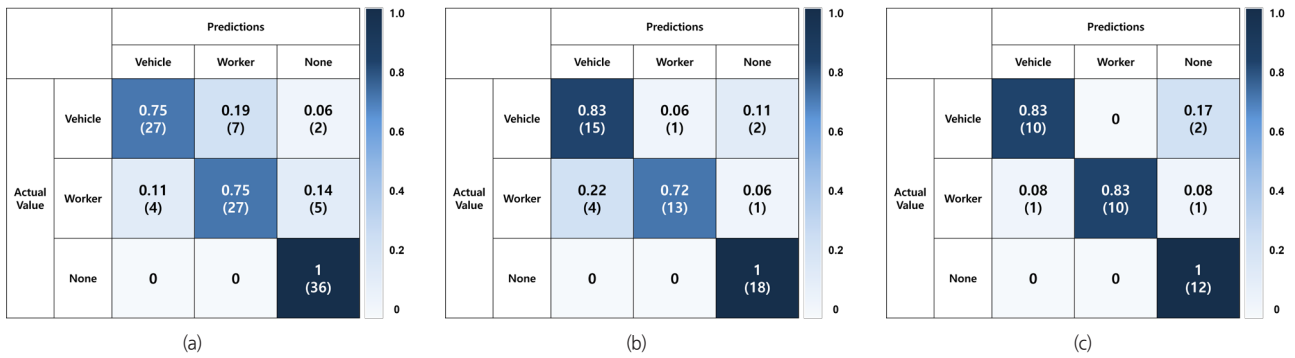


Fig. 7. Confusion Matrix of Worker Recognition: (a) Single Scanning, (b) Double Scanning, (c) Triple Scanning

그 외의 파일럿 실험 수행 상황별 거리와 각도 추정 성능은 <Table 2>와 같다.

작업자 인식의 경우 반경 내 대상의 배치 여부 및 배치한 대상의 종류에 따른 성능을 <Fig. 7>과 같이 Confusion Matrix를 통해 평가하였다. 작업자 인식 성능의 경우 2.5m, 3.5m 데이터를 합산하여 계산하였다.

분석 결과 스캐닝 횟수 1회의 경우 자동차와 사람의 재현율은($\frac{TP}{TP+FN}$) 0.75로 동일하게 나타났다. 스캐닝 횟수를 2회로 증가시켰을 때 자동차와 사람의 재현율은 각 0.83과 0.72로 나타났으며, 스캐닝 횟수가 3회인 경우 자동차와 사람의 재현율 모두 0.83으로 향상됨을 확인하였다. 인식의 정확도($\frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN}$)는 스캐닝 횟수 1회일 때 83.33%, 2회일 때 85.19%, 3회일 때 88.89%로 스캐닝 횟수가 증가할수록 충돌위험 대상을 정확하게 인식할 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구는 건설업에서 발생하는 다양한 종류의 사고 중 사망 재해의 큰 부분을 차지하는 건설기계와 작업자 간의 충돌사고를 예방하기 위한 기술을 고안하였으며, 초음파 스캐닝을 통해 충돌사고 위험 상황 인식뿐 아닌 충돌위험 대상까지 인식할 수 있는 지능형 충돌방지 기술을 개발하였다.

개발한 기술의 성능은 파일럿 실험을 통해 평가하였으며, 반경 내 대상의 위치 추정 시 평균 절대오차는 각도의 경우 MAE 값 5.6~12.26°, 거리의 경우 0.7~13.28cm로, 작업자 인식의 정확도 83.33~88.89%로 높은 성능으로 기술이 구현되는 것을 확인하였다. 분석 결과 이는 초음파 스캐닝 데이터가 많을수록 선형인 군집의 형태가 명확해지기 때문으로 보이며, 각도별 데이터 획득 샘플링의 증가를 통해 더 높은 정확도를 획득할 수 있을 것으로 사료된다.

