

# 항만 현장 안전 보조를 위한 RS-Spotter 로봇 설계 및 구현

이한철, 김민재, 허채영, 최희원, 이수연  
홍익대학교 기계시스템디자인공학과 학부생  
홍익대학교 시각디자인학과 학부생  
카이스트 전산학부 학부생  
서울과학기술대학교 기계자동차공학과 학부생  
서울과학기술대학교 기계자동차공학과 학부생

[gkscjf0715@naver.com](mailto:gkscjf0715@naver.com), [snael0510@naver.com](mailto:snael0510@naver.com), [lirisnoir@kaist.ac.kr](mailto:lirisnoir@kaist.ac.kr), [23100396@seoultech.ac.kr](mailto:23100396@seoultech.ac.kr),  
[suyeon8666@seoultech.ac.kr](mailto:suyeon8666@seoultech.ac.kr)

## RS-Spotter: A Robotic Spotter for Port Safety

Hanchul Lee, Minjae Kim, Chaeyoung Heo, Heewon Choi, Suyeon Lee  
Dept. of Mechanical System Design Engineering, Hongik University  
Dept. of Visual Design, Hongik University

School of Computing, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)  
Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology  
Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology

### 요 약

지난 10 년간 안전 관리의 강화에도 불구하고 산업 재해율은 증가 추세를 보여왔고, 그 중 항만 하역업의 재해율은 산업 평균을 상회하는 양상을 지속적으로 보여왔다. 특히, 항만 컨테이너 야드에서 운용되는 리치스태커는 넓은 사각지대로 인한 사고가 빈번하게 발생한다. 기존의 차량 부착 센서나 신호수 배치 방식은 시야 확보에 기여했으나, 비용과 인력 문제로 인해 근본적인 한계를 지닌다. 이에 본 연구에서는 메카넘 휠 기반 보조 장비 RS-Spotter 를 개발하였으며, 이는 이동형 카메라와 vision AI 를 통해 항만의 리치스태커 주변 사각지대의 장애물을 실시간 탐지하여 운전자가 직관적으로 상황을 인지하도록 지원하는 안전 보조 시스템이다. 이를 통해 항만 작업의 안전성과 효율성을 높일 수 있으며, 물류센터와 건설 현장 등 다양한 산업 현장에도 확장성을 기대할 수 있다.

### 1. 서론

주기적인 안전수칙 교육과 재해 사례의 배포에도 불구하고 지난 10 년간 산업재해율은 증가 추세를 보였다. 항만 하역업의 재해율 또한 전체 산업 평균을 상회하는 수준을 지속적으로 기록하고 있다. [1] 한국 재난정보학회의 분석에 따르면 산업 현장에서 지게차와 보행자의 직접 충돌과 같은 ‘부딪힘’ 사고가 전체 재해의 56.19%로 가장 높은 비율을 차지하였다 [2]. 이러한 위험은 항만 하역업에서도 유사하게 나타나며, 야드에서 자주 사용되는 장비인 리치스태커는 지게차보다 규모가 크고 작업 반경이 넓어, 후방과 측면의 넓은 사각지대로 인한 보행자 충돌 위험이 상존한다.

이러한 위험에 대응하기 위해 국내외 지침(미국 OSHA, 영국 HSE, 국내 산업안전보건법)에서는 시야 제한 상황에서 신호수 배치를 권고하고 있다. 그러나 현장에서는 인력과 비용 문제로 인해 실효성이 제한적이다. 기존 연구에서도 차량 부착 센서, 신호수 모

니터링, 객체 인식 기반 보조 시스템 [3],[4],[5] 등이 제안되었으나, 여전히 장비 부착형 센서나 외부 인력에 의존한다는 한계를 지니고 있다.

이에 본 연구에서는 외부 이동형 카메라 플랫폼을 도입함으로써, 기존 차량 부착형 카메라로는 확보하기 어려운 영역까지 운전자가 직관적으로 확인할 수 있는 시야를 제공하고자 한다

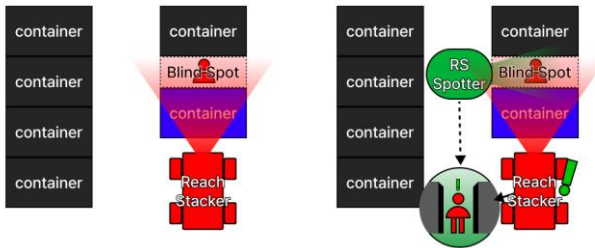
### 2. 시스템 설계 및 구현

#### 설계 목표

본 연구에서 제안하는 RS-Spotter 시스템은 리치스태커 운용 과정에서 발생하는 시야 사각지대를 보완하기 위해 설계되었다. <그림 1>은 리치스태커가 컨테이너를 운반하는 과정에서 운전자가 보행자를 인지하지 못하는 사각지대 상황을, <그림 2>는 RS-Spotter 를 활용하여 해당 사각지대를 보완하는 상황을 나타낸다.

RS-Spotter 는 메카넘휠 기반 이동 플랫폼에 카메라를 탑재하고, 수집된 영상은 SBC 에서 실행되는 Vision AI 모듈에서 처리된다. Vision AI 는 YOLOv8n

기반 CNN 객체 탐지 모델과 랩스 카메라를 결합하여 보행자를 실시간으로 인식하고, 탐지된 대상까지의 거리를 계산한다. 인식 결과는 운전자의 디스플레이 화면에 시각적으로 표시되어 위험 구역 내 보행자의 위치를 즉각적으로 확인할 수 있으며, 동시에 일정 거리 이내로 접근할 경우 경고음을 출력하고 화면을 붉은색 경고 표시로 전환하여 위험 상황을 청각적·시각적으로 동시에 알린다. 또한 <그림 4>는 RS-Spotter의 운전자용 시각 인터페이스를 나타낸 것으로, 실시간 영상과 미니맵, 로봇 제어 패널을 통해 보행자 위치와 거리 정보를 직관적으로 확인할 수 있도록 구성되어 있다.