해당 연구에서 개발한 기술은 기존 충돌방지 기술 대비

구조가 간단하고, 설치가 간편한 장점이 있으며, 작업반경 내 존재하는 위험대상의 위치를 추정함과 동시에 대상이 작업자인지 사물인지를 인식할 수 있기에 충돌사고 위험 상황을 세분화하여 관리할 수 있다. 이를 통해 상황별 구체적인 충돌사고 예방체제를 수립할 수 있을 것으로 기대되며, 자동화된 건설기계 충돌사고 예방 기술 개발에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다. 연구의 주요 한계점으로 수행된 실험이 2.5m와 3.5m 거리에서만 이루어져 거리에 따른 위치 추정 성능을 평가하기 어려운 점과 건설기계가 아닌 자동차를 통해 개발된 기술의 성능을 평가했다는 한계점이 있다. 이와 같은 사항들은 후속 연구를 통해 보완되어야 할 것으로 보여진다.

감사의 글

본 연구는 전남대학교 학술연구비(과제번호: 2020-2022) 및 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호: 21CTAP-C163631-01)의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

- Chae, S., and Yoshida, T. (2010). "Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipment." *Automation in Construction*, 19(3), pp. 368-374.
- Ishimoto, H., and Tsubouchi, T. (2013). "Stereo vision based worker detection system for excavator." In ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 30, p. 1.
- Jo, B.W., Lee, Y.S., Kim, D.K., Kim, J.H., and Choi, P.H. (2016). "Image-based proximity warning system for excavator of construction sites." *The Journal of the Korea Contents Association*, 16(10), pp. 588-597.
- Jo, B.W., Lee, Y.S., Kim, J.H., Kim, D.K., and Choi, P.H. (2017).

- “Proximity warning and excavator control system for prevention of collision accidents.” *Sustainability*, 9(8), p. 1488.
- Kim, J.C., Yoo, S., Kim, M., Kim, Y.J., and Lee, G.H. (2018). “Safety Control of Automatic Excavator for Swing Collision Avoidance.” In 2018 15th International Conference on Ubiquitous Robots (UR), IEEE, pp. 758-762.
- Korea Occupational Safety Health Agency (KOSHA) (2016). 2014 Industrial Accident Cause Survey, KOSHA Research Report, 2015-12.
- Ministry of Employment and Labor (MOEL) (2020). Statistics on the deaths of industrial accidents in 2020, MOEL Report, 2021-04.
- Ministry of Employment and Labor (MOEL) (2021). Measures to reduce industrial accident deaths in 2021, MOEL Report, 2021-03.
- Oloufa, A., Ikeda, M., and Oda, H. (2003). “GPS-based wireless collision detection of construction equipment.” NIST Special Publication, pp. 461-466.
- Soh, J.Y., Kim, M.W., Lee, J.B., and Han, C.H. (2008). “Development of core technology for object detection in excavation work using laser sensor.” *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 8(4), pp. 71-77.
- Son, H., and Kim, C. (2021). “Integrated worker detection and tracking for the safe operation of construction machinery.” *Automation in Construction*, 126, 103670.

요약 : 고용노동부의 2020년 산업재해 사고 사망 통계 발표에 따르면 최근 5년간 발생한 업무상 사고 사망 재해의 절반 이상이 건설업에서 발생하고 있다. 그중 건설기계와 관련된 충돌 및 협착 사고가 사망 재해의 큰 부분을 차지하고 있다는 것을 알 수 있다. 정부는 건설 현장에서 발생하는 사고를 예방하기 위해 “건설안전특별법” 발의, 사고 예방을 위한 새로운 기술의 도입 장려 등 큰 노력을 기울이고 있지만, 여전히 건설 현장에서 수많은 안전사고가 발생하고 있다. 이에 본 연구는 초음파 스캐닝 기술을 통해 반경 내 대상의 종류와 위치를 인식하여 건설기계와 작업자 간의 충돌사고를 예방할 수 있는 기술을 개발했다. 본 연구는 파일럿 실험을 수행하였으며, 결과 분석을 통해 대상 인식과 위치 추정 모두에서 높은 정확도로 기술의 실현 가능성을 증명하였다. 개발한 기술은 건설 현장에서 발생하는 충돌사고를 예방하고, 자동화된 건설기계 충돌사고 예방 기술 개발에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 충돌사고 예방, 건설기계, 초음파, 건설 안전