<그림 1>리치스태커 운용 시 사각지대 발생 상황(좌)

<그림 2>RS-Spotter를 활용한 사각 지대 보완 상황(우)

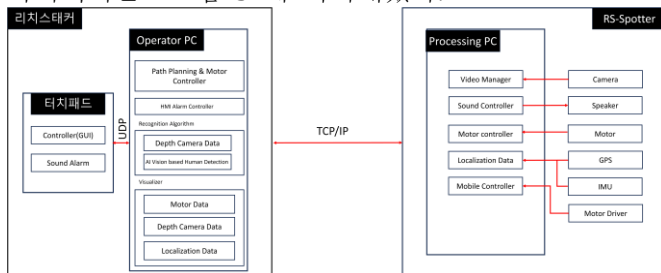


<그림 3> 본 연구에서 적용한 YOLOv8n 모델의 사람 객체 탐지 결과. (좌)

<그림 4> RS-Spotter 운전자용 시각 인터페이스 구성 예시. (우)

#### 시스템 구현 현황

구현된 RS-Spotter 프로토타입은 메카넘휠 기반 이동 플랫폼 위에 카메라, SBC, MCU, IMU, GNSS 모듈 등을 탑재하여 제작되었다. 이동 플랫폼에는 모터와 모터 드라이버가 통합되어 구동계 역할을 수행하며, SBC(Processing PC)로는 라즈베리파이 5, MCU로는 ESP32를 사용하였다. 카메라 영상은 YOLOv8n 기반 Vision AI에서 실시간으로 처리되며, 인식 결과와 제어 신호는 Operator PC와 Processing PC 간 네트워크를 통해 교환된다. 이러한 구성을 기반으로 한 시스템 아키텍처는 <그림 5>에 나타내었다.



<그림 5> RS-Spotter 프로토타입 시스템 구조도

### 3. 기대효과

RS-Spotter는 기존 고정형 카메라와 달리 자유롭게 이동하며 상황별 최적의 관측 지점을 제공할 수 있다.

이를 통해 운전자는 사각지대 내 보행자와 장애물을 직관적으로 인지할 수 있으며, 시각·청각 이중 경보를 통해 주의 집중도가 향상될 것으로 기대된다.

대한건설협회의 2025년 하반기 임금실태조사에 따르면 신호수(보통 인부)의 일급은 171,037 원으로, 상시 배치 시 연간 약 4 천만 원의 인건비가 발생한다 [6]. RS-Spotter는 초기 구축비용이 소요되지만, 신호수 상시 배치에 비해 장기적으로는 인건비 절감 효과가 기대된다. 또한 잠재적으로 사고 위험에 노출될 수 있는 인력과 달리, RS-Spotter는 안전하게 상시 운용할 수 있어 경제성과 안정성을 동시에 확보할 수 있다. 또한 본 시스템은 항만뿐 아니라 물류센터, 건설 현장 등 다양한 산업 현장과 리치스태커 외의 대형 장비에도 확장 적용이 가능할 것으로 기대된다.

### 4. 향후 과제

향후 연구에서는 리치스태커의 상태 정보를 연계하여 맥락 기반 자율 운행 기능을 구현할 예정이다. 또한 현재 개발 중인 시뮬레이션을 기반으로 일반인과 현업 운전자를 대상으로 한 사용자 인터뷰를 진행하여 시스템의 실효성을 검토할 계획이다. 더 나아가 현재 탑재된 GNSS와 IMU를 활용하여 실제 항만 환경에서의 위치 추정 정밀도를 향상시키고, RS-Spotter의 자율 운행 및 효율적 운용 방안을 고도화하고자 한다.

#### 참고문헌

- [1] 한국항만물류협회, 『2025년도 항만하역재해 통계 및 사례집』, 서울, 한국항만물류협회, 2025.
- [2] 박영민, 지게차 재해사례 분석을 통한 재해감소방안, 한국재난정보학회지, 제 19 권, 제 1 호, pp. 173-183, 2023.
- [3] P. Pyykönen, A. Virtanen, A. Kyytinen, Developing intelligent blind spot detection system for heavy goods vehicles, Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), Cluj-Napoca, Romania, pp. 293-298, 2015.
- [4] 홍채원, 이승수, 문세범, 한동엽, 박승희, “YOLOv5를 이용한 건설현장 신호수 및 작업자 안전모니터링,” 한국구조물진단유지관리공학회 2022년도 가을 학술발표회 논문집, 서울, 2022, pp. 9-16.
- [5] T.N. Cuong, S.-S. You, G.-S. Cho, B. Choi, H.-S. Kim, N.Q. Vinh, J.-H. Yeon, “Safe operations of a reach stacker by computer vision in an automated container terminal,” Alexandria Engineering Journal, vol. 109, pp. 285-298, 2024.
- [6] 대한건설협회, 「2025년 하반기 건설업 임금실태조사 보고서」, 서울, 대한건설협회, 2025.

본 논문은 해양수산부 스마트 해운물류 융합인재 및 기업지원(스마트해운물류 X ICT 멘토링)을 통해 수행한 ICT 멘토링 프로젝트 결과물입니다.”